



วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ Thaksin University Journal

ฉบับพิเศษ

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2560
และการประชุมวิชาการระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ ครั้งที่ 3



ISSN 0859-9807



รูปแบบวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ชื่อวารสาร	วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal)	
เจ้าของ	มหาวิทยาลัยทักษิณ	
ที่ปรึกษา	อธิการบดี	(รศ.ดร.วิชัย ชำนิ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รองอธิการบดี	(รศ.เกษม อัสวดีรัตน์กุล) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	(อ.ดร.วันลก ดิษฐ์วรรณ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.นิคม ชูศิริ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองบรรณาธิการ	ศ.ดร.จรัญ จันทลักษณ์	(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
	ศ.ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน	(มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)
	ศ.ดร.วัชรินทร์ รุกขไชยศิริกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุทนต์ เบญจกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุรินทร์ เศรษฐมานิต	(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
	ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์	(เลขที่ 422 ถ.เทศบาลรั้งรั้งเหนือ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร)
	รศ.ดร.ครรชิต มาลัยวงศ์	(สกววิจัยแห่งชาติ)
	รศ.ดร.หิรัญ เพชรมั่ง	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.สรพลสิทธิ์ กล่อมเกล้า	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.บุญญพัฒน์ ไชยเมล์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.กรวิกา ก้องกุล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.พญ.ภัทรวลัย ดลิ่งจิตร	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ผศ.ดร.เกร็ดทราย วุฒิพงษ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองจัดการ	นางสาวอรกมล ไกรวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวพิมพ์ผดาม ฌีวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางรานี อาษาชำนาญ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวกัญญณัชช์ เลียดรักษ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
วัตถุประสงค์	1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความทางด้านสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่างๆ	
	2. เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	
	3. เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	
กำหนดการออก	ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)	
จำนวนพิมพ์	300 ฉบับ	
รูปแบบเล่ม	ขนาด B5 (18x25.5 ซม.)	
	ปกอาร์คมัน 250 แกรม พิมพ์ 4 สี เคลือบ มั่น (UV)	
	เนื้อใน กระดาษปอนด์ 80 แกรม พิมพ์ 1 สี 112 หน้า	

การเผยแพร่	จัดจำหน่ายและสมัครสมาชิก
การบอกรับเป็นสมาชิก	มอบเป็นอภิสิทธิ์แทนการแก้ห้องสมุดของหน่วยงานรัฐและเอกชน สถาบันการศึกษา ค่าสมาชิก ปีละ 200 บาท โดย ชำระเงินผ่านทาง ธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายัง กองบรรณาธิการวารสารฯ ทางระบบออนไลน์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal
การติดต่อ	กองจัดการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242 E-mail address: tsujournal@gmail.com หรือ research.tsu@gmail.com
โรงพิมพ์	อาร์ต เวิร์ค แอนด์ มีเดีย โทรศัพท์ 074 230854, 085-440-5398

บรรณาธิการแถลง

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal) ฉบับนี้ เป็นวารสารฉบับพิเศษ ที่ออกโดยมหาวิทยาลัยทักษิณเป็นปีที่ 20 ฉบับที่ 3 วารสารฉบับนี้มีเนื้อหาสาระภายในเล่มที่น่าสนใจ ประกอบด้วยบทความวิจัยทั้งหมด 41 เรื่อง โดยที่บทความทั้งหมดนี้ได้รับการพิจารณาคัดเลือก จากบทความวิจัยที่ส่งเข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิชาการในที่ประชุมวิชาการระดับชาติของมหาวิทยาลัย ทักษิณ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2560 และการประชุมวิชาการระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ ครั้งที่ 3 ซึ่งบทความวิจัยทั้งหมดนี้เป็นบทความวิจัยทางด้านสหวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น และสามารถ จัดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังต่อไปนี้ 1) บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพและเกษตรศาสตร์ จำนวน 14 เรื่อง 2) บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์อาหารและสุขภาพ จำนวน 6 เรื่อง 3) บทความวิจัย ทางด้านวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช จำนวน 2 เรื่อง 4) บทความวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษา ฟิสิกส์ประยุกต์ และวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 13 เรื่อง และ 5) บทความวิจัยทางด้านคณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์ จำนวน 6 เรื่อง บทความวิจัยทั้งหมดนี้มีความน่าสนใจในระดับดีที่ควรค่าแก่การติดตามอ่านและสามารถ นำไปใช้เป็นข้อมูลและเอกสารอ้างอิงได้ในอนาคต ข้าพเจ้าและคณะทำงานประจำกองบรรณาธิการ ขอขอบคุณเจ้าของบทความทุกท่านที่ได้ส่งผลงานทางวิชาการเหล่านี้มาเข้าร่วมนำเสนอผลงานวิชาการ ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติของมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2560 และได้แสดงความจำนง ที่จะส่งบทความวิจัยเข้าพิจารณาคัดเลือกเพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้ ข้าพเจ้าถือว่าทุกท่านได้ มีส่วนร่วมในการพัฒนาวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้เกียรติและเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการกลั่นกรองพิจารณาแก้ไข และให้ ข้อเสนอแนะต่างๆ ต่อผลงานเขียนดังกล่าวข้างต้นเพื่อประโยชน์สูงสุดทางวิชาการที่ได้นำเสนอ ในวารสารฉบับดังกล่าวนี้

หากท่านผู้อ่านมีคำแนะนำเกี่ยวกับวารสารฉบับดังกล่าวนี้ กรุณาส่งคำแนะนำของท่านมายัง กองบรรณาธิการเพื่อจะได้นำสิ่งที่ท่านแนะนำนี้ไปพิจารณาแก้ไขและปรับปรุงในฉบับต่อไป นอกจากนี้ยังขอเชิญชวนท่านผู้อ่านส่งบทความวิชาการและบทความวิจัยที่ยังไม่เคยเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน ไปให้ทางกองบรรณาธิการพิจารณาตีพิมพ์ โดยที่ท่านผู้อ่านสามารถดูรูปแบบการพิมพ์บทความได้ที่ website <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> หรือดูได้ในรายละเอียดตอนท้ายของวารสารนี้ ได้อีกด้วย พบกันใหม่ฉบับต่อไปครับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ เกษราธิคุณ
บรรณาธิการประจำฉบับ

สารบัญ

1. แนวทางการเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ่อนต่างกัน
Productivity Improvement of Mud Crabs *Scylla sarrata* (Forsk.) in Cage-Pond Using Different Sheltering Materials
ชนากร เหมะสัดถ Tanakorn Haemasaton, ดวงใจ พิสุทธิธรราชชัย Duangjai Pisuttharachai.....1
2. ความชุกและความหนาแน่นของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา (*Somanniathelphusa* sp.) จากจังหวัดนครพนม ปี 2559
Prevalence and Intensity of *Microphaloides* spp. in Black Rice Crab, *Somanniathelphusa* sp. from Nakhon Phanom Province, Year 2016
อดิเทพชัยการณัฏ ภาชนะวรรณ Adithepchaikarn Pachanawan, อนวัทย์ ฝาดี Anawat Phalee.....8
3. จลนพลศาสตร์และการบำบัดแอมโมเนียของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว
Kinetics and Ammonia Treatment of Sediment from White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Pond
ธัญรัตน์ มะเสน Thanyarat Masen, ศุภรณิณี ลิโทชาวลิต Supanee Leethochavalit, ปวีณา ตปนียวรวงศ์ Paveena Tapaneyaworawong, สรวิต เผ่าทองสุข Sorawit Powtongsook, มะลิวัลย์ คุตะโก Maliwan Kutako.....17
4. ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและค่าคุณภาพซากของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมใบกระถินเทพาป่นและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างๆ
Growth Performance and Carcass Quality in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Supplemented *Acacia mangium* Meal and Fibrolytic Enzyme in Diets
วรพงษ์ นลินานนท์ Warrapong Nalinanon, สายชล เลิศสุวรรณ Saichon Lerdsuwan.....25
5. ผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน Metallothionein ในปลานิล
Effects of Cadmium and Copper on Metallothionein Gene Expression in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)
ดวงใจ พิสุทธิธรราชชัย Duangjai Pisuttharachai, ชนากร เหมะสัดถ Tanakorn Haemasaton.....34
6. ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาจวด *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา
Reproductive Biology of *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) off the Coast of Songkhla Province
ดวงดาว อุปธิธิ Duangdao Upasit, จารุณี เชื้อวารีสังจะ Jarunee Chiayvareesajja, สมหมาย เชื้อวารีสังจะ Sommai Chiayvareesajja.....43
7. ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์และองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาจากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง
Biodiversity of Zooplankton and Stomach Content of Fishes from Palian River, Trang Province
เดือนดา ร้าหมาน Tueanta Ramarn, ศิริลักษณ์ ช่วยพั่ง Sirilak Chuaypanang, พีรนาฏ คิทธิ Peeranart Kiddee.....51
8. การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่กระทาง
Use of Dietary *Leucaena leucocephala* Leaf Meal in Pellet Form on Production Performance and Carcass Quality of Broiler Chickens
สายชล เลิศสุวรรณ Saichon Lerdsuwan, วรพงษ์ นลินานนท์ Warrapong Nalinanon.....61
9. การใช้มูลสุกรแห้งและกากน้ำตาลเป็นอาหารเสริมในโคนมรุ่น
The Utilization of Dried Pig Manure and Molasses as Feed Supplement in Grower Dairy Cattle
นิรันดร์ กองเงิน Nirundorn Kongngoen, วันชาติ สุวตธี Wanchart Suwatthee, ชากรณ์ ชันแก้ว Chakorn Kunkaew.....70

10. หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae): พืชอาหาร ชีววิทยา และแมลงศัตรูธรรมชาติ
Coconut Black-Headed Caterpillar, *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae): Host Plant, Biology and its Natural Enemies
น้ำผึ้ง ชมภูเขียว Namphueng Chomphukhiao, โสภณ อุไรชื่น Sapon Uraichuen 77
11. ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 และ แคลเซียมซิลิเกตต่อการงอกและควบคุมโรคโคนเน่าจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* ในพริกมันบางช้าง
Efficacy *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 and Calcium Silicate to Seed Germination and Control Stem Rot Caused by *Sclerotium rolfsii* in *Capsicum annuum* cv. 'Bangchang'
เกรียงไกร แสงไข Kriangkrai Saengkai, ศุภชัย อำคา Suphachai Amkha, พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง Pornpairin Rungcharoenthong.....86
12. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับเชื้อ *Bacillus subtilis* ต่อการเจริญเติบโต และการยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ
The Effect of Slow - Release Nitrogen Fertilizer with *Bacillus subtilis* on Growth and Inhibition of Soil Borne Disease in Tomato Seedling
นริศรา จำปา Naritsara Champa, ธงชัย มาลา Thongchai Mala, ศุภชัย อำคา Suphachai Amkha, กนกกร สีนมา Kanokkorn Sinma....95
13. ผลของระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไร่ชะบอร์รี่ อ.ตะโหมด จ.พัทลุง
Effect of Plant Spacings and Organic Fertilizer Quality on Growth and Yield Components of Riceberry in Tamod District, Phatthalung Province
จิตรา จันโสด Jitra Jansote, วานิด รอดเนียม Wanit Rotnium, เป็ลื่อง สุวรรณมณี Plaung Suwanmanee, วิรัตน์ ช่วยชุมชาติ Virat Charychumchat, ศักดิ์ เพชรสุข Sak Pechsuk.....103
14. ผลของจำนวนต้นกล้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด
Effect of Numbers of Seedlings per Hill on Growth and Yield of Sangyod Rice
จิตราจัน โสด Jitra Jansote, วานิด รอดเนียม Wanit Rotnium, เป็ลื่อง สุวรรณมณี Plaung Suwanmanee.....109
15. การตรวจวัดสมบัติเชิงกลิ่นของข้าวสังข์หยดพัทลุงโดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์
The Aroma Properties Measurements of the Sangyod Rice of Phattalung by The Machine Olfaction
รังสิตา หาญพันธุ์ Rangsit Hanphan, จิตรา จันโสด Jitra Jansote, เป็ลื่อง สุวรรณมณี Plaung Suwanmanee, ชัชวาล วงศ์สุข Chatchawal Wongchoosuk, อนุรักษ อุคมเวช Pornpimon Mayachiew.....114
16. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์มีสี
Development of Coating Batter from Colored Rice Flour
พรพิมล มะขะเจียว Pornpimon Mayachiew, นุจิเร เกตุราช Nudcharee Kadrat, รัชฎาภรณ์ ทองจันทร์แก้ว Ratchadaporn Thorngjankeaw.....124
17. คุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่วที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และเมือง จังหวัดพัทลุง ประเทศไทย
Microbiological Quality of Tao-Kua Sold in Paphayom and Mueang Districts, Phatthalung Province, Thailand
บุษกร อุดรภิชาติ Bussakorn Utarapichat, ศุภชัย นิติพันธ์ Supachai Nitipan, ปนัดดา พรหมจรรย์ Panadda Promjan, กชกร เพชรสุวรรณ Kochakorn Petchsuwan, ปฐมา กนกนาค Pattama Koknak, ภัทรกร วัฒนกุล Pattarakorn Watanakul.....133

สารบัญ

18. ผลของสภาวะการพuffingต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบ	
Effect of Puffing Conditions on Quality of Crispy Banana	
ถาวร จันทโชติ Thavorn Juntachote.....	141
19. คุณภาพของขนมสับปะรดแผ่นกรอบโดยใช้หม้ออบลมร้อน	
The Quality of Crispy Pineapple Snack by Using Convection Oven	
รุ่งทิวา กองเงิน Rungtiwa Kongngoen.....	149
20. ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหละหาร อ.ป่าบอน จ.พัทลุง	
The Vulnerability of Farming Households in a Watershed Area of Ban Lo Han, Pa Bon District, Phatthalung Province	
กนกวรรณ ชุมอินทร์ Kanokwan Chum-in, พิไลวรรณ ประพฤติ Pilaiwan Prapruit.....	159
21. การตรวจหายีนดื้อยาชนิดออกซาลิซิลีนในอะซิเนตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ ที่แยกได้จากโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครศรีธรรมราช	
Detection of Oxacillinase Genes in Acinetobacter baumannii Isolated from the Maharaj Nakhon Si Thammarat Hospital	
จิรารัตน์ ส่องสี Jirarat Songsri, สุมนทา กล้าคง Sumonta Klakong, หวันต์สกิน ปะดุกา Wantaskeen Paduka, อาชีเยาะ หะมะ Arseeyoh Ha-ma ปิยะวิทย์ อรชร Piyawit Orachorn.....	168
22. ฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3	
Effect of Synthetic Chalcone Derivatives on Growth Inhibition and Apoptosis Induction in Breast Cancer Cell Line (SKBR-3)	
นุรดินา จารง Nurdina Charong, วรางคณา ชึงลก Warangkana Chunglok, มลธิรา พรหมกันท์ Moltira Promkan, อภิชาติ สุขสำราญ Apichart Suksamrarn.....	176
23. การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งในภาคใต้	
A Confirmatory Analysis of Affected Factors to Supply Chain Collaboration: A Case Study of the Frozen Shrimp Industries in Southern Thailand	
สิริรัตน์ พึ่งชมภู Sirirat Pungchompoo, กมลชนก ฤทธิเดช Kamonchanok Rittidech, ธนิกานต์ ไชยโห้ Thanikarn Chaiho.....	184
24. การเตรียมและสมบัติของยางไนไตรล์ผสมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล	
Preparation and Properties of Nitrile Rubber Mixed with Carbon Filler from Molasses	
สุริยาพร หอมเขียน Suriyaporn Homkeing, ธัญญา เสาวภาคี Thanunya Saowapark.....	193
25. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ	
Feasibility Study of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds Oil	
โชคชัย เหมือนมาศ Chokchai Mueanmas, รวมนพร นิคม Ruamporn Nikhom.....	201
26. การศึกษาผลกระทบทางรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย ภายหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น	
A Study on Radiation Impact in Surface Beach Sand Samples in Songkhla Province, Thailand after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan	
ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon, นิคม ชูศิริ Nikom Choosiri, ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ Ruthairat Boonkrongcheep, มูร์ณี ดาโอะ Murnee Daoh, สุชิน อุดมสมพร Suchin Udomsomporn.....	211

27. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพเฉพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาด ผิวหน้าบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Beach Sand Samples Collected from Bangsaen Beach in Chonburi Province, Thailand นพฤทธิ์ ช่างคิด Nopparit Changkit, ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ Ruthairat Boonkrongcheep, อุคร ชัยช่วย Udom Youngchaay, สิทธิพงษ์ พลธรรม Sitthipong Polthum, ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon.....	220
28. การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรง สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น The Development of Android Application for Learning of the Moment of Force for Secondary Students อนุสา แก้วสมทอง Anusa Kaewsompong, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	228
29. “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า”: เกมสำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมบ์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ The “ELECTRIC CHARGE ARENA GAME”: A Gamification for Learning in an Electric Charges and the Coulomb Force on Smart Devices พรสุดา กรดสัน Pornsuda Krodsan, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	236
30. การสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อการเรียนรู้แบบ STEAM The Construction of 3D Printing Machine for STEAM Learning กมล ทัดวัลดี Kamon Tanlawan, วัศพล สมใจ Wassapon Somjai, เกษม เปรมประยูร Kasem Premprayool, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	245
31. การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า Water Level Measurement using Capacitance Measurement Technique ศุภกร กตาทิการกุล Supagone Katathikarnkul, มาริษา มะหิณี Marina Mani, สุวิทย์ คงภักดี Suwit Khongpugdee, นันท์นภัส เพชรรมณี Nannapas Pengmanee.....	254
32. การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด กำลัง 3 กิโลวัตต์ โดยอาศัยการจำลองแบบ ด้วยโปรแกรม PVsyst Efficiency Evaluation of 3 kW Photovoltaic Rooftop and Grid Connected System by Using PVsyst Programmed Modeling Simulation ฉัตร ฝนาค Chat Pholnak, จอมภพ แวศักดิ์ Jompob Waewsak, สมพล ชีวมงคลกานต์ Somphol Cheewamongkolkarn, ปราณี หนูทองแก้ว Pranee Nutongkaew.....	261
33. การสังเคราะห์แกรไฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD Graphene Synthesis on Copper Plate by Microwave Plasma CVD กิตติพงษ์ น้ำจันทร์ Kittipong Namjan, ทวี ฉิมอ้อย Tawee Chimoye, มนุ เฟื่องฟู่ง Manu Fuangfoong	269
34. การศึกษาด้วยวิธีควอนตัมเชิงคำนวณเพื่อแสดงสมบัติการดูดกลืนแสงอาทิตย์ ของวัสดุแกรไฟีนนาโนฟิลลาร์ The Computational Quantum Study in Performing the Feasibility Properties as a Solar Absorption of the Graphene Nanopillars อรอนงค์ ชุมพล Onanong Chumpon, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	275
35. การศึกษากระจุกดาวเปิดด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก The Study of Open Cluster by Small Telescope วิระภรณ์ ไหมทอง Wiraporn Maithong, นววรรณ บางโป่ง Nawawan Bangpong, เบญจภรณ์ ดุ่นภักดี Benjaporn Thunpakdee สุวนิตย์ วุฒิสงษ์ Suwanit Wutsang.....	284

สารบัญ

36. ระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมในบริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่น กรณีศึกษา: จังหวัดพัทลุง Knowledge-based System of Art and Culture in the Context of Folk Wisdom Case Study: Phatthalung Province อาจาวี นาโค Ajaree Naco.....	292
37. การจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยแบบอัตโนมัติโดยวิธีการทางเหมืองข้อมูล Automatic Thai Folk Wisdom Classification using Data Mining Approach นพมาศ ปักเข็ม Noppamas Pukkhem, ชนิดา จันมณีชัย Chanida Junmanee, ศิวกร อุยสุย Sivakorn Ouisui.....	300
38. โปรแกรมต้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ โดยใช้แบบจำลอง การทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน A Prototype of Online Adaptive Testing System Using Sequential Probability Ratio Test Model Case Study: Basic English ธนาวุธ บุญลิปตานนท์ Thanawut Bunliptanon, กมลชนก ขำแก้ว Kamolchanok Khamkaew, อรยา ปรีชาพานิช Oraya Preechapanich, สุดา ธีรมนตรี Suda Thernmontri.....	308
39. การทดสอบการแจกแจงปกติโดยแผนภาพของเศษตกค้างในการถดถอยเชิงเส้น Graphical Normality Tests on Residuals in Linear Regression วันเพ็ญ จันทรังษี Wanpen Chantarangsi	317
40. การศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกในไซโลฐานแบนเรียบ The Study of the Impact of Displacing Insert in Flat-Bottomed Silo วาเรียม ช่วยจันทร์ Wariam Chuayjan, สุทธิวัฒน์ ทองนาค Sutthiwat Thongnak.....	327
41. การซ่อนข้อความ และการสกัดพร้อมการทวนสอบข้อความที่ได้ในภาพใบหน้าด้านหน้า Concealing and Extracting with Verifying Text in Frontal Face Image ไพจิตร กชกรจารุงศ์ Paijit Kochakornjarupong, ศิริพล ปัญญาธิโป Siriphon Panyathipo.....	336

แนวทางการเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ่อนต่างกัน

Productivity Improvement of Mud Crabs *Scylla serrata* (Forsk.) in Cage-Pond Using Different Sheltering Materials

ธนกร เหมะสกล^{1*} และดวงใจ พิสุทธิธาราชัย²

Tanakorn Haemasaton^{1*} and Duangjai Pisuttharachai²

บทคัดย่อ

ปูทะเล *Scylla serrata* (Forsk.) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญ มีความต้องการของผู้บริโภคสูง แต่ปัญหาที่พบและมีผลกระทบต่อการผลิต คือ ปูกินกันเองช่วงลอกคราบ การศึกษาเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ่อนต่างกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย และเปรียบเทียบผลผลิตของปูทะเลในบ่อดิน แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 6 ซ้ำ ประกอบด้วย 1) ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดควบคุม) 2) ใช้ไม้ไผ่ และ 3) ใช้ยางรถยนต์เก่า น้ำหนักปูทะเลเริ่มต้น 166-188 กรัม เลี้ยงในกระชังขนาด 6x4x2 เมตร ในบ่อดิน ปล่อย 120 ตัวต่อกระชัง เลี้ยง 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้น (194.94 กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (5.44) ดีที่สุด และอัตรารอดตายสูงสุด (69.83 เปอร์เซ็นต์) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณผลผลิต พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 77.74 126.17 และ 103.29 กิโลกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผลผลิต ปูทะเล วัสดุหลบซ่อน

Abstract

Mud Crab, *Scylla serrata* (Forsk.) are important economic aquatic animals. The demand of consumers has increased. The problems with impact production are crab eating during the molting. Study on productivity improvement of Mud Crabs in cage-pond using different sheltering materials was carried out. It aims to study on growth rate, survival rate and compare the productivity of Mud Crab in earthen ponds. The experiment was divided into three treatments of six replications; 1) no sheltered materials used (control), 2) use sheltered materials from bamboo and 3) use sheltered materials from old tires. The Mud Crab's weight was 166-188 grams cultured in ponds using floating net cages of 6x4x2 meters. The deployment rate was 120 crabs per cages within 4 months. The result showed that the Mud Crabs of treatment 2 gained the highest average weight of 194.94 grams and FCR of 5.44. Moreover, the Mud Crabs in treatment 2 gained the highest survival rate of 69.83 percent with statistically significant difference ($p < 0.05$). The productivity quantity of treatment 1, 2 and 3 was equivalent to 77.74, 126.17 and 103.29 kilogram, respectively.

Keywords: Productivity, Mud Crab, Shelter

¹ อ., หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชุมพร 86160

² อ.ดร., หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Fishery Science and Aquatic Resources, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon, 86160

² Lecturer, Dr., Fishery Science and Aquatic Resources, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon, 86160

* Corresponding author: Tel: 089-422-6022. E-mail address: Tanakorn.ha@kmitl.ac.th

บทนำ

ปูทะเล *Scylla serrata* (Forsk.) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย ที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากได้รับความนิยมในการบริโภคสูงมาก ทั้งคุณค่าทางอาหาร และรสชาติของเนื้อปู ทนต่อสภาพแวดล้อม มีอัตราการเจริญเติบโตดี ปูทะเลพบกระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำกร่อย ป่าชายเลน และปากแม่น้ำที่มี น้ำทะเลท่วมถึง โดยขุดรูอยู่ตามไคร้รากไม้หรือเนินดินบริเวณชายฝั่งทะเลทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน โดยเฉพาะที่ชุกชุมใน บริเวณที่เป็นหาดโคลน หรือเลนที่มีป่าแสม และโกงกาง ตั้งแต่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด ชลบุรี บริเวณอ่าวไทยตอนใน ได้แก่ สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และอ่าวไทยฝั่งตะวันตกมีชุกชุมที่จังหวัด ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ส่วนที่ฝั่งอันดามันมีชุกชุมที่จังหวัดระนอง กระบี่ พังงา ตรัง และสตูล เป็นต้น [1-2]

ปัจจุบัน พบว่าปูทะเลในธรรมชาติมีปริมาณลดลงมาก เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เป็นแหล่งอาศัย วางไข่ ถูกทำลาย แต่ความต้องการของผู้บริโภคมีเพิ่มมากขึ้น เกษตรกรจึงหันมาเลี้ยงปูทะเลในบ่อดินมากขึ้นเพื่อสร้างรายได้แก่ครอบครัว เนื่องจากปูทะเลมีราคาแพง ประมาณกิโลกรัมละ 250-300 ส่วนราคาน้ำฟ้าร์มอยู่ระหว่างกิโลกรัมละ 170-200 บาท [3] รูปแบบในการเลี้ยงปูทะเล ได้แก่ เลี้ยงเป็นปูนิ่ง ปูขุ่น และปูไข่ จังหวัดชุมพรเป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่มีพื้นที่ที่ติดชายทะเลและมี การเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งกันมาก รวมถึงปูทะเลด้วย แต่ปัญหาที่เกษตรกรพบและมีผลกระทบต่อการผลิต คือ ปูกินกันเองเวลา ลอกคราบ

ดังนั้นแนวทางการเลี้ยงปูทะเลโดยใช้วัสดุหลบซ่อนที่มีในท้องถิ่น หรือวัสดุที่ทิ้งไป นำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยใช้เป็นแหล่งหลบซ่อนของปูที่เลี้ยงในบ่อดิน น่าจะเป็นแนวทางในการลดปัญหาปูกินกันเองได้ระดับหนึ่ง และเป็นวิธีการ เลี้ยงที่เลียนแบบธรรมชาติ เพื่อการเพิ่มผลผลิตของปูทะเล อีกทั้งบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปูทะเลนั้น ใช้บ่อดินที่เกษตรกรทิ้งวางเปล่า เลิก จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งเป็นการนำพื้นที่กลับมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าอีกทางหนึ่งด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง โดยทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งการ ทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 6 ซ้ำ ดังนี้ คือ

ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อนในบ่อ (ชุดควบคุม)

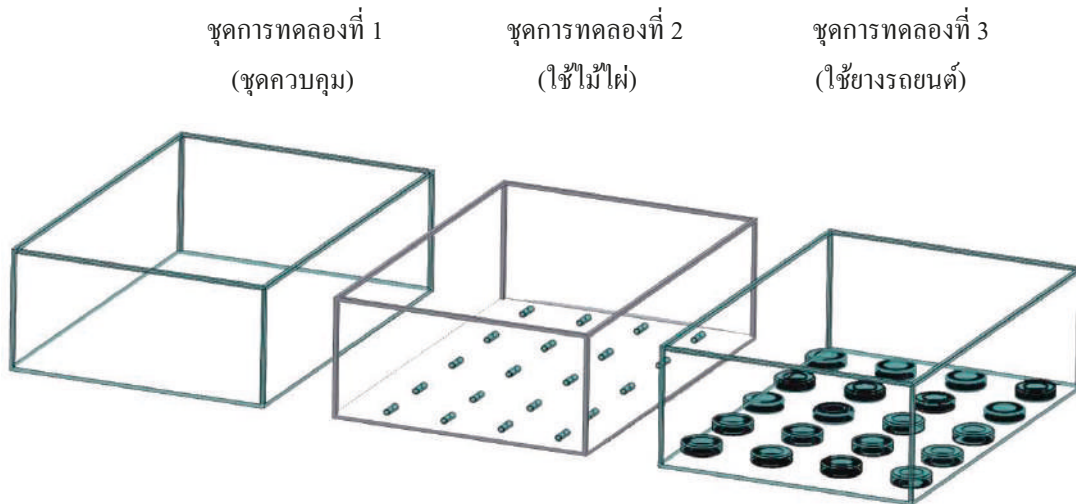
ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน

ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน

การเตรียมการทดลอง

การเตรียมบ่อทดลอง

- การเตรียมบ่อทดลอง โดยใช้บ่อดิน (บ่อกึ่งร้างที่เลิกใช้งาน) จำนวน 1 บ่อ
- ใช้อวนกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมในบ่อดิน ขนาด 6x4x2 เมตร จำนวน 18 ชุดการทดลอง (ภาพที่ 1)
- หวานปูนขาว ในอัตรา 60 กิโลกรัม/ไร่ เพื่อปรับสภาพดิน และฆ่าเชื้อโรคหลังจากนั้นตากบ่อทิ้งไว้ 5 วัน และปล่อยน้ำเข้าบ่อสูง ประมาณ 1 เมตร



ภาพที่ 1 ภาพจำลองแสดงการวางวัสดุหลบซ่อนในกระชัง

การเตรียมพันธุ์ปู

การเตรียมปูทดลอง โดยใช้ปูขนาด 166-188 กรัม มาทำการปล่อยเลี้ยงในบ่อดิน ในอัตรา 5 ตัว/ตารางเมตร (1 ชุดการทดลอง ปล่อย 120 ตัว) ให้อาหารปลาสด 10 เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว วันละครั้ง เวลา 17.00-18.00 น. โดยการใช้ปลาสดสับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 1-2 นิ้ว

การเตรียมวัสดุหลบซ่อน

- ไม้ไผ่ ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตรขึ้นไป มาตัดเป็นท่อน ไม่มีข้อ โดยมีความยาวท่อนละ 30 เซนติเมตร และนำวางลงในแนวราบ (ระยะห่าง 1 เมตร) ลงในบ่อดิน จำนวน 30 ท่อนต่อกระชัง
- ยางรถยนต์ โดยนำยางรถยนต์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร) วางที่พื้นบ่อทั้งวงในแนวราบ (ระยะห่าง 1 เมตร) จำนวน 20 เส้นต่อกระชัง

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ตรวจสอบคุณภาพน้ำทุก 7 วัน ได้แก่ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ค่าความเป็นค่าแอมโมเนีย และค่าไนไตรท์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และผลผลิตเมื่อสิ้นสุดการทดลองตามวิธีของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก [4] ดังนี้ คือ

การเจริญเติบโต (Growth Rate)

$$\text{น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)} = \text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}$$

$$\text{ความกว้างกระดองเพิ่ม (ซม.)} = \text{ความกว้างกระดองสุดท้าย} - \text{ความกว้างกระดองเริ่มต้น}$$

$$\text{น้ำหนักเพิ่มต่อวัน} = \frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดน้ำหนักรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{เวลา (วัน)}}$$

$$\text{อัตราการรอดตาย (Survival Rate)} = \frac{\text{จำนวนปูเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปูเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

$$\text{อัตราการผลิตอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กินทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}$$

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดลองเลี้ยงปูทะเลในระยะเวลา 4 เดือน น้ำมีระดับความเค็มเฉลี่ย 22 ส่วนในพัน โดยทำการเลี้ยงปูทะเลในบ่อดินที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง (Treatments) ชุดการทดลองฯ ละ 6 ซ้ำ (Replications) คือ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน ได้ผลการทดลองดังนี้

น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (Average Weight Gain)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ่อนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ยของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 194.94 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 189.94 และ 182.21 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เช่นเดียวกับอัมพรและคณะ [5] ทำการทดลองเลี้ยงปูม้าในบ่อดิน โดยใช้ท่อพีวีซี กล่องพลาสติก เป็นวัสดุหลบซ่อน และชุดควบคุม (ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน) เลี้ยงเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าปูม้า มีการเจริญเติบโตเฉลี่ย เท่ากับ 98.59 98.00 และ 94.37 กรัม/ตัว ตามลำดับ

ตารางที่ 1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม) ^{ns}	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม) ^{ns}
1	172.78 ± 6.70	182.21 ± 9.46
2	182.31 ± 5.68	194.33 ± 4.58
3	180.29 ± 4.34	189.94 ± 5.97

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความกว้างกระดองเพิ่มเฉลี่ย (Average Internal Carapace Width) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ่อนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความกว้างกระดองเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีความกว้างกระดองเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 2.74 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีความกว้างกระดองเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.73 และ 2.70 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) และสุภาพ และทวีศักดิ์ [6] ได้ทำการทดลองเลี้ยงปูทะเลในบ่อดินรายงานว่าการปล่อยปูที่มีขนาดเล็กลงเลี้ยงจะใช้ระยะเวลาการเลี้ยงนาน ควรปล่อยปูที่มีขนาด 120-200 กรัมเพื่อให้ผลผลิตปูขนาดใหญ่มากขึ้น เมื่อดูค่าความกว้างของกระดองในการทดลองครั้งนี้ พบว่าความกว้างของกระดองเฉลี่ยอยู่ ระหว่าง 11.55-11.81 เซนติเมตร (เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.70 -2.74 เซนติเมตร) ซึ่งสอดคล้องกับบรรจง และบุญรัตน์ [7] รายงานว่า ความกว้างของกระดอง ที่ 9.00-11.90 เซนติเมตร ปูจะมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 140-450 กรัม/ตัว

ตารางที่ 2 ความกว้างกระดองเพิ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร/ตัว) ของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน

ชุดการทดลอง	ความกว้างกระดองเริ่มต้นเฉลี่ย	ความกว้างกระดองเพิ่มขึ้นเฉลี่ย
	(เซนติเมตร) ^{ns}	(เซนติเมตร) ^{ns}
1	8.81 ± 0.32	2.74 ± 0.61
2	9.11 ± 0.43	2.70 ± 0.25
3	9.03 ± 0.76	2.73 ± 0.53

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p > 0.05)

น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (Daily Weight Gain) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ่อนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเพิ่มต่อวันของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีน้ำหนักเพิ่มต่อวันสูงสุดเท่ากับ 1.61 กรัม/ตัว ซึ่งไม่แตกต่าง (p > 0.05) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีน้ำหนักเพิ่มต่อวัน เท่ากับ 1.57 และ 1.51 กรัม/ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 น้ำหนักเพิ่มต่อวันของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเพิ่มต่อวัน(กรัม/ตัว) ^{ns}
1	1.51 ± 0.04
2	1.61 ± 0.16
3	1.57 ± 0.09

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p > 0.05)

อัตราการรอดตาย (Survival Rate) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าวัสดุหลบซ่อนมีผลต่ออัตราการรอดตายของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีอัตราการรอดตายสูงสุด เท่ากับ 69.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีอัตราการรอดตาย เท่ากับ 58.33 และ 45.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของอัมพร และคณะ [5] เลี้ยงปูม้าในบ่อดินพบว่า อัตราการรอดตายของปูม้าที่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ท่อพีวีซี กล่องพลาสติก) สูงกว่าอัตราการรอดตายของปู ที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดควบคุม) ซึ่งมีอัตราการรอดตาย เท่ากับ 70.03 68.73 และ 42.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการรอดตายต่ำในชุดการทดลองที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน เนื่องจากระหว่างการเลี้ยงปูมีการกินกันเองช่วงลอกคราบ เช่นเดียวกับ Beck [8] กล่าวว่า การใส่วัสดุหลบซ่อนในบ่อมีผลทำให้ปูมีความปลอดภัยจากการถูกกิน และยังเป็นการดึงดูดให้ปูเข้ามาหลบโดยเฉพาะปูตัวเมียในช่วงที่จะวางไข่ เช่นเดียวกับ อัมพร และคณะ [5] ได้รายงานว่าการใช้ท่อพีวีซี และกล่องพลาสติกที่วางบนพื้นบ่อให้เป็นวัสดุหลบซ่อนของปู อาจมีการสะสมของแก็สไข่เน่าทำให้ปูออกมาอาศัยข้างนอกและลอกคราบข้างนอกวัสดุ และอาจถูกตัวอื่นกัดกินเป็นสาเหตุให้อัตราการรอดตายลดลง แต่ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า การใช้ท่อพีวีซี เป็นวัสดุหลบซ่อนที่ตัดเป็นท่อนยาวน้อยกว่า 50 เซนติเมตร ช่วยในการหมุนเวียนของน้ำที่พื้นบ่อ ลดการสะสมของแก็สไข่เน่า ทำให้ปูมีอัตราการรอดตายที่สูงกว่า และจากการทดลองนี้การใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน (ตัดท่อนละ 30 เซนติเมตร) ซึ่งไม้ไผ่มีลักษณะรูปทรงคล้ายท่อพีวีซี มีความเป็นไปได้อาจมีการหมุนเวียนน้ำที่พื้นบ่อได้ดีกว่า การใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน การสะสมของแอมโมเนีย และของแก็สไข่เน่าที่พื้นบ่อน้อยกว่า ทำให้อัตราการรอดตายของปูสูงกว่าการใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน และที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน(ชุดควบคุม) ซึ่งทำให้ปูกินกันช่วงลอกคราบได้ง่าย

ตารางที่ 4 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ้อนต่างกัน

ชุดการทดลอง	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
1	45.66 ± 5.08 ^c
2	69.83 ± 8.33 ^a
3	58.33 ± 9.61 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a b c กำกับต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

อัตราการผลิตอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ้อนไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ้อน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดเท่ากับ 5.44 ซึ่งไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 5.51 และ 5.50 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งในการปล่อยปลงเลี้ยงในบ่อ ใช้ปูที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน และให้อาหารวันละครั้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของปูที่เลี้ยงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งวัสดุหลบซ้อนไม่มีผลต่อการกินอาหารของปู ซึ่งปกติปูจะกินอาหารช่วงพระอาทิตย์ตกดิน [9] จึงไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปูที่เลี้ยง

ตารางที่ 5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ้อนต่างกัน

ชุดการทดลอง	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ^{ns}
1	5.50 ± 0.57
2	5.44 ± 0.55
3	5.51 ± 0.48

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คุณสมบัติของน้ำ พบว่า คุณสมบัติของน้ำที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ มีบางช่วงที่คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ โดยพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 5.05-7.18 มิลลิกรัม/ลิตร ความเค็มเฉลี่ยอยู่ที่ 22 ส่วนในพัน ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.66-8.40 อุณหภูมิ มีค่าอยู่ระหว่าง 28.9-29.2 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการกินอาหารของสัตว์น้ำ ค่าความเป็นด่าง, ค่าแอมโมเนีย และค่าไนไตรท์ ก็อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสัตว์น้ำ คือมีค่า 117.00-148.00 0.001-0.042 และ 0.001-0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณผลผลิต ผลผลิต (น้ำหนักรวม) ของปูที่เลี้ยงเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปูที่เลี้ยงโดยไม่ใช้วัสดุหลบซ้อน (ชุดควบคุม) ได้ผลผลิตทั้งหมด 77.74 กิโลกรัม ปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ้อน (ชุดการทดลองที่ 2) ผลผลิตทั้งหมด 126.17 กิโลกรัม และปูทะเลที่เลี้ยงโดยใช้ยางรถยนต์(เก่า)เป็นวัสดุหลบซ้อน (ชุดการทดลองที่ 3) ผลผลิตทั้งหมด 103.29 กิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับอัตราการรอดของปู และน้ำหนักของปูที่ปล่อยเลี้ยงลงในบ่อ ดังที่ สุภาพ และทวีศักดิ์ [6] ได้ให้ความคิดเห็นว่าการเลี้ยงปูในบ่อดินควรใช้ปูที่มีขนาดตั้งแต่ 120-200 กรัม เพื่อได้ผลผลิตปูขนาดใหญ่มากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การจากทดลองแนวทางการเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ้อนต่างกัน สรุปดังนี้

การใช้วัสดุหลบซ้อนมีผลต่ออัตราการรอดตายของปูที่เลี้ยงในกระชังบ่อดิน เนื่องจากปูมีการกินเองช่วงที่มีการลอกคราบ ส่วนผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่ามีแนวโน้มในทางที่ดี และไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำของปูที่เลี้ยง ส่วนด้านผลผลิตพบว่าปริมาณผลผลิตจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับอัตราการรอดตายของปูเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำความสะอาดวัสดุหลบซ่อน และนำไปตากแดดให้แห้งสนิทก่อนนำมาใช้เพื่อป้องกันเชื้อรา
2. ควรมีการทำความสะอาดวัสดุหลบซ่อนหลังจากเลี้ยงไปได้ 1 เดือน เพราะอาจเกิดการหมักของเศษอาหาร และปูที่เลี้ยงติดเชื้อได้
3. ยางรถยนต์ไม่ควรวางทิ้งวางที่พื้นบ่อ ควรมีการตัดเป็นท่อนๆ เพื่อปูเข้ามาหลบซ่อนได้ง่ายขึ้นช่วงลอกคราบ และนำช่วยในการหมุนเวียนน้ำที่พื้นบ่อได้ดีขึ้น ลดการสะสมของแอมโมเนีย แก๊สไข่เน่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภชัย นิลวานิช. (2538). “เพาะปูทะเล งานวิจัยเพื่อมวลชน”, วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน. 38(133), 62-63.
- [2] รัชฎา ขาวหนูนา และสำรวย ชุมวรฐายี. (2540). “การเลี้ยงปูทะเล(*Scylla serrata*) ให้มีไข่นอกกระดองในบ่อดิน”, วารสารการประมง. 50(5), 375-382.
- [3] โสภกา สมบูรณ์. (2551). ความชุกชุมและการเจริญพันธุ์ของปูทะเลเพศเมีย *Scylla paramamosain* และ *S. olivacea* บริเวณอ่าวทุ่งมหา จังหวัดชุมพร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลเล็ก. (2554). สำนักงานฝ่ายฝึกอบรม ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กรมประมง.
- [5] อัมพร บัวที ลิขิต ชูจิต และเทพบุตร เวชกามา. (2550). ผลของการใช้ท่อพีวีซีและกล่องพลาสติกเป็นวัสดุหลบซ่อนต่ออัตราการรอดตายอัตราการเติบโตของปูม้า (*Portunus pelagicus*) ที่เลี้ยงในบ่อดิน. สถาบันวิจัยประมงคลองวาฬ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] สุภาพ ไพโรพนาพงศ์ และทวีศักดิ์ ชังวนิชเศรษฐ. (2534). “การทดลองเลี้ยงปูทะเล”, วารสารการประมง. 44(3), 229-332.
- [7] บรรจง เทียนส่งรัมย์ และบุญรัตน์ ประทุมชาติ. (2545). ปูทะเล : ชีววิทยาการอนุรักษทรัพยากรและการเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์แบบยั่งยืน. ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.
- [8] Beck, M. W. (1995). “Size – Specific Shelter Limitation in Stone Crabs: A Test of The Demographic Bottleneck”, *Journal of Ecology*. 76(1), 968-980.
- [9] บรรจง เทียนส่งรัมย์. (2551). *ถอดรหัสปูม้า*. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

ความชุกและความหนาแน่นของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา
(*Somanniathelphusa* sp.) จากจังหวัดนครพนม ปี 2559

Prevalence and Intensity of *Microphaloides* spp. in Black Rice Crab,
Somanniathelphusa sp. from Nakhon Phanom Province, Year 2016

อดิเทพชัยการณั ภาชนะวรรณ^{1*} อนวัทย์ ภาลี² ณัฐนันท์ เทียงธรรม² วราภรณ์ ภาลี³

จิราวรรณ คำธร⁴ และสรารุช คำพุช⁴

Adithepchaikarn Pachanawan^{1*}, Anawat Phalee², Nattanan Tiengtam², Waraporn Phalee³,

Jirawan Khamthorn⁴ and Sarawut Khampush⁴

บทคัดย่อ

พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. เป็นปรสิตที่สามารถติดต่อถึงคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้ โดยมีปูนาเป็นโฮสต์กึ่งกลางที่สำคัญ ซึ่งสามารถส่งผ่านพยาธิโดยกินปูนาดิบ คนส่วนใหญ่นิยมนำปูดิบมาใช้เป็นส่วนประกอบในส้มตำ จึงทำให้มีความเสี่ยงการติดพยาธินี้สู่คนได้ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา (*Somanniathelphusa* sp.) ในจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ ทำการเก็บตัวอย่างปูนาอย่างสุ่ม โดยวิธีเก็บด้วยมือ จากการเก็บตัวอย่างปูทั้งหมด 434 ตัว พบความชุกรวมของการติดปรสิตในปูนาเท่ากับ 50.46% โดยอำเภอเมือง มีความชุกสูงที่สุด เท่ากับ 87.09% รองลงมาคืออำเภอเรณูนคร อำเภอโพธิ์สวรรค์ และอำเภอนาหว้า มีความชุกเท่ากับ 83.33%, 80.00% และ 77.27% ตามลำดับ ขณะที่อำเภอบ้านแพง มีความชุกน้อยที่สุด เท่ากับ 6.97% เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความหนาแน่น (Intensity) ของพยาธิ พบว่าอำเภอโพธิ์สวรรค์ มีความหนาแน่นมากที่สุด เท่ากับ 200.38 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว รองลงมาคือ อำเภอนาแก อำเภอธาตุพนม และอำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 197.42 178.20 และ 129.44 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ตามลำดับ ขณะที่อำเภอศรีสงคราม มีความหนาแน่นน้อยที่สุด เท่ากับ 10.60 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. มีอัตราการระบาดที่สูงในพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยเฉพาะอำเภอเมืองทำให้ประชาชนในพื้นที่ที่มีอัตราเสี่ยงที่ติดปรสิตชนิดนี้สูงตามไปด้วย

คำสำคัญ: ความชุก ความหนาแน่น พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก ปูนา จังหวัดนครพนม

¹ ศศ.ดร., สาขาวิชาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

² อ.ดร., สาขาวิชาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

³ อ.ดร., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

⁴ อ., สาขาวิชาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Fisheries Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

² Dr., Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

³ Dr., Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

⁴ Lecturer, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

*Corresponding author: Tel.: 042532471. E-mail address: kaipachanawan@gmail.com

Abstract

The minute Intestinal fluke, *Microphaloides* spp. are the important parasites, which can infect to humans and mammal. The importantly intermediate hosts are black rice crab (*Somanniathelphusa* sp.). They can infect to human or mammal by eating raw crab. The most people used raw crabs are important ingredient in spicy papaya salads, also affect the high risk of infection in humans. This research aims to investigate the distribution of *Microphaloides* spp. in 12 districts of Nakhon Phanom Province. The 434 black rice crabs are determined by randomly hand samplings. The result showed that total prevalence was 50.46%. The highest prevalence of infection was Mueang district (87.09%) and followed by Renu Nakhon, Phon Sawan and Na-Wa districts, equal to 83.33%, 80.00% and 77.27%, respectively. The lowest prevalence was shown in Ban Phaeng district (6.97%). The intensity of parasites found highest in Phon Sawan district (200.38 per crab), and followed by Na Kae, ThatPhanom and Mueang district equal to 197.42, 178.20 and 129.44 per crab, respectively. The lowest intensity found in Sri Songkram district as 10.60 per crab. From the results the *Microphaloides* spp. are highly distribution in Nakhon Phanom province, especially Mueang district which human in this area are highly risk of infection as well.

Keywords: Prevalence, Intensity, *Microphaloides* spp., *Somanniathelphusa* sp., Nakhon Phanom Province

บทนำ

พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. (Heterophyidae) จัดเป็นปรสิตที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านการแพทย์ และทางด้านสัตวแพทย์ โดยพยาธิชนิดนี้ระยะตัวเต็มวัยจะพบในลำไส้ของโฮสต์เฉพาะ ซึ่งได้แก่ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมถึงคน ซึ่งตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรีย (ระยะติดต่อ) [1] จะพบได้ในปูนา เมื่อโฮสต์เฉพาะมากินปูนาจะทำให้ตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียเข้าไปพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัยอาศัยอยู่ในลำไส้ของโฮสต์เฉพาะ จากการศึกษาที่ผ่านมามุ่งเน้นศึกษาการระบาดของพยาธิหลายชนิด เช่น *Haplorchis taichui*, *Stellantchasmus* sp., *Haplorchoides* sp., *Fasciola gigantica* และ *Opisthorchis viverrini* แต่สำหรับพยาธิ *Microphaloides* spp. กลับถูกมองข้ามที่จะศึกษาทั้งที่เป็นพยาธิที่สามารถติดเชื่อทั้งในคน และสัตว์เลี้ยงชนิดต่าง ๆ ได้ จัดได้ว่าปรสิตชนิดนี้เป็นพยาธิที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเฉพาะคนในภาคอีสานส่วนใหญ่นิยมรับประทานปูดิบโดยส่วนมากใช้เป็นส่วนประกอบในส้มตำ การขาดความรู้ความเข้าใจที่มากพอทำให้เกิดการระบาดของพยาธิชนิดนี้ในพื้นที่ภาคอีสานตอนบนเป็นอย่างมาก [2] การศึกษาเกี่ยวกับพยาธิ *Microphaloides* spp. นั้นยังมีข้อมูลการศึกษาน้อยทั้งในแง่ระบาดวิทยา และการจำแนกชนิดของพยาธิยังไม่ชัดเจน การติดเชื้อพยาธิใบไม้ดังกล่าวนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่แล้ว ยังก่อให้เกิดการสูญเสียงบประมาณทางด้านสาธารณสุข ในเขตจังหวัดนครพนม มีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำโขง และแม่น้ำสงคราม ทำให้เกิดเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ และมีเขตพื้นที่ชลประทานครอบคลุมอย่างทั่วถึง เกิดการทำกรเกษตรตลอดทั้งปีทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำ และมีน้ำขังตลอดเวลา มีน้ำหล่อเลี้ยงตลอดเวลา ปัจจัยเหล่านี้ทำให้นาซึ่งเป็นโฮสต์กึ่งกลางของพยาธิชนิดนี้สามารถเจริญเติบโต และแพร่กระจายเป็นจำนวนมาก การเข้าถึงข้อมูลการระบาดของพยาธิชนิดนี้ในปูนา รวมทั้งการระบุชนิดที่แท้จริงมีความสำคัญอย่างมากต่อการวางแผนการควบคุม และป้องกันพยาธิ [3] การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบาดวิทยา ของตัวอ่อนพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา มาจัดจำแนกตัวอ่อนของพยาธิชนิดนี้ที่พบในโฮสต์กึ่งกลางชนิดต่างๆ เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้แก้ไขปัญหการระบาดของปรสิตในพื้นที่ในเขตจังหวัดนครพนม และองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปรสิตชนิดอื่นๆ ที่พบการระบาดในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป [3]

การระบาดของปรสิตในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนส่วนใหญ่เป็นพยาธิใบไม้วงศ์ Heterophyidae ซึ่งประกอบด้วย *H. taichui*, *Stellantchasmus* sp., *Haplorchoides* sp. และ *Centrocestus* spp. โดยการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะปรสิตบางชนิดเท่านั้น เช่น *H. taichui*, *Haplorchoides* sp. *Stellantchasmus* sp. และ *Centrocestus* spp. [4-6] แต่สำหรับพยาธิ *Microphaloides* spp. ยังพบว่ามีการศึกษาน้อย ทั้งที่เป็นปรสิตที่สามารถติดเชื้อทั้งในคน และสัตว์เลี้ยงชนิดต่างๆ ได้ จัดได้ว่าปรสิตชนิดนี้เป็นปรสิตที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง การขาดความรู้ความเข้าใจที่มากพอทำให้เกิดการระบาดของปรสิตชนิดนี้ในพื้นที่ในเขตจังหวัดนครพนมเป็นอย่างมาก ความเข้าใจเกี่ยวกับการส่งผ่านของปรสิตไปยังโฮสต์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งการระบุชนิดที่แท้จริงของพยาธิ ส่วนแต่เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญที่จะนำไปสู่การแก้ไข และป้องกันการระบาดของปรสิตชนิดนี้ต่อไปในอนาคต

ปูนาเป็นที่อาศัยชั่วคราว ของพยาธิใบไม้ในปอด 4 ชนิด ได้แก่ *Paragonimus siamensis* (Miyazaki and Wykoff), *P. harinasutai* (Miyazaki and Vajrasthira) ซึ่งสามารถติดต่อถึงสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมพวก แมว สุนัข และหนู ส่วน *P. westermani* (Kerbert) และ *P. heterotremus* (Chen et Hsia) เป็นพยาธิใบไม้ในปอดที่เข้าสู่คน พยาธิที่พบในตัวยูเป็นตัวอ่อนของ พาราโกนิมัส (*Paragonimus* spp.) ระยะเมตาเซอร์คาเรีย (Metacercaria) เมื่อคนบริโภคปูนาดิบ ๆ เข้าไป เมตาเซอร์คาเรียจะฟักตัวในลำไส้ และตัวอ่อนพยาธิจะไชผ่านผนังลำไส้ ผ่านกระบังลม เข้าสู่ช่องปอดและเข้าเนื้อปอด ต่อจากนั้นเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย และปล่อยไข่ออกมากับเสมหะหรืออุจจาระ รวมวงจรชีวิตประมาณ 5-6 สัปดาห์ [7]

ดังนั้นหากมีการศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียเป็นระยะติดต่อกัน ที่พบในปูนา บริเวณแหล่งน้ำในเขตจังหวัดนครพนม จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผู้บริโภค เพื่อทราบถึงการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียที่อยู่ในปูนา เพื่อเป็นแนวทางในการนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางการป้องกันและแก้ไขโรคที่เกิดจากปรสิต ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้บริโภครวมทั้งปริมาณ และคุณภาพของปูนาอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา (*Somanniathelphusa* sp.) ในจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ
2. เพื่อศึกษาสถานวิทยาของพยาธิใบไม้ลำไส้ *Microphaloides* spp. ในปูนาจากจังหวัดนครพนม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

เก็บตัวอย่างปูนาจาก 12 อำเภอ ของจังหวัดนครพนม ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอปลาปาก อำเภอธาตุพนม อำเภอเรณูนคร อำเภอนาแก อำเภอน้ำผึ้ง อำเภอวานร อำเภอนาหว้า อำเภอท่าอุเทน อำเภอบ้านแพง อำเภอนาทม อำเภอศรีสงคราม และอำเภอโพนสวรรค์ (ภาพ 1) [8] และดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้



ภาพ 1 พื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง [8]

1. นำตัวอย่างปูนา ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มาตรวจสอบการติดพยาธิ *Microphaloides* sp. ระยะเมตาเซอร์คาเรีย โดยการนำปูมาทำให้ตายด้วยการแช่น้ำแข็ง จากนั้นแกะกระดองปูออก นำอวัยวะภายในปู และมันปู ใส่ในลงไปในงานเพาะเชื้อ เติมน้ำกลั่น และนำมาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบกำลังขยายต่ำ (Stereo Microscope) หรือทำการแกะมันปูมาใส่แผ่นสไลด์แล้วนำแผ่นสไลด์อีกแผ่นมาประกบ (ภาพ 2) แล้วยกส่องดูผ่านแสงและทำการนับจำนวนพยาธิ *Microphaloides* sp. ระยะเมตาเซอร์คาเรีย แล้วบันทึก

2. นับจำนวนเมตาเซอร์คาเรียที่พบในปูแต่ละตัว เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความชุก (% Prevalence) และความหนาแน่น (Intensity) ทำการถ่ายภาพ และวาดภาพ

3. ทำการบิบ ทิ่มแทงเมตาเซอร์คาเรีย ให้แตกจนเห็นตัวอ่อน หรือนำเมตาเซอร์คาเรียจากปูนำมาบ้อนในไก่เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นผ่าตัดเปิดลำไส้ไก่ เพื่อนำพยาธิระยะตัวเต็มวัยมาทำสไลด์ถาวรเพื่อใช้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา



ภาพ 2 วิธีการตรวจหาพยาธิ *Microphaloides* sp. ระยะเมตาเซอร์คาเรียในปูนา

4. นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ [9]

การคำนวณค่าความชุกชุม (Prevalence)

Prevalence หมายถึง เปอร์เซนต์ของประชากรของโฮสต์ที่พบพยาธิชนิดที่กำลังศึกษาเป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างโฮสต์

วิธีการคำนวณหา เปอร์เซนต์ Prevalence

$$\% \text{ Prevalence} = \frac{\text{จำนวนสัตว์น้ำที่ตรวจพบพยาธิ} \times 100}{\text{จำนวนสัตว์น้ำทั้งหมดที่ตรวจ}}$$

การคำนวณความหนาแน่น (Mean Intensity)

Mean Intensity คือ ค่าความหนาแน่นของปรสิตที่พบในโฮสต์สื่อกลาง 1 ตัว

วิธีการคำนวณหา Mean Intensity

$$\text{Mean Intensity} = \frac{\text{ปรสิตที่พบ}}{\text{จำนวนสัตว์น้ำทั้งหมดที่พบปรสิต}}$$

ผลการวิจัย

1. การศึกษาการระบาดของพยาธิใบไม้ลำไส้ *Microphaloides* spp. ในจังหวัดนครพนม

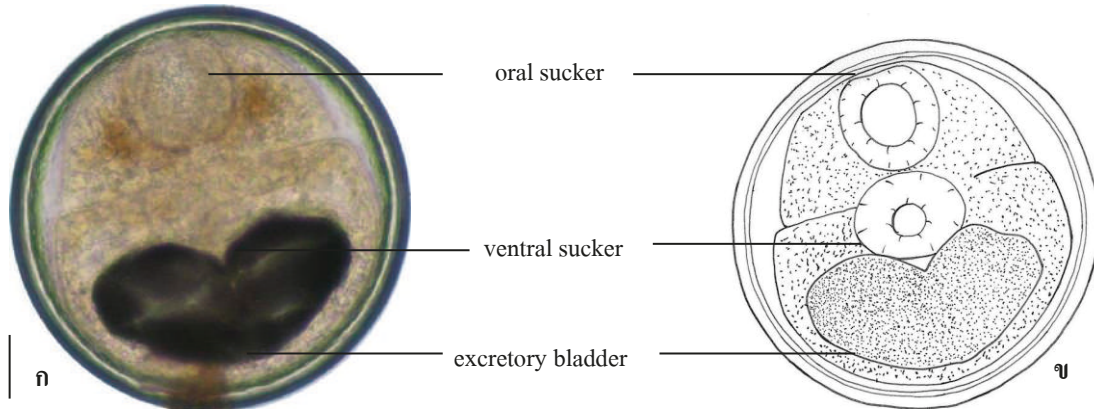
จากการศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา ในจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ ทำการเก็บตัวอย่างปูนา โดยวิธีสุ่มเก็บด้วยมือ จากการเก็บตัวอย่างปูทั้งหมด 434 ตัว พบความชุกรวมของการติดพยาธิในปูนา เท่ากับ 50.46% โดยอำเภอเมือง มีความชุกสูงสุด เท่ากับ 87.09% รองลงมาคืออำเภอเรณูนคร อำเภอโพนสวรรค์ และอำเภอนาหว้า มีความชุกเท่ากับ 83.33% 80.00% และ 77.27% ตามลำดับ ขณะที่อำเภอบ้านแพง มีความชุกน้อยที่สุด เท่ากับ 6.9 % เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความหนาแน่น (Intensity) ของพยาธิ พบว่าอำเภอโพนสวรรค์ มีความหนาแน่นมากที่สุด เท่ากับ 200.38 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว รองลงมาคือ อำเภอนาแก อำเภอธาตุพนม และอำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 197.42 178.20 และ 129.44 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ตามลำดับ ขณะที่อำเภอศรีสงคราม มีความหนาแน่นน้อยที่สุด เท่ากับ 10.60 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. มีอัตราการระบาดที่สูงในพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยเฉพาะอำเภอเมืองทำให้ประชาชนในพื้นที่มีอัตราเสี่ยงที่ติดพยาธิชนิดนี้สูงตามไปด้วย เพื่อให้เห็นผลการศึกษาที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแพร่กระจายของหนอนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียในปูนาจากจังหวัดนครพนม

จุดเก็บ ตัวอย่าง (อำเภอ)	จำนวน ปูนาที่ตรวจ (ตัว)	จำนวนปูนาที่ตรวจพบ metacercaria (ตัว)	จำนวน metacercaria (เม็ด)	% prevalence	intensity
ท่าอุเทน	29	9	281	31.03	31.22
ธาตุพนม	38	15	2,673	39.47	178.20
นาแก	32	19	3,751	59.37	197.42
นาทม	30	12	83	40.00	6.91
นาหว้า	44	34	3,614	77.27	106.29
บ้านแพง	43	3	372	6.97	124.00
ปลาปาก	56	32	3,159	57.14	98.71
โพนสวรรค์	20	16	3,206	80.00	200.38
เมือง	31	27	3,495	87.09	129.44
เรณูนคร	36	30	700	83.33	23.33
วังยาง	38	12	350	31.57	29.16
ศรีสงคราม	37	10	106	27.02	10.60

2. การศึกษาสัณฐานวิทยาของพยาธิใบไม้ลำไส้ *Microphaloides* spp. ในปูนาจากจังหวัดนครพนม

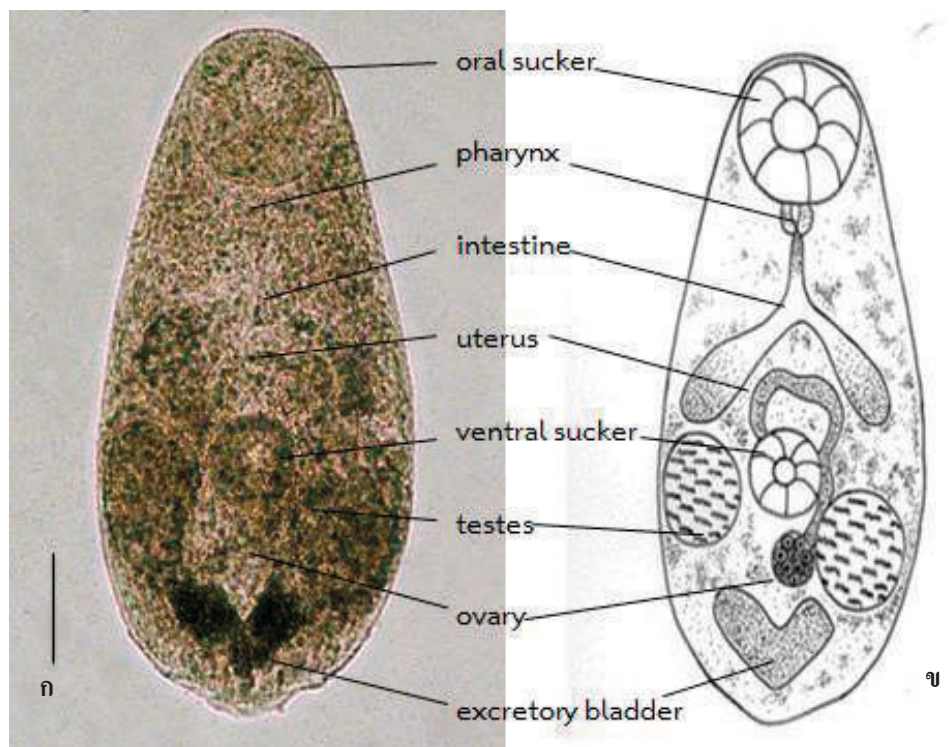
ลักษณะทั่วไป metacercaria (*Microphaloides* spp.) เป็นมีดกลมลักษณะสีน้ำตาลเหมือนเม็ดสาธู มี oral sucker และ ventral sucker มี excretory bladder สีดำเข้ม (ภาพที่ 3) พบในปูนา บริเวณตับอ่อน และมีการกระจายโดยทั่ว



ภาพที่ 3 ตัวอ่อนระยะ metacercaria ของพยาธิใบไม้ *Microphaloides* spp.

(ก) ภาพถ่าย (ข) ภาพวาด scale bar = 0.01 mm

เมื่อทำการบีบหรือทิ่มแทงเมือของ Metacercaria ให้แตก (Excyst) พบว่า ตัวอ่อนจะมีลักษณะคล้ายตัวเต็มวัย ลักษณะทั่วไป ลำตัวรูปไข่ มี oral sucker อยู่ด้านหน้าลำตัว มี intestine สั้น ๆ ต่อจาก pharynx คั่นระหว่าง oral sucker กับ ventral sucker มี testes 1 คู่ และ ovary 1 อัน มีที่เก็บของเสียเรียกว่า bladder (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 Excyst Metacercaria พยาธิใบไม้ *Microphaloides* spp. ที่พบในปูนา

(ก) ภาพถ่าย (ข) ภาพวาด scale bar = 0.01 mm

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียในปลาน้ำจืดในเขตจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ มีความชุกรวมของการติดพยาธิ เท่ากับ 50.46% ซึ่งพบว่าอำเภอเมือง มีค่าความชุกสูงที่สุด เท่ากับ 87.09% รองลงมาคือ อำเภอเรณูนคร มีค่าความชุกเท่ากับ 83.33% ส่วนอำเภอบ้านแพง มีค่าความชุกน้อยที่สุด เท่ากับ 6.97% เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น (Intensity) ของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย พบว่าอำเภอโพนสวรรค์ มีความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาคือ อำเภอนาแก และอำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 160.30 117.21 และ 112.74 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าความชุกของพยาธิมากที่สุดส่วนใหญ่เป็นระบบนิเวศน้ำนิ่ง ซึ่งการแพร่กระจายพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย มีการแพร่กระจายในวงกว้าง ถ้าประชาชนมีการบริโภคปลาน้ำจืดที่ดิบหรือบริโภคไม่ถูกวิธี อาจได้รับพยาธิใบไม้ระยะติดต่อเข้าสู่ร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคพยาธิใบไม้ในระบบต่างๆ ของร่างกายได้ สอดคล้องกับนักวิจัยอื่นที่ได้ศึกษาการแพร่กระจายของตัวอ่อนหนอนพยาธิในสัตว์น้ำบริเวณแหล่งน้ำในเขตบ้านกุดข้าวปุ้น และบ้านขามเฒ่า อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ทำการสุ่มตรวจหนอนพยาธิในสัตว์น้ำ ได้แก่ หอยขม หอยคัน ปลาน้ำจืด และกุ้งฝอย จำนวน 442 ตัว ตรวจพบสัตว์น้ำติดเชื้อ จำนวน 61 ตัว คิดเป็นร้อยละ 1.38% จัดจำแนกได้ 3 รูปแบบ คือ Amphistome cercaria, Xiphidio cercaria และ matacercaria (*Microphaloides* sp.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความชุกของตัวอ่อนหนอนพยาธิ พบว่า matacercaria (*Microphaloides* sp.) มีค่าความชุกมากที่สุดรองลงมาคือ Amphistome cercaria และ Xiphidio cercaria ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.98% 1.66% และ 0.91% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายของตัวอ่อนของหนอนพยาธิ มีการแพร่กระจายเป็นวงกว้าง หากประชาชนมีการบริโภคสัตว์น้ำที่ดิบหรือมีการบริโภคที่ไม่ถูกวิธี อาจได้รับการติดหนอนพยาธิเข้าสู่ร่างกายได้ ส่งผลทำให้เกิดโรคในระบบต่างๆ ของร่างกาย [10]

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอัตราการติดพยาธิในสัตว์น้ำอื่นๆ เช่น สัตว์ประติณในปลาน้ำจืดจากภาคตะวันออก เฉียงเหนือ 4 แหล่งน้ำ 3 จังหวัด ได้แก่ เขื่อนลำนางรอง จังหวัดนครราชสีมา เขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เขื่อนน้ำอูน และบึงหนองหาน จังหวัดสกลนคร พบว่าปลาในแหล่งน้ำดังกล่าวหลายชนิดเป็นโฮสต์กึ่งกลางชนิดที่สองของพยาธิใบไม้ลำไส้และพยาธิใบไม้ตับ พบตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียในปลา 304 ตัว จาก 870 ตัว คิดเป็นร้อยละ 34.9% โดยปลาที่พบว่ามีเมตาเซอร์คาเรีย 10 ชนิด 274 ตัวอย่าง (90.13%) เป็นปลาในวงศ์ Cyprinidae ปลาในวงศ์นี้มีรายงานว่า เป็นโฮสต์กึ่งกลางชนิดที่สองที่สำคัญของปรสิตหลายชนิดที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ ได้แก่ พยาธิใบไม้ตับ และพยาธิใบไม้ลำไส้ เช่น *Haplorchis taichui*, *Haplorchoides* sp. [11] ขณะที่ ทางภาคเหนือได้มีการศึกษาการระบาดของพยาธิในปลา พบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียของพยาธิใบไม้ จำนวน 5 ชนิด แบ่งเป็นพยาธิใบไม้วงศ์ Heterophyidae 4 ชนิด ได้แก่ *Haplorchis taichui*, *Haplorchoides* sp., *Stellantchasmus falcatus* และ *Centrocestus caninus*. และพยาธิใบไม้วงศ์ Diplostomatidae 1 ชนิด ได้แก่ *Posthodiplostomum* sp. โดยพบว่าจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอแม่แตง มีค่าความชุกรวมของพยาธิสูงที่สุด เท่ากับ 68.00% และจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอดอยเต่า มีค่าความชุกรวมน้อยที่สุด เท่ากับ 33.96% สำหรับพยาธิที่มีการระบาดในอัตราที่สูง และ พบทุกจุดเก็บตัวอย่าง คือ *Haplorchoides* sp. และ *H. taichui* การศึกษาการระบาดของ พยาธิในหอย พบตัวอ่อนระยะเซอร์คาเรียของพยาธิใบไม้ ทั้งหมด 8 รูปแบบ คือ xiphidio cercaria, monostome cercaria, distome cercaria, pleurolophocercous cercaria, parapleurolophocercous cercaria, echinostome cercaria, furcocercous cercaria และ transversotrema cercaria สำหรับค่าความชุกรวมของเซอร์คาเรียที่พบในหอยแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่าจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอแม่แตง มีค่าความชุกรวมมากที่สุด เท่ากับ 38.16% รองลงมาคือ จุดเก็บตัวอย่างในอำเภอป่าซาง เท่ากับ 30.65% และจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าความชุกรวมน้อยที่สุด คือ อำเภอพร้าว มีค่าเท่ากับ 11.76% [3, 12]

จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. มีอัตราการระบาดที่สูงในพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยเฉพาะอำเภอเมือง ดังนั้นผลการศึกษาชิ้นนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้บริโภคซึ่งจะได้เป็น

ข้อมูลพื้นฐานเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขโรคที่เกิดจากปรสิตนี้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโดยตรง ลำดับต่อไปจะได้มีการเผยแพร่ข้อมูลแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีการตระหนักในการบริโภคให้มากขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณขันติ จันทร์สดี เจ้าหน้าที่ประจำสาขาประมง ขอขอบคุณผู้ปกครองนักศึกษา นิสิตฝึกสอน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ช่วยอนุเคราะห์ช่วยเหลือเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ประไพศิริ สิริกาญจน รองศาสตราจารย์ ดร.ชโลบล วงศ์สวัสดิ์ อ.ดร.อนวัทย์ ชาติ อ.ดร.วราภรณ์ น้อยโง้ง ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบ แก้ไขให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ได้ช่วยเหลือรวบรวมตัวอย่างปูที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี “การดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรงบประมาณจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนครพนม ประจำปีงบประมาณ 2559” และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนครพนมที่ให้การสนับสนุนการวิจัยด้วยดีตลอดมา คณะผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย อนึ่ง ถ้าหากรายงานการวิจัยนี้มีความบกพร่องประการใด ในนามคณะผู้จัดทำ กราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Morakhott, N. and Suksawat, K. (2003). **Medical Parasitology, Protozoa and Helminths**. Department of Parasitology, Faculty of Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai.
- [2] Radomyos B, Wongsaroj T. and Wilairatana P, (1998). “Opisthorchiasis and intestinal fluke infection in northern Thailand”, **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 29, 123-127.
- [3] Wongsawad, C., Wongsawad, P. and Sukontun, S. (2012). **Molecular biology and geographic distribution of trematodes, Heterophyidae in the Upper Ping River Basin** (Online). Retrieved 24 February 2016, from [http://www. file:///C:/Users/surachai/Downloads/Fulltext%2313_49699.pdf](http://www.file:///C:/Users/surachai/Downloads/Fulltext%2313_49699.pdf).
- [4] Sithithaworn, P., Tesana, S., Pipitgool, V., Kaewkes, S., Pairojgul, C., Sripa, B., Paupairoj, A. and Thaiklar, P. (1991). “Relationship between faecal egg count and worm burden of *Opisthorchis viverrini* in human autopsy cases”, **Journal of Parasitology**. 102, 277-281.
- [5] Wongsawad, C., Rojanapaibul, A. and Mhad-arehin. (2000). “Metacercariae from fresh water fish of Mae Sa stream, Chiang Mai, Thailand”, **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 31, 54-57.
- [6] Kumchoo, K., Wongsawad, C., Chai, J. Y., Vanittanakom, P., Rojanapaibul, A. (2005). “High prevalence of *Haplorchis taichui* metacercariae in cyprinoid fish from Chaing Mai province, Thailand”, **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 36(2), 451-455.
- [7] Janyapeth, C. (Does not appear print year) . **Black Rice Crab** (Online). Retrieved 13 December 2016, from http://www. www.brrd.in.th/main/document/new/ricefield%20crabs_01.pdf.
- [8] Information and Communication Group Nakhon Phanom province office. (2016). **Information in Nakhon Phanom province** (Online). Retrieved 1 December 2016, from <http://www.nakhonphanom.go.th/ nakhonphanom /nakhonphanom53.pdf>.

- [9] Pachanawan, A., Phalee, A. and Phalee, W. (2016). “Distribution and identification of molecular of small intestinal fluke species in black rice crabs”, **Full Research Report**. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. (In Thai)
- [10] Sripet, T. (2012). “Distribution of helminthes intermediate host at Kut Khao Bhoon and Ban Kham Tao, Kham Tao subdistrict, Muang district, Nakhon Phanom”, **Special Problems**. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. (In Thai)
- [11] Phurivirojkul, V. (2011). “Survey of fish species infected with metacercaria from some localities in northeastern Thailand (Online). Retrieved 20 March 2016, from http://www.fishtech.mju.ac.th/fishnew1/journal_ft/AbstractFile/P75-86%20-V5-Y2554.pdf.
- [12] Chantima, K. (2009). “Epidemiology and Distribution of Metacercariae in Cyprinidae Fish from Mae Ngand Somboonchon Dam Chiang Mai Province”, **Project of Bachelor of Science**. Department of Zoology, Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University. (In Thai)

จลนพลศาสตร์และการบำบัดแอมโมเนียของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

Kinetics and Ammonia Treatment of Sediment from White Shrimp

(*Litopenaeus vannamei*) Pond

ธัญรัตน์ มะเสน¹ สุพรรณณี ลิโทชาลิต² ปวีณา ตปนิยวรวงษ์³ สรวิต เผ่าทองสุข⁴ และมะลิวัลย์ คุตะโค^{5*}

Thanyarat Masen¹, Supanee Leethochavalit², Paveena Tapaneeyaworawong³,

Sorawit Powtongsook⁴ and Maliwan Kutako^{5*}

บทคัดย่อ

แหล่งไนโตรเจนหลักที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งมาจากอาหารที่เหลือจากการกินและของเสียอินทรีย์ที่กุ้งปลดปล่อยออกของเสียจะสะสมบริเวณดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง และจุลินทรีย์บริเวณดินพื้นบ่อทำหน้าที่ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของดินตะกอนบ่อเลี้ยงกุ้งในการบำบัดแอมโมเนีย บ่อเลี้ยงกุ้งอยู่ในอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ขนาด 7 ไร่ ให้ผลผลิต 12 ตัน ได้เก็บดินจากบ่อทันทีหลังจากเก็บผลผลิตกุ้ง นำดินมาบรรจุในถัง 10 ซม. (0.37 ตร.ม.) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 30 ลิตร ปริมาตร 20 ลิ. และเติมอากาศตลอด 40 วัน ทดลองบำบัดแอมโมเนียความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0 10 20 30 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. พบว่าการเติมแอมโมเนีย 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด 8.75 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ($P \leq 0.05$) และกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดภายใน 28 วัน ทุกชุดทดลอง โดยแอมโมเนียและไนไตรต์ถูกบำบัดเกือบหมด ส่วนไนเตรตต่ำกว่า 7.97 มก.-ไนโตรเจน/ล. อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด (V_{max}) ที่คำนวณได้เท่ากับ 18.18 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน และ K_s เท่ากับ 92.41 มก.-ไนโตรเจน/ล. อัตราการบำบัดแอมโมเนียนี้สามารถใช้ประเมินความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวได้

คำสำคัญ: จลนพลศาสตร์ การบำบัดแอมโมเนีย ดินตะกอน บ่อเลี้ยงกุ้งขาว

¹ นิสิตปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จันทบุรี 22170

² นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

³ ผู้ช่วยนักวิจัยอาวุโส ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120

⁴ นักวิจัยอาวุโส ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120

⁵ ผศ.ดร., คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จันทบุรี 22170

¹ Undergraduate Student, Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi, 22170

² Scientist, Professional Level, Institute of Marine Science, Burapha University, Chonburi, 20131

³ Senior Research Assistant, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani, 12120

⁴ Principal Researcher, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani, 12120

⁵ Asst. Prof. Dr., Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi, 22170

* Corresponding author: Tel.: 081-6418444. E-mail address: maliwan@buu.ac.th

Abstract

The major sources of nitrogen input to shrimp pond are leftovers and organic waste excreted from shrimp. The wastes are accumulated at the pond bottom. Microorganisms at the surface of pond bottom soil play an important role in nitrogen conversion processes. The purpose of this research was to evaluate the efficiency of ammonia treatment using sediment from shrimp pond located in Thamai, Chanthaburi Province, Thailand. This pond (approximately 7 Rai or 1.12 Ha) had the shrimp production of 12 tons of shrimp per crop. Sediment was immediately collected after shrimp harvesting. Then, sediment was packed into the experimental tanks with 10 cm depth (0.37 m^2), gradually filled with 20 L synthetic wastewater (30 ppt) and continuously aerated for 40 days. Experiment on ammonia treatment was conducted using various ammonia concentrations i.e. 0, 10, 20, 30, 40 and 50 mg-N/L. With 50 mg-N/L ammonia addition, the highest ammonia treatment rate at 8.75 mg-N/L/day was detected which was significantly higher than other treatment tanks ($P \leq 0.05$). For all treatment tanks, the complete nitrification of the sediment occurred in 28 days incubation as the ammonia and nitrite were nearly eliminated while nitrate was remained at low concentration ($< 7.97 \text{ mg-N/L}$). The calculation of the maximum ammonia removal rate ($V_{\max}$) was 18.18 mg-N/L/day and K_s was 92.41 mg-N/L. Ammonia removal kinetics of sediment can be further used to evaluate the carrying capacity of shrimp pond.

Keywords: Kinetics, Ammonia Treatment, Sediment, White Shrimp Pond

บทนำ

การเลี้ยงกุ้งทะเลในบ่อดินมักพบของเสียสะสมที่บริเวณดินก้นบ่อ ซึ่งอาหารที่เหลือจากการกินของสัตว์น้ำถือเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ไนโตรเจน โดยไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารที่สัตว์น้ำกินมีเพียงร้อยละ 20-30 ที่สามารถสะสมในตัวสัตว์น้ำ ส่วนไนโตรเจนมากถึงร้อยละ 70-80 จะถูกขับถ่ายออกและสะสมอยู่ทั้งในมวลน้ำและดินพื้นบ่อ [1] แต่ในดินพื้นบ่อจะมีกระบวนการทางชีวธรณีเคมี (Biogeochemical Processes) ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนและกำจัดไนโตรเจนออกจากบ่อได้ ของเสียอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแหล่งปลดปล่อยแอมโมเนียเพราะจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (Heterotroph Microorganisms) ที่อาศัยในดินจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนและผลิตแอมโมเนียออกมาสู่มวลน้ำ แอมโมเนียในช่วง 0.2-2 มก.-ไนโตรเจน/ล. อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้ [1] แต่แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อดินจะถูกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) เปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์และไนเตรต ตามลำดับ ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification Process) อีกทั้งในชั้นของดินตะกอนมีจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดไนเตรตออกจากบ่อได้ด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification Process) [2] โดยทั่วไปเมื่อเกษตรกรจบการเลี้ยงกุ้งในแต่ละรอบแล้วเกษตรกรจะมีการจัดการของเสียที่สะสมที่พื้นบ่อโดยการฉีดเลนเพื่อกำจัดของเสียที่สะสมบริเวณพื้นบ่อ จากนั้นตากบ่อให้แห้งซึ่งวิธีนี้ทำได้ง่าย การผึ่งและตากบ่อด้วยแสงแดดจะช่วยเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์และลดจำนวนแบคทีเรียก่อโรคที่อยู่ในดินตะกอน แต่การตากบ่อก็จะส่งผลในการลดจำนวนแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น ไนตริไฟอิงแบคทีเรียและดีไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Denitrifying Bacteria) ซึ่งมีบทบาทสำคัญมากในวัฏจักรไนโตรเจนของระบบบ่อดิน แบคทีเรียดังกล่าวจะสามารถคืนสภาพขึ้นมาได้อีกครั้งหลังจากการเติมน้ำลงในบ่อและจัดให้มีระยะเวลาบ่มเชื้อที่เพียงพอ [3-4] โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มแอมโมเนียออกซิไดซิง (Ammonia Oxidizing Bacteria) ซึ่งต้องการระยะเวลาบ่มเชื้อนานหลายสัปดาห์เพื่อคืนสภาพกลับมาทำหน้าที่บำบัดแอมโมเนีย ในบ่อเลี้ยงปริมาณแอมโมเนียจะแปรผันตามความหนาแน่นของการเลี้ยงสัตว์น้ำ [1] โดยบ่อที่เลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นสูงก็จะต้องมีกิจกรรมของแอมโมเนียออกซิไดซิงที่เพียงพอ ไม่งั้นนั้นจะเกิดการสะสมของแอมโมเนียในน้ำส่งผลความเป็นพิษต่อกุ้งที่เลี้ยง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่ทำการเก็บ

เกี่ยวกัอยู่แล้ว และยังไม่ได้ดำเนินการฝั่งบ่อมาทดสอบการบำบัดของเสียในโตรเจนในรูปแบบของแอมโมเนีย โดยทดลองเดิมแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อทราบถึงจลนพลศาสตร์ของอัตราการบำบัดแอมโมเนียของจุลินทรีย์ในดินพื้นบ่อกึ่ง สำหรับเป็นข้อมูลเพื่อประเมินศักยภาพการรองรับ (Carrying Capacity) ของแอมโมเนียในระบบบ่อเลี้ยงกึ่งต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

ดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้ทดลอง

ดินที่ใช้ทดลองเป็นดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ตั้งอยู่ที่ตำบลตะกวด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี (พิกัด 12°34'36"N, 101°59'56"E) ที่เลี้ยงกุ้งนาน 4 เดือน และเก็บเกี่ยวผลผลิตกุ้งขนาด 68 ตัว/กก. ได้ประมาณ 12 ตัน ขนาดบ่อประมาณ 7 ไร่ คิดเป็นผลผลิตกุ้ง 1.07 กก./ตร.ม. หรือประมาณ 73 ตัว/ตร.ม. ทำการเก็บดินตะกอนพื้นบ่อทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตเสร็จ สุ่มเก็บดินตะกอนให้ทั่วบ่อโดยชุดเก็บดินให้มีความลึก 10 ซม. ผสมดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน และวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ [5] และอนุภาคดิน (Soil Texture) โดยใช้ Hydrometer [6]

อัตราการบำบัดแอมโมเนียและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชันในถังบรรจุดินพื้นบ่อ

บรรจุดินลงในถังพลาสติกทึบแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 68.5 ซม. จำนวน 18 ถัง ให้ดินมีความหนา 10 ซม. (พื้นที่ผิวดิน 0.37 ตร.ม.) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณลักษณะคล้ายน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ [7] ที่เตรียมจากน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที จากนั้นเติมน้ำเสียถึงละ 20 ล. และแบ่งการทดลองเป็นชุดควบคุม เติมน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียมคลอไรด์ (0 มก.-ในโตรเจน/ล.) และชุดทดลองเติมน้ำเสียที่มีสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มก.-ในโตรเจน/ล. แต่ละชุดทำ 3 ซ้ำ ระหว่างทดลอง 40 วัน ได้เติมอากาศตลอดเวลาและเก็บน้ำเพื่อวัดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ด้วยวิธี Phenate และ Griess-Ilosvay Diazotization ตามลำดับ [8] และวิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธี UV-Visible Screening [9] ตรวจวัดอุณหภูมิและ pH ในน้ำด้วย pH Meter (รุ่น CONSORT C532x) วัดปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยใช้ DO Meter (รุ่น DO 200, YSI INC) และค่าโออาร์พี (Oxidation-Reduction Potential, ORP) ด้วย ORP Meter (รุ่น HI98240, Hanna) วัดค่าอัลคาไลน์ิตีด้วย PARA Alkalinity Test และวัดความเค็มด้วย Refractometer (Atago S-8, Japan) ในวันสุดท้ายของการทดลองได้ตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ในดิน [5] จากนั้นนำข้อมูลปริมาณแอมโมเนียในแต่ละชุดการทดลองมาคำนวณหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียได้จากสมการที่ (1) ดังนี้ [10]

$$V = \frac{(S_0 - S_t)}{(T_0 - T_t)} \quad (1)$$

เมื่อ V คือ อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (มก.-ในโตรเจน/ล./วัน หรือ มก.-ในโตรเจน/ตร.ม./วัน) และ S_0 คือ ปริมาณแอมโมเนีย ณ เวลา T_0 (มก.-ในโตรเจน/ล. หรือ มก.-ในโตรเจน/ตร.ม.) ส่วน S_t คือ ปริมาณแอมโมเนีย ณ เวลา T_t (มก.-ในโตรเจน/ล. หรือ มก.-ในโตรเจน/ตร.ม.) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนและความแตกต่างของอัตราการบำบัดแอมโมเนียในถังดินที่เติมแอมโมเนียความเข้มข้นแตกต่างกัน ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามลำดับ หลังจากได้ค่าอัตราการบำบัดแอมโมเนีย (V) นำค่าดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (S) และสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) [10]

$$V = \frac{(V_{\max} \times S)}{(K_s + S)} \quad (2)$$

โดยที่ $V_{\max}$ คือ อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด (มก.-ในโตรเจน/ล./วัน หรือ มก.-ในโตรเจน/ตร.ม./วัน) และ S คือ ปริมาณแอมโมเนีย (มก.-ในโตรเจน/ล./วัน หรือ มก.-ในโตรเจน/ตร.ม.) และ K_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์กึ่งที่ (มก.-ในโตรเจน/ล./

วัน หรือ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม.) ทั้งนี้การคำนวณ $V_{\max}$ และ K_s นั้น ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง S และ S/V โดยที่ $V_{\max} = 1/\text{slope}$ และ $K_s = \text{จุดตัดแกน X}$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ลักษณะของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

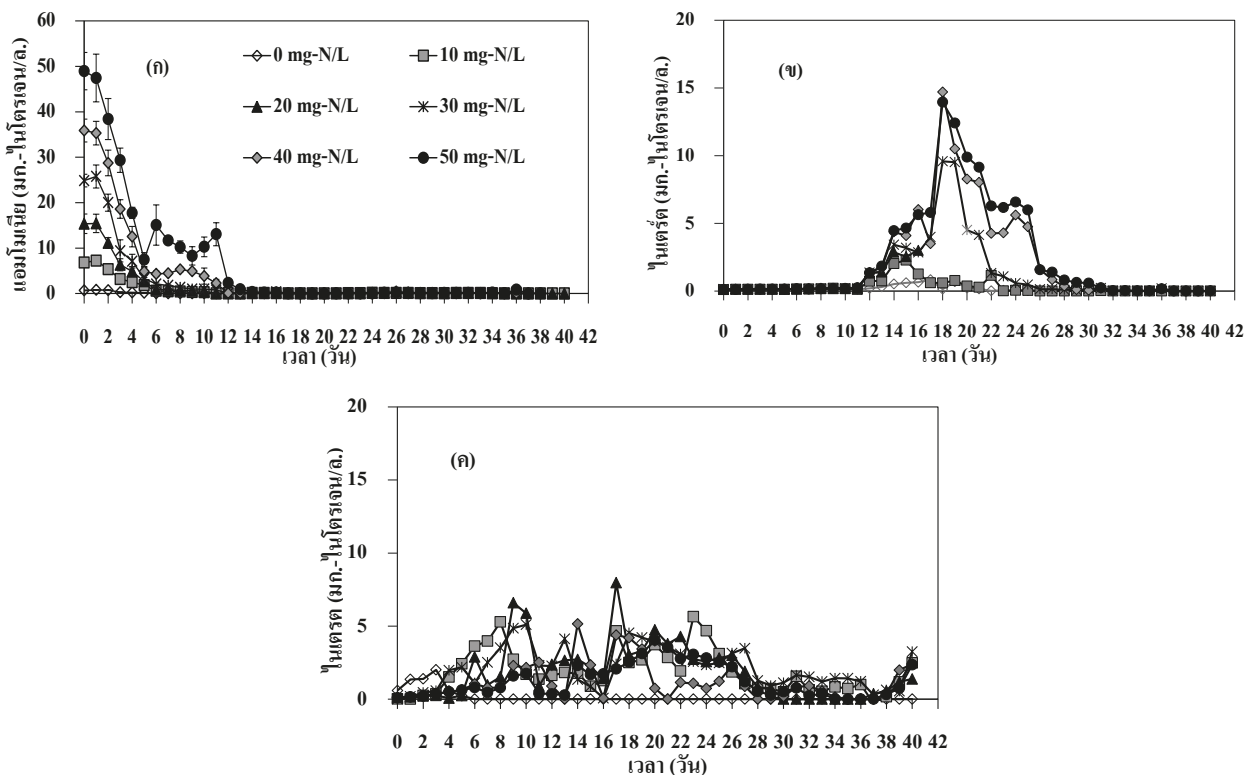
บริเวณผิวหน้าดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ความลึกของดิน 2-3 ซม. เป็นดินตะกอนสีดำ แสดงให้เห็นว่าเป็นบริเวณที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic Zone) ซึ่งมักจะอุดมไปด้วยสารอินทรีย์และเฟอร์รัส (Fe^{2+}) [11] และดินชั้นที่ลึกลงไปมีสีเทาแกมเหลือง ดินมีอนุภาคดินทราย (Sand) ดินทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay) ร้อยละ 53.37 5.66 และ 40.98 ตามลำดับ จัดเป็นดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) ดินพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีอนุภาคดินเหนียวอย่างน้อยร้อยละ 20-30 [12] แต่บ่อเลี้ยงกุ้งที่ได้นำดินมาใช้ทดลองครั้งนี้มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูง ซึ่งอาจยากต่อการพลิกหน้าดินเพื่อผึ่งและทำให้แห้ง หลังจากเก็บผลผลิตกุ้งขาวและถ่ายน้ำออกจากบ่อแล้วเกษตรกรจึงตากบ่อโดยให้พื้นบ่อรับแสงแดดนาน 1 สัปดาห์ โดยไม่ฉีดเลนออกจากบ่อ แล้วจึงเติมน้ำเข้าสู่บ่อพร้อมทั้งเตรียมสื่อน้ำก่อนที่จะปล่อยกุ้งในรอบต่อไป

การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในถังบรรจุดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง

ถึงแม้ว่าไม่มีการเติมแอมโมเนียลงในถังควบคุม แต่พบแอมโมเนียสูงสุด 0.81 มก.-ไนโตรเจน/ล. (ภาพที่ 1ก) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ต้องระวังเพราะอาจส่งผลกระทบต่อกุ้งได้ ทั้งนี้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีแอมโมเนียต่ำกว่า 0.2-2 มก.-ไนโตรเจน/ล. ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ ขนาดสัตว์น้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อม [1] สาเหตุที่พบแอมโมเนียในถังที่ไม่เติมแอมโมเนียเพราะดินพื้นบ่อเป็นแหล่งสะสมของเสียสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งดินที่นำมาทดลองมีสารอินทรีย์ร้อยละ 9.96 ± 0.83 และจุลินทรีย์ธรรมชาติที่อาศัยในดินสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนและเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย เรียกกระบวนการนี้ว่าแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) [13] ในวันที่สิ้นสุดการทดลองจึงพบปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในถังทดลองมีค่าลดลง (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ทั้งนี้ในแหล่งน้ำธรรมชาติและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีอัตราการเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันในช่วง 0.001–59 มก.-ไนโตรเจน/ลบ.ม./วัน [14-15] อย่างไรก็ตามภายใน 5 วัน ปริมาณแอมโมเนียก็อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ

เมื่อเติมแอมโมเนียให้มีความเข้มข้น 10-50 มก.-ไนโตรเจน/ล. เพื่อเป็นตัวแทนของเสียไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ พบว่าแอมโมเนียลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในทุกชุดการทดลอง และการเติมแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 10 20 และ 30 มก.-ไนโตรเจน/ล. พบแอมโมเนียลดลงต่ำกว่า 0.2 มก.-ไนโตรเจน/ล. ในวันที่ 11 12 และ 13 แต่แอมโมเนียความเข้มข้นสูง 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. ต้องใช้เวลาบำบัดแอมโมเนียให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำนานกว่า โดยใช้เวลา 13 และ 15 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 2ก) ซึ่งให้เห็นว่าหากมีปริมาณแอมโมเนียสูงก็จะใช้ระยะเวลาบำบัดนานกว่าความเข้มข้นต่ำ การที่แอมโมเนียลดลงอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น ซึ่งในการทดลองได้เติมอากาศอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณออกซิเจนในน้ำ ORP และอัลคาไลน์ดีไม่ต่ำกว่า 5 มก./ล. 70 มิลลิโวลต์ และ 100 มก. $CaCO_3$ /ล. ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย [16] ดังนั้นขั้นตอนแรกของไนตริฟิเคชันจะส่งผลให้แอมโมเนียลดลง เพราะเกิดปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชัน (Ammonia Oxidation) เปลี่ยนแอมโมเนียให้สะสมอยู่ในรูปของไนไตรต์ [16] หลังจากแอมโมเนียลดลงจะพบไนไตรต์สะสมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1ข) จนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงกว่า 0.3 มก.-ไนโตรเจน/ล. ซึ่งเป็นระดับที่อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ [1] การเติมแอมโมเนีย 10 20 30 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. พบว่าไนไตรต์สูงกว่า 0.3 มก.-ไนโตรเจน/ล. ในวันที่ 13 และลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำในวันที่ 20 21 25 28 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ ไนไตรต์สะสมสูงมากกว่า 10 มก.-ไนโตรเจน/ล. เมื่อเติมแอมโมเนีย 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. จึงเห็นได้ว่าหากเติมแอมโมเนียความเข้มข้นสูงต้องใช้เวลาบำบัดไนไตรต์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำนานกว่า

ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า และการที่ไนไตรต์ลดลงอาจเป็นเพราะปฏิกิริยาไนไตรต์ออกซิเดชัน (Nitrite Oxidation) ที่เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถเปลี่ยนไนไตรต์ให้เป็นไนเตรต (Nitrite Oxidizing Bacteria) [16] ตามทฤษฎีเมื่อเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์ (Complete Nitrification) จะไม่พบแอมโมเนียและไนไตรต์ แต่พบการสะสมของไนเตรต [16] เพราะกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนจากรูปของแอมโมเนียและไนไตรต์ที่มีความเป็นพิษสูงกลายเป็นไนเตรตที่มีความเป็นพิษต่ำแต่ผลการทดลองนี้พบไนเตรตสะสมต่ำกว่า 7.97 มก.-ไนโตรเจน/ล. ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 1ค) ซึ่งการที่ไม่พบแอมโมเนียและไนไตรต์อาจเนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน เพราะสภาพที่ใส่ทดลองมีความเหมาะสมต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน [16-17] ส่วนไนเตรตที่พบสะสมในปริมาณน้อยตลอดการทดลองอาจเนื่องจากมีกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในชั้นดินที่ลึกลงไปโดยเกิดควบคู่กับกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในมวลน้ำหรือหน้าดินที่ได้รับออกซิเจน ทั้งนี้ดินบริเวณที่ไร้ออกซิเจนจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้โดยบำบัดไนเตรตและไนไตรต์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน จึงถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างสมบูรณ์ [15]



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนปริมาณแอมโมเนีย (ก) ไนไตรต์ (ข) และไนเตรต (ค) ในถังบรรจุดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่เติมแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0-50 มก.ไนโตรเจน/ล.

อัตราการบำบัดแอมโมเนียและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชัน

ถังดินพื้นบ่อหลังการเลี้ยงกุ้งที่บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่เติมแอมโมเนีย และเติมแอมโมเนียเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 0.12 1.02 2.49 3.47 6.17 และ 8.75 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน หรือ คิดเป็น 6.63 54.76 134.49 187.25 332.68 และ 471.60 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งอัตราการบำบัดจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น โดยถังดินที่เติมแอมโมเนีย 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดสูงกว่าการเติมแอมโมเนียที่ความเข้มข้นอื่น ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ดินที่นำมาทดลองได้มาจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีผลผลิต 1.07 กก./ตร.ม. หรือ ประมาณ 73 ตัว/ตร.ม. คิดเป็น 116,800 ตัว/ไร่ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นเหมาะสมตามที่กรมประมงได้

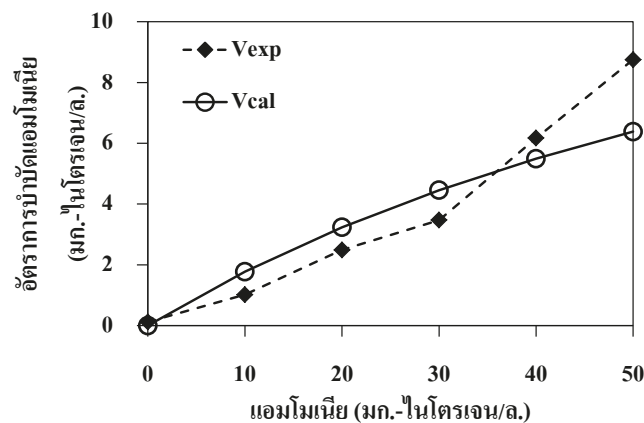
แนะนำไว้ การเลี้ยงกุ้งที่มีความหนาแน่น 1 กก./ตร.ม. ในบ่อที่มีความลึก 1 ม. จะทำให้เกิดแอมโมเนียขึ้นในน้ำได้ประมาณ 2.28 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน ซึ่งอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อยังมีความสามารถในการรองรับของเสียจากการเลี้ยงกุ้งนี้ได้ ทั้งนี้แอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียรวมทั้งจุลินทรีย์ในกลุ่มแอมโมเนียออกซิไดซิงอาร์เคีย (Ammonia Oxidizing Archaea) จะมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความหลากหลายและชนิดของจุลินทรีย์ รวมถึงปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของดินด้วย เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ ความชื้น ค่าอัตราแลกเปลี่ยน ความเค็มและอุณหภูมิของดิน [2-3, 14, 17] บ่อเลี้ยงกุ้งที่นำดินมาใช้ทดลองครั้งนี้ เกษตรกรได้เตรียมบ่อเพื่อเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไปด้วยวิธีฝังบ่อนาน 1 สัปดาห์ จากนั้นเติมน้ำให้มีความลึกครึ่งบ่อ พักน้ำไว้เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน และใส่กากขี้เพื่อกำจัดหอย ปูและปลา ส่วนสาเหตุที่เกษตรกรเตรียมบ่อด้วยวิธีนี้เพราะเป็นช่วงฤดูฝนจึงไม่สามารถตากบ่อได้นานและพื้นบ่อเป็นดินเหนียวซึ่งยากต่อการพลิกหน้าดิน ดินตะกอนจึงอาจจะมีค่าความชื้นสูงและส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดี ส่วนการตากแดดดินสามารถฆ่าจุลินทรีย์และทำให้กิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ลดลง โดย [18] พบว่าดินเปียกมีอัตราการบำบัดแอมโมเนีย 2.22 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ก.ดิน/วัน ซึ่งสูงกว่าดินแห้งที่มีค่า 1.70 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ก.ดิน/วัน นอกจากนี้ปริมาณของเสียไนโตรเจนก็มีผลต่ออัตราการบำบัดแอมโมเนียด้วยเช่นกัน ในการทดลองครั้งนี้ ดินพื้นบ่อที่เติมแอมโมเนียเข้มข้นสูงถึง 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม หากปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไป โดยอยู่ในช่วง 1,050-2,800 มก.-ไนโตรเจน/ล. จะยับยั้งการทำงานของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียได้ [19]

ตารางที่ 1 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณแอมโมเนียแตกต่างกัน โดยที่อักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Ammonia Concentration (mg-N/L)	Ammonia Removal Rate	
	(mg-N/L/day)	(mg-N/m ² /day)
0	0.12 ± 0.00 ^f	6.63 ± 0.07 ^f
10	1.02 ± 0.18 ^e	54.76 ± 9.60 ^e
20	2.49 ± 0.18 ^d	134.49 ± 9.89 ^d
30	3.47 ± 0.10 ^c	187.25 ± 5.26 ^c
40	6.17 ± 0.38 ^b	332.68 ± 20.56 ^b
50	8.75 ± 0.50 ^a	471.60 ± 26.77 ^a

หมายเหตุ ^{a-f} แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชันที่เกิดจากจุลินทรีย์ในดินพื้นบ่อ พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียแปรผันตามปริมาณแอมโมเนีย (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในน้ำเสียและดิน [18] โดยอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่ได้จากการทดลอง (V_{exp}) และจากการคำนวณ (V_{cal}) จากสมการข้างต้น [10] พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำเสียมียปริมาณแอมโมเนียสูง โดย V_{max} ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 18.18 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน คิดเป็น 980.15 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และ K_s มีค่าเท่ากับ 92.41 มก.-ไนโตรเจน/ล. ทั้งนี้ค่า V_{max} แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำงานของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียได้ ส่วนค่า K_s เป็นค่าความเข้มข้นของซับสเตรต (Substrate) ที่ให้อัตราความเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด ทั้งนี้ค่า K_s จากการทำงานของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในทะเลและน้ำเสียอาจพบได้ในช่วง 0.14 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ล. ถึง 14 มก.-ไนโตรเจน/ล. [18-19]



ภาพที่ 2 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินพื้นบ่อหลังจากเก็บเกี่ยวกุ้งขาว โดยทดลองเติมแอมโมเนียความเข้มข้นแตกต่างกัน
ทั้งนี้ V_{exp} และ V_{cal} คือ อัตราการบำบัดแอมโมเนียที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การเติมแอมโมเนีย 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. ส่งผลให้ดินบำบัดแอมโมเนียได้สูงสุดถึง 8.75 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน หรือ 471.60 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และใช้เวลาบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ภายในเวลา 30 วัน ส่วนไนเตรตสะสมในปริมาณต่ำกว่า 7.97 มก.-ไนโตรเจน/ล. และจากการคำนวณหาตัวแปรทางจลนพลศาสตร์พบว่า ดินมีค่า V_{max} เท่ากับ 18.18 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน คิดเป็น 980.15 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และ K_s มีค่าเท่ากับ 92.41 มก.ไนโตรเจน/ล. จึงเห็นได้ว่าดินพื้นบ่อหลังจากเก็บเกี่ยวกุ้งขาวสามารถบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันควบคู่กับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้น เมื่อเกษตรกรจบการเลี้ยงกุ้งและฝังบ่อนานประมาณ 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นควรเติมน้ำเข้าบ่อ โดยรักษาค่าอัลคาไลน์ดีและออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้สูงกว่า 100 มก. $CaCO_3$ /ล. และ 5 มก./ล. ตามลำดับ นาน 1 เดือน เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อกุ้งที่จะเลี้ยงในรอบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Weaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. (2002). **Recirculating Aquaculture systems**. 2nd edition, Cayuga Aqua Ventures, USA.
- [2] Kutako, M., Limpiyakorn, T., Luepromchai, E., Powtongsook, S. and Menasveta, P. (2009). "Inorganic nitrogen conversion and changes of bacterial community in sediment from shrimp pond after methanol addition", **Journal of Applied Sciences**. 9(16), 2907-2915.
- [3] Fiere, N. and Schimel, J.P. (2002). "Effect of drying-rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations", **Soil Biology & Biochemistry**. 34, 777-787.
- [4] Franzluebbers, K., Weaver, R.W., Juo, S.R. and Franzluebbers, A.J. (1994). "Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil", **Soil Biology & Biochemistry**. 26, 1376-1387.
- [5] APHA. (1992). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18th edition, Maryland, USA: American Public Health Association.

- [6] Web, J.B. (1977). **Soil Properties, Herbicide Sorption and Model Soil Systems**. In: Research Methods in Weed Science, 2nd edition (ed. B. Truelove), Southern Weed Science Society, Auburn.
- [7] Visvanathan, C., Hung, N.Q. and Jegatheesan, V. (2008). "Hydrogenotrophic denitrification of synthetic aquaculture wastewater using membrane bioreactor", **Process Biochemistry**. 43, 673-682.
- [8] Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972). **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. Fishery Research Board of Canada. Ottawa.
- [9] AOAC. (2000). **Nitrogen (Nitrate and Nitrite) in Animal Feed**. In: Horowitz, W (ed). Official methods of analysis of the AOAC, 17th edition, Washington.
- [10] Aslan, S. and Kapdan, I.K. (2006). "Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae", **Ecological Engineering**. 28, 64-70.
- [11] Sonnenholzner, S. and Boyd, C.E. (2000). "Chemical and Physical Properties of Shrimp Pond Bottom Soils in Ecuador", **Journal of the World Aquaculture Society**. 31(3), 358-375.
- [12] Boyd, C.E. and Bowman, J.R. (1997). **Pond Bottom Soils**. In: H.S. Egna and C.E. Boyd (Editors), Dynamics of Pond Aquaculture. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [13] Steeby, J.A., Hargreaves, J.A. Tucker, C.S. and Kingsbury, S. (2004). "Accumulation, organic carbon and dry matter concentration of sediment in commercial channel catfish ponds", **Aquacultural Engineering**. 30, 115-126.
- [14] Kroom, M.D. (1991). "Importance of benthic productivity in controlling the flux of dissolved inorganic nitrogen through the sediment-water interface in a hypertrophic marine ecosystem", **Marine Ecology Progress Series**. 78, 163-172.
- [15] Gross, A., Boyd, C.E. and Wood, C.W. (2000). "Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds", **Aquacultural Engineering**. 24, 1-14.
- [16] McCarty, G.W. (1999). "Modes of action of nitrification inhibitors", **Biology and Fertility of Soils**. 29, 1-9.
- [17] Bodelier, P. E., Libochant, J. A., Blom, C.W. P. M. and Laanbroek, H. J. (1966). "Dynamics of nitrification and denitrification in root oxygenated sediments and adaptation of ammonia-oxidizing bacteria to low-oxygen or anoxic habitats", **Applied and Environmental Microbiology**. 62(11), 4100-4107.
- [18] Novem Auyeung, D. S., Martiny, J.B. H. and Dukes, J. S. (2015). "Nitrification kinetics and ammonia oxidizing community respond to warming and altered precipitation", **Ecosphere**. 6(5), 1-17.
- [19] Princic, A., Mahne, I., Megusar, F., Paul, E. A. and Tiedje, J. M. (1998). "Effects of pH and oxygen and ammonium concentrations on the community structure of nitrifying bacteria from wastewater", **Applied and Environmental Microbiology**. 64(10), 3584-3590.

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และค่าคุณภาพซากของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริม ใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างๆ

Growth Performance and Carcass Quality in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Supplemented *Acacia mangium* Meal and Fibrolytic Enzyme in Diets

วรพงษ์ นลินานนท์^{1*} และสาชล เลิศสุวรรณ¹

Warrapong Nalinanon^{1*} and Saichon Lerdsuwan¹

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการใช้อาหารเสริมใบกระถินเทพาปน (AM) และเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพซากในปลานิลวัยอ่อน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ที่มี 6 กลุ่มๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 20 ตัว โดยอาหารทดลองประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 อาหารสูตรควบคุม (ไม่ผสม AM) ส่วนกลุ่มที่ 2 ถึง 6 (ผสม AM 20% ในสูตรอาหาร) ผสมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่ระดับ 0 3 9 15 และ 21 กรัม/กก. อาหาร ตามลำดับ ใช้ปลาน้ำหนักเริ่มต้น 0.25 กรัม เลี้ยงในถังขนาด 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ปลาชุดควบคุม มีค่าน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักเพิ่ม ADG ความยาวสุดท้าย ความยาวเพิ่ม SGR FCR FER และ PER ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ในขณะที่ อัตรารอดตาย และปริมาณอาหารที่กิน ไม่ต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนค่าคุณภาพซากพบว่า ค่า % carcass % yield, HSI, IFR, น้ำหนักกระเพาะ ความกว้าง และความหนาของปลา มีค่าไม่ต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่พบว่าการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเยื่อใย มีผลให้ค่าความยาวลำไส้ลดลง ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก ปลานิล เอนไซม์ย่อยเยื่อใย

Abstract

The experiment was conducted to investigate the effect of supplemental *Acacia mangium* Leaf meal (AM) and fibrolytic enzyme in diets on growth performance and carcass quality of juvenile Nile Tilapia. The experimental design was CRD with 6 treatments and 3 replicates of 20 fishes. Treatment 1 was a control unit (containing 0% AM). Treatments 2 to 6 (containing 20% AM) were included with different level of fibolytic enzyme at 0, 3, 9, 15 and 21 g/kg of diets respectively. The fish (with the initial average weight 0.25 g) were raised in plastic tanks (500 liters) for 14 weeks. Results indicated that final weight, final length, weight gain, length gain, ADG, SGR, FCR, FER and PER were the best in treatment 1 (control) significant different ($p < 0.05$) with other treatment. While survival rate and feed intake were not significant differences ($p > 0.05$) in all treatment. The carcass quality in parameters % carcass, % yield, HSI, IFR, stomach weight, body depth and

¹ อ., ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon Province, 86160

* Corresponding author: Tel.: 084-7038748, E-mail address: warrapong.na@kmitl.ac.th

body width were not significant differences ($p > 0.05$) in all treatment. But the result of average intestine length was decreasing trend significant difference ($p < 0.05$) in higher levels of fibolytic enzymes in diets.

Keywords: Growth Performance, Carcass Quality, Nile Tilapia, Fibrolytic Enzyme

บทนำ

ใบกระถินเทพา (*Acacia mangium* Willd.) ถือเป็นผลพลอยได้จากการปลูกต้นกระถินเทพา จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี [1] พบว่ามีโปรตีน ไซมัน์ เยื่อใย เถ้า Acid Detergent Fibre (ADF) Neutral Detergent Fibre (NDF) ลิกนิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และ ยอดโภชนะย่อยได้ (Total Digestible Nutrient, TDN) เท่ากับ 14.83 3.24 25.08 4.72 38.59 50.63 22.00 0.49 0.11 และ 58.47% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากการใช้ประโยชน์ในโภชนะของใบกระถินเทพาพบว่ากระถินเทพามีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง 23.33% ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน 26.66% และค่ายอดโภชนะรวม 30.11% [2] ซึ่งมีความเหมาะสมกับการใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมในสัตว์กระเพาะรวม เช่น โค กระบือ และแพะ มากกว่าในสัตว์กระเพาะเดี่ยวหรือ ในสัตว์น้ำ [3] พบว่าใบกระถินเทพาปนสามารถใช้อาหารปลานิลวัยอ่อนได้เพียง 2.5% ในสูตรอาหาร ซึ่งถือว่าเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอาหารสัตว์น้ำได้ในปริมาณต่ำมาก จนอาจไม่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกเพื่อลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในปลานิลที่เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจปีละกว่า 9,000 ล้านบาท คิดเป็นประมาณ 42% ของมูลค่าปลาน้ำจืดทั้งหมดของไทย [4]

ดังนั้นการเพิ่มเอนไซม์ย่อยเยื่อใยทางการค้า (Ronozyyme VP) ลงในสูตรอาหารผสมที่มีเยื่อใยสูงจากใบกระถินเทพาปนจึงเป็นทางเลือกสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อการลดต้นทุนค่าอาหารจากการเพิ่มปริมาณการใช้วัตถุดิบจากใบกระถินเทพาปนในสูตรอาหารและเพิ่มทางเลือกในการใช้วัตถุดิบจากใบกระถินเทพาที่เป็นเศษเหลือมีทั่วไปในท้องถิ่น

วัตถุประสงค์ และวิธีดำเนินการ

1. แผนการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมใบกระถินเทพาปน และเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างกัน ปลานิลสำหรับทดลองเป็นปลาวัยอ่อนอายุ 7 วันที่มีขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 0.25 กรัม ได้จากการเพาะพันธุ์ของศูนย์ปรับปรุงพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร วางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง (Completely Randomized Design, CRD) กำหนดให้อาหารทดลองเสริมใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างกัน 6 ระดับ (ชุดทดลอง Treatments) ระดับละ 3 ซ้ำ (Replications) รวม 18 หน่วยทดลอง (Experimental Unit) ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 (T1) อาหารผสมที่ไม่เสริมใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 (T2) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 0 กรัม (AM+FE 0)
- ชุดการทดลองที่ 3 (T3) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 3 กรัม (AM+FE 3)
- ชุดการทดลองที่ 4 (T4) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 9 กรัม (AM+FE 9)
- ชุดการทดลองที่ 5 (T5) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 15 กรัม (AM+FE 15)
- ชุดการทดลองที่ 6 (T6) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20 % + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 21 กรัม (AM+FE 21)

2. ขั้นตอนการวิจัย

2.1 การเตรียมอาหารทดลอง

คัดเลือกใบกระถินเทพาใบที่ 3 นับจากยอดมาตากแดดเป็นเวลา 7 วัน ให้ใบแห้ง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดวัตถุดิบแบบ Hammer mill ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดให้มิดชิดเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่ใช้เป็นเอนไซม์สังเคราะห์ทางการค้าที่ชื่อว่า Ronozyme VP ใช้ปริมาณตามสูตร

นำวัตถุดิบที่ประกอบอาหาร เช่น ข้าวโพดป่น รำละเอียด กากถั่วเหลือง ปลาช่อนป่น และใบกระถินเทพาป่น มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยใช้วิธีมาตรฐาน AOAC นำข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณสูตรอาหาร ดังตารางที่ 1 การผลิตอาหารทดลองเริ่มจากชั่งน้ำหนักวัตถุดิบตามสูตรที่คำนวณได้ผสมด้วยเครื่องผสมอาหารให้วัตถุดิบต่างๆเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 15 นาที และปรับให้มีความชื้น 30% ด้วยน้ำ นำมาอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดแบบ mincer ผ่านหน้าแวนที่มีรูขนาด 2.0 มิลลิเมตร ผึ่งลมอาหารผสมเพื่อระบายความร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วบรรจุในถุงพลาสติก 2 ชั้น เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ทดลองแล้วสับตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น ตามวิธีของ AOAC คำนวณคาร์โบไฮเดรต (NFE: Nitrogen Free Extract) และพลังงานที่ย่อยได้ (DE: Digestible Energy) ดังนี้

$$NFE = 100 - (\%protein + \%fat + \%fiber + \%ash + \%moisture)$$

$$DE (Kcal/100g) = (\%protein \times 3.5) + (\%fat \times 8.0) + (\%NFE \times 2.5)$$

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ (% วัตถุแห้ง) และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

วัตถุดิบอาหาร (%)	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
ข้าวโพด	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
ปลาช่อน	17.2	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
รำละเอียด	29.50	24.50	24.50	24.50	24.50	24.50
ปลาป่น (60%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
กากถั่วเหลือง (45%)	26.30	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
ใบกระถินเทพา	0.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
DPC (P17)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
พรีมิกซ์ (premix) ¹	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
สารเหนียว	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
น้ำมันปาล์ม	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
รวม (kg)	100	100	100	100	100	100

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ (% วัตถุแห้ง) และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ต่อ)

วัตถุดิบอาหาร (%)	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
เอนไซม์ย่อยเยื่อใย (g/kg diet)	0	0	3	9	15	21
องค์ประกอบเคมี						
ความชื้น (%)	5.06	5.80	5.89	5.82	5.76	5.80
เถ้า (%)	11.67	12.12	12.07	12.23	12.15	12.34
โปรตีน (%)	29.95	29.61	29.68	29.69	29.48	29.58
ไขมัน (%)	10.18	7.68	7.64	7.56	7.61	7.34
เยื่อใย (%)	2.14	3.56	3.02	3.74	3.61	3.30
พลังงานรวม (Kcal/Kg)	4,509.78	4,378.32	4,408.62	4,412.06	4,395.11	4,389.37

หมายเหตุ¹ Vitamin-mineral premix provides per kg of diet : vit A 15,000 IU; vit D₃ 3,000 IU; vit E 25 IU ; vit K₃ 0.5 g; vit B₁ 2.5 mg; vit B₂ 7 mg; vit B₆ 4.5 mg; vit B₁₂ 0.025 mg; pantothenic acid 35 mg; nicotinic acid 35 mg; choline chloride 0.25 g; biotin 0.025 mg; Cu 1.6 mg; folic acid 0.5 mg; Mn 0.06 g; Se 0.15 mg; Fe 0.08 g; I 0.4 mg และ Zn 0.045 g.

2.2 การจัดการทดลอง

ใช้ปลานิลทดลองเป็นปลาวัยอ่อนอายุ 7 วัน เนื่องจากสามารถตอบสนองต่ออาหารทดลองได้ดีโดยซื้อจากฟาร์มเพาะพันธุ์สัตว์น้ำเอกชน ในจังหวัดชุมพร จำนวน 1,000 ตัว มาเลี้ยงในถังขนาดความจุ 500 ลิตร จำนวน 4 ถัง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ปลาได้ปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และหัดให้ปลากินอาหารทดลองสูตร ที่ 1 (ควบคุม) วันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 07.00 น. และ 16.00 น. เป็นเวลา 7 วันก่อนเริ่มทำการทดลอง ซึ่งน้ำหนักปลาเริ่มต้นทดลองเฉลี่ย 0.25 กรัม จำนวน 360 ตัว แล้วนำไปปล่อยในถังทดลองขนาด 500 ลิตร (หน่วยทดลอง) ถึงละ 20 ตัว ที่ติดตั้งหัวทรายให้อากาศจำนวน 2 หัว พร้อมปิดปากถังด้านบนด้วยตาข่ายพรางแสง 50% เพื่อลดสิ่งรบกวนจากภายนอก และป้องกันปลากระโดดหนีจากถังทดลอง จำนวน 18 ถัง โดยมีการให้อาหารแบบให้กินจนอิ่ม (Satiation) บันทึกปริมาณการกินอาหารในแต่ละวัน ทำการชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวของปลาเพื่อบันทึกการเติบโตทุก 2 สัปดาห์ ทำการคัดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 20% ของถังทุก 3 วัน ใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน 14 สัปดาห์

3. การเก็บรวบรวม และการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 14 เก็บรวบรวมข้อมูล ความยาว น้ำหนัก น้ำหนักอาหารที่ปลากิน จำนวนปลาทดลอง มาคำนวณค่า ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการตายของปลานิลทดลอง พร้อมทั้งสุ่มตัวอย่างปลาชุดการทดลองละ 3 ตัวมาตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพซากตามพารามิเตอร์ที่กำหนดและนำข้อมูลทั้งหมด มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลการวิจัย

ผลการทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมไบโกระลินเทพากับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ ได้ค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการตายดังตารางที่ 2 พบว่าปลานิลในชุดควบคุมมีค่าน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักเพิ่ม น้ำหนักเพิ่มต่อวัน ความยาวสุดท้าย ความยาวเพิ่ม อัตราเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าอัตราแลกเนื้อ มีค่าต่ำที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.36 ± 0.13 ในขณะที่ค่าอัตราการตาย และปริมาณอาหารที่กินทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทาง

สถิติ ($p > 0.05$) ส่วนในชุดการทดลองที่ 5 (AM+FE 15) และชุดการทดลองที่ 6 (AM+FE 21) ค่าประสิทธิภาพการเติบโตในทุกพารามิเตอร์มีแนวโน้มมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย แต่มีค่าดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 (AM+FE 0) ชุดการทดลองที่ 3 (AM+FE 3) และชุดการทดลองที่ 4 (AM+FE 9) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าการใช้เอนไซม์ย่อยเชื้อใยระดับที่สูงขึ้นในอาหารผสมที่มีใบกระถินเทพาปนระดับ 20% จะมีผลให้ค่าประสิทธิภาพการเติบโตของปลานิลในระยะวัยอ่อนดีขึ้น โดยเฉพาะในพารามิเตอร์ อัตราเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.26 ± 0.05 %/วัน 1.48 ± 0.16 และ 67.56 ± 5.65 ตามลำดับ

คุณภาพซากของปลานิลทดลองพบว่า ค่าสัดส่วนร้อยละของซาก ค่าสัดส่วนร้อยละของเนื้อ ค่าดัชนีตับ ค่าสัดส่วนไขมันในช่องท้อง น้ำหนักกระเพาะ ความกว้างของ และความหนาของปลา มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความยาวลำไส้ ในชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 ที่มีส่วนผสมของใบกระถินเทพาปน 20 % มีค่าความยาวลำไส้มากกว่าชุดควบคุม ($p < 0.05$) โดยในชุดการทดลองที่ 2 (AM+FE 0) มีค่าความยาวลำไส้เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 39.24 ซม. ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 3 (AM+FE 3) และ 4 (AM+FE 9) ($p > 0.05$) แต่แตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 5 (AM+FE 15) และ 6 (AM+FE 21) แสดงให้เห็นว่าค่าความยาวลำไส้มีแนวโน้มลดลง แปรผกผันกับระดับของเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าน้ำหนักปลาทั้งหมด กับน้ำหนักอวัยวะภายใน ชุดการทดลองควบคุม มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 60.64 และ 5.67 กรัม แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ส่วนค่าความยาวมาตรฐาน และความยาวทั้งหมด ชุดควบคุม ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.83 และ 16.10 ซม. แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในสูตรอาหารไม่ส่งผลต่อค่าความยาวของปลานิลทดลอง ดังตารางที่ 3

อภิปรายผลการวิจัย

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมใบกระถินเทพาปน และเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์พบว่าปลานิลในชุดการทดลองที่ 1 (0% ใบกระถินเทพาปน และ 0 กรัม เอนไซม์ย่อยเชื้อใย) มีค่าประสิทธิภาพการเติบโตดีที่สุดในทุกพารามิเตอร์ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 5 (20% ใบกระถินเทพาปน และ 15 กรัม เอนไซม์ย่อยเชื้อใย) และชุดการทดลองที่ 6 (20% ใบกระถินเทพาปน และ 21 กรัมเอนไซม์ย่อยเชื้อใย) มีค่าประสิทธิภาพการเติบโตในดีที่สุดในกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองที่มีการเสริมใบกระถินเทพาปน 20 % และค่าประสิทธิภาพการเติบโตมีแนวโน้มมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในระดับ 15-21 กรัมมีผลให้ปลานิลสามารถใช้ประโยชน์จากใบกระถินเทพาปนที่เสริมในสูตรอาหารได้ดีขึ้นจนใกล้เคียงกับอาหารสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Boonyaratpalin *et al.*, [5] ที่ทำการหมักกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันด้วยโรโนไทม์ วิพี นำไปใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศขนาด 1.5 กรัม พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันหมักเอนไซม์ทำให้การเจริญเติบโตของปลาดีกว่าที่ไม่ได้หมักเอนไซม์ และรายงานการวิจัยของนิรุทธิ์ [6] ที่ศึกษาระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิล แล้วพบว่าปลานิลสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้สูงสุดถึง 30% โดยสาเหตุน่าจะเกิดจากสัตว์ทดลองที่ใช้ คือปลานิล ที่จัดอยู่ในกลุ่มปลากินพืช (Herbivorous) ซึ่งมีความสามารถในการใช้ประโยชน์อาหารที่มีเชื้อใยสูงได้ดีทำงานร่วมกับเอนไซม์ย่อยเชื้อใยที่เสริมลงในสูตรอาหารในระดับที่เหมาะสม แต่ที่พบรายงานการวิจัยที่ขัดแย้งกันของวุฒิพรและคณะ [7] ที่พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับ 40% ที่เสริมเอนไซม์ Allzyme Vegpro มีค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารลดลง และรายงานของวิชัยและคณะ [8] ที่พบว่าลูกปลากะรัง (*Epinephelus coioides*) วัยอ่อนที่ได้รับอาหารที่มีเชื้อใยสูงมีค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่ลดลง เนื่องจากการพัฒนาของระบบน้ำย่อยในลูกปลากะรังวัยอ่อนมีการพัฒนาของระบบน้ำย่อยที่ต่ำ แต่เมื่อปลาอายุมากขึ้นระบบย่อยอาหารจะพัฒนาขึ้นตามการเจริญเติบโต

ค่าคุณภาพซาก พบว่าค่าคุณภาพซากในทุกพารามิเตอร์ยกเว้น ค่าความยาวลำไส้ มีค่าไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) ในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากระยะเวลาทดลองที่ 14 สัปดาห์ ยังไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพซากในพารามิเตอร์ดังกล่าวมากนัก ในปลานิลที่ยังเติบโตอยู่ในระยะวัยรุ่น (น้ำหนักระหว่าง 40 – 60 กรัม) ส่วนค่าความยาวลำไส้พบว่าในปลาที่ได้รับใบกระถินเทพาปน 20% ในสูตรอาหารจะมีค่าความยาวลำไส้เพิ่มขึ้นแตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเกิดจากปลาต้องการพื้นที่ในการย่อย และดูดซึมสารอาหารเพิ่มมากขึ้น และชุดการทดลองที่ได้รับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับที่สูงขึ้นจะมีแนวโน้มที่ค่าความยาวลำไส้ลดลงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลาได้รับใบกระถินเทพาปน 20% เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [8] ที่พบว่าลูกปลากระรัง (*Epinephelus coioides*) มีระบบการพัฒนาน้ำย่อยที่ต่ำ เมื่อปลา มีอายุมากขึ้นระบบย่อยอาหารจะพัฒนามากขึ้นตามการเจริญเติบโต และค่าความยาวลำไส้จะเพิ่มขึ้นตามความยาวลำตัว [9] พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเยื่อใยสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารลดลง และปลาจะมีความยาวลำไส้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ González *et al.*, [10] กล่าวว่าอาหารที่มีเยื่อใยสูงจะส่งผลกระทบต่อการย่อย และการดูดซึม โดยระดับเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นจะลดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และซับสเตรททำให้การย่อยและการดูดซึมลดลง ปลาจึงจำเป็นต้องปรับตัวด้วยการเพิ่มความยาวลำไส้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยและการดูดซึมจากปฏิกิริยาดังกล่าว

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการตาย ของปลานิลที่รับประทานอาหารทดลองเสริมใบกระถินเทพาเป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์

ค่าประสิทธิภาพการเติบโต	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
น้ำหนักกรัมต้น (กรัม/ตัว) ^{ns}	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.03	0.25 ± 0.03
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	61.64 ± 4.15 ^a	41.42 ± 3.29 ^d	40.69 ± 2.91 ^d	43.92 ± 1.35 ^c	59.18 ± 2.21 ^b	58.85 ± 2.87 ^b
น้ำหนักเพิ่ม (กรัม/ตัว)	61.39 ± 4.12 ^a	41.17 ± 3.15 ^d	40.44 ± 2.23 ^d	43.67 ± 1.28 ^c	58.93 ± 2.18 ^b	58.60 ± 2.18 ^b
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	0.63 ± 0.07 ^a	0.42 ± 0.06 ^d	0.41 ± 0.08 ^d	0.45 ± 0.02 ^c	0.60 ± 0.03 ^b	0.60 ± 0.03 ^b
ความยาวเริ่มต้น (ซม.) ^{ns}	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10
ความยาวสุดท้าย (ซม.)	15.50 ± 1.02 ^a	10.94 ± 0.72 ^d	10.75 ± 0.84 ^d	12.74 ± 1.06 ^c	14.36 ± 0.79 ^b	14.25 ± 0.39 ^b
ความยาวเพิ่ม (ซม.)	14.30 ± 0.83 ^a	9.74 ± 0.71 ^d	9.55 ± 0.88 ^d	11.54 ± 0.37 ^c	13.16 ± 0.59 ^b	13.05 ± 0.62 ^b
อัตราเจริญเติบโตเฉพาะ (%/วัน)	5.55 ± 0.26 ^a	5.04 ± 0.04 ^d	5.02 ± 0.03 ^d	5.12 ± 0.01 ^c	5.26 ± 0.05 ^b	5.22 ± 0.05 ^b
อัตราการตาย (%) ^{ns}	98.33 ± 2.63	100 ± 0.00	98.33 ± 2.63	100 ± 0.00	98.33 ± 2.63	98.33 ± 2.63
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) ^{ns}	83.49 ± 5.25	87.69 ± 4.98	95.84 ± 5.36	88.21 ± 5.04	87.22 ± 5.84	90.24 ± 4.54
อัตราการแลกเนื้อ	1.36 ± 0.13 ^d	2.13 ± 0.12 ^{ab}	2.37 ± 0.11 ^a	2.02 ± 0.16 ^b	1.48 ± 0.16 ^c	1.54 ± 0.14 ^c
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (%)	73.53 ± 2.67 ^a	46.95 ± 2.04 ^{cd}	42.20 ± 2.84 ^d	49.51 ± 5.31 ^c	67.56 ± 5.65 ^b	64.94 ± 6.65 ^b
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	1.30 ± 0.11 ^a	0.78 ± 0.13 ^d	0.77 ± 0.19 ^d	0.92 ± 0.04 ^c	1.13 ± 0.11 ^b	1.09 ± 0.08 ^b

หมายเหตุ ! ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ด้วย 3 ซ้ำ)

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรแตกต่างกันก็แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าคุณภาพซากของปลาไนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองที่เสริมใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์เป็นเวลา 14 สัปดาห์

ค่าคุณภาพซาก	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
ค่าสัดส่วนร้อยละของซาก (%) ^{ns}	53.20 ± 5.26	56.24 ± 2.52	55.61 ± 5.72	55.21 ± 4.95	58.88 ± 5.03	58.68 ± 4.97
ค่าสัดส่วนร้อยละของเนื้อ (%) ^{ns}	46.80 ± 4.15	43.76 ± 3.29	44.39 ± 2.91	44.79 ± 2.35	41.12 ± 3.21	41.32 ± 3.87
ค่าดัชนีดิบ (%) ^{ns}	1.13 ± 0.10	1.42 ± 0.17	1.30 ± 0.08	1.29 ± 0.13	1.19 ± 0.18	1.21 ± 0.11
ค่าสัดส่วนไขมันในช่องท้อง (%) ^{ns}	0.83 ± 0.07	0.82 ± 0.06	0.84 ± 0.08	0.97 ± 0.02	0.88 ± 0.03	0.79 ± 0.03
ค่าความยาวลำไส้ (ซม.)	28.20 ± 2.18 ^c	39.24 ± 3.21 ^a	37.20 ± 4.10 ^a	38.36 ± 3.13 ^a	31.14 ± 2.34 ^b	32.25 ± 2.30 ^b
น้ำหนักปลาทั้งหมด (กรัม)	60.64 ± 1.15 ^a	40.12 ± 1.29 ^d	40.23 ± 1.91 ^d	42.22 ± 1.15 ^c	58.16 ± 1.41 ^b	58.05 ± 1.37 ^b
น้ำหนักอวัยวะภายใน (กรัม)	5.67 ± 0.31 ^a	3.74 ± 0.21 ^d	3.85 ± 0.28 ^d	4.14 ± 0.17 ^c	5.08 ± 0.19 ^b	4.98 ± 0.22 ^b
น้ำหนักกระเพาะ (กรัม) ^{ns}	1.23 ± 0.26	1.04 ± 0.13	1.02 ± 0.15	1.12 ± 0.11	1.16 ± 0.15	1.13 ± 0.18
ความยาวมาตรฐาน (ซม.)	14.83 ± 1.63 ^a	10.21 ± 1.06 ^c	10.33 ± 1.63 ^c	12.54 ± 1.50 ^b	14.53 ± 1.63 ^a	14.73 ± 1.41 ^a
ความยาวทั้งหมด (ซม.)	16.10 ± 1.13 ^a	11.34 ± 1.52 ^c	11.25 ± 1.44 ^c	13.84 ± 1.36 ^b	15.86 ± 1.29 ^a	15.95 ± 1.24 ^a
ความกว้างของปลา (ซม.) ^{ns}	4.13 ± 0.11	4.20 ± 0.26	4.20 ± 0.72	4.00 ± 0.00	4.33 ± 0.57	4.10 ± 0.17
ความหนาของปลา (ซม.) ^{ns}	1.90 ± 0.17	1.80 ± 0.26	1.80 ± 0.20	1.85 ± 0.31	1.83 ± 0.15	1.84 ± 0.25

หมายเหตุ ¹ ตัวเลขที่นำเสนอนี้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

^{a-c} ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรแตกต่างกันก็แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$)

^{ns} ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

สามารถใช้ใบกระถินเทพาปนในระดับ 20% เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลานิลวัยอ่อน โดยเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยปริมาณ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะทำให้ปลานิลวัยอ่อนมีค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และค่าคุณภาพซากใกล้เคียงกับปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรมาตรฐาน (ชุดควบคุม) และการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารทดลองจะมีผลให้ค่าความยาวลำไส้ของปลานิลทดลองมีแนวโน้มลดลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณา อ่างทอง สดุดี พงษ์เพียจันทร์ และวารุณี พานิชผล. (2547). “ตารางคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์”, วัตถุดิบอาหารสัตว์. 38 กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [2] พิสุทธิ สุขเกษม สุพิลาวัฒนาวิน และมณฑล อ่อนโพธิ์เตี้ย. (2541). “โภชนะที่ย่อยได้ในใบกระถินเทพา (*Acacia mangium*)”, รายงานผลการปฏิบัติงาน ปี 2540. 63-68. นราธิวาส: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [3] วรพงษ์ นลินานนท์ และสายชล เลิศสุวรรณ. (2560). “ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย และค่าคุณภาพซากของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมใบกระถินเทพาปน”, ใน การประชุมวิชาการพะเยา ครั้งที่ 6 ศิลปวัฒนธรรมวิจัยเพื่อประเทศไทย 4.0 ประจำปี 2560. วันที่ 26-27 มกราคม 2560 ณ หอประชุมพญาเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา.
- [4] กองวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. (2556). สถิติการประมง. สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2556, จาก <http://www.fisheries.go.th/it-stat/yearbook>.
- [5] Boonyaratpalin, M. and Phromkunthong, W. (2000). “Effects of Ronozyme VP treated rice bran and oil palm meal on growth of sex reversed *Tilapia niloticus*”, In **The 6th Roche Aquaculture Conference**. 50. September 29, 2000, Asia Pacific. Bangkok.
- [6] นิรุทธิ์ สุขเกษม. (2547). รายงานวิจัยเรื่องผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศขนาดใหญ่ในกระชัง. ภูเก็ต. มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.
- [7] วุฒิพร พรหมขุนทอง วรณชัย พรหมเกิด กิจการ สุขมาตย์ วุฒิกรณ จิตติวรรณ และศุภิต นาคะชาต. (2547). “การแทนที่ปลาปนในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน”, วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 26, 167-179.
- [8] วิชัย วัฒนกุล สุนิตย์ โรจนพิทยากุล และพูนสิน พานิชสุข. (2540). การศึกษาความว่องไวของ Digestive enzyme ในระหว่างการพัฒนาของลูกปลากะรัง *Epinephelus coioides*. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง.
- [9] De Silva.K.H.G.M, De Silva.P.K. (1991). “The role of tilapia species (Family cichlidae) in the fishery of three upland, deep reservoir of Sri Lanka”, **Vidyodaya Journal of Science**. 3, 91-98.
- [10] González-Peña, Santo Z. Gomes, Gloria S. Moreira. (2002). “Effects of Dietary Fiber on Growth and Gastric Emptying Time of the Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879)”, **Journal World Aquaculture Society**. 33, 441-447.

ผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน Metallothionein ในปลานิล

Effects of Cadmium and Copper on Metallothionein Gene Expression in

Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

ดวงใจ พิสุทธิธาราชชัย^{1*} และธนกร เหมะสกล²

Duangjai Pisuttharachai^{1*} and Tanakorn Haemasaton²

บทคัดย่อ

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการเลี้ยงทุกภาคของประเทศไทย ดังนั้นปลานิลจึงเป็นตัวอย่างที่ดีในการศึกษาสารตกค้างโลหะหนักในแหล่งน้ำ Metallothionein (MT) เป็นโปรตีนที่สามารถจับกับโลหะหนักได้หลายชนิด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในปลานิล โดยแช่ปลาในน้ำผสมแคดเมียม (0.25 และ 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตร) และคอปเปอร์ (25 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร) นาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง เก็บเนื้อเยื่อตับ สกัด Total RNA แล้วสังเคราะห์ First strand cDNA เพื่อศึกษาการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค RT-PCR พบว่าแคดเมียม 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตรสามารถกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีนภายใน 1 ชั่วโมง ขณะที่คอปเปอร์ 25 ไมโครกรัมต่อลิตร จะมีการแสดงออกของยีนเมื่อได้รับนาน 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ายีน MT สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีววิทยาเพื่อประเมินการปนเปื้อนของแคดเมียมและคอปเปอร์ในแหล่งน้ำได้ โดยการแสดงออกของยีน MT มีความไวต่อแคดเมียมมากกว่าคอปเปอร์

คำสำคัญ: ยีนเมทัลโลไธโอนีน แคดเมียม คอปเปอร์ ตับ ปลานิล

¹ อ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ชุมพร 86160

² อ., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Dr., Fishery Science and Aquatic Resources, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, 86160

² Lecturer, Fishery Science and Aquatic Resources, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, 86160

* Corresponding author: E-mail address: duangjai.pisut06@gmail.com

Abstract

Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) is the economic aquaculture which is widely cultured in Thailand. Therefore, it is suitable as a test animal for detecting heavy metal contamination in natural waters. Metallothionein (MT) is a metal-binding protein and its expression is stimulated by essential metal as well as toxic metals. The purpose of this study was to compare cadmium and copper exposure at different concentrations and time periods on expression of MT gene in tilapia. Fish were exposed to cadmium (0.25 and 2.50 µg/L) and copper (25 and 250 µg/L) for 1, 2, 4 and 8 hrs. Liver tissues were collected at each time point for total RNA extraction. Subsequently, first strand cDNA was synthesized and used as template in the PCR reaction. Expression of MT gene was detected using RT-PCR technique. Results indicated that gene expression was induced within 1 hour of exposure to cadmium (0.25 µg/L), while that for copper exposure (25 µg/L) was 2 hrs. In conclusion, MT gene can be used as biomarker for detecting cadmium and copper contamination in natural waters. MT expression is more sensitive to cadmium than copper exposure.

Keywords: Metallothionein, Cadmium, Copper, Liver, *Oreochromis niloticus*

บทนำ

ปัจจุบันโลหะหนักมีการปนเปื้อนลงสู่ธรรมชาติสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ วัน จากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศ แคดเมียมและคอปเปอร์จัดเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง และมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำหลายพื้นที่ทั่วโลก [1] ในประเทศไทยพบว่าตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบนมีการปนเปื้อนของโลหะหนักแคดเมียมและคอปเปอร์เกินค่ามาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย 2.05 และ 16.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยแคดเมียมพบมากบริเวณปากน้ำท่าจีน และคอปเปอร์พบมากบริเวณปากน้ำเจ้าพระยา [2] แคดเมียมและคอปเปอร์สามารถสะสมอยู่ในสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งสองชนิดได้ ซึ่งปลาเป็นสัตว์น้ำที่มีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแคดเมียมและคอปเปอร์ในน้ำ โดยโลหะหนักเหล่านี้มีผลกระทบทำให้ปลาเกิดการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ อัตราการสืบพันธุ์ลดลง เกิดโรคได้ง่าย มีผลต่อพฤติกรรม และอัตราเมตาบอลิซึม [3-6] ในประเทศไทยปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการเลี้ยงอย่างกว้างขวางในแหล่งน้ำทั่วทุกภูมิภาค ดังนั้นปลานิลจึงนับเป็นตัวอย่างที่ดีในการใช้เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำ

ปัจจุบันการศึกษาทางด้านการแสดงออกของยีน (Gene Expression) ที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการปนเปื้อนได้ ซึ่งให้ผลรวดเร็วและใช้ตัวอย่างปริมาณไม่มากในการตรวจสอบ ในสิ่งมีชีวิตที่มีการแสดงออกเมื่อถูกกระตุ้นด้วยโลหะหนักคือ ยีน Metallothionein (MT) ซึ่งเป็นโปรตีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ 6 – 7 kDa มีหมู่ thiol (-SH) อยู่ใน cysteine ทำให้สามารถจับกับโลหะหนักได้ [7] ดังนั้นจึงเกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของโลหะหนักที่มีความจำเป็นต่อเซลล์ (Essential Metals) กำจัดโลหะที่เป็นพิษ (Toxic metals) ป้องกันการเกิดความเครียด และปกป้องเซลล์ประสาท [8] ในสัตว์น้ำยีน MT ถูกค้นพบครั้งแรกในปลา *Sebastes seboides* [9] สำหรับปลาในสกุล *Oreochromis* มีรายงานแล้วว่า คอปเปอร์ แคดเมียม ปรอท นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี เหล็ก แมงกานีส และ โครเมียม สามารถกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในตับของปลาได้ [10-12] และมีการแสดงออกของยีนมากกว่าในกล้ามเนื้อ [13-14] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ตับเป็นอวัยวะที่มีความไวต่อโลหะหนักมากกว่าไตและเหงือก [15] ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกเนื้อเยื่อตับในการตรวจสอบการแสดงออกของยีน MT และจากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาโดยมากแล้วจะศึกษาถึงชนิดของโลหะหนักที่มีผลต่อการแสดงออกของยีน MT แต่ยังไม่มียานการศึกษาเปรียบเทียบผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในตับปลานิล

วิธีการวิจัย

1. การทดสอบสัตว์ทดลองด้วยแคดเมียมและคอปเปอร์

ปลานิลที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักลำตัวเฉลี่ย 115.50 ± 0.31 กรัม นำมาเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 40 x 90 x 45 เซนติเมตร จำนวน 4 ตู้ ๆ ละ 8 ตัว แต่ละตู้บรรจุน้ำ 90 ลิตร พร้อมให้อากาศอย่างเพียงพอ จากนั้นเติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 และ 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตร และ คอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นละ 1 ตู้

2. การเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อตับและการสกัด Total RNA

เก็บเนื้อเยื่อตับโดยสุ่มปลานิลที่แช่ในน้ำผสมแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง ช่วงเวลาละ 2 ตัว (1 ตัว คือ 1 ซ้ำ) ใส่หลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติม Trizol reagent 500 ไมโครลิตร แล้วบดเนื้อเยื่อด้วย Homogenizer เมื่อบดละเอียดแล้วจึงดูดเอาสารละลายดังกล่าวใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติม Trizol reagent อีก 500 ไมโครลิตร จากนั้นสกัด Total RNA ตามวิธีของบริษัท Molecular center, Inc โดยมีรายละเอียดดังนี้ ใช้เข็มฉีดยาขนาด 24G และกระบอกฉีดยาขนาด 3 มิลลิลิตร ดูดสารละลายของตัวอย่างทั้งหมดขึ้นลง 3 - 5 นาที เพื่อให้เซลล์แตก จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที เติม Chloroform 200 ไมโครลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องอีก 3 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ดูดส่วนใสซึ่งเป็นชั้นของ Total RNA ใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร หลอดใหม่ แล้วเติม Isopropyl alcohol 500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ดูดสารละลายด้านบนทิ้งแล้วเติม 75% Ethanol 1 มิลลิลิตร เพื่อเก็บรักษาตะกอน Total RNA ให้ได้นาน ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียสจนกระทั่งใช้

นำ Total RNA ที่เก็บใน 75% Ethanol ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 7,500 รอบต่อนาที 4 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากนั้นดูดเอาส่วน 75% Ethanol ออก เหลือเฉพาะตะกอนสีขาว ตกให้แห้งแล้วเติม DEPC water เพื่อละลาย Total RNA ที่ได้ โดยปริมาณ DEPC water ที่ใส่แต่ละตัวอย่างจะแตกต่างกันตามปริมาณ Total RNA ที่สกัดได้ วัดปริมาณความเข้มข้นของ Total RNA ด้วยเครื่อง NanoDrop™ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร

3. การสังเคราะห์ first strand cDNA (Complementary DNA)

การสังเคราะห์ First strand cDNA ใช้ชุดสำเร็จรูป Revert Aid M-MuLV Reverse Transcriptase kit (Fermentas) โดยมีขั้นตอนดังนี้ เติม Oligo (dt)₂₀ primer 0.5 ไมโครลิตร ลงในหลอด PCR จากนั้นเติมตัวอย่าง Total RNA และ Nuclease-free water ที่แปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของ Total RNA โดยปริมาณ Total RNA กำหนดให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 ไมโครกรัม จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วจึงแช่ในน้ำแข็งนาน 1 นาที เติม iScript select reaction mix 2 ไมโครลิตร และ iScript reverse transcriptase 0.5 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และบ่มต่อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เก็บ First strand cDNA ที่ได้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสจนกว่านำมาใช้

4. การทำ Reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR)

โดยใช้ First strand cDNA ของแต่ละตัวอย่างเป็นต้นแบบ (Template) และใช้ไพรเมอร์ (primer) ที่มีความจำเพาะต่อยีน MT และ β -actin (ตารางที่ 1) ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประกอบด้วย First strand cDNA 1.0 ไมโครลิตร 10 μ M Forward Primer 1.0 ไมโครลิตร 10 μ M Reverse Primer 1.0 ไมโครลิตร 10X Taq Buffer 2.5 ไมโครลิตร 2.5 mM MgCl₂ 0.8 ไมโครลิตร 2.5 mM dNTP 2.5 ไมโครลิตร 5 unit Taq DNA Polymerase 0.1 ไมโครลิตร (Fermentas) และ Distilled water 17.0 ไมโครลิตร ปริมาตรรวม 25.9 ไมโครลิตร จากนั้นเพิ่มปริมาณ DNA เป้าหมายด้วยเครื่อง Thermal cycler machine

โดยกำหนดให้สภาวะการทำงานดังนี้ ช่วงแรก (Denaturing) ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที 1 รอบ ช่วงที่สอง (Annealing) ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที 55 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที และ 72 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 30 วินาที 25 รอบ และช่วงที่สาม (Extension) ใช้อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที 1 รอบ

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์และขนาดไพรเมอร์ของยีน MT และ β -actin

ไพรเมอร์	ลำดับนิวคลีโอไทด์ 5'-----> 3'	ขนาดผลิตภัณฑ์ (PCR product) (bp)	อ้างอิง (Accession Number)
MT-Forward	GCCAAGACTGGAACCTGC	129	EU005543
MT-Reverse	GCACACGCAGCCAGAGGC		
β -actin-Forward	ACCACCACAGCCGAGAGGGA	500	EF206801
β -actin-Reverse	CCCAACCAAACGCCCAACAA		

5. การตรวจยืนยันขนาดผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี Agarose gel electrophoresis

ตรวจสอบผลการแสดงออกของยีน MT และ β -actin ด้วยวิธี Agarose gel electrophoresis โดยใช้ Agarose gel ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในบัฟเฟอร์ 1X TBE และใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ จากนั้นจึงตรวจสอบแถบผลิตภัณฑ์ด้วยการย้อมใน Ethidium bromide ที่ความเข้มข้น 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และถ่ายภาพภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต ประเมินและวิเคราะห์ความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J (National Institutes of Health) และใช้ β -actin ในการ normalize การแสดงออกของยีนเป้าหมาย นำข้อมูลการแสดงออกของยีนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแคดเมียมหรือคอปเปอร์ที่ช่วงโมเมนต์เดียวกันแต่ต่างระดับความเข้มข้นมาวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย *t*-test และทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มที่แช่แคดเมียมหรือคอปเปอร์ที่ช่วงโมเมนต์ต่างกัน โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาด้วยวิธี DMRT โดยโปรแกรม The SAS system for window version 6.12 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

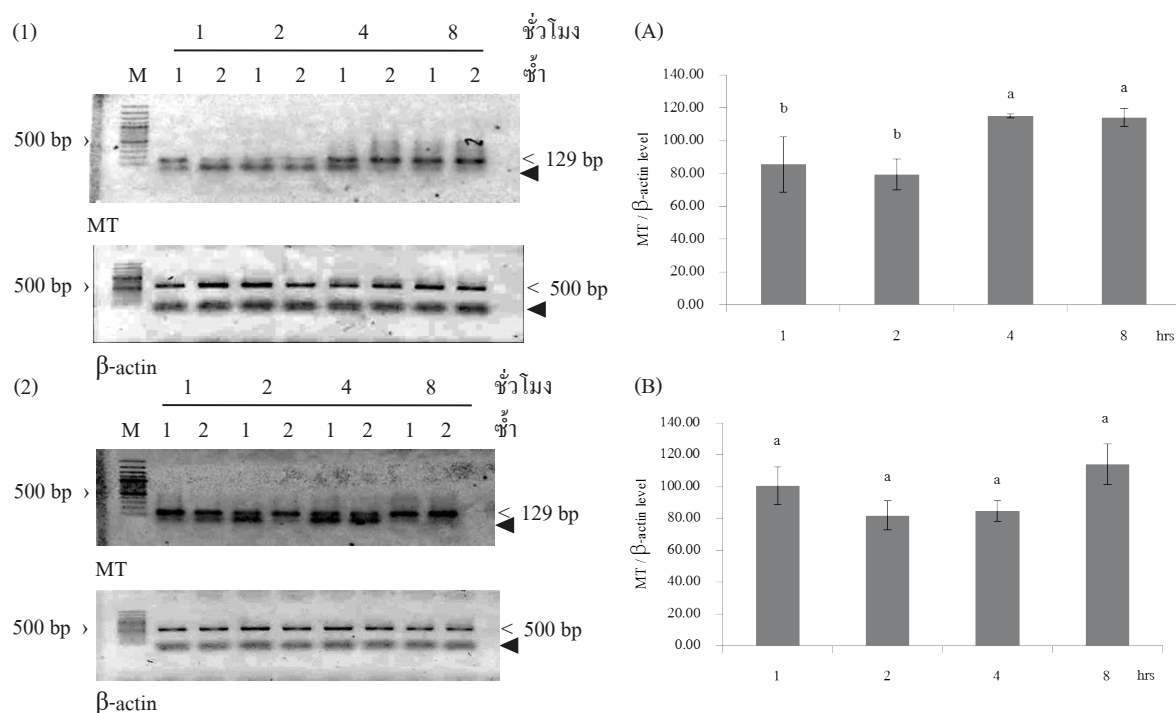
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบไพรเมอร์เพื่อการยืนยันขนาดผลิตภัณฑ์

จากการสกัด Total RNA แล้วสังเคราะห์ First strand cDNA จากเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ได้รับโลหะหนักแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกัน แล้วใช้ไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อยีน MT ในการเพิ่มปริมาณ DNA เป้าหมายด้วยเครื่อง Thermal cycler machine พบว่า มีการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ ตามการทดลองของ Cheung *et al.* [10] และ Cheung *et al.* [11] ที่รายงานว่า แคดเมียมและคอปเปอร์สามารถกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในตับของปลาสกุล *Oreochromis* ได้ โดยแถบผลิตภัณฑ์ของยีน MT ในทุกตัวอย่างของการทดลองมีขนาด 129 bp ส่วนยีน β -actin ซึ่งเป็น Housekeeping gene ที่ใช้เป็นกลุ่มควบคุมภายใน (Internal Control) ของการทดลองนี้มีขนาด 500 bp ตรงตามที่ได้ออกแบบตำแหน่งไพรเมอร์ไว้ สำหรับการทำปฏิกิริยา RT-PCR พบว่า เกิดแถบ DNA บริเวณด้านล่างของเจล ซึ่งอาจเกิดจากการจับกันเองของไพรเมอร์ (Primer Dimer) อันเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ช่วงที่สอง (Annealing) อาจไม่เหมาะสม ทำให้การทำงานของไพรเมอร์เกิดความไม่จำเพาะเจาะจงได้ หรืออาจเกิดจากความเข้มข้นของไพรเมอร์ในปฏิกิริยามากเกินไปทำให้เกิดการจับกันเองของไพรเมอร์ได้

2. ผลของแคดเมียมต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลด้วยเทคนิค RT-PCR

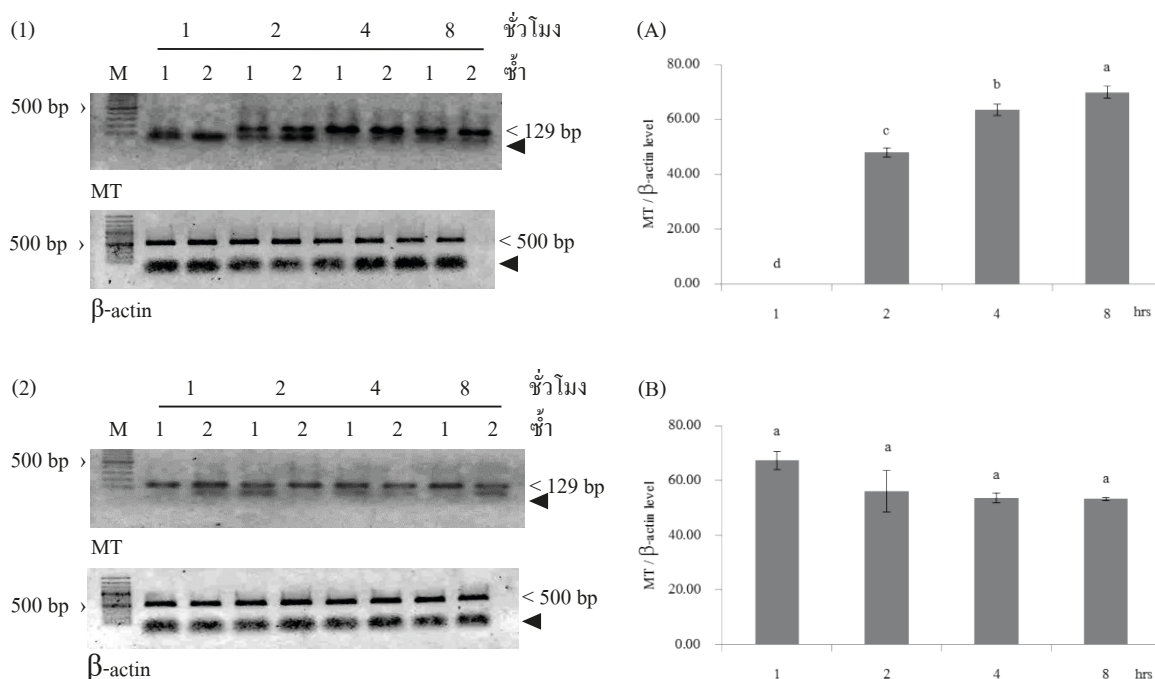
ผลของแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล พบว่า มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการได้รับแคดเมียมที่นานขึ้น โดยการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับที่ได้รับ แคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง จะมีการแสดงออกของยีน MT น้อยกว่าที่ ระยะเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Utampongsa [16] รายงานว่าการแสดงออกของ MT mRNA ในตับปลาดุกเพ็ญขาวมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการได้รับแคดเมียมที่ เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการยับยั้งของเซลล์กับแคดเมียมที่สะสมมากขึ้นในเซลล์ตับ สำหรับเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ได้รับ แคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณมากขึ้น 10 เท่า พบว่า การแสดงออกของยีน MT ใน เนื้อเยื่อตับที่ระยะเวลาต่างกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 1) ซึ่งอาจเกิดจากภาวะอิ่มตัว ของเนื้อเยื่อในการสะสมแคดเมียมหรือเกิดกลไกการขับสารพิษที่มากเกินไปของตัวปลาจึงทำให้การแสดงออกของยีน MT ไม่แตกต่างกัน [17-18] และเมื่อเปรียบเทียบการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 และ 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตรที่ชั่วโมงเดียวกัน พบว่าทุกช่วงเวลาของการได้รับแคดเมียมมีการแสดงออกของยีน MT ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 3)



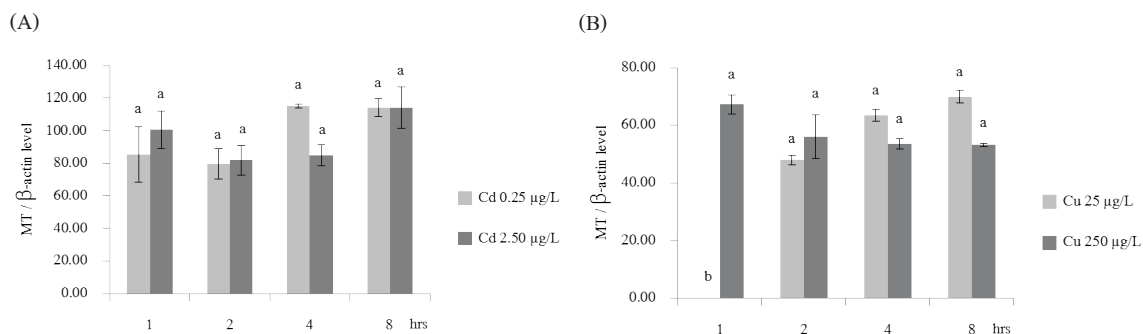
ภาพที่ 1 การแสดงออกของยีน MT และ β -actin ด้วยเทคนิค RT-PCR ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมแคดเมียม ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 (1) และ 2.50 (2) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง (M = Marker, $\blacktriangleleft$ = Primer dimer) และ กราฟการแสดงออกของยีน MT (จากการวัดความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J) ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 (A) และ 2.50 (B) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3. ผลของคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลด้วยเทคนิค RT-PCR

ผลของคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลพบว่า การแสดงออกของยีน MT มีความสัมพันธ์กับทั้งระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับคอปเปอร์ โดยปลานิลที่ได้รับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 1 ชั่วโมง ไม่พบการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ แต่จะเริ่มมีการแสดงออกของยีนเมื่อได้รับคอปเปอร์นาน 2 4 และ 8 ชั่วโมง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 2) สำหรับความสัมพันธ์ของการแสดงออกของยีน MT กับระดับความเข้มข้นที่ได้รับคอปเปอร์ พบว่าปลานิลที่ได้รับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 1 ชั่วโมง ไม่มีการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ แต่ปลานิลที่ได้รับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อลิตร มีการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ที่ได้รับคอปเปอร์ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Pederson *et al.* [19] รายงานว่าการแสดงออกของยีน MT ในเหงือกปู *Carcinus maenas* จะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ที่ได้รับ สำหรับที่ระยะเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง พบว่าการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ถูกกระตุ้นด้วยคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 3) อาจเนื่องจากระยะเวลาการได้รับคอปเปอร์ที่นานขึ้นทำให้เกิดภาวะอึดตัวของโลหะหนักในเนื้อเยื่อหรือเกิดกลไกการขับสารพิษที่มากเกินไปเช่นเดียวกับแคดเมียม



ภาพที่ 2 การแสดงออกของยีน MT และ β -actin ด้วยเทคนิค RT-PCR ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 (1) และ 250 (2) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง (M = Marker, $\blacktriangleleft$ = Primer dimer) และกราฟการแสดงออกของยีน MT (จากการวัดความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J) ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 (A) และ 250 (B) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบการแสดงออกของยีน MT (จากการวัดความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J) ในเนื้อเยื่อตับปลานิล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแคดเมียม (A) หรือ คอปเปอร์ (B) ต่างระดับความเข้มข้นที่ชั่วโมงเดียวกัน ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบความไวของแคดเมียมและคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล พบว่าแคดเมียมมีความไวในการกระตุ้นการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล ได้ดีกว่าคอปเปอร์ เนื่องจากระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT น้อยกว่าระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ โดยระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการได้รับแคดเมียมต่ำสุดที่กระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ คือ 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตร นานเพียง 1 ชั่วโมง สำหรับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตร จะมีการแสดงออกของยีน MT เมื่อได้รับนาน 2 ชั่วโมงขึ้นไป สอดคล้องกับการทดลองของ Cho *et al.* [15] รายงานว่า แคดเมียมมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในปลา *Hemibarbus mylodon* ดีกว่าคอปเปอร์และสังกะสี

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับคอปเปอร์มีผลต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล สำหรับแคดเมียมการแสดงออกของยีน MT จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ได้รับแคดเมียมเท่านั้น การได้รับแคดเมียมหรือคอปเปอร์ในระดับความเข้มข้นที่สูงหรือระยะเวลานานเกินไปจะมีผลต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับไม่แตกต่างกัน อาจเกิดจากภาวะอิ่มตัวของโลหะหนักในเนื้อเยื่อหรือเกิดกลไกการขับสารพิษที่มากเกินไปของตัวปลา นอกจากนี้ยังพบว่าแคดเมียมมีความไวในการกระตุ้นการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล ได้ดีกว่าคอปเปอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Reiley, M.C. (2007). "Science, policy, and trends of metals risk assessment at EPA: How understanding metals bioavailability has changed metals risk assessment at US EPA", *Aquatic Toxicology*. 84(2), 292-298.
- [2] Rermduang, S., Kareas, S. and Wongsontam, K. (2009). "Heavy metals contamination in seawater and sediment in the upper gulf of Thailand", In *Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Natural Resources and Environment*. Bangkok. 221-228.

- [3] Handya, R.D., Sims, D.W., Giles, A., Campbella, H.A. and Musondaa, M.M. (1999). "Metabolic trade-off between locomotion and detoxification for maintenance of blood chemistry and growth parameters by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chronic dietary exposure to copper", **Aquatic Toxicology**. 47(1), 23-41.
- [4] Wu, S.M., Lin, H.C. and Yanga, W.L. (2008). "The effects of maternal Cd on the metallothionein expression in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) embryos and larvae", **Aquatic Toxicology**. 87(4), 296-302.
- [5] Wang, L.L., Song, L.S., Ni, D.J., Zhang, H. and Liu, W.Q. (2009). "Alteration of metallothionein mRNA in bay scallop *Argopecten irradians* under cadmium exposure and bacteria challenge", **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**. 149(1), 50-57.
- [6] Hollis, L., McGeer, J.C., McDonald, D.G. and Wood, C.M. (1999). "Cadmium accumulation, gill Cd binding, acclimation, and physiological effects during long term sublethal Cd exposure in rainbow trout", **Aquatic Toxicology**. 46(2), 101-119.
- [7] Hylland, K., Haux, C., Hogstrand, C., Sletten, K. and Andersen, R.A. (1994). "Properties of cod metallothionein, its presence in different tissues and effects of Cd and Zn treatment", **Fish Physiology and Biochemistry**. 13(1), 81-91.
- [8] Wang, W.C., Mao, H., Ma, D.D. and Yang, W.X. (2014). "Characteristics, functions, and applications of metallothionein in aquatic vertebrates", **Frontiers in Marine Science**. 34(1), 1-12.
- [9] Olafson, R.W. and Thompson, J.A.J. (1974). "Isolation of heavy metal binding proteins from marine vertebrates", **Marine Biology**. 28(2), 83-86.
- [10] Cheung, A.P.L., Lam, T.H.J. and Chan, K.M. (2004). "Regulation of Tilapia metallothionein gene expression by heavy metal ions", **Marine Environmental Research**. 58(2-5), 389-394.
- [11] Cheung, P.L.A., Kwok, L.L.V. and Chan, K.M. (2005). "Tilapia metallothionein genes: PCR-cloning and gene expression studies", **Biochimica et Biophysica Acta**. 1731(3), 191-201.
- [12] Chatterjee, S., Datta, S., Das, T.K., Veer, V., Mishra, D., Chakraborty, A., Chattopadhyay, B., Datta, S., Mukhopadhyay, S.K. and Gupta, D.K. (2016). "Metal accumulation and metallothionein induction in *Oreochromis niloticus* grown in wastewater fed fishponds", **Ecological Engineering**. 90, 405-416.
- [13] Chan, P.C., Shiu, C.K.M., Wong, F.W.Y., Wong, J.K.Y., Lam, K.L. and Chan, K.M. (2004). "Common carp metallothionein-1 gene: cDNA cloning, gene structure and expression studies", **Biochimica et Biophysica Acta**. 1676, 162-171.
- [14] Lin, C.H., John, J.A., Ou, L.W., Chen, J.C., Lin, C.H. and Chang, C.Y. (2004). "Cloning and characterization of metallothionein gene in ayu *Plecoglossus altivelis*", **Aquatic Toxicology**. 66, 111-124.
- [15] Cho, Y.S., Lee, S.Y., Kim, K.Y., Bang, I.C., Kim, D.S. and Nam, Y.K. (2008). "Gene structure and expression of metallothionein during metal exposures in *Hemibarbus mylodon*", **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 71(1), 125-137.
- [16] Utarnpongsa, S. (2003). **Effect of Cadmium on Metallothionein mRNA in Silver Carp, *Puntius gonionotus***. Master of Science Degree. Mahidol University.

- [17] Langston, W.J., Chesman, B.S., Burt, G.R., Pope, N.D. and McEvoy, J. (2002). “Metallothionein in liver of eels *Anguilla anguilla* from the Thames Estuary: an indicator of environmental quality?”, **Marine Environmental Research**. 53, 263-293.
- [18] Basha, P.S. and Rani, A.U. (2003). “Cadmium-induced antioxidant defense mechanism in freshwater teleost *Oreochromis mossambicus* (Tilapia)”, **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 56, 218-221.
- [19] Pedersen, S.N., Lundebye, A.K. and Depledge, M.H. (1997). “Field application of metallothionein and stress protein biomarkers in the shore crab (*Carcinus maenas*) exposed to trace metals”, **Aquatic Toxicology**. 37(2-3), 183-200.

ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาจวด *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา

Reproductive Biology of *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

off the Coast of Songkhla Province

ดวงดาว อุปสิทธิ^{1*} จารุณี เชี่ยววารีสังจะ² และสมหมาย เชี่ยววารีสังจะ³

Duangdao Upasit^{1*}, Jarunee Chiayvareesajja² and Sommai Chiayvareesajja³

บทคัดย่อ

การศึกษาชีววิทยาการสืบพันธุ์ของ *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) ทำในชายฝั่ง จังหวัดสงขลา ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 โดยใช้เครื่องมือพื้นบ้านจำนวน 4 ชนิด คือ อวนปลาจวด อวนปลาทุ อวนกุ้ง หัวแข็ง และอวนกุ้งแห้วย ซึ่งรวบรวมตัวอย่างได้จำนวน 3,386 ตัว พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัว เพศเมียและไม่แยกเพศเป็นแบบ Allometric growth แต่เพศผู้เป็นแบบ Isometric growth สำหรับการทดสอบความแตกต่างของ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวของปลาจวดระหว่างเพศเมีย และเพศผู้ไม่มีความต่างกัน ($P = 0.121$) มีการวางไข่ในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนมกราคม มีความคักไข่อยู่ในช่วง 4,750 - 111,917 ฟอง ($27,693 \pm 18,114$ ฟอง) และมี อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1 : 3.3

คำสำคัญ: ชีววิทยาการสืบพันธุ์ ปลาจวด *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

Abstract

A study on reproductive biology of *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) in the coast of Songkhla Province was undertaken from February 2012 to April 2013. samples of 3,386 fish were collected by using 4 artisanal fishing gears (croaker gillnet, *Rastrelliger* gillnet, *Metapenaeus affinis* trammel net and *Penaeus merguensis* trammel net). It was found that the relationship between total length and weight for female and both sex (male and female) were allometric growth. However, it indicated isometric growth for male. Moreover, the length- weight relationship was not significantly different ($P=0.121$) between male and

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² ผศ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

³ รศ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ M.Sc. (Aquatic Science) student, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

² Asst. Prof., Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

³ Assoc. Prof, Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

* Corresponding author: Tel: 084-1960741. E-mail address: doundowupasit@gmail.com

female *Johnius carouna*. The spawning season is during September and January. Fecundity ranged from 4,750-111,917 ($27,693 \pm 18,114$). Sex ratio was 1: 3.3.

Keywords: Reproductive Biology, Caroun Croaker, *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

บทนำ

ปลาลาวจ *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) ชื่อสามัญว่า Caroun croaker อยู่ในครอบครัว Sciaenidae เป็นกลุ่มปลากระดูกแข็งมีกระเพาะขนาดใหญ่ และมีกล้ามเนื้อพิเศษรอบอุ้งลมเรียกว่า sonarific muscle สามารถทำให้เกิดเสียงได้แพร่กระจายอยู่บริเวณเขตร้อน และกึ่งเขตร้อนบริเวณอ่าวไทย เกาะสุมาตรา และเกาะบอร์เนียว ตอนเหนือของทะเลจีนใต้ และทางตะวันตกของประเทศอินเดีย อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ท้องทะเลบริเวณชายฝั่ง บริเวณน้ำกร่อย และป่าชายเลน [1] ประเทศไทยนิยมทำประมงปลาลาวจโดยใช้ อวนปลาลาวจ อวนปลาหู เป็นต้น [2]

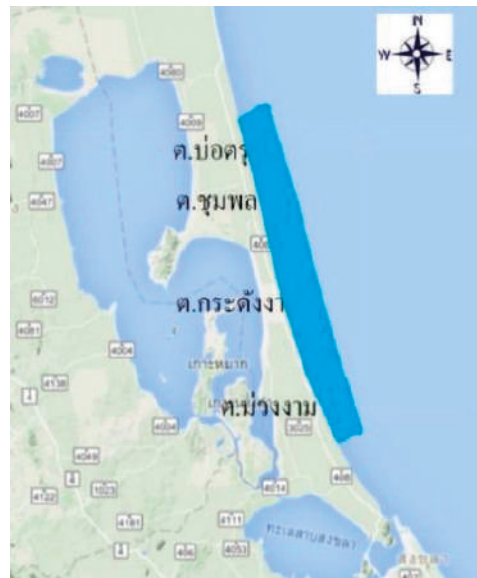
ปลาลาวจมีชื่อที่เรียกในกลุ่มชาวประมงจังหวัดสงขลา ต.ม่วงงาม ต.กระดังงา ต.ชุมพล และ ต.บ่อตรูว่าปลาลาวจขี้แตก บริเวณ อ.ท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช เรียกว่าปลาลาวจหน้ำนวล แต่ละพื้นที่เรียกชื่อปลาลาวจแต่ละชนิดต่างกัน ซึ่งเป็นสัตว์น้ำหลักที่จับได้จากเครื่องมืออวนปลาลาวจ และเป็นสัตว์น้ำที่ติดมากับเครื่องมือประมงหลายชนิด เช่น อวนปลาหู อวนกุ้งแชบ๊วย และ อวนกุ้งหัวแข็ง ชาวประมงนิยมนำปลาลาวจมาขายสด หรือทำปลาแดดเดียว

การศึกษาชีววิทยาประชากรของปลาลาวจ โดยเน้นศึกษาความคงเ้าตามขนาดความยาวเพื่อประเมินว่าแม่พันธุ์แต่ละขนาดความยาวสามารถผลิตลูกพันธุ์ได้ไปปริมาณเท่าใด การศึกษาอุ้งลมไข่น้ำของปลาลาวจ เพื่อให้ทราบว่ามีกรวางไข่ในช่วงใดเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และแนวทางในการจัดการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำชนิดนี้ ให้มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด และสมดุลกับการทดแทนทรัพยากรในอนาคต การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะทำการศึกษาบริเวณชายฝั่ง อ.ระโนด อ.สิงหนคร และ อ.สทิงพระ จ.สงขลา

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. การเก็บตัวอย่างในพื้นที่

เก็บตัวอย่างปลาลาวจ ($n=3,386$) โดยการรวบรวมจากเครื่องมือประมงพื้นบ้านในพื้นที่ศึกษาที่จับปลาลาวจได้จำนวนมาก คือ อวนปลาลาวจ อวนปลาหู อวนกุ้งหัวแข็ง และอวนกุ้งแชบ๊วย ตัวอย่างที่ได้จากอวนกุ้งหัวแข็งที่มีขนาดตาอวน 3.2 เซนติเมตร เป็นปลาลาวจที่มีขนาดเล็ก อวนปลาหู และอวนปลาลาวจมีขนาดตาอวน 4.3 และ 4.5 เซนติเมตร ได้ตัวอย่างที่มีขนาดกลาง และอวนกุ้งแชบ๊วยมีขนาดตาอวน 4.5 เซนติเมตร ได้ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ เก็บตัวอย่าง 4 พื้นที่ คือ ต.ม่วงงาม ต.กระดังงา ต.ชุมพล และ ต.บ่อตรู (ภาพที่ 1) โดยรวบรวมจากเครื่องมือประมง 4 ชนิด ทุกเดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึงตุลาคม 2555 และเดือนมกราคม ถึงเมษายน 2556 โดยเดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคมเป็นช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีคลื่นลมแรงเรือประมงพื้นบ้านไม่สามารถออกทำการประมงได้



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งลุ่มตัวอย่างบริเวณชายฝั่งสงขลา [3]

2. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

เก็บตัวอย่างปลาจวดที่ได้จากอวนทั้ง 4 ชนิด โดยการแช่น้ำแข็งเพื่อนำไปศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเก็บข้อมูลดังนี้

2.1 วัดความยาวเหยียด (Total Length) โดยใช้กระดานวัดความยาวที่มีความละเอียด 0.1 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 กรัม เป็นรายตัว เพื่อใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเหยียดกับน้ำหนัก

2.2 คำนวณเพศของปลาแต่ละตัว นับจำนวนเพศผู้และเพศเมีย และทำการแยกระยะการพัฒนารังไข่และอวัยวะในปลาเพศเมียและเพศผู้แบ่งออกเป็น 5 ระยะ (ตารางที่ 1) เพื่อศึกษาอัตราส่วนเพศ และฤดูวางไข่

2.3 เก็บตัวอย่างรังไข่ของปลาเพศเมียที่ระยะการเจริญพันธุ์ที่ 3-4 (ระยะสมบูรณ์เพศ) มาชั่งและนับจำนวนไข่ปลา โดยเก็บรักษาตัวอย่างรังไข่ในน้ำยาเกล็ดสัน (Gilson's Fluid) เพื่อศึกษาความคืบหน้าโดยวิธีการตวงปริมาตร (Volumetric Method) [4]

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับน้ำหนัก

นำข้อมูลความยาวและน้ำหนักของปลาจวด มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทั้งเพศผู้และเพศเมียตามสมการความสัมพันธ์ของ Sparre and Venema [5] ดังนี้

$$\begin{aligned}
 W &= aL^b \\
 \text{เมื่อ} \quad W &= \text{น้ำหนักตัว} \\
 L &= \text{ความยาว} \\
 a, b &= \text{ค่าคงที่หาได้โดยใช้การวิเคราะห์เส้นถดถอย}
 \end{aligned}$$

แล้วทดสอบค่า $b = 3$ หรือไม่ และความแตกต่างของค่า b ระหว่างเพศผู้และเพศเมีย โดยใช้ t-test

ตารางที่ 1 การพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์ของปลา [6]

ระยะที่	ลักษณะของอวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์	
	อัณฑะ (Sperm sac)	รังไข่ (Ovary)
1. Virgin	มีขนาดเล็ก ใส อยู่ใกล้หรือแนบติดกับกระดูกสันหลัง	มีขนาดเล็ก ใส อยู่ใกล้หรือแนบติดกับกระดูกสันหลัง
2. Developing	มีสีขาวปนแดง มีความยาวครึ่งหนึ่งของช่องท้อง หรือมากกว่าเล็กน้อย	มีสีแดงอ่อนข้างใส มีความยาวครึ่งหนึ่งของช่องท้อง หรือมากกว่าเล็กน้อย
3. Gravid	มีสีขาว การขยายสองในสามของช่องท้อง	มีสีเหลืองหรือสีส้ม การขยายสองในสามของช่องท้อง ไข่มีลักษณะกลม มีเยื่อหุ้มติดกัน
4. Spawning (Ripe)	มีสีขาวครีมขยายเต็มช่องท้อง	มีสีเหลืองหรือสีส้มขยายเต็มช่องท้อง ไข่สามารถแยกเป็นเม็ดได้ ผนังรังไข่ค่อนข้างบาง
5. Spent	ถุงน้ำเชื้อมีลักษณะเหี่ยวแฟบ	เป็นระยะที่ปลาวางไข่ไปแล้ว รังไข่จะเหี่ยวแฟบ มีสีแดง อาจมีไข่สีเหลืองปนแดงเหลืออยู่ในรังไข่

3.2 ความดกไข่

นำตัวอย่างไข่ปลาจวดที่ดองในน้ำยาเกล็ดสี มาหาค่าความดกไข่ด้วยวิธีการตวงปริมาตร โดยนำรังไข่ที่ซังน้ำหนักแล้วมาใส่ในที่ตวงปรับปริมาตรน้ำให้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร และทำการตวงตวงปริมาตรตัวอย่างไข่ปลาจวดที่ละลายแล้ว 5 มิลลิลิตร มานับจำนวน โดยนับไข่ 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการคำนวณหาจำนวนของไข่ทั้งหมดตามสมการ ดังนี้

$$E = e \left(\frac{V}{v} \right)$$

เมื่อ

E = จำนวนไข่ทั้งหมดที่คำนวณได้

e = จำนวนไข่ในตัวอย่าง

V = ปริมาตรของไข่ทั้งหมด

v = ปริมาตรของตัวอย่างไข่

นำข้อมูลความดกไข่มาคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความดกไข่ (ฟอง) กับขนาดความยาว (เซนติเมตร) [4] ตามสมการ ดังนี้

$$F_c = aL^b$$

จะได้

$$\ln F_c = \ln a + b \ln L$$

เมื่อ

Fc = ความดกไข่

a และ b = ค่าคงที่หาโดยใช้การวิเคราะห์เส้นถดถอย

L = ความยาวปลายหาง

ทำการทดสอบค่าความสัมพันธ์โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยใช้ t-test

3.3 ฤดูวางไข่

ศึกษาจาก%ของปลาเพศเมียและเพศผู้ที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์ควบคู่กับค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศเฉลี่ย (Mean Gonadosomatic Index, MGSI) ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน หากเดือนใดมี%ของระยะเจริญพันธุ์ และค่า MGSI สูง จัดเป็นช่วงฤดูวางไข่ ค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศ (Gonadosomatic Index, G.S.I.) หมายถึงสัดส่วนระหว่างน้ำหนักของรังไข่เพศเมีย กับน้ำหนักตัวปลา [4] ตามสมการ

$$G.S.I. = \left(\frac{GW}{BW} \right) \times 100$$

เมื่อ

G.S.I. = ค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศ

GW = น้ำหนักของรังไข่ (กรัม)

BW = น้ำหนักตัวรวมของปลาที่มีรังไข่รวมอยู่ด้วย (กรัม)

3.4 อัตราส่วนเพศ (Sex Ratio)

อัตราส่วนเพศ จำแนกตามขนาดความยาวปลา โดยคำนวณสัดส่วนปลาเพศผู้และเพศเมีย และนำมาทดสอบสมมุติฐาน “อัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียเป็น 1 : 1 [7] โดยใช้ Chi-Square test

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Observed} - \text{Expected})^2}{\text{Expected}}$$

เมื่อ

Observed = จำนวนตัวของปลาจวดแต่ละเพศที่เก็บตัวอย่างได้

Expected = จำนวนปลาจวดที่ควรเป็นไปตามสมมุติฐาน
 (อัตราส่วนเพศผู้ : เพศเมีย = 1 : 1)

ผลการวิจัย

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัว

ตัวอย่างของปลาจวดที่รวบรวมได้ รวมจำนวน 3,386 ตัว จำแนกเป็นเพศเมีย จำนวน 2,249 ตัว เพศผู้ จำนวน 688 ตัว และไม่สามารถแยกเพศได้ จำนวน 449 ตัว ปลาแต่ละกลุ่มมีขนาดความยาวตั้งแต่ 08.00-20.00 เซนติเมตร 08.40 – 20.00 เซนติเมตร และ 09.00-19.70 เซนติเมตร ตามลำดับ นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวของปลาจวดได้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{รวมทั้งหมด (n = 3,386)} \quad \ln W = -4.6016 + 3.0738 \ln L$$

$$W = 0.010036L^{3.0738}$$

$$\text{เพศเมีย (n = 2,249)} \quad \ln W = -4.7674 + 3.1374 \ln L$$

$$W = 0.008502L^{3.1374}$$

$$\begin{aligned}\ln W &= -4.6258 + 3.0771 \ln L \\ W &= 0.009796L^{3.0771}\end{aligned}$$

เมื่อนำค่า b ที่ได้มาทำการทดสอบความแตกต่างจากกฎกำลังสาม โดย t -test ของปลาลำเจ็ดยาว เพศผู้เป็นไปตามกฎกำลังสาม ส่วนของปลาลำเจ็ดยาว เพศเมียและไม่เคยเพศ ไม่เป็นไปตามกฎกำลังสาม สำหรับการทดสอบความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวระหว่างเพศเมีย และ เพศผู้ ค่า b ของเพศเมีย และเพศผู้ไม่ต่างกัน ($P=0.121$)

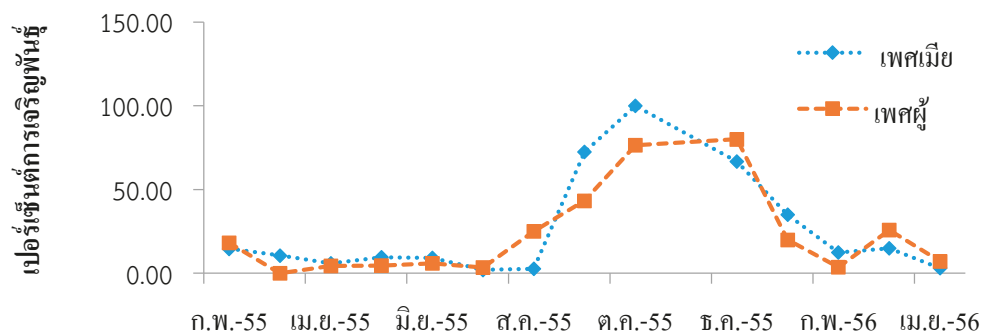
2. ความดกไข่

ผลการศึกษาคความดกไข่ของปลาลำเจ็ดยาวจำนวน 228 ตัว มีขนาดความยาวตั้งแต่ 12.25–19.3 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 15.4 เซนติเมตร พบว่ามีความดกไข่อยู่ในช่วง 4,750–111,917 ฟอง ($27,693 \pm 18,114$ ฟอง) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดกไข่กับความยาวปลายหาง โดยการวิเคราะห์เส้นถดถอยได้ค่า slope (b) เท่ากับ 2.109 ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.253 เมื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยใช้ t -test ได้ค่า t เท่ากับ 3.953 ซึ่งมีความมากกว่าค่า t ตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ได้สมการ คือ

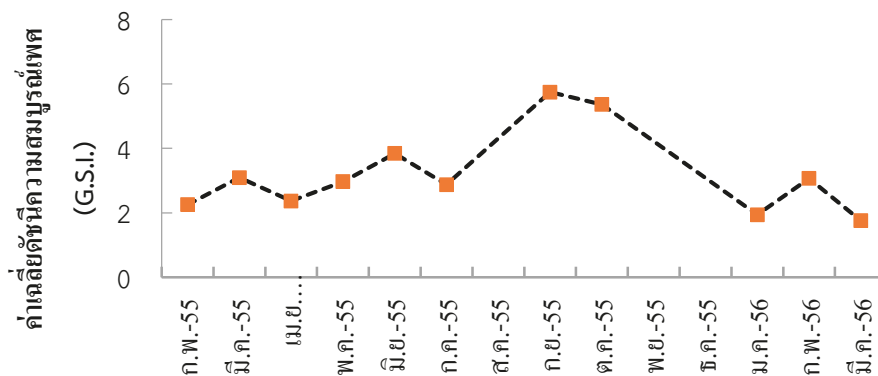
$$\begin{aligned}F_c &= 70.60L^{2.109} \\ \ln F_c &= 4.257 + 2.109 \ln L\end{aligned}$$

3. ฤดูวางไข่

เมื่อทำการศึกษา % ของปลาลำเจ็ดยาวเพศเมียและเพศผู้ที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 พบปลาลำเจ็ดยาวเพศเมียมีการเจริญพันธุ์มากกว่า 50% คือ เดือนกันยายน พ.ศ. 2555 และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 (72.45–100.00%) และมีสัดส่วนสูงสุดคือเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 (100%) ส่วนเพศผู้ที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์มีสัดส่วนสูงอยู่ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2555 เช่นกัน (76.47–80.00%) และเดือนที่มีสัดส่วนสูงสุดคือเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 (80.00%) (ภาพที่ 2) เมื่อนำข้อมูลปลาลำเจ็ดยาวเพศเมียที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์ มาคำนวณหาค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศเฉลี่ย (Gonadosomatic Index ; G.S.I.) พบว่า G.S.I. มีค่าสูงในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าสูงสุดในกันยายน พ.ศ. 2555 (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 % การเจริญพันธุ์ของปลาลำเจ็ดยาวเพศเมียและเพศผู้บริเวณชายฝั่งสงขลา
ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยดัชนีความสมบูรณ์เพศ (G.S.I.) ของปลาวงศ์เพตเมีย บริเวณชายฝั่งสงขลา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556

4. สัดส่วนเพศจำแนกตามขนาดความยาวและอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย

ข้อมูลจากตัวอย่างของปลาวงศ์เพตเมีย 2,249 ตัว และเพศผู้ 688 ตัว มีขนาดความยาวปลายหาง 08.00 – 20.00 เซนติเมตร โดยมีค่าสัดส่วนเพศเมียสูงสุดที่ความยาว 08.00-09.00 เซนติเมตร และ 19.00-19.50 เซนติเมตร เนื่องจากไม่พบเพศผู้ในช่วงขนาดความยาวดังกล่าว แต่ในช่วงความยาวปลายหางที่มีทั้งเพศผู้และเพศเมีย ค่าสัดส่วนเพศเมียสูงสุดที่ความยาว 18.50-19.00 เซนติเมตร เมื่อทดสอบอัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมียในแต่ละเดือนว่ามีอัตราส่วนเป็น 1 : 1 หรือไม่ ซึ่งอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 2.2e-16$) มีค่าเท่ากับ 1 : 3.3 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 อัตราส่วนเพศของปลาวงศ์เพตเมียบริเวณชายฝั่งสงขลา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556

เดือน	เพศเมีย (ตัว)	เพศผู้ (ตัว)	รวม (ตัว)	Ratio เพศผู้ : เพศเมีย	χ^2
ก.พ.-55	89	33	122	1 : 2.7	25.7
มี.ค.-55	85	5	90	1 : 17.0	71.1
เม.ย.-55	252	46	298	1 : 5.5	142.4
พ.ค.-55	115	22	137	1 : 5.2	63.1
มิ.ย.-55	306	170	476	1 : 1.8	38.9
ก.ค.-55	249	88	337	1 : 2.8	76.9
ส.ค.-55	150	28	178	1 : 5.4	83.6
ก.ย.-55	236	148	384	1 : 1.6	20.2
ต.ค.-55	80	51	131	1 : 1.6	6.4
ธ.ค.-55	18	5	23	1 : 3.6	7.3
ม.ค.-56	20	5	25	1 : 4.0	9.0
ก.พ.-56	161	28	189	1 : 5.8	93.6
มี.ค.-56	195	31	226	1 : 6.3	119.0
เม.ย.-56	293	28	321	1 : 10.5	218.8
รวม	2,249	688	2,937	1 : 3.3	829.7

การอภิปรายผล

การศึกษาชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาลอด บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวของปลาลอดทั้งหมด เพศเมีย และ เพศผู้ $W = 0.010036 L^{3.0738}$, $W = 0.008502 L^{3.1374}$ และ $W = 0.009796 L^{3.0771}$ ตามลำดับ ปลาลอดเพศผู้มีการเติบโตแบบไอโซเมตริกส่วนเพศเมียและไม่แยกเพศ มีรูปแบบการเติบโตแบบอัลโลเมตริก ปลาลอดมีความคึกไข่อยู่ในช่วง 4,750-111,917 ฟอง ($27,693 \pm 18,114$ ฟอง) มีความสัมพันธ์ระหว่างความคึกไข่กับความยาวปลายหางมีค่าต่ำ ($r=0.253$) อยู่ในรูป $F_c = 70.60 L^{2.109}$ ฤดูวางไข่ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าสูงสุดในการวางไข่ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 และมีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1 : 3.3 ดังนั้นแนวทางในการจัดการทรัพยากรปลาลอด บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา ควรกำหนดให้มีการห้ามทำการประมงในช่วงฤดูวางไข่ คือในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนมกราคม ของทุกปี

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประจำปีงบประมาณ 2555 และได้รับการอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์และสถานที่จากภาควิชาชีววิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sasaki, K. (2001). Sciaenidae Croakers (drums). *In: FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Pacific, vol. 5. Bony Fishes: Part 3 (Menidae to Pomacentridae)* (eds. Carpenter, K.E., Niem, V.H). Rome: FAO.
- [2] อำนาจ ศิริเพชร และนพรัตน์ เรืองปฏิกรณ์. (2549). เครื่องมือและแหล่งประมงพื้นบ้านบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2549 ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง (สงขลา) : สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [3] Google Maps. (2558). อำเภอรโนด จังหวัดสงขลา. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2559, จาก <https://www.google.co.th/maps/place/%E0%B8%AD%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%A0%E0%B8%AD+%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B8%94+%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%82%E0%B8%A5%E0%B8%B2/@7.7772428,100.1511566,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x3052a2451b5c7bf3:0x30223bc2c368300!8m2!3d7.7896079!4d100.3048897>.
- [4] Bagenal, T. B. (1978). *Aspects of Fish Fecundity. In Ecology of Freshwater Fish Production* (ed. S.D. Gerking). London: Blackwell Scientific Publication.
- [5] Sparre, P. and Venema, S. C. (1998). *Introduction to Tropical Fish Stock Assessment Part 1 – Manual. FAO Fish. Tech. Pap. 306/1*. Rome: FAO.
- [6] Holden, M. J. and Raitt, D. F. S. (1974). *Manual of Fisheries Science. Part 2-Methods of Resource Investigation and Their Application. FAO Fisheries Technical Report No. 115, Rev. 1*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation.
- [7] Fisher, R. A. (1930). *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: The Clarendon Press.

ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์และองค์ประกอบในกระเพาะอาหาร ของปลาจากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง

Biodiversity of Zooplankton and Stomach Content of Fishes from Palian River, Trang Province

เดือนตา ร่าหมาน^{1*} ศิริลักษณ์ ช่วยพนัง² และพีรนาฏ คิด้ดี³

Tueanta Ramarn^{1*}, Sirilak Chuaypanang² and Peeranart Kiddee³

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์และองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาบริเวณแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์และปลาในเดือนสิงหาคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ 2558 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ใช้วิธีการลากในแนวระนาบที่ผิวน้ำด้วยถุงเก็บแพลงก์ตอนขนาด 65 ไมโครเมตร และเก็บตัวอย่างปลาโดยใช้ลอบ ผลการศึกษาพบแพลงก์ตอนสัตว์ 6 ไฟลัม 17 taxa โดยแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Arthropoda มีความชุกชุมมากที่สุด รองลงมาเป็น Phylum Mollusca และ Phylum Chordata ตามลำดับ แพลงก์ตอนสัตว์มีการกระจายที่แตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา และการจำแนกชนิดของปลา พบปลา 5 อันดับ 20 ชนิด ผลการศึกษาองค์ประกอบในกระเพาะปลา 8 ชนิด พบว่า ปลาทุกชนิดเป็นปลาพวกที่กินอาหารทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) แต่ชนิดของอาหารที่กินจะมีความแตกต่างกันออกไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารหลักได้แก่ ปลากระบอก (*Liza vaigiensis*) และกลุ่มที่กินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหารหลัก ได้แก่ ปลาที่เหลือทั้งหมด ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าแพลงก์ตอนสัตว์ซึ่งพบมีความหลากหลายของค่อนข้างสูงในบริเวณนี้และมีบทบาทในการเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของปลาในระบบนิเวศป่าชายเลนปะเหลียนจังหวัดตรัง นอกจากนี้จากการพบตัวอ่อนของกุ้ง ปู และปลาในตัวอย่างแพลงก์ตอนแสดงให้เห็นว่า ป่าชายเลนปะเหลียนเป็นแหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำที่สำคัญ

คำสำคัญ: ป่าชายเลน แพลงก์ตอนสัตว์ องค์ประกอบในกระเพาะอาหาร

¹ อ. ดร., สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² ศศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ อ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Dr., Biology Department, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210

² Asst. Prof. Biology and Environmental Science, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210

³ Dr., Biology and Environmental Science, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: tuantar@yahoo.com

Abstract

Zooplanktons diversity and stomach content of fishes were studied in Palian River, Tang Province. Zooplanktons and fishes were collected during August 2014 and February 2015 using plankton net (65 um) and fish trap, respectively. The results showed that zooplanktons in Palian River consist of 17 taxa from 6 Phyla. Phylum Arthropoda was the most abundance followed by Phylum Mollusca and Phylum Chordata, respectively. Zooplanktons distribution showed great spatial and temporal variation. Moreover, 5 order and 20 species of fishes were found. Among them, only 8 common species were analyzed for stomach content. The results revealed that feeding habit of fishes were varied among them. In general, all fish species were omnivorous. However, they could be separated into 2 groups; Mullet (*Liza vaigiensis*) which was phytoplankton feeder and the remaining fishes which were zooplanktons feeders. It may be concluded that; zooplankton is likely high in diversity served as the importance food source for fishes in Palian River. In addition, high abundance of shrimps, crab and fish larvae suggest that this ecosystem play an important role as a nursery ground for importance aquatic animals.

Keywords: Mangrove, Zooplankton, Stomach Content

บทนำ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่สำคัญและมีลักษณะเฉพาะตัวระบบนิเวศหนึ่ง มีลักษณะผสมผสานระหว่างระบบนิเวศบกและระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากเป็นบริเวณที่เป็นรอยต่อของระบบนิเวศทั้งสองที่กล่าวมา ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีประโยชน์หลายประการ เช่น เป็นแหล่งที่อยู่ของสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจาก เป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยเฉพาะมีแพลงก์ตอนซึ่งเป็นแหล่งอาหารของปลาเป็นจำนวนมาก [1] จึงส่งผลให้มีปลาและสัตว์เศรษฐกิจจำนวนมากในบริเวณป่าชายเลน [2] แพลงก์ตอนสัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ดำรงชีวิตด้วยการล่องลอยอยู่ในน้ำ ไม่สามารถบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ได้ มีขนาดแตกต่างกันไป สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในน้ำจืด น้ำเค็มและน้ำกร่อย การกระจายของแพลงก์ตอนสัตว์จะถูกควบคุมโดยทั้งปัจจัยทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ความสำคัญของแพลงก์ตอนสัตว์ในระบบนิเวศคือเป็นสิ่งมีชีวิตที่ กินได้ทั้งตะกอน แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ [3] ในขณะเดียวกัน แพลงก์ตอนสัตว์เองเป็นอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด ดังนั้น แพลงก์ตอนสัตว์จึงเป็นผู้เชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคลำดับสูงขึ้น ไป [4]

แม่น้ำปะเหลียนมีความยาวประมาณ 58 กิโลเมตร ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของแม่น้ำตรัง มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมดอยู่ในเขตจังหวัดตรัง ป่าชายเลนบริเวณแม่น้ำปะเหลียนมีพื้นที่มากกว่า 260,000 ไร่ โดยสามารถพบป่าชายเลนได้ตลอดสองข้างของฝั่งแม่น้ำปะเหลียนที่มีน้ำทะเลท่วมถึง ป่าชายเลนบริเวณแม่น้ำปะเหลียนอยู่ในเขตพื้นที่ของ 4 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอกันตัง ย่านตาขาว ปะเหลียนและหาดสำราญ เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง [5] พื้นที่นี้เป็นแหล่งประมงที่สำคัญของชุมชนที่อยู่อาศัยโดยรอบถึงแม้ว่าป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ ปะเหลียนจะยังคงเป็นป่าชายเลนที่อุดมสมบูรณ์ แต่เนื่องจาก ช่วงเวลาที่ผ่านมา มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่และทรัพยากรในพื้นที่ทั้งจากการทำการประมง การเลี้ยงหอย การเลี้ยงปลา นอกจากนี้ ยังมีการปล่อยน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ลงในบริเวณแม่น้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยตรง ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนและองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาในระบบนิเวศป่าชายเลนบริเวณแม่น้ำปะเหลียนเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการจัดการป่าชายเลนต่อไป

วิธีการวิจัย

พื้นที่

กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 (S1 และ S2) เป็นแม่น้ำตอนบน จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 (S3) บริเวณแม่น้ำตอนกลาง และจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 บริเวณปากแม่น้ำ (S4) (ภาพที่ 1)

การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนสัตว์

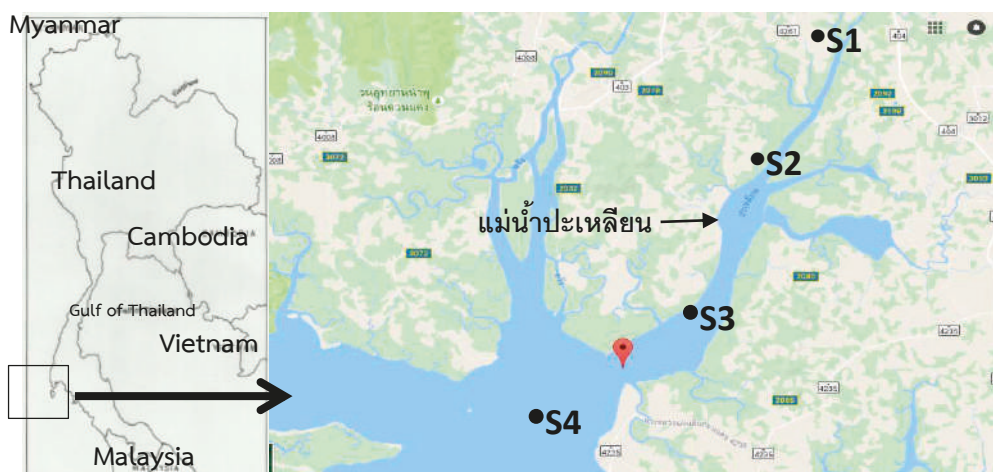
ศึกษาคุณภาพน้ำและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ 2 ครั้ง ในเดือนสิงหาคม 2557 และกุมภาพันธ์ 2558 ทำการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์และตรวจวัดคุณภาพน้ำที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด โดยแต่ละจุดจะเก็บตัวอย่างจุดเก็บตัวอย่างละ 3 ขั้ว ตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์จะใช้ถุงลากแพลงก์ตอนขนาด 65 ไมโครเมตร ลากในแนวนานกับระดับน้ำ หลังจากนั้น ทำการเก็บรักษาตัวอย่างด้วยฟอร์มาลินเข้มข้นสุดท้าย 4% [6] ในการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ทุกครั้งจะทำการวัดปริมาตรของน้ำที่ผ่านถุงกรองด้วยการคิดเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Flow Meter รุ่น GO 2030R) ที่ปากถุงเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอน จดบันทึกค่าก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างในทุกครั้งของการเก็บตัวอย่างจะเก็บ ข้อมูลคุณภาพน้ำ ปัจจัยที่ตรวจวัดคือ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) โดยใช้ Multi Probe (YSI รุ่น 556-01)

การเก็บตัวอย่างปลา

ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างปลาที่พบในบริเวณแม่น้ำปะเหลียน โดยการเก็บรวบรวมจากชาวประมงจากการใช้ลอบ ในการเก็บตัวอย่าง หลังจากได้ตัวอย่างปลามาแล้วจะแช่ตัวอย่างในน้ำแข็งทันทีและขนส่งกลับไปยังห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ชนิดและความชุกชุมแพลงก์ตอนสัตว์

ทำการวิเคราะห์ชนิดแพลงก์ตอนสัตว์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้สไลด์นับแพลงก์ตอน (Sedgwick-Rafter Counting Chamber) ขนาดความจุ 1 มล. [7] จัดจำแนกแพลงก์ตอนสัตว์ออกเป็นกลุ่มตามวิธีของ ลัดดา [8] นับจำนวนคำนวณความชุกชุม (Density) ดัชนีความหลากหลาย (Shannon-Weiner Diversity Index) ตามสูตรของ Clarke and Warwick. [9] ดัชนีความมกชนิด (Species Richness) คำนวณตามสูตร Margalef's Index [9] และดัชนีความเท่าเทียม (Evenness Index) คำนวณตามสูตรของ Pielou's Evenness Index [9]



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา แม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง (S1 และ S2 = แม่น้ำตอนต้น S3 = แม่น้ำตอนกลาง และ S4 = ปากแม่น้ำปะเหลียน)

ที่มา: <https://www.google.co.th/maps/place/แม่น้ำปะเหลียน/>

การวิเคราะห์องค์ประกอบอาหารในกระเพาะอาหารปลา

วิเคราะห์องค์ประกอบกระเพาะอาหารของปลาชนิดละ 30 ตัว ปลาที่วิเคราะห์องค์ประกอบในกระเพาะอาหารมี 8 ชนิด และมีขนาดความยาวมาตรฐาน (Standard Length, $x \pm SE$) ดังนี้ ปลาจวดเทา (*Nibeia saldado*) ความยาวเฉลี่ย 16.28 ± 0.58 ซม. ปลาจวด (*Asperivarvina jubata*) ความยาวเฉลี่ย 10.38 ± 0.46 ซม. ปลาจวดเตียนเขียว (*Otolith ruber*) ความยาวเฉลี่ย 8.66 ± 0.86 ซม. ปลาซ่อนทราย (*Sillago sihama*) ความยาวเฉลี่ย 14.19 ± 0.67 ซม. ปลาเสือพ่นน้ำ (*Toxotes chatareus*) ความยาวเฉลี่ย 9.50 ± 0.74 ซม. ปลาฉลามทะเล (*Plustosus anguillaris*) ความยาวเฉลี่ย 11.84 ± 2.14 ซม. ปลากระบอก (*Liza vaigiensis*) ความยาวเฉลี่ย 9.57 ± 1.41 ซม. และปลาลิ้นหมา (*Cynoglossus macrolepidotus*) ความยาวเฉลี่ย 11.85 ± 0.21 ซม.

การวิเคราะห์องค์ประกอบในกระเพาะอาหาร ทำโดยผ่าตัดเปิดช่องท้องของปลา นำทางเดินอาหารออกมาผ่ากระเพาะอาหารและเขี่ยอาหารที่อยู่ในกระเพาะทั้งหมดใส่ลงในจานเพาะเชื้อ เขี่ยให้อาหารกระจายออกจากกัน จำแนกชนิดอาหารด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ กระเพาะที่ไม่มีอาหารบันทึกผลเป็นกระเพาะว่างแยกอาหารกลุ่มต่างๆ ใส่ลงในอะลูมิเนียมฟอยด์นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 วัน และนำไปชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง [10] คำนวณความสัดส่วนของอาหารแต่ละชนิดโดยใช้สูตรของมารินท์ [11] ดังนี้

$$\text{สัดส่วนของอาหารแต่ละชนิด} = \frac{\text{น้ำหนักของอาหารชนิดนั้น} \times 100}{\text{น้ำหนักของอาหารทั้งหมด}}$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยคุณภาพน้ำ ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนและดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ที่ค่าระดับความเชื่อมั่น 95% และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Kruskal-Wallis test [12]

ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งสองครั้งของการเก็บตัวอย่าง ระดับอุณหภูมิของบริเวณต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการศึกษา โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26.99 ± 0.11 – 30.91 ± 0.57 ส่วนปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างชัดเจนในการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ คือ ระดับความเค็มจะมีค่าต่ำสุดอยู่ที่บริเวณแม่น้ำดอนบนในสถานี S1 และ S2 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14.23 ± 0.16 – 15.50 ± 0.67 ppt ในทำนองเดียวกัน ระดับออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำสุดที่บริเวณแม่น้ำดอนบน โดยมีค่าเฉลี่ย 2.98 ± 0.24 และ 1.62 ± 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงเดือนสิงหาคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ 2558 ตามลำดับ ในขณะที่บริเวณอื่นๆ จะมีค่าออกซิเจนละลายน้ำใกล้เคียงกัน (4.82 ± 0.05 – 6.72 ± 0.63 มิลลิกรัม/ลิตร) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 6.08 ± 0.02 – 7.58 ± 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร

ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์

จากการศึกษา พบ แพลงก์ตอนสัตว์ 6 ไฟลัม 17 Taxa คือ Phylum Annelida Phylum Mollusca Phylum Arthropoda Phylum Rotifera Phylum Chaetognatha และ Phylum Chordata (ตารางที่ 1) โดยมีแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Arthropoda เป็นองค์ประกอบหลักของสังคมแพลงก์ตอนสัตว์ในปากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง โดยมีสัดส่วนสูงถึง 69.28% รองลงมาได้แก่ Phylum Mollusca (25.61%) และ Phylum Chordata (4.13%) ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มอื่นจะพบเป็นจำนวนน้อย (<1%) นอกจากนี้ ความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์แตกต่างกันไปในเชิงพื้นที่ โดยแพลงก์ตอนสัตว์จะมีความชุกชุมมากที่สุดที่บริเวณ S4 และความชุกชุมจะลดลงในสถานี S3 S2 และ S1 ตามลำดับ

การแพร่กระจายของแพลงก์ตอนสัตว์ในเชิงพื้นที่

ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์มีการกระจายแตกต่างกันไปในเชิงสถานี โดยแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบได้ทุกสถานีได้แก่ กลุ่ม Cyclopoid copepod, Calanoid copepod, Shrimps post larva, Crustacean nauplius, Barnacle nauplius และ Fish larva ในทางตรงกันข้าม มีแพลงก์ตอนบางชนิดสามารถพบได้ในบางสถานีเท่านั้น คือ แพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Polychaete และ หนอนธนู *Sagitta* sp. จะพบในบริเวณ S3 และ S4 เท่านั้น ส่วน Mysis larva พบกระจายเกือบทุกสถานี (ยกเว้น S1) ในขณะที่ Cypris larva จะพบในสถานี S4 ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Rotifers จะพบเฉพาะสถานี S1 และ S2 (ตารางที่ 1)

ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพทั้ง 3 ค่าที่ศึกษามีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ ($p < 0.05$) โดยค่าดัชนีความหลากหลาย Shannon-Weiner's index มีค่าน้อยที่สุดที่ S1 และ S2 (0.28 ± 0.06 และ 0.28 ± 0.07 ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพจะสูงขึ้นในบริเวณตอนกลางของแม่น้ำ (0.44 ± 0.11) และสูงที่สุดในบริเวณปากแม่น้ำ (0.77 ± 0.02) ส่วนค่าดัชนีความมกชนิดมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณของการเก็บตัวอย่างเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความมกชนิดและความเท่าเทียมกันไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) ในเชิงพื้นที่

ตารางที่ 1 การกระจายของแพลงก์ตอนสัตว์ในเชิงพื้นที่ในเดือนสิงหาคม 2557 และกุมภาพันธ์ 2558 ในแม่น้ำปะเหลียน

Phylum	Taxa	เดือนสิงหาคม				เดือน กุมภาพันธ์			
		S1.	S2.	S3.	S4.	S1.	S2.	S3.	S4.
Annelida	Polychaete	-	-	/	/	-	-	-	/
Mollusca	Gastropod larva	/	/	/	/	-	-	/	/
	Bivalve larva	/	/	/	/	-	/	/	-
Arthropoda	Cyclopoid copepod	/	/	/	/	/	/	/	/
	Calanoid copepod	/	/	/	/	/	/	/	/
	Isopod	-	-	/	/	-	-	/	/
	Mysis larva	-	/	/	/	-	/	/	/
	Lucifer	-	-	/	/	/	/	/	/
	Shrimp post larva	/	/	/	/	-	-	/	/
	Crustacean nauplius	/	/	/	/	/	/	/	/
	Barnacle nauplius	/	/	/	/	-	-	/	/
	Crab larva	-	-	-	-	/	/	/	/
	Cladocera	/	/	-	-	-	-	-	-
Rotifera	Rotifer	/	/	-	-	-	-	-	-
Chaetognatha	<i>Sagitta</i> sp.	-	-	/	/	-	-	/	/
Chrodata	<i>Oikopleura</i> sp.	/	/	/	/	/	/	/	/
	Fish larva	-	-	-	-	/	/	/	/

การศึกษาองค์ประกอบของอาหารในกระเพาะอาหารของปลา

ในการศึกษาครั้งนี้ พบปลาทั้งหมด 20 ชนิด จัดอยู่ใน Class Actinopterygii Division Teleostei และมี 5 อันดับด้วยกัน คือ Order Clupeiformes, Order Mugiliformes, Order Perciformes, Order Pleuronectiformes และ Order Siluriformes จากปลา

ทั้งหมดที่พบเลือกทำการศึกษากลุ่มประกอบในกระเพาะอาหารเพียง 8 ชนิด โดยเลือกปลาที่เป็นปลาเศรษฐกิจและสามารถพบได้สม่ำเสมอ อาหารที่พบในกระเพาะของปลามีหลายกลุ่ม เช่น แพลงก์ตอนพืช ซากพืชหอย หมึก กลุ่มไส้เดือนทะเล แมงมุม มด แมลง กุ้ง ปู กุ้งเคย ปลา และอาหารที่ย่อยแล้ว (ภาพที่ 2) โดยปลาแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบในกระเพาะอาหารที่แตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตาม ปลาทั้ง 8 ชนิดเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (Omnivorous Fishes) โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ปลาที่กินพืชเป็นหลัก ได้แก่ ปลากระบอก ส่วนปลาที่เหลือทั้งหมดเป็นปลาที่กินสัตว์เป็นหลักในกระเพาะอาหารของปลาจวดเทา (49.46%) และกุ้งเป็นองค์ประกอบหลักในกระเพาะของปลาจวด *Aspericavina jubata* (49.97%) ปลาเห็ดโคนจะกินอาหารสองกลุ่มในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ กุ้งและไส้เดือนทะเล ปลาเสื่อพ่นน้ำจะกินปูเป็นอาหารหลัก เมื่อคิดน้ำหนักของอาหาร ส่วนปลากระบอกพบซากพืชในกระเพาะอาหารสูงถึง 87.13% รองลงมาเป็นแพลงก์ตอนพืช ในขณะที่ ปลาลิ้นหมากินอาหารหลากหลายชนิดในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ ซากพืช ไส้เดือนทะเลและโคฟิพอด (33.30 24.80 และ 20.40% ตามลำดับ)

อภิปรายผลการวิจัย

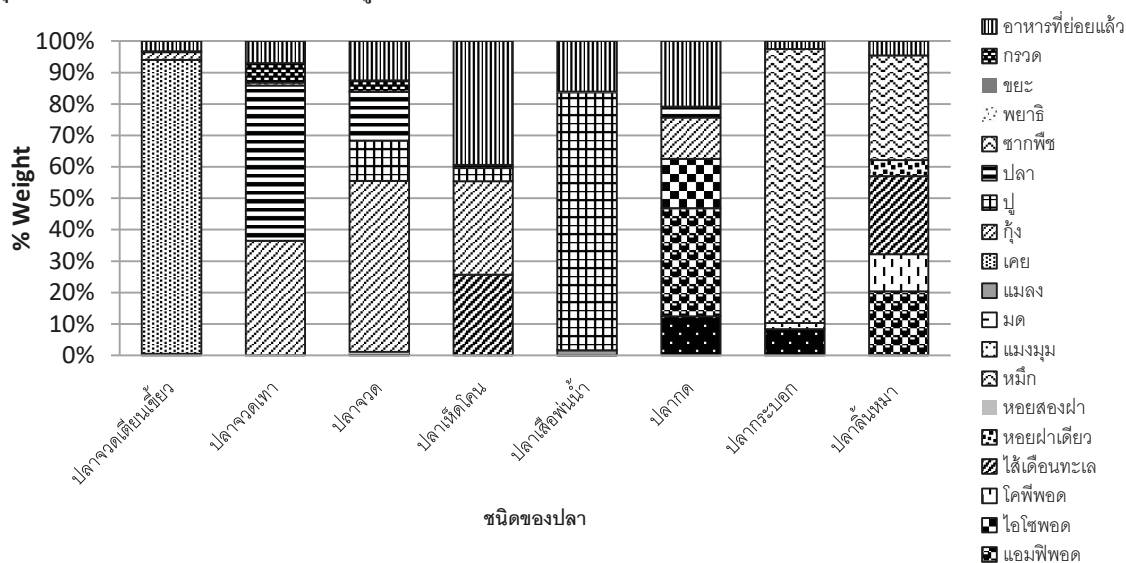
ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์

แพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Arthropoda เป็นไฟลัมที่มีความชุกชุมมากที่สุดบริเวณปากแม่น้ำปะเหลียนในช่วงที่ทำการศึกษา โดยเฉพาะกลุ่มโคฟิพอด แพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มนี้เป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบได้ทั่วไป โดยพบเป็นองค์ประกอบหลักของสังคมแพลงก์ตอนบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งได้มีรายงานจากหลายบริเวณ เช่น ปากแม่น้ำท่าจีน [13] ปากแม่น้ำบางปะกง [14] แพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโคฟิพอดมีความสำคัญในระบบนิเวศในบทบาทที่เป็นผู้บริโภคแพลงก์ตอนพืชที่สำคัญ นอกจากนี้โคฟิพอดยังเป็นอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำวัยอ่อนหลายชนิด เช่น ลูกปลาวัยอ่อนและกุ้ง เป็นต้น [15] ดังนั้น จากการศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า ปากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรังเป็นแหล่งน้ำที่มีระบบนิเวศที่มีความอุดมสมบูรณ์และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำรวมทั้ง เป็นที่อยู่อาศัยที่สำคัญของสัตว์น้ำวัยอ่อนที่เป็นสัตว์สำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ลูกกุ้ง ลูกปู ลูกปลา และหอยสองฝา

จากการศึกษาการแพร่กระจายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ในบริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน พบว่าแพลงก์ตอนสัตว์มีความหนาแน่นมากที่สุดที่บริเวณปากแม่น้ำและความชุกชุมลดลงในบริเวณตอนกลางของแม่น้ำและแพลงก์ตอนสัตว์มีความชุกชุมน้อยที่สุดที่บริเวณตอนต้นของแม่น้ำปะเหลียน นอกจากนี้ การกระจายของแพลงก์ตอนชนิดต่างๆ ยังมีความแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณที่ศึกษา กล่าวคือ แพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Calanoid copepod, Cyclopoid copepod, Shrimps larvae, Crustacean Nauplius และตัวอ่อนของเพรียงหิน (Barnacle Nauplius) เป็นกลุ่มแพลงก์ตอนที่พบได้เกือบทุกสถานีแต่พบชุกชุมมากที่สุดที่บริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน ทั้งนี้ อาจจะเนื่องมาจากการเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่มีรูปแบบการดำรงชีวิตที่หลากหลาย [Menon *et al.*, 1997 อ้างโดย 14] ในทางตรงกันข้าม แพลงก์ตอนสัตว์บางกลุ่มสามารถพบได้ในบางบริเวณที่ทำการศึกษาเท่านั้น เช่น โรติเฟอร์ พบได้ในบริเวณต้นน้ำของแม่น้ำปะเหลียน ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนสัตว์ในเชิงพื้นที่ดังกล่าว อาจเป็นคุณสมบัติของน้ำในแต่ละสถานีที่แตกต่างกันไป จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการศึกษ พบว่า ความเค็มและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าแตกต่างกันไปในเชิงพื้นที่ กล่าวคือ บริเวณปากแม่น้ำปะเหลียนจะมีค่าความเค็มและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าสถานีอื่นๆ ดังนั้น ปัจจัยคุณภาพน้ำทั้งสองปัจจัยนี้อาจเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ในบริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ [16] ที่ทำการศึกษา แพลงก์ตอนสัตว์ในบริเวณปากแม่น้ำ Seine Estuary พบแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโคฟิพอดเป็นกลุ่มเด่นและพบว่าแพลงก์ตอนสัตว์จะมีความชุกชุมสูงในบริเวณที่มีความเค็มระหว่าง 18-30 ppt นอกจากนี้ หัตยา [17] ได้รายงานว่

ปริมาณโคพีพอดและตัวอ่อนของครัสเตเชียในบริเวณป่าชายเลนปะเหลียนจะมีปริมาณมากในช่วงที่น้ำมีความเค็มสูง การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์มักจะเกี่ยวข้องอย่างเห็นได้ชัดกับการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำตามฤดูกาล [14]

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถแบ่งอุปนิสัยการกินอาหารของปลาออกเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ โดยปลากระบอกเป็นปลาที่กินพืชเป็นอาหารเด่น พบซากพืชและแพลงก์ตอนพืชในกระเพาะอาหารมากกว่าอาหารชนิดอื่น สอดคล้องกับการศึกษาองค์ประกอบกระเพาะอาหารของปลากระบอกที่ทำการเก็บตัวอย่างจากป่าชายเลน Merbok ประเทศมาเลเซีย พบว่า ปลากระบอกกินสาหร่าย ไคโตะคอม ซากพืช ไข่เดือนทะเล ครัสเตเชีย ปลา และกรวด โดยพบซากพืชมากที่สุด [18] ส่วนปลาชนิดอื่นที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ แต่จะกินอาหารที่เป็นสัตว์เป็นอาหารเด่น และส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมในการกินอาหารแบบเป็นผู้ล่า ฆาตกร และคณะ [10] กล่าวว่า ปลาที่กินอาหารในกลุ่มกุ้งและปลาเป็นสัตว์ที่มีอุปนิสัยในการกินอาหารโดยการเป็นผู้ล่าในระบบนิเวศ



ภาพที่ 2 องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาจากแม่น้ำปะเหลียน จ.ตรัง

ปลาทุกชนิดที่ศึกษามีแหล่งหากินที่แตกต่างกันไป ปลาดุกทะเล ปลาดุกดิน และปลาดุกน้ำเป็นปลาที่หากินตามพื้นท้องน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากพบไข่เดือนทะเลและกุ้งเป็นองค์ประกอบในกระเพาะอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานผลของ Tongnunui *et al.* [19] ที่กล่าวว่าปลาดุกดินเป็นปลาหน้าดินกินอาหารหลักได้แก่ Phylum Arthropoda และ Phylum Annelida นั่นคือ กุ้งและไข่เดือนทะเลเป็นอาหารหลักเช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่สัตว์ในกลุ่มนี้จะอาศัยตาม หน้าดินหรือพื้นน้ำ ทำให้สันนิษฐานได้ว่าปลาดุกดินที่ศึกษาในครั้งนี้อาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน ถึงแม้ว่าปลาชนิดเดียวกันจะมีความแตกต่างกันในการกินอาหารเมื่ออยู่ในระบบนิเวศที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม จากการรายงานการศึกษาองค์ประกอบอาหารของปลาดุกดินจากหลายพื้นที่ เช่น อ่าวสีเกา อ่าวไทยตอนล่างและในอ่าวเปอร์เซียการรายงานผลในทำนองเดียวกัน นั่น คือ ปลาดุกดินจะเป็นสัตว์หน้าดินและกินไข่เดือนทะเล กุ้ง ปู [20] ส่วนปลาดุกน้ำเป็นปลาที่อาศัยอยู่ตามพื้นท้องน้ำ เช่นเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Link *et al.* [21] รายงานว่าปลาดุกน้ำกินอาหารที่เป็นสัตว์หน้าดิน โดยเฉพาะไข่เดือนทะเลและ Gammarids สอดคล้องกับถิ่นที่อยู่อาศัยที่เป็นปลาที่อยู่ตามพื้นท้องน้ำ [22] ถึงแม้ว่า ปลาชนิดเดียวกันที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่แตกต่างกันจะกินอาหารที่คล้ายกัน แต่อาจจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ อาจจะเป็นเนื่องจากการกินอาหารของปลามีการแปรผันไปตามถิ่นที่อยู่อาศัย ฤดูกาลและปริมาณอาหารในระบบนิเวศ [23] ส่วนองค์ประกอบในกระเพาะของปลาดุกน้ำจะสอดคล้องกับการศึกษาปลาดุกน้ำที่เก็บตัวอย่างจากป่าชายเลนในประเทศมาเลเซีย กล่าวคือ พบปูเป็นองค์ประกอบหลัก (72.55%) นอกจากนี้ ยังพบแมลงกลุ่มมด ค้าง และแมงมุม เป็นอาหารกลุ่มรองลงมา [24] จากการศึกษานี้ จะเห็นได้ว่า

ปลาในแม่น้ำปะเหลียนมีการกินอาหารที่หลากหลาย ซึ่งเป็นกลไกทางธรรมชาติในการลดการแก่งแย่งแข่งขันในกลุ่มปลาที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศเดียวกัน

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบขยะ เช่น พลาสติกและชิ้นส่วนของกล่องโฟม ในกระเพาะอาหารของปลาบางชนิด คือ ปลาเสือพ่นน้ำ สิ่งเหล่านี้ที่พบในกระเพาะปลาไม่ใช่อาหารของปลา แต่อาจจะเข้าสู่กระเพาะปลาในขณะที่ปลากินอาหาร แสดงให้เห็นว่า การทิ้งขยะไม่ถูกที่ถูกทางของมนุษย์ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศและเป็นอันตรายต่อปลา เพราะปลาไม่สามารถย่อยขยะเหล่านี้ได้ ทั้งนี้ มีการรายงานก่อนหน้านี้ว่ามีการพบขยะหรือพลาสติกในกระเพาะปลาหลายชนิด เช่น Romeo *et al.* [25] รายงานการพบพลาสติกในกระเพาะของปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เช่น ปลากะโทงแทง โดยพบพลาสติกในกระเพาะของปลาตัวอย่างในสัดส่วนที่สูงถึง 18.2% รวมทั้ง Cannon *et al.* [26] รายงานการพบพลาสติกในกระเพาะปลา Antarctic tooth fish (*Dissostichu smawsoni*) จากปลาในทะเลทางซีกโลกใต้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา พบแพลงก์ตอนสัตว์จำนวน 6 ไฟลัม 17 taxa โดย Phylum Arthropoda เป็นไฟลัมที่เป็นองค์ประกอบหลักของแพลงก์ตอนในปากแม่น้ำปะเหลียน ความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์จะสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำ และน้อยที่สุดที่ตอนต้นของแม่น้ำปะเหลียน ความเค็มของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อรูปแบบการกระจายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ป่าชายเลนปะเหลียนเป็นป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เป็นแหล่งอนุบาลตัวอ่อนและแหล่งอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น กุ้ง ปู และปลา และแพลงก์ตอนสัตว์มีความสำคัญในระบบนิเวศของป่าชายเลนปะเหลียน ในฐานะเป็นอาหารที่สำคัญของปลาในระบบนิเวศป่าชายเลนปะเหลียน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ (สวพ. ม.ทักษิณ) ในการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยทักษิณ ในการอำนวยความสะดวกเครื่องมือและสถานที่ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chew, L.L. and V.C. Chong. (2011). "Copepod community structure and abundance in atropical mangrove estuary, with comparisons to coastal waters", **Hydrobiologia**. 666, 127-143.
- [2] Jacoby, C.A. and Greenwood, J.G. (1989). "Emergent zooplankton in Moreton Bay, Queensland, Australia: seasonal, lunar and diel patterns in emergence and distribution with respect to substrata", **Marine Ecology Progress Series**. 51, 131-154.
- [3] Vilas, C., Drake, P. and Fockedey, N. (2008). "Feeding preferences of estuarine mysids *Neomysisinteger* and *Rhopalophthalmustartessicus* in a temperate estuary (Guadalquivir Estuary, SW Spain)", **Estuarine Coastal and Shelf Science**. 77, 345-356.
- [4] Turner, J. T. (2004). "The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs", **Zoological Studies**. 43(2), 255-266.
- [5] หนังสือพิมพ์แนวหน้า. (2554). มหัตถรย์ป่าชายเลน บ้านวังวน แห่งลุ่มน้ำปะเหลียน จ.ตรัง กับการเรียนรู้การจัดการของชาวบ้านสู่ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ (สฎูปพิเศษ). สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2560, จาก <http://www.ryt9.com/s/nnd/1306995>.

- [6] Grabe, S.A., Price, W.W., Abdulqader, E.A.A. and Heard, R.W. (2004). "Shallow-water mysida (Crustacea: Mysidacea) of Bahrain (Arabian Gulf): species composition, abundance and life history characteristics of selected species", **Journal of Natural History**. 38, 2315-2329.
- [7] ลัดดาวรัตน์ และโสภณบุญญากิจวัฒน์. (2546). **คู่มือวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างแพลงก์ตอน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มก.
- [8] ลัดดาวรัตน์. (2543). **แพลงก์ตอนสัตว์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มก.
- [9] Clarke K.R. and Warwick, R.M. (2001). **Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation**. Plymouth, UK: PRIMER-E Ltd.
- [10] ธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์ เอกราช รุ่งรังสี และมานพ เหล็กปาน. (2557). **การวิเคราะห์การกินอาหารของปลา**. กรุงเทพฯ : กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [11] มารินทร์ สว่างศรี. (2550). **อาหารและนิสัยการกินอาหารของปลากะบอก Tade mullet, *Liza tade* (Forsskal, 1775) บริเวณปากแม่น้ำแม่กลองจังหวัดสมุทรสงคราม**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [12] Sokal, R.R. and Rolf, F.J. (1995). **Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. 3rd ed. New York: W.H. Freeman.
- [13] ไพรินทร์ เพ็ญประไพ และวิญญู นิยมไทย. (2556). **ประชากรแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน**. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งและป่าชายเลน กรมประมง.
- [14] หัตถยา ธงรบ. (2530). **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [15] Medeiros, E.S.F. and Arthington, A.H. (2008). "The importance of zooplankton in the diets of three native fish species in floodplain waterholes of a dryland river, the Macintyre River, Australia", **Hydrobiologia**. 614, 19-31
- [16] Mouny, P. and Dauvin, J.C. (2002). "Environmental control of esozooplankton community in the Seine estuary (English Channel)", **Oceanologica Acta**. 25, 13-22.
- [17] หัทยา เพชรอาวุธ. (2556). **ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง**. โครงการวิจัยทางชีววิทยาระดับปริญญาตรี. พัทลุง : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [18] Fatema, K., Omar, W. M. W. and Isa, M. M. (2013). "Identification of food and feeding habits of Mullet fish, *Liza subviridis* (Valenciennes, 1836), *Valamugilbuchanani* (Bleeker, 1853) from Merbok estuary, Kedah, Malaysia", **Journal of Life Science and Technology**. 1, 47-50.
- [19] Tongnunui, P., Sano, M. and Kurokura, H. (2005). "Feeding habits of two sillaginid fishes, *Sillagosihama* and *S. aeolus*, at the Sikao Bay, Trang Province, Thailand", **La mer**. 43, 9-17.
- [20] Hajisamae, S., Yeesin, P. and Ibrahim, S. (2006). "Feeding ecology of two Sillaginid fishes and trophic interrelations with other co-existing specie in the southern part of South China Sea", **Environmental Biology and Fisheries**. 76, 167-176.
- [21] Link, J.S., Bolles, K. and Milliken, C.G. (2002). "The feeding of flatfish in the Northwest Atlantic", **Journal of Northwest Atlantic Fisheries Science**. 30, 1-17.
- [22] Jayaprakash, A.A. (2000). "Food and Feeding habits of Malabar sole *Cynoglossus macrostomus* Norman", **Journal marine biology Association India**. 42, 124-134

- [23] Schafer, L.N., M.E. Platell, F. J. Valesini and I. C. Potter. (2002). "Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on dietary compositions of fish species in nearshore marine waters", **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 278, 67–92.
- [24] Simon, K.D. and Mazlan, A.G. (2010). "Trophic position of archerfish species (*Toxotes chatareus* and *Toxotes jaculatrix*) in the Malaysian estuaries, **Applied Ichthyology**. 26: 84-88.
- [25] Romeo, T., Pietro, B., Peda, C., Consoli, P., Andaloro, F. and Fossi, M. C. (2015). "First evidence of present of plastic debris in the stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea", **Marine Pollution Bulletin**. (95), 358-361
- [36] Cannon, S. M. E., Lavers, J. L. and Figueiredo, B. (2016). "Plastic ingestion by fish in the Southern Hemisphere: A baseline study and review of methods", **Marine Pollution Bulletin**. (Article in press).

การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของไก่กระถาง

Use of Dietary *Leucaena leucocephala* Leaf Meal in Pellet Form on Production Performance and Carcass Quality of Broiler Chickens

สาิชล เลิศสุวรรณ^{1*} และวรพงษ์ นลินานนท์¹

Saichon Lerdsuwan^{1*} and Warrapong Nalinanon¹

บทคัดย่อ

การใช้ใบกระถินป่น (*Leucaena leucocephala* leaf meal, LLM) ที่ระดับ 0.5 และ 10% ในสูตรอาหารในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่กระถาง โดยใช้ลูกไก่สายพันธุ์ Ross 308 อายุ 1 วัน จำนวน 120 ตัว แบ่งออกเป็น 3 ทรีทเมนต์ๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 10 ตัว (เพศผู้ 5 ตัว และเพศเมีย 5 ตัว) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 42 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มไก่ตัวละ 1 ตัว (เพศผู้จากซ้ำที่ 1 และ 2 และเพศเมียจากซ้ำที่ 3 และ 4) นำมาชำแหละเพื่อศึกษาคุณภาพซาก พบว่า ในช่วงระยะไข่เล็ก (อายุ 1-21 วัน) กลุ่มที่ใช้ 5 และ 10% LLM มี BWG, ADG และ FI สูงกว่ากลุ่มควบคุม (0% LLM) ($p < 0.05$) ส่วนในระยะขุน (ช่วงอายุ 22-42 วัน) และตลอดระยะเวลาการทดลอง (อายุไก่ 1-42 วัน) กลุ่มที่ใช้ 10% LLM มีสมรรถภาพการผลิตสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ 0 และ 5% LLM ($p < 0.05$) ยกเว้น FCR และอัตราการตายในทุกช่วงการทดลองให้ผลไม่ต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่การใช้ 5 และ 10% LLM ในสูตรอาหาร มีผลทำให้ FCG มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม 1.45-4.08 บาท ค่าคุณภาพซาก พบว่า ให้ผลไม่แตกต่างกัน ยกเว้นเนื้อสะโพกในไก่กลุ่มที่ใช้ 10% LLM มีสัดส่วนสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่ม 5% LLM ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: ใบกระถินป่น, ไข่เนื้อ, สมรรถภาพการผลิต, คุณภาพซาก

Abstract

This study was to investigate the production performance and carcass quality of broilers supplemented with LLM in form of dietary pellet, at the levels of 0% (control), 5% and 10%. The total of 120, one-day old Ross 308 broiler chicks, were randomly assigned to 3 groups with 4 replicates of 10 chicks (5 males, 5 females) in CRD. The study was conducted for 42 days. At the end of the study, 4 chicks were randomly selected from each group (male chicks from rep No. 1 and 2, females from rep No. 3 and 4). The result revealed that during starter period (chicks age 1-21 days old), groups fed with 5% and 10% LLM showed significantly higher BWG, ADG and FI than the control group ($p < 0.05$). In the finisher period (during 22-42 days old) and throughout the experiment (during 1-42 days old), the group that was fed with 10% LLM showed higher production performance than other groups, except for FCR and mortality rate in all stages. However, 5%

¹ อ., ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon Province, 86160

* Corresponding author: Tel: 081-100-8248. E-mail address: saichon.le@kmitl.ac.th

and 10% LLM in diet caused higher FCG (1.45-4.08 Baht/kg weight gain) than the control group. There was no significant difference in carcass quality, except for thigh meat which was significantly higher in the group that fed with 10% LLM than the control and 5% LLM groups ($p < 0.05$)

Keywords: Leucaena Leaf Meal, Broilers, Prouction Performance, Carcass Quality

บทนำ

ในประเทศไทยมีการปลูกกระถิน เพื่อทำใบกระถินแห้งและผลิตใบกระถินป่น ปีละประมาณ 60,000 ตัน [1] เนื่องจาก ใบกระถินป่น มีโปรตีนค่อนข้างสูงและมีโภชนาที่เหมาะสมในการนำไปผลิตอาหารสัตว์ได้ เช่น โปรตีน 23.44% ไขมัน 6.40% [2] แคลเซียม 1.62% ฟอสฟอรัส 0.18% และพลังงานรวม 19.79 เมกะจูล/กก. [3] ใบกระถินใช้เลี้ยงสัตว์ได้ทุกชนิด ในสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่น โค กระบือ แพะ และ แกะ สามารถใช้ได้โดยไม่มีข้อจำกัด [1] แต่การใช้ใบกระถินในสัตว์ปีกนั้นยังมีข้อจำกัด เนื่องจากใบกระถินมีสารพิษไมโมซิน (Mimosine) [4] ซึ่งมีผลไปขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ทำให้สัตว์ชะงักการเจริญเติบโต [5] แต่การนำใบกระถินไปตากแห้งประมาณ 1-3 วัน สามารถลดปริมาณสารไมโมซินได้ประมาณ 40% นอกจากนี้ในใบกระถินแห้งยังมีปริมาณเยื่อใยค่อนข้างสูงถึง 14.30% [2] ทำให้อาหารผสมที่ได้มีลักษณะฟาม ดังนั้นการอัดเม็ดจะช่วยลดความฟามของอาหาร ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น อาหารไม่เป็นฝุ่น วัตถุดิบในอาหารผสมไม่แยกตัวกัน ลดการเลือกกินอาหารของสัตว์ และอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดจะผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อน ทำให้ลดสารพิษและเชื้อราที่อาจปนเปื้อนในอาหาร รวมถึงความร้อนจากการบีบอัดทำให้วัตถุดิบจำพวกแป้งในอาหารสุก สัตว์สามารถย่อย และนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น [6] จากงานวิจัยของ Zamu *et al.* [2] ที่ได้ศึกษาการใช้ใบกระถินป่น (LLM) ในไก่กระທ ในรูปแบบอาหารผง พบว่าเมื่อใช้ LLM ในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม และอัตราแลกน้ำหนักด้อยลง ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการศึกษาการใช้ LLM ในไก่กระທ ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาระดับการใช้ LLM ที่เหมาะสมในรูปแบบอาหารอัดเม็ดสำหรับการเลี้ยงไก่กระທ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยเผยแพร่สู่เกษตรกรผู้ผลิตไก่กระທ

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมใบกระถินป่น

นำใบกระถินสดที่เก็บได้จากในพื้นที่ใน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ อ.ปะทิว จ.ชุมพร มาตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3-4 วัน จนมีลักษณะแห้งกรอบ จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิลล์ (Hammer Mill) ให้มีขนาดอนุภาค 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปใช้ผสมอาหารทดลอง ในที่นี้กำหนดราคาจำหน่ายใบกระถินป่นในท้องตลาด 7 บาท/กิโลกรัม

2. สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

ใช้ลูกไก่กระທ (Ross308) อายุ 1 วัน จำนวน 120 ตัว เป็นเพศผู้ 60 ตัว และเมีย 60 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 40 กรัม จัดเข้าเลี้ยงในคอกทดลองขนาด 1.2 x 1.2 เมตรจำนวน 12 คอกๆ ละ 10 ตัว มีเพศผู้และเพศเมียอย่างละ 5 ตัว ในโรงเรือนแบบเปิด โดยในช่วงระหว่างการทดลอง โรงเรือนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82 %

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งกลุ่มทดลอง (Treatment) ออกเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับการใช้ LLM ในสูตรอาหาร กลุ่มละ 4 ซ้ำๆ ละ 10 ตัว กลุ่มทดลองได้แก่ กลุ่มควบคุมซึ่งไม่มีการใช้ LLM, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด (ตารางที่ 1) โดยอาหารทดลองทุกสูตรคำนวณให้มีส่วนประกอบโภชนาตามความต้องการของสัตว์ ในระยะไก่เล็ก (อายุ 1-21 วัน) มีระดับโปรตีน 23% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME)

3,100 Kcal/kg และระยะไถ่ขุน (อายุ 22-42 วัน) มีระดับโปรตีน 20% และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) 3,150 Kcal/kg ตามคำแนะนำของ NRC [7] ในระหว่างการทดลองไก่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบวัตถุดิบอาหารทดลอง

ช่วงอายุไก่ (วัน)	1-21 (ระยะไถ่เล็ก)			22-42 (ระยะไถ่ขุน)		
ระดับ LLM ในสูตรอาหาร (%)	0	5%	10%	0	5%	10%
ข้าวโพด	33.95	32.00	22.50	46.50	27.72	23.03
มันสำปะหลัง	17.00	13.86	18.68	16.30	22.00	25.70
กากถั่วเหลือง (45% CP)	31.00	29.30	29.12	21.79	26.84	22.16
ปลาป่น (58% CP)	9.55	10.00	10.00	10.00	9.00	10.00
ใบกระถินป่น	-	5.00	10.00	-	5.00	10.00
เกลือ	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
ฟอสฟอรัส ^{1/}	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ไคแคลเซียมฟอสเฟต (18% P)	1.85	1.66	1.52	1.40	1.85	1.10
น้ำมันปาล์ม	5.47	7.00	7.00	3.02	6.58	7.00
ดีแอล - เมทไทโอนีน	0.53	0.53	0.53	0.34	0.36	0.36
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ราคาอาหาร (บาท/กก.)	18.50	18.33	17.65	16.97	16.79	16.55
องค์ประกอบทางเคมี โดยการคำนวณ (% air dry basis)						
โปรตีน	23.00	23.00	23.00	20.00	20.00	20.00
ME (kcal/kg)	3,182	3,153	3,042	3,180	3,180	3,147
เยื่อใย	3.43	4.06	4.74	3.14	4.14	4.71
แคลเซียม	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัส	0.71	0.69	0.68	0.64	0.63	0.60
ไลซีน	1.38	1.40	1.44	1.18	1.20	1.25
เมทไทโอนีน	0.93	0.93	0.93	0.72	0.72	0.72

^{1/} ส่วนประกอบต่อ 100 กิโลกรัมอาหาร: vit A 4,500,000 IU; vit D 750,000 IU; vit E 10 mg; vit K3 0.75 mg; vit B1 1.1 mg; vit B2 3.0 mg; vit B3 10.0 mg; vit B6 2.0 mg; vit B12 12.5 µg; pantothenic 7.0 mg; folic 425.0 µg; biotin 0.1 mg; Cu 5.0 mg; Fe 48.0 mg; I 0.5 mg; Mn 30 mg; Se 0.1 mg และ Zn 50 mg.

การอัดเม็ดอาหารทดลอง นำส่วนผสมของวัตถุดิบตามสูตรอาหารทดลอง ดังตารางที่ 1 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปรับความชื้นโดยการเติมน้ำให้ส่วนผสมมีความชื้นเพิ่มขึ้น 30 % นำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องบดอัดแบบ mincer (เครื่องบดเนื้อ) ผ่านหน้าแวนที่มีรูขนาด 2.0 มม. โดยในขณะอัดเม็ดอาหารผสมจะเกิดความร้อนขึ้น (ประมาณ 80 °C) วัตถุดิบจากพืชที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบจะเปลี่ยนสภาพเป็นสารเหนียวทำให้วัตถุดิบเกาะตัวกัน อาหารผสมที่อัดเม็ดแล้วจะมีลักษณะเป็นเส้นมีความร้อนและความชื้นสูง ต้องนำไปผึ่งลมเพื่อระบายความร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C อีกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนอาหารผสมจะแห้ง (มีความชื้นต่ำกว่า 12%) จึงบรรจุในกระสอบเพื่อเก็บไว้ใช้สำหรับการทดลองต่อไป

3. การเก็บและบันทึกข้อมูล

สมรรถภาพการเจริญเติบโต

บันทึกผลการทดลองตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ น้ำหนักตัวไก่ที่อายุ 1 21 และ 42 วัน และปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุ นำข้อมูลที่บันทึกได้มาคำนวณค่า น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (BWG) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) ปริมาณการกินอาหาร (FI) อัตราแลกน้ำหนัก (FCR) อัตราการตาย (Mortality Rate) ต้นทุนค่าอาหาร (Feed Cost) และต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (Feed Cost per Gain, FCG)

คุณภาพซาก

เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองสุ่มไก่จากทุกซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัว โดยซ้ำที่ 1 และ 2 สุ่มเลือกจากไก่เพศผู้ ส่วนซ้ำที่ 3 และ 4 เป็นไก่เพศเมีย รวมทั้งหมด 12 ตัว นำมาคอกอาหารเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการฆ่าและชำแหละเพื่อตรวจสอบคุณภาพซาก ตามวิธีการเช่นเดียวกับรายงาน Abou-Elezz *et al.* [3] ได้แก่ น้ำหนักไก่มีชีวิต (Live Weight) ซากไก่ถอนขน (Dressed Carcass) ซากไก่ล้างเครื่องในออก (Eviscerated Carcass) คอและหัว (Head and Neck) แข้ง (Shank) ไขมันช่องท้อง (Abdominal Fat) เครื่องในรวม (Visceral Organs) และเครื่องในที่กินได้ (Giblets) ได้แก่ ตับ (Liver) กึ้น (Gizzard) และหัวใจ (Heart) บันทึกน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไก่มีชีวิต (% LW)

นำซากไก่ที่ล้างเอาเครื่องในและผ่านการแช่เย็น (Cooling) นาน 24 ชั่วโมง นำมาชำแหละเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ตามวิธีการเช่นเดียวกับรายงาน Lin *et al.* [4] ได้แก่ ซากเย็น (Chilled Carcass) (ไม่รวมน้ำหนักคอ หัว และแข้ง) เนื้อหน้าอก (Breast) สะโพกติดกระดูก (Thighs) น่อง (Drumsticks) ปีก (Wings) และน้ำหนักโครงกระดูก (Skeleton Frame) ซึ่งรวมทั้งอวัยวะ ปอด และไตที่ยังคงค้างอยู่ใน บันทึกน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ คำนวณเป็นค่าผลผลิตซาก (Carcass Yield) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซากเย็น (Chilled Carcass Weight)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

5. สถานที่ทำการทดลอง

ทำที่อาคารปฏิบัติการสัตว์ปีก ศูนย์เกษตรอาหารและพลังงานทางเลือก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ อ.ปะทิว จ.ชุมพร

ผลการวิจัย

การใช้ LLM ในระดับต่างๆ คือ 0 (ควบคุม) 5 และ 10% ในสูตรอาหารในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของไก่กระທ โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะตามการเจริญเติบโตคือ ระยะไก่เล็ก (อายุ 1-21 วัน) และระยะไก่ขุน (อายุ 22-42 วัน) ได้ผลการทดลองดังนี้

สมรรถภาพการผลิต

ระยะไก่เล็ก ช่วงอายุ 1-21 วัน

ผลแสดงไว้ในตารางที่ 2 น้ำหนักตัวที่อายุ 21 วัน BWG, ADG, FI และต้นทุนค่าอาหารต่อตัวของไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5 และ 10% มีค่าสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่อัตราแลกน้ำหนัก และอัตราการตาย ของไก่ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 การใช้กระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่กระທ

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับใบกระถินป่นในสูตรอาหาร (%)			P - Value
	0	5%	10%	
ไก่เล็ก ช่วงอายุ 1-22 วัน				
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กรัม)	40.00 ± 0.11	40.00 ± 0.02	40.00 ± 0.15	0.99
น้ำหนักตัวที่อายุ 21 วัน (กรัม)	429.86 ± 67.90 ^b	578.61 ± 54.91 ^a	584.92 ± 65.18 ^a	0.01
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	389.86 ± 67.91 ^b	539.52 ± 56.37 ^a	545.83 ± 65.49 ^a	0.01
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	18.56 ± 3.23 ^b	25.69 ± 2.68 ^a	25.99 ± 3.12 ^a	0.01
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	26.63 ± 1.20 ^b	38.66 ± 4.75 ^a	41.56 ± 4.39 ^a	0.00
อัตราแลกน้ำหนัก	1.62 ± 0.23	1.52 ± 0.24	1.60 ± 0.04	0.71
อัตราการตาย (%)	7.50 ± 9.57	9.55 ± 11.05	17.05 ± 9.46	0.40
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)	11.51 ± 0.46 ^b	14.88 ± 1.83 ^a	15.40 ± 1.63 ^a	0.00
ไก่ขุน ช่วงอายุ 22-42 วัน				
น้ำหนักตัวที่อายุ 42 วัน (กรัม)	1,298.75 ± 155.81 ^b	1,236.70 ± 181.92 ^b	1,722.57 ± 118.48 ^a	0.00
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	868.89 ± 101.40 ^b	658.09 ± 210.63 ^b	1,137.65 ± 115.72 ^a	0.00
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	41.38 ± 4.83 ^b	31.34 ± 10.03 ^b	54.17 ± 5.51 ^a	0.00
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	77.40 ± 8.24 ^b	75.58 ± 8.41 ^b	113.54 ± 9.84 ^a	0.00
อัตราแลกน้ำหนัก	1.87 ± 0.08	2.54 ± 0.55	2.10 ± 0.18	0.05
อัตราการตาย (%)	7.78 ± 9.69	13.40 ± 12.40	6.35 ± 7.45	0.59
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)	27.58 ± 2.94 ^b	26.65 ± 2.97 ^b	39.46 ± 3.42 ^a	0.00
ตลอดระยะการทดลอง (อายุไก่ 1-42 วัน)				
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	1,258.75 ± 155.81 ^b	1,197.61 ± 181.44 ^b	1,683.48 ± 119.17 ^a	0.00
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	29.97 ± 3.71 ^b	28.51 ± 4.32 ^b	40.08 ± 2.84 ^a	0.00
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	53.52 ± 4.71 ^b	57.12 ± 4.72 ^b	77.55 ± 6.19 ^a	0.00
อัตราแลกน้ำหนัก	1.79 ± 0.06	2.03 ± 0.33	1.94 ± 0.10	0.29
อัตราการตาย (%)	15.00 ± 10.00	21.82 ± 14.60	22.05 ± 12.74	0.68
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)	39.10 ± 3.40 ^b	41.53 ± 3.40 ^b	54.86 ± 4.37 ^a	0.00
ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัว 1 กก.	31.16 ± 1.15	35.24 ± 5.85	32.61 ± 1.74	0.31

^{a, b} ตัวอักษรกำกับค่าเฉลี่ย ± SD ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ระยะไก่ขุน ช่วงอายุ 22-42 วัน

พบว่า สมรรถภาพการผลิต (BWG, ADG และ FI) รวมถึงต้นทุนค่าอาหารต่อตัว ของไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 10 % มีค่าสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมและไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5 % ($p < 0.05$) ในขณะที่อัตราแลกน้ำหนัก และอัตราการตายของไก่ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2)

ผลตลอดระยะเวลาการทดลอง (ไก่อายุ 1-42 วัน)

เมื่อพิจารณาผลตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต พบว่า การใช้ LLM ที่ระดับ 10% มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิต (BWG, ADG, FI และต้นทุนค่าอาหารต่อตัว) มีค่าสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมและไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5% ($p < 0.05$) ส่วนอัตราแลกน้ำหนักและอัตราการตายของไก่ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

คุณภาพซาก

ผลแสดงไว้ในตารางที่ 3 ปรากฏว่า การใช้ LLM ทุกระดับ 5 และ 10% ไม่มีผลทำให้คุณภาพซาก ซึ่งได้แก่ เปอร์เซ็นต์ซาก สัดส่วนของเลือดและขน อวัยวะภายใน และไขมันช่องท้อง รวมถึงส่วนองค์ประกอบซาก ได้แก่ สัดส่วนของปีก เนื้อทั้งหมด เนื้อหน้าอก เนื้อน่อง และโครงกระดูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อคุณภาพซากและองค์ประกอบซากของไก่กระทงที่อายุ 42 วัน

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับใบกระถินป่นในสูตรอาหาร (%)			P-value
	0	5%	10%	
คุณภาพซาก (% LW)				
น้ำหนักไก่มีชีวิต (กิโลกรัม)	1,525.00 ± 250.00 ^{ab}	1,375.00 ± 50.00 ^b	1,775.00 ± 206.16 ^a	0.04
เปอร์เซ็นต์ซากถอนขน	93.30 ± 1.18	92.72 ± 0.27	94.31 ± 0.65	0.05
เปอร์เซ็นต์ซากไม่รวมเครื่องใน	82.15 ± 4.23	85.44 ± 0.55	80.36 ± 1.11	0.05
เลือดและขน	6.70 ± 1.18	7.28 ± 0.27	5.69 ± 0.65	0.05
ไขมันช่องท้อง	0.87 ± 0.05	0.89 ± 0.05	0.81 ± 0.07	0.32
หัวและคอ	9.02 ± 0.96	8.95 ± 0.45	7.85 ± 1.16	0.18
แข้ง	4.59 ± 0.55	4.43 ± 0.48	3.87 ± 0.40	0.14
เครื่องในที่กินได้				
กึ๋น	2.27 ± 0.32	2.20 ± 0.59	1.95 ± 0.12	0.50
ตับ	1.94 ± 0.20	2.46 ± 0.06	2.18 ± 0.07	0.06
หัวใจ	0.53 ± 0.17	0.67 ± 0.09	0.78 ± 0.27	0.23
องค์ประกอบซาก (% chilled carcass weight)				
น้ำหนักซากเย็น (กิโลกรัม) ^{1/}	1,041.75 ± 153.91 ^{ab}	991.00 ± 44.97 ^b	1,215.75 ± 113.92 ^a	0.05
ปีก	13.58 ± 0.56	12.53 ± 1.80	13.30 ± 2.06	0.65
เนื้อทั้งหมด	56.83 ± 4.85	54.54 ± 7.25	60.05 ± 2.04	0.36
เนื้อสะโพก	17.26 ± 0.53 ^b	17.09 ± 1.19 ^b	19.83 ± 0.78 ^a	0.00
เนื้อหน้าอก	22.95 ± 4.00	22.55 ± 5.16	24.54 ± 1.08	0.75
เนื้อน่อง	16.55 ± 1.15	14.90 ± 1.34	15.68 ± 0.27	0.13
โครงกระดูก	23.80 ± 5.36	23.01 ± 6.35	27.09 ± 3.73	0.53

^{1/} ไม่รวมส่วนหัว คอ และแข้งของไก่

^{a, b} ตัวอักษรกำกับค่าเฉลี่ย ± SD ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อภิปรายผลการวิจัย

สมรรถภาพการผลิต

จากผลการทดลองการใช้ LLM ที่ระดับ 10% ในรูปแบบอาหารอัดเม็ดมีผลทำให้สมรรถภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักที่อายุ 21 วัน อายุ 42 วัน BWG ADG FI และ ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือการใช้ LLM ระดับ 5% และ ไม่กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) ส่วนอัตราการตายของไก่ทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกับทางสถิติ ทั้งในระยะไก่เล็กและระยะไก่ใหญ่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากงานวิจัยผ่านมาที่ศึกษาการใช้ LLM ในอาหารไก่กระถินในรูปแบบอาหารผงพบว่าการใช้ LLM ในปริมาณที่สูงขึ้น ในระยะไก่เล็ก (อายุ 0-28 วัน) มีผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่ลดลง ($p < 0.05$) [8] และการใช้ LLM ในระดับสูง (10%) ในสูตรอาหารไก่ระยะเล็กมีผลทำให้น้ำหนักตัวที่อายุ 21 วัน และอัตราการเจริญเติบโตลดลง ($p < 0.05$) แต่ในระยะไก่ใหญ่ให้ผลการใช้ LLM (0.5 และ 10%) ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่มีค่าไม่ต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) [9] เช่นเดียวกับการใช้ LLM ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารที่ระดับ 5% ในไก่กระถินระยะอายุ 1-7 สัปดาห์ มีผลทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม [10] และการทดลองของ Eichie *et al.* [8] ใช้ LLM ทดแทนกากถั่วเหลือง ที่ระดับ 0 25 50 75 และ 100% (ใช้ LLM ทดแทนในสูตรอาหารที่ระดับ 6.08 12.16 18.24 และ 24.32%) ในไก่กระถินระยะอายุ 29-56 วัน มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กิน ($P=0.06$) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ($P=0.09$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ($P=0.09$) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การใช้ LLM ทดแทนกากถั่วเหลือง ในปริมาณที่สูงเกินกว่า 25% ขึ้นไปมีแนวโน้มทำให้สมรรถภาพการผลิตลดลง

ทั้งนี้เนื่องจาก LLM มีปริมาณเชื้อไขสูง ถ้าใช้ในปริมาณที่สูงขึ้นจะมีผลในการขัดขวางการใช้ประโยชน์ของ โภชนะ ทำให้ไก่ใช้ประโยชน์จากอาหารได้ลดลง [11-12] องค์ประกอบทางเคมีของใบกระถินที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ มีโปรตีน 20.20% และเชื้อไข 18% การอัดเม็ดอาหารซึ่งเป็นกระบวนการผลิตอาหารแบบร้อนชื้น (Hydrothermal Process) โดยการให้ความร้อน ความชื้น และความดัน กับวัตถุดิบ [13] ช่วยเพิ่มความหนาแน่นและปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร [13-14] โดยเฉพาะสูตรอาหารที่มีส่วนผสมของ LLM ถ้าใช้ปริมาณมากจะมีความฟามสูง ซึ่งจากผลการทดลองการอัดเม็ดอาหารมีผลช่วยปรับปรุงทำให้สูตรอาหารที่มี LLM ที่ระดับ 10 % มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่ดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานผลการทดลองการใช้เปลือกข้าวโอ๊ต (เชื้อไข 28.3%) เปลือกข้าว (เชื้อไข 54.2%) และเปลือกเมล็ดทานตะวัน (เชื้อไข 48.7%) ที่ระดับ 2.5 และ 5% เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ไม่มีการใช้) ในสูตรอาหารไก่กระถิน ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด พบว่าในระยะไก่เล็ก (อายุ 0-8 วัน) ไก่กลุ่มที่มีการใช้อาหารเชื้อไขสูงมีแนวโน้มว่ามีอัตราการเจริญเติบโต ($P=0.06$) ปริมาณการกินอาหาร ($P=0.17$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ($P=0.16$) ต่ำกว่าไม่กลุ่มควบคุม และการใช้อาหารเชื้อไขสูง (5 เปอร์เซ็นต์) มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด ($p < 0.05$) และในระยะไก่ใหญ่ (อายุ 14-21 วัน) ไก่กลุ่มที่มีการใช้อาหารเชื้อไขสูงมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า ($P < 0.05$) ไม่กลุ่มควบคุม และมีแนวโน้มว่าปริมาณการกินอาหาร ($P=0.07$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีขึ้น ($P=0.09$) [15] ดังนั้นการใช้อาหารเชื้อไขสูง (5%) ในสูตรอาหารไก่กระถินไม่ได้ยับยั้งการใช้ประโยชน์ของอาหาร (Anti-Nutritional Factor) แต่ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโตเมื่อให้อาหารในรูปแบบอาหารอัดเม็ด [15-17] และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากลุ่มควบคุมมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตค่อนข้างดีสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ LLM ทั้งนี้เนื่องสูตรอาหารกลุ่มควบคุมเมื่อนำไปอัดเม็ดอาหารและตากแห้งแล้วจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดอาหารแข็งกว่าสูตรที่ใช้ LLM (จากการสังเกต) จึงส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารของกลุ่มควบคุมต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ LLM อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในระยะไก่เล็ก มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มที่ใช้ LLM

คุณภาพซาก

ไก่ที่ใช้ LLM ระดับ 10% มีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากเย็น และ % เนื้อสะโพกสูงกว่า ($p < 0.05$) ไก่กลุ่มควบคุม และไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5% เป็นผลเนื่องมาจากไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 10% มีปริมาณการกินอาหารและมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าไก่ทั้ง 2 กลุ่มนี้ แต่การใช้ LLM ทั้ง 2 ระดับ (5 และ 10%) ในสูตรอาหาร ไม่มีผลทำให้คุณภาพซาก (ซากถอนขน ซากไม่รวมเครื่องใน เลือดและขน ไขมันช่องท้อง หัวและคอ แข้ง และเครื่องในที่กินได้) ได้แก่ก้น ดับ และ หัวใจ เมื่อคิดเทียบเป็น % ของน้ำหนักไก่มีชีวิต) และค่าผลผลิตซาก (ปีก เนื้อทั้งหมด เนื้อหน้าอก เนื้อน่อง และ ไตรงกระดูก เมื่อคิดเทียบเป็น % ของน้ำหนักซากเย็น) มีค่าแตกต่างทางสถิติกับไก่กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองการใช้ LLM (5 และ 10%) ในอาหารไก่กระทุงในรูปแบบอาหารผง มีค่าคุณภาพซากและผลผลิตซากไม่แตกต่างจากไก่กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) [18] และ Khan [10] รายงานว่าการใช้ LLM ระดับ 5% ไม่มีผลทำให้ เปอร์เซ็นต์ซาก และน้ำหนักชิ้นส่วน ดับ หัว คอ ก้น แข้ง ขน ปีกและเนื้ออก มีค่าแตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($p > 0.05$) ส่วน Onibi [19] รายงานว่าการใช้ LLM ในสูตรอาหารในปริมาณที่สูงขึ้น (ระดับ 30 และ 60%) ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพซากของไก่กระทุง ($p < 0.05$) ยกเว้นการใช้ในปริมาณที่สูงมีผลทำให้น้ำหนักตับและก้นมากขึ้น ($p < 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

ในสูตรอาหารไก่กระทุงระยะเล็ก (อายุ 0-21 วัน) และระยะไก่ใหญ่ (อายุ 22-42 วัน) สามารถใช้ LLM ในสูตรอาหารได้ทั้งระดับ 10% ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด ได้โดยทำให้ไก่กระทุงมีสมรรถภาพการผลิตที่ดี และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพซากและผลผลิตซาก แต่จะมีค่า FCR และต้นทุนการผลิตเมื่อคำนวณเฉพาะค่าอาหารสูงกว่ากลุ่มควบคุม 1.45 บาทต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กก. กล่าวคือ มีค่า FCR และ FCG เท่ากับ 1.94 vs. 1.79 และ 32.61 vs. 31.16 บาทต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กก. ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] จรูญโรจน์ จันทศิริ เทวา จวิรัมย์ สุชุม สุขเกษม วีระพงษ์ อุดรไสว และชัยक्रमล คำเมือง. (2552). การผลิตกระถินป่นส่งจำหน่ายโรงงานอาหารสัตว์สำหรับเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2559, จาก <https://www.gotoknow.org/posts/243003>.
- [2] Zanu H.K., Mustapha, M. and Addo Nartey, M. (2011). Response of broiler chickens to diets containing varying levels of *Luecaena* (*Leucaena leucocephala*) leaf meal. **Journal of Animal and Feed Research**. 2(2), 108-112.
- [3] Abou-Elezz F.M.K., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R. and Solorio-Sanchez, F. (2011). "Nutritional effects of dietary inclusion of *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* leaf meal on Rhode Island Red hens' performance", **Cuban Journal of Agricultural Science**. 45(2), 163-169.
- [4] Lin H.Y., Huang, T.C.C. and Huang, C. (1985). "Detoxification of leucaena leaves as feed by ensilage", **Botanical Bulletin of Academia Sinica**. 26, 67-81.
- [5] อุทัย คันโธ และบุพผิณี ศรีวัฒนารชัย. (2532). การใช้ใบกระถินแห้งร่วมกับข้าวฟ่างหรือมันเส้นเป็นอาหารไก่กระทุง. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สาขาสัตว สัตวแพทย์ ประมง) ครั้งที่ 27 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 41-47. วันที่ 30 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2532 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- [6] Zohair, G.A.M., Al-Maktari, G.A. and Amer, M.M. (2012). "A comparative effect of mash and pellet feed on broiler performance and as cites at high altitude (Field study)", **Global Veterinaria**. 9(2), 154-159.

- [7] NRC (National Research Council). (1994). **Nutrition Requirements of Poultry**. 9th ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- [8] Eichie, F.O., Akinyemi, D.E. and Adegbenro, M. (2015). "Effect of replacement of soybean meal with *Leucaena leucocephala* leaf meal on performance, haematology, carcass measures and organ weight in broiler chickens", **American Journal of Experimental Agriculture**. 8(5), 327-334.
- [9] สายชล เลิศสุวรรณ และวรพงษ์ นลินานนท์. (2560). "การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารผงต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่กระທ", ใน การประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัครั้งที่ 6 ประจำปี 2560. 588-595. วันที่ 26-27 มกราคม 2560 ณ หอประชุมพญาเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา.
- [10] Khan, M.K.A, Akbar, M.A., Khaleduzzaman, A.B.M. and Rahman, M.M. (2009). "Utilization of leucaena and sesbania leaf meals as protein supplements in broiler ration", **Bangladesh Journal of Animal Science**. 38(1&2), 123-131.
- [11] สุมณ โพธิ์จันทร์ ประเสริฐ โพธิ์จันทร์ และนพวรรณ ชมชัย. (2536). "การใช้ใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมันเส้นสำหรับเลี้ยงไก่พื้นเมือง", **สาธน์ไกและการเกษตร**. 41(5), 50 - 56.
- [12] Laswai, G.H., Ocran, J.N., Lekule, F.P. and Sundstol, F. (1997). "Effects of dietary inclusion of leucaena leaf meal with and without ferrous sulphate on the digestibility of dietary components and growth of pigs over the weight range 20-60 kg", **Animal Feed Science Technology**. 65, 45-57.
- [13] Robinson, R. (1976). Pelleting- Introduction and general definitions, pp. 103-110. In H.B. Pfof, ed. **Feed Manufacturing Technology**. American Feed Manufacturers Association. Inc., Virginia.
- [14] Tait, R.M. and Beames, R.M. (1988). Processing and preservation of cereals and protein concentrates. 151-175. In Orskov, E. R., ed. **Feed Science**. Elsevier Science Publishers B.V., New York.
- [15] Jimnez-Moreno, E., A. de Coca-Sinova, J. M. González-Alvarado, and G. G. Mateos. (2016). "Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake", **Poultry Science**. 95, 41-52.
- [16] Svihus, B., Klovstad, K.H., Perez, V., Zimonja, O., Sahlstrom, S., Schuller, R.B., Jeksrud, W.K. and Prestokken, E. (2004). "Physical and nutrition effect of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill", **Animal Feed Science Technology**. 117, 281 - 293.
- [17] Stark, C.R. (1994). **Pellet Quality I. Pellet Quality and Its Effect on Swine Performance II. Functional Characteristics of Ingredients in the Formation of Quality Pellets**. Ph.D. Dissertation. Kansas State University, Manhattan.
- [18] สายชล เลิศสุวรรณ และวรพงษ์ นลินานนท์. (2560). "การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารผงต่อคุณภาพซากของไก่กระທ", ใน การประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัครั้งที่ 6 ประจำปี 2560. 596-602. วันที่ 26-27 มกราคม 2560 ณ หอประชุมพญาเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา.
- [19] Onibi, G.E., Folorunso, O.R. and Elumelu, C. (2008). "Assessment of partial equi-protein replacement of soyabean meal with cassava and leucaena leaf meals in the diets of broiler chicken finishers", **International Journal of Poultry Science**. 7(4), 408-413.

การใช้มูลสุกรแห้งและกากน้ำตาลเป็นอาหารเสริมในโคนมรุ่น

The Utilization of Dried Pig Manure and Molasses as Feed Supplement in Grower Dairy Cattle

นิรันดร์ กองเงิน^{1*}, วันชาติ สุวตธี¹ และชากรณ์ ขันแก้ว¹

Nirundorn Kongngoen^{1*}, Wanchart Suwatthee¹ and Chakorn Kunkaew¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาผลของการเสริมอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 2 สูตร ที่มีต่อสมรรถภาพการผลิต และต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมีย จำนวน 12 ตัว สุ่มแบ่งโคทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม (Group Comparison) โคทั้งสองกลุ่มได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งกินอย่างเต็มที่ โคกลุ่มที่ 1 เสริมอาหารข้น (16% โปรตีน) ในปริมาณ 1.5% น้ำหนักตัว เปรียบเทียบกับโคกลุ่มที่ 2 เสริมอาหารผสม (มูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล : อาหารข้น เท่ากับ 30 : 30 : 40 ส่วนโดยน้ำหนัก) ให้กินในปริมาณ 1.5% น้ำหนักตัว ทำการวิจัยนาน 90 วัน นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี t-test พบว่าโคกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโต (ADG) ต่ำกว่า ($p < 0.01$) โคกลุ่มที่ 1 และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) สูงกว่า ($p < 0.01$) โคกลุ่มที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนค่าอาหารแล้ว พบว่าโคกลุ่มที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารแห้งทั้งหมดในการทำให้น้ำหนักตัวโคเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ถูกกว่า ($p > 0.05$) โคกลุ่มที่ 1 ถึง 5.40 บาท ดังนั้นการใช้มูลสุกรตากแห้งและกากน้ำตาลสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้อย่างมาก

คำสำคัญ: มูลสุกรแห้ง, กากน้ำตาล, โคนมรุ่น

Abstract

The research was conducted to study the effects of 2 different supplement feed on the performance and feed cost of grower dairy cattle. The 12 grower dairy cattle were randomly allocated into 2 groups (Group Comparison) of different dietary treatments. Dried pangolagrass was used as a basal roughage (ad libitum). The dairy cattle in group 1 were supplemented with concentrated feed (16% cp) at 1.5% bodyweight (BW) while the others were supplemented with mixed feed (Dried Pig Manure: Molasses: Concentrated Feed = 30: 30: 40 by Fresh Weight) at 1.5% BW. The experimental period was 90 days. The result from analysis of variance using t-test were considered that the dairy cattle feeding with mixed feed (Group 2) had lower ($p < 0.01$) average daily gain (ADG) and had higher ($p < 0.01$) feed conversion ratio (FCR). The consideration in feed cost resulting in the grower dairy cattle in group 2 were cheaper ($p > 0.05$) total feed cost/kg gain. The result indicated that the supplement of dried pig manure and molasses can reduce feed cost so much.

Keywords: Dried Pig Manure, Molasses, Grower Dairy Cattle

¹ ผศ., สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

² Asst. Prof., Department of Animal Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

* Corresponding author: Tel. 0819988779. E-mail address: tukkatafay@yahoo.com

บทนำ

ภาวะปัจจุบันที่วัตถุดิบอาหารสัตว์ต่าง ๆ เช่นปลายข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และปลาป่น เป็นต้น ที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผสมในสูตรอาหารชั้นเลี้ยง โคมีราคาแพง ผู้เลี้ยงสัตว์จึงจำเป็นต้องหาวิธีการลดต้นทุนค่าอาหาร ซึ่งแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนค่าอาหารคือ การนำสิ่งเหลือทิ้งจากการเกษตรกลับมาใช้เป็นอาหารสัตว์อีกครั้ง สำหรับมูลสุกรเป็นของเสียเหลือทิ้งจากการเลี้ยงสุกรที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม แต่มูลสุกรก็ยังมีคุณค่าทางโภชนาการพอสมควร มีโปรตีนอยู่สูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่าง ๆ อยู่ในระดับสูง จึงเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารเลี้ยงโคได้ เนื่องจากในกระเพาะรูเมนของโคมีจุลินทรีย์ที่สามารถหมักย่อยสารประกอบไนโตรเจนที่มีคุณค่าทางอาหารต่ำ เช่น ยูเรีย มูลไก่ และ มูลสุกร เป็นต้น เปลี่ยนไปเป็นโปรตีนในตัวของจุลินทรีย์ (Microbial Protein) ที่มีคุณภาพสูงประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นจำนวนมาก ซึ่งโปรตีนในตัวของจุลินทรีย์ สามารถถูกย่อยต่อไปในกระเพาะจริง และถ้าใส่เล็ก ได้กรดอะมิโนถูกดูดซึมให้ร่างกายโคนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตที่ดีขึ้น [1] อาหารชั้นหรืออาหารสำเร็จรูปจากบริษัทที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทุกชนิดมีราคาค่อนข้างแพง และนับวันราคามีแต่จะแพงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะคิดหาเศษเหลือที่เป็นผลพลอยได้จากการปลูกพืช และเลี้ยงสัตว์หรืออุตสาหกรรมการเกษตร มาใช้ทดแทนอาหารสำเร็จรูปของบริษัทในปริมาณบางส่วนหรือทั้งหมด โดยที่สมรรถภาพการผลิตของสัตว์ยังคงอยู่หรือดีขึ้น แต่ทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง นั่นก็คือ ทำให้ต้นทุนการผลิตทั้งหมดลดลงด้วย ทั้งนี้ต้นทุนค่าอาหารจัดได้ว่าเป็นต้นทุนการผลิตที่มีสัดส่วนมากที่สุดของต้นทุนการผลิตทั้งหมด

มูลสุกรแห้ง และกากน้ำตาล จัดได้ว่าเป็นผลพลอยได้จากการเลี้ยงสัตว์และอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างหนึ่งที่ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการพอสมควร โดยที่มูลสุกรมีโปรตีนรวม (Crude Protein ; CP) อยู่สูง ส่วนกากน้ำตาลมีแป้งและน้ำตาลมาก สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้งสองชนิดนี้ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะนำมูลสุกรแห้งและกากน้ำตาลมาทำการทดลองเลี้ยงโคนมรุ่นในวิทยาเขตลำปาง เพื่อศึกษาว่าเศษเหลือผลพลอยได้ทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้ทดแทนอาหารเม็ดสำเร็จรูปของบริษัทได้ในปริมาณมากน้อยเพียงใด โดยที่สมรรถภาพการผลิตเช่น อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารจะดีขึ้นหรือด้อยลงอย่างไร และสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้หรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารควบคุมที่เสริมด้วยอาหารสำเร็จรูปแต่เพียงอย่างเดียวในการเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมีย เนื่องจากมูลสุกรตากแห้งมีกลิ่นเหม็นแรง และรสชาติไม่ดี การผสมคลุกเคล้าร่วมกับอาหารสำเร็จรูปจากบริษัทและกากน้ำตาล จะทำให้กลบกลิ่นและเพิ่มรสชาติให้โคสามารถกินมูลสุกรตากแห้งได้มากขึ้น จากแนวคิดดังกล่าวจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษาเพื่อช่วยลดต้นทุนค่าอาหารชั้น โดยไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของโคนมรุ่นเพศเมีย เป็นการนำเอาโภชนาการในมูลสุกรไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น มูลสุกรตากแห้งเป็นผลพลอยได้ที่มีความถูก (ค่าจ้างเก็บ) เมื่อนำมาทดแทนอาหารชั้นสำเร็จรูปบางส่วน จึงเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหารให้ต่ำลงได้ทางหนึ่ง โดยที่โคยังมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ และยังสามารถช่วยลดมลภาวะอันเกิดจากการระบายมูลสุกรสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง สมรรถภาพการผลิต และต้นทุนค่าอาหารของโคนมรุ่นเพศเมีย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการ

วัสดุอุปกรณ์

1. โคนมรุ่นเพศเมีย พันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเซียน มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์จำนวน 12 ตัว
2. อาหารชั้นสูตรสำหรับโคนมรุ่น (อาหารเม็ดสำเร็จรูปจากบริษัท จำนวน 2,000 กิโลกรัม

3. อาหารหยาบ คือ หญ้าแพงโกล่าตากแห้ง จำนวน 7,500 กิโลกรัม
4. มูลสุกรตากแห้ง จำนวน 300 กิโลกรัม
5. กากน้ำตาล จำนวน 300 กิโลกรัม
6. คาซังน้ำหนักตัวสัตว์ขนาดซังได้สูงสุด 1,200 กิโลกรัม จำนวน 1 เครื่อง
7. เครื่องมือวิเคราะห์แบบ Proximate Analysis จำนวน 1 ชุด

วิธีการดำเนินการ

1. วิเคราะห์หองค์ประกอบทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด คือ อาหารสำเร็จรูปจากบริษัท กากน้ำตาล มูลสุกรตากแห้ง และหญ้าแพงโกล่าแห้ง ที่จะใช้เลี้ยงโค โดยวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้ง (Dr Matter; DM) โปรตีน (Crude Protein; CP) ไขมัน (Ether Extract; EE) เชื้อใย (Crude Fiber; CF) เถ้า (Ash) และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (Nitrogen Free Extract; NFE) ด้วยวิธี Proximate Analysis [2]

2. ทำการทดลองเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมียถูกผสมพันธุ์ไฮสโตน์ ฟรีเชียน มากกว่า 50 เปอร์เซนต์ จำนวน 12 ตัว ในฟาร์มแผนกสัตว์ใหญ่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง โดยก่อนทำการทดลองมีการถ่ายพยาธิโคทดลองทุกตัวมีระยะเลี้ยงก่อนการทดลอง (Preliminary Period) นาน 14 วัน เพื่อขจัดอิทธิพลเนื่องจากอาหารเดิมในท้องทางเดินอาหารโค และมีระยะการทดลองจริงนาน 90 วัน การทดลองต้องการทดสอบผลของการใช้อาหารทดลองที่แตกต่างกัน 2 สูตร (ทรีตเมนต์ ; Treatment) ที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต ดันทุนค่าอาหารของโคทดลอง โดยทำการสุ่มแบ่งโคทดลองเป็น 2 กลุ่ม (Group Comparison) โคกลุ่มทดลองที่ 1 (ทรีตเมนต์ควบคุม) มีการเสริมด้วยอาหารชั้นที่เป็นอาหารสำเร็จรูปของบริษัทแต่เพียงอย่างเดียวปริมาณ 1.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักตัว (น้ำหนักสด) ได้รับอาหารหยาบที่เป็นหญ้าแพงโกล่าแห้งกินอย่างเต็มที่ (Ad-Libitum) ส่วนโคกลุ่มทดลองที่ 2 ได้รับอาหารเสริมคือการทดแทนอาหารสำเร็จรูปในปริมาณ 60 เปอร์เซนต์ด้วยมูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสดเท่ากับ 1 : 1 หรือมีอัตราส่วนของมูลสุกร : กากน้ำตาล : อาหารสำเร็จรูป เท่ากับ 30 : 30 : 40 เปอร์เซนต์น้ำหนักสด โดยให้กินอาหารผสมดังกล่าวในปริมาณ 1.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักตัว (น้ำหนักสด) ส่วนอาหารหยาบให้กินหญ้าแพงโกล่าแห้งอย่างเต็มที่เช่นเดียวกับทรีตเมนต์แรก โคนมรุ่นเพศเมียที่ใช้ในการทดลองทั้ง 12 ตัว ถูกให้อาหารเสริมกินวันละ 2 มื้อต่อวัน (เวลา 7.30 น. และ 16.00 น.) มื้อละเท่าๆ กัน โคแต่ละตัวเลี้ยงแบบขังเดี่ยว (Individual Stall) ในคอกขนาด 1.5 x 4 ตารางเมตร มีที่ให้น้ำและอาหารเฉพาะเป็นรายตัว ทำการชั่งน้ำหนักโคทดลองทุกตัวทุก ๆ 15 วัน แล้วปรับปริมาณการให้อาหารเสริม (สภาพสด) เป็น 1.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักตัวตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

3. เก็บข้อมูลการชั่งน้ำหนักตัว ปริมาณการกินอาหารทดลอง (ทุกวัน) นำมาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต (ADG) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR) และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

4. นำข้อมูลที่ได้ใน ข้อ 3. มาวิเคราะห์ความแปรปรวนหาความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ โดยวิธี t-test (ANOVA with Two Samples) [3] ด้วยโปรแกรม Excel

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของหญ้าแพงโกล่าแห้ง อาหารเม็ดสำเร็จรูป มูลสุกรตากแห้ง กากน้ำตาล และอาหารผสมที่ใช้เลี้ยงโคทดลอง ได้ผลแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคทดลอง

องค์ประกอบทางโภชนา (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	มูลสุกรตากแห้ง	อาหารเม็ด สำเร็จรูป	หญ้าแพงโกล่าแห้ง	กากน้ำตาล	อาหารผสม ^{1/}
วัตถุแห้ง (%DM)	84.71	90.73	87.85	75.86	84.46
โปรตีน (%CP)	18.03	15.91	5.85	6.76	14.08
เยื่อใย (%CF)	11.85	9.61	32.42	-	7.69
คาร์โบไฮเดรตย่อยง่าย (%NFE)	46.52	64.91	43.80	82.95	64.24
ไขมัน (%EE)	2.10	3.19	0.65	-	2.00
เถ้า (%Ash)	21.50	6.83	17.28	10.29	12.18
แคลเซียม (%Ca)	4.22	0.79	0.36	0.97	1.87
ฟอสฟอรัส (%P)	3.25	0.76	0.12	0.05	1.32
ผนังเซลล์ (%NDF)	-	-	69.57	-	-
ลิกโน-เซลลูโลส (%ADF)	-	-	39.80	-	-

หมายเหตุ ^{1/} = อาหารผสมคืออาหารที่มีส่วนผสมของมูลสุกรตากแห้ง+กากน้ำตาล +อาหารเม็ดสำเร็จรูป ในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับโดยคิดเป็นน้ำหนักสด

จากตารางที่ 1 พบว่า มูลสุกรตากแห้งมีปริมาณโปรตีน (CP) อยู่สูงถึง 18.03 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับรายงานของกองอาหารสัตว์ ที่รายงานว่า มูลสุกรตากแห้งมีโปรตีนอยู่ประมาณ 19.26-19.59 เปอร์เซ็นต์ มูลสุกรรุ่นจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่ามูลสุกรระยะขุน [4] ในการทดลองนี้ส่วนใหญ่เป็นมูลสุกรระยะขุนอยู่ปริมาณมาก จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำลงมาเล็กน้อย อาหารเม็ดสำเร็จรูป (จากบริษัทฯ) สูตรสำหรับเลี้ยงโคนมรุ่น มีปริมาณโปรตีน ต่ำกว่าที่แจ้งไว้ที่ข้างถุงเล็กน้อย (15.91 เทียบกับ 16.00 เปอร์เซ็นต์) ส่วนอาหารผสม ที่ประกอบด้วย มูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล : อาหารเม็ดสำเร็จรูป ในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดตามลำดับ พบว่า มีปริมาณโปรตีน 14.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปเล็กน้อย กากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 6.76 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณวัตถุแห้งเท่ากับ 75.86 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับ NRC ที่รายงานว่า กากน้ำตาลเป็นของเหลวเหนียวข้น มีน้ำอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 0.97 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.05 เปอร์เซ็นต์ [5]

ผลวิจัยเลี้ยงโคนมรุ่นในฟาร์ม

ผลการทดลองเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมียในฟาร์มพบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโต และปริมาณการกินอาหารของโคทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหารของโคทดลอง

รายการ	โคกลุ่มที่ 1	โคกลุ่มที่ 2
น้ำหนักเริ่มต้นการทดลองเฉลี่ย (กก./ตัว)	152.89 ± 10.97	150.67 ± 13.69
น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (กก./ตัว)	196.72 ± 12.45	184.72 ± 13.80
จำนวนโคทดลอง (ตัว)	6	6
ระยะเวลาในการทดลอง (วัน)	90	90
น้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กก. / ตัว)	43.83 ± 2.52 ^a	34.06 ± 2.09 ^b
อัตราการเจริญเติบโต (กก./ตัว/วัน) ; ADG	0.49 ± 0.03 ^a	0.38 ± 0.02 ^b
ปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด (กก./ตัว/วัน)	5.45 ± 0.29	5.09 ± 0.32
- ปริมาณการกินหญ้าแห้ง	3.11	3.03
- ปริมาณการกินอาหารเม็ดสำเร็จรูป	2.34	0.89
- ปริมาณการกินมูลสุกรตากแห้ง	-	0.62
- ปริมาณการกินกากน้ำตาล	-	0.56
ปริมาณอาหารแห้งทั้งหมดที่กินได้ (% น้ำหนักตัว/วัน)	3.12 ± 0.11	3.04 ± 0.13
- ปริมาณการกินหญ้าแห้ง	1.78	1.81
- ปริมาณการกินอาหารเม็ดสำเร็จรูป	1.34	0.53
- ปริมาณการกินมูลสุกรตากแห้ง	-	0.37
- ปริมาณการกินกากน้ำตาล	-	0.33
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR)	11.22 ± 0.68 ^a	13.48 ± 0.82 ^b
ปริมาณโปรตีนในอาหารแห้งที่กินได้ทั้งหมด (กรัม/ตัว/วัน)	554.47 ± 33.58 ^a	467.94 ± 33.50 ^b
- ปริมาณโปรตีนจากหญ้าแห้ง	182.24	177.04
- ปริมาณโปรตีนจากอาหารเม็ดสำเร็จรูป	372.23	140.50
- ปริมาณโปรตีนจากมูลสุกรตากแห้ง	-	112.07
- ปริมาณโปรตีนจากกากน้ำตาล	-	38.33
เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารที่กินได้ทั้งหมด	10.16 ± 0.14 ^a	9.19 ± 0.16 ^b

หมายเหตุ : โคทดลองกลุ่มที่ 1 ได้รับอาหารเสริมคืออาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่เพียงอย่างเดียว 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (สภาพสด) ส่วนโคทดลองกลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารเสริมคือ อาหารผสมที่ประกอบด้วย มูลสุกรตากแห้ง + กากน้ำตาล + อาหารเม็ดสำเร็จรูป ในอัตราส่วนเท่ากับ 30 : 30 : 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับให้กิน 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (สภาพสด)

^{a,b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในบรรทัดเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.01)

ปริมาณการกินอาหารแห้ง (Dry Matter Intake; DMI)

โคทดลองทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเริ่มต้นทดลองกับน้ำหนักสิ้นสุดการทดลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 171 กิโลกรัม โคกลุ่มที่ 1 และ 2 มีปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด (DMI) ได้เท่ากับ 5.45 และ 5.09 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ (p > 0.05) หรือคิดเป็น 3.12 และ 3.04 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวตามลำดับ (p > 0.05) ซึ่งสูงกว่าที่กำหนดโดย NRC ที่แนะนำว่าโคนมรุ่นเพศเมียน้ำหนักประมาณ 169 กิโลกรัม ถ้าต้องการให้โตวันละ 0.5 กิโลกรัม ควรกินอาหารแห้งได้ 4.48 กิโลกรัมต่อวัน (หรือคิดเป็น 2.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว) ควรได้รับโปรตีนประมาณ 551.04 กรัมต่อวัน ซึ่งมีใกล้เคียงมากกับ

ค่าที่โคกลุ่มที่ 1 กินได้ คือ 554.47 กรัมต่อวัน การที่โคทดลองทั้งสองกลุ่มกินอาหารแห้งทั้งหมดได้มากกว่าที่ NRC แนะนำไว้มาก อาจเป็นเพราะว่า สภาพคุณภาพของอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ โคทั้งสองกลุ่มจึงจำเป็นต้องกินอาหารหยาบให้มากขึ้น เพื่อที่จะให้ได้ปริมาณโปรตีนได้ตามความต้องการของร่างกาย ปริมาณโปรตีนในอาหารแห้งที่กินได้ทั้งหมดของโคกลุ่มที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 10.16 และ 9.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งโคทดลองทั้งสองกลุ่มมีปริมาณโปรตีนที่กินได้ต่ำกว่าที่แนะนำโดย NRC ที่แนะนำว่าโคระยะนี้ในแต่ละวันควรกินโปรตีนได้ 12.3 เปอร์เซ็นต์ในอาหารแห้งทั้งหมด [6]

อัตราการเจริญเติบโต (Average Daily Gain; ADG)

น้ำหนักที่เพิ่มตลอดการทดลองของโคกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.83 และ 34.06 กิโลกรัม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อคิดอัตราการเจริญเติบโต (ADG) พบว่าโคทดลองกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 0.49 และ 0.38 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โคทดลองกลุ่มที่ 1 มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าโคทดลองกลุ่มที่ 2 เท่ากับ 0.11 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าโคทดลองกลุ่มที่ 1 มีปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด และปริมาณการกินโปรตีนสูงมากกว่าโคกลุ่มที่ 2

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed Conversion Ratio; FCR)

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 2) พบว่า โคกลุ่มที่ 1 และ โคกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว เท่ากับ 11.22 และ 13.48 ตามลำดับ โคกลุ่มที่ 1 (เสริมอาหารข้นอย่างเดียว) มีค่า FCR ดีกว่าโคกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยที่โคกลุ่มที่ 1 สามารถกินอาหารแห้ง 11.22 กิโลกรัม ทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ในขณะที่โคกลุ่มที่ 2 ต้องกินอาหารแห้ง 13.48 กิโลกรัม ทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด และปริมาณการกินโปรตีนเฉลี่ยในแต่ละวันของโคกลุ่มที่ 1 มีมากกว่าโคกลุ่มที่ 2

ต้นทุนค่าอาหาร (Feed Cost)

ต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงโคทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมที่แตกต่างกันแสดงไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงโคทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมที่แตกต่างกัน

รายการ	โคกลุ่มที่ 1	โคกลุ่มที่ 2
	(เสริมแต่อาหารเม็ด)	(เสริมอาหารเม็ด + มูลสุกรแห้ง + กากน้ำตาล)
ต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด (บาท/ตัว/วัน)	39.64 ± 2.37 ^a	28.75 ± 1.94 ^b
- ต้นทุนค่าหญ้าแพงโกล่าแห้ง ^{1/}	13.84	13.48
- ต้นทุนค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูป ^{1/}	25.79	9.81
- ต้นทุนค่ามูลสุกรตากแห้ง ^{1/}	-	0.73
- ต้นทุนค่ากากน้ำตาล ^{1/}	-	4.80
ต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กก.	81.52 ± 4.88	76.12 ± 5.37

หมายเหตุ : ^{1/}หญ้าแพงโกล่าแห้ง กิโลกรัมละ 4 บาท (หรือเท่ากับ 4.45 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพน้ำหนักแห้ง) อาหารเม็ดสำเร็จรูป กิโลกรัมละ 10 บาท (หรือเท่ากับ 11.02 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพน้ำหนักแห้ง) มูลสุกรตากแห้ง กิโลกรัมละ 1 บาท (หรือ 1.18 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพน้ำหนักแห้ง) กากน้ำตาล กิโลกรัมละ 6.5 บาท (หรือเท่ากับ 8.57 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพแห้ง)

^{a, b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในบรรทัดเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

โคทดลองกลุ่มที่ 1 มีต้นทุนในการกินอาหารแห้งทั้งหมดได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 39.64 บาทต่อตัวต่อวัน มีค่ามากกว่าโคกลุ่มที่ 2 ที่มีต้นทุนเพียง 28.75 บาทต่อตัวต่อวัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังนั้น โคกลุ่มที่ 2

มีต้นทุนค่าอาหารแห้งทั้งหมดต่ำกว่าโคกลุ่มที่ 1 ถึง 10.89 บาทต่อตัวต่อวัน เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนค่าอาหารแห้งทั้งหมดในการทำให้น้ำหนักตัวโคเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม พบว่าโคทดลองกลุ่มที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 76.12 บาทต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กิโลกรัม ในขณะที่โคกลุ่มที่ 1 มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 81.52 บาทต่อตัวต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นโคกลุ่มที่ 2 จะมีต้นทุนค่าอาหารถูกกว่าโคกลุ่มที่ 1 ถึง 5.40 บาทในการทำให้น้ำหนักตัวโคเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม การที่โคกลุ่มที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่าโคกลุ่มที่ 1 เป็นเพราะว่ามูลสุกรตากแห้งและมีราคาต่ำกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปจากบริษัทมาก การใช้มูลสุกรตากแห้งผสมรวมกับกากน้ำตาลในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปทดแทนอาหารเม็ดสำเร็จรูปในปริมาณที่สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักสด) หรืออาหารผสมที่เสริมให้กับโคกลุ่มที่ 2 มีส่วนผสมของ มูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล : อาหารเม็ดสำเร็จรูป ในอัตราเท่ากับ 30 : 30 : 40 ส่วนโดยน้ำหนักสด จะเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปลงได้อย่างมาก ซึ่งนับว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปจากบริษัทมีแต่ราคาจะแพง เพิ่มสูงขึ้นๆ เป็นปัญหาต่อการเลี้ยงสัตว์ทุกชนิดตลอดมา

สรุปผลการทดลอง

มูลสุกรตากแห้ง มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยพบว่ามีโปรตีนอยู่สูงถึง 18.03 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อาหารเม็ดสำเร็จรูป (อาหารข้น) มีโปรตีนอยู่เพียง 15.91 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากน้ำตาลมีโปรตีนอยู่ 6.76 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการใช้มูลสุกรตากแห้ง กากน้ำตาล และอาหารเม็ดสำเร็จรูปในรูปอาหารผสมตามอัตราส่วน 30 : 30 : 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ นำไปให้โคนมรุ่นกินในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว สามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้อย่างมาก ค่าสมรรถภาพการผลิตของโคจะต่ำลงไปบ้างเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การเสริมอาหารข้นเพียงอย่างเดียวในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะกรรมการบริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การอนุมัติทุนสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณแผนกฟาร์มโคนม และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ สาขาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้สัตว์ทดลอง เครื่องมือ และอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้านทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2532). **โภชนศาสตร์สัตว์**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] AOAC. (1970). Official Methods of Analysis Association of Official Agricultural Chemists. *Cited by* บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และบุญเสริม ชีวะอิสระกุล. **วิธีการวิเคราะห์และทดลองทาง โภชนศาสตร์**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] Little, T.M. and Hills, F.J. (1978). **Agricultural Experimentation**. Design and Analysis. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- [4] กองอาหารสัตว์. (2549). **การใช้มูลสุกรแห้งในอาหารเลี้ยงสุกร**. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2557, จาก http://www.nutrition.dld.go.th/Nutrition_Knowledge/ARTICLE/ArticleM.html.
- [5] National Research Council (NRC). (1976). **Urea and Other Non-Protein Nitrogen Compounds in Animal Nutrition**. National Academy of Science, Washington, D.C.
- [6] National Research Council (NRC). (2001). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7thed. National Academy of Science, Washington, D.C.

หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker
(Lepidoptera: Oecophoridae): พืชอาหาร ชีววิทยา และแมลงศัตรูธรรมชาติ
Coconut Black-Headed Caterpillar, *Opisina arenosella* Walker
(Lepidoptera: Oecophoridae): Host Plant, Biology and its Natural Enemies

น้ำผึ้ง ชมภูเขียว¹ และโสภณ อุไรชื่น^{2*}

Namphueng Chomphukhiao¹ and Sapon Uraichuen^{2*}

บทคัดย่อ

หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker เป็นแมลงศัตรูพืชต่างถิ่นมีการระบาดก่อให้เกิดความเสียหายกับอุตสาหกรรมมะพร้าวในประเทศไทย หนอนหัวดำมะพร้าวในระยะหนอนสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในใบพืชอาหารมะพร้าว โดยมีอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) เท่ากับ 66.31 เท่า รองลงมาคือ ตาลฟ้า กล้วยน้ำว้า และปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ โดยมีช่วงอายุขัยของกลุ่ม (T_0) ระหว่าง 71.16-74.69 วัน การทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนท้องถิ่น *Bracon hebetor* Say และแตนเบียนต่างถิ่น *Goniozus nephantidis* (Muesebeck) โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียนที่ฟัก ทั้งเบียนแบบเดี่ยวและเบียนร่วมกัน เมื่อเบียนหนอนหัวดำมะพร้าวอัตรา 1:3 และ 5:1 เป็นเวลา 1:3 และ 5 วัน การเบียนหนอนด้วยแตนเบียนหนอน *B. hebetor* ชนิดเดี่ยวสามารถเบียนหนอนได้สูงสุดเฉลี่ย 96.85 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียนที่ฟักจากการเบียนหนอน 1 ตัว เป็นเวลา 1 วัน สูงสุดเฉลี่ย 13.25 ตัว อัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้มีค่า 1.30 สรุปได้ว่าแตนเบียนท้องถิ่น *B. hebetor* มีประสิทธิภาพการเบียนที่ดีกว่าแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis*

คำสำคัญ: หนอนหัวดำมะพร้าว *Bracon hebetor* *Goniozus nephantidis*

¹ นิสิตปริญญาเอก ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

² ผศ.ดร., ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน และ ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

¹ Ph.D., Student, Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Nakhon Phathom, 73140

² Asst. Prof., Department of Entomology, Faculty of Agriculture and National Biological Control Research Center Central Regional Center, Kasetsart University, Nakhon Phathom, 73140

* Corresponding author: Tel.: 081-3401902. E-mail address: sapon.u@ku.ac.th

Abstract

The coconut black-headed caterpillar (BHC), *Opisina arenosella* Walker has been an exotic invasive insect pest of coconut damaging of Thai coconut industry in recent years. For host plant study, the coconut leaves were suitable for BHC larvae by giving the highest net reproductive rate (R_0) of 66.31 times and followed by Bismarck palm, banana and oil palm, respectively. The cohort generation time (T_c) of all tested leaves was ranged between 71.16-74.69 days. The efficiency of parasitism of the endemic parasitoid (*Bracon hebetor* Say) and exotic parasitoid (*Goniozus nephantidis* (Muesebeck)) by comparing the percentage of parasitized larvae and the number of emerged adults both in single and combined two species were investigated. The parasitism rate was tested at 1, 3 and 5 larvae under periods of parasitize at 1, 3 and 5 days, respectively. The single parasitized of *B. hebetor* showed the highest parasitized at 96.85%. The average number of emerged adult of *B. hebetor* parasitized 1 BHC larvae at periods of parasitize 1 days showed the highest number of emerged adult 13.25 individuals and the sex ratio of female to male was 1.30. The endemic parasitoid, *B. hebetor*, gave higher efficiency of parasitized to BHC than exotic one, *G. nephantidis*.

Keywords: *Opisina arenosella*, *Bracon hebetor*, *Goniozus nephantidis*

บทนำ

หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker เป็นแมลงศัตรูพืชต่างถิ่น มีถิ่นกำเนิดในประเทศพม่า อินเดีย บังกลาเทศ และศรีลังกา [1] เมื่อปลายปี 2550 หนอนชนิดนี้ทำลายใบมะพร้าวครั้งแรกที่อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พื้นที่ประมาณ 50 ไร่ และปลายปี 2553 ระบาดอย่างรุนแรงในพื้นที่อำเภอเมือง และทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นบริเวณกว้าง นอกจากนี้หนอนหัวดำมะพร้าวยังสามารถเข้าทำลายพืชชนิดอื่น ประกอบด้วยพืชในวงศ์ Palmae 10 ชนิด (มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน ตาลโตเนด หมากนวล ลาน ตาลฟ้า หงษ์เหิร อิทผาลัมไบจิน อ้ายหมี ปาล์มแว็กซ์) และวงศ์ Musaceae 1 ชนิด ได้แก่ กกล้วย [2] ต่อมามีการศึกษาพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าวจำนวน 13 ชนิด ในวงศ์ Palmae 8 ชนิด และวงศ์ Bromeliaceae, Musaceae, Poaceae, Typhaceae และ Euphorbiaceae อีกวงศ์ละ 1 ชนิด [3] เนื่องจากการระบาดของหนอนหัวดำมะพร้าวยังคงรุนแรงต่อเนื่อง ทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนได้ดำเนินการควบคุมหนอนหัวดำมะพร้าวด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การฉีดพ่นสารฆ่าแมลงทั้งทาง ใบและฉีดเข้าลำต้น การตัดทางใบเผา และอีกทางเลือกหนึ่งคือ การควบคุมโดยชีววิธี ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมที่ให้ผลแบบยั่งยืน และปลอดภัย จากการสำรวจแมลงศัตรูธรรมชาติของหนอนหัวดำมะพร้าวในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่างเดือน มกราคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2554 พบแมลงตัวเบียน 5 ชนิด และแมลงตัวห้ำ 2 ชนิด ซึ่งล้วนเป็นแมลงศัตรูธรรมชาติท้องถิ่น หนึ่งในนี้คือแตนเบียนหนอน *Bracon hebetor* Say [4] และมีการทดสอบประสิทธิภาพทั้งในห้องปฏิบัติการและในสภาพไร่ [5] ต่อมา ในปี พ.ศ. 2555 ได้มีการนำเข้าแตนเบียนหนอน *Goniozus nephantidis* (Muesebeck) โดยกรมวิชาการเกษตร จากประเทศศรีลังกา [6] แต่ข้อมูลในการนำเข้าแตนเบียนทั้ง 2 ชนิด ไปใช้ประโยชน์ร่วมกันยังไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ รวมทั้ง การศึกษาพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าวที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิต และการทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนท้องถิ่น *B. hebetor* และแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis* เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมหนอนหัวดำมะพร้าวโดยชีววิธีอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการวิจัย

การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella*

เพาะเลี้ยงด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับการศึกษาชีววิทยาของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ของน้ำผึ้ง และคณะ [4]

การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณแตนเบียนหนอน *B. hebetor* และแตนเบียนหนอน *G. nephantidis*

เพาะเลี้ยงด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณของวิวัฒน์ และคณะ [7] ส่วนแตนเบียนหนอน *G. nephantidis* เพาะเลี้ยงเช่นเดียวกับแตนเบียนหนอน *B. hebetor* แต่ใส่หนอนหัวดำมะพร้าว 1 ตัวต่อแตนเบียน 1 คู่

การศึกษาความเหมาะสมของพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ด้วยคุณลักษณะทางชีววิทยา

แยกไข่ของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ที่ได้จาก การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณจำนวน 400 ฟอง โดยแบ่งทดสอบใน พืชอาหารแต่ละชนิด 100 ฟอง เพาะเลี้ยงในกล่องพลาสติกขนาดเท่ากันกับการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณ เมื่อหนอนฟักออกจากไข่ แยกไปเพาะเลี้ยงในกล่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร กล่องละ 1 ตัว ให้ใบมะพร้าวแก่ที่มีสีเขียวเข้ม ใบปาล์มน้ำมัน ใบปาล์มประดับ และใบกล้วยน้ำว้า เป็นอาหาร ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์ บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเจริญเติบโต จำนวนที่รอดชีวิตตั้งแต่ระยะไข่จนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัย และจำนวนไข่ที่ได้จากการวางไข่ของตัวเต็มวัยทุกวัน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการศึกษาตารางชีวิตแบบ Biological Life Table เพื่อหาค่าต่างๆ (ตารางที่ 1 ในสคริปต์ คุณลักษณะทางชีววิทยา) โดยใช้เทคนิคของอินทวัฒน์, Allee, et al., Laughlin, Southwood, Harcourt และ Napompeth [8-13]

การทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแตนเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนทองอิน *B. hebetor* และแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis*

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเบียนหนอนของแตนเบียน *B. hebetor* และแตนเบียน *G. nephantidis* โดยใช้หนอนหัวดำ มะพร้าว *O. arenosella* เป็นแมลงอาศัย วางแผนการทดลองแบบ $3 \times 3 \times 3$ แฟกทอเรียล (Factorial experiments) ในแผนการทดลอง พื้นฐานสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ปัจจัยที่ 1 มี 3 ระดับ ได้แก่ เบียนแตนเบียน *B. hebetor* ชนิดเดียว เบียนแตนเบียน *G. nephantidis* ชนิดเดียว และเบียนแตนเบียน *B. hebetor* และ *G. nephantidis* ร่วมกัน ปัจจัยที่ 2 มี 3 ระดับ ได้แก่ ความหนาแน่น ของแมลงอาศัยที่ 1 3 และ 5 ตัว ปัจจัยที่ 3 มี 3 ระดับ ได้แก่ ระยะเวลาในการเบียน 1 3 และ 5 วัน เตรียมหนอนหัวดำมะพร้าวอายุ ประมาณ 1 เดือน ใส่ด้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร ตามอัตราที่ระบุไว้อัตราละ 4 ตัว แล้ว ใส่แตนเบียนจำนวน 1 คู่ต่อกล่อง เบียนไว้ตามระยะเวลาที่ระบุ ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อครบกำหนดแยกแตนเบียนพ่อแม่พันธุ์ออกแล้วเพาะเลี้ยงจนกระทั่งแตนเบียนฟักเป็นตัวเต็มวัย ตรวจนับจำนวนหนอนที่ถูกเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยในแต่ละกรรมวิธี การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอน ของแตนเบียน แปลงค่าด้วย arcsine ก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ตามวิธีของ Gomez and Gomez [14]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาความเหมาะสมของพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ด้วยคุณลักษณะทางชีววิทยา

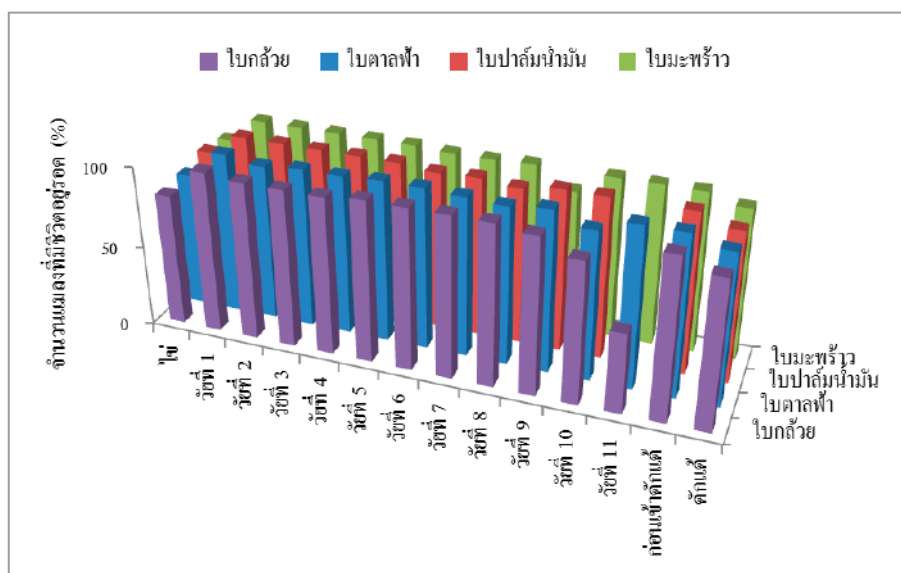
จากการคำนวณค่าทางตารางชีวิต การเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าวมีค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) สูงสุดเท่ากับ 66.31 เท่า (ตารางที่ 1) แปลความหมายจากค่าต่างๆ ในตารางที่ 1 ได้ว่า เมื่อเพาะเลี้ยงหนอนหัวดำมะพร้าวด้วยใบมะพร้าวที่มีค่าอัตราการ ขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) 66.31 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดจากการทดลอง เมื่อเลี้ยงหนอนหัวดำมะพร้าวเริ่มจากไข่ 100 ฟอง ในชั่วอายุขัยถัดไป จะได้ไข่จำนวน 6,631 ฟอง ($=100 \times 66.31$) โดยมีช่วงอายุขัยของกลุ่ม (T_x) เท่ากับ 73.05 วัน ส่วนความสามารถในการขยายพันธุ์

ทางกรรมพันธุ์ (r_0) มีค่าเท่ากับ 0.06 ประชากรของหนอนหัวดำมะพร้าวเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าวต่อไปจะมีเสถียรภาพของช่วงอายุมีอัตราการรอดชีวิตและการออกลูกที่คงที่เท่ากับ 0.06 ส่วนอัตราการเพิ่มที่แท้จริง (λ) มีค่าเท่ากับ 1.06 หนอนหัวดำมะพร้าวจะเพิ่มจำนวนประชากรได้ 1.06 เท่าในทุกวัน ดังนั้นการเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าวมีการเจริญเติบโตและสามารถขยายพันธุ์ได้ดีกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอีก 3 ชนิด (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางชีววิทยาของหนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* เมื่อเลี้ยงด้วยพืชอาหาร 4 ชนิด ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์

คุณลักษณะทางชีววิทยา	พืชอาหาร			
	ใบมะพร้าว	ใบตาลฟ้า	ใบปาล์มน้ำมัน	ใบกล้วยน้ำว้า
อัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0)	66.312	59.178	50.333	53.241
ความสามารถในการขยายพันธุ์ทางกรรมพันธุ์ (r_0)	0.057	0.055	0.055	0.056
อัตราการเพิ่มที่แท้จริง (λ)	1.059	1.056	1.056	1.057
ช่วงอายุขัยของกลุ่ม (T_0) (วัน)	73.049	74.687	71.568	71.163

สำหรับเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอาหาร 4 ชนิด ระยะไข่ เริ่มต้นมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 81.48-87.04 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะดักแด้เฉลี่ยเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยพืชอาหารทั้ง 4 ชนิด อยู่ในช่วง 87.50-100 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นเพาะเลี้ยงด้วยใบกล้วยน้ำว้า หนอนวัยที่ 11 มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำสุดเฉลี่ย 50 เปอร์เซ็นต์ และหนอนหัวดำมะพร้าวที่เพาะเลี้ยงด้วยใบปาล์มน้ำมันไม่มีหนอนเจริญเติบโตถึงวัยที่ 11 เนื่องจากหนอนเจริญเติบโตเป็นดักแด้ก่อนหน้านั้น ซึ่งแตกต่างจากการเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอีก 3 ชนิด (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของหนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* ตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะดักแด้ เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน ตาลฟ้า และกล้วยน้ำว้า

การทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด แตนเบียน *B. hebetor* และแตนเบียน *G. nephantidis*

ชนิดของแตนเบียนมีอิทธิพลสูงสุดต่อเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียน เนื่องจากมีค่า Mean Square สูงสุด ตามด้วยระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัย และความหนาแน่นของแมลงอาศัย (จำนวนหนอน) ตามลำดับ ซึ่งชนิดของแตนเบียนมีปฏิสัมพันธ์กันกับระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยและความหนาแน่นของแมลงอาศัย (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาชนิดของแตนเบียนต่อเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียน การเบียนแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียวมีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดเฉลี่ย 96.85 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับการเบียนร่วมกับแตนเบียน *G. nephantidis* เฉลี่ย 94.44 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนแตนเบียน *G. nephantidis* เพียงชนิดเดียว เฉลี่ย 53.89 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3ก) ส่วนความหนาแน่นของหนอนเมื่อเบียนหนอนอัตรา 1 ตัว มีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดเฉลี่ย 94.44 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนอัตรา 3 และ 5 ตัว เฉลี่ย 76.85 และ 73.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3ข) และระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยที่ 5 วัน มีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดเฉลี่ย 92.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับการเบียนที่ 3 วัน เฉลี่ย 85.93 เปอร์เซ็นต์ และการเบียนหนอนที่ 1 วัน มีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนต่ำสุดเฉลี่ย 67.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนที่ 3 และ 5 วัน (ตารางที่ 3ค)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* ที่เบียนโดยแตนเบียน *Bracon hebetor* และแตนเบียน *Goniozus nephantidis* และจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักของแตนเบียนทั้ง 2 ชนิด (A = ชนิดของแตนเบียน B = ความหนาแน่นของแมลงอาศัย (จำนวนหนอน) C = ระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัย)

Source of variation	df	Mean Square	
		เปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียน ^{1/}	จำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียน
A	2	14956.256**	69.000**
B	2	3846.047**	52.111*
C	2	5045.368**	19.750 ^{ns}
A * B	4	1316.553**	42.944*
A * C	4	1735.601**	18.250 ^{ns}
B * C	4	184.947 ^{ns}	77.111**
A * B * C	8	190.167 ^{ns}	13.194 ^{ns}
Error	81	169.164	13.207
Total	107		

^{1/} ข้อมูลเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่แปลงค่าด้วย Arcsine ตามวิธีของ Gomez and Gomez [14]

^{ns} Non significant (ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$))

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

** ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักของแตนเบียนหนอน *B. hebetor* และแตนเบียนหนอน *G. nephantidis* เมื่อเป็นแบบเดี่ยว และเป็นด้วยแตนเบียนทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน เป็นหนอนในอัตรา 1:3 และ 5:1 เป็นเวลา 1:3 และ 5:1 วัน ให้ผลการวิเคราะห์ สอดคล้องกับในระยะหนอน จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ชนิดของแตนเบียนมีอิทธิพลสูงสุดต่อจำนวนตัวเต็มวัยของ แตนเบียนที่ฟัก เนื่องจากมีค่า Mean Square สูงสุด ตามด้วยความหนาแน่นของหนอน แต่ระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียน กับแมลงอาศัยไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟัก ซึ่งชนิดของแตนเบียนมีปฏิสัมพันธ์กับความหนาแน่นของหนอน ส่วนความหนาแน่นของหนอนมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัย (ตารางที่ 2)

จากการพิจารณาชนิดของแตนเบียน การเบียนแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียว มีจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักสูงสุดเฉลี่ย 6.42 ตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนแตนเบียน *G. nephantidis* เพียงชนิดเดียว และการเบียน ร่วมกันมีจำนวนตัวเต็มวัยเฉลี่ย 2.75 และ 2.58 ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 3ก)

ส่วนความหนาแน่นของจำนวนหนอนต่อจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟัก เป็นหนอนที่อัตรา 1:1 ตัว มีจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักสูงสุด เฉลี่ย 6.42 ตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนอัตรา 5:1 และ 3:1 ตัว มีจำนวนตัวเต็มวัยเฉลี่ย 3.25 และ 3.19 ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 3ข) และระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยที่ 1:3 และ 5:1 วัน ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 3ค)

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยหนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* ที่เบียนโดยแตนเบียน *Bracon hebetor* และแตนเบียน *Goniozus nephantidis* และจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียนทั้ง 2 ชนิด

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	จำนวนหนอนที่ถูกเบียน (%) ^{1/}	จำนวนตัวเต็มวัยที่ฟัก (ตัว) ^{1/}
(ก) ชนิดของแตนเบียน		
<i>B. hebetor</i>	96.85 ^a	6.42 ^a
<i>G. nephantidis</i>	94.44 ^a	2.75 ^b
<i>B. hebetor</i> + <i>G. nephantidis</i>	53.89 ^b	2.58 ^b
(ข) ความหนาแน่นของแมลงอาศัย (จำนวนหนอน)		
1 ตัว	94.44 ^a	5.31 ^a
3 ตัว	76.85 ^b	3.19 ^b
5 ตัว	73.89 ^b	3.25 ^b
(ค) ระยะเวลาในการเบียน		
1 วัน	67.04 ^b	3.08 ^{ns}
3 วัน	85.93 ^a	4.17 ^{ns}
5 วัน	92.22 ^a	4.50 ^{ns}

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ของตารางส่วน (ก) (ข) และ (ค) ที่ตามด้วยอักษร (a, b) ที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยวิธี DMRT

^{ns} Non significant (ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$))

เมื่อพิจารณาปัจจัยแรกคือ ชนิดของแตนเบียน การเบียนหนอนด้วยแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียวดีกว่าการเบียน ด้วยแตนเบียน *G. nephantidis* เพียงชนิดเดียวและการเบียนร่วมกันซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการเบียนหนอนลดลงมากกว่าการ เบียนแบบเดี่ยว ส่วนปัจจัยต่อมาคือ ความหนาแน่นของจำนวนหนอน การเบียนหนอนที่อัตรา 1:1 ตัว ดีกว่าการเบียนหนอนที่อัตรา

3 และ 5 ตัว และปัจจัยสุดท้ายคือ ระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยที่ 5 วัน ดีกว่าที่ 1 และ 3 วัน เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดและจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักสูงสุด จากผลการศึกษาสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ahmed [15] และเมื่อเบียนหนอนอัตรามากขึ้นในระยะเวลา 1 วัน แตนเบียนจะสามารถวางไข่ได้น้อยลง โดยเฉพาะแตนเบียน *B. hebetor* ที่มีพฤติกรรมการเข้าทำลายเหยื่อแล้วปล่อยสารพิษทำให้เหยื่อเป็นอัมพาตก่อนแล้วจึงวางไข่ เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Yu *et al.* [16] รายงานว่าแตนเบียน *B. hebetor* เบียนหนอน *Plodia interpunctella* (Hübner) ในเวลา 1 วัน ได้เฉลี่ย 26.75 ตัว และมีจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักน้อยลงเมื่อเบียนหนอนอัตรามากขึ้น

สิ่งสำคัญเมื่อพิจารณาอัตราส่วนเพศ การเบียนหนอนด้วยแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียว มีอัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้สูงกว่าการเบียนร่วมกัน แต่มีจำนวนเพศผู้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเบียนหนอนที่อัตรามากขึ้นเป็น 3 ตัว ในระยะเวลา 1 วัน แต่เมื่อระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยเพิ่มเป็น 3 วัน การเบียนหนอนที่อัตรามากขึ้น 3 ตัว ให้อัตราส่วนเพศที่เหมาะสมกว่าการเบียนด้วยอัตราอื่น ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 5 วัน การเบียนหนอนที่อัตรามากขึ้น 5 ตัว ให้อัตราส่วนเพศที่เหมาะสมกว่าการเบียนด้วยอัตราอื่นเช่นกัน ส่วนอัตราส่วนเพศของแตนเบียน *G. nephandidis* มีจำนวนเพศเมียเพิ่มมากขึ้น เมื่อเบียนร่วมกันกับแตนเบียน *B. hebetor* (ตารางที่ 4)

จากผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Singh *et al.* [17] ในด้านความหนาแน่นของเหยื่อมีผลต่ออัตราส่วนเพศของแตนเบียน *B. hebetor* เมื่อเบียนหนอนผีเสื้อข้าวสาร *Corcyra cephalonica* (Stainton) ในอัตรามากขึ้นทำให้แตนเบียนมีจำนวนเพศผู้มากขึ้น และ Jamil *et al.* [18] อัตราส่วนเพศผู้ของแตนเบียน *B. hebetor* มากขึ้นเมื่อเบียนหนอน *Galleria mellonella* (Linnaeus) ในอัตราที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยจำนวนตัวเต็มวัยและอัตราส่วนเพศ (เพศเมีย/เพศผู้) ของแตนเบียน *Bracon hebetor* (BH) และแตนเบียน *Goniozus nephandidis* (GN)

กรรมวิธี	จำนวนหนอน (ตัว)	ระยะเวลาที่เบียน (วัน)					
		1		3		5	
		BH	GN	BH	GN	BH	GN
BH	1	13.25 (1.30)		9.75 (0.86)		7.25 (0.61)	
GN			3.00 (2.00)		6.50 (0.18)		2.25 (0)
BH + GN		2.75 (0.22)	0.00	0.50 (0)	2.50 (2.33)	0.00	0.00
BH	3	4.50 (0.80)		2.75 (1.75)		6.25 (0.32)	
GN			0.00		3.50 (0.27)		3.50 (3.67)
BH + GN		4.00 (0.23)	0.00	1.25 (0)	1.75 (0.40)	0.00	1.25 (4.00)
BH	5	0.00		3.50 (0.27)		10.50 (0.91)	
GN			0.00		1.75 (0)		4.25 (0)
BH + GN		0.25 (0)	0.00	2.75 (0.10)	1.00 (0)	3.75 (0.36)	1.50 (0.20)

สรุปผลการวิจัย

หนอนหัวคำมะพร้าว *O. arenosella* สามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ดีที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าว รองลงมาคือ ใบตาลฟ้า ใบกล้วยน้ำว้า และใบปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ ในการทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนท้องถิ่น *B. hebetor* และแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis* แตนเบียนท้องถิ่นมีประสิทธิภาพในการเบียนดีกว่า แตนเบียนต่างถิ่น ในแง่ของเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนและจำนวนแตนเบียนที่เจริญเติบโตจนเป็นตัวเต็มวัย และแตนเบียนทั้งสองชนิดมีการแข่งขันกันเมื่ออยู่ร่วมกัน

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) บริษัท อำพลฟู้ดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และขอขอบคุณ รศ.ดร.วิวัฒน์ เสือสะอาด อ.ดร.สุนิสา สงวนทรัพย์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ และขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคกลาง รวมทั้งนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกคนที่อำนวยความสะดวกในทุกด้านระหว่างการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Perera, P.A.C.R., Hassell, M.P. and Godfray, H.C.J. (1989). "Population Dynamics of the Coconut Caterpillar, *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Xyloryctidae), in Sri Lanka", **Journal of the Coconut Research Institute of Sri Lanka**. 7, 42-57.
- [2] วิวัฒน์ เสือสะอาด โสภณ อุไรชื่น น้ำผึ้ง ชมภูเขียว ปวีณา บุษาทิยน และอรพรรณ เกินอาษา. (2554). "การใช้ประโยชน์ของศัตรูธรรมชาติในการควบคุมแมลงค้ำหนามมะพร้าว *Brontispa longissima* Gestro (Coleoptera: Hispididae) และหนอนหัวคำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae)", ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการประจำปี 2554 ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ วันที่ 7-9 กันยายน 2554.
- [3] นิสากร สุทธิรัฐ กนกอร ทองใหญ่ โกมินทร์ ทิพย์ชิต และทิพวรรณ ศิริรัตน์. (2558). "การทดสอบพืชอาหารของหนอนหัวคำมะพร้าว (*Opisina arenosella* Walker) (Lepidoptera: Oecophoridae)", **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**. 2(2), 13-16.
- [4] น้ำผึ้ง ชมภูเขียว วิวัฒน์ เสือสะอาด โสภณ อุไรชื่น ปวีณา บุษาทิยน และโกศล เจริญสม. (2554). "ชีววิทยาของหนอนหัวคำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae) และแมลงศัตรูธรรมชาติในประเทศไทย", ใน การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 31-37. วันที่ 8-9 ธันวาคม 2554. ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] วิวัฒน์ เสือสะอาด โสภณ อุไรชื่น น้ำผึ้ง ชมภูเขียว ปวีณา บุษาทิยน และ อรพรรณ เกินอาษา. (2555). "การใช้ประโยชน์ของศัตรูธรรมชาติในการควบคุมแมลงค้ำหนามมะพร้าว *Brontispa longissima* Gestro (Coleoptera: Hispididae) และหนอนหัวคำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae)", ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการประจำปี 2555 ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ วันที่ 19-21 กันยายน 2555.

- [6] อัมพร วิโนทัย. (2555). รายงานความก้าวหน้าโครงการการนำเข้าแตนเบียนหนอนหัวดำ *Goniozus nephantidis* เพื่อทดสอบความปลอดภัยและใช้ควบคุมหนอนหัวดำมะพร้าว. กรมวิชาการเกษตร.
- [7] วิวัฒน์ เสือสะอาดโกศล เจริญสมคอกกล้วยไม้ หอมระหัด ศิริวรรณ ทนคุ้มทอง ณัฐพล วรางคนาภรณ์ น้ำผึ้ง ชมภูเขียว และ ไวยสิษฐ์ อ่ำเอี่ยม. (2555). “การติดตามสถานการณ์ศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูพืชและวัชพืชในประเทศไทย”, ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการประจำปี 2555 ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ วันที่ 19-21 กันยายน 2555.
- [8] อินทวัฒน์ บุรีคำ. (2548). นิเวศวิทยาวิเคราะห์ทางกีฏวิทยา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] Allee, W.C., Park, O., Emerson, A.E., Park T. and Schmidt, K.P. (1949). **Principles of Animal Ecology**. Saunders, Philadelphia and London.
- [10] Laughlin, R. (1965). “Capacity for increase: a useful population statistics”, **Journal of Animal Ecology**. 34, 77-91.
- [11] Southwood, T.R.E. (1968). **Ecological Methods with Particular Reference to the Study of Insect Populations**. Methuen, London.
- [12] Harcourt, D.G. (1969). “The development and use of life table in the study of natural insect populations”, **Annual Review of Entomology**. 14, 175-196.
- [13] Napompeth, B. (1973). **Ecology and Population Dynamics of the Corn Planthopper, *Peretrinus maidis* (Ashmead) (Homoptera: Delphacidae), in Hawaii**. Ph. D. Dissertation, University Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- [14] Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984). **Statistical Procedures for Agricultural Research**. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York.
- [15] Ahmed, K.S. (2012). “Role of the Larval Parasitoid, *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) in the control of *Cadra (Ephestia) cautella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in Egypt”, 109-115. In **Proceedings of the Seventh International Conference on Biological Science (Zoology)**.
- [16] Yu, S.H., Ryoo, M.I., Na, J.H. and Choi, W.I. (2003). “Effect of Host Density on Egg Dispersion and the Sex Ratio of Progeny of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)”, **Journal of Store Products Research**. 39, 385-393.
- [17] Singh, D., Singh, R.P. and Tripathi, C.P.M. (2016). “Effect of Host Density on Life Table Statistics of *Bracon hebetor* Say, 1836 (Hymenoptera: Braconidae)”, **Tropical Zoology**. 29(1), 44-51.
- [18] Jamil, An., Abdin, Z. ul., Arshad, M., Falabella, P., Abbas, S.K., Tahir, M., Jamil, Am., Manzoor, A. and Shaina, H. (2015). “Multiple Effects of Host Density on Egg Density and the Sex Ratio of Progeny of *Bracon hebetor* (Say.) (Hymenoptera: Braconidae)”, **Pakistan Journal of Zoology**. 47(2), 455-460.

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 และ แคลเซียมซิลิเกต
ต่อการงอกและควบคุมโรคโคนเน่าจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* ในพริกมันบางช้าง
**Efficacy *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 and Calcium Silicate to Seed
Germination and Control Stem Rot Caused by *Sclerotium rolfsii* in *Capsicum*
annuum cv. ‘Bangchang’**

เกรียงไกร แสงไข้¹ สุภชัย อัมภา² และพรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง^{3*}

Kriangkrai Saengkai¹, Suphachai Amkha² and Pornpairin Rungcharoenthong^{3*}

บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกต (Ca_2SiO_4) ต่อการงอก และควบคุมเชื้อราสเคลอโรเทียม เชื้อสาเหตุการเกิดโรคเน่าระดับดินในพริก 1) ศึกษาผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และ Ca_2SiO_4 ต่อการงอกของเมล็ดพริก คือ ควบคุม (T1) แช่เมล็ดในสารแขวนลอยไตรโคเดอร์มาที่ 5 (T2) และ 10 (T3) กรัม/ลิตร แช่เมล็ดในสารแขวนลอย ไตรโคเดอร์มา ที่ 5 และ 10 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารละลาย Ca_2SiO_4 1 กรัม/ลิตร (T4) และ (T5) ตามลำดับ และแช่เมล็ดใน สารละลาย Ca_2SiO_4 อัตรา 1 กรัม/ลิตร (T6) ผลการทดลองพบว่า การใช้สารแขวนลอยไตรโคเดอร์มา ที่ 5 กรัม/ลิตร ช่วยให้ ระยะเวลาในการเกิดรากเร็วขึ้น รวมถึงเพิ่มดัชนีการงอกมากกว่าการใช้สารแขวนลอยไตรโคเดอร์มา ที่ 10 กรัม/ลิตร โดยการ ใช้สารแขวนลอยไตรโคเดอร์มา ร่วมกับ Ca_2SiO_4 ส่งเสริมเปอร์เซ็นต์ครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากของต้นกล้าพริก เพิ่มขึ้น 37.5- 50% เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม 2) ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับ Ca_2SiO_4 ควบคุมโรคโคนเน่า ของพริกจากเชื้อราสเคลอโรเทียมในระดับโรงเรือน คือ ควบคุม (T1) วัสดุปลูกผสมเชื้อรา เชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่อัตรา 1 กก./ 100 กก. วัสดุปลูก (T2) วัสดุปลูกผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา อัตรา 1 กก./ 100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับ Ca_2SiO_4 อัตรา 20 กก./ไร่ (T3) และวัสดุปลูกผสม Ca_2SiO_4 ที่อัตรา 20 กก./ไร่ (T4) ผลการทดลองพบว่าการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา อัตราส่วน 1 กก./100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับ Ca_2SiO_4 อัตรา 20 กก./ไร่ ส่งผลให้ต้นกล้าพริกมีรอดตาย 40% เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม และยังพบ ประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1.23×10^6 CFU/ g soil รอบรากต้นกล้าที่รอดตายจากดินที่มีเชื้อราสเคลอโรเทียม

คำสำคัญ: ไตรโคเดอร์มา สเคลอโรเทียม ซิลิเกต การงอก ต้นกล้าพริก

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาการพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² ผศ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

³ อ.ดร., ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Master Student, Major of Plant Science, Kasetsart University, Nakhonpathom, 73140

² Asst. Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, Nakhonpathom, 73140

³ Dr., Department of Botany, Faculty of Liberals Art and Science, Kasetsart University, Nakhonpathom, 73140

* Corresponding author: Tel.: 086-1423388. E-mail address: faaspr@ku.ac.th

Abstract

The effect of *Trichoderma* was combined with Ca_2SiO_4 to seed germination and control rotten causes by *Sclerotium* on *Capsicum annuum* cv. 'Bangchang' were investigated. 1) Study effect *Trichoderma* with Ca_2SiO_4 on seed germination was observed. The experiment was composted of control (T1), seeds were soaked in *Trichoderma* suspension at 5 (T2) and 10 (T3) g/L, seeds were soaked in *Trichoderma* suspension at 5 and 10 g/L combined with Ca_2SiO_4 solution 1 g/L (T4) and (T5), respectively and seeded were soaked in Ca_2SiO_4 solution 1 g/L (T6). The results showed that seeds were early days to emergence and high germination index in *Trichoderma* suspension at 5 g/L higher than 10 g/L. However, *Trichoderma* suspension with Ca_2SiO_4 increased percentage of colonization root of seedling 37.5-50% compared with control. 2) The effect *Trichoderma* with Ca_2SiO_4 to control stem rotten causes by *Sclerotium* in green house experiments. The experiment was 4 treatments control (T1), planting media combined *Trichoderma* 1 kg/100 kg planting media (T2), planting media combined *Trichoderma* 1 kg/100 kg planting media with Ca_2SiO_4 20 kg/rai (T3) and planting media combined Ca_2SiO_4 20 kg/rai (T4). The results showed *Trichoderma* 1 kg/100 kg planting media with Ca_2SiO_4 at 20 kg/rai gave 40% survival seedling rate compared with control. In addition it was found that *Trichoderma* populations 1.23×10^6 CFU/ g soil around root survival seedling after treated with *Sclerotium*.

Keywords: *Trichoderma*, *Sclerotium*, Silicon, Germination, Pepper Seedling

บทนำ

พริก (*Capsicum annuum*) เป็นพืชเศรษฐกิจ มีการบริโภคทั้งในประเทศและส่งออก โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2556-2558 มีแนวโน้มผลผลิตสูงขึ้นตามลำดับ [1] พริกที่นิยมปลูก เช่น พริกชี้ฟ้า พริกขี้หนูและพริกหวาน [2] เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประกอบอาหารทั้งในรูปแบบพริกสด พริกแห้ง และการแปรรูป เช่น ซอสพริก น้ำพริก เครื่องแกงและพริกน้ำจิ้ม พริกมีปัญหาเรื่องโรคระบาดและศัตรูพืชหลายชนิด โดยเฉพาะโรคโคนเน่า ที่เกิดจากเชื้อราสเคลอโรเทียม (*Sclerotium rolfii* Sacc.) ซึ่งมีอาการโคนต้นเน่าเป็นสีน้ำตาล บริเวณพื้นดินใกล้โคนต้นมีเส้นใยสีขาว ขนาดเท่าเมล็ดผักกาด ต้นที่โรคเข้าทำลาย แสดงอาการใบเหลือง และเหี่ยวตายในที่สุด ในปัจจุบันการบูรณาการการจัดการธาตุอาหารและชีววิธี สามารถนำมาใช้เพื่อลดปัญหาของโรคพืช [3] โดยเฉพาะการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*T. asperellum* CB-Pin-01) สามารถเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อราสเคลอโรเทียม [4-5] เช่นเดียวกับ ในพริกมีรายงานว่าสารทุติยภูมิของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในกลุ่ม trichothecens, cyclic peptides และ isocyanide สามารถยับยั้งยับยั้งเชื้อราสเคลอโรเทียม และลดอาการของโรคโคนเน่าได้ [6] นอกจากนั้นยังเพิ่มความทนทานในเมล็ดแดงไทย [7] และเมล็ดพริก [8] นอกจากการประยุกต์ใช้ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ ยังช่วยให้พืชเจริญเติบโตเสริมสร้างความแข็งแรงต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง โดยเฉพาะซิลิกอน [9] ที่มีบทบาทช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช การบรรเทาความเครียดจากปัจจัยชีวณะ (Biotic Stress) และปัจจัยชีวณะ (Abiotic Stress) ช่วยให้เซลล์พืชมีความแข็งแรงและมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและแมลงศัตรูพืชต่างๆ มีรายงานว่า การใช้ซิลิกอน ช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อราแป้ง *Sphaerotheca* spp. ในใบแตงกวา [10] และช่วยลดการเกิดโรคราสนิทในใบถั่วเหลือง จากเชื้อรา *Phakopsora pachyrhizi* ถึง 15% เทียบจากค่าควบคุม [11] นอกจากนี้ยังช่วยลดการเข้าทำลายของเพลี้ยไฟในพริก [12] ดังนั้น จึงสนใจศึกษาผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกตต่อการงอกของเมล็ดพริก รวมถึงการเข้าทำลายของเชื้อราสเคลอโรเทียม ในต้นกล้าพริกบางช้าง ในสภาพโรงเรือน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกต/การงอกของเมล็ด พริกมันบางช้าง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยนำเมล็ดพริกมันบางช้าง จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มาเพาะเมล็ดด้วยวิธีแบบ top of paper โดยใช้กระดาษเพาะ 2 ชั้น วางในกล่อง กล่องละ 50 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ/ซ้ำรับ โดยมี ดำรับการทดลองดังนี้ ดำรับที่ 1 เมล็ดแช่น้ำเปล่า (ควบคุม) ดำรับที่ 2 แช่เมล็ดในเชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดผสมน้ำ อัตรา 5 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 3 ที่ 10 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 4 แช่เชื้อราไตรโคเดอร์มา ชนิดผสมน้ำอัตรา 5 กรัม/ลิตร และให้ สารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 5 แช่เชื้อราไตรโคเดอร์มา ชนิดผสมน้ำอัตรา 10 กรัม/ลิตรและเพาะลงใน กล่องเพาะที่ให้สารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 6 เมล็ดแช่น้ำเปล่าและให้สารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตร โดยนำเมล็ดพริกแช่น้ำเปล่า และสารละลายแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในอัตราต่างๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไป เพาะในกล่อง โดยในดำรับการทดลองที่ 5 และ 6 ใช้สารละลายแคลเซียมซลิเกตที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร แคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตรช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดพริกหวานได้ดี [13] บันทึกผลการทดลองโดยนับจำนวนเมล็ดที่งอกภายในแต่ละวัน เป็นเวลา 14 วัน และจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ ในแต่ละวันเพื่อคำนวณดัชนีการงอก (Germination Index; GI) [13] ตรวจนับวันที่ 7 และ 14 หลังเพาะเมล็ดเพื่อคำนวณหาระยะเวลาในการเกิดราก (Day to Emergence; DTE) [14] หลังจากนั้นคำนวณหาค่าความงอกมาตรฐาน (Germination Percentage; GP) [13] รวมถึงเปอร์เซ็นต์ครอบครองเขตอิทธิพล รอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มา โดยนำชิ้นส่วนของรากจากต้นกล้าที่เพาะไว้ที่ยาวมากกว่า 2 เซนติเมตร ล้างด้วยน้ำสะอาด ต่อมาแช่น้ำยาฆ่าเชื้อ (10 % โซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์) เป็นเวลา 5 นาทีล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 3 ครั้งและนำชิ้นส่วนราก ชับในกระดาษปลอดเชื้อให้แห้ง หลังจากนั้นวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Martin's medium เป็นเวลา 7 วัน และทำการคิด เปอร์เซ็นต์ครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากโดยแต่ละดำรับมี 4 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำจะใช้รากจากต้นกล้าที่มีความยาว และขนาด ใกล้เคียงกันจำนวน 4 ราก แต่ละรากคิดเป็น 25 %ของการครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากหากมีการปรากฏของเชื้อราไตรโคเดอร์มา รอบราก หลังจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกตในการควบคุมโรคโคนเน่าของพริก จากเชื้อราสเคลอโรเทียม ในโรงเรือน

เตรียมเชื้อราสเคลอโรเทียมโดยนำส่วนปลายของเส้นใยเชื้อราสเคลอโรเทียม วางบนอาหาร potato dextrose agar ในจานเลี้ยงเชื้อ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นใช้ cock borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะชิ้น วุ้นบริเวณขอบโคโลนี 5 ชิ้น ใส่ในข้าวเปลือกคั่วสุกที่บรรจุถุงพลาสติก 150 กรัม/ถุง ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว จำนวน 20 ถุง ต่อมาทำการบ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-5 วัน การเตรียม ต้นกล้า โดยเฉพาะเมล็ดพริกมันบางช้าง ตามดำรับที่ 2 จากการทดลองที่ 1 คือ แช่เมล็ดพริกในสารแขวนลอยเชื้อรา ไตรโคเดอร์มาที่ 5 กรัม/ลิตรเพาะลงในถาดเพาะจนมีใบจริง 6 ใบ ย้ายลงกระถาง 6 นิ้ว ดำรับละ 10 กระถาง โดยมีดำรับการ ทดลองดังนี้ T1 ดำรับควบคุม (ไม่มีการให้เชื้อราสเคลอโรเทียม) T2 วัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว T3 วัสดุปลูกผสมเชื้อราไตรโคเดอร์ มาอัตราส่วน 1 กก./100 กก. วัสดุปลูก T4 วัสดุปลูกผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กก./100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 20 กก./ไร่ T5 วัสดุปลูกผสมแคลเซียมซลิเกต 20 กก./ไร่ โดยใน T3 และ T4 ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา หลังจากนั้นนำ เชื้อราสเคลอโรเทียม ที่เจริญเต็มที่บนข้าวเปลือก ผสมลงในวัสดุปลูกแต่ละกระถาง 10 กรัม ใน T2, T3, T4 และ T5 คลุกเคล้าให้เข้ากับวัสดุปลูก ต่อมาทำการตรวจผลหลังจากปลูกเชื้อราสเคลอโรเทียม 7 วัน [15] โดยนับจำนวนต้นพริกที่ เี่ยว และ/หรือ ตาย ในแต่ละดำรับการทดลอง การตรวจนับประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในดินหลังการทดลอง 7 วัน รวม ดินจากชำต้นกล้าพริกที่รอดตายในดำรับที่ 2 และ 3 แล้วทำการสุ่มตัวอย่างดินทดสอบมาชั่ง 1 กรัม ผสมกับน้ำยาฆ่าเชื้อ 9 มิลลิกรัมในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 rpm ก่อนนำไปทำให้เจือจาง

ตามลำดับ โดยการดูดสารดินแขวนลอย 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ 9 มิลลิลิตร คูดน้ำแขวนที่เจือจาง 10^{-4} แล้วจึงดูดมาจำนวน 0.1 มิลลิลิตรหยด และเกลี่ยบนอาหาร Martin's medium บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน แล้วทำการตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนอาหาร และการครอบครองเขตอิทธิพลรอบราก

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกตต่อการงอกของเมล็ดพริกมันบางช้าง

ผลการศึกษาระยะเวลาการเกิดรากของเมล็ดพริกมันบางช้างที่แช่ในสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา และสารละลายแคลเซียมซลิเกต พบว่าเมล็ดพริกที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา กระตุ้นระยะเวลาการเกิดรากได้ไม่แตกต่างจากตัวรับควบคุม ในขณะที่เมล็ดพริกที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มาพร้อมกับแคลเซียมซลิเกต ต้องใช้ระยะเวลาการเกิดรากนานกว่าตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา และตัวรับควบคุม ในขณะที่ตัวรับที่แช่ด้วยแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าจะใช้ระยะเวลาการงอกรากนานที่สุด (ตารางที่ 1) นอกจากนี้พบว่าตัวรับควบคุมมีดัชนีการงอกสูงสุด รองลงมาพบในตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา คือ 5 และ 10 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับ สารละลายแคลเซียมซลิเกต มีดัชนีการงอกที่ลดลง และพบว่าในตัวรับควบคุมให้ความงอกมาตรฐานสูงสุด ในขณะที่ตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 5 และ 10 กรัม/ลิตร มีความงอกมาตรฐาน 81% และ 73.5% ตามลำดับ ส่วนตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 5 และ 10 กรัม/ลิตร ที่ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีความงอกมาตรฐาน 72% และ 75% และตัวรับที่แช่ด้วยสารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีความงอกมาตรฐาน 79.5%

เมื่อนำรากของต้นกล้าอายุ 14 วัน มาตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบราก พบว่าต้นกล้าพริกในตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 5 และ 10 กรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากที่ 25% และ 50% ในขณะที่ต้นกล้าที่แช่ตัวรับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 5 และ 10 กรัม/ลิตร ที่ร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากที่ 37.5% และ 50% (ภาพที่ 1) จากผลการทดลองพบว่า การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซลิเกต มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มา มากขึ้นเนื่องจากแคลเซียมที่แตกตัวจากแคลเซียมซลิเกตเมื่อละลายในน้ำ [16] มีส่วนช่วยการสร้างผนังเซลล์ และการสืบพันธุ์ของจุลินทรีย์ [17] จึงพบเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มาเพิ่มขึ้น ในตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาพร้อมกับแคลเซียมซลิเกต เมื่อเทียบกับตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ตัวรับที่ใช้ไตรโคเดอร์มา 10 กรัม/ลิตรร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตรและตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 10 กรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากที่เท่ากัน เนื่องจากประชากรของเชื้อราไตรโคเดอร์มาต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น จึงเกิดการแย่งชิงอาหาร ของเสียที่ถูกปล่อยออกมา รวมถึงปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหายใจของเชื้อราไตรโคเดอร์มา เป็นตัวจำกัดปริมาณประชากรเอาไว้ในระดับหนึ่ง [18] ถึงจะมีปริมาณแคลเซียมที่ได้จากการแตกตัวของแคลเซียมซลิเกต มาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ก็ตาม

จากการทดลองพบว่าเมล็ดพริกมันบางช้างที่แช่สารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 5 กรัม/ลิตรมีระยะเวลาการเกิดรากที่เร็ว และดัชนีการงอกรวมถึงความงอกมาตรฐานที่ดีกว่าตัวรับที่ใช้สารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกต จึงนำเมล็ดพริกมันบางช้างแช่ในตัวรับดังกล่าวเพื่อเตรียมต้นกล้าในการทดลองต่อไป

2. ผลทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกต ในการควบคุมโรคโคนเน่าของพริกจากเชื้อราสเคลอโรเทียม ในระดับโรงเรือน

หลังจากผสมเชื้อราสเคลอโรเทียม ในวัสดุปลูกในแต่ละดำรับการทดลอง ภายใน 4 วัน พบต้นพริกมีใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเริ่มเหี่ยวลง มีบางต้นเหี่ยวตาย โดยเฉพาะในดำรับที่ใช้วัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว และในวันที่ 7 พบว่าในดำรับที่ใช้วัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว ต้นพริกตายทั้งหมด ส่วนในดำรับการทดลองที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา มีเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย 30% ต่อมาในดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกตมีเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย 40% ในขณะที่ดำรับที่มีแคลเซียมซิลิเกตพบเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย 10% (ตารางที่ 2) จากการตรวจนับประชากรของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในวัสดุปลูกหลังเสร็จสิ้นการทดลองด้วยการทำ serial dilution plate พบว่าดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบปริมาณเชื้อ 1.45×10^6 CFU/g soil ในขณะที่ดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกต พบปริมาณเชื้อ 1.23×10^6 CFU/g soil (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 2) และพบการครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากในทั้ง 2 ดำรับการทดลอง (ภาพที่ 3) ดังนั้นจากผลการทดลองการงอกของเมล็ดพริก พบว่าดำรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกต ช่วยให้ระยะเวลาในการเกิดราก รวมถึงความงอกมาตรฐานไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม อาจเนื่องจากเชื้อราไตรโคเดอร์มา สามารถสร้างฮอร์โมนจิบเบอเรลลินที่ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดได้ [19] และพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของเชื้อราไตรโคเดอร์มา มากขึ้น สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดได้ เพราะความเข้มข้นของสารคล้ายฮอร์โมนออกซินที่สร้างออกมาจะยับยั้งกระบวนการงอกของเมล็ด [20] สอดคล้องกับดำรับการทดลองที่ใช้สารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 10 กรัม/ลิตร มีผลต่อการงอกของเมล็ดลดลง ในขณะที่การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกต ช่วยให้ระยะเวลาการเกิดราก ดัชนีการงอก รวมถึงความงอกมาตรฐานใกล้เคียงกับการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากซิลิโคนสามารถช่วยเคลื่อนย้าย แคลเซียมเข้าสู่ต้นกล้า [21] ที่มีส่วนช่วยการงอกของเมล็ด ในขณะที่เชื้อราไตรโคเดอร์มาใช้ แคลเซียมในการเจริญเติบโตจึงช่วยปรับระดับความเข้มข้นแคลเซียมอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่เมล็ดสามารถดูดแคลเซียม รวมถึงสารต่างๆ ไปใช้ได้ในการงอก ส่วนดำรับที่เมล็ดพริกแช่ด้วยแคลเซียมซิลิเกตเพียงอย่างเดียว ซึ่งพบว่าระยะเวลาการงอกนาน และดัชนีการงอกน้อยกว่าในดำรับอื่น อาจเนื่องด้วยความเข้มข้นของแคลเซียมซิลิเกตมีผลต่อค่าความต่างศักย์ของสารละลายภายนอกสูงกว่าภายในเมล็ดจึงทำให้การดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดได้ช้ากว่าชุดควบคุม [22] และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การครอบครองเขตอิทธิพลรอบราก เมื่อมีการใช้อัตราเชื้อที่สูงขึ้น รวมถึงเมื่อใช้ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกตมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากเพิ่มมากขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นข้อดีสำหรับต้นกล้าในการเจริญเติบโตในแปลงปลูกเพราะเชื้อราไตรโคเดอร์มา ช่วยให้ต้นกล้าดูดซึมธาตุอาหาร เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม และ ฟอสฟอรัส [23] รวมถึงป้องกันการเข้าทำลายเชื้อโรคในดิน ในการทดลองการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกต เพื่อการควบคุมโรคโคนเน่าของพริกจากเชื้อราสเคลอโรเทียม ในระดับโรงเรือน พบในดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกตในวัสดุปลูก มีเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้ามากที่สุดในการทดลอง รองลงมาคือดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา และดำรับที่มีแคลเซียมซิลิเกตเพียงอย่างเดียวในวัสดุปลูก (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่สามารถแก่งแย่งครอบครองพื้นที่ได้ได้เร็ว รวด รวมถึงเป็นปรปักษ์กับเชื้อสาเหตุเกิดโรค โดยการเจริญเข้าทำลายเส้นใยเชื้อราสเคลอโรเทียม โดยตรง และการทำลายเมือกสเคลอโรเทียม [24] ในขณะที่แคลเซียมซิลิเกตสามารถช่วยให้พืชทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรค โดยซิลิโคนกระตุ้นกระบวนการ Induced Systemic Resistance (ISR) ในพืช และช่วยให้พืชมีการสร้าง oxidation enzyme รวมถึงส่งเสริมให้ผนังเซลล์ของพืชหนาขึ้นเช่นเดียวกับคุณสมบัติของแคลเซียม [25] เมื่อมีการให้ซิลิโคนทางดินจะสะสมตัวในรากได้ดีกว่าส่วนอื่น [26] ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับรากโดยเพิ่มมวลชีวภาพ ขนาราก จำนวนรากแขนงและผนังเซลล์หนาขึ้นเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อโรคบริเวณรากได้

ดีกว่าทางลำต้น แสดงให้เห็นว่าทั้งประสิทธิภาพของเชื้อรา ไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกต มีบทบาทส่งเสริมการงอก และการยับยั้งการเข้าทำลายเชื้อราสเคลอโรเทียม

สรุปผล

การแช่เมล็ดพริกมันบางช่วงในตำรับที่มีสารแขวนลอยเชื้อรา *T. harzianum* ที่ 5 กรัม/ลิตร ช่วยให้ระยะเวลาในการเกิดรากเร็วขึ้น รวมถึงเพิ่มดัชนีการงอกมากกว่าการแช่เมล็ดพริกมันบางช่วงในสารแขวนลอยเชื้อรา *T. harzianum* ที่ 10 กรัม/ลิตร ขณะที่การผสมเชื้อรา *T. harzianum* อัตราส่วน 1 กก./100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับแคลเซียมซิลิเกต อัตรา 20 กก./ไร่ ช่วยให้ต้นกล้าพริกมีเปอร์เซ็นต์การรอดจากการเข้าทำลายของ *S. rolfisii* จากสาเหตุโรคเน่าระดับดิน ได้มากกว่าการใช้เชื้อรา *T. harzianum* หรือแคลเซียมซิลิเกตเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 1 ผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกตต่อ ระยะเวลาในการเกิดราก (DTE) ดัชนีการงอก (GI) ค่าความงอกมาตรฐาน (GP) ของเมล็ดพริกมันบางช่วง และเปอร์เซ็นต์การรอดของเขตอิทธิพลรอบรากของเชื้อรา ไตรโคเดอร์มาต้นกล้าพริกที่อายุ 14 วัน

ตำรับ	DTE (day)	GI	GP (%)	% colonization root seedling
Control (T1)	3.08 ^b	6.00 ^a	83.00 ^a	0.0
<i>Trichoderma</i> 5 gL ⁻¹ (T2)	3.67 ^{ab}	4.49 ^b	81.00 ^{ab}	25.0
<i>Trichoderma</i> 10 gL ⁻¹ (T3)	3.95 ^{ab}	4.23 ^b	73.50 ^{ab}	50.0
<i>Trichoderma</i> 5 gL ⁻¹ + Ca ₂ SiO ₄ 1 mgL ⁻¹ (T4)	3.84 ^{ab}	4.18 ^b	72.00 ^b	37.5
<i>Trichoderma</i> 10 gL ⁻¹ + Ca ₂ SiO ₄ 1 mgL ⁻¹ (T5)	4.52 ^a	3.05 ^c	75.00 ^{ab}	50.0
Ca ₂ SiO ₄ 1 mgL ⁻¹ (T6)	4.64 ^a	3.05 ^c	79.50 ^{ab}	0.0
F-test	**	**	**	-
C.V. (%)	17.36	7.09	6.19	-

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี LSD

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

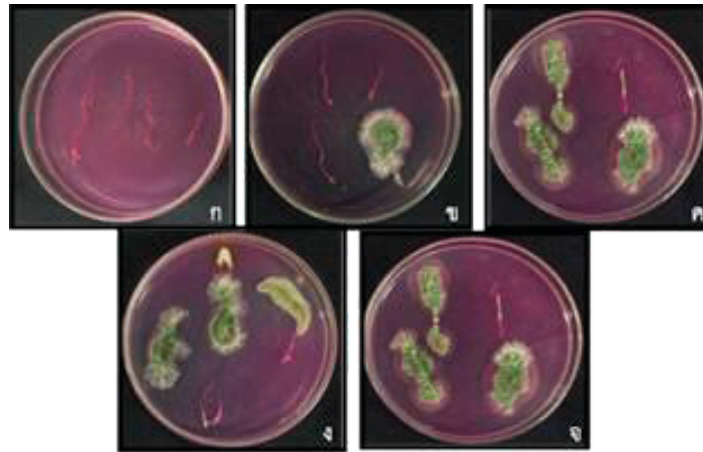
^{a, b, c} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้าพริกมันบางช่วง 7 วันหลังปลูก และจำนวนประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มาหลังเสร็จสิ้นการทดลอง

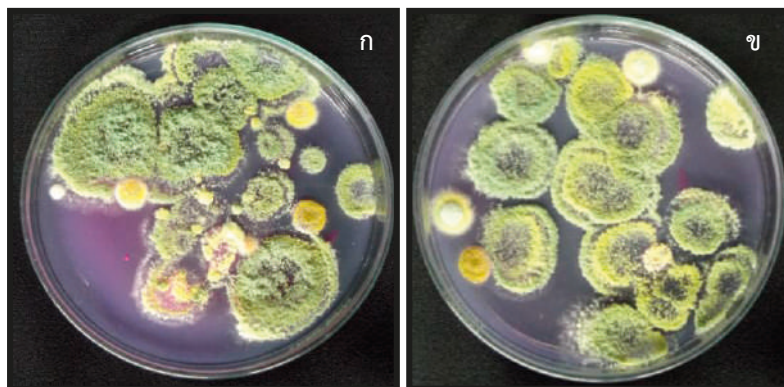
ตำรับ	ต้นที่รอดตาย ^{1/}	ประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มา CFU/g soil ^{2/}
T1 Control	80	-
T2 <i>Sclerotium</i>	0	-
T3 <i>Trichoderma</i> + <i>Sclerotium</i>	30	1.45 x 10 ⁶
T4 <i>Trichoderma</i> + <i>Sclerotium</i> + Ca ₂ SiO ₄	40	1.23 x 10 ⁶
T5 <i>Sclerotium</i> + Ca ₂ SiO ₄	10	-

^{1/} เปอร์เซ็นต์การรอดตาย 7 วันหลังปลูกในดินมีเชื้อราสเคลอโรเทียม โดยคำนวณเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายในตำรับซึ่งไม่ได้ใส่เชื้อราสเคลอโรเทียม และเชื้อทดสอบ

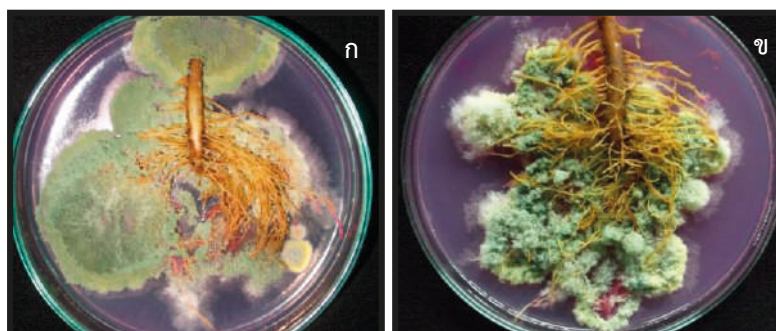
^{2/} ประชากรของเชื้อราไตรโคเดอร์มา 7 วันหลังปลูก บนอาหาร Martin's medium ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม



ภาพที่ 1 การเข้าครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากของเชื้อรา *T. harzianum* ในรากต้นกล้วยที่ปักชำ 14 วันหลังเพาะ โดย ก. ดำรับควบคุม ข. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 5 กรัม/ลิตร ค. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 10 กรัม/ลิตร ง. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 5 กรัม/ลิตร ร่วมกับแคลเซียมซัลเฟต 1 มิลลิกรัม/ลิตร จ. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 10 กรัม/ลิตร ร่วมกับแคลเซียมซัลเฟต 1 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 2 โคโลนีของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุปลูกหลังเสร็จสิ้นการทดลองด้วยการทำ serial dilution plate โดย ก. คือดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* ผสมกับวัสดุปลูก ข. คือดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* ร่วมกับแคลเซียมซัลเฟตผสมในวัสดุปลูก



ภาพที่ 3 การครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในรากต้นกล้วยที่ปักชำหลังจากเพาะเชื้อรา สเคลอโรเทียม 7 วัน โดย ก. คือดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา เพียงอย่างเดียวผสมในวัสดุปลูก และ ข. คือดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซัลเฟตผสมในวัสดุปลูก

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. (2559). **พริกใหญ่แห่ง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก www.oae.go.th.
- [2] ชำรง เครือชุมพล. (2552). **พริก** (ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์เกษตรสยามบุ๊คส์. กรุงเทพฯ.
- [3] Mahon, M. (2011). **Plant Science: Growth, Development and Utilization of Cultivated Plants**. Prentice Hall, UK.
- [4] Chet, E.Y. and Katan, J. (1980). “*Trichoderma harzianum*: A biocontrol agent effective against *Sclerotium rolfsii* and *Rhizocionia solani*”, **Phytopathology**. 70, 119-121.
- [5] Amin, F., Razdan, V.K., Mohiddin, F.A., Bhat, K.A. and Sheikh, P.A. (2010). “Effect of volatile metabolites of *Thichoderma* species against seven fungal plant pathogens in-vitro”, **Journal of Phytology**. 2(10), 34-37.
- [6] มณจันทร เมฆธน. (2547). “การทดลองใช้เชื้อรา *Trichoderma harzianum* rifai (AP-001) ในการป้องกันกำจัดโรครากเน่าและโคนเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* Sacc. ที่ทำลายพริกชี้ฟ้าในแปลงเกษตรกร”, **วารสารวิทยาศาสตร์ มก.22**, 49-56.
- [7] Kaveh, H., Jartoodeh, S.V., Aruee, H. and Mazhabi, M. (2011). “Would trichoderma affect seed germination and seedling quality of two muskmelon cultivars, Khatooni and Qasri and increase their transplanting success”, **Journal of Environmental Sciences**. 5(15), 169-175.
- [8] Asaduzzaman, M., Alam, M.J. and Islam, M.M. (2010). “Effect of trichoderma on seed germination and seedling parameters of chili”, **Journal of Science Foundation**. 8(1), 141-150.
- [9] ชงยุทธ โอสดสภา. 2552. **ธาตุอาหารพืช**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] Wolff, S.A., Karoliussen, I., Rohloff, J. and Strimbeck, R. (2012). “Foliar applications of silicon fertilizers inhibit powdery mildew development in greenhouse cucumber”, **Journal of Food, Agriculture and Environment**. 10(1), 355-359.
- [11] Arsenault-Labrecque, G., Menzies, J.G., and Bélanger, R.R. (2012). “Effect of silicon absorption on soybean resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in different cultivars”, **Plant Disease**. 96(1), 37-42.
- [12] Dogramaci, M., Arthurs, S.P., Chen, J. and Osborne, L. (2013). “Silicon applications have minimal effects on *Scirtothrips dprsalis* (Thysanoptera: Thripidae) populations on pepper plant, *Capsicum annum L.*”, **Florida Entomologist**. 96(1), 48-54.
- [13] กุลินดา แก่นจันทร์. (2558). **การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมซิลิเกตร่วมกับสภาวะการขาดธาตุหลักและสังกะสีในระบบการปลูกพืชไม้ใช้ดินต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของพริกหวาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [14] ISTA. (2013). **International Rules for Seed Testing**. The International Seed Testing Association. Switzerland.
- [15] Dhillon, N.P.S. (1995). “Seed priming of male sterile muskmelon (*Cucumis melo L.*)”, **Seed Science and Technology**. 23, 881-884.
- [16] จิรธสา มีกลิ่นหอม. (2543). **ประสิทธิภาพของสารชีวภาพ ในการควบคุมโรคเหี่ยวของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *Ralstonia solanacearum***. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [17] Marafon, A.C. and Endres, L. (2013). “Silicon:fertilization and nutrition in higher plants”, **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**. 56 (4), 380-388.

- [18] Kenneth, T. (2000). **Nutrition and Growth of Bacteria** (online). Retrieved 17 December 2016, from <http://lecturer.ukdw.ac.id/dhira/NutritionGrowth/introduction.html>.
- [19] Marois, J. and Locke, J. (1985). "Population dynamics of *Trichoderma viride* in steamed plant growth medium", **Phytopathology**. 75(1), 115-118.
- [20] Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I. and Monte, E. (2012). "Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes", **Microbiology**. 158, 17-25.
- [21] Hajieghrari, B. (2010). "Effects of some iranian *Trichoderma* isolates on maize seed germination and seedling vigor", **African Journal of Biotechnology**. 9(28), 4342-4347.
- [22] Heckman, J. (2013). "Silicon: A beneficial substance", **Better Crops**. 93(4), 14-16.
- [23] วันชัย จันทร์ประเสริฐ. (2553). **สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [24] Azarmi, R., Hajieghrari, B. and Giglou, A. (2011). "Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake", **Journal of Biotechnology**. 10(31), 5850-5855.
- [25] ชมพูนุช บุญราชแขวง. (2550). **สารทุติยภูมิจากเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ที่เจริญในอาหารเหลวและอาหารแข็ง ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรกโนสของผลพริก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [26] Cai, K., Gao, D. Chen, J. and Luo, S. (2009). "Probing the mechanisms of silicon-mediated pathogen resistance", **Plant Signaling & Behavior**. 4(1), 4-42.

ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับเชื้อ *Bacillus subtilis* ต่อการเจริญเติบโต และการยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ

The Effect of Slow - Release Nitrogen Fertilizer with *Bacillus subtilis* on Growth and Inhibition of Soil Borne Disease in Tomato Seedling

นริศรา จำปา¹ ธงชัย มาลา² ศุภชัย อัมภา³ และกนกกร สินมา^{4*}

Naritsara Champa¹, Thongchai Mala², Suphachai Amkha³ and Kanokkorn Sinma^{4*}

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า (11-48-0) ชนิดเคลือบด้วย *Bacillus subtilis* (BS) ต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าจาก *Sclerotium rolfsii* และ *Rhizoctonia solani* ในห้องปฏิบัติการ โดยตรวจวัดการเจริญของเชื้อราโรคพืช เทียบกับค่าควบคุมเมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน *B. subtilis* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfsii* และ *R. solani* ได้ 56.33 และ 63.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าควบคุม การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS ต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งการเกิดโรคโคนเน่าในกล้ามะเขือเทศ วางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 12 ซ้ำ และ 6 ดำรับการทดลอง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าควบคุมและค่าที่ใส่ปุ๋ยเคลือบด้วย BS ต้นมะเขือเทศมีความสูง น้ำหนักสดต้น รากและความยาวรากสูงกว่าในค่าที่ใส่เชื้อ *S. rolfsii* และเชื้อ *R. solani* ร่วมด้วย โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS มีประสิทธิภาพดีในการควบคุมโรคโคนเน่าที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *S. rolfsii* และเชื้อ *R. solani* ในมะเขือเทศในระยะกล้า

คำสำคัญ: ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า *Bacillus subtilis* *Sclerotium rolfsii* *Rhizoctonia solani* มะเขือเทศ

Abstract

The purpose of this study was to investigate the efficiency of slow-release nitrogen (N) fertilizer (11-48-0) with *Bacillus subtilis* (BS) on growth and inhibition of soil borne disease in tomato. This study was divided into two experiments. Experiment 1, effect of slow-release N fertilizer with BS was inhibited of rotten stem of tomato caused by *Sclerotium rolfsii*

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการจัดการดิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² รศ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

³ ศศ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

⁴ อ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Master Student, Major of Soil Science and Management Technology, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

² Assoc. Prof. Dr., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

³ Asst. Prof. Dr., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

⁴ Dr., Department of Soil Science, Kasetsart University, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Nakhon Pathom, 73140

* Corresponding author: Tel.: 0343514893. E-mail address: fagrks@ku.ac.th

and *Rhizoctonia solani* in laboratory. The data collection inhibited of disease percentage on 7 day. The results shown that the slow-release N fertilizer with BS could be inhibited mycelial growth and over grew the colony of *S. rolfii* and *R. solani* were 56.33 and 63.33 percent, respectively. Experiment 2, effect of slow-release N fertilizer with BS was enhanced growth and inhibited of rotten stem in tomato seedling. The experimental design used Completely Randomized Design (CRD) with 12 replications and 6 treatments. The results showed that non- fertilizer (control) and fertilizer+BS application treatments gave the plant height, plant weight, root weight and root length higher than *S. rolfii* and *R. solani* application treatments. By the time, applying slow-release nitrogen (N) fertilizer with BS reduced the percentage of *S. rolfii* and *R. solani* infected in tomato seedlings.

Keywords: Slow-Released Fertilizer, *Bacillus subtilis*, *Sclerotium rolfii*, *Rhizoctonia solani*, Tomato

บทนำ

มะเขือเทศ (Tomato: *Lycopersicon esculentum* Mill, วงศ์ Solanaceae) เป็นพืชที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การควบคุมโรคทั้งในระยะกล้าจนกระทั่งเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตมะเขือเทศโดยแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาได้แก่ภาคเหนือ โดยมีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศทั่วประเทศประมาณ 34,903 ไร่ ในปี 2558 [1] และมีมูลค่าการส่งออก 281.05 ล้านบาท [2] ปัจจุบันโรคโคนเน่าที่เกิดจากเชื้อราทางดินนั้นเป็นโรคที่มีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายในทุกระยะการเติบโตของมะเขือเทศ ตั้งแต่เริ่มเพาะกล้าไปจนระยะให้ผลผลิต พืชที่แสดงอาการเน่าคอดิน คือโคนต้นเน่าช้า ต้นกล้าหักพับและแห้งตายอย่างรวดเร็ว [3] เชื้อราสาเหตุโรคที่สำคัญคือ *S. rolfii* และ *R. solani* ซึ่งแพร่ระบาดก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตอย่างมาก [4] การระบาดของโรคในพืชวงศ์ Solanaceae ซึ่งส่วนใหญ่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมพืชของประเทศไทย เช่นพริกและมะเขือเทศ เป็นต้น

ปัจจุบันพบว่าทำให้ปุ๋ยอย่างเหมาะสมร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการควบคุมโรคด้วยและช่วยส่งเสริมการต้านทานโรคแก่พืช โดยปุ๋ยละลายช้าเป็นปุ๋ยที่สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาทีละน้อย อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานาน อีกทั้งยังสามารถลดการสูญเสียธาตุอาหาร ลดการไหม้ของต้นกล้า ลดค่าใช้จ่ายด้านของแรงงานและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช [5] เมื่อใช้ร่วมกับ *B. subtilis* ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของราก่อโรคจะสามารถส่งเสริมการเจริญและควบคุมโรคได้ไปพร้อมๆกัน การวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยละลายช้าชนิดเคลือบด้วย *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศและการยับยั้งโรคเน่าคอดินที่เกิดจาก *S. rolfii* และ *R. solani* ในระยะกล้า เพื่อการผลิตพืชอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดอัตราการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. การศึกษาประสิทธิภาพผลของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani*

แยกเชื้อ *B. subtilis* จากปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า (Compo Expert Germany) ด้วยอาหาร Nutrient Glucose Agar (NGA) จนได้เชื้อบริสุทธิ์และทดสอบด้วยวิธี Dual Culture ใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ปราศจากเชื้อ และโคโลนีเดี่ยวของ *B. subtilis* อายุ 24-48 ชั่วโมงที่เจริญบนอาหาร NGA ขีดเป็นแนวตรงยาว 3 เซนติเมตรลงอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จนเชื้อเจริญเต็มที่หลังจากนั้นเพาะเชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* อายุ 7 วัน โดยใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร เจาะขึ้นวุ้นบริเวณปลายเส้นใย (Hyphal Tip Growth) ย้ายลงวางบนอาหาร PDA ที่ได้เพาะเชื้อแบคทีเรียลงไปก่อนแล้ว โดยให้ตำแหน่งการวางเชื้อมีระยะห่างกัน 6 เซนติเมตร บ่มจนเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองจำนวน 4 ดำรับการทดลอง ดำรับการทดลองละ 5 ซ้ำดังนี้

ตำรับที่ 1 เชื้อรา *S. rolfii* เพียงชนิดเดียว (ตำรับควบคุม)

ตำรับที่ 2 เชื้อรา *R. solani* เพียงชนิดเดียว (ตำรับควบคุม)

ตำรับที่ 3 เชื้อ *B. subtilis* ร่วมกับเชื้อรา *S. rolfii*

ตำรับที่ 4 เชื้อ *B. subtilis* ร่วมกับเชื้อรา *R. solani*

ตรวจวัดการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยวัดรัศมีของเส้นใยจากจุดกลางขึ้นขึ้นไปในแนวตั้งฉากกับจุดโคโคโนของเชื้อแบคทีเรีย หลังบ่มเชื้อครบ 7 วัน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (Percent Inhibition of Radial Growth) ของเชื้อราสาเหตุโรค เปรียบเทียบกับการเจริญในชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเชื้อแบคทีเรียทดสอบ ดังนี้

$$\text{การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา} = \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1} \right) \times 100$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าเฉลี่ยของรัศมีของเส้นใยเชื้อราในงานเลี้ยงเชื้อในตำรับควบคุม

R_2 คือ ค่าเฉลี่ยของรัศมีของเส้นใยเชื้อราในงานเลี้ยงเชื้อในตำรับการทดลอง

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าชนิดเคลือบด้วยจุลินทรีย์ *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งการเกิดโรคโคนเน่าในกล่ำมะเขือเทศ

วางแผนทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทั้งหมด 6 ตำรับการทดลอง ตำรับการทดลองละ 12 ซ้ำ ซึ่งมีตำรับการทดลอง ดังนี้

ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม ไม่ใส่ปุ๋ย

ตำรับที่ 2 ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง

ตำรับที่ 3 เชื้อ *S. rolfii* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง เพียงอย่างเดียว

ตำรับที่ 4 ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง และ เชื้อ *S. rolfii* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง

ตำรับที่ 5 เชื้อ *R. solani* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง เพียงอย่างเดียว

ตำรับที่ 6 ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง และ เชื้อ *R. solani* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง

ฆ่าเชื้อผิวเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์ 4 ตามวิธีของ Murashige และ Skoog [6] โดยล้างผิวเมล็ดด้วย 95% เอทานอล เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง แช่ 1% Hypochloride เป็นเวลา 20 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง แช่เมล็ดไว้ในน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 1 คืน จากนั้นจึงนำมาแช่ใน 1 % Hypochloride 5 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ใช้กระดาษทิชชูแห้งฆ่าเชื้อซับให้แห้งและนำไปเพาะต่อไป เตรียมกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูก (พีทมอส) ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง

เตรียมหัวเชื้อราโดยปรับปรุงจาก [7] ดังนี้ ต้มเมล็ดข้าวฟ่างในน้ำเดือด เป็นเวลานานประมาณ 20-30 นาที หรือเมล็ดข้าวฟ่างเริ่มปริแตกเล็กน้อย ผึ่งเมล็ดข้าวฟ่างบนตะแกรงเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินออก จากนั้นบรรจุในถุงพลาสติก ขนาด 12x18 นิ้ว ปริมาณ 50 กรัม/ถุง แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที ปลอ่ยทิ้งไว้ให้เย็น เพาะเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* อายุ 3-4 วัน โดยใช้ cork borer เจาะขึ้นรู้นบริเวณปลายเส้นใย (Hyphal Tip Growth) ย้ายลงไปในถุงข้าวฟ่างที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ก่อนจะนำไปใช้ฝังให้แห้งในที่ร่มและเก็บเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้

การใส่เชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* ที่เจริญบนเมล็ดข้าวฟ่างที่เตรียมโดยตัดแปลงจากวิธีของสมภพ [8] ในอัตรา 0.5 กรัม/กระถาง เมื่อกล้าอายุ 21 วัน โดยใส่เชื้อที่ความลึกประมาณ 1-2 เซนติเมตร และอย่าให้ดินโคนต้นกล้า กลบเล็กน้อย บันทึกรวมเมื่อต้นกล้าอายุ 35 วัน หลังเพาะเมล็ดวัดความสูงของต้นกล้า โดยวัดจากโคนต้นขึ้นมา 1 เซนติเมตร จนถึง ส่วนข้อบนสุดของต้นกล้า [8] น้ำหนักสดของส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดรากและนำมาวัดความยาวราก การเกิดโรคโดยตรวจนับ จำนวนต้นกล้าที่รอดชีวิตในแต่ละการทดลอง หลังจากใส่เชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* เป็นเวลา 14 วัน และคำนวณ เปอร์เซ็นต์ต้นรอดชีวิต ดังสมการ

$$\text{การคำนวณเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนต้นที่รอดชีวิต} \times 100}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}}$$

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อหาค่า P-value หากข้อมูลแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลตามวิธีการของ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

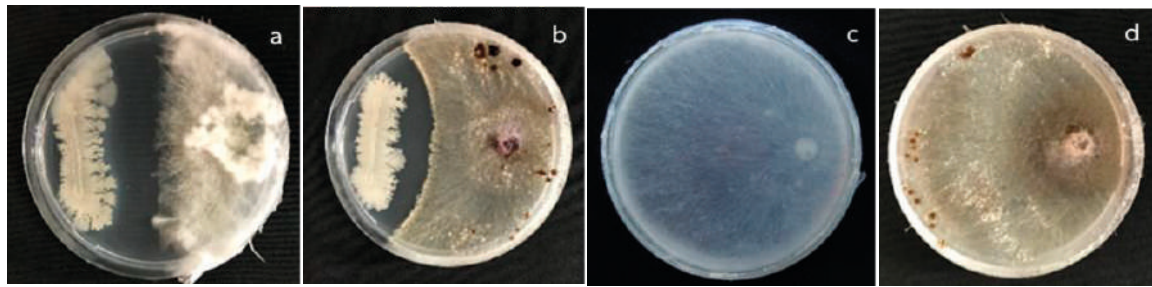
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพผลของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani*

จากการทดสอบประสิทธิภาพของ *B. subtilis* ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* บนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน (ภาพที่ 1) พบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของรากโรคทั้ง 2 ชนิด โดย เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* ในลำดับที่ 3 และ 4 คือ 56.33 และ 63.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับลำดับที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นลำดับควบคุมที่มีเชื้อราเจริญเพียงชนิดเดียว (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับวรรณวิไลและจิระเดช [9] ที่ได้คัดเลือกแบคทีเรียที่ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Alternaria brassicicola* โดยมีกลไกการยับยั้ง 2 รูปแบบ คือการสร้างปฏิชีวนะสารออกมายับยั้งการเจริญทำให้เกิดบริเวณยับยั้งและของแบคทีเรียการเจริญอย่างรวดเร็วทำให้เชื้อ *A. brassicicola* เจริญได้น้อยไม่สามารถแข่งขันได้ ทั้งยังพบว่าการใช้เชื้อ *Bacillus* sp. BB165 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง [10-11] อีกทั้ง *Bacillus* sp. BPR7 สามารถผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ เช่น Laminarinase, Cellulase, HCN และ Siderophore ได้ เป็นต้น

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพผลของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* ในสภาพห้องปฏิบัติการ

ลำดับ การทดลอง	7 วันหลังจากใส่เชื้อราสาเหตุโรคการยับยั้ง การเจริญของเส้นใยเชื้อรา (%)
1	0.00
2	0.00
3	56.33 ± 6.35
4	63.33 ± 8.50

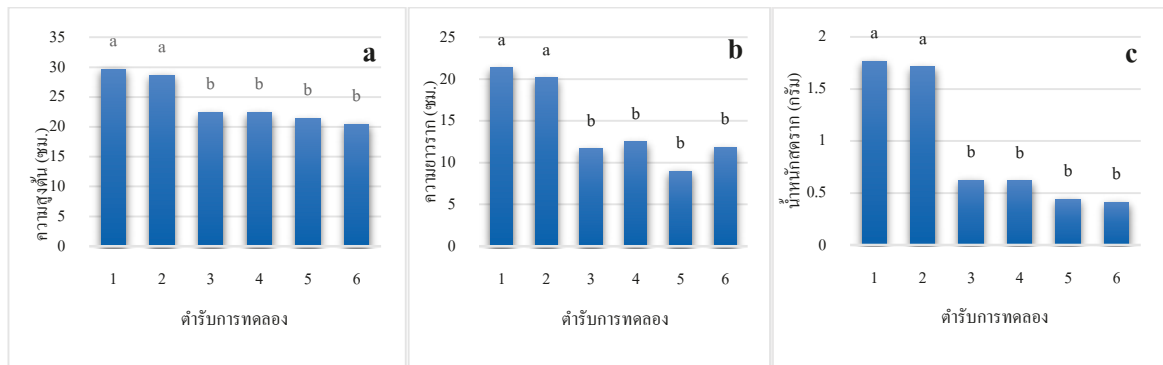


ภาพที่ 1 การยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรคโคนเน่า *S. rolfsii* (a) และ *R. solani* (b) เมื่อเพาะเลี้ยงร่วมกับ *B. subtilis* ด้วยวิธี Dual culture บนอาหาร PDA เปรียบเทียบการเจริญในดาร์บควบคุมที่มี *S. rolfsii* (c) และ *R. solani* (d) เจริญเพียงอย่างเดียว (เชื้อรา *S. rolfsii* และ *R. solani* อยู่ทางขวามือ และเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์อยู่ทางซ้ายมือ)

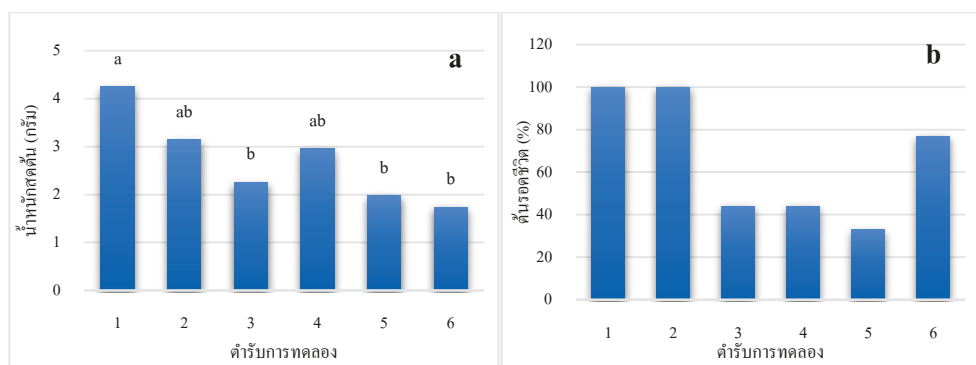
2. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับเชื้อ *B. Subtilis* ต่อการเจริญเติบโต และยับยั้งการเกิดโรคโคนเน่าในกล้ามะเขือเทศ

จากผลการทดลองเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการพบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของราก่อโรคทั้ง 2 ชนิด จึงได้ทดลองศึกษาผลของปุ๋ยชนิดนี้ในกล้ามะเขือเทศ โดยใช้ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าด้านความสูงต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของกล้ามะเขือเทศมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% (ภาพที่ 2) คือมีค่าสูงที่สุดในดาร์บที่ 1 และ 2 ที่ไม่มีการใส่เชื้อราก่อโรคงแสดงใน ภาพที่ 2 a b และ c มีความสูงต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากสูงกว่าในดาร์บที่ใส่เชื้อรา *S. rolfsii* และ *R. solani* ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าที่เคลือบด้วย BS ส่วนในดาร์บที่ 3 4 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และน้ำหนักสดต้นนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าสูงที่สุดในดาร์บที่ 1 ดังแสดงใน ภาพที่ 3a ส่วนในดาร์บที่ 3 และ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญคือในดาร์บที่ 4 ที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าที่เคลือบด้วย BS สามารถให้น้ำหนักสดต้นที่สูงกว่าในดาร์บที่มีการใส่เชื้อโรคเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับรายงานของสุวรรณิ [12] ที่รายงานว่าจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืช (Rhizosphere) และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ซึ่ง [13-14] ได้ศึกษาผลของการใช้ *B. subtilis* ที่แยกได้จากชีวภัณฑ์จุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 และ *B. subtilis* สายพันธุ์ TU-Orga1 ที่แยกจากดินบริเวณรอบรากข้าวผสมกับเชื้อปฏิปักษ์ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวและประสิทธิภาพในการควบคุมโรค พบว่า ความยาวราก ความยาวลำต้น น้ำหนักแห้งของข้าว ความสูงต้น จำนวนต้น การแตกกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง และผลผลิตเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการสร้างเอนไซม์ Glucanase ที่สามารถย่อยสลาย Glucans และ Chitinase ที่ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราได้ [15]

นอกจากนี้ยังพบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของกล้ามะเขือเทศในดาร์บการทดลองที่ 1 และ 2 มีต้นรอดตาย 100% ซึ่งสูงกว่าในดาร์บการทดลองที่ 3 4 และ 5 ซึ่งมีจำนวนต้นรอดตายระหว่าง 30-59% ดาร์บที่ 6 มีจำนวนต้นรอดตาย 77% เมื่อเทียบกับดาร์บควบคุมดังแสดงใน ภาพที่ 3 – b แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อ *R. solani* ได้โดยทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตที่สูงกว่าในดาร์บอื่นที่ไม่ใส่เชื้อราก่อโรค ซึ่ง [16] พบว่า *B. subtilis* ซึ่งมีคุณสมบัติในการสร้างสารปฏิชีวนะได้หลายชนิด หรือมีกลไกต่างๆ ที่ขัดขวางกลไกที่ก่อให้เกิดความรุนแรงในการเกิดโรค และเนื่องจากเชื้อ *S. rolfsii* สามารถสร้าง oxalic acid [17] น้ำย่อยพวก pectin acid และ cellulytic enzyme ออกมาย่อยเซลล์พืช [18] ทำให้เนื้อเยื่อที่บริเวณรอบโคนต้นและรากถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอาการเหี่ยวหรือตาย ถ้ามีความชื้นสูงในบริเวณแผล มักจะพบเส้นใยสีขาวเจริญอยู่ ต่อมาเกิดการสร้างเม็ดสเคลอโรเทียมที่มีทรงกลม สีขาว และต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในที่สุด [19-20]



ภาพที่ 2 ความสูงของต้นกล้า (a) ความยาวราก (b) น้ำหนักราก (c) ในต้นกล้ามะเขือเทศ



ภาพที่ 3 น้ำหนักราก (a) และเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นกล้า (b) ในต้นกล้ามะเขือเทศ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS ต่อการเจริญเติบโตและยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ ในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* ได้ 56.33 และ 63.33% และการทดลองในระยะต้นกล้าพบว่าในการทดลองที่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS แต่ไม่ได้ใส่เชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* มีผลทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศมีความสูง ความยาวราก น้ำหนักรากและรากมากกว่าในการทดลองที่ใส่เชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS มีประสิทธิภาพดีในการควบคุมโรคโคนเน่าที่มีสาเหตุมาจาก *R. solani* ในมะเขือเทศในระยะกล้า โดยทำให้ต้นกล้ามีอัตราการรอดชีวิตสูง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน และทุนสนับสนุนจากบริษัท สหยาเคมีภัณฑ์ จำกัด และบริษัท Compo Expert Germany

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). **เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ พันธุ์โรงงานและบริโภค ปี 2556-2558**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (ออนไลน์). http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577
- [2] กรมศุลกากร. (2557). สถิติการนำเข้า-ส่งออก. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2557, จาก <http://www.customs.go.th/Statistic/Statisticindex.jsp>.
- [3] ศศิธร วุฒินิชย์. (2549). โรคของผักและการควบคุมโรค. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] นันทิยา ฐาบุญ. (2541). การปรับปรุงสารเสริมที่ใช้ผสมผงเชื้อรา *Trichoderma harzianum* เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคโคนเน่าของพริกซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii*. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] Amkha, S., Sakamoto, A., Tachibana, M. and Inubuchi, K. (2009). "Controlled mineralizing acetaldehyde condensation urea (CM-CDU) fertilizer can reduce nitrate leaching and N₂O emission from an Andisols with continuous cropped Komatsuna (*Brassica napa* L.)", **Soil Science and Plant Nutrition**. 42, 351-367. Doi: 10.1111-j.1747-0747-0765.2009.00418.x
- [6] Murashige, T. and F. Skoog. (1962). "A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassay with Tobacco Culture", **Journal of Plant Physiology**. 15, 473-497.
- [7] จิระเดช แจ่มสว่าง และวรรณวิไล อินทนู. (2542). "การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาควบคุมโรคพืช", ใน เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฉบับที่ 2 โครงการเกษตรสู่ชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- [8] สมภพ พานทอง. (2556). การพัฒนาวัสดุเพาะกล้าที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้า และวัสดุปลูกที่มีประสิทธิภาพควบคุมโรคโคนเน่าของมะเขือเทศ ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] วรรณวิไล อินทนู และจิระเดช แจ่มสว่าง. (2545). "การคัดเลือกและการใช้จุลินทรีย์ที่แยกได้จากผิวพืชในการควบคุมเชื้อรา *Alternaria brassicicola* สาเหตุโรคใบจุดของกะหล่ำ", ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40. 4-7 กุมภาพันธ์ 2545, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] ประคอง เข็นจิตต์. (2547). การคัดเลือกและการใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในระยะก่อนและหลังเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11] Glick B.R. (1995). "The enhancement of plant growth by free-living bacteria", **Canadian Journal of Microbiology**. 41, 109-117.
- [12] สุวรรณิ แทนธานี. (2555) "จุลินทรีย์เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน", **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, 60(190), 36-39.
- [13] อนุกเทพ ภาสุระ. (2558). "การใช้ชีวภัณฑ์จุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในสภาวะดินเค็มจากน้ำทะเล", ใน รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2557. สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ : สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.
- [14] จตุพร บุญณาคกุล และคุสิต อธิณวัฒน์. (2555). "ประสิทธิภาพของเชื้อปฏิปักษ์ผสมสายพันธุ์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตข้าวอินทรีย์และควบคุมโรค", **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 1(3), 189-196.

- [15] นิตยา สุขทวี. (2549). การโคลนยีนไลติเนสจากเชื้อ *Bacillus spp.* ที่เป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อสาเหตุโรคราพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [16] จิระเดช แจ่มสว่าง. (2549). การควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม.
- [17] Punja, Z.K. (1985). "The biology ecology, and control of *Sclerotium rolfsii*", *Annual Review of Phytopathology*. 23, 97-127.
- [18] กานต์ คำทรัพย์. (2543). "การควบคุมโรคโคนเน่าของมะเขือเทศด้วยเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์", ใน รายงานวิชาการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคโดยชีววิธี (*Biological Control of Plant Pathogens*). ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [19] เกลิมลาก ช่วยประสิทธิ์ จินตนา ชนะ สมศิริ แสงโชติ พงศ์พันธุ์ เขียวหิรัญ สุภชัย บุญพงษ์ และภัทรธรา จินตนาทิพวรรณ. (2525). *โรคของธัญพืชเมืองหนาว*. สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ภาคเหนือ: เชียงใหม่.
- [20] Agrios, G.N. (1978). *Plant Pathology*. Academic Press, New York.

ผลของระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ อ.ตะโหมด จ.พัทลุง

Effect of Plant Spacings and Organic Fertilizer Quality on Growth and Yield Components of Riceberry in Tamod District, Phatthalung Province

จิตรา จันโสด^{1*}, วานิต รอดเนียม¹, เปลื้อง สุวรรณมณี², วิรัตน์ ช่วยชุมชาติ³ และศักดิ์ เพชรสุข³

Jittra Jansote^{1*}, Wanit Rotnium¹, Plaung Suwanmanee², Virat Charychumchat³ and Sak Pechsuk³

บทคัดย่อ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการพัฒนาพันธุ์สำหรับปลูกในระบบอินทรีย์ แต่เกษตรกรในพื้นที่ภาคใต้นิยมปลูกโดยใช้ระบบเคมีจึงเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ได้ผลผลิตคุณภาพต่ำ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะปลูกและคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบ 2 ปัจจัย คือ ระยะปลูก 2 ระยะ (30x30 ซม. และ 40x40 ซม.) และคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำการวิจัยโดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ (ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS) และ ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด) ทดลองปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในช่วงฤดูนาปรัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดพัทลุง พบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 2 ระยะปลูกมีการเจริญเติบโตและให้องค์ประกอบผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าระยะปลูก 30x30 ซม. สามารถให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าระยะปลูก 40x40 ซม. แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การปลูกข้าวโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ส่งผลให้ข้าวมีความสูงของต้น จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนักเมล็ดต่อรวง และผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 ซม. ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS สามารถเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ได้สูงที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะปลูก ปุ๋ยอินทรีย์ การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต

¹ นักวิชาการ สถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., ผู้อำนวยการสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ นักวิจัยชุมชน ตำบลตะโหมด อำเภอยะหริ่ง จังหวัดพัทลุง 93160

¹ Academic supporting staff of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Director of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Community researcher, Tamod District, Phatthalung Province, 93160

* Corresponding author: Tel.: 074-317650 ext. 7153. E-mail address: jittraj28@gmail.com

Abstract

Riceberry was well known a new cross-line variety and suitable for organic rice production system, in Southern Thailand, loss in rice yield causes from conventional rice cultivation using chemical farming system. In this study the effects of transplanted spacing and quality of organic fertilizer were examined on growth and yield components of Riceberry. Factorial in CRD was used for experimental design with 3 replicates and 2 factors: (1) transplanted spacing (30x30 cm. and 40x40 cm.) and (2) quality of organic fertilizer (ICOFIS's (the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University) and commercial organic fertilizer). Field experiment was conducted during dry season at Tamod District, Phatthalung Province. The results showed that growth and yield components were not significant different between transplanted spacing. However, Riceberry yield transplanted at spacing 30x30 cm was significantly higher than spacing 40x40 cm. Although, height per hill, the number of panicles per hill, number of filled grains per panicle, grain weight per panicle and yield per unit area from ICOFIS's organic fertilizer were significantly higher than the commercial organic fertilizer. Interaction between 30x30 cm. transplanted spacing applied with ICOFIS's organic fertilizer can increase Riceberry yield per unit area

Keywords: Riceberry, Transplanted Spacing, Organic Fertilizer, Growth and Yield Components

บทนำ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวพันธุ์ใหม่ที่ผ่านการพัฒนาพันธุ์ข้าวพิเศษจากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ให้ผลผลิต 300-500 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง ข้อจำกัดของการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่จำเป็นต้องใช้กระบวนการผลิตที่ดีและเหมาะสมในระบบข้าวอินทรีย์ และควรปลูกฤดูนาปีในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ เพราะมีสภาพอากาศหนาวเย็นที่เหมาะสมช่วงการพัฒนาระยะติดเมล็ดและสร้างเมล็ดของข้าว เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและคุณค่าทางอาหารสูง [1] ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงเป็นข้าวเพื่อสุขภาพที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีมูลค่าและราคาสูง ส่งผลให้มีการปลูกกระจายไปทั่วประเทศ ปัจจุบันจึงพบว่าเกษตรกรในภาคใต้หันมาปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้น โดยเฉพาะฤดูนาปรัง แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ในการปลูก เพราะคุ้นเคยกับการทำนาหว่านที่ใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพต่ำ แต่ต้นทุนการผลิตสูง ในขณะที่การนำปุ๋ยอินทรีย์มาใช้ในระบบการผลิตข้าวอินทรีย์ยังมีน้อย ด้วยปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาดมีราคาแพงและคุณภาพต่ำ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารในกระบวนการผลิตข้าวอินทรีย์ ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในฤดูนาปรัง โดยเปรียบเทียบคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำการศึกษาโดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ (ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS) กับปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในฤดูนาปรัง และศึกษาระยะปลูกที่เหมาะสมต่อการแตกกอของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่จะส่งผลต่อการออกรวงและการสร้างเมล็ดข้าว และส่งเสริมให้ได้ผลผลิตสูง เป็นแนวทางการสร้างระบบผลิตข้าวอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพ และเกื้อหนุนให้เกษตรกรพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

วิธีการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดให้มี 2 ปัจจัย คือ ระยะปลูกและคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ระยะปลูก คือ ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร และระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร

ปัจจัยที่ 2 คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ที่พัฒนาสูตรโดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนฯ (N:P:K เท่ากับ 5:3:2) และ ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องถิ่น

ดำเนินการปลูกข้าวไร่เบอรรี่ในพื้นที่แปลงนาข้าวอินทรีย์ของเกษตรกร หมู่ที่ 12 ตำบลตะโหมด อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง ในฤดูนาปรัง เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 เพาะกล้าในกระบะที่มีลักษณะเป็นหลุม ใช้กล้าข้าวไร่เบอรรี่อายุ 20 วัน ปักดำจำนวนกละ 3 ต้น ในพื้นที่แปลงขนาด 3x3 เมตร จำนวน 12 แปลง กำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ระยะเตรียมแปลงปักดำ ครั้งที่ 2 ระยะข้าวแตกกอ โดยวิธีการหว่านในอัตราส่วนครั้งละ 100 กิโลกรัมต่อไร่

เมื่อข้าวอายุครบ 130 วัน ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความสูงของต้น จำนวนต้นข้าวต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ ในแต่ละแปลงย่อย เก็บข้อมูล 20 กอ โดยวิธีการสุ่มแบบ Transect quadrat ส่วนข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต นับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง ด้วยการสุ่มนับแปลงย่อยละ 5 กอๆ ละ 5 รวง และชั่งน้ำหนักเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตต่อตารางเมตรที่ความชื้นเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์หลังเก็บเกี่ยว โดยการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

นำข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

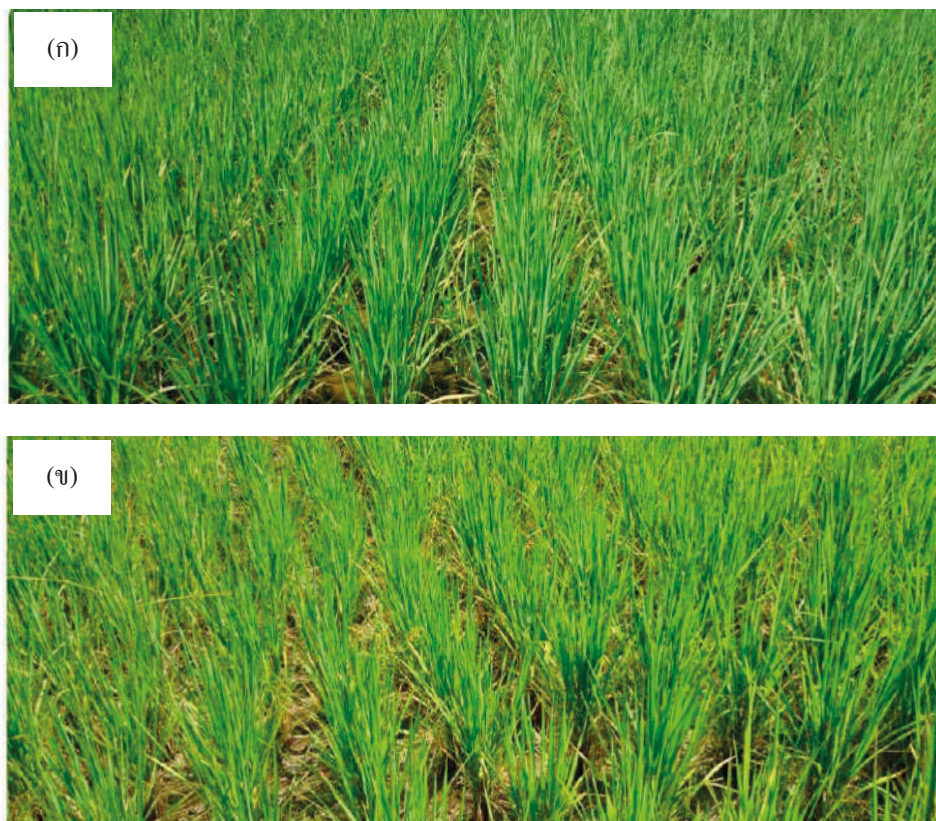
อิทธิพลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไร่เบอรรี่

จากการศึกษาผลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไร่เบอรรี่ พบว่า การปลูกข้าวไร่เบอรรี่ ทั้ง 2 ระยะปลูก ให้ผลของความสูงของต้น จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าข้าวไร่เบอรรี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร สามารถให้ผลผลิต (749.12 กรัมต่อตารางเมตร) สูงกว่าที่ระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร (444.09 กรัมต่อตารางเมตร) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าข้าวไร่เบอรรี่ที่ปลูกระยะ 30x30 เซนติเมตร สามารถเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ได้สูงกว่าระยะปลูก 40 x40 เซนติเมตร แม้ว่าจำนวนต้นต่อกอเพิ่มขึ้นเมื่อระยะปลูกเพิ่มขึ้นแต่จำนวนต้นต่อตารางเมตรอาจน้อยถ้าปักดำห่างเกินไป [2] ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับผลการทดลองปลูกข้าวไร่เบอรรี่ในพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ได้รายงานว่ารยะปลูก 30x30 เซนติเมตร เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการแตกกอและการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ [3]

อิทธิพลของคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไร่เบอรรี่

การเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตของการปลูกข้าวไร่เบอรรี่ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวสำหรับปลูกระบบอินทรีย์ เพราะปริมาณธาตุไนโตรเจนมีผลต่อการสร้างหน่อใหม่ในระยะแตกกอของข้าว หากต้นข้าวได้รับปริมาณธาตุไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสมก็จะส่งเสริมให้ข้าวแตกกอมากขึ้น [2] เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตข้าวไร่เบอรรี่ พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ให้ความ

สูงของต้น จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักผลผลิตต่อตารางเมตร สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 115.23 เซนติเมตร 20.06 ต้นต่อกอ 20.06 รวงต่อกอ 3.07 กรัมต่อรวง 156.07 เมล็ดต่อรวง และ 691.69 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sukkasame [4] รายงานว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ระดับธาตุไนโตรเจน 43.68 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลทำให้ข้าวแตกกอเพิ่มขึ้นสามารถให้ผลผลิตที่สูงกว่าใส่ปุ๋ยเคมีที่ระดับไนโตรเจน 21.84 กิโลกรัมต่อไร่ โดยพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ซึ่งจากการทดลองปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด พบว่า ใบข้าวมีสีเหลืองในระยะแตกกอ แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน (ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาดยังมีระดับไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวจึงส่งผลทำให้มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่ำ



ภาพที่ 1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะแตกกอ (ก) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS (ข) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด

อิทธิพลร่วมระหว่างระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ทั้ง 2 ระยะปลูก ให้ผลการเจริญเติบโตและน้ำหนักผลผลิตของข้าวสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ท้องตลาด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS สามารถเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ได้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 857.68 กรัมต่อตารางเมตร และการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ท้องตลาดให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่น้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 362.52 กรัมต่อตารางเมตร (ตารางที่1)

ตารางที่ 1 ผลของระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ± SE									
ปัจจัย	ความสูง/กอ (เซนติเมตร)	จำนวนต้น/กอ	จำนวนรวง/กอ	น้ำหนักเมล็ด/ รวง (กรัม)	จำนวนเมล็ด/ รวง	น้ำหนักเมล็ด/ รวง (กรัม)	จำนวนเมล็ด/ รวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	น้ำหนักผลผลิต (กรัม/ตารางเมตร)
(A) ระยะปลูก (เซนติเมตร)									
30x30 (a ₁)	111.60 ± 7.94	18.46 ± 4.53	18.46 ± 4.53	2.70 ± 0.90	135.55 ± 45.58	16.81 ± 9.77	19.91 ± 0.87	749.12 ± 143.56 ^a	
40x40 (a ₂)	111.95 ± 6.09	17.76 ± 4.59	17.76 ± 4.59	2.68 ± 0.92	135.95 ± 46.66	19.69 ± 16.46	19.71 ± 0.72	444.09 ± 93.86 ^b	
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
(B) ปุ๋ยอินทรีย์									
ICOFIS (b ₁)	115.23 ± 6.72 ^a	20.06 ± 4.38 ^a	20.06 ± 4.38 ^a	3.07 ± 0.82 ^a	156.07 ± 41.70 ^a	18.69 ± 8.94 ^a	19.69 ± 0.166	691.61 ± 198.70 ^a	
ท้องถิ่น (b ₂)	108.33 ± 5.57 ^b	16.17 ± 3.88 ^b	16.17 ± 3.88 ^b	2.30 ± 0.82 ^b	115.43 ± 41.03 ^b	17.82 ± 17.04 ^b	19.93 ± 0.91	501.54 ± 155.27 ^b	
F-test	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	**
อิทธิพลร่วม (AB)									
a ₁ b ₁	115.85 ± 0.95 ^a	20.00 ± 0.62 ^a	20.00 ± 0.62 ^a	2.95 ± 0.11 ^a	149.60 ± 5.40 ^a	12.68 ± 0.74 ^a	19.72 ± 0.21	857.68 ± 69.83 ^a	
a ₂ b ₁	114.60 ± 0.77 ^a	19.68 ± 0.50 ^a	19.68 ± 0.50 ^a	3.20 ± 0.08 ^a	162.55 ± 4.06 ^a	9.20 ± 0.42 ^a	19.67 ± 0.12	525.55 ± 21.12 ^b	
a ₁ b ₂	107.35 ± 0.78 ^b	16.32 ± 0.44 ^b	16.32 ± 0.44 ^b	2.44 ± 0.09 ^b	121.49 ± 4.62 ^b	9.77 ± 0.69 ^a	20.11 ± 0.23	640.56 ± 22.66 ^b	
a ₂ b ₂	109.32 ± 0.64 ^b	15.32 ± 0.56 ^b	15.32 ± 0.56 ^b	2.16 ± 0.09 ^b	109.36 ± 4.78 ^b	17.54 ± 1.93 ^b	19.75 ± 0.24	362.52 ± 15.83 ^c	
F-test	**	**	**	**	**	**	ns	ns	**

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

^{a b c} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใช้วิธี DMRT

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของระยะปลูกและคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกฤดูนาปรัง ในพื้นที่ตำบลตะโหมด อำเภอยะโฮมด จังหวัดพัทลุง พบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตรสามารถให้ผลผลิตสูงกว่าที่ระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ให้ความสูงของต้น จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักผลผลิตต่อตารางเมตร สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS สามารถเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ได้สูงที่สุด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิชาติ วรรณวิจิตร. (ม.ป.ป.). ข้าวไรซ์เบอร์รี่และธัญโอสด อีกทางเลือกของชาวนาไทย (ออนไลน์). นครปฐม: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 27 เดือนมิถุนายน 2557, จาก <http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/article-rice-rsc-rgdu>.
- [2] Binito, S. Vergara. (1994). **A farmer's Primer on Growing Rice** (2nd). Manila: International Rice Research Institute (IRRI).
- [3] บุญมา ภูผาหมอก. (2556, มิถุนายน 1). “ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แอนด์ ข้าวลินเหล็ก อินทรีย์ 300 ไร่ กลางทุ่งสิงห์บุรี อาจารย์ ชัชวาล เวียร์ร่า นำเสนอ”, **มติชน**. 24.
- [4] Sukkasame, N., O. Aungoolprasert, P. Poomipan and V. Luckanatinvong. (2015). “Efficacy of high quality organic-fertilizer on growth and yield of Purple Riceberry in different soil series”, In **The 4th International Symposium on Engineering, Energy and Environment**. 52-57. November 8-10, 2015, Learning Resort. Chonburi: Thammasat University.

ผลของจำนวนต้นกล้าต่อกอต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด

Effect of Numbers of Seedlings per Hill on Growth and Yield of Sangyod Rice

จิตรา จันโศด^{1*} วานิต รอดเนียม¹ และเปลื้อง สุวรรณมณี²

Jittra Jansote^{1*}, Wanit Rotnium¹ and Plaung Suwanmanee²

บทคัดย่อ

การใช้ต้นกล้าจำนวนมากในการปักดำเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ความสามารถในการแตกกอและผลผลิตของข้าวลดลง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยดอินทรีย์ จากการใช้วิธีการปักดำจำนวนต้นกล้าต่อกอที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยการปักดำต้นกล้า 3 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 ปักดำต้นกล้าจำนวน 3 ต้นต่อกอ กรรมวิธีที่ 2 ปักดำต้นกล้า จำนวน 5 ต้นต่อกอ และกรรมวิธีที่ 3 ปักดำต้นกล้า จำนวน 7 ต้นต่อกอ ทดลองปลูกข้าวสังข์หยดด้วยระบบอินทรีย์ในพื้นที่นาของเกษตรกร หมู่ที่ 7 ต.ดอนประดู่ อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง พบว่า การปักดำต้นกล้าจำนวน 3 ต้นต่อกอ ทำให้ข้าวสังข์หยดมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการปักดำต้นกล้าจำนวน 5 ต้นต่อกอ และ ปักดำต้นกล้า จำนวน 7 ต้นต่อกอ โดยความสูงเฉลี่ยต่อกอเท่ากับ 182.60 เซนติเมตร ความยาวรวงเฉลี่ยเท่ากับ 26.89 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อรวง เท่ากับ 139.14 เมล็ด และปริมาณผลผลิต เท่ากับ 397 กิโลกรัมต่อไร่ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกข้าวสังข์หยดอินทรีย์ โดยการปักดำต้นกล้า 3 ต้นต่อกอ สามารถเพิ่มผลผลิตและใช้เมล็ดพันธุ์ลดลง

คำสำคัญ: ข้าวสังข์หยด จำนวนต้นกล้าต่อกอ การเจริญเติบโตและผลผลิต

Abstract

Rice transplanting with a high density of rice seedlings is one of factor influences on growth development and low yield quality of rice seedlings. The objective of this study was examined on rice transplanting techniques by using number of seedling, the experimental site was conducted at paddy farmer plantation located on Tambon Don-Pradu, Phak Phayun District, Phatthalung, Thailand. CRD experimental design was tested with 3 levels of seedling density followed by transplanting with 3, 5 and 7 seedlings per hill. Results showed growth and yield of rice transplanting with 3 seedlings per hill were significantly ($p<0.05$) higher than transplanted with 5 and 7 seedlings per hill, mean height per hill, panicle length were 182.60 cm and 26.89 cm, respectively. A number of filled grains per panicle was 139.14 seed and yield per rai was 397 kg. This study reveals the transplanting method with 3 seedlings per hill integrated with organic management system can increase rice production and reduce use of rice grain.

Keywords: Sangyod Rice, Numbers of Seedlings per Hill, Growth and Yield

¹ นักวิชาการ สถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., ผู้อำนวยการสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Academic supporting staff of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Director of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel.: 074-317650 ext. 7153. E-mail address: jittraj28@gmail.com

บทนำ

ชุมชนดอนประดู่ อำเภอปากพะยูน เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีการผลิตข้าวที่สร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดพัทลุง คือ ข้าวสังข์หยด เมืองพัทลุง ซึ่งเป็นที่ต้องการและได้รับความสนใจในกลุ่มผู้บริโภคเพื่อสุขภาพ ด้วยคุณค่าที่มีอยู่ในตัวพันธุ์ข้าวเองสามารถเพิ่มมูลค่าราคาข้าวสังข์หยดทำให้มีราคาสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น แต่ปัจจุบันสภาพการณ์ผลิตข้าวสังข์หยดมีการเปลี่ยนแปลงไปในแนวโน้มลดลง แม้ว่าการปลูกข้าวจะเป็นกิจกรรมที่สำคัญและมีความมั่นคงของเกษตรกรในชุมชนดอนประดู่ ปัญหาหลักสำคัญที่เกิดขึ้นในภาคการผลิต คือ ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากเกษตรกรมีรายจ่ายด้านปัจจัยการผลิตเกือบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นการซื้อเมล็ดพันธุ์ ค่าจ้างต่าง ๆ และที่สำคัญ ต้นทุนการซื้อปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูข้าวอาจเทียบเป็นครึ่งหนึ่งของต้นทุนทั้งหมด จึงทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่คุ้มกับต้นทุนที่เสียไป จากการสำรวจข้อมูลพบว่าเกษตรกรชุมชนดอนประดู่ส่วนใหญ่นิยมปลูกข้าวสังข์หยดด้วยวิธีการหว่าน เพราะมีความสะดวกและใช้แรงงานน้อย แต่พบปัญหาเกี่ยวกับการงอกของเมล็ดข้าวไม่สม่ำเสมอและใช้เมล็ดพันธุ์อัตราสูงถึง 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมากกว่าอัตราที่ทางราชการแนะนำให้ใช้เพียง 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ การหว่านโดยใช้เมล็ดพันธุ์ต่อพื้นที่มากเกินไป จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายด้านเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น การแตกกออ่อน และอาจเป็นสาเหตุการระบาดของโรคแมลงศัตรูข้าว [1] เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตจากวิธีการปลูกข้าวสังข์หยด พบว่า การปลูกด้วยวิธีการปักดำจะให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกด้วยวิธีการหว่าน ทั้งการหว่านน้ำตมและการหว่านข้าวแห้ง [2] แต่กลับพบว่าการทำนาด้วยวิธีการปักดำของเกษตรกรชุมชนดอนประดู่ยังได้ผลผลิตที่ต่ำ สาเหตุหนึ่งมาจากการใช้ต้นกล้าจำนวนมากในการปักดำ จำนวน 5-7 ต้นต่อกอ อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้สูงถึง 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ความสามารถในการแตกกอลดลง เพราะเมื่อปลูกต้นกล้าหลายๆ ต้นขึ้นร่วมกัน รากแต่ละต้นจะทำงานแข่งกันเกิดการแย่งอาหาร น้ำ และแสงแดด จึงส่งผลให้ได้ผลผลิตที่ต่ำ แต่ต้นทุนสูง จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ต้นกล้าในการปักดำน้อยลงจะส่งเสริมให้ข้าวมีการแตกกอเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการออกรวงและการสร้างเมล็ดข้าว เช่น การปักดำจำนวนต้นกล้าเพียง 1 ต้นต่อกอก็เพียงพอต่อการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ได้ผลผลิตสูง [3] ดังนั้นควรมีการจัดการระบบการปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวสังข์หยด การวิจัยครั้งนี้จึงทำการทดลองปลูกข้าวสังข์หยดอินทรีย์โดยใช้วิธีการปักดำจำนวนต้นกล้าที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาจำนวนต้นกล้าต่อกอสำหรับการใช้ในการปักดำข้าวสังข์หยด สำหรับเพิ่มความสามารถในการแตกกอเพิ่มผลผลิต และช่วยลดต้นทุนการผลิต

วิธีการวิจัย

ดำเนินการที่แปลงนาของชุมชนสายสุณีย์ เกื้อแก้ว หมู่ที่ 7 ตำบลดอนประดู่ อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ในฤดูนาปี เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ปลูกในระบบนาข้าวอินทรีย์ ใช้ต้นกล้าอายุ 25-30 วัน ปักดำระยะห่างระหว่างแถวระหว่างกอ 25 x 25 เซนติเมตร แบ่งพื้นที่แปลงย่อย ขนาด 5 x 5 เมตร จำนวน 3 แปลงย่อยต่อกรรมวิธีกำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ที่พัฒนาสูตร โดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ (ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS) (N:P:K เท่ากับ 5:3:2) แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ระยะเตรียมแปลงปักดำ ครั้งที่ 2 ระยะข้าวแตกกอ โดยวิธีการหว่านในอัตราส่วนครั้งละ 100 กิโลกรัมต่อไร่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยวิธีการปักดำต้นกล้า 3 กรรมวิธี คือ

กรรมวิธีที่ 1 โดยวิธีการปักดำต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอ

กรรมวิธีที่ 2 โดยวิธีการปักดำต้นกล้า จำนวน 5 ต้นต่อกอ

กรรมวิธีที่ 3 โดยวิธีการปักดำต้นกล้า จำนวน 7 ต้นต่อกอ

เมื่อข้าวอายุครบ 150 วัน เข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว ทำการเก็บข้อมูล แต่ละกรรมวิธีสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าว จำนวน 40 กอใน
แต่ละแปลงย่อย โดยสุ่มเก็บตัวอย่างแบบวิธีการใช้เส้นสำรวจในแปลงตัวอย่าง (Transect Quadrate) บันทึกการเจริญเติบโตและ
ผลผลิต ดังนี้

1. ความสูงของกอข้าว โดยวัดจากพื้นดินถึงปลายสุดของรวงในแต่ละกอ
2. นับจำนวนต้นข้าวต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ
3. ความยาวของรวง โดยวัดจากคอรวงไปจนถึงปลายเมล็ดสุดท้ายของรวงข้าว โดยสุ่มวัด 5 รวงต่อกอ
คำนวณหาค่าเฉลี่ยของความยาวรวงในแต่ละกอ
4. นับจำนวนเมล็ดดีต่อรวงและจำนวนเมล็ดลีบต่อรวง โดยสุ่มนับ 5 รวงต่อกอ คำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวน
เมล็ดดีต่อรวงและจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงในแต่ละกอ
5. ผลผลิตข้าวต่อไร่ โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตพื้นที่ 2x5 เมตร จำนวน 3 ซ้ำ จากแต่ละกรรมวิธี นวด ผัด ตากข้าวให้
มีความชื้นเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สถิติและการวิเคราะห์ผล โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยดโดยใช้สถิติ
one-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธี โดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองปลูกข้าวสังข์หยดเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิต โดยวิธีปักดำจำนวนต้นกล้าแต่ละ
กรรมวิธี ได้แก่ 3 ต้นต่อกอ 5 ต้นต่อกอ และ 7 ต้นต่อกอ จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าข้าวสังข์หยดมีการเจริญเติบโตและ
ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความสูงของกอข้าว ความยาวรวง จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ จำนวน
เมล็ดดีต่อรวง และผลผลิตต่อไร่ แต่สำหรับจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธี

ข้าวสังข์หยดที่ใช้จำนวนต้นกล้าแตกต่างกันแต่ละกรรมวิธี มีความสูงเฉลี่ยต่อกอ อยู่ในช่วง 164.89-182.60 เซนติเมตร
ซึ่งมีความสูงมากกว่าลักษณะประจำพันธุ์ โดยมีความสูงอยู่ที่ 140 เซนติเมตร [1, 4] เมื่อต้นข้าวสมบูรณ์ดีและสภาพแวดล้อมใน
การปลูกเหมาะสม ต้นข้าวจะมีการแตกกอหรือผลิตหน่อขึ้นมาเป็นต้นข้าวต้นใหม่ โดยทั่วไปถ้าใช้ระยะปลูก 25-30 เซนติเมตร
ต้นข้าวจะมีการแตกกอประมาณ 10-30 ต้นต่อกอ [3] ซึ่งพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์มีความสามารถในการแตกกอแตกต่างกัน โดยเฉพาะ
พันธุ์ข้าวพื้นเมืองจะมีความสามารถในการแตกกอน้อยกว่าพันธุ์ข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ สำหรับข้าวพันธุ์สังข์หยด
ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองรายงานว่ามีสามารถในการแตกกอเฉลี่ย 8.3 ต้นต่อกอ [5] ผลจากการทดลองปลูกข้าวสังข์หยดโดย
ใช้ต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอ สามารถแตกกอเฉลี่ยเท่ากับ 6.93 ต้นต่อกอ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปักดำต้นกล้า
จำนวน 5 ต้นต่อกอ และ 7 ต้นต่อกอ แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่าการใช้จำนวนต้นกล้า 3 ต้นต่อกอมีจำนวนต้นและจำนวนรวงต่อ
กอที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้จำนวนต้นกล้า 7 ต้นต่อกอในการปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองพบว่า ข้าวสังข์หยดที่ปลูกโดยการปักดำต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอสามารถสร้างเมล็ดดีสูงสุด เท่ากับ
139.14 เมล็ดต่อรวง จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ใช้การปักดำต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอสูงสุด มีค่าเท่ากับ 397 กิโลกรัมต่อไร่
โดยผลผลิตที่ได้มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกรรมวิธี แสดงให้เห็นว่า การใช้จำนวนต้นกล้าเพียง 3 ต้นต่อกอ
เป็นการใช้ต้นกล้าจำนวนน้อยลงสามารถเพิ่มผลผลิตและช่วยลดต้นทุนเรื่องเมล็ดพันธุ์ ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษา
ของบุญหงส์ [3] รายงานว่า การใช้จำนวนต้นกล้าเพียง 1 ต้นต่อกอ สามารถปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการใช้
จำนวนต้นกล้า 4 ต้นต่อกอ ดังนั้นจำนวนต้นกล้าที่ใช้ในการปักดำจึงมีผลต่อความสามารถในการแตกกอ การสร้างรวงและการติดเมล็ด

ตารางที่ 1 ผลของจำนวนต้นกล้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด

กรรมวิธี (จำนวนต้นกล้า)	ค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด $\pm$ SE					
	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนเมล็ดดี ต่อรวง	จำนวนเมล็ดลีบ ต่อรวง	ผลผลิตข้าวเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่)	ความยาวรวง (เซนติเมตร)	จำนวนต้นและ จำนวนรวงที่เพิ่มขึ้น
3 ต้นต่อกอ	182.60 $\pm$ 1.13 ^a	139.14 $\pm$ 4.24 ^a	22.62 $\pm$ 1.42	397 $\pm$ 0.09 ^a	26.89 $\pm$ 0.28 ^a	6.93 $\pm$ 0.32 ^c 3.93 $\pm$ 0.32 ^{ab}
5 ต้นต่อกอ	172.47 $\pm$ 1.15 ^b	104.08 $\pm$ 2.28 ^b	20.89 $\pm$ 0.93	213 $\pm$ 0.09 ^c	26.58 $\pm$ 0.19 ^{ab}	9.40 $\pm$ 0.34 ^b 4.43 $\pm$ 0.34 ^a
7 ต้นต่อกอ	164.89 $\pm$ 1.11 ^c	102.58 $\pm$ 3.00 ^b	19.94 $\pm$ 1.18	277 $\pm$ 0.09 ^b	25.87 $\pm$ 0.22 ^c	10.02 $\pm$ 0.36 ^{ab} 3.07 $\pm$ 0.36 ^{ac}
F-test	*	*	ns	*	*	*

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{a b c} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใช้วิธี LSD

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสังข์หยดอินทรีย์ที่ปลูกในพื้นที่ตำบลคอนประดู่ อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง โดยวิธีการปักดำใช้ต้นกล้าตอกแตกต่างกัน สรุปได้ว่าการใช้ต้นกล้าจำนวน 3 ต้นตอกในการปักดำทำให้ข้าวสังข์หยดมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด โดยความสูงเฉลี่ยตอกเท่ากับ 182.60 เซนติเมตร ความยาวรวงเฉลี่ยเท่ากับ 26.89 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อรวงเท่ากับ 139.14 เมล็ด และปริมาณผลผลิตเท่ากับ 397 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นว่า การใช้จำนวนต้นกล้าเพียง 3 ต้นตอก เป็นการใช้ต้นกล้าจำนวนน้อยลงสามารถเพิ่มผลผลิตและช่วยลดต้นทุนเรื่องเมล็ดพันธุ์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณหน่วยงานร่วมในการสนับสนุนให้มีโครงการวิจัย ได้แก่ เทศบาลตำบลคอนประดู่ กลุ่มสหกรณ์การเกษตรแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด โรงเรียนปากพะยูนพิทยาคาร โรงเรียนวัดไพรพอน โรงเรียนวัดควนเขยอ โรงเรียนวัดหัวควน และโรงเรียนบ้านคอนประดู่

เอกสารอ้างอิง

- [1] มนทนา รุจิระศักดิ์. (2556). การผลิตข้าว. นครศรีธรรมราช : สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [2] อวยชัย บุญญาหงษ์ สำเร็จ แซ่ตัน เลิศเกียรติ ชูสิริ เพชร เชงี่ยม จรัส หนูทอง บุญมี วารินสอาด ขวัญใจ คงศักดิ์ ขวัญใจ ทองมาก เสาวนีย์ ศรีบัว ประสิทธิ์ ศรีทองแก้ว และอมรศักดิ์ แวศักดิ์. (2557). “การพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตข้าวในแหล่งปลูกข้าวภาคใต้”, ใน การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 31 พ.ศ. 2557. 432-449. วันที่ 21-23 พฤษภาคม 2557 ณ โรงแรมรอยัลพลาคลิฟฟี่บีช รีสอร์ททเอนด์สปาร์ ระยอง. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.
- [3] บุญหงษ์ จงคิด พฤษ ห่อเข็มทรัพย์ ยุวดี สวอยู่ และวุฒิชัย แดงทอง. (2556). “ความสามารถในการแตกกอและการให้องค์ประกอบผลผลิตต่อกอของข้าวขาวดอกมะลิ 105 กลายพันธุ์เมื่อใช้จำนวนต้นกล้าตอกแตกต่างกัน”, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21(6), 543-546.
- [4] สำเร็จ แซ่ตัน. (ม.ป.ป.). โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ กับการพัฒนาพันธุ์ข้าวสังข์หยดพัทลุง (ออนไลน์). พัทลุง : ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง สำนักวิจัยและการพัฒนาการเกษตรเขต 8. สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2557, จาก http://ptl.brrd.in.th/web/images/stories/news/s_yod10.pdf.
- [5] อุไรวรรณ วัฒนกุล วัฒนา วัฒนกุล นพรัตน์ วงศ์หิรัญเดชา และพิฑูรย์ จรูญรัตน์. (2556). เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการใช้ข้อมูลจากงานวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตและเก็บเกี่ยวข้าวสังข์หยดพัทลุงให้ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ด้านคุณค่าทางโภชนาการ. ตรัง : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

การตรวจวัดสมบัติเชิงกลิ่นของข้าวสังข์หยดพัทลุงโดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์

The Aroma Properties Measurements of the Sangyod Rice of Phattalung by The Machine Olfaction

รังสิตา หาญพันธุ์¹, จิตรา จันโศด², เปลื้อง สุวรรณมณี², ชัชวาล วงศ์ชูสุข³ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{4*}

Rangsita Hanphan¹, Jittra Jansord², Plueng Suwanmanee², Chatchawal Wongchoosuk³

and Anurak Udomvech^{4*}

บทคัดย่อ

ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นสินค้าที่โดดเด่นได้มีการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ แต่คุณภาพความเป็นข้าวอินทรีย์จากกระบวนการปลูกและผลจากความจำเพาะเชิงพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงยังเป็นคำถามในเชิงวิทยาศาสตร์ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาลักษณะกลิ่นของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ขึ้นกับกระบวนการปลูกโดยรวมและความจำเพาะเชิงพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose) ซึ่งศึกษาในสามรูปแบบคือ 1) การเพาะปลูกในพื้นที่เดียวกันแต่มีกระบวนการปลูกแบบอินทรีย์และแบบใช้สารเคมี 2) การเพาะปลูกในพื้นที่ต่างกันแต่มีวิธีการปลูกแบบอินทรีย์เหมือนกันและ 3) การเพาะปลูกในพื้นที่ที่ต่างกันและใช้วิธีการปลูกแบบอินทรีย์ที่ต่างกัน พบว่าทั้งสามรูปแบบให้แผนที่กลิ่นแยกออกจากกันชัดเจนและจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถจำแนกความแตกต่างข้าวสังข์หยดจากวิธีการเพาะปลูกได้ และได้พบว่าข้าวสังข์หยดที่ปลูกในแบบที่สองให้แผนที่กลิ่นแตกต่างกันเช่นเดียวกับรูปแบบที่สาม เป็นการชี้ให้เห็นถึงผลกระทบเชิงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกที่มีต่อไอระเหยจากข้าวสังข์หยดที่ค่อนข้างสูง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีในข้าวสังข์หยดมีความสัมพันธ์กับพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกแม้อยู่ในจังหวัดเดียวกัน แต่ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ดังกล่าวซึ่งส่งผลกระทบต่อมีนัยยะสำคัญต่อไอระเหยจะได้ทำการวิจัยเชิงลึกที่สามารถนำไปใช้ควบคุมคุณภาพของข้าวสังข์หยดต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวสังข์หยดพัทลุง ข้าวอินทรีย์ ข้าวเคมี จมูกอิเล็กทรอนิกส์ สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² นักวิจัย และ อ.ดร., สถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผศ.ดร., Laboratory for Multiscale Innovative Technologies (LMIT) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

⁴ อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³) สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.C. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla 90000

² Researcher & Lecturer Dr., Institute of Community Operation for Integrated Studies (ICOFIS), Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Asst. Prof. Dr., Laboratory for Multiscale Innovative Technologies (LMIT), Department of Physics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, 10900

⁴ Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Educational Science, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nufermi2@gmail.com

Abstract

Sangyod rice of Phatthalung province is distinguished rice product which has been registered to “Geographical Indications” or GI. However, the quality of organic rice from the cultivating process and the effects of spatial geographic specificity of Phatthalung province were scientifically in questions. The purpose of this work was to investigate the odor of Sangyod rice depending on the variables of the overall cultivating process and spatial geographic specificity of Phatthalung province using the Electronic Nose or E-Nose. This study was proceeded in three kinds: *i*) the cultivation in the same area but different in planting processes, *i.e.*, organic and chemical planting methods, *ii*) the cultivation in different areas but with the same organic planting methods, and *iii*) different in both cultivation areas and organic planting methods. It was found that all three kinds provide a distinct odor map and the E-nose can distinguish the difference of the Sangyod rice from the planting methods. In addition, it was found that the second kind’s cultivation of the Sangyod rice gave the scent differently in an odor map, the same as the third kind. It is therefore indicates that of the spatial geographic effects and cultivation methods to the Sangyod's vapors that are relatively high. This would result in the chemical compositions within the Sangyod rice which has been strongly correlated to the cropping area and cultivation methods even though in the same province. However, in spatial relationships that significantl implication affected odor vapors must be further in-depth studied to be able to control the quality of the Sangyod rice's organic.

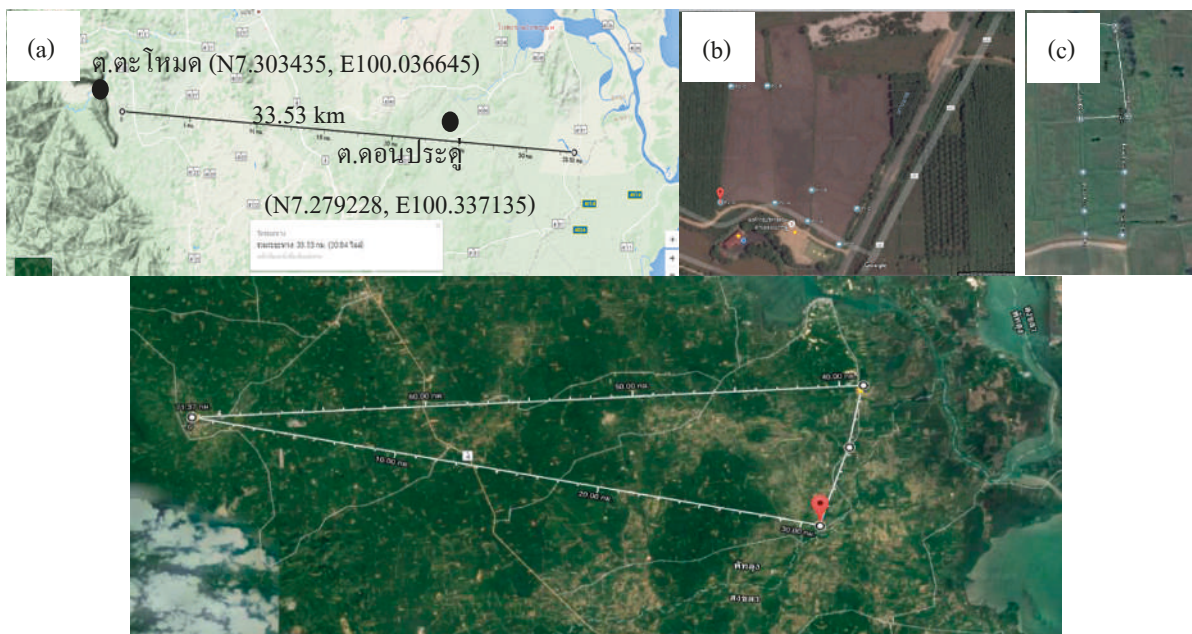
Keywords: Sangyod Rice of Phattalung, Organic Rice, Chemical Rice, Electronic Nose, Geological Index

บทนำ

ในปัจจุบัน “ข้าว” ซึ่งเป็นอาหารหลักของคนไทยได้กลายเป็นอาหารสำคัญของโลก หลายประเทศพยายามสร้างผลผลิตข้าวด้วยตนเองทั้งการทดลองปลูกในพื้นที่ประเทศตัวเองหรือแม้แต่การลงทุนจ้างประเทศที่มีสภาพทางกายภาพที่เหมาะสมเพื่อให้ปลูกข้าวสำหรับส่งให้ประเทศตนเองโดยเฉพาะสำหรับการสร้างความมั่นคงทางอาหาร ทำให้เกิดการแข่งขันในการผลิตข้าวกันมากขึ้น สำหรับประเทศไทยมีการส่งออกข้าวเป็นสินค้าหลักสำคัญของประเทศมาอย่างยาวนาน รวมถึงคนไทยมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก แต่สถานการณ์ปัจจุบันการส่งออกข้าวมีความผันผวนค่อนข้างสูง จึงเป็นอุปสรรคของชาวนาของประเทศไทยในการผลิตข้าวสำหรับบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ แต่ทางออกหนึ่งของปัญหานี้คือการให้ความสำคัญกับข้าวพันธุ์พื้นเมืองท้องถิ่นซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่โดดเด่น เช่น “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” [1-2] ซึ่งได้รับการกล่าวถึงในความพิเศษในหลายประเด็น เช่น ความมีคุณค่าทางสารอาหารที่สูง หรือมีรสชาติที่โดดเด่นเฉพาะตัว เพราะเป็นพันธุ์ข้าวที่ไม่เหมือนกับพื้นที่อื่นๆ ในโลก เนื่องจากต้องเพาะปลูกเฉพาะในพื้นที่จังหวัดพัทลุงจึงได้คุณค่าทางอาหารและรสชาติอันเป็นเอกลักษณ์ อันเนื่องมาจากดินในพื้นที่จังหวัดพัทลุงเป็นที่ลุ่มทะเลสาบสงขลาจึงมีสภาพดินและแร่ธาตุอาหารในดินที่มีลักษณะจำเพาะเหมาะสมกับพันธุ์ข้าวสังข์หยด จึงกลายเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งของการจะพัฒนาให้ข้าวพันธุ์ดังกล่าวมีมาตรฐานในการเพาะปลูกที่มีคุณภาพเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นต่อความปลอดภัยและคุณค่าทางอาหารต่อผู้บริโภคซึ่งจะส่งผลไปถึงการมีความมั่นคงทางอาหารในภาพรวมต่อไปได้

ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเป็นข้าวพันธุ์แรกของประเทศไทยที่ได้รับการรับรองให้เป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indications หรือ GI) ของประเทศไทย [3] ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ.2546 เมื่อปี 2549 โดยใช้ชื่อว่า “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” ซึ่งลักษณะพิเศษเฉพาะของข้าวสังข์หยดคือ เป็นข้าวกล้องมีสีแดงเข้ม เมล็ดข้าวเรียวยาวเล็ก อ่อนนุ่ม ข้าวเปลือกสีฟาง เมื่อขัดแล้วสีเมล็ดจะมีสีขาวปนแดง จมูกข้าวเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคในรูปแบบข้าวซ้อมมือ เวลาหุงข้าวจะมีกลิ่นหอมของโมเลกุลสารอินทรีย์ และเมื่อไม่นานมานี้ข้าวสังข์หยดพัทลุง

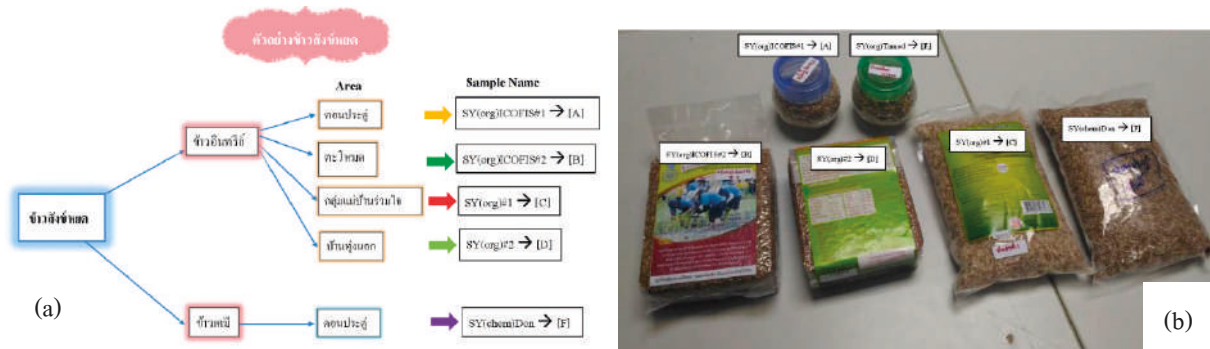
ยังได้รับการรับรองจากสหภาพยุโรป (EU) ขึ้นทะเบียนข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุของไทยเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) ในสหภาพยุโรป เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2559 [4] จึงเป็นการยืนยันว่าข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุได้รับความยอมรับในระดับนานาชาติว่ามีคุณค่าทางอาหารที่สูงและน่าจะทำให้ได้รับความนิยมในการบริโภคมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปัญหาในการควบคุมคุณภาพของผลผลิตยังจะมีคำถามอยู่ในหลายประเด็น ซึ่งในปัจจุบันกระแสความตื่นตัวของผู้บริโภคได้เน้นไปยังอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและเป็นอาหารที่ผลิตโดยปราศจากสารเคมี หรือเป็นอาหารที่ผลิตด้วยกระบวนการอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งข้าวสังข์หยดก็เป็นหนึ่งในผลิตผลทางการเกษตรที่มีปัญหาในการระบุให้ชัดเจนได้ว่าเป็นข้าวสังข์หยดที่เกิดจากกระบวนการปลูกแบบอินทรีย์หรือไม่? และจะพิสูจน์ได้อย่างไร? งานวิจัยนี้จึงได้สนใจจะหาวิธีการระบุความชัดเจนของข้าวสังข์หยดที่ปลูกแบบอินทรีย์และแบบใช้สารเคมีโดยตรวจวัดโมเลกุลไอระเหย (หรือโมเลกุลกลิ่น) จากข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดพัสดุ ซึ่งการจะควบคุมคุณภาพในเรื่องของกลิ่นข้าวต้องใช้เครื่องมือกลิ่นหรือจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose หรือ E-Nose) [5-6, 8] ซึ่งได้มีการนำมาใช้ตรวจวัดคุณภาพของอาหารกันมากขึ้นในปัจจุบัน เช่นการวัดความสุกของผลไม้ การควบคุมคุณภาพของไวน์และเครื่องดื่มอื่นๆ หรือการตรวจวัดความสดของปลา [6] จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ระบุกลิ่นข้าวสังข์หยดในเบื้องต้น จึงได้ทำการศึกษาโมเลกุลไอระเหยจากข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุในพื้นที่ตำบลตะโหนดและตำบลคอนประดู่ซึ่งมีการเพาะปลูกข้าวสังข์หยดด้วยวิธีแตกต่างกัน เพื่อศึกษาลักษณะกลิ่นเบื้องต้นของข้าวสังข์หยดพัสดุด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ศึกษากลิ่นข้าวสังข์หยด 3 ประเภทตามลักษณะการเพาะปลูกและพื้นที่ คือ ข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่เดียวกันแต่วิธีปลูกต่างกัน ข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่ต่างกันแต่มีวิธีการปลูกแบบเดียวกัน และข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่และวิธีการปลูกแตกต่างกัน โดยสร้างเป็นแผนที่กลิ่น (Odor Map) สำหรับบ่งบอกลักษณะกลิ่นเฉพาะตัวของข้าวสังข์หยด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาวิธีควบคุมคุณภาพข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุต่อไป



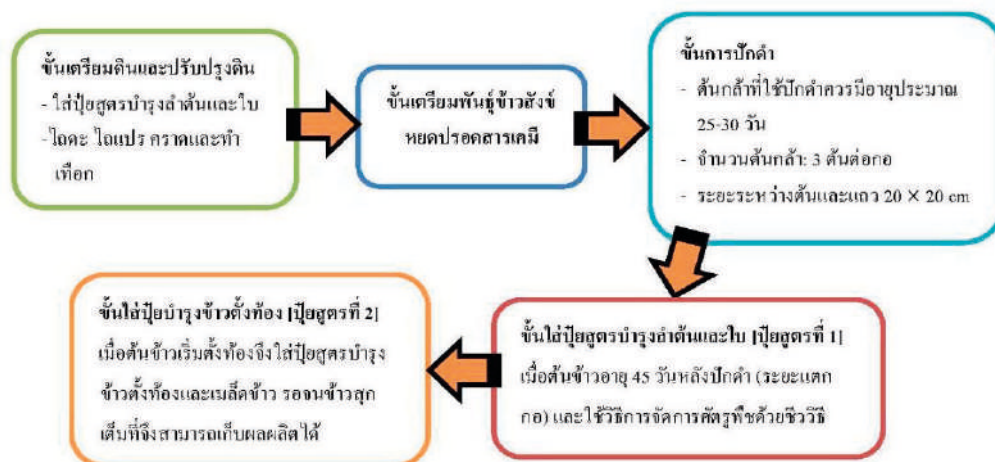
ภาพที่ 1 (a) แผนที่แสดงละติจูดและลองจิจูดของแปลงนาเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดอินทรีย์จากตำบลตะโหนด และตำบลคอนประดู่ในจังหวัดพัสดุ (b) แปลงนาตำบลคอนประดู่ (c) แปลงนาตำบลตะโหนด (d) แสดงพื้นที่การเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดของรูปแบบที่ 3 (ที่มา Google Map)

วิธีการวิจัย

ข้าวสังข์หยดที่ใช้ในการตรวจวัดโมเมนต์ไอร่เหยเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ของจังหวัดพัทลุง 2 ตำบล คือ ตำบลตะโหมด และตำบลคอนประดู่ ซึ่งพิกัดโดยประมาณของพื้นที่แปลงนาของตำบลตะโหมดและตำบลคอนประดู่ดังแสดงในภาพที่ 1(a) ทั้งสองพื้นที่มีระยะทางห่างกันประมาณ 33.53 กิโลเมตร และข้าวสังข์หยดจากทั้งสองพื้นที่มีทั้งวิธีการปลูกแบบแปลงนาอินทรีย์ โดยเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดใช้สารเคมีจากพื้นที่แปลงนาข้างเคียงกัน ทำให้สามารถแบ่งรูปแบบการศึกษาโมเมนต์ไอร่เหย จากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงได้เป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1: ข้าวสังข์หยดจากแปลงนาพื้นที่เดียวกันแต่ใช้วิธีการเพาะปลูกแตกต่างกัน (สำหรับข้าวสังข์หยดจากตำบลคอนประดู่ซึ่งใช้การปลูกแบบใช้สารเคมีและแบบอินทรีย์ ภาพที่ 1(b)) และรูปแบบที่ 2: ข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่ต่างกันแต่วิธีการเพาะปลูกเหมือนกัน คือข้าวสังข์หยดอินทรีย์ของตำบลคอนประดู่และตำบลตะโหมด (ภาพที่ 1(c)) และรูปแบบที่สาม 3: เป็นข้าวสังข์หยดจากพื้นที่ต่างกันและมีวิธีการเพาะปลูกต่างกัน โดยเป็นข้าวสังข์หยด จากนาข้าวสังข์หยดอินทรีย์ของตำบลคอนประดู่และพื้นที่ตำบลข้างเคียง คือข้าวสังข์หยดของสหกรณ์การเกษตรกลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัดและข้าวสังข์หยดจากบ้านทุ่งนอก ดังภาพที่ 1(d) โดยวิธีการเพาะปลูกของแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน แต่วิธีเพาะปลูกของกลุ่มแม่บ้านและบ้านทุ่งนอกไม่ทราบข้อมูลที่แน่ชัด ซึ่งตัวอย่างของข้าวสังข์หยดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 (a) แผนภาพแสดงตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ได้จากตำบลคอนประดู่ ตำบลตะโหมด สหกรณ์การเกษตรกลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด และบ้านทุ่งนอก โดยวิธีปลูกแบบใช้สารอินทรีย์ของ ICOFIS และใช้สารอินทรีย์ที่ไม่สามารถระบุวิธีเพาะปลูกที่แน่ชัดได้ และวิธีปลูกแบบใช้สารเคมี (b) ภาพตัวอย่างข้าวสังข์หยดที่ใช้ในการตรวจวัดกลั่น



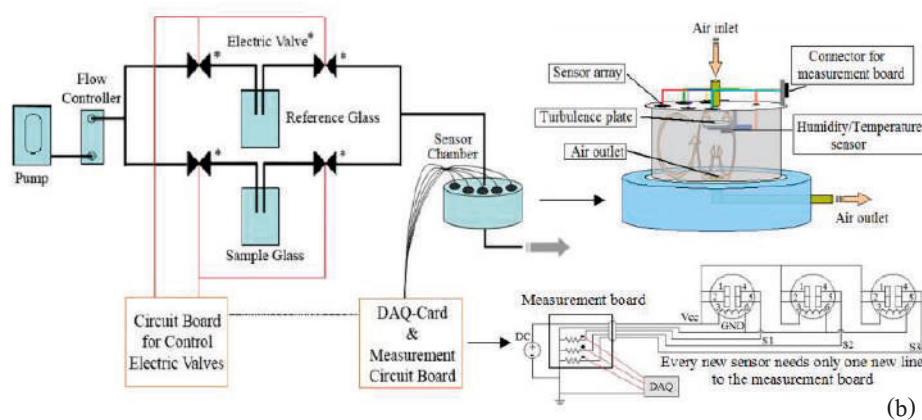
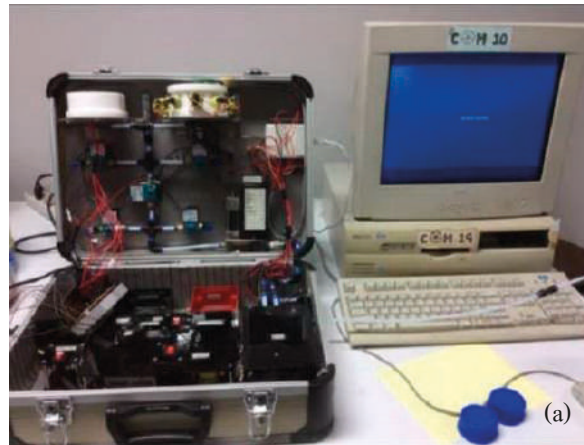
ภาพที่ 3 วิธีการเพาะปลูกข้าวแบบอินทรีย์ได้ใช้กระบวนการของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการพัฒนา (ICOFIS)

วิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ใช้กรรมวิธีของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการพัฒนา (ICOFIS) ซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยอินทรีย์สำหรับนาข้าว 2 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งปุ๋ยสูตรที่ 1 ใช้บำรุงลำต้นและใบด้วยสูตร N:P:K 5:3:2 มีไนโตรเจนสูง ใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกผสมลงในแปลงนา ก่อนดำกล้าหรือหลังดำกล้าประมาณ 15 วัน ครั้งที่ 2 เมื่อต้นข้าวอายุ 45 วัน หลังปักดำ ปริมาณที่ใช้ 50 - 100 กิโลกรัมต่อไร่ต่อครั้ง ปุ๋ยสูตรที่ 2 ใช้บำรุงข้าวตั้งท้องและเมล็ดข้าวด้วยสูตร N:P:K 2:3:2 เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม โดยใส่ก่อนข้าวตั้งท้องประมาณ 15 วัน ปริมาณที่ใช้ 50 - 100 กิโลกรัมต่อไร่

การตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นไอระเหยของข้าวสังข์หยดโดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [7-8] ดังภาพที่ 4(a) โดยเมื่อเซนเซอร์ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์รับไอระเหยที่มาจากอุปกรณ์ไ่วสดูดอย่างจะเกิดปฏิกิริยากับไอระเหยส่วนรับกลิ่นนี้เป็นเซนเซอร์โลหะออกไซด์หลายชนิด แต่ละชนิดจะตอบสนองต่อกลิ่นหรือก๊าซชนิดเดียวกันแตกต่างกัน เมื่อการตอบสนองไม่เหมือนกัน เซนเซอร์แต่ละชนิดจึงให้สัญญาณไฟฟ้าออกไปต่างกัน ความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้าทำให้เกิดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะตัว เนื่องจากโมเลกุลไอระเหยที่แตกต่างกัน ซึ่งกลไกการทำงานแสดงในภาพที่ 4(b) เมื่อเปลี่ยนกลิ่นหรือชนิดของสารให้กลิ่นใหม่จะได้ชุดสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะแบบที่ต่างออกไป การนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ตรวจหากลิ่นหรือก๊าซที่สนใจเป็นการเปรียบเทียบชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่ในหน่วยความจำกับชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากชุดเซนเซอร์ ณ เวลานั้นว่ามีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยมีสารเปรียบเทียบ (Reference) คืออากาศบริสุทธิ์เป็นตัวอ้างอิงในการตรวจวัดกลิ่นจากตัวอย่างข้าวสังข์หยดทั้งหมด โดยใช้ปริมาณข้าวสังข์หยดในจำนวน 5 กรัมเท่าๆ กันและนำข้อมูลจากการตรวจวัดมาวิเคราะห์ด้วยหลักการ Principle Component Analysis (PCA) [7, 10] เพื่อวิเคราะห์แยกแยะรูปแบบความเหมือนและความต่างกันของไอระเหยของข้าวสังข์หยด

ตารางที่ 1 สูตรปุ๋ยบำรุงข้าวสังข์หยดของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการพัฒนา (ICOFIS)

ลำดับ	ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับนาข้าว (สูตร 1)		ปุ๋ยบำรุงข้าวตั้งท้องและเมล็ดข้าว (สูตร 2)	
	วัสดุ	จำนวน (kg)	วัสดุ	จำนวน (kg)
1	มูลสัตว์	400	มูลสัตว์	400
2	รำละเอียด	50	รำละเอียด	50
3	โดโลไมท์ / ดินภูเขา	10	ดินภูเขา	10
4	แกลบดำ	10	แกลบดำ	30
5	เศษพืช	400	เศษพืช	400
6	หยวกกล้วย	50	หยวกกล้วย	100
7	ดินจากแปลงนา	50-100	หินฟอสเฟต (0-46-0)	50
8	น้ำหมักปลา	50 (ลิตร)	น้ำหมักจุลินทรีย์	50 (ลิตร)
9	น้ำหมักจุลินทรีย์	50 (ลิตร)		

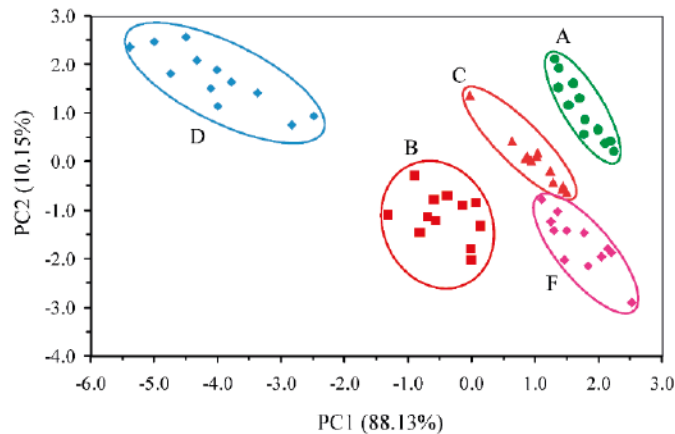


ภาพที่ 4 (a) จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose หรือ E-Nose) และ (b) แผนภาพระบบการทำงานโดยสังเขป
ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [6, 8]

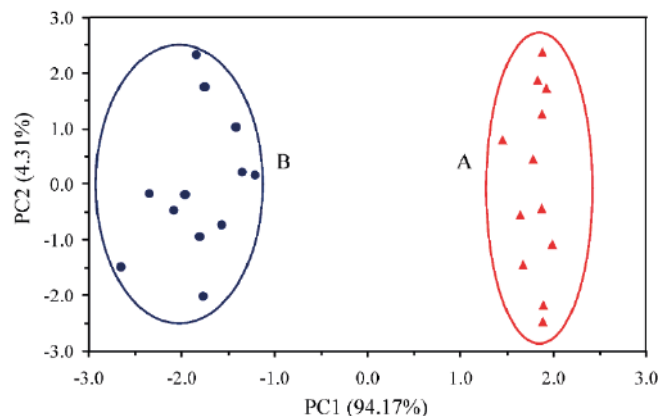
เทคนิค PCA เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ปรับเปลี่ยน (Transform) รูปแบบข้อมูลทั้งหมดที่ไม่สัมพันธ์กัน ไปเป็นรูปแบบกลุ่มหรือชุดของข้อมูลในลักษณะของการฉายภาพให้อยู่ในสองหรือสามมิติที่มีความสัมพันธ์กัน โดยกระบวนการ PCA มีนิยามดังสมการ:

$$PCA_{result} = \left((\overline{Cov(X_{M \times N})})_{\max \rightarrow \min} \otimes Norm(X_{M \times N}) \right)^T$$

เมื่อ $X_{M \times N}$ คือ เมตริกซ์รับข้อมูล โดย M หมายถึงแถวของเมตริกซ์การทำซ้ำของการวัดและ N หมายถึงคอลัมน์ของเมตริกซ์แสดงจำนวนเซ็นเซอร์ที่เป็นอิสระไม่ขึ้นแก่กัน $Norm(X_{M \times N})$ เป็นการ normalize เมตริกซ์รับข้อมูล $X_{M \times N}$ เทอม $Cov(X_{M \times N})$ เป็นเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix) ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่า eigenvectors และ eigenvalues ของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมและ $(\overline{Cov(X_{M \times N})})_{\max \rightarrow \min}$ เป็นการจัดเรียง eigenvectors และ eigenvalues โดยเป็นการจัดเรียงค่า eigenvectors ที่มีค่ามากที่สุดไปน้อยที่สุด และเมื่อนำค่า $(\overline{Cov(X_{M \times N})})_{\max \rightarrow \min}$ และค่า $Norm(X_{M \times N})$ มาผ่านตัวดำเนินการแบบคูณและหาค่าเมตริกซ์ transpose จึงจะได้ชุดข้อมูลผ่านการแปลงแบบตั้งฉากเชิงเส้น (orthogonal linear transformation) PCA_{result} สำหรับนำมาวาด เป็นภาพกลุ่มของชุดข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “แผนที่กลิ่น (Aroma Map)”



ภาพที่ 5 แผนทีกลั่นข้าวสังข์หยดพัทลุงจากการวิเคราะห์ด้วยมุกอิล็กทรอนิกส์จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดของแผนภาพที่ 2(a)
โดยสีของกลุ่มจุดสอดคล้องกับการจำแนกชนิดของตัวอย่างข้าวสังข์หยดคือ ชนิด [A] = วงจุดสีเขียว
ชนิด [B] = วงจุดสีน้ำตาล ชนิด [C] = วงจุดสีน้ำตาลแดง ชนิด [D] = วงจุดสีฟ้า และชนิด [F] = วงจุดสีชมพู



ภาพที่ 6 แผนทีกลั่นข้าวสังข์หยดพัทลุงจากการวิเคราะห์ด้วยมุกอิล็กทรอนิกส์จากตัวอย่างข้าวสังข์หยด
แบบอินทรีย์ SY(org)ICOFIS#1” หรือ “ชนิด [A]” ซึ่งได้จากแปลงนาข้าวของตำบลคอนประดู่และ “SY(org)ICOFIS#2”

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ตัวอย่างข้าวสังข์หยดพัทลุง (ภาพที่ 2(b)) ที่ใช้ในการทดลองมีการแยกแยะและจัดกลุ่มดังภาพที่ 2(a) โดยกลุ่มของข้าวสังข์หยดจากการเพาะปลูกแบบนาอินทรีย์ซึ่งระบุกระบวนการเพาะปลูกได้ (ภาพที่ 3) คือ “SY(org)ICOFIS#1” หรือเรียกว่า “ชนิด [A]” ซึ่งเป็นข้าวจากแปลงนาข้าวของตำบลคอนประดู่และ “SY(org)ICOFIS#2” หรือเรียกว่า “ชนิด [B]” ซึ่งเป็นข้าวจากแปลงนาข้าวของตำบลตะโหมด (แผนภาพที่ 1(a - c)) และกลุ่มข้าวสังข์หยดนาอินทรีย์แบบไม่สามารถระบุกระบวนการเพาะปลูกที่แน่ชัดได้ คือ “SY(org)#1” หรือเรียกว่า “ชนิด [C]” ซึ่งเป็นข้าวจากสหกรณ์การเกษตรกลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด และ “SY(org)#2” หรือเรียกว่า “ชนิด [D]” ซึ่งเป็นข้าวของบ้านทุ่งนอก (แผนภาพที่ 1(d)) และข้าวสังข์หยดที่ได้มาจากการเพาะปลูกแบบใช้สารเคมี คือ “SY(chem)Don” หรือเรียกว่า “ชนิด [F]” เป็นตัวอย่างข้าวจากพื้นที่ตำบลคอนประดู่แต่เป็นจากแปลงนาข้าวพื้นที่ข้างเคียง ในการตรวจวัดกลั่นจากตัวอย่างข้าวสังข์หยดพัทลุงด้วยมุกอิล็กทรอนิกส์ร่วมกับการวิเคราะห์แบบ PCA ทำให้ได้ข้อมูลหลายตัวแปรโดยไม่มีการแบ่งกลุ่มตัวแปรว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามหรือตัวแปรอิสระ โดยได้ทำการวัดซ้ำตัวอย่างข้าวสังข์หยดแต่ละกลุ่มหลายครั้งเพื่อทดสอบความซ้ำรอยเดิมของ

ข้อมูลจนกระทั่งได้ข้อมูลในรูปแบบกราฟแผนที่กลืน ดังในภาพที่ 5 ซึ่งแสดงชนิดของกลืนหรือโมเลกุลไอ-ระเหยของข้าวสังข์หยดที่สอดคล้องสัมพันธ์กับแผนภาพภาพที่ 2(a)

ตารางที่ 2 แสดงค่า pH อุณหภูมิและ ORP ของน้ำในพื้นที่ตำบลคอนประดู่และตะโหมดปี 2558 และปี 2559

บริเวณที่ตรวจวัด	คอนประดู่					ตะโหมด				
	2558		2559			2558		2559		
	(9.05 น.)		(9.00 น.)			(10.00 น.)		(10.07 น.)		
	pH	T (°C)	pH	T (°C)	ORP	pH	T (°C)	pH	T (°C)	ORP
					(V)					(V)
แหล่งน้ำธรรมชาติ*	6.4	25.1	8.6	29.5	282	6.2	30.3	6.0	33.5	367
Area #1	4.5	25.0	7.7	30.5	307	4.8	32.5	7.0	35.1	357
Area #2	5.1	25.0	7.2	30.8	290	4.3	31.8	6.6	35.8	227
Area #3	3.2	25.0	6.7	30.7	306	5.1	32.0	7.0	35.5	264
Area #4	2.5	24.9	6.8	30.8	302	3.9	32.3	6.7	34.8	367

*แหล่งน้ำธรรมชาติ: - พื้นที่ตำบลคอนประดู่ วัดจากน้ำของคลองชลประทานก่อนปล่อยเข้าแปลงนา

- พื้นที่ตำบลตะโหมด วัดจากน้ำที่ไหลมาจากเทือกเขารัตมตามลำคลองก่อนเข้าสู่แปลงนา

ในแปลงนา: ไม่ได้แสดงบริเวณพื้นที่ในแปลงนาข้าวที่ใช้เก็บค่าไว้ ณ ที่นี้

ผลจากกลืนข้าวสังข์หยดรูปแบบที่ 1 (ข้าวสังข์หยดจากแปลงนาในพื้นที่เดียวกันแต่ใช้วิธีการเพาะปลูกต่างกัน) ชนิดนาข้าวอินทรีย์ [A] วงจุดสีเขียวหรือ “SY(org)ICOFIS#1” และชนิดนาข้าวใช้สารเคมี [F] วงจุดชมพูหรือ “SY(chem)Don” (ทั้งสองตัวอย่างได้จากพื้นที่ตำบลคอนประดู่) พบว่าข้อมูลกลืนข้าวแยกกลุ่มกันอย่างเด่นชัด ซึ่งเป็นการยืนยันว่ามุกอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพและศักยภาพเพียงพอต่อการจำแนกแยกแยะผลผลิตข้าวสังข์หยดที่ได้มาจากการเพาะปลูกแบบอินทรีย์และแบบใช้สารเคมี และแสดงว่าวิธีการเพาะปลูกส่งผลกระทบท่อลักษณะกลืนซึ่งนำไปสู่ชนิดของโมเลกุลไอระเหยของข้าวสังข์หยดที่แตกต่างกันโดยตรง (โดยในที่นี้ยังไม่อาจระบุชนิดของโมเลกุลไอระเหยได้) ยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้ทราบว่าตัวอย่างข้าวสังข์หยดทั้งสองน่าจะไม่ได้เพาะปลูกจากแปลงนาเดียวกัน (ตัวแปรเชิงพื้นที่) เมื่อพิจารณาจากความห่างของกลุ่มจุดในแนวตั้งระหว่างข้าวอินทรีย์ชนิด [A] วงจุดสีเขียวและข้าวใช้สารเคมีชนิด [F] วงจุดชมพู และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดกลืนข้าวสังข์หยดอินทรีย์และเคมีจากรายงานของอนุรักษ์ อุดมเวชและคณะ [11] ซึ่งได้กล่าวว่าโมเลกุลไอระเหยจากข้าวน่าจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวในภาพกว้างนั้นมีผลที่สอดคล้องกันกับผลการศึกษานี้ แต่ในการศึกษานี้เลือกจำเพาะเจาะจงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกที่ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่ยังไม่จำเพาะเพียงพอต่อการระบุถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกที่แน่นอนและชัดเจนซึ่งอยู่ระหว่างดำเนินการวิจัยในขั้นต่อไป

สำหรับการเพาะปลูกด้วยวิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ตามวิธีของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ (ภาพที่ 3) เหมือนกันแต่ต่างพื้นที่กัน (รูปแบบที่ 2) บริเวณตำบลคอนประดู่ (สัญลักษณ์ “SY(org)ICOFIS#1” หรือ “ชนิด [A]” กลุ่มจุดสีเขียว) และตำบลตะโหมด (สัญลักษณ์ “SY(org)ICOFIS#2” “ชนิด[B]” กลุ่มจุดสีน้ำตาล) (ภาพที่ 5) พบว่าแผนที่กลืนของทั้งสองพื้นที่แยกจากกันอย่างเด่นชัด ซึ่งมีระยะทางห่างกัน 33.53 กิโลเมตรโดยประมาณ (ภาพที่ 1(a)) ทำให้มีความแตกต่างของปัจจัยทางกายภาพสำคัญ เช่น สภาพดินและสภาพน้ำแตกต่างกัน (โดยได้แสดงผลเฉพาะการตรวจวัดค่า pH อุณหภูมิและ Oxidation Reduction Potential (ORP) ของน้ำในช่วงสองรอบของการปลูกข้าวสังข์หยดแบบนาปีไว้

ดังตารางที่ 2) และเมื่อทำการตรวจวัดกลิ่นข้าวสังข์หยดจากทั้งสองพื้นที่ที่ซ้ำและเปรียบเทียบกันเฉพาะกลิ่นข้าวทั้งสองพื้นที่บนเงื่อนไขวิธีการเพาะปลูกแบบเดียวกันแต่มีพื้นที่เพาะปลูกแตกต่างกัน ดังภาพที่ 6 ก็ให้ผลการแยกแยะกลิ่นข้าวสังข์หยดที่แยกจากกันเช่นเดิม แสดงว่าโมเลกุลไอระเหยของข้าวสังข์หยดได้รับผลกระทบจากปัจจัยของสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกเป็นด้วยแม้จะควบคุมกระบวนการเพาะปลูก เช่น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมือนกันก็ตาม

เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบของปัจจัยเชิงพื้นที่และสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในการเพาะปลูกข้าวสังข์หยด (ในจังหวัดพัทลุง) จึงเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดที่ไม่อาจจะระบุวิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ได้แน่ชัดหรือรูปแบบที่ 3 จากสหกรณ์การเกษตรกลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด (“SY(org)#1” หรือ “ชนิด [C]” กลุ่มจุดสีแดง) และจากบ้านทุ่งนอก (“SY(org)#2” หรือ “ชนิด [D]” กลุ่มจุดสีฟ้า) โดยทั้งสองพื้นที่เป็นตำบลข้างเคียงกับพื้นที่ตำบลดอนประดู่ เพื่อทำการศึกษเปรียบเทียบผลของกลิ่นจากข้าวสังข์หยดอินทรีย์ที่ทราบและไม่ทราบวิธีการเพาะปลูก (ภาพที่ 5) พบว่ากลิ่นของข้าวของกลุ่มสหกรณ์ฯ (“ชนิด [C]” กลุ่มจุดสีแดง) อยู่ใกล้เคียงกับข้าวสังข์หยดอินทรีย์ของตำบลตะโหมดซึ่งใช้วิธีการเพาะปลูกแบบของ ICOFIS จึงน่าจะสันนิษฐานได้ว่าอาจจะใช้กระบวนการปลูกใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีการใช้สารเคมีร่วมด้วยในขั้นตอนของการเพาะปลูก เนื่องจากกลุ่มจุดสีแดงและสีชมพู (ใช้สารเคมี) อยู่เกือบชิดติดกัน แต่สำหรับกลุ่มจุดสีฟ้า (ข้าวสังข์หยดของบ้านทุ่งนอก) แยกออกเป็นเอกเทศชัดเจน ซึ่งเป็นไปได้ว่าใช้วิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ที่แตกต่างออกไปโดยสิ้นเชิงจากวิธีการเพาะปลูกแบบของ ICOFIS นอกเหนือจากผลกระทบเชิงพื้นที่ที่เพาะปลูกที่ต่างกัน

การศึกษาวินิจฉัยกลิ่นของข้าวสังข์หยดนี้เป็นการใช้เทคโนโลยียุคใหม่เพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนด ควบคุม และตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะที่ขึ้นกับสภาพภูมิศาสตร์หรือ GI ของข้าวสังข์หยดพัทลุงได้ ซึ่งจะเป็นการควบคุมตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตข้าวสังข์หยดให้สามารถคงความมีคุณค่าทางโภชนาการและคุณค่าของวัฒนธรรมพื้นถิ่นได้ในอนาคต และเป็นแนวทางหนึ่งของการสร้างมาตรฐานต่อการคงเอกลักษณ์และรักษาคุณภาพของข้าวสังข์หยดที่กำลังได้รับความนิยมจากสังคมโลกมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาวินิจฉัยเพื่อจะใช้เอกลักษณ์ของกลิ่นหรือไอระเหยเฉพาะตัวของข้าวสังข์หยดอินทรีย์ที่ขึ้นต่อพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกจะยังคงต้องมีการศึกษาลงลึกในรายละเอียดของตัวแปรทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมซึ่งส่งผลกระทบต่อกลิ่น เช่น ลักษณะของดิน น้ำ สภาพอากาศในระดับจุลภาค (Microclimate) ในโอกาสต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากลิ่นของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose หรือ E-Nose) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ PCA ทำให้ทราบถึงผลของกลิ่นข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่มีวิธีเพาะปลูกแบบอินทรีย์และแบบเคมีมีแผนที่กลิ่นที่แยกจากกันชัดเจน ซึ่งยืนยันว่าสามารถใช้เครื่องมือดังกล่าวจำแนกผลผลิตข้าวสังข์หยดจากทั้งสองวิธีการเพาะปลูกได้ นอกจากนี้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถช่วยยืนยันถึงผลกระทบเชิงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกต่อกลิ่นของข้าวสังข์หยดอินทรีย์ซึ่งมีโมเลกุลไอระเหยหรือกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะว่าจะมีความแตกต่างกันโดยชัดเจนเมื่อเพาะปลูกบนสภาพเงื่อนไขเชิงพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงที่แตกต่างกันไม่ว่าจะใช้วิธีเพาะปลูกที่เหมือนกันหรือต่างกันหรือไม่ก็ตาม โดยข้อมูลการศึกษาวินิจฉัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างมาตรฐานต่อการคงหรือเพิ่มเอกลักษณ์และคุณภาพของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่กำลังได้รับความนิยมจากสังคมโลกมากขึ้นได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตร วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ. 2559 และผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณครูชานา ตำบลคอนประดู่ และตะโหมดทุกท่านที่ให้ข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถพงษ์ อยู่เกตุ. (2550). “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง: ข้าว GI พันธุ์แรกของเมืองไทย”, *วารสารพัฒนาชุมชน*. 46, 27-29.
- [2] กองบรรณาธิการ. (2552). “ข้าวสังข์หยด จังหวัดพัทลุง จากข้าวพันธุ์พื้นเมืองถึงข้าวพันธุ์ GI”, *วารสารธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย*. 3, 17-25.
- [3] ทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์เลขที่ สช 49100011. (2549). *ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง*. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- [4] ประชาชาติธุรกิจออนไลน์. (13 ต.ค. 2559). *อียูขึ้นทะเบียน “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” เป็นสินค้าจีไอแล้ว*. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2560, จาก http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1476358 276
- [5] กองบรรณาธิการ. (มิถุนายน – กรกฎาคม 2553). “Smart E-nose” Inspire by MEMS in Thailand. *Technology Promotion and Innomag Magazine*. 37, 25 – 27.
- [6] ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. (2557). *จมูกอิเล็กทรอนิกส์: เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ชนิดใหม่ สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร*. สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2559, จาก http://website.nnr.nstda.or.th/website/attachments/article/58/E-Nose_for_FoodIndustry.pdf.
- [7] MartõÁnez, A.M. and Kak, A.C. (2001). “PCA versus LDA”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 23, 228-233.
- [8] Wongchoosuk, C., Lutz, M. and Kerdcharoen, T. (2009). “Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose”, *Sensors*. 9, 7234-7249.
- [9] Wongchoosuk, C., Lorwongtragool, P. and Kerdcharoen, T. (2011). “Malodor DetectionBased on Electronic Nose, Air Quality Monitoring, Assessment and Management” *Dr.Nicolas Mazzeo (Ed.), InTech*. DOI: 10.5772/16582. Available from: <http://www.intechopen.com/books/air-quality-monitoring-assessment-and-management/malodor-detection-based-on-electronic-nose>.
- [10] Fukunaga, K. (1990). *Introduction to Statistical Pattern Recognition*. Second ed. Academic Press.
- [11] Timsorn, K., Wongchoosuk, C., Suwanmanee, P. and Udomvech, A. (2015). “Unleash the Secret of Rice Aroma from Different Paddy Field Locations and Farming Treatment Processes of Thailand by an Electronic Nose Machine”, In *The First International Conference on Sustainability of Organic Agriculture (SOA2015)*. 7-9 December 2015. Ubon Ratchathani Province.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์มีสี

Development of Coating Batter from Colored Rice Flour

พรพิมล มะยะเจียว^{1*}, นุจิ เกตุราช² และรัชฎาภรณ์ ทองจันทร์แก้ว²

Pornpimon Mayachiew^{1*}, Nudcharee Kadrat² and Ratchadaporn Thorngjankeaw²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์มีสี โดยศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี 2 พันธุ์ (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ 4 ระดับ (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) ทดแทนปริมาณแป้งสาลีที่มีต่อคุณภาพของเบทเทอร์ รวมทั้งคุณภาพของแป้งชุบทอด ผลการทดลอง พบว่า เบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีความหนืดและร้อยละการเกาะติดสูงกว่าเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ($p < 0.05$) แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีร้อยละการเกาะติด การดูดซับน้ำมันและความหนาแน่นสูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) ต่ำกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ($p < 0.05$) สำหรับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทดสอบด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assay ของแป้งชุบทอดทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) เบทเทอร์มีความหนืดและร้อยละการเกาะติดลดลงเมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดและการดูดซับน้ำมันลดลง ในขณะที่ค่า a^* ความหนาแน่น และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: ข้าวสังข์หยด ข้าวหอมนิล แป้งชุบทอด คุณภาพ

Abstract

The objectives of this research were to evaluate the effect of adding colored rice flour (Sangyod and Homnil rices) and percentage of colored rice flours (25, 50, 75 and 100) to replace wheat flour on the quality of batter as well as the qualities of fried batter. The results showed that Homnil rice flour-blended batter exhibited higher viscosity and percentage of batter adhesion than Sangyod rice flour-blended batter ($p < 0.05$). Homnil rice flour-blended fried batter resulted in the higher percentage of batter adhesion, oil absorption and bulk density than Sangyod rice flour-blended fried batter. However, Homnil rice flour-blended fried batter exhibited the lower redness (a^*) than Sangyod rice flour-blended fried batter. Significant difference was found in DPPH radical scavenging activity and Ferric reducing antioxidant power (FRAP) between Homnil rice flour blending and Sangyod rice flour blending ($p < 0.05$). Lower viscosity and percentage

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof., Department of Food Science and Technology, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Undergraduate Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel. 074-609600 ext. 3314. E-mail address: pornpimon_maya@yahoo.com

of batter pick up was noted for batter with the increasing of rice flour substitution. Percentage of batter adhesion and oil absorption of colored rice-fried batter decreased with an increase in the percentage of both rice, whereas the redness, bulk density and antioxidant activity increased.

Keywords: Sangyod Rice, Homnil Rice, Fried Batter, Quality

บทนำ

การบริโภคอาหารชุบแป้งทอด เช่น ปลา อาหารทะเล เนื้อสัตว์ และผัก เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย [1] แป้งชุบทอดมีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักที่ทำให้อาหารขยายตัวเพิ่มขึ้น ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ดังนั้นแป้งข้าวเป็นวัตถุดิบในประเทศที่ดีต่อสุขภาพเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากแป้งข้าวมีแคลอรีต่ำและลดความเสี่ยงต่อผู้ที่แพ้กลูเตน [2] ในปัจจุบันผู้ที่ใส่ใจต่อสุขภาพนิยมบริโภคข้าวพันธุ์มีสี เช่น ข้าวสังข์หยดซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง เมล็ดข้าวมีสีชาปนแดง ข้าวสังข์หยดมีองค์ประกอบของสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น โพรแอนโทไซยานิน ในขณะที่ยังมีเมล็ดยาวมีสีม่วงดำ ประกอบไปด้วยสีม่วงเข้ม (Cyanidin) สีชมพูอ่อน (Peonidin) และสีน้ำตาล (Procyanidin) ผสมกัน [3] ซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ในกลุ่มสารแอนโทไซยานิน สารฟลาโวนอยด์และสารโพลีฟีนอลจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่พบในข้าวมีสีทั้ง 2 พันธุ์ดังกล่าว ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี 2 พันธุ์ (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ 4 ระดับ (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) ทดแทนปริมาณแป้งสาลีที่มีต่อความเหนียวของแป้งทอด ร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด รวมทั้งคุณภาพต่าง ๆ ของแป้งชุบทอด ได้แก่ ร้อยละการเกาะติด ค่าสี การดูดซับน้ำมัน ความหนาแน่น และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิล

จัดซื้อข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลจากตลาดในอำเภอป่าพะยอม จ.พัทลุง นำไปบดละเอียดให้เป็นแป้ง

1.2 การเตรียมส่วนผสมของวัตถุดิบ

สำหรับสูตรพื้นฐานและสูตรผสมแป้งข้าวของแป้งชุบทอด แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณวัตถุดิบแป้งชุบทอดสูตรต่างๆ (ผสมแป้งข้าวทดแทนแป้งสาลี)

วัตถุดิบ	ปริมาณส่วนผสม (g)								
	control	SY25	SY50	SY75	SY100	HN25	HN50	HN75	HN100
แป้งสาลี	50	37.5	25	12.5	-	37.5	25	12.5	-
แป้งข้าวโพด	50	50	50	50	50	50	50	50	50
แป้งข้าวสังข์หยด	-	12.5	25	37.5	50	-	-	-	-
แป้งข้าวหอมนิล	-	-	-	-	-	12.5	25	37.5	50
เกลือ	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ผงฟู	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

หมายเหตุ : SY25 SY50 SY75 และ SY100 หมายถึง ร้อยละของปริมาณแป้งข้าวสังข์หยด 25 50 75 และ 100 ที่ทดแทนแป้งสาลี และ HN25 HN50 HN75 และ HN100 หมายถึง ร้อยละของปริมาณแป้งข้าวหอมนิล 25 50 75 และ 100 ที่ทดแทนแป้งสาลี

2. การเตรียมผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอด

เตรียมวัตถุดิบแป้งและส่วนผสมต่างๆในแต่ละสูตรดังตารางที่ 1 จากนั้นผสมวัตถุดิบข้างต้นเข้าด้วยกัน ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 250 μm แล้วเติมน้ำเย็น (14 $^{\circ}\text{C}$) ต่อแป้งในอัตราส่วน 1:1 ผสมนาน 1 นาที จะได้แป้งเทออร์ จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพของแป้งเทออร์ นำขึ้นแครอทขนาด 5 cm $\times$ 0.5 cm $\times$ 0.5 cm ชุบแป้งเทออร์ ดึงขึ้นให้สะเด็ด เป็นเวลา 10 วินาที นำไปทอดที่อุณหภูมิ 180 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดขึ้นชั้นน้ำมัน แล้วจึงวิเคราะห์คุณภาพแป้งชูบทอดของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

3. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอด

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งเทออร์ ได้แก่

3.1.1 ความหนืดของแป้งเทออร์ คัดแปลงตามวิธีของ Sowmya และคณะ [4] วิเคราะห์ความหนืดของแป้งเทออร์โดยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer)

3.1.2 ร้อยละการเกาะติดของแป้งเทออร์ ตามวิธีของ Phaoenchoke [5]

ผสมแป้งชูบทอดกับน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้เป็นเวลา 1 นาที นำขึ้นแครอทที่ซังน้ำหนักร่อนแล้วชุบลงในแป้งเทออร์เป็นเวลา 1 นาที แล้วดึงขึ้นให้สะเด็ด เป็นเวลา 10 วินาที ซังน้ำหนักร่อนแล้ว ร้อยละการเกาะติดของแป้งเทออร์ ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการเกาะติดของแป้งเทออร์ (\%)} = \frac{B-I}{I} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ B = น้ำหนักของชิ้นอาหารที่ชุบแป้งเทออร์ I = น้ำหนักของชิ้นอาหารเริ่มต้น

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งชูบทอด ได้แก่

3.2.1 ร้อยละการเกาะติด ตามวิธีของ Phaoenchoke [5] ซังน้ำหนักร่อนแล้ว แป้งชูบทอดที่ทอดแล้ว จากนั้นละลายชั้นแป้งออกจากชิ้นอาหารให้หมดแล้วซังน้ำหนักร่อนแล้ว ร้อยละการเกาะติดของชั้นแป้งทอด ดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละการเกาะติดของชั้นแป้งทอด (\%)} = \frac{BF-IF}{IF} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ BF = น้ำหนักของชิ้นอาหารชุบแป้งทอด IF = น้ำหนักของชิ้นอาหารที่ละลายชั้นแป้งออก

3.2.2 ค่าสี วัดค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแป้งชูบทอดที่ทอดแล้ว ทดสอบด้วยเครื่องวัดสี

3.2.3 การดูดซับน้ำมัน ตามวิธีของ AOAC [6]

3.2.4 ความหนาแน่น ตามวิธีของ Akdeniz และคณะ [7] รายงานค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ (3)

$$\text{ความหนาแน่นของชั้นแป้งทอด (g/mL)} = \frac{\text{น้ำหนักร่อนแป้งทอด}}{\text{ปริมาตรของชั้นแป้งทอด}} \quad (3)$$

3.2.5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทดสอบด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assay ตามวิธีของ Shen และคณะ [8]

การออกแบบการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) การทดลองแต่ละการทดลอง ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 14.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวโดยใช้แป้งข้าว 2 ชนิด คือ แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิล ร่วมกับผลของร้อยละของแป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิล 4 ระดับ ได้แก่ 25 50 75 และ 100 ที่มีต่อคุณภาพของเบทเทอร์รวมทั้งคุณภาพต่าง ๆ ของแป้งชูบทอด ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. ความหนืดของเบทเทอร์

ผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าว (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) ซึ่งทดแทนการใช้แป้งสาลีที่มีต่อค่าความหนืดของเบทเทอร์ แสดงในตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าความหนืดของเบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิลแทนแป้งสาลีที่ระดับร้อยละ 25 50 และ 100 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นที่ระดับร้อยละ 75 ซึ่งพบว่า เบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวหอมนิลมีความหนืดสูงกว่า ($p < 0.05$) ที่เตรียมจากแป้งข้าวสังข์หยด ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวหอมนิลมีปริมาณอะไมโลเพกตินและปริมาณโปรตีน (ประมาณร้อยละ 8.85) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าแป้งข้าวสังข์หยด (โปรตีนประมาณร้อยละ 6.84) และเป็นแป้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด [1] เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดของเบทเทอร์ลดลง โดยเบทเทอร์ที่ไม่มีส่วนผสมของแป้งข้าวมีค่าความหนืดมากที่สุด เท่ากับ 3985 cp รองลงมาคือเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 เท่ากับ 2477.33 cp การใช้แป้งข้าวเป็นส่วนผสมในแป้งชูบทอด ทำให้ความหนืดของเบทเทอร์ลดลง เนื่องจากแป้งข้าวมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าแป้งสาลี

2. ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์

ค่าร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์คำนวณจากน้ำหนักของเบทเทอร์ที่เกาะติดกับแครอท ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิลแทนแป้งสาลีที่ระดับร้อยละ 25 50 และ 100 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นที่ระดับร้อยละ 75 ซึ่งพบว่า ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวหอมนิลมีค่าสูงกว่า ($p < 0.05$) ที่เตรียมจากแป้งข้าวสังข์หยด อาจเป็นเพราะแป้งข้าวหอมนิลมีปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ 16) สูงกว่าแป้งข้าวสังข์หยด (ร้อยละ 14) ส่งผลให้ความหนืดของเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลสูงกว่าเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด จึงมีร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ที่สูงกว่าการใช้แป้งข้าวเป็นส่วนผสมในแป้งชูบทอด ส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ลดลง เนื่องจากแป้งข้าวมีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าแป้งสาลี โดยแอมิโลสมีคุณลักษณะคล้ายฟิล์มของสตาร์ชที่ช่วยให้การเกาะติดกับอาหารมีความสม่ำเสมอ [1] สาเหตุที่การเกาะติดของเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่าสูงกว่าเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวสังข์หยดอาจเป็นเพราะแป้งข้าวหอมนิลมีปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ 16) สูงกว่าแป้งข้าวสังข์หยด (ร้อยละ 14)

นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่าร้อยละของแป้งข้าวมีผลต่อร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ลดลง โดยเบทเทอร์สูตรแป้งสาลี (ชุดควบคุม) มีร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 80.91 รองลงมาคือเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 มีร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์เท่ากับร้อยละ 63.43 เมื่อพิจารณาเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวร้อยละที่สูงขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวร้อยละที่สูงขึ้นมีส่วนผสมของแป้งสาลิลดลง ซึ่งแป้งสาลีมีองค์ประกอบของโปรตีนกลูเตนที่ช่วยในการอุ้มน้ำและให้โครงสร้างทำให้เบทเทอร์สูตรผสมแป้งสาลีมีความหนืดสูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าว [2]

ตารางที่ 2 ความหนืดและร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สูตรแป้งชูบทอด	ความหนืดของแป้งทอด (cp)	ร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด
Control	3985.00 ± 389.41 ^a	80.91 ± 6.89 ^a
SY25	2261.67 ± 89.50 ^b	56.63 ± 5.78 ^b
SY50	1316.00 ± 207.87 ^c	40.27 ± 4.23 ^c
SY75	396.00 ± 6.00 ^c	28.08 ± 1.92 ^d
SY100	198.00 ± 15.87 ^c	15.06 ± 1.90 ^e
HN25	2477.33 ± 119.88 ^b	63.43 ± 6.01 ^b
HN50	1564.00 ± 136.47 ^c	43.78 ± 3.63 ^c
HN75	749.67 ± 60.99 ^d	38.50 ± 1.58 ^c
HN100	310.67 ± 79.25 ^c	20.34 ± 1.40 ^c

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. ร้อยละการเกาะติดของแป้งชูบทอด

ผลการทดสอบร้อยละการเกาะติดของแป้งชูบทอดของชั้นแคโรท (ตารางที่ 3) พบว่าแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาละมีร้อยละการเกาะติดของแป้งชูบทอดสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับร้อยละ 89.83 ซึ่งผลการทดลองสัมพันธ์กับร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด กล่าวคือแป้งทอดที่มีร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดสูง ภายหลังจากทอดมีร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดที่สูงเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดในแต่ละสูตร พบว่าที่ระดับการแทนที่แป้งข้าวสังข์หยดสูงส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผลของร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดสอดคล้องกับความหนืดและร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด (ตารางที่ 2) [3]

4. ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแป้งชูบทอด

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่า แป้งชูบทอดทุกสูตรมีค่า a^* เป็นบวก จากการพิจารณาสูตรแป้งชูบทอดสูตรต่างๆ พบว่าแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีค่า a^* สูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิล และค่า a^* เพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของแป้งข้าวสังข์หยดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10.54–31.06 เนื่องจากข้าวสังข์หยดมีลักษณะพิเศษคือข้าวกล้องมีสีแดงเข้ม สารสีแดงของข้าวสังข์หยดเป็นรงควัตถุประเภทฟลาโวนอยด์ชนิดโปรแอนโทไซยานิน (Proanthocyanidins) ในขณะที่สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่า a^* อยู่ในช่วง 4.61–22.54 ซึ่งมีค่า a^* ต่ำกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสังข์หยดมีรงควัตถุชนิดโปรแอนโทไซยานินมากกว่าแป้งข้าวหอมนิล [9]

ตารางที่ 3 ร้อยละการเกาะติด ค่าความเป็นสีแดง (a^*) การดูดซับน้ำมัน และความหนาแน่นของแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สูตร แป้งชูบทอด	ร้อยละการเกาะติดของ แป้งชูบทอด	ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแป้งชูบทอด	การดูดซับน้ำมันของ แป้งชูบทอด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่นของ แป้งชูบทอด (g/mL)
Control	89.83 ± 9.60 ^a	6.50 ± 2.17 ^{de}	50.58 ± 0.56 ^a	1.0200 ± 0.0022 ^g
SY25	71.64 ± 0.58 ^b	10.54 ± 0.88 ^{cd}	49.05 ± 1.05 ^{bc}	1.0343 ± 0.0032 ^g
SY50	54.22 ± 2.54 ^{cd}	11.48 ± 1.21 ^c	47.21 ± 1.34 ^c	1.0879 ± 0.0060 ^{ef}
SY75	41.23 ± 3.04 ^c	21.23 ± 2.78 ^b	40.04 ± 0.67 ^d	1.1413 ± 0.0021 ^d
SY100	26.20 ± 0.92 ^f	31.06 ± 4.69 ^a	39.98 ± 1.71 ^d	1.3182 ± 0.0495 ^b
HN25	75.02 ± 3.30 ^b	4.61 ± 0.43 ^c	52.92 ± 2.28 ^{ab}	1.0522 ± 0.0028 ^{fg}
HN50	60.50 ± 0.97 ^c	12.69 ± 2.67 ^c	48.90 ± 0.74 ^{bc}	1.1055 ± 0.0050 ^{de}
HN75	51.69 ± 3.30 ^d	20.46 ± 1.59 ^b	40.39 ± 0.59 ^d	1.1826 ± 0.0282 ^c
HN100	39.16 ± 1.34 ^c	22.52 ± 3.86 ^b	38.15 ± 0.91 ^d	1.3725 ± 0.0432 ^a

หมายเหตุ: ^{a-g} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5. การดูดซับน้ำมันของแป้งชูบทอด

จากผลการศึกษาการดูดซับน้ำมันของแป้งชูบทอด (ตารางที่ 3) พบว่าแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาลี (ชุดควบคุม) มีปริมาณการดูดซับน้ำมันสูงกว่าแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52.92% ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวมีความสามารถในการจับกับน้ำได้มากกว่าแป้งสาลี (เนื่องจากแป้งข้าวและแป้งสาลีมีลักษณะของ Starch Granule ที่แตกต่างกัน [10]) ทำให้ความหนืดของเบทเทอร์ลดส่งผลให้การดูดซับน้ำมันของแป้งชูบทอดลดลง โดยสูตรแป้งชูบทอดที่มีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 100 มีค่าการดูดซับน้ำมันน้อยที่สุดเท่ากับ 38.15% โดยปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารในระหว่างการทอด คือ องค์ประกอบของอาหาร [4]

6. ความหนาแน่นของแป้งชูบทอด

ความหนาแน่นของแป้งชูบทอดสามารถบอกแนวโน้มในการพองตัวของแป้งชูบทอดได้ ถ้าความหนาแน่นของแป้งชูบทอดมีค่าน้อยแสดงว่าแป้งชูบทอดมีแนวโน้มในการพองตัวสูง [1] จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าสูตรแป้งสาลี (ชุดควบคุม) มีค่าความหนาแน่นของแป้งชูบทอดน้อยที่สุดเท่ากับ 1.02 g/mL ซึ่งแป้งชูบทอดที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 25 มีค่าความหนาแน่นของแป้งชูบทอดใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด คือมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.03 g/mL จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การพองตัวของแป้งชูบทอดมีค่าลดลง อาจเกิดจากการผสมแป้งข้าวในอัตราส่วนที่สูงส่งผลให้เบทเทอร์มีลักษณะเหลวมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณกลูเตนลดลง ทำให้มีแป้งบางส่วนเกิดการกระจายตัวขณะทอด จึงได้แป้งชูบทอดที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ปริมาตรของแป้งชูบทอดมีค่าน้อยลง

7. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

7.1 DPPH assay

ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาลี สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 50 75 และ 100 ในการทดแทนแป้งข้าวสาลีมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.68-60.39 (ตารางที่ 4) ซึ่งแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลและแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาลี ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวสังข์หยดมีองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานิน และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น สารฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในแป้งข้าวหอมนิล จึงอาจส่งผลให้แป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าแป้งชูบทอดสูตรผสม

แป้งข้าวหอมนิลและแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Thitipramote และคณะ [11] พบว่าข้าวพันธุ์สีแดง (ข้าวหอมมะลิแดง) มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าข้าวพันธุ์สีม่วง (ข้าวลิ้มผั่ว) นอกจากนี้เมื่อร้อยละของปริมาณแป้งข้าวสังข์หยด และแป้งข้าวหอมนิลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นด้วย

7.2 FRAP assay

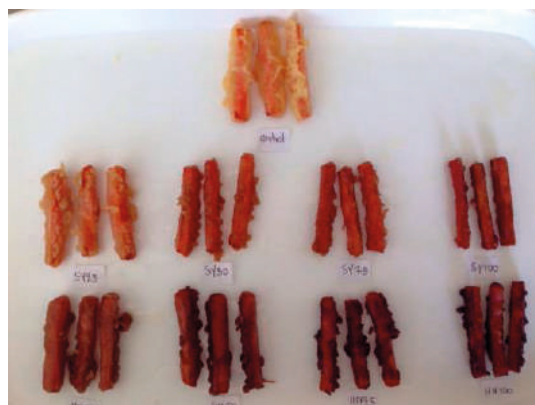
ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารสกัดจากแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 50 75 และ 100 ในการทดแทนแป้งข้าวสาลีมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.10–0.58 ซึ่งแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 100 มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 100 และแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี (ตารางที่ 4) ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวสังข์หยดมีองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานินและองค์ประกอบอื่นๆ เช่น สารฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในแป้งข้าวหอมนิล จึงอาจส่งผลให้แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิล และแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thitipramote และคณะ [11] ซึ่งรายงาน bahwa ข้าวพันธุ์สีแดง (ข้าวหอมมะลิแดง) มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าข้าวพันธุ์สีม่วง (ข้าวลิ้มผั่ว) นอกจากนี้เมื่อร้อยละของปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทดสอบด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric Reducing Antioxidant Power ของแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สูตรแป้งชุบทอด	% DPPH radical scavenging activity	Ferric reducing antioxidant power (mM)
control	3.90 ± 1.95 ^h	0.10 ± 0.01 ^f
SY25	4.98 ± 0.46 ^e	0.21 ± 0.02 ^e
SY50	14.07 ± 0.99 ^c	0.43 ± 0.04 ^d
SY75	22.73 ± 1.14 ^c	0.52 ± 0.00 ^c
SY100	60.39 ± 1.95 ^a	0.58 ± 0.03 ^a
HN25	3.68 ± 0.75 ^h	0.18 ± 0.04 ^c
HN50	10.17 ± 0.75 ^f	0.42 ± 0.04 ^d
HN75	16.88 ± 3.44 ^d	0.51 ± 0.01 ^c
HN100	53.68 ± 6.76 ^b	0.54 ± 0.00 ^b

หมายเหตุ: ^{a-h} ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ลักษณะปรากฏของแครอทชุบแป้งทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แครอทชุบแป้งทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าว (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) โดยทดแทนการใช้แป้งสาลี พบว่า แป้งเทอร์สตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีความหนืดและร้อยละการเกาะติดสูงกว่าแป้งเทอร์สตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีร้อยละการเกาะติด การดูดซับน้ำมันและความหนาแน่นสูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) ต่ำกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด สำหรับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทดสอบด้วยวิธี DPPH Assay และ FRAR Assay ของแป้งชุบทอดทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แป้งเทอร์มีความหนืดและร้อยละการเกาะติดลดลงเมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติด การดูดซับน้ำมันลดลง ในขณะที่ค่า a^* ความหนาแน่นและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทดสอบด้วยวิธี DPPH Assay และ FRAR Assay เพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยทักษิณ ปี พ.ศ. 2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dogan, S.F., Sahin, S. and Sumnu, G. (2005). "Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets", **Journal of Food Engineering**. 71, 127-132.
- [2] Rahimi, J. and Ngadi, M.O. (2015). "Surface ruptures of fried batters as influenced by batter formulations", **Journal of Food Engineering**. 152, 50-56.
- [3] Pengkumsri, N., Chaiyasut, C., Saenjum, C., Sirilun, S., Peerajan, S., Suwannalert, P., et al. (2015). "Physicochemical and antioxidative properties of black, brown and red rice varieties of northern Thailand", **Food Science and Technology**. 35(2), 331-338.
- [4] Sowmya, M., Jeyarani, T., Jyotsna, R. and Indrani, D. (2009). "Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes", **Food Hydrocolloids**. 23, 1827-1836.
- [5] Phaenchoke, P. (2004) **Production of oxidized-pregelatinized tapioca starch for use as binding agent in batters**. Master of Science. Bangkok Chulalongkorn University.
- [6] Association of Official Analytical Chemists. 1984. **The official methods of analysis**. 14th ed., Arlington, VA.
- [7] Akdeniz, N., Sahin, S. and Sumnu, G. (2006). "Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices", **Journal of Food Engineering**. 75:522-526.
- [8] Shen, X.J., Han, J.Y. and Ryu, G.H. (2014). "Effects of the addition of green tea powder on the quality and antioxidant properties of vacuum-puffed and deep-fried Yukwa (rice snacks)", **Food Science and Technology**. 55, 362-367.
- [9] Huang, Y.P. and Lai, H.M. (2016). "Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran", **Journal of Food and Drug Analysis**. 24(3), 564-574.
- [10] Lii, C.Y., Tsai, M.L. and Tseng, K.H. (1996). "Effect of amylose content on the rheological property of rice starch", **Cereal Chemistry**. 73(4), 415-420.

- [11] Thitipramote, N., Pradmeeteekul, P., Nimkamnerd, J., Chaiwut, P., Pintathong, P. and Thitilerdecha, N. (2016).
“Bioactive compounds and antioxidant activities of red (Brown Red Jasmine) and black (Kam Leum Pua) native
pigmented rice”, **International Food Research Journal**. 23(1), 410-414.

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่วที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และเมือง
จังหวัดพัทลุง ประเทศไทย

Microbiological Quality of Tao-Kua Sold in Paphayom and Mueang Districts,
Phatthalung Province, Thailand

บุษกร อุตระภิชาติ^{1*} ศุภชัย นิติพนธ์² ปณัดดา พรหมจรรย์³ กชกร เพชรสุวรรณ⁴

ปฐมา กนกนา⁴และภัทรกร วัฒนกุล⁴

Bussakorn Utarapichat^{1*}, Supachai Nitipan², Panadda Promjan³, Kochakorn Petchsuwan⁴,

Pattama Koknak⁴ and Pattarakorn Watanakul⁴

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้ เพื่อตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจาก 6 ร้านจำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และเมือง จังหวัดพัทลุง โดยเปรียบเทียบผลการวิจัย กับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร พบทุกตัวอย่างจากร้าน FVA และ FVC มีจุลินทรีย์ทั้งหมด $< 1 \times 10^6$ CFU/g ทุกตัวอย่างจากร้าน FVB และ FVE พบจุลินทรีย์ทั้งหมด $> 1 \times 10^6$ CFU/g บางตัวอย่างจากร้าน FVD และ FVF เช่นเดียวกับตัวอย่าง 2 และ 1 ตัวอย่าง ได้แก่ FVD2, FVD3 และ FVF3 ตามลำดับ พบจุลินทรีย์ทั้งหมด $> 1 \times 10^6$ CFU/g ทุกตัวอย่างตรวจพบเชื้อ *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* และ *Staphylococcus aureus* < 10 , < 10 และ < 10 CFU/g ตามลำดับ ตัวอย่างส่วนใหญ่พบ MPN/g ของเชื้อ *Escherichia coli* > 3 ชกเว้นรหัส FVA3, FVF2 และ FVF5 ทุกตัวอย่างที่ตรวจ ไม่พบเชื้อ *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* และ *V. parahaemolyticus* ผลจากการวิจัยนี้สรุปได้ว่ามีเพียง 3 ตัวอย่าง เท่านั้น (คิดเป็นร้อยละ 10 ของตัวอย่างที่ตรวจ) ได้แก่ รหัส FVA3, FVF2 and FVF5 ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

คำสำคัญ: คุณภาพ จุลชีววิทยา เต้าคั่ว

¹ ผศ., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ.ดร., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิชาชีพ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

⁴ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof., Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Lecturer, Dr., Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Scientist, Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

⁴ Undergraduate students, Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074609600. E-mail: address utarbussakorn@gmail.com

Abstract

The aim of this research was to inspect the microbiological quality of 30 samples of Tao-Kua, southern Thai salad style food which collected from 6 food vendors, FV, sold in Paphayom and Mueang District, Phatthalung Province. The results were compared with the microbiological criteria standard determined by Bureau of Quality and Safety of Food. The results were shown that all samples of FVA and FVC had aerobic plate count, APC, less than 1×10^6 CFU/g but all samples of FVB and FVE as well as 2 and 1 samples of FVD and FDF including FVD2, FVD3 and FVF3, respectively, had APC more than 1×10^6 CFU/g. The quantities of *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* and *Staphylococcus aureus* were <10 , <10 and <10 CFU/g, respectively in all samples of all food vendors. Most samples had MPN/g of *Escherichia coli* > 3 except FVA3, FVF2 and FVF5. *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* and *V. parahaemolyticus* were not found in all sample. From these results can be concluded that only 3 samples, 10% of all samples, including FVA3, FVF2 and FVF5 were in the criteria of the mentioned standard above.

Keywords: Quality, Microbiology, Tao-Kua

บทนำ

เต้าคั่วเป็นอาหารพื้นเมืองจำพวกยำ และสลัดผักที่มีรสชาติของหลายจังหวัดในภาคใต้ มีองค์ประกอบเครื่องปรุงหลากหลาย เช่น เส้นหมี่ลวก ถั่วงอกลวก และเครื่องปรุงต่างๆ ที่หั่นชิ้นเล็กบาง ได้แก่ เต้าหู้ทอด หมูต้ม ผักบุ้งลวก แดงกวา และไข่ต้ม เป็นต้น เต้าคั่วจะมีรสชาติดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเครื่องปรุงและน้ำราดที่มี 3 รส ได้แก่ รสหวาน เปรี้ยว และเค็ม หากต้องการรสชาติสามารถใส่พริกน้ำส้มได้ เมื่อจะนำไปรับประทาน จะนำเครื่องปรุงต่างๆ ที่หั่นชิ้นเล็กบางใส่ภาชนะ ซึ่งผู้จำหน่ายส่วนใหญ่มักหยิบจับเครื่องปรุงต่างๆ ด้วยมือเปล่า จากนั้นราดด้วยน้ำปรุงรส คลุกเคล้าเครื่องปรุงทั้งหมดให้เข้ากันแล้วโรยหน้าด้วยเส้นหมี่ หรือกุ้งตัวเล็กทอดกรอบจากที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่าเต้าคั่วมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน โดยมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน รวมทั้งวิตามิน นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุต่างๆ ในผัก รวมทั้งจากน้ำตาลที่ใส่น้ำปรุงรสสำหรับราดเต้าคั่ว เป็นต้น [1] ร้านจำหน่ายเต้าคั่วส่วนใหญ่ในจังหวัดพัทลุง เป็นแผงลอยในตลาดสด ผู้ผลิตและจำหน่ายต้องเตรียมเครื่องปรุงต่างๆ ไว้ล่วงหน้า ก่อนการจำหน่าย โดยกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ มักจัดเตรียมและสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ด้วยมือเปล่า เช่นเดียวกับในกระบวนการจำหน่ายมีการสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ด้วยมือเปล่าเช่นเดียวกัน ดังนั้นเต้าคั่วจึงเป็นอาหารที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับจุลินทรีย์ต่างๆ ปนเปื้อนซึ่งมาจากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายที่ใช้มือสัมผัสพื้นผิวต่างๆ รวมทั้งเงินตราในระหว่างการจำหน่าย โดยมีรายงาน [2] การพบแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อราบนธนบัตร เป็นต้นนอกจากนี้ผู้สัมผัสอาหารแต่ละบุคคลมีสุขลักษณะส่วนบุคคลต่างกัน เช่นไม่ล้างมือ หรือ ล้างทำความสะอาด ไม่เพียงพอ เป็นต้น นอกจากนี้เต้าคั่วอาจได้รับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่อาจมาจากสภาพแวดล้อมในการผลิตและจำหน่าย ภาชนะ น้ำล้างทำความสะอาด ผ้าเช็ดมือ เป็นต้น [3] เต้าคั่วจึงเป็นอาหารที่มีความเสี่ยงในการบริโภค เนื่องจากอาจมีเชื้อก่อโรคทางเดินอาหารปนเปื้อน และส่งผลให้ผู้บริโภคเจ็บป่วยได้ ดังนั้นสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร [4] ได้จัดทำเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 กำหนดให้ตรวจจุลินทรีย์ในอาหาร โดยอนุญาตให้ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ $<1 \times 10^6$ CFU/g พบเชื้อ *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* และ *Staphylococcus aureus* ได้ในปริมาณ <100 , <100 และ <100 CFU/g ตามลำดับ พบปริมาณ MPN/g ของเชื้อ *Escherichia coli* < 3 ต้องไม่พบเชื้อ *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* และ *V. parahaemolyticus* ในตัวอย่าง 25 กรัม การที่สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร [5] กำหนดให้ตรวจเชือดังกล่าว เนื่องจากเป็นเชื้อก่อโรคแก่ผู้บริโภคได้ เช่น การพบเชื้อ *E. coli* บ่งชี้การปนเปื้อนอุจจาระของคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยพบว่าหลายสายพันธุ์ของเชื้อนี้ก่อโรคทางเดินอาหารได้ ส่วน *S. aureus*

เป็นแบคทีเรียประจำถิ่นที่พบตามผิวหนัง ขน ผม เล็บของคน เป็นต้น บางสายพันธุ์สร้างสารพิษก่อโรคอาหารเป็นพิษได้ สำหรับเชื้อ *C. perfringens* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ และโรคเนื้อเน่าตาย เชื้อ *B. cereus* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ ทำให้มีอาการของโรค 2 กลุ่ม คือ อาเจียนและท้องเสีย เชื้อ *Salmonella* spp. ก่อโรคไข้ไทฟอยด์และพาราไทฟอยด์ หรือไข้รากสาดเทียม เชื้อ *V. cholerae* ก่อโรคอหิวาตกโรค เชื้อ *V. parahaemolyticus* สร้างสารพิษ ทำให้ถ่ายเหลว บางสายพันธุ์ย่อยเม็ดเลือดแดงได้ เชื้อ *L. monocytogenes* ก่อโรคลิสเทอริโอซิสทำให้เยื่อหุ้มสมองอักเสบ เชื้อนี้ทำลายต่อมน้ำเหลือง มดลูก ทำให้หญิงที่มีอายุครรภ์ต่ำกว่า 4 สัปดาห์ แท้งลูก [5]

เนื่องจากยังไม่มีรายงานการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่วซึ่งผลิตและจำหน่ายในจังหวัดพัทลุง การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่ว โดยนำผลการวิจัยเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร [4] ผลการวิจัยนี้ จะทำให้ทราบถึงคุณภาพความปลอดภัยของเต้าคั่วที่จำหน่ายในร้านต่างๆ หากตรวจพบเชื้อก่อโรคทางเดินอาหารที่มีผลต่อสุขอนามัยของผู้บริโภค จะมีข้อมูลสำหรับแจ้งเจ้าหน้าที่รัฐให้ดำเนินการตรวจสอบควบคุม ดูแล ควบคุมการผลิตและจำหน่ายให้ถูกสุขลักษณะซึ่งส่งผลให้ผู้บริโภคได้รับประทานอาหารที่ปลอดภัยต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การเก็บตัวอย่าง

ใช้วิธีการเดียวกับการซื้อขายปกติ (ไม่แช่ตัวอย่างในน้ำแข็ง) ในการเก็บตัวอย่างเต้าคั่วครั้งละไม่ต่ำกว่า 500 กรัม จาก 6 ร้าน ได้แก่ร้าน FVA, FVB, FVC, FVD, FVE และ FVF ในอำเภอป่าพะยอม และ เมือง จังหวัดพัทลุง แต่ละร้านเก็บ 5 ครั้ง (แต่ละครั้งห่างกัน 2 สัปดาห์) รวม 30 ตัวอย่าง นำไปตรวจเชื้อที่ห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาทันที

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ใน Butterfield's Phosphate - Buffered Dilution Water (BPB) 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} 10^{-3} และ 10^{-5} ดูดแต่ละความเจือจางใส่จานๆ ละ 1 มิลลิลิตร แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ จากนั้นเท Plate Count Agar ใส่จาน ขยับจานไปมา (Shake Plate) เพื่อให้อาหารและสารละลายผสมกัน วางทิ้งให้อาหารแข็ง แล้วกลับจาน บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24-48 ชั่วโมง ตรวจปริมาณจุลินทรีย์ในจานที่มีเชื้อ 25-250 โคโลนี รายงานผลเป็น CFU/g [6]

การตรวจนับปริมาณเชื้อ *Bacillus cereus*

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ใน BPB Dilution Water 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ได้ความเจือจาง 10^{-1} ทำการเจือจางต่อไป ได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} ดูดแต่ละความเจือจางใส่จานอาหาร Mannitol – Egg Yolk - Polymyxin Agar จานละ 0.1 มิลลิลิตร แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ จากนั้นกวาดตัวอย่างแต่ละจาน (Spread Plate) ให้ทั่ว ผิวหน้าอาหาร บ่ม 30 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง นับปริมาณเชื้อในจานที่มีเชื้อ 15-150 โคโลนี หากพบเชื้อ *B. cereus* จะมีโคโลนีสีชมพู และมีบริเวณ (Zone) ขุ่นขาวครีมนอบๆ โคโลนี จากนั้น สุ่มเลือกโคโลนีที่สงสัย 5 โคโลนี นำไปฉีดลากบน Nutrient Agar (NA) Slant บ่ม 30 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง นำไปย้อมแกรม ถ้ามีรูปท่อนยาว เชลล์เรียงต่อเป็นสายสั้นหรือสายยาว มีสปอร์เล็กกว่าเชลล์ปกติ อยู่กลางเชลล์หรือ ก่อนไปทางปลายเชลล์ อาจพบเชื้อนี้ นำไปทดสอบขั้นยืนยัน โดยทดสอบการย่อย Glucose การสร้าง Nitrite การสร้างสาร Acetyl Methyl Carbinol การย่อย Tyrosine การเจริญในอาหารที่มี Lysozyme การเคลื่อนที่ของเชื้อ (Motility) การสร้าง Rhizoid การย่อยเม็ดเลือดแดง (Haemolysis) และการสร้าง Protein Toxin Crystals [6]

การตรวจนับปริมาณเชื้อ *Clostridium perfringens*

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ใน 0.1% Peptone Water 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} คูดแต่ละความเจือจางใส่จาน Tryptose Sulfite Cycloserine Double Cycloserine (TSC-D) Agar จานละ 0.1 มิลลิลิตร แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ ทำการกวดจาน และเท TSC ปิดทับผิวหน้าอาหาร บ่มในโถไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 20-24 ชั่วโมง นับปริมาณเชื้อในจานที่มีเชื้อ 20-200 โคโลนี หากพบเชื้อ *C. perfringens* โคโลนีมีลักษณะกลมดำ (อาจมีแก๊ส H_2S ต้นวัน) สุ่มเลือกโคโลนีดังกล่าวใส่หลอด Thioglycollate Broth บ่ม 35 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ทดสอบยืนยันโดยทดสอบปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของเชื้อ การสร้าง Nitrite การย่อย Lactose การย่อย Gelatin การตกตะกอนน้ำมัน และการสร้างเอนไซม์ Lecithinase [6]

การตรวจนับปริมาณเชื้อ *Staphylococcus aureus*

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ BPB Dilution Water 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} คูดแต่ละความเจือจางใส่จาน Baird-Parker Agar 3 จาน (ปริมาตรจานละ 0.3 0.3 และ 0.4 มิลลิลิตร) แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ กวดตัวอย่างบนผิวอาหาร บ่ม 35 ± 1 องศาเซลเซียส 45-48 ชั่วโมง นับเชื้อในจานที่มีเชื้อ 20-200 โคโลนี หากพบ *S. aureus* โคโลนีกลมมน ผิวเรียบ สีเทาถึงดำทาบรอบโคโลนีมีสีขาวทึบแสง (Opaque Zone) รอบนอกสุดมีโซนใส (Clear Zone) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร โคโลนีชุ่มชื้น ไม่แห้ง สุ่มเลือกโคโลนีดังกล่าว 1 โคโลนีเพื่อยืนยันการพบเชื้อ *S. aureus* และทดสอบการสร้างเอนไซม์ Coagulase และ Catalase [6]

การตรวจปริมาณ MPN /g เชื้อ *Escherichia coli*

ใช้วิธีการหาค่า Most Probable Number (MPN) แบบ 3 หลอด โดยชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ถุง BPB Dilution Water 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} นำไปทดสอบ ขึ้นแรก โดยคูดแต่ละความเจือจางใส่ Lauryl Sulfate Tryptose (LST) Broth (บรรจุหลอดดักแก๊ส) 10 มิลลิลิตร ความเจือจางละ 3 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร บ่ม 35 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง ถ้ามีแก๊สในหลอดดักแก๊ส รายงานผลเป็นบวก และทดสอบยืนยันขึ้น ถ้าไม่มีแก๊สเมื่อบ่ม 48 ชั่วโมง ให้รายงานผลเป็นลบ แสดงว่าไม่พบเชื้อ สำหรับการทดสอบยืนยันขึ้น โดยเชื้อจากหลอด LST ที่ให้ผลบวกในการตรวจสอบขึ้นแรก ใส่หลอด *Escherichia coli* Broth (หลอดต่อหลอด) บ่ม 45.5 องศาเซลเซียส 24-48 ชั่วโมง ถ้าอาหารบูม มีแก๊ส แสดงว่าให้ผลบวก ให้ทดสอบต่อไปในขั้นสมบูรณ์ โดยเชื้อจาก EC Broth ที่ให้ผลบวก และขีดลากเชื้อบนจาน Eosin Methylene-Blue Agar บ่ม 35 ± 1 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง เลือกโคโลนีที่สงสัย มีลักษณะกลม ขอบเรียบสีด่างดำ (Metallic Sheen) มีจุดดำตรงกลาง ทดสอบปฏิกิริยาชีวเคมีโดยขีดลากเชื้อใน NA Slant บ่ม 35 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ย้อมแกรม ถ้ามีรูปท่อน ดิคลีแกรมลบ แสดงว่า อาจพบเชื้อ *E. coli* ให้ทดสอบปฏิกิริยา IMViC เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นเชื้อนี้ [6]

การตรวจหาเชื้อ *Listeria monocytogenes*

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ใน Half Fraser (HF) Broth 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่ม 37 องศาเซลเซียส 48 ± 2 ชั่วโมง ดำเนินการทดสอบ 2 วิธีการ ในช่วงเวลาเดียวกัน ตามวิธีการในข้อ ก และ ข [6] ดังนี้

ก. คูดเชื้อจาก HF Broth 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอด Fraser Broth 10 มิลลิลิตร บ่ม 37 องศาเซลเซียส 48 ± 2 ชั่วโมง เชื้อจากหลอด และขีดลากบนอาหาร Oxford Agar และ Palcam Agar บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ± 2 ชั่วโมง ตรวจผลโดยดูโคโลนีบนอาหารแต่ละชนิด หากพบโคโลนีกลม สีเขียวแกมเทาบน Oxford Agar แสดงว่าพบเชื้อที่สงสัย และหากพบโคโลนีกลม บุ่ม ตรงกลางคล้ายโคนัท (Sunkan Colony) มีสีเทา อาหารรอบโคโลนี มีสีน้ำตาลดำ บน Palcam Agar แสดงว่าพบเชื้อที่สงสัย ให้ถ่ายเชื้อที่สงสัยใส่ Tryptone Soya Yeast Extract Agar (TSYEA) บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ย้อมแกรมและทดสอบการเคลื่อนที่ของเชื้อ ทดสอบการสร้างเอนไซม์ Catalase ทดสอบการย่อยเม็ดเลือดแดง และทดสอบแคมป์ (CAMP Test)

ข. เชื้อเชื้อจากถุง HF Broth และซิดลาบบน Oxford Agar และ Palcam Agar บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ± 2 ชั่วโมง สังเกตโคโลนีบนอาหารแต่ละชนิด หากพบโคโลนีกลม สีเขียวแกมเทาบน Oxford Agar แสดงว่า พบเชื้อที่สงสัย และหากโคโลนีกลมนุ่มตรงกลางคล้ายโดนัท มีสีเทา อาหารรอบโคโลนีมีสีน้ำตาลดำบน Palcam Agar อาจพบเชื้อที่สงสัย ให้ถ่ายเชื้อใส่จาน TSYEA บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ย้อมแกรมและทดสอบการเคลื่อนที่ของเชื้อ การสร้าง Catalase การย่อยเม็คเล็ดแดง และทดสอบแอมป์

การตรวจหาเชื้อ *Salmonella* spp.

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ถุงเจือจางด้วย Buffered Peptone Water (BPW) 225 มิลลิลิตร บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 18 ± 2 ชั่วโมง คูดสารละลาย BPW ใส่หลอดอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ Rappaport – Vassiliadis Broth (RVS) Broth และ Muller – Kauffman Tetrathionate – Novobiocin (MKTTn) Broth [6] ดังนี้

- คูดสารละลาย BPW 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอด RVS 10 มิลลิลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 41.5 ± 1 องศาเซลเซียส 24 ± 3 ชั่วโมง

- คูดสารละลาย BPW 1 มิลลิลิตร ใส่หลอด MKTTn 10 มิลลิลิตร บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 24 ± 3 ชั่วโมงเมื่อครบเวลาให้เขย่าหลอดอาหารทั้งสองชนิด ก่อนนำเชื้อไปซิดลาบบนอาหาร Xylose Lysine Desoxycholate (XLD) Agar และ Hektoen Enteric (HE) Agar กลับจาน และบ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เลือกโคโลนีที่สงสัยจากแต่ละจานๆ ละ 2 โคโลนี โดยโคโลนีเชื้อ *Salmonella* spp. บน XLD มีรูปกลม สีชมพูใส อาจมีหรือไม่มีจุดดำตรงกลาง มีขนาดใหญ่ มันวาว หรืออาจมีสีดำทั้งโคโลนี ส่วนโคโลนีบน HE มีรูปกลม สีฟ้าเขียวหรือฟ้า อาจพบหรือไม่พบจุดดำตรงกลางโคโลนี นำไปซิดลาบบนจาน NA บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ± 3 ชั่วโมง และนำไปทดสอบปฏิกิริยาการย่อยน้ำตาล 3 ชนิด (TSI) การย่อย Lysine การสร้าง Indole การเคลื่อนที่ของเชื้อ การสร้างเอนไซม์ Urease การสร้าง Butyleneglycol การสร้างเอนไซม์ β – Galactosidase

การตรวจหาเชื้อ *Vibrio cholerae*

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ถุง Alkaline Peptone Water (APW) 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันบ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง เชื้อเชื้อและซิดลาบบน Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose (TCBS) Agar บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 6-8 ชั่วโมง และบ่มต่อจนครบ 24 ± 2 ชั่วโมง แล้วซิดลาบบน TCBS Agar โคโลนี *V. cholerae* บน TCBS Agar มีสีเหลือง เนื่องจากเชื้อใช้ Sucrose โคโลนีมีขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร ขอบเรียบค่อนข้างแบน โคโลนีพุ่งตรงกลางและมีโซนใสรอบโคโลนี เลือกโคโลนีดังกล่าว 3 โคโลนี ซิดลาบบน T_1N_1 Agar บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ทดสอบขึ้นย่นขึ้น โดยทดสอบการย่อยน้ำตาล 3 ชนิด (Triple Sugar Iron Agar : TSI) LIA, AGS การทดสอบการเจริญในน้ำเกลือ (T_1N_0 และ T_1N_3) String Test การสร้างเอนไซม์ Oxidase และการตกตะกอนกับ Antiserum [6]

การตรวจหาเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus*

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ถุง Phosphate Buffered Saline (PBS) 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนได้ความเจือจาง 10^{-1} จากนั้นคูด 1 มิลลิลิตร ใส่หลอด APW 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-2} เจือจางต่อไปจนได้ 10^{-3} บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง สังเกตความพุ่งของอาหารในหลอด จากนั้นเชื้อเชื้อ (ไม่ต้องเขย่าหลอด) และซิดลาบบน TCBS Agar บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง หากพบโคโลนีกลม สีเขียวหรือเขียว ใส เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร อาจพบเชื้อ *V. parahaemolyticus* เลือกโคโลนีดังกล่าว 2 โคโลนี ซิดลาบบน TSA+ 2 % NaCl บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ทดสอบขึ้นย่นขึ้นการพบเชื้อนี้ [6] ดังนี้

- ถ่ายเชื้อจาก TCBS ใส่หลอด Arginine Glucose Slants (AGS) โดยซิดลาบบนอาหารเอียง และแทงเข็ม (Stab) ในส่วนอาหารเต็มหลอด (Butt) บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง หากพบเชื้อนี้ให้ผลทดสอบบน AGS บริเวณ K/A เป็นสีม่วง ส่วน Slant เป็นสีเหลือง และ Butt ไม่สร้างแก๊สหรือ H_2S

- ทดสอบการใช้น้ำเกลือ โดยถ่ายเชื้อลง T_1N_0 , T_1N_3 บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ถ้าพบเชื้อนี้จะให้ผลเป็นลบ ใน T_1N_0 คือ เชื้อไม่เจริญ และเป็นบวก ใน T_1N_3 คือ เชื้อเจริญทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อขึ้น
- สำหรับ TSA + 2% NaCl ใช้การย้อมแกรม และทดสอบ Oxidase เชื้อนี้ติดสีแกรมลบ และ Oxidase เป็นบวก

ผลการวิจัย

ผลการตรวจจุลินทรีย์ในเต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง โดยตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตรวจนับปริมาณเชื้อ *B. cereus*, *C. perfringens*, *S. aureus* ตรวจปริมาณ MPN/g เชื้อ *E. coli* และตรวจหาเชื้อ *L. monocytogenes* *Salmonella* spp., *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus* ในตัวอย่าง 25 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การตรวจปริมาณและตรวจหาจุลินทรีย์ในเต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และ เมือง จังหวัดพัทลุง

รหัส ตัวอย่าง	การตรวจปริมาณ					การตรวจหาเชื้อ			
	จุลินทรีย์ ทั้งหมด (CFU/g)	<i>B. cereus</i> (CFU/g)	<i>C. perfringens</i> (CFU/g)	<i>S. aureus</i> (CFU/g)	MPN/g <i>E. coli</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> sp.	<i>V. cholerae</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>
FVA 1	2.0×10^5	<10	<10	<10	20	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 2	8.1×10^4	<10	<10	<10	3.6	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 3	1.2×10^5	<10	<10	<10	<3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 4	1.4×10^5	<10	<10	<10	23	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 5	1.2×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 1	1.6×10^7	<10	<10	<10	1100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 2	1.6×10^6	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 3	1.1×10^7	<10	<10	<10	460	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 4	2.0×10^6	<10	<10	<10	>1100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 5	1.4×10^7	<10	<10	<10	290	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 1	1.8×10^5	<10	<10	<10	460	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 2	6.7×10^5	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 3	2.6×10^5	<10	<10	<10	93	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 4	1.2×10^5	<10	<10	<10	35	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 5	1.4×10^5	<10	<10	<10	35	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 1	1.6×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 2	1.6×10^6	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 3	1.4×10^6	<10	<10	<10	160	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 4	2.0×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 5	4.4×10^5	<10	<10	<10	21	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 1	1.7×10^6	<10	<10	<10	460	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 2	1.9×10^6	<10	<10	<10	3.6	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 3	1.4×10^7	<10	<10	<10	240	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 4	1.1×10^7	<10	<10	<10	1100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 5	1.9×10^7	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 1 การตรวจปริมาณและตรวจหาจุลินทรีย์ในเต้าหู้ 30 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และ เมือง จังหวัดพัทลุง (ต่อ)

รหัส	การตรวจปริมาณ					การตรวจหาเชื้อ			
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	<i>B. cereus</i> (CFU/g)	<i>C. perfringens</i> (CFU/g)	<i>S. aureus</i> (CFU/g)	MPN/g <i>E. coli</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> sp.	<i>V. cholerae</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>
FVF 1	1.7×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 2	2.0×10^4	<10	<10	<10	<3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 3	1.4×10^6	<10	<10	<10	93	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 4	9.3×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 5	7.8×10^4	<10	<10	<10	<3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

การอภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบผลการวิจัยกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร [4] พบว่าเต้าหู้ทุกตัวอย่างที่เก็บจากร้าน FVA ซึ่งเป็นร้านริมถนนใกล้ตลาดสด อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง และร้าน FVC ซึ่งเป็นร้านรถเข็นที่อยู่ในตลาดไต้รุ่ง ใกล้สถานีรถไฟ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง พบจุลินทรีย์ทั้งหมด $< 1.0 \times 10^6$ CFU/g พบเชื้อ *B. cereus*, *C. perfringens* และเชื้อ *S. aureus* < 10 , < 10 และ < 10 CFU/g ตามลำดับ แม้ว่าทุกตัวอย่างไม่พบเชื้อ *L. monocytogenes*, *Salmonella* sp., *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus* จัดได้ว่าเชื้อทั้งหมดที่กล่าวมาอยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาดังกล่าว [4] แต่ตัวอย่างส่วนใหญ่ที่เก็บจากสองร้านนี้ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา เนื่องจากเกือบทุกตัวอย่างพบ MPN/g *E. coli* > 3 ยกเว้นรหัส FVA3 ที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ทุกรายการที่ตรวจมีเชื้ออยู่ในเกณฑ์ เชื้อ *E. coli* เป็นแบคทีเรียประจำถิ่น ในอุจจาระของคนและสัตว์เลื้อยคลาน [3] การพบเชือนี้สูงกว่าเกณฑ์ บ่งชี้ได้ว่าเป็นเชื้อที่มาจากมือผู้สัมผัสอาหารที่ล้างทำความสะอาดไม่เพียงพอภายหลังการจับถ้ำของเสีย เป็นต้น เมื่อใช้มือสัมผัสเครื่องปรุงเต้าหู้ในช่วงการจำหน่าย จึงพบเชือนี้ ผลการตรวจพบว่าทุกตัวอย่างจากร้าน FVB ซึ่งเป็นร้านแผงลอยในตลาดสด อำเภอป่าพะยอม และร้าน FVE ซึ่งเป็นร้านรถเข็นในตลาดไต้รุ่งในอำเภอเมือง พบจุลินทรีย์ทั้งหมด และ MPN/g *E. coli* สูงกว่าเกณฑ์ คือ $> 1.0 \times 10^6$ CFU/g และ > 3 ตามลำดับ แม้ว่าผลการตรวจเชื้ออื่นๆจะอยู่ในเกณฑ์ก็ตาม การวิจัยนี้ยังพบว่า ผู้จำหน่ายร้าน FVB และ FVE ใช้มือเปล่าสัมผัสเครื่องปรุงเต้าหู้เช่นเดียวกัน สำหรับร้าน D ซึ่งเป็นร้านรถเข็น ในตลาดไต้รุ่งในอำเภอเมือง และร้าน FVF ซึ่งอยู่หลังศูนย์การค้าในอำเภอเมือง พบว่าบางตัวอย่าง ได้แก่รหัส FVD2 FVD3 และ FVF3 มีจุลินทรีย์ทั้งหมด $> 1.0 \times 10^6$ CFU/g ส่วนตัวอย่างอื่นๆจากร้านนี้ แม้จะมีจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ แต่พบว่ามี MPN/g *E. coli* สูงกว่าเกณฑ์ โดยพบว่า รหัส FVF2 และ FVF3 มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาอยู่ในเกณฑ์ และมีคุณภาพดีกว่าเต้าหู้จากร้านอื่นๆ ทั้งนี้ร้าน FVF มีการใช้อุปกรณ์ เช่น คีมคีบ ทัพพี และ ส้อม ในการสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ และ เครื่องปรุงถูกบรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด การตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมด และ MPN/g ของเชื้อ *E. coli* ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา อาจมาจากเต้าหู้ได้รับเชื้อปนเปื้อนจากแหล่งต่างๆ [3] ได้แก่ วัตถุดิบ วัตถุดิบ อุปกรณ์ น้ำล้างวัตถุดิบและอุปกรณ์ ผู้สัมผัสอาหารที่มีสุขอนามัยส่วนบุคคลต่างกัน ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของข้าวยา 30 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในอำเภอเมืองพัทลุง [7] พบว่าทุกตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร [4] เนื่องจากพบจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าเกณฑ์ แม้ว่าทุกตัวอย่างพบเชื้อ *B. cereus*, *C. perfringens* และ *S. aureus* < 10 CFU/g และทุกตัวอย่างตรวจไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp., *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* และ *L. monocytogenes* นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างที่ตรวจส่วนใหญ่พบ MPN/g เชื้อ *E. coli* มากกว่าเกณฑ์ ยกเว้นรหัส FVC₂ และ FVC₃ พบ *E. coli* อยู่ในเกณฑ์ จากการที่

รูปแบบการจำหน่ายข้าวยาคล้ายคลึงกับเต้าคั่ว โดยผู้จำหน่าย ส่วนใหญ่มักใช้มือเปล่าสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ในกระบวนการจำหน่าย โดยเฉพาะเต้าคั่วมักถูกสัมผัสด้วยมือเปล่า ทั้งในกระบวนการจัดเตรียมเครื่องปรุงและการจำหน่าย ซึ่งหากเครื่องปรุงไม่ถูกบรรจุในภาชนะที่ปิดฝามิดชิดในช่วงการจำหน่าย เครื่องปรุงเหล่านี้ จึงมีโอกาสสูงที่จะได้รับจุลินทรีย์จากกระแสม ฝุ่นละออง น้ำมูกน้ำลาย จากการไอ จาม พุคคุย และจากมือของผู้จำหน่าย ซึ่งใช้มือเปล่าสัมผัสทั้งเครื่องปรุงเต้าคั่ว และสัมผัสเงินตราในช่วงการจำหน่าย โดยพบว่าในเงินตรามีจุลินทรีย์ต่างๆ ปนเปื้อน [2] เช่น แบคทีเรีย *B. cereus*, *E. coli*, *Salmonella* sp. และ *Staphylococcus* sp. เป็นต้น เชื้อราได้แก่ *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. เป็นต้น เชื้อยีสต์ได้แก่ *Candida* spp. และ *Cryptococcus* sp. เป็นต้น การวิจัยนี้พบว่า เต้าคั่ว 30 ตัวอย่างที่ตรวจ มีเพียง 3 ตัวอย่าง ที่ผ่านเกณฑ์ได้แก่รหัส FVA3 FVF2 และ FVF5 จึงขอแนะนำผู้บริโภค ควรเลือกซื้อเต้าคั่วจากผู้จำหน่ายที่มีสุขอนามัยบุคคลที่ดี โดยสวมหมวกคลุมผม ใส่ผ้ากันเปื้อนที่สะอาด ใช้อุปกรณ์สัมผัสอาหาร ไม่สัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ของเต้าคั่วด้วยมือเปล่า และบรรจุเครื่องปรุงต่างๆ ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด

สรุปผลการวิจัย

เต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร 3 ตัวอย่าง ได้แก่ รหัส FVA3 FVF2 และ FVF5 คิดเป็นร้อยละ 10

เอกสารอ้างอิง

- [1] นันทนา ปริมาณศิษฐ์. (2556). เต้าคั่ว-รอยเยาะ อาหารคู่แฝด. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2556, จาก http://www.sentangsedtee.com/news_detail.php?rich_id=298&section=2&column_id=42.
- [2] Kuria, J.K., Wahome, R.G., Jobalamin, M. and Kariuki, S.M. (2009). "Profile of bacteria and fungi on money coins", *East African Medical Journal*. 86(4), 151-155.
- [3] นุชกร อุดรภิชาติ. (2555). จุลชีววิทยาทางอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 5). สงขลา. บริษัทนำศิลป์โฆษณา จำกัด.
- [4] สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร. (2553). เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. สืบค้นเมื่อ 22 มิถุนายน 2555, จาก <http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/file/varity/cheme/confict.htm>.
- [5] นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. (2547). แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับโรค (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: Noble Print.
- [6] Bacteriological Analytical Manual Online. (2012). *Aerobic Plate Count, Bacillus cereus, Clostridium perfringens, Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Salmonella spp., Staphylococcus aureus and Vibrio*. Retrieved June 1st, 2014, from <https://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm2006949.htm>
- [7] นุชกร อุดรภิชาติ พิระ ทองมี ปณัดดา พรหมจรรย์ มุฮัมหมัด สะโดน พัทธนิย์ สอนสุภา และ ปณณิณ มีแก้ว. (2558). "คุณภาพทางจุลชีววิทยาของข้าวยาที่ผลิตและจำหน่ายในอำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง", ใน รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25 ประจำปี 2558. 186. วันที่ 10-12 มิถุนายน 2558 ณ หอประชุมปาริชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา.

ผลของสภาวะการพuffingต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบ

Effect of Puffing Conditions on Quality of Crispy Banana

ถาวร จันทโชติ^{1*}

Thavorn Juntachote^{1*}

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของสภาวะการพuffingต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบ โดยใช้กล้วยไข่แก่จัดระยะที่ 3 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 14-18 °Brix หั่นตามขวางขนาด 2.5 มิลลิเมตร แช่กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.75% (w/v) เป็นเวลานาน 5 นาที แบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ไม่ผ่านการพuffing และส่วนที่ผ่านการพuffing โดยการใช้การพuffing ด้วยการลวกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ให้เหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 25% d.b. ก่อนเข้าสู่กระบวนการพuffing เพื่อให้กล้วยที่อยู่ในอาหารเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิในการศึกษา 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการพuffing นาน 5 นาที และที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการพuffing นาน 4 นาที ให้เหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 4% d.b. จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้านสี การหดตัว (Shrinkage) และเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบ พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการพuffing มีค่า L^* และค่า b^* ที่สูง และค่า a^* ที่ต่ำกว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการพuffing และเมื่อใช้อุณหภูมิในการพuffing สูงขึ้นจะทำให้กล้วยแผ่นกรอบมีค่า L^* และค่า b^* ที่ลดลง และค่า a^* ที่เพิ่มขึ้น การพuffing และอุณหภูมิที่ใช้ในการพuffing ส่งผลต่อค่าการหดตัวและค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นที่ผ่านการพuffing และไม่ผ่านการพuffing และทำการพuffing ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งและค่าการหดตัวน้อยกว่าการพuffing ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการพuffing และทำการพuffing ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส หรือที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการพuffing ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: กล้วยไข่ เทคนิคการพuffing การพuffing การพuffing ค่าการหดตัว เนื้อสัมผัส

¹ อ. ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Faculty Dr., Food Science and Technology Program, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 085-0803987. E-mail address: tjuntachote@hotmail.com

Abstract

The effect of puffing condition on physical properties and sensory evaluation of crispy banana was studied. Bananas with a mature ripe stage of 3 containing 14-18 °Brix was peeled and sliced into approximately 2.5 mm thickness, dipped into 0.75% (w/v) citric acid for 5 minutes and randomly divided into 2 groups for treatments. One group was pretreated with blanching at a temperature of 90 °C for 1 min while the another group without blanching. The banana with and without pretreatment were dried in the hot air oven at a temperature of 90 °C to final moisture content of 25% d.b. and followed by puffing them with hot air to boil and evaporate the moisture quickly at temperature of 170 °C for 5 min and 160 °C for 4 min to obtain moisture content of 4% d.b. The physical properties of color, shrinkage and texture (Hardness) of the crispy banana were studied. The experiment results showed that the crispy banana without pretreatment condition resulted in high L^* and b^* value and low a^* value as compared to crispy banana with pretreatment whereas the crispy banana at high puffing temperature had lower L^* and b^* value and higher with a^* value than that puffed at low temperature. The pretreatment and puffing temperature have a significant effect on shrinkage and hardness of crispy banana ($p < 0.05$). The crispy banana with and without pretreatment and puffing at temperature of 170 °C showed lower hardness and shrinkage than puffing at temperature of 160 °C. Sensory evaluation results showed the crispy banana without pretreatment and puffed at temperature of 160 °C or 170 °C had higher acceptable average score in terms of color, odor, crispy and overall liking attributes than that of pretreatment crispy banana ($p < 0.05$).

Keywords: Banana, Puffing, Pretreatment, Shrinkage, Texture

บทนำ

กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa Jaradisiaca* L. var. *sapientum* O. Ktze วงศ์ Musaceae กล้วยเป็นพืชที่ปลูกง่ายในทุกรัฐภาคของประเทศไทย เติบโตเร็ว ให้ผลตลอดปี และเหมาะต่อการบริโภคสำหรับทุกเพศทุกวัย เนื่องจากมีรสชาติหวาน เนื้อนุ่ม และมีกลิ่นหอม นอกจากนี้ยังเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหารในการบริโภคสดหรือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กล้วยไข่มีวิตามินต่างๆ ไอโอดีน และสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น กล้วยไข่ที่มีอายุการเก็บรักษาก่อนข้างสั้นและมีปัญหาเรื่องผิวดกกระ (Senescent Spotting) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภค [1] อีกทั้งในช่วงของปีกล้วยไข่จะมีปริมาณมากและมีราคาต่ำหรือเป็นกล้วยที่มีคุณภาพต่ำเหลือจากการคัดคุณภาพขนาดมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าและช่วยทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น กล้วยไข่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น กล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยกวน และกล้วยทอดกรอบ เป็นต้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์กล้วยไข่แผ่นกรอบที่จำหน่ายโดยทั่วไปในท้องตลาดนิยมใช้กล้วยดิบมาทำการแปรรูปด้วยวิธีการทอดในน้ำมันที่ใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 180-200 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง พองกรอบ มีสีเหลืองอ่อน และสามารถนำไปปรุงรสด้วยเกลือหรือน้ำตาล เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานานผลิตภัณฑ์จะเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันกับออกซิเจน กล้วยไข่แผ่นทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ของขบเคี้ยวหรืออาหารว่างที่ค่อนข้างมีไขมันสูง ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจเรื่องสุขภาพและควบคุมน้ำหนัก ซึ่งการแปรรูปกล้วยไข่แผ่นทอดกรอบในช่วงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การปอกเปลือกและการผ่านกล้วยเป็นแผ่นบาง มักจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลกับออกซิเจนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สามารถยับยั้งด้วยการให้ความร้อนด้วยการลวกด้วยน้ำร้อนหรือน้ำ และการแช่ในสารเคมีจำพวกกรดต่างๆ เช่น กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิก เป็นต้น [2] ในการผลิตผลิตภัณฑ์กล้วย

ที่มีลักษณะพองกรอบนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทอดในน้ำมันที่สภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ การอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการพuffing (Puffing) เป็นต้น ซึ่งวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพในด้านสี เนื้อสัมผัส ความเป็นรูพรุน การหดตัว และความกรอบรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ไม่เท่ากัน กระบวนการพuffing (Puffing) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแปรรูปกล้วยกรอบให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายกล้วยที่ผ่านการทอด ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบที่ได้จะไม่มียeast ประกอบของน้ำมัน หลักการของกระบวนการพuffing ทำได้ด้วยการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นๆ เพื่อทำให้น้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารเกิดการเดือด และระเหยกลายเป็นไพอ่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้แรงดันภายในชิ้นอาหารมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้เนื้ออาหารเกิดการขยายตัวและมีรูพรุนเกิดขึ้น ซึ่งหากอุณหภูมิของชิ้นอาหารต่ำเกินไป จะทำให้การเดือดของน้ำภายในชิ้นอาหารเกิดขึ้นได้น้อย แต่หากชิ้นอาหารมีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้ให้น้ำในชิ้นอาหารเกิดการเดือดอย่างรุนแรงจนทำให้ชิ้นอาหารอาจแตกได้ กระบวนการพuffing สามารถทำได้โดยการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาผลของการพuffing ด้วยวิธีการลวกแผ่นกล้วยดิบในน้ำร้อน และผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการพuffing ที่มีต่อคุณภาพด้านสี การหดตัว ความกรอบ และทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่แผ่นกรอบ และเป็นแนวทางในการพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำกล้วยไข่สุกระยะที่ 3 ซึ่งพิจารณาได้จากสีของเปลือกเขียวออกเหลืองเล็กน้อย โดยเนื้อกล้วยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid; TSS) ประมาณ 14-18 °Brix ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลกล้วยไข่ประมาณ 25 มิลลิเมตร นำกล้วยไข่มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นตามขวางขนาด 2.5 มิลลิเมตร นำไปแช่ในกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.75% (w/v) นานเวลา 5 นาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วย แบ่งกล้วยแผ่นที่ได้ออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 ไม่พuffing และกลุ่มที่ 2 นำกล้วยมาลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้แป้งที่อยู่ในกล้วยเกิดการเจลาไลไนซ์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างของแต่ละกลุ่มมาล้างด้วยน้ำกลั่นนาน 30 วินาที ซับน้ำให้แห้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วนำไปจัดเรียงบนตะแกรงก่อนเข้าเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ให้เหลือความชื้นประมาณ 25 % d.b. สำหรับกล้วยที่ไม่ผ่านการลวกจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 100-110 นาที และกล้วยที่ผ่านการลวกใช้เวลา 120-125 นาที นำกล้วยทั้ง 2 กลุ่มๆ ละ 250 กรัม มาทำการพuffing ด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 5 นาที และที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 4 นาที ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 % d.b. หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เช่น ค่าสี การหดตัว และเนื้อสัมผัส และทางด้านประสาทสัมผัส

2. การทดสอบคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์

สีของกล้วยแผ่นทำการวัด โดยใช้เครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab โดยวัดสีค่าของกล้วยแผ่นกรอบตามระบบ Hunter ซึ่งแสดงในเทอมของตัวแปร L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง ค่า a^* แสดงค่าสีแดง และสีเขียว ค่า b^* แสดงค่าสีเหลืองและน้ำเงิน การทดสอบจะใช้กล้วยแผ่นกรอบจำนวน 12 ตัวอย่าง และวัดสีตัวอย่างละ 3 ครั้ง

3. การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของผลิตภัณฑ์

ในการทดสอบการหดตัวของกล้วยแผ่นกรอบ ด้วยการวัดความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางของกล้วยแผ่นกรอบก่อนและหลังการทำพuffing ด้วยเครื่องเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ใช้ตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น และจะทำการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของ

แผ่นกล้วย 3 ตำแหน่ง ค่าการหดตัวของตัวอย่างจะแสดงในคำร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางสามารถคำนวณได้จากสมการ [4-5]

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{d_o - d_t}{d_o} \times 100$$

โดย d_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเริ่มต้น

d_t คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหลังการฟัฟฟิง

4. การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบหลังการฟัฟฟิง โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT. Plus โดยทำการทดสอบในลักษณะของแรงกด (Compression) ใช้หัวกดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และความเร็วในการกด 1 mm/s โดยกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกออกจากกัน พิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบจากค่าความแข็ง (Hardness)

5. การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ของกล้วยแผ่นกรอบหลังการฟัฟฟิง ประเมินค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) รสชาติ (Flavor) ความกรอบ (Crispness) และความชอบโดยรวม (Overall Liking) โดยใช้วิธีทดสอบค่าคะแนนความชอบ (Liking Test) ของผู้ทดสอบด้วยสเกลความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ใช้ผู้ทดสอบชิมประเภทผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (Un-Training) จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนิสิตจากคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อายุระหว่าง 19-23 ปี

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Data analysis)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ สำหรับการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบและวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการประเมินค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีดเมนต์โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. คุณภาพทางด้านกายภาพของกล้วยแผ่นกรอบภายหลังการฟัฟฟิง

1.1 ด้านสี

ผลของการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านและผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟัฟฟิงมีสีเหลืองทอง โดยมีค่า L^* และค่า b^* ที่สูง และค่า a^* ที่ต่ำกว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิง ซึ่งมีสีเหลืองปนน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนในการฟัฟฟิงทำให้เกิดการสลายเป็นน้ำตาลมากขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาลระหว่างกรอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C เพื่อลดความชื้นเหลือ 25% และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการฟัฟฟิงแผ่นกล้วยจึงมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการฟัฟฟิงสูงขึ้นจะทำให้แผ่นกล้วยมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่า L^* และค่า b^* ที่ลดลง และค่า a^* ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงอาจส่งผล

ให้เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization) ของพอลิแซ็กคาไรด์พวกน้ำตาลและแป้งในเนื้อเยื่อกล้วย [6] จึงทำให้กล้วยแผ่นกรอบเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าการทำฟุ้งที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 1 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที และไม่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	ค่าสี		
		L^*	a^*	b^*
160	ไม่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ	58.67 ± 6.40^c	4.80 ± 0.53^a	26.83 ± 1.14^c
	ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ	48.79 ± 4.09^a	6.87 ± 0.92^c	16.81 ± 1.17^a
170	ไม่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ	54.01 ± 0.46^b	4.96 ± 0.48^a	25.01 ± 5.25^b
	ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ	47.39 ± 4.41^a	5.89 ± 1.43^b	16.58 ± 1.25^a

ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-c} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2 ด้านการหดตัว

การหดตัวของกล้วยแผ่นกรอบหลังการฟritte แสดงดังตารางที่ 2 พบว่ากล้วยที่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะเกิดการหดตัวมากกว่าการฟritte ที่อุณหภูมิสูง โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) อยู่ในช่วง 9.09-13.68% และ 7.95-11.48% ตามลำดับ และมีค่าการหดตัวทางด้านความหนา (L) อยู่ในช่วง 28.09-43.38% และ 24.65-35.50% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการฟritte ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้มีการระเหยของน้ำที่ผิวของแผ่นกล้วยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดการแข็งตัวบริเวณผิวของแผ่นกล้วย ซึ่งจะช่วยรักษารูปทรงและปริมาตรของกล้วยแผ่นไม่ให้หดตัวมากขึ้น นอกจากนี้แผ่นกล้วยจะเกิดการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าทางด้านความหนา เนื่องจากทางด้านความหนา มีพื้นที่การระเหยมากกว่าทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งการระเหยของน้ำได้ยากกว่า นอกจากนี้การฟritte ที่อุณหภูมิสูงยังส่งผลต่อการหดตัวของแผ่นกล้วยอีกด้วย โดยกล้วยแผ่นที่ผ่านการฟritte จะเกิดการหดตัวมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของความร้อนจะทำให้เซลล์เกิดการเสื่อมสภาพและเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ช่วยเสริมผนังเซลล์ให้หนาและแข็งแรง [7-9] โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟritte และทำการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และด้านความหนา (L) อยู่ในช่วง 7.95-9.09% และ 24.65-28.09% ตามลำดับ และกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และด้านความหนา (L) อยู่ในช่วง 11.48-13.68% และ 35.50-43.38% ตามลำดับ

1.3 ด้านเนื้อสัมผัส

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบจะพิจารณาด้านความแข็ง ซึ่งจะแสดงถึงความกรอบของอาหาร โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากจะมีค่าความแข็งน้อย ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) ของกล้วยแผ่นกรอบ แสดงดังตารางที่ 3 พบว่ากล้วยที่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งมากกว่าการฟritte ที่อุณหภูมิสูง โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 510.90-579.00 และ 266.62-389.83 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการฟritte ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เนื้อในแผ่นกล้วยเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอได้อย่างรวดเร็ว แผ่นกล้วยจะเกิดการพองตัวได้มาก มีช่องว่างหรือโพรงอากาศภายในมากขึ้น ทำให้แผ่นกล้วยมีค่าความแข็งน้อยและมีความกรอบมากขึ้นขณะที่การฟritte ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เนื้อในแผ่นกล้วยจะเดือดน้อยกว่าโครงสร้างจะเกิดการพองตัวและยุบตัวลง และมีการหดตัวมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้แผ่นกล้วยมีความแข็งมากขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และทางด้านความหนา (L) ของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C โดยไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C และผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	%Shrinkage (D)	%Shrinkage (L)
160	ไม่ผ่านการฟัฟฟิง	9.09 ± 1.04 ^b	28.09 ± 1.73 ^b
	ผ่านการฟัฟฟิง	13.68 ± 1.96 ^d	43.38 ± 2.41 ^d
170	ไม่ผ่านการฟัฟฟิง	7.95 ± 1.19 ^a	24.65 ± 1.35 ^a
	ผ่านการฟัฟฟิง	11.48 ± 1.32 ^c	35.50 ± 2.52 ^c

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นอกจากนี้การฟัฟฟิงยังส่งผลต่อค่าความแข็งของกล้วยอีกด้วย โดยกล้วยที่ผ่านการลวกจะมีความแข็งแรงลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนมีผลต่อการลดลงของเพคติน จึงทำให้กล้วยมีความกรอบเพิ่มขึ้น โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิงและทำการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิ 170 °C มีความแข็งต่ำที่สุด เท่ากับ 266 กรัม

ตารางที่ 3 ค่าความแข็ง (Hardness) ของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C โดยไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C และผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	ค่าความแข็ง (g)
160	ไม่ผ่านการฟัฟฟิง	579.00 ± 168.02 ^d
	ผ่านการฟัฟฟิง	510.90 ± 59.86 ^c
170	ไม่ผ่านการฟัฟฟิง	389.83 ± 103.79 ^b
	ผ่านการฟัฟฟิง	266.62 ± 35.81 ^a

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบภายหลังการฟัฟฟิง

จากการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านและผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทำการประเมินการยอมรับด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ซึ่งคะแนน 9 หมายถึง ยอมรับมากที่สุด และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ยอมรับมากที่สุด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิ 160 °C และ 170 °C มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นการยอมรับด้านความกรอบและความชอบรวม ($p < 0.05$) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการฟัฟฟิงจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพด้านความกรอบ ซึ่งการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กล้วยแผ่นกรอบมีการหดตัวน้อย และมีความกรอบมากขึ้นกว่าการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิต่ำ และคุณภาพด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันจะส่งผลอย่างยิ่งต่อการยอมรับด้านความชอบรวมของผู้ทดสอบ นอกจากนี้การฟัฟฟิงยังส่งผลต่อคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบ โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านและผ่านการฟัฟฟิงที่มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมที่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ยกเว้นการยอมรับด้านรสชาติและด้านความกรอบ ($p > 0.05$) สีของผลิตภัณฑ์เป็นคุณลักษณะที่ใช้ในการบ่งชี้ของอาหารทอดกรอบและอบกรอบหลายชนิด กล้วยแผ่นกรอบที่ผ่าน

การฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะมีส่วนช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าการไม่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมลดลง กล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านความชอบโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 5.26 อยู่ในระดับเลขๆ ถึงชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 4 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	ปัจจัยคุณภาพ				
		ลักษณะ ปรากฏ	สี	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบ โดยรวม
160	ไม่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ	5.20 ± 1.54 ^b	5.03 ± 1.35 ^b	5.36 ± 0.99 ^a	4.40 ± 1.52 ^a	5.23 ± 1.43 ^b
	ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ	4.66 ± 1.53 ^a	4.70 ± 1.39 ^a	5.03 ± 1.06 ^a	4.53 ± 1.56 ^a	4.53 ± 1.54 ^a
170	ไม่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ	5.26 ± 3.85 ^b	5.03 ± 1.37 ^b	5.46 ± 1.00 ^a	5.16 ± 1.76 ^b	5.26 ± 3.85 ^b
	ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ	4.63 ± 1.37 ^a	4.56 ± 1.38 ^a	5.23 ± 1.04 ^a	5.10 ± 1.58 ^b	5.10 ± 1.32 ^b

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยด้านการฟritที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อกระบวนการฟritที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่า L^* และค่าสี b^* ลดลง แต่ค่าสี a^* สูงกว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส การฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ทำให้กล้วยแผ่นกรอบมีการหดตัวน้อยและมีค่าความแข็งต่ำ แต่ความกรอบเพิ่มขึ้น และกล้วยแผ่นที่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีการหดตัวมากขึ้นและมีค่าความแข็งต่ำ จากผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส พบว่ากล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติและความชอบรวมสูงกว่ากล้วยแผ่นที่ผ่านการฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ยกเว้นด้านความกรอบ และการฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้มีคะแนนการยอมรับทางด้านสีลดลง ขณะที่การยอมรับในคุณลักษณะด้านอื่นๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการฟritที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส คือ ที่อุณหภูมิ 170 °C และไม่จำเป็นต้องลวกแผ่นกล้วยไวก่อนการฟrit

เอกสารอ้างอิง

- [1] จริ่งแท้. (2550). *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช*. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] นิธิยา รัตนพานนท์. (2549). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮาส์.
- [3] คำพัน บัวละพัน สมชาติ โสภณธนฤทธิ สมเกียรติ ปรัชญาวรรณ และวารุณี เดีย. (2550). “การพองของกล้วยโดยเทคนิคร่วมระหว่างอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยิ่งยวด”, ใน *การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1*. วันที่ 31 สิงหาคม 2550. ณ โรงแรมเดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ.
- [4] Kawas, M. L. and Moreira, R. G. (2001). “Effect of degree of starch gelatinization on product quality attributes of tortilla chips during frying”, *Journal of Food Science*. 66(2), 195-210.

- [5] Barat, J. M., Fito, P. and Chiralt, A. (2001). "Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues", **Journal of Food Engineering**. 49, 77-85.
- [6] Wilford, L. G., Sabarez, H. and Price, W.E. (1997). "Kinetics of carbohydrate change during dehydration of d'Agen prunes", **Food Chemistry**. 59(1), 149-155.
- [7] Taiwo, K. A. and Adeyemi, O. (2009). "Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slices", **African Journal of Food Science**. 3(10), 307-315.
- [8] Levi, A., Ramirez-Martinez, J. R. and Padua, H. (1980). "Influence of heat and sulphur dioxide treatments on some quality characteristics of dehydrated peaches", **Journal of Food Technology**. 15, 557-566.
- [9] Knee, M. and Bartley, I. M. (1981). **Composition and metabolism of cell wall polysaccharides in ripening fruits**. New York: Academic Press.
- [10] Singthong, J. and Thongkaew, C. (2009). "Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips", **LWT-Food Science and Technology**. 42, 1199-1203.

คุณภาพของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบโดยใช้หม้ออบลมร้อน

The Quality of Crispy Pineapple Snack by Using Convection Oven

รุ่งทิwa กองเงิน^{1*}

Rungtiwa Kongngoen^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณภาพของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน โดยการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °C. พบว่าการใช้เวลาในการอบกรอบ 120 วินาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพด้านสี (L^* a^* b^*) และค่าความแตกเปราะเท่ากับ 60.14 13.63 42.17 และ 3.29 นิวตัน ตามลำดับ คุณภาพทางเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ 7.17 และ 0.34 ตามลำดับ มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่พบในผลิตภัณฑ์ด้านความแห้ง สี กลิ่น สับปะรด รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมอยู่ในช่วง 6.50-7.20 เมื่อศึกษาคุณภาพในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 °C. เป็นเวลา 28 วัน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C. จะให้คุณภาพในการเก็บรักษาที่ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C. จะมีแนวโน้มของค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความแตกเปราะ ร้อยละปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกลักษณะดังกล่าวข้างต้นมีค่าในช่วงคะแนน 6.21-7.47 ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณรา น้อยกว่า 1×10^2 และ 1×10 CFU/g ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบกรอบจากธรรมชาติ (มอก.1534-2541)

คำสำคัญ: ขนมขบเคี้ยว สับปะรด กรอบ หม้ออบลมร้อน

Abstract

This research is to study the quality of crispy pineapple snack by convection oven. The study for the suitable time used by convection oven at 125 °C was found that the usage of 120 sec. to make the product crispy result in the physical product quality in color (L^* a^* b^*) and fracturability at 60.14 13.63 42.17 and 3.29 N., respectively. The chemical qualities in moisture content and a_w were 7.17% and 0.34, respectively. The sensory qualities were found in product for dryness of color, pineapple odor, taste, crispiness and overall preference with the range of score at 6.50-7.20. The study of the storage quality in aluminum foil bag at ambient temperature and 4 °C for 28 days, was found that the 4 °C storage giving the better keeping quality than the ambient temperature storage. The 4 °C storage showed an upward trend on lightness and yellowness with the significant difference ($p \leq 0.05$). The redness was not significantly different ($p > 0.05$).

¹ อ., สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

¹ Lecturer, Department of Food Product Development, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

* Corresponding author: Tel. 054-342547-8. E-mail address: tukkatafay@gmail.com

The fracturability of moisture content and a_w had a downward trend with the significant difference ($p \leq 0.05$). The sensory quality score in all attributes were the range of 6.21-7.47. The microorganisms quality in product was lower than 1×10^2 and 1×10 CFU/g which were not greater than the standard microorganism regulation for cereal snack (Thai Industrial Standards no.1534-2541).

Keywords: Snack, Pineapple, Crispy, Convection Oven

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวนับเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่กำลังสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก โดยมีแนวโน้มอัตราการเติบโตในอุตสาหกรรมประเภทนี้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2552 เฉลี่ย 9 เปอร์เซ็นต์ต่อปี [1] ขนมขบเคี้ยวจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในหมู่ผู้บริโภคทั่วไปเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่รับประทานได้ง่าย สะดวกในการพกพา สามารถช่วยประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้นได้ และมีรสชาติที่เป็นที่ถูกใจผู้บริโภค ประกอบกับในพื้นที่จังหวัดลำปางเป็นพื้นที่ที่เกษตรกรปลูกสับปะรดมากและมักประสบปัญหาของภาวะการล้นตลาดของวัตถุดิบสับปะรด ทำให้สับปะรดมีราคาตกต่ำ ไม่สามารถจำหน่ายสับปะรดในรูปของผลสดให้มีราคาสูงได้ นอกจากนี้ผลสับปะรดยังเป็นผลไม้อร่อยดีสามารถนำมาปรุงหรือประกอบอาหารได้หลากหลายชนิดและยังมีคุณค่าประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งในสับปะรดมีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ เช่น โปรตีน ใยอาหาร น้ำตาล วิตามินซี เบต้าแคโรทีน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส เป็นต้น นอกจากนี้สับปะรดยังมีเอนไซม์โบรมีเลนที่จะช่วยในการย่อยอาหารประเภทโปรตีนได้ดี ทำให้สับปะรดมีสรรพคุณในการช่วยย่อยอาหาร เสริมการดูดซึมอาหาร และยังช่วยในการขับร้อนแก้กระหายได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบสับปะรดประกอบกับการเล็งเห็นช่องทางการเติบโตของธุรกิจประเภทขนมขบเคี้ยว ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำวัตถุดิบสับปะรดมาผลิตเป็นขนมสับปะรดอบกรอบในรูปแบบที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมซึ่งมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์สับปะรดขึ้นอบกรอบที่มีวางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดปัจจุบัน โดยการใช้หม้ออบลมร้อนซึ่งเป็นเครื่องมือการผลิตที่มีราคาไม่สูงมากนัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบผลิตขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบ โดยใช้หม้ออบลมร้อนและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการเก็บรักษาในอุณหภูมิเย็นฟรีซที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 28 วัน ซึ่งผลที่ได้คาดว่าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี สามารถทำการผลิตโดยใช้เครื่องมือการผลิตที่มีราคาไม่สูงมาก และมีคุณภาพการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาที่เหมาะสม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

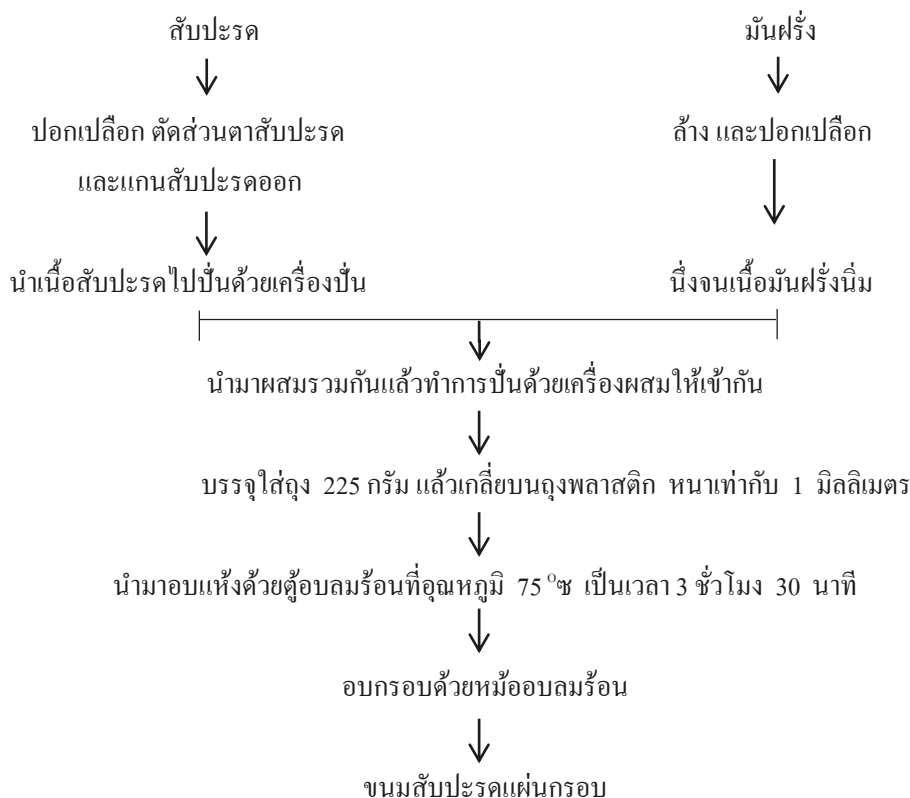
วัสดุ อุปกรณ์

สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ระยะสุกจัด (ตาสีส้มแดงประมาณร้อยละ 20-100) จากแปลงปลูกตำบลบ้านเสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง และมันฝรั่งพันธุ์สปันด้าที่ซื้อจากห้างแมคโคร อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ตู้อบระบบลมร้อน (Electric Convection Dryer) และหม้ออบลมร้อน (House Worth รุ่น HW-COG12)

วิธีดำเนินการ

1. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบขนมสับปะรดแผ่นกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน

ทำการผสมส่วนผสมของสับปะรดและมันฝรั่งที่ร้อยละปริมาณส่วนผสม 80 และ 20 [2] แล้วดำเนินการผลิตเป็นขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบตามกระบวนการดังภาพที่ 1 โดยทำการแปรผันเวลาที่ใช้ในการอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน 4 ระดับ ได้แก่ 60 90 120 และ 150 วินาที ที่อุณหภูมิ 125°C



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตขนมสับปะรดแผ่นกรอบ

ที่มา : ดัดแปลงจากรุ่งทิวา และอุบลรัตน์ [2]

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัส ดังนี้

1.1 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

- วัดค่าสี ระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE)
- วัดลักษณะค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA. XTPlus, UK.) ใช้หัววัด

แบบ p/0.5 Ball probe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm.) pre-test speed: 1 mm/s; test speed: 1 mm/s; post-test speed: 10 mm/s.)
 กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 4 มิลลิเมตร

1.2 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ได้แก่

- วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง AquaLab LITE รุ่น Decagon Devices, Inc.
- ปริมาณความชื้น โดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ. ตามวิธีการใน AOAC (2000) [3]

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ผลการทดลองโดย Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

1.3 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale ในด้านลักษณะปรากฏ (ความแห้ง) สี กลิ่นสับปะรด รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบรวม วิเคราะห์ผลการ

ทดลองโดย Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจะพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อนำสูตรที่ได้รับการคัดเลือกดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

2. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน

นำผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 1 มาทำการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลานาน 28 วัน ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกันกับการทดลองข้อ 1 และวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา [3] ของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบทุก 7 วันจนครบ 28 วัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน

จากการผลิตขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ ทำการศึกษาเวลาในการอบกรอบ 4 ระดับ (60 90 120 และ 150 วินาที) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านสี ($L^* a^* b^*$) และเนื้อสัมผัส (ค่าความแตกเปราะ) ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพด้านสี ($L^* a^* b^*$) และเนื้อสัมผัส (ค่าความแตกเปราะ) ของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน

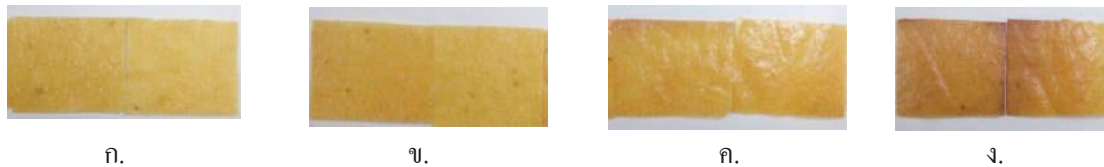
เวลาที่ใช้ในการอบกรอบ ด้วยหม้ออบลมร้อน (วินาที)	ค่าสี			ค่าความแตกเปราะ (N)
	L^*	a^*	b^*	
60	61.81 ± 0.54 ^a	11.65 ± 0.20 ^c	43.36 ± 0.14 ^a	5.38 ± 1.15 ^a
90	61.07 ± 0.80 ^a	12.53 ± 0.58 ^{bc}	42.56 ± 2.00 ^a	3.72 ± 0.90 ^b
120	60.14 ± 2.33 ^a	13.63 ± 1.25 ^{ab}	42.17 ± 0.62 ^a	3.29 ± 0.74 ^b
150	55.08 ± 2.65 ^b	14.35 ± 1.48 ^a	38.12 ± 3.75 ^b	2.90 ± 0.56 ^b

หมายเหตุ ^{a b c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ด้านค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบ กรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่เวลาแตกต่างกันมีค่าสีความสว่าง (L^*) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนมากขึ้น พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าสีความสว่าง (L^*) ลดลงทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการอบกรอบนานขึ้นจะทำให้มีน้ำตาลที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์ร่วมกับหมู่เอมิโนที่มีอยู่ในส่วนผสมเกิดเป็นสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน [4] นอกจากนี้ การใช้เวลาการอบกรอบที่นานขึ้นจะทำให้น้ำตาลระเหยออกมาได้มากขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่คล้ำขึ้นได้ [5] ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนจึงทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง

ค่าสี a^* (ค่าสีแดง) พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่เวลาแตกต่างกัน มีค่าสี a^* ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่สีเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดงที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-Enzymatic Browning Reaction) โดยการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) กับกรดเอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ ที่มีอยู่

ในวัตถุดิบทั้งในสับปะรดและมันฝรั่ง ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มของค่า a^* อยู่ในโทนของสีแดง [4] ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าสี b^* (ค่าสีเหลือง) ที่พบว่าการใช้อุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการอบกรอบเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่เป็นสีเหลืองลดลง ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นที่อบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนจะมีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน (ก.) 60 วินาที (ข.) 90 วินาที (ค.) 120 วินาที และ (ง.) 150 วินาที

ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสจะเป็นการวัดค่าความแตกประของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน ซึ่งค่าความแตกประนี้จะเป็นการวัดค่าแรงที่จุดสูงสุดของกราฟที่ทำให้ตัวอย่างหรืออาหารแตกในช่วงการกดหรือการเคี้ยว ครั้งที่ 1 มีหน่วยเป็นนิวตัน [6] ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบกรอบมากขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความแตกประลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการใช้เวลารอบกรอบนานขึ้นจะส่งผลทำให้น้ำที่มีในผลิตภัณฑ์ถูกไล่ออกจากอาหารได้มาก ประกอบกับการใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง จะช่วยเร่งอัตราการระเหยของไอน้ำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำสูงขึ้น อาหารจึงขยายตัวได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shilton *et.al.*[7] ที่ใช้อุณหภูมิในการฟัดฟิงมันฝรั่งระหว่าง 120-130 °ซ. เป็นเวลา 90-270 วินาที พบว่าการฟัดฟิงมันฝรั่งที่อุณหภูมิสูง 130 °ซ. เป็นเวลา 90 วินาที จะให้อัตราการขยายตัวประมาณ 1.22 เท่า และเมื่อเพิ่มเวลาในการฟัดฟิงเป็น 270 วินาที จะส่งผลต่ออัตราการขยายตัวเป็น 1.37 เท่าเช่นเดียวกับการศึกษาของ Nath *et.al.* [8] ที่ทำการฟัดฟิงมันฝรั่งพร้อมบริโกลโดยใช้อุณหภูมิฟัดฟิงระหว่าง 175-275 °ซ. เป็นเวลา 15-75 วินาที พบว่าอุณหภูมิฟัดฟิงที่เพิ่มสูงขึ้น และเวลาที่นานขึ้น จะมีแนวโน้มของการขยายตัวในชิ้นอาหารเพิ่มขึ้น การขยายตัวของชิ้นอาหารทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ที่ทำให้น้ำถูกไล่ออกจากผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้ง ดังนั้นค่าความแตกประที่วัดได้จึงมีค่าลดลงตามระยะเวลาการอบกรอบที่เพิ่มขึ้น

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการอบกรอบด้วย หม้ออบลมร้อน (วินาที)	ร้อยละปริมาณความชื้น	ปริมาณน้ำอิสระ
60	7.95 ± 0.074^a	0.37 ± 0.00^a
90	7.30 ± 0.10^b	0.32 ± 0.01^b
120	7.17 ± 0.19^b	0.34 ± 0.01^b
150	6.16 ± 0.11^c	0.31 ± 0.00^c

หมายเหตุ ^{a b c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ด้านร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่าค่าที่ได้มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ การเพิ่มเวลาในการอบกรอบมากขึ้นจะมีผลทำให้ร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการอบกรอบสูง จะเป็นการช่วยเร่งอัตราการระเหยของไอน้ำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำที่สูง ผลึกน้ำจึงเกิดการขยายตัวได้มากทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ น้ำจึงระเหยออกจากตัวผลิตภัณฑ์ได้มาก การใช้เวลาในการอบกรอบสั้นมาก จะทำให้อาหารเกิดการพองตัวได้น้อย น้ำที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์จึงระเหยออกมาได้น้อย ในขณะที่การใช้เวลาการอบกรอบที่นานกว่าจะทำให้มีน้ำระเหยออกมาได้มากกว่าซึ่งจะมีผลทำให้ค่าร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้อลมร้อนมาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบชิม โดยใช้วิธีการทดสอบโดยให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale Test) ได้ผลดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าค่าการเพิ่มเวลาในการอบกรอบนานขึ้น คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นสับปะรดและรสชาติลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการอบกรอบผลิตภัณฑ์โดยใช้เวลาที่นานขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแผ่นมีความกรอบมากแต่จะมีสีที่คล้ำมากขึ้น กลิ่นสับปะรดจางลง และรสชาติผลิตภัณฑ์มีรสชาติดิบเล็กน้อย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการอบกรอบ 150 วินาที ส่วนลักษณะปรากฏในเรื่องของความแห้งจะให้ผลคะแนนความชอบที่ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ เปรียบเทียบกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ จึงทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบกรอบที่เวลา 120 วินาที ที่มีคะแนนความชอบรวมมากที่สุดทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้อลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการอบ กรอบด้วยหม้อ อบลมร้อน (วินาที)	ลักษณะปรากฏ (ความแห้ง)	สี	กลิ่นสับปะรด	รสชาติ	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	ความชอบ รวม
60	6.97 ± 1.69 ^{ns}	7.40 ± 1.00 ^a	6.83 ± 0.99 ^a	6.87 ± 0.90 ^a	6.10 ± 1.35 ^b	6.57 ± 0.90 ^b
90	6.60 ± 1.57 ^{ns}	7.00 ± 1.37 ^{ab}	6.73 ± 1.14 ^a	6.60 ± 1.10 ^a	5.43 ± 1.61 ^c	6.50 ± 0.94 ^b
120	7.20 ± 1.24 ^{ns}	6.50 ± 1.17 ^b	7.00 ± 1.11 ^a	6.90 ± 1.24 ^a	7.13 ± 1.14 ^a	7.03 ± 1.00 ^a
150	6.60 ± 1.69 ^{ns}	5.33 ± 1.35 ^c	6.27 ± 1.23 ^b	5.93 ± 1.55 ^b	7.13 ± 1.14 ^a	6.30 ± 1.15 ^b

หมายเหตุ ^{a b c} อักษรที่แตกต่างตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

2. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน

ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นกรอบที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1 จะถูกเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องและ 4 °ซ จนครบ 28 วัน ทำการประเมินคุณภาพทางกายภาพด้านสีและค่าความแตกต่างปรากฏว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 °ซ จะมีแนวโน้มของค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นที่มากกว่าค่า L^* และ b^* ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ จะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องจะมีแนวโน้มของค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 °ซ ยังมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) สำหรับคุณภาพทางเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 °ซ

ต่างมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 5) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ ให้ผลของคุณภาพการเก็บรักษาด้านกายภาพและเคมีที่มีแนวโน้มดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิแช่เย็นจะเป็นวิธีที่ช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและการเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์ และยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการน้อย [9] ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดกรอบที่เก็บรักษาทั้งสองสภาวะการเก็บรักษามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณราน้อยกว่า 1×10^2 และ 1×10 CFU/g (ข้อมูลไม่ได้แสดงในผลการทดลอง) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบกรอบจากธัญชาติ (มอก.1534-2541) [10] ดังนั้นจึงมีความปลอดภัยในการบริโภค ในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความแห้ง สี กลิ่น สับปะรด ความกรอบ และความชอบรวมที่ทั้งสองสภาวะการเก็บรักษา (ตารางที่ 6 และ 7) จะมีแนวโน้มของค่าคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างไรก็ตามคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดกรอบด้วยหม้อลมร้อนยังคงมีค่าอยู่ในระดับความชอบปานกลาง

ตารางที่ 4 คุณภาพทางกายภาพด้านสีและเนื้อสัมผัส (ความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	อุณหภูมิห้อง			อุณหภูมิ 4 °ซ		
	ค่าสี			ค่าสี		
	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]
0	65.29 ± 0.84 ^a	9.84 ± 0.61 ^c	40.36 ± 4.01 ^{ns}	55.34 ± 1.05 ^b	14.75 ± 0.85 ^{ns}	38.48 ± 2.04 ^b
7	61.56 ± 1.48 ^b	12.04 ± 1.49 ^b	43.06 ± 2.35 ^{ns}	59.84 ± 1.69 ^a	13.90 ± 1.02 ^{ns}	44.55 ± 1.23 ^a
14	59.25 ± 0.92 ^c	13.48 ± 0.72 ^{ab}	43.94 ± 0.89 ^{ns}	60.93 ± 0.91 ^a	14.71 ± 1.19 ^{ns}	43.02 ± 2.83 ^a
21	60.03 ± 0.27 ^{bc}	13.79 ± 0.26 ^{ab}	44.11 ± 0.13 ^{ns}	60.08 ± 0.35 ^a	14.86 ± 0.13 ^{ns}	43.68 ± 0.72 ^a
28	59.51 ± 1.18 ^c	14.23 ± 1.03 ^a	43.58 ± 0.09 ^{ns}	61.33 ± 0.96 ^a	14.52 ± 0.96 ^{ns}	44.81 ± 0.20 ^a

หมายเหตุ^{abc} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p ≤ 0.05)
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p > 0.05)

ตารางที่ 5 คุณภาพทางเคมีร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมสับประรดแผ่นกรอบที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 °ซ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	อุณหภูมิห้อง			อุณหภูมิ 4 °ซ		
	ร้อยละปริมาณความชื้น			ร้อยละปริมาณความชื้น		
	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]
0	7.89 ± 0.69 ^a	0.32 ± 0.01 ^{abc}	8.05 ± 0.43 ^{ab}	0.37 ± 0.02 ^a		
7	7.61 ± 0.49 ^{ab}	0.31 ± 0.01 ^{bc}	8.53 ± 0.30 ^a	0.33 ± 0.02 ^b		
14	7.28 ± 0.58 ^{ab}	0.30 ± 0.02 ^c	8.15 ± 0.89 ^{ab}	0.32 ± 0.00 ^b		
21	6.90 ± 0.03 ^{ab}	0.34 ± 0.01 ^a	7.81 ± 0.07 ^{ab}	0.32 ± 0.02 ^b		
28	6.44 ± 0.47 ^b	0.34 ± 0.01 ^{ab}	7.23 ± 0.15 ^b	0.32 ± 0.01 ^b		

หมายเหตุ^{abc} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p ≤ 0.05)

ตารางที่ 6 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมสับประรดแผ่นกรอบที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
	0	7	14	21
ลักษณะปรากฏ (ความแห้ง)	7.25 ± 0.97 ^{ns}	6.95 ± 1.0 ^{ns}	6.70 ± 1.13 ^{ns}	6.85 ± 1.14 ^{ns}
สี	7.25 ± 0.91 ^a	6.65 ± 0.88 ^b	6.60 ± 0.82 ^b	6.55 ± 1.19 ^b
กลิ่นสับประรด	7.10 ± 0.85 ^{ns}	6.80 ± 1.15 ^{ns}	6.75 ± 1.02 ^{ns}	6.70 ± 0.87 ^{ns}
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	7.60 ± 0.75 ^{ns}	7.50 ± 0.89 ^{ns}	7.35 ± 1.04 ^{ns}	7.35 ± 0.67 ^{ns}
ความชอบรวม	7.65 ± 0.59 ^a	7.00 ± 0.73 ^b	7.15 ± 1.04 ^{ab}	6.90 ± 0.91 ^b

หมายเหตุ^{a,b,c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง "ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)"

ตารางที่ 7 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมสับประรดแผ่นกรอบที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
	0	7	14	21
ลักษณะปรากฏ (ความแห้ง)	6.89 ± 0.74 ^b	7.58 ± 0.51 ^a	6.75 ± 0.79 ^{bc}	6.10 ± 1.33 ^d
สี	6.53 ± 1.07 ^{bc}	6.95 ± 0.85 ^b	6.30 ± 0.87 ^c	6.15 ± 1.31 ^c
กลิ่นสับประรด	6.95 ± 0.71 ^{ns}	6.74 ± 1.24 ^{ns}	6.70 ± 0.87 ^{ns}	6.55 ± 0.76 ^{ns}
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	7.26 ± 1.28 ^{ab}	7.37 ± 0.83 ^{ab}	7.70 ± 1.26 ^a	7.35 ± 0.93 ^{ab}
ความชอบรวม	7.16 ± 0.96 ^a	7.05 ± 0.52 ^a	6.85 ± 0.81 ^{ab}	6.45 ± 0.89 ^{bc}

หมายเหตุ^{a,b,c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัย “Hands-on เรียนรู้ชุมชน ครูได้คิด เด็กได้ทำ” ประเภททุน L-HR ภายใต้ชื่อโครงการวิจัย “การพัฒนาขนมขบเคี้ยวแผ่นกรอบจากสับปะรดโดยใช้ผู้อบรมร้อนแบบถาดร่วมกับหม้ออบลมร้อน” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรพรรณ ปัญญาภิรมย์. (2558). ส่องตลาด Snack ไทยศึกขบเคี้ยวของขนมขบเคี้ยว. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2559, จาก <http://www.forbesthailand.com/news-detail.php?did=649>.
- [2] รุ่งทิพา กองเงิน และอุบลรัตน์ พรหมพิง. (2557). สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของขนมขบเคี้ยวจากสับปะรด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง.
- [3] AOAC. (2000). **Official Method of Analysis**. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia
- [4] นิธิยา รัตนานนท์. (2545). **เคมีอาหาร**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- [5] ชลลดา ไร่ขาม. (2556). **การแปรรูปกล้วยด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (2558). **Texture Profile Analysis**. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0987/texture-profile-analysis>.
- [7] Shilton, N.C., Bekhit, A.A. and Niranjana, K. (1998). “Optimisation of a dehydration process for potato cubes using an intermediate puffing step”, **Potato Research**. 41(3), 203-209.
- [8] Nath, A., Chattopadhyay, P.K. and Majumdar G.C. (2007). “High temperature short time air puffed ready-to-eat (RTE) potato snacks: Process parameter optimization”, **Journal of Food Engineering**. 80(3), 770-780.
- [9] เขียวภา สุวดี. (2551). **การถนอมอาหาร**. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2557, จาก https://www.gpo.or.th/rdi/html/preserve_food.html.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2541). **ขนมกรอบจากข้าวชาติ**. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1534-2541. กระทรวงอุตสาหกรรม.

ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหาร

อ.ป่าบอน จ.พัทลุง

The Vulnerability of Farming Households in a Watershed Area of Ban Lo Han, Pa Bon District, Phatthalung Province

กนกวรรณ ชุมอินทร์^{1*} และพิไลวรรณ ประพฤติ²

Kanokwan Chum-in^{1*} and Pilaiwan Prapruit²

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหาร อ.ป่าบอน จ.พัทลุง โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการคำนวณค่าความเปราะบาง 3 ตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ การเปิดรับผลกระทบ ความอ่อนไหวในการรับผลกระทบ และศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ ผลการศึกษาพบว่า ครัวเรือนเกษตรกรในอัตราส่วนมากที่สุดร้อยละ 43.53 มีค่าความเปราะบางเฉลี่ยอยู่ที่ 2.82 จัดอยู่ในระดับปานกลาง รองลงมาคือมีความเปราะบางอยู่ในระดับสูงและระดับต่ำร้อยละ 37.65 และ 18.82 ตามลำดับ ระบบเกษตรเชิงเดี่ยวและระบบเกษตรผสมผสานมีความเปราะบางอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งระบบเกษตรเชิงเดี่ยวมีความเปราะบางสูงด้านศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ อาชีพทำสวนยางพาราและผลไม้มีความเปราะบางปานกลาง ในขณะที่อาชีพปลูกผักมีความเปราะบางสูง ดังนั้นข้อเสนอแนะในการลดความเปราะบางของพื้นที่มี 2 แนวทาง คือ 1) การลดความเสี่ยงจากการใช้พื้นที่ด้านการเกษตร ด้วยการทำวนเกษตร และเกษตรแบบผสมผสาน และ 2) การเพิ่มศักยภาพในการรับมือหรือปรับตัวให้เข้ากับสภาพปัญหาในปัจจุบัน ด้วยการรวมกลุ่ม และการจัดการทรัพยากรน้ำ

คำสำคัญ: ความเปราะบาง การรับมือ ครัวเรือนเกษตรกร พื้นที่ต้นน้ำ บ้านโหล๊ะหาร

Abstract

The main purpose of this research was to study the vulnerability of farming households in a watershed area of Bab Lo Han, Pa Bon District, Phatthalung Province, analyzing vulnerability assessment data such as exposure, sensitivity and coping capacity. The study found that the highest proportion of farming household accounted for 43.53 per cent have a medium level of vulnerability (2.82). The remaining 37.65% and 18.82% of farming households have high and low vulnerability, respectively. In terms of agricultural systems, monoculture and integrated farming the level of vulnerability is medium. However, integrated farming system has a high level of coping capacity vulnerability. Integrating rubber

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาพัฒนาการเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90112

¹ Graduate Student at Department of Agricultural Development, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90112

² อ.ดร.,คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90112

² Lecturer, Dr., at Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90112

* Corresponding author Tel: 085-223-2205. E-mail address: ae.vig@hotmail.com

farming and fruit farming have a medium level, while vegetable farming has a high level of vulnerability. Two suggested approaches for reducing the vulnerability of the area are: 1) reduce the risk of agricultural land use by means of agro forest and integrated agriculture, and 2) increase coping capacity or adapt to problematic conditions in the present by means of forming local group and managing water resources.

Keywords: Vulnerability, Coping Capacity, Farming Households, Watershed Area, Lo Han Village

บทนำ

พื้นที่ต้นน้ำ (Watershed Area) คือพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำที่มีความลาดชัน และมีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ [1-2] ในปี พ.ศ. 2526-2534 รัฐบาลไทยโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติมอบหมายให้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ดำเนินการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ (Watershed Classification) ตามความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 5 ชั้น [3] โดยชั้นที่ 1 และ 2 เป็นพื้นที่อนุรักษ์เก็บไว้เป็นแหล่งต้นน้ำ และเป็นป่าผลิต ห้ามใช้พื้นที่ทางการเกษตร [4] เนื่องจากมีความเปราะบาง บางหรือก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงหากมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน [1] แต่ในปี พ.ศ. 2538 ได้มีการผ่อนผันให้ครัวเรือนเกษตรกรที่อยู่อาศัยก่อนการประกาศของคณะรัฐมนตรีสามารถใช้ประโยชน์บนพื้นที่ดังกล่าวได้ต่อไปได้จนกว่ารัฐบาลจะจัดหาที่ทำกินใหม่ทดแทน โดยมีข้อกำหนดให้ทำการเกษตรในรูปแบบวนเกษตร ห้ามไม่ให้บุกรุกและขยายพื้นที่ต่อไปอีก [5] ทำให้เกษตรกรบริเวณพื้นที่ต้นน้ำมีความเปราะบางต่อการได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้งความเสี่ยงต่อการประสบภัยพิบัติ ความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความเสี่ยงในบุริมสิทธิ์ การถือครองที่ดิน และข้อจำกัดในรูปแบบการทำเกษตร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหละหาร ต.ทุ่งนารี อ.ป่าบอน จ.พัทลุง ซึ่งเป็นชุมชนเกษตรที่อยู่ทางตอนบนของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา [6] ที่มีการก่อตั้งมาก่อนการประกาศกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ให้เกษตรกรสามารถปรับตัว หรือรับมือกับความเปราะบาง และยังคงทำการเกษตรบนพื้นที่ต้นน้ำต่อไปได้อย่างเหมาะสม

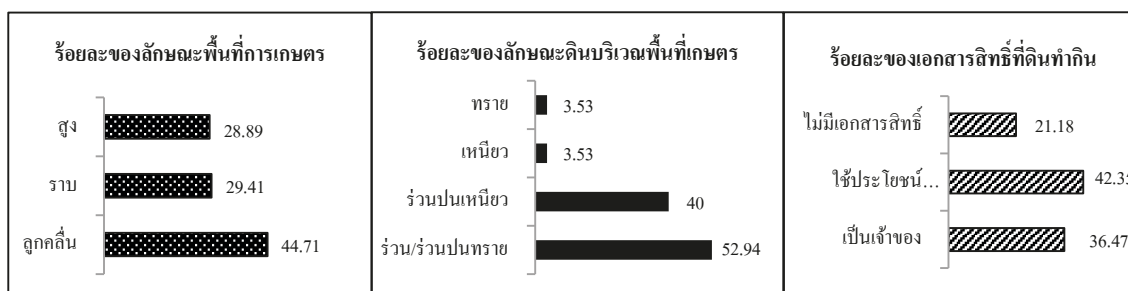
วิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ใช้กรอบแนวคิดการประเมินความเปราะบางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ที่ให้ความหมายของความเปราะบางว่าเป็นสถานการณ์ที่ระบบมีความอ่อนแอ และไม่สามารถรับมือกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ [7-10] โดยพิจารณาผ่านองค์ประกอบหลัก 3 มิติ ประกอบด้วย การเปิดรับผลกระทบ (Exposure) ความอ่อนไหวต่อผลกระทบ (Sensitivity) และศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ (Coping Capacity) มาเป็นแนวทางในการรวบรวมตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างแบบสอบถามในการประเมินความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกร โดยให้ค่าน้ำหนักทุกตัวแปรเท่ากัน ทำการประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามกับตัวชี้วัด (Index of Item Objective Consistency: IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน นำข้อคำถามที่ผ่านเกณฑ์ไปใช้ในพื้นที่จริงกับกลุ่มตัวอย่างครัวเรือนเกษตรกรตามการคำนวณโดยใช้สูตรของ Taro Yamane ในหมู่บ้านโหละหารจำนวน 85 ตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เฉพาะครัวเรือนที่ทำเกษตรกรรม และใช้วิธีการแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) ได้แก่ การบังเอิญเจอและมีเวลาในการให้ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ระดับความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในแต่ละมิติ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยนำค่าคะแนนสูงสุดและค่าคะแนนต่ำสุดจัดทำอัตราภาคส่วน

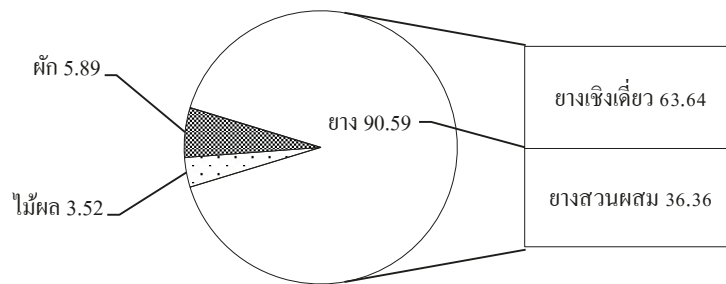
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สภาพพื้นที่ด้านการเกษตรของบ้านโหล๊ะหาร อ.ป่าบอน จ.พัทลุง ร้อยละ 44.71 เป็นพื้นที่ดอนหรือพื้นที่ราบลูกคลื่น มีความชันเล็กน้อย รองลงมาคือพื้นที่ราบและพื้นที่สูงร้อยละ 29.41 และ 25.89 มีการทำเกษตรแบบเชิงเดี่ยวร้อยละ 57.6 และแบบผสมผสานร้อยละ 42.4 รูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 90.59 เป็นสวนยางพารา สอดคล้องกับงานวิจัยของกาญจน์เขจร [4] ที่ทำการศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำภาคใต้ พบว่า เกินร้อยละ 80 ของการใช้ประโยชน์พื้นที่ต้นน้ำเป็นสวนยางพารา เนื่องจากเป็นพืชที่ให้ผลผลิตได้เกือบทั้งปี และเจริญเติบโตได้ง่ายในทุกพื้นที่ รูปแบบสวนยางพาราของบ้านโหล๊ะหารมีทั้งแบบเชิงเดี่ยวและแบบผสมผสานเพื่อเพิ่มรายได้ในช่วงที่ราคายางตกต่ำหรือไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ซึ่งพืชที่ปลูกในสวนยาง ได้แก่ พืชผักพื้นบ้าน (ผักเหรียง ถั่วหรั่ง กาแฟ) ไม้ผล (ลองกอง มังคุด เงาะ กระท้อน) และไม้ยืนต้น (ต้นเทียม ตะเคียนทอง) อาชีพหลักด้านการเกษตรรองจากสวนยางพารา คือการทำสวนผัก และสวนไม้ผลในรูปแบบผสมผสานร้อยละ 5.88 และ 3.53 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ต้นน้ำ จะทำให้พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการประสบภัยพิบัติทางธรรมชาติ [11] ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่มากกว่าร้อยละ 60 ของพื้นที่การเกษตรเคยประสบภัยธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดความเสียหายทั้งต่อพื้นที่ ต่อการประกอบอาชีพ และต่อการดำรงชีพของครัวเรือน โดยภัยธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นภัยแล้งที่มีระยะเวลาก่อนข้างยาวนานกว่าพื้นที่ราบ เพราะพื้นที่เกษตรส่วนใหญ่เกือบร้อยละ 70 ตั้งอยู่บนพื้นที่ลูกคลื่นและพื้นที่สูงก่อให้เกิดปัญหาภัยแล้งมากกว่าอุทกภัย [5, 12] สอดคล้องกับงานวิจัยของจาวรรณ [13] ที่ศึกษาความเปราะบางของเกษตรกรพื้นที่ราบใน อ.นาบือราว จ.ยะลา พบว่าเกษตรกรชาวนา ชาวสวน และผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเปราะบางสูงจากปัญหาอุทกภัยและปัญหาน้ำเค็ม ลักษณะดินบริเวณพื้นที่เกษตรของบ้านโหล๊ะหารร้อยละ 52.94 เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ทำให้กักเก็บน้ำได้น้อย ประกอบกับพื้นที่เกษตรส่วนใหญ่ไม่มีพืชคลุมดิน (ร้อยละ 76.47) ทำให้สภาพโดยรวมของพื้นที่ค่อนข้างมีความเสี่ยงต่อการพังทลายของดิน (Landslide) นอกจากนี้พื้นที่ยังมีความซับซ้อนเรื่องสิทธิการครอบครองหรือการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีเพียงเกษตรกรร้อยละ 36.47 เท่านั้นที่มีเอกสารสิทธิ์ยืนยันความเป็นเจ้าของที่ดินทำกินอย่างชัดเจน ได้แก่ โฉนด/น.ส.4 และ น.ส.3/น.ส.3ก นอกจากนั้นเป็นการถือครองที่ดินเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรที่ไม่สามารถทำนิติกรรมต่างๆ ได้ และไม่มีเอกสารสิทธิ์ในการใช้ประโยชน์ที่ดินร้อยละ 21.18 (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 สภาพทั่วไปของพื้นที่



ภาพที่ 2 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านการเกษตร

ครัวเรือนเกษตรกร ร้อยละ 75.29 มีการปรับเปลี่ยนจากการปลูกพืชเชิงเดี่ยวเป็นการปลูกพืชผสมผสานเพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาพปัญหาในปัจจุบัน มีเพียงร้อยละ 24.71 เท่านั้นที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนระบบเกษตร เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการทำเกษตร ต้นทุน และไม่ใช่เจ้าของพื้นที่โดยตรง อย่างไรก็ตาม ครัวเรือนเกษตรกรร้อยละ 72.94 มีแนวทางที่จะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรเป็นแบบผสมผสานมากขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงด้านการใช้ประโยชน์พื้นที่และเป็นการเพิ่มรายได้จากผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย

การวิเคราะห์ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำได้ทำการรวบรวมตัวชี้วัดจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากข้อมูลการสำรวจพื้นที่เบื้องต้นจำนวน 133 ตัวชี้วัด ทำการคัดเลือกและทดสอบความเที่ยงตรงจากผู้เชี่ยวชาญเหลือ 23 ตัวชี้วัด นำมาสร้างข้อคำถามให้ครอบคลุมและตรงตามบริบทของพื้นที่ เพื่อใช้ประเมินระดับความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรตามกรอบแนวคิดของ IPCC โดยให้ค่าน้ำหนักตัวชี้วัดเท่ากันทุกมิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าน้ำหนักของตัวชี้วัดและข้อคำถามในการประเมินความเปราะบาง

ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก		รายการข้อคำถาม
	ตัวแปร	คำถาม	
มิติการเปิดรับผลกระทบ (Exposure)			
1. การประสบภัยพิบัติ	0.20	0.100	1.1 การประสบปัญหาภัยพิบัติในพื้นที่เกษตร
		0.100	1.2 ขนาดพื้นที่ทางการเกษตรที่ได้รับความเสียหายจากภัยพิบัติ
2. ระดับความเสียหาย/ ผลกระทบจากภัยพิบัติ	0.20	0.067	2.1 ระดับความเสียหาย/ผลกระทบต่อพื้นที่การเกษตร
		0.067	2.2 ระดับความเสียหาย/ผลกระทบต่ออาชีพเกษตรกรรม
		0.067	2.3 ระดับความเสียหาย/ผลกระทบต่อการดำรงชีพ
3. ความเสี่ยงในการเกิด ภัยพิบัติ	0.20	0.067	3.1 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่การเกษตร
		0.067	3.2 ลักษณะของดินในพื้นที่เกษตร
		0.067	3.3 พืชคลุมดินในพื้นที่เกษตร
4. ความเพียงพอของน้ำ เพื่อการเกษตร	0.20	0.100	4.1 แหล่งน้ำตามธรรมชาติ
		0.100	4.2 แหล่งน้ำของตนเอง
5. การระบาดของโรค และแมลง	0.20	0.100	5.1 การระบาดของโรคพืชในพื้นที่การเกษตร
		0.100	5.2 การระบาดของแมลงศัตรูพืชในพื้นที่การเกษตร
รวม	1.00	1.000	

ตารางที่ 1 คำนวณน้ำหนักของตัวชี้วัดและข้อคำถามในการประเมินความเปราะบาง (ต่อ)

ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก		รายการข้อคำถาม
	ตัวแปร	คำถาม	
มิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ (Sensitivity)			
6. ประสบการณ์	0.125	0.125	6 ประสบการณ์ในการประกอบอาชีพทางการเกษตร
7. ปัญหาความแปรปรวนของ สภาพภูมิอากาศ	0.125	0.042	7.1 เจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศต่ออาชีพ
		0.042	7.2 เจตคติต่อปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลง
		0.042	7.3 เจตคติต่อความเสี่ยงในการประมงภัยพิบัติ
8. รายได้หลัก	0.125	0.125	8 ความพอเพียงของรายได้ในครัวเรือน
9. รายได้เสริม	0.125	0.125	9 รายได้ที่มาจากนอกภาคการเกษตร
10. สภาพคล่อง	0.125	0.125	10 หนี้สินและการออมของครัวเรือน
11. แรงงานเกษตร	0.125	0.125	11 แรงงานในครัวเรือนและนอกครัวเรือน
12. เอกสารสิทธิ์	0.125	0.125	12 เอกสารสิทธิ์ในการถือครองที่ดินทางการเกษตร
13. ความสามารถในการฟื้นฟูในการฟื้นฟู	0.125	0.031	13.1 ด้านพื้นที่ประสบภัย
		0.031	13.2 ด้านจิตใจ
		0.031	13.3 ด้านสุขภาพ
		0.031	13.4 ด้านสภาพเศรษฐกิจของครัวเรือน
รวม	1.00	1.000	
มิติศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ (Coping Capacity)			
14. การรวมกลุ่ม	0.1	0.100	14. การเข้าร่วมกลุ่มที่เอื้อต่อการประกอบอาชีพเกษตรกรรม
15. แหล่งสนับสนุน	0.1	0.050	15.2 การได้รับความช่วยเหลือภายในชุมชนกรณีเกิดภัยพิบัติ
		0.050	15.1 การได้รับความช่วยเหลือจากภายนอกชุมชนกรณีเกิดภัยพิบัติ
16. การปรับเปลี่ยนวิถีการผลิต	0.1	0.050	16.1 การปรับเปลี่ยนชนิดหรือสายพันธุ์พืชในการทำเกษตร
		0.050	16.2 การปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตด้านการเกษตร
17. การจัดการทรัพยากร	0.1	0.025	17.1 การจัดการดินในพื้นที่การเกษตร
		0.025	17.2 การจัดการน้ำในพื้นที่เกษตร
		0.025	17.3 การจัดการน้ำในชุมชน (นอกพื้นที่การเกษตร)
		0.025	17.4 การจัดการป่าของชุมชน
18. การปรับเปลี่ยนระบบเกษตร	0.1	0.050	18.1 การปรับเปลี่ยนระบบเกษตรในพื้นที่
		0.050	18.2 แนวทางปรับเปลี่ยนระบบเกษตรในอนาคต
19. การเพิ่มรายได้	0.1	0.033	19.1 การเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรที่เก็บเกี่ยวได้
		0.033	19.2 แนวทางในการหารายได้เสริมอื่นๆ ในอนาคต
		0.033	19.3 วิธีการลดรายจ่ายหรือลดต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 1 คำนวณน้ำหนักของตัวชี้วัดและข้อคำถามในการประเมินความเปราะบาง(ต่อ)

ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก		รายการข้อคำถาม
	ตัวแปร	คำถาม	
มิติศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ (Coping Capacity)			
20. การเข้าถึงความรู้และทักษะใหม่ๆ ที่เอื้อต่อการประกอบอาชีพ	0.1	0.020	20.1 การเข้าถึงผ่านสื่อบุคคล
		0.020	20.2 การเข้าถึงผ่านสื่อสิ่งพิมพ์
		0.020	20.3 การเข้าถึงผ่านสื่อโทรทัศน์
		0.020	20.4 การเข้าถึงผ่านสื่อสมัยใหม่ผ่านอุปกรณ์พกพา
		0.020	20.5 เนื้อหาข้อมูลข่าวสารที่ได้รับ
21. เทคนิค/ภูมิปัญญา	0.1	0.100	21. การนำเทคนิคหรือภูมิปัญญามาใช้ในการประกอบอาชีพ
22. องค์ความรู้	0.1	0.100	22. การใช้องค์ความรู้ในการสังเกตรธรรมชาติและสภาพอากาศ
23. การถ่ายทอด	0.1	0.100	23. การถ่ายทอดภูมิปัญญาหรือองค์ความรู้ต่างๆ สู่ลูกหลาน
รวม	1.0	1.000	

นำค่าคะแนนที่ได้จากคำถามในตารางที่ 1 มาถ่วงค่าน้ำหนัก จะได้ผลรวมความเปราะบางแต่ละมิติ และนำค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดมากำหนดช่วงความเปราะบาง โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรบ้านโหล๊ะหารจำแนกตามมิติต่างๆ (n = 85)

มิติความเปราะบาง	ค่าความเปราะบาง				ร้อยละของครัวเรือนในแต่ละระดับของความเปราะบาง		
	สูงสุด	ต่ำสุด	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
การเปิดรับผลกระทบ (E)	1.77	0.07	0.41	0.79 (ปานกลาง)	43.53	41.18	15.29
ความอ่อนไหว (S)	1.79	0.69	0.25	1.28 (ปานกลาง)	24.71	52.94	22.35
ศักยภาพในการรับมือ (C)	1.10	0.00	0.25	0.75 (ปานกลาง)	10.59	30.59	58.82
ความเปราะบาง (V)	3.73	1.79	0.45	2.82 (ปานกลาง)	18.82	43.53	37.65

หมายเหตุ: ช่วงระดับความเปราะบางมิติ E 0.07-0.67 ระดับต่ำ 0.68-1.27 ระดับปานกลาง และ 1.28-1.77 ระดับสูง

ช่วงระดับความเปราะบางมิติ S 0.69-1.09 ระดับต่ำ 1.10-1.49 ระดับปานกลาง และ 1.50-1.79 ระดับสูง

ช่วงระดับความเปราะบางมิติ C 0.00-0.40 ระดับต่ำ 0.41-0.80 ระดับปานกลาง และ 0.81-1.10 ระดับสูง

ช่วงระดับความเปราะบางมิติ V 1.79-2.39 ระดับต่ำ 2.40-2.99 ระดับปานกลาง และ 3.00-3.73 ระดับสูง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าครัวเรือนเกษตรกรบ้านโหล๊ะหารมีค่าความเปราะบางเฉลี่ยเท่ากับ 2.82 จัดอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาความเปราะบางทั้งสามมิติ พบว่า 1) มิติการเปิดรับผลกระทบ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการประสบภัยพิบัติ เนื่องจากเป็นที่สูง และลักษณะของดินไม่เหมาะสมต่อการทำเกษตร 2) มิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ เกษตรกรมีรายได้จากการทำเกษตรไม่เพียงพอต่อการใช้จ่ายในครัวเรือน รวมถึงมีรายได้เสริมจากนอกภาคการเกษตรค่อนข้างน้อย และ 3) มิติศักยภาพในการรับมือ ครัวเรือนเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการปรับเปลี่ยนชนิดหรือสายพันธุ์พืชให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ทำสวนยางพาราเป็นหลัก ซึ่งใช้น้ำน้อย [4]

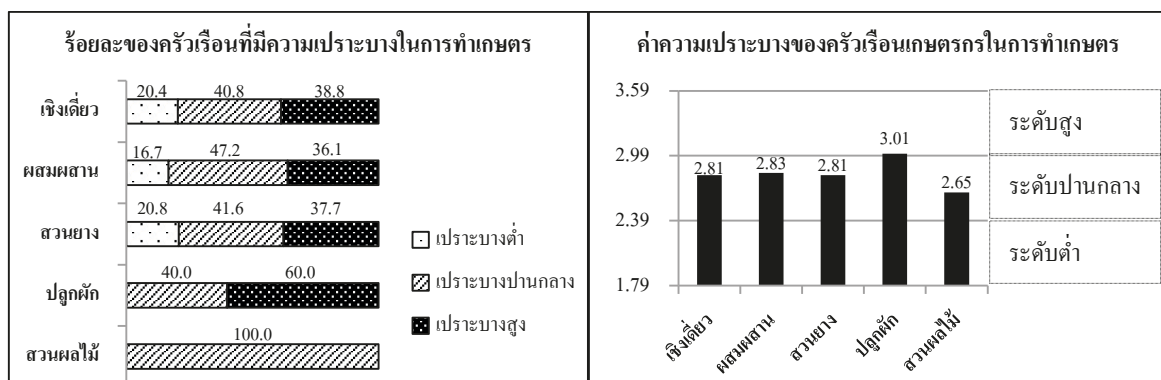
การวิเคราะห์ระดับความเปราะบางจำแนกตามระบบเกษตร พบว่า ระบบเกษตรเชิงเดี่ยวและระบบเกษตรผสมผสานมีค่าความเปราะบางใกล้เคียงกัน (2.81 และ 2.83) อยู่ในระดับปานกลาง โดยระบบเกษตรแบบผสมผสานมีค่าการเปิดรับสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น สำหรับมิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ การทำระบบเกษตรผสมผสานช่วยให้ความสามารถในการฟื้นฟูหลังประสบภัยธรรมชาติเร็วกว่าระบบเกษตรเชิงเดี่ยว ในขณะที่มิติศักยภาพใน

การรับมือกับผลกระทบ พบว่าเกษตรกรที่ทำเกษตรเชิงเดี่ยวเข้าถึงแหล่งข้อมูลข่าวสารและแหล่งสนับสนุนจากหน่วยงานได้น้อยกว่าเกษตรกรในระบบเกษตรผสมผสาน ทำให้มีศักยภาพการรับมืออยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 3 ระดับความประปรายจำแนกตามระบบเกษตรและอาชีพหลักของครัวเรือนเกษตรกรบ้านโหล๊ะหาร

มิติความประปราย	จำแนกตามระบบเกษตร			จำแนกตามอาชีพ	
	เกษตรเชิงเดี่ยว	เกษตรผสมผสาน	สวนยาง	ปลูกผัก	สวนผลไม้
การเปิดรับผลกระทบ	0.72 (ปานกลาง)	0.89 (ปานกลาง)	0.76 (ปานกลาง)	1.16 (ปานกลาง)	0.93 (ปานกลาง)
ความอ่อนไหว	1.28 (ปานกลาง)	1.27 (ปานกลาง)	1.28 (ปานกลาง)	1.23 (ปานกลาง)	1.26 (ปานกลาง)
ศักยภาพในการรับมือ	0.81 (สูง)	0.67 (ปานกลาง)	0.77 (ปานกลาง)	0.62 (ปานกลาง)	0.46 (ปานกลาง)
ความประปราย	2.81 (ปานกลาง)	2.83 (ปานกลาง)	2.81 (ปานกลาง)	3.01 (สูง)	2.65 (ปานกลาง)

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าทั้งสามอาชีพมีการเปิดรับผลกระทบอยู่ในระดับปานกลาง อาชีพปลูกผักมีค่าการเปิดรับผลกระทบสูงที่สุด เนื่องจากพืชผักได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติ และการระบาดของโรคและแมลงได้ง่ายกว่าไม้ผลและยางพาราซึ่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ อาชีพทำสวนผลไม้มีความเสี่ยงด้านการขาดแคลนน้ำสูง เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ไหลลงสู่พื้นที่ราบ [5, 12] อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล [11] ในขณะที่การทำสวนยางมีความเสี่ยงในการเกิดภัยพิบัติสูงกว่าอาชีพอื่นเนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่บนพื้นที่สูงและไม่มีพืชคลุมดินสำหรับมิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ พบว่า ความอ่อนไหวต่อผลกระทบของทั้งสามอาชีพอยู่ในระดับปานกลาง โดยที่อาชีพปลูกผักมีค่าต่ำกว่าอาชีพอื่นเล็กน้อย โดยเฉพาะในประเด็นของรายได้และสภาพคล่องทางการเงิน และมิติศักยภาพในการรับมือ พบว่า อาชีพปลูกผักมีค่าความประปรายอยู่ในระดับสูง (3.01) นั่นคือ สามารถรับมือกับผลกระทบที่เกิดจากการทำเกษตรบริเวณพื้นที่ต้นน้ำได้น้อย รองลงมาคืออาชีพทำสวนยางพารา และทำสวนผลไม้ซึ่งมีค่าความประปรายอยู่ในระดับปานกลาง (2.81 และ 2.65 ตามลำดับ) สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ร้อยละ และระดับของความประปรายของครัวเรือนในการทำเกษตรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหาร

การรับมือกับผลกระทบของแต่ละอาชีพมีความแตกต่างกัน โดยอาชีพทำสวนผลไม้และปลูกผักมีแนวทางในการหารายได้เสริมและการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ส่วนอาชีพทำสวนผลไม้มีความพยายามเข้าถึงข้อมูลมากกว่าอาชีพอื่น ในขณะที่อาชีพทำสวนยางพาราเริ่มมีการปลูกพืชแซมและพืชร่วมในสวนยางมากขึ้น อย่างไรก็ตามความประปรายด้านศักยภาพในการรับมือของแต่ละอาชีพและแต่ละระบบเกษตรอยู่ในระดับปานกลาง

สรุปผลการวิจัย

ครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหารมีความประปรายต่อการใช้พื้นที่ด้านการเกษตรอยู่ในระดับปานกลาง หมายถึง ครัวเรือนเกษตรกรสามารถรับมือกับผลกระทบที่เกิดขึ้นได้แม้ว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงและมีข้อจำกัดใน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยความเปราะบางของระบบเกษตรเชิงเดี่ยวและระบบเกษตรผสมผสานอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับตามอาชีพ พบว่าอาชีพทำสวนผักมีความเปราะบางสูง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โรค และแมลงได้ง่าย ส่วนอาชีพทำสวนยางและอาชีพทำสวนผลไม้มีความเปราะบางอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากตั้งอยู่บนพื้นที่สูงและเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ ปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับความเปราะบางในการทำเกษตร ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านการเปิดรับผลกระทบ ประกอบด้วยหลายปัจจัยที่ครัวเรือนเกษตรกรไม่สามารถควบคุมได้ เป็นอุปสรรคที่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงและผลกระทบต่อพื้นที่เกษตร 2) ปัจจัยด้านความอ่อนไหวในการรับผลกระทบ เป็นปัจจัยที่แสดงให้เห็นถึงความอ่อนไหวหรือจุดอ่อนของพื้นที่และครัวเรือนเกษตรกรในการทำเกษตร และ 3) ปัจจัยด้านศักยภาพในการรับมือ เป็นปัจจัยที่ครัวเรือนเกษตรกรสามารถดำเนินการเพื่อลดผลกระทบและความเปราะบางที่เกิดขึ้นจากการใช้พื้นที่ต้นน้ำด้านการเกษตรได้ งานวิจัยครั้งนี้จึงสรุปแนวทางเพื่อลดความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำออกเป็น 2 แนวทาง คือ 1) แนวทางการลดความเสี่ยงซึ่งเป็นผลจากการเปิดรับผลกระทบของพื้นที่และความอ่อนไหวจากการใช้พื้นที่ต้นน้ำด้านการเกษตรของครัวเรือน คือการปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำเกษตรและวิถีการผลิตให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ต้นน้ำ การสร้างความมั่นคงให้กับเกษตรกรและระบบนิเวศบริเวณของพื้นที่ต้นน้ำ ได้แก่ การทำเกษตรแบบวนเกษตร เกษตรผสมผสาน และเกษตรธรรมชาติ รวมถึงการปลูกพืชคลุมดิน เพื่อลดความเสี่ยงจากการพังทลายของดิน และ 2) แนวทางการเพิ่มศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ คือการเพิ่มขีดความสามารถหรือการหาแนวทางตั้งรับผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น ได้แก่ การหาแนวทางเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร การหารายได้เสริมนอกภาคการเกษตร การจัดทำสื่อการทำเกษตรที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ต้นน้ำ การรวมกลุ่มเพื่อบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เช่น การสร้างฝาย การทำธนาคารเกษตรริมน้ำ และการจัดการการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ซึ่งเป็นสิ่งที่ครัวเรือนเกษตรกรสามารถดำเนินการเองได้ นอกจากนี้ในส่วนของหน่วยงานภาครัฐและเอกชนสามารถสนับสนุนและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ตามความเหมาะสมและความต้องการของพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมศักยภาพเกษตรกรในการลดความเปราะบางและรับมือกับผลกระทบ และสามารถทำการเกษตรบริเวณต้นน้ำได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2543). เอกสารประกอบคำบรรยายการเตรียมนิสิตในโครงการ “TUCED-SLUSE” ใน การประชุมสัมมนา นานาชาติ เรื่อง “การจัดการลุ่มน้ำ ต้นน้ำ และปลายน้ำในการจัดการป่าอนุรักษ์ ผู้จัดการและแนวปฏิบัติใหม่”. วันที่ 5 สิงหาคม 2543.
- [2] นิวัติ เรืองพานิช. (2546). การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ ฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] กองประสานงานจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (มปป). การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.onep.go.th/nrem/index.php/nrem-operation/policy/wsc-project>.
- [4] กาญจน์เชอร์ ชูชีพ และ กรรพ พงศ์พิบูลย์เกียรติ. (2548). รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำภาคใต้. การประชุม วิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] อธิศ แสงอาทิตย์. (2552). การจัดการน้ำของชุมชนแบบมีส่วนร่วม: กรณีศึกษาบ้านสวนกล้วย ตำบลกกทอง อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย. วิทยานิพนธ์ ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- [6] สถาบันวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2559). โครงการการพัฒนาฐานข้อมูลสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2559, จาก http://slb-gis.envi.psu.ac.th/home1/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=435.

- [7] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. **A Special Report of Working Group I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press.
- [8] De Lange, H.J., Sala, S., Vighi, M. and Faber, J.H. (2009). “Ecological vulnerability in risk assessment – A review and perspective”, **Science of the Total Environment**. 408, 3871-3879.
- [9] Holsten, A. and Kropp, J.P. (2012). “An integrated and transferable climate change vulnerability assessment for regional application”, **Natural Hazards**. 64, 1977-1999.
- [10] Jabareen, Y. (2012). Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. **Cities**. 31, 220-229.
- [11] Buckley, P. J., Clegg, L. J., Cross, A.R. and Liu, X. (2007). “The Determinants of Chinese outward foreign direct investment”, in; Voss, Hinrich; and Zhen, Ping”, **Journal of International Business Studies**. 38, 499-518.
- [12] สำนักงานประสานงานการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. (2555). **โครงการอนุรักษ์ต่อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**. รายงานฉบับสมบูรณ์.
- [13] จารุวรรณ เกษมทรัพย์ มณี พินิจการ และศศิพรณ บิลมาโนช. (2556). **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการความเปราะบาง การรับรู้ และการปรับตัวของเกษตรกรในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ**. สำนักงานกองทุนวิจัย.

การตรวจหายีนดื้อยาชนิดออกซาคิลลินในอะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ ที่แยกได้ จากโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช

Detection of Oxacillinase Genes in *Acinetobacter baumannii* Isolated from the Maharaj Nakhon Si Thammarat Hospital

จิรารัตน์ สองสี^{1*}, สุมณฑา กล้าคง², หวันต์สกิน ปะดุกา³, อาชีเยาะ หะมะ⁴ และปิยะวิทย์ อรชร⁵
Jirarat Songsri^{1*}, Sumonta Klakong², Wantaskeen Paduka³, Arseeyoh Ha-ma⁴ and Piyawit Orachorn⁵

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหายีนดื้อยาชนิดออกซาคิลลินในอะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ จำนวน 68 ไอโซเลต ซึ่งแยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช การหาค่าความเข้มข้นของยาอิมิพีแนมและเมโรพิแนมที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration; MIC) โดยวิธี agar dilution พบว่าแบคทีเรียทั้งหมดคือดื้อยาอิมิพีแนมและเมโรพิแนม โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 16 ถึง 64 และ 16 ถึง ≥ 128 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ การตรวจหายีนดื้อยาชนิด bla_{OXA-23} -like, bla_{OXA-24} -like, bla_{OXA-51} -like และ bla_{OXA-58} -like โดยวิธี multiplex-PCR พบว่าแบคทีเรียทุกไอโซเลต (ร้อยละ 100) มียีน bla_{OXA-23} ซึ่งเป็นยีนดื้อยาที่พบบ่อยในอะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ ที่ดื้อต่อยาคาร์บาเพนิมส์ ผลการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลสำคัญแก่เจ้าหน้าที่ในการหามาตรการเพื่อเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันการแพร่กระจายของแบคทีเรียดื้อยาในโรงพยาบาลต่อไป

คำสำคัญ: อะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ ออกซาคิลลินส bla_{OXA-23}

¹ อ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² นักเทคนิคการแพทย์ งานธนาคารเลือด โรงพยาบาลค่ายวชิราวุธ นครศรีธรรมราช 80000

³ นักเทคนิคการแพทย์ งานธนาคารเลือด โรงพยาบาลวชิระภูเก็ต 83000

⁴ นักเทคนิคการแพทย์ กลุ่มงานเทคนิคการแพทย์ โรงพยาบาลศรีสาค 96150

⁵ นักเทคนิคการแพทย์ กลุ่มงานจุลชีววิทยาคลินิก โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช 80000

¹ Lecturer, Dr., Department of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, 80161

² Medical technologist, Blood Transfusion Medicine Section, Wachirawut Camp Hospital, 80000

³ Medical technologist, Blood Transfusion Medicine Section, Vachira Phuket Hospital, 83000

⁴ Medical technologist, Medical Technology Unit, Srisakorn Hospital, 96150

⁵ Medical technologist, Clinical Microbiology Unit, Maharaj Nakhon Si Thammarat Hospital, 80160

* Corresponding author: Tel.:075-672138. E-mail address: jirarat.so@wu.ac.th

เอนไซม์คาร์บาพินิมเสชนิด OXA เป็นเอนไซม์ beta-lactamases ที่อยู่ใน class D ซึ่งสามารถสลายยาในกลุ่มเพนิซิลิน อ็อกซาซอลิน และคาร์บาพีแนมส์ ได้ เอนไซม์ชนิดนี้จะไม่ถูกยับยั้งโดย Ethylene Diaminetetraacetic Acid (EDTA) และ Clavulanic Acid (CA) [6-7] ปัจจุบันสามารถจำแนกชนิดของเอนไซม์ OXA ที่สลายยาในกลุ่มคาร์บาพีแนมส์ออกเป็น 5 กลุ่ม ตามความเหมือนกันหรือความคล้ายคลึงกันของลำดับกรดอะมิโนของเอนไซม์ ได้แก่ กลุ่ม OXA-23-like ซึ่งประกอบด้วย เอนไซม์ชนิด OXA-23 OXA-27 และ OXA-49 กลุ่ม OXA-24-like ประกอบด้วยเอนไซม์ชนิด OXA-24 OXA-25 OXA-26,

OXA-40 และ OXA-143 กลุ่ม OXA-51-like ประกอบด้วยเอนไซม์ชนิด OXA-51 OXA-64 OXA-65 OXA-66 OXA-68 OXA-69 OXA-70 OXA-71 OXA-78 OXA-79 OXA-80 OXA-82 OXA-83 และ OXA-109 กลุ่ม OXA-58-like ซึ่งมีเอนไซม์ OXA-58 เพียงชนิดเดียว และกลุ่ม OXA-143-like ซึ่งจะมีเอนไซม์ OXA-143 เพียงชนิดเดียว [8] แบคทีเรียที่มียีนคือยาเหล่านี้สามารถถ่ายทอดยีนดื้อยาไปยังแบคทีเรียอื่นๆ ได้ โดยผ่านทางโครโมโซม พลาสมิด หรือ Mobile Element ทำให้เกิดการแพร่กระจายและมีการเพิ่มจำนวนของเชื้อดื้อยามากขึ้น [9] ปัจจุบันมีรายงานเชื้อ *A. baumannii* คือต่อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์โดยการผลิตเอนไซม์คาร์บาเพนิมชนิด OXA จากประเทศต่างๆ ทั่วโลกเพิ่มขึ้น เช่น มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่ต่อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ในบริเวณทวีปอเมริกาใต้ ยุโรป เอเชีย และออสเตรเลีย มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่ผลิตเอนไซม์ OXA-24 หรือ OXA-40 ในบริเวณทวีปอเมริกาเหนือ และนอกจากนี้ มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่ผลิตเอนไซม์ OXA-58 ในบางประเทศในทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรป และออสเตรเลีย [9-10] สำหรับในประเทศไทยจากการสำรวจความไวของเชื้อ *Acinetobacter* spp. ต่อยา imipenem ในโรงพยาบาลศูนย์จำนวน 8 แห่ง ในปี พ.ศ. 2541 พบเชื้อดื้อต่อยา imipenem คิดเป็นร้อยละ 4 [11] จากนั้นมีการศึกษาอุบัติการณ์และความไวของเชื้อ *A. baumannii* ต่อยาต้านจุลชีพชนิดต่างๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2548 โดยการรวบรวมข้อมูลการทดสอบความไวของเชื้อต่อยาจากโปรแกรม WHONET ที่ส่งจากโรงพยาบาลในเครือข่ายเฝ้าระวังเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพแห่งชาติ (National Antimicrobial Resistance Surveillance Thailand, NARST) จำนวน 28 แห่งทั่วประเทศ พบเชื้อ *A. baumannii* มีการดื้อต่อยา imipenem เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.1 ในปี พ.ศ. 2543 เป็นร้อยละ 46.7 ในปี พ.ศ. 2548 โดยในปี พ.ศ. 2548 พบเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยา imipenem ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยจากโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง กรุงเทพมหานคร ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ คิดเป็นร้อยละ 60.2 54.3 51.2 44.1 44.0 และ 23.5 ตามลำดับ [12] ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะตรวจหายีนคือยาคัดลอกยาลีน OXA ในแบคทีเรีย *A. baumannii* ที่ต่อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ที่แยกได้จากโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช เพื่อจะทราบกลไกการดื้อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์ในแบคทีเรียชนิดนี้

วิธีการวิจัย

แบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษา แบคทีเรีย *A. baumannii* จำนวน 68 ไอโซเลต ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วย ชนิดเสมหะ เลือด หนอง ปัสสาวะ และน้ำไขสันหลัง จำนวน 50, 8, 5, 4, และ 1 ตามลำดับ และเป็นผู้ป่วยที่ไม่ซ้ำรายกันในโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 โดยแบคทีเรียเหล่านี้ให้ผลดื้อต่อยา imipenem และ/หรือ meropenem ด้วยวิธี disk diffusion โดยมีขนาดโซนยับยั้งต่อยา imipenem (10 ไมโครกรัม) และ meropenem (10 ไมโครกรัม) เท่ากับหรือน้อยกว่า 15 มิลลิเมตร [13]

การทดสอบความไวของเชื้อต่อยาต้านจุลชีพ การหาค่าความเข้มข้นของยาที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration; MIC) ด้วยวิธี agar dilution โดยการทดสอบความเข้มข้นของยา imipenem และ meropenem ในช่วงความเข้มข้น 0.25 ถึง 128 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร และเชื้อที่ใช้ในการทดสอบประมาณ 10^4 CFU/spot สำหรับแบคทีเรียอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบนี้ได้แก่ *Escherichia coli* ATCC 25922 และ *P. aeruginosa* ATCC 27853 [13-14]

การตรวจหายีน oxacillinases (OXA) แบคทีเรียที่ต้องการทดสอบทั้งหมด และแบคทีเรียอ้างอิงที่ไม่มียีนคือยา OXA ได้แก่ *P. aeruginosa* ATCC 27853 จะถูกนำมาสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธีการต้ม จากนั้นนำดีเอ็นเอของเชื้อแบคทีเรียมาตรวจหายีน *bla*_{OXA-23}-like, *bla*_{OXA-24}-like, *bla*_{OXA-51}-like และ *bla*_{OXA-58}-like ด้วยวิธี multiplex-PCR โดยใช้ไพรเมอร์ดังแสดงในตารางที่ 1 [15] สำหรับปริมาณสุดท้ายของปฏิกิริยา multiplex-PCR เท่ากับ 25 ไมโครลิตร โดยมีปริมาณดีเอ็นเอต้นแบบ จำนวน 2 ไมโครลิตร และมีความเข้มข้นสุดท้ายของส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ ไพรเมอร์แต่ละเส้น, PCR buffer (Vivantis, Malaysia), Deoxynucleotide Triphosphates (dNTPs) (Vivantis, Malaysia), MgCl₂ (Vivantis, Malaysia) และเอนไซม์ Taq DNA

polymerase (Vivantis, Malaysia) เท่ากับ 0.80 ไมโครโมลาร์, 1x, 200 ไมโครโมลาร์, 2 มิลลิโมลาร์ และ 0.63 หน่วย ตามลำดับ เพิ่มจำนวนของยีนที่สนใจโดยใช้เครื่อง PCR Mycycler™ (Biorad, England) สำหรับขั้นตอนการทำ multiplex-PCR ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นตรวจ PCR product ของยีนดื้อยา OXA (ตารางที่ 1) ด้วยวิธีเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้ 1% agarose gel (Vivantis, Malaysia)

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของไพรเมอร์ที่ใช้ในการตรวจหาชนิดยีน *bla*_{OXA-23}-like, *bla*_{OXA-24}-like, *bla*_{OXA-51}-like และ *bla*_{OXA-58}-like [15]

ยีน	ชื่อไพรเมอร์	ลำดับนิวคลีโอไทด์ (5' → 3')	ขนาด PCR product (bp)
<i>bla</i> _{OXA-23} -like	OXA23-F	GAT CGG ATT GGA GAA CCA GA	501
	OXA23-R	ATT TCT GAC CGC ATT TCC AT	
<i>bla</i> _{OXA-24} -like	OXA24-F	GGT TAG TTG GCC CCC TTA AA	246
	OXA24-R	AGT TGA GCG AAA AGG GGA TT	
<i>bla</i> _{OXA-51} -like	OXA51-F	TAA TGC TTT GAT CGG CCT TG	353
	OXA51-R	TGG ATT GCA CTT CAT CTT GG	
<i>bla</i> _{OXA-58} -like	OXA58-F	AAG TAT TGG GGC TTG TGC TG	599
	OXA58-R	CCC CTC TGC GCT CTA CAT AC	

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการทำ multiplex-PCR ในการตรวจหาชนิดยีนดื้อยา OXA [15]

ขั้นตอน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา	จำนวนรอบ (รอบ)
Initiation Denaturation	94	5 นาที	1
Denaturation	94	25 วินาที	30
Annealing	52	40 วินาที	
Extension	72	50 วินาที	
Final Extension	72	6 นาที	1

การตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน นำ PCR product ของยีนที่ตรวจพบมาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ชุดน้ำยาสำเร็จรูป E.Z.N.A.[®] Gel Extraction Kit (Omega Bio-tek Inc., USA) จากนั้นตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน OXA ด้วยเครื่องวิเคราะห์หัตถ์โนมิติ โดยใช้ไพรเมอร์ Forward และ Reverse ที่จำเพาะกับยีน OXA (ตารางที่ 1) เป็น sequencing primer ที่บริษัท First BASE Laboratories Sdn Bhd ประเทศมาเลเซีย แล้วนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ความเหมือนกับยีน OXA ชนิดต่างๆ ที่มีการรายงานไว้ในฐานข้อมูล <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> โดยใช้โปรแกรม Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

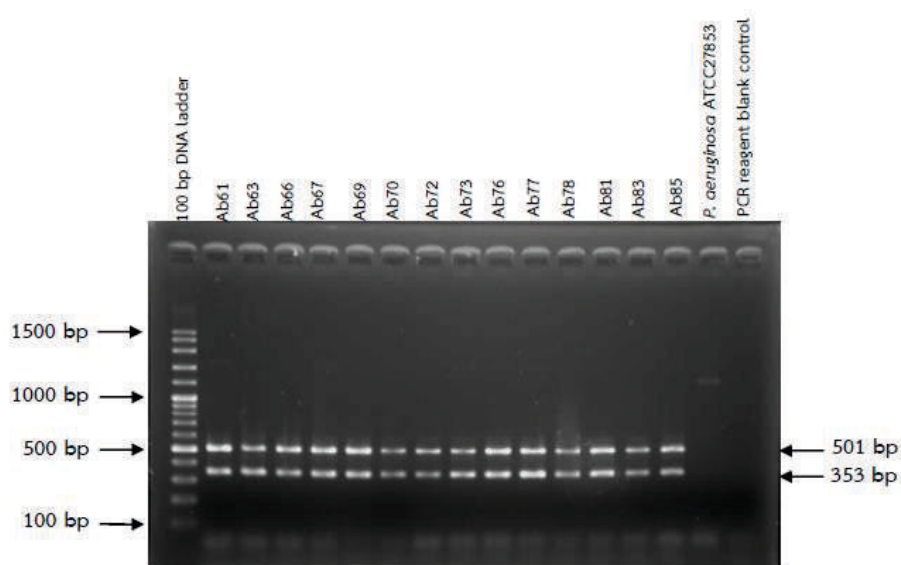
จากการนำแบคทีเรีย *A. baumannii* จำนวน 68 ไอโซเลต ซึ่งแยกจากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยชนิดเสมหะ เลือด ปัสสาวะ หนอง และน้ำไขสันหลัง จำนวน 50 8 5 4 และ 1 ไอโซเลต ตามลำดับ มาทดสอบความไวของเชื้อต่อยา imipenem และ meropenem ด้วยวิธี agar dilution พบว่าแบคทีเรียทั้งหมดคือเชื้อดื้อยาทั้งสองชนิดสูง โดยมีค่า MIC ต่อยา imipenem อยู่ในช่วง 16 ถึง 64 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่า MIC₅₀ และ MIC₉₀ เท่ากับ 32 และ 64 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่า MIC ต่อยา meropenem อยู่ในช่วง 16 ถึง ≥128 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่า MIC₅₀ และ MIC₉₀ เท่ากับ 64 และ ≥128 ไมโครกรัมต่อ

มิลลิกรัม (ตารางที่ 3) เมื่อนำแบคทีเรียทั้งหมดมาตรวจหา OXA พบว่าแบคทีเรียทุกตัวอย่าง ตรวจพบ PCR product ขนาด 501 bp และ 353 bp (ภาพที่ 1) จากนั้นได้นำ PCR product ขนาด 501 bp และ 353 bp จากแบคทีเรียไอโซเลต Ab1 Ab26 Ab61 และ Ab116 ไปตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ แล้วตรวจวิเคราะห์ความเหมือนของลำดับนิวคลีโอไทด์กับยีน OXA ชนิดต่างๆ ที่มีการรายงานไว้ในฐานข้อมูล <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> โดยใช้โปรแกรม BLASTn พบว่า PCR product ขนาด 501 bp จากแบคทีเรียทั้ง 4 ไอโซเลต มีความเหมือนกับยีน *bla_{OXA-23}* (GenBank accession no. LC103136.1) ร้อยละ 100 ในขณะที่ PCR product ขนาด 353 bp จากแบคทีเรียทั้ง 4 ไอโซเลต มีความเหมือนกับยีน *bla_{OXA-51}* (GenBank accession no. KY126228.1) ร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียทั้ง 68 ไอโซเลต มียีน *bla_{OXA-23}* ร่วมกับ *bla_{OXA-51}* คิดเป็นร้อยละ 100 แบคทีเรียที่มียีน *bla_{OXA-23}* จะมีการสร้างเอนไซม์ OXA-23 มาทำลาย beta-lactam ring ในโครงสร้างของยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ทำให้ยาไม่สามารถออกฤทธิ์ได้ แบคทีเรียจึงเกิดการดื้อยาขึ้น สำหรับยีน *bla_{OXA-51}* ซึ่งเป็นยีนที่พบโดยธรรมชาติใน *A. baumannii* และสามารถใช้นี้ในการพิสูจน์ชนิดของ *A. baumannii* ได้ [16] แต่หากมี insertion sequence เช่น *ISAbal* หรือ *ISAb9* สอดแทรกอยู่ในตำแหน่งโปรโมเตอร์ของยีน *bla_{OXA-51}* ทำให้มีการแสดงออกของยีนชนิดนี้เพิ่มมากขึ้น (Overexpression) ส่งผลให้ *A. baumannii* ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ได้ [17-18] อย่างไรก็ตามเนื่องจากในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการตรวจหา insertion sequence ในตำแหน่งโปรโมเตอร์ของยีน *bla_{OXA-51}* จึงอาจจะยังไม่สามารถบอกได้ว่าการดื้อยา กลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ของแบคทีเรียเกิดจากการมี *bla_{OXA-51}* ร่วมด้วย สำหรับความชุกของแบคทีเรีย *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยา กลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยมียีน *bla_{OXA-23}* ในการศึกษาที่สูงใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ ที่เคยมีรายงานทั้งจากประเทศไทยหรือประเทศอื่นๆ ที่พบว่าแบคทีเรีย *A. baumannii* ส่วนใหญ่ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ เกิดจากการที่แบคทีเรียมียีน *bla_{OXA-23}* โดย Niumsup และคณะ [19] ได้รายงานการพบเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ซึ่งแยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยในโรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 เป็นครั้งแรกในประเทศไทย นอกจากนี้ยังพบเชื้อ *A. baumannii* บางไอโซเลต ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ร่วมกับเอนไซม์ MBLs ชนิด IMP ต่อมา Thapa และคณะ [20] ได้รายงานการพบเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ในโรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพมหานคร และเมื่อไม่นานมานี้ ศรีมา และคณะ [21] พบเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ซึ่งแยกได้จากสิ่งส่งตรวจทางคลินิกของผู้ป่วยในของโรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ จังหวัดอุบลราชธานี มียีน *bla_{OXA-23}* คิดเป็นร้อยละ 100 หรือรายงานจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก เช่น มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ในบริเวณทวีปอเมริกาใต้ ยุโรป เอเชีย และออสเตรเลีย [10]

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความไวของแบคทีเรีย *A. baumannii* ทั้ง 68 ไอโซเลต ต่อยา imipenem และ meropenem ด้วยวิธี agar dilution

สารต้านจุลชีพ	MIC Breakpoint ^a			MIC (µg/ml)	
	S	R	MIC range	MIC ₅₀	MIC ₉₀
ช่วงความเข้มข้นของยา (µg/ml)					
Imipenem (0.25-128)	≤4	≥16	16 ถึง 64	32	64
Meropenem (0.25-128)	≤4	≥16	16 ถึง ≥128	64	≥128

^a Clinical and Laboratory Standard Institute (2012); S, Susceptible; R, Resistant



ภาพที่ 1 การตรวจหาชนิด OXA ในแบคทีเรียตัวอย่าง Ab61, Ab63, Ab66, Ab67, Ab69, Ab70, Ab72, Ab73, Ab76, Ab77, Ab78, Ab81, Ab83, Ab85 ด้วยวิธี multiplex-PCR

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความชุกของแบคทีเรีย *A. baumannii* ที่มีชนิดของยีน OXA จากแบคทีเรียจำนวน 68 ไอโซเลต ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ พบว่าแบคทีเรียทั้ง 68 ไอโซเลต (ร้อยละ 100) มียีน *bla*_{OXA-23} แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่ดื้อต่อยาต้านจุลชีพชนิดคาร์บาเพนิมส์ เกิดจากแบคทีเรียที่มีการสร้างเอนไซม์ชนิด OXA-23 ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ น่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับแพทย์ในการเลือกใช้ยาในการรักษาผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และช่วยให้เจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลได้ตระหนักถึงการหามาตรการในการวางแผนป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายของแบคทีเรียดื้อยาในโรงพยาบาลต่อไป

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณวดี ชนะวงศ์ ภาควิชาจุลชีววิทยาคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับความอนุเคราะห์แบคทีเรียอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบความไวของเชื้อต่อต้านจุลชีพ และขอขอบพระคุณ คุณปิยวิทย์ อรรชร นักเทคนิคการแพทย์ หน่วยจุลชีววิทยาคลินิก โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Maragakis, L.L. and Perl, T.M. (2008). “*Acinetobacter baumannii*: epidemiology, antimicrobial resistance, and treatment options”, *Clinical Infectious Diseases*. 46(8), 1254-1263.
- [2] Papp-Wallace, K.M., Endimiani, A., Taracila, M.A. and Bonomo, R.A. (2011). “Carbapenems: past, present, and future”, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 55(11), 4943-4960.

- [3] Dejsirilert, S., Tiengrim, S., Sawanpanyalert, P., Aswapokee, N. and Malathum, K. (2009). "Antimicrobial resistance of *Acinetobacter baumannii*: six years of National Antimicrobial Resistance Surveillance Thailand (NARST) Surveillance", **Journal of the Medical Association of Thailand**. 92(Suppl4), S34-S45.
- [4] Saelao, S. and Utiswannakul, A. (2008). "Therapy for patient with multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*", **Journal of Health Research**. 22(3), 131-136.
- [5] Perez, F., Hujer, A.M., Hujer, K.M., Decker, B.K., Rather, P.N. and Bonomo, R.A. (2007). "Global challenge of multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*", **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**. 51(10), 3471-3484.
- [6] Ambler, R.P. (1980). "The structure of β -lactamases", **Philosophical Transactions of the Royal Society B**. 289(1036), 321-331.
- [7] Bush, K., Jacoby, G.A. and Medeiros, A.A. (1995). "A functional classification scheme for β -lactamases and its correlation with molecular structure", **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**. 39(6), 1211-1233.
- [8] Opazo, A., Dominguez, M., Bello, H., Amyes, S.G.B. and Gonzalez-Rocha, G. (2012). "OXA-type carbapenemases in *Acinetobacter baumannii* in South America", **The Journal of Infection in Developing Countries**. 6(4), 311-316.
- [9] Peleg, A.Y., Seifert, H. and Paterson, D.L. (2008). "*Acinetobacter baumannii*: emergence of a successful pathogen", **Clinical Microbiology Reviews**. 21(3), 538-582.
- [10] Zarrilli, R., Giannouli, M., Tomasone, F, Triassi, M. and Tsakris, A. (2009). "Carbapenem resistance in *Acinetobacter baumannii*: the molecular epidemic features of an emerging problem in health care facilities", **The Journal of Infection in Developing Countries**. 3(5), 335-341.
- [11] Biedenbach, D.J., Johnson, D.M. and Jones, R.N. (1999). "In vitro evaluation of cefepime and other broad-spectrum β -lactams in eight medical centers in Thailand", **Diagnostic Microbiology and Infectious Disease**. 35(4), 325-331.
- [12] Dejsirilert, S., Tiengrim, S., Sawanpanyalert, P., Aswapokee, N. and Malathum, K. (2009). "Antimicrobial resistance of *Acinetobacter baumannii*: six years of National Antimicrobial Resistance Surveillance Thailand (NARST) surveillance", **Journal of the Medical Association of Thailand**. 92(Suppl 4), S34-S45.
- [13] Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2012). **Performance standards for antimicrobial susceptibility testing; twenty-second informational supplement, M100-S22** (22nd ed). Wayne PA: Clinical and Laboratory Standards Institute.
- [14] Washington, J.A. (1985). **Laboratory procedures in clinical microbiology** (2nd ed). New York: Springer-Verlag.
- [15] Woodford, N., Ellington, M.J., Coelho, J.M., Turton, J.F., Ward, M.E., Brown, S. *et al.* (2006). "Multiplex PCR for genes encoding prevalent OXA carbapenemases in *Acinetobacter* spp.", **International Journal of Antimicrobial Agents**. 27(4), 351-353.
- [16] Turton, J.F., Woodford, N., Glover, J., Yarde, S., Kaufmann, M.E., Pitt, T.L. (2006). "Identification of *Acinetobacter baumannii* by detection of the blaOXA-51-like carbapenemase gene intrinsic to this species", **Journal of Clinical Microbiology**. 44(8), 2974-2976.
- [17] Turton, J.F., Ward, M.E., Woodford, N., Kaufmann, M.E., Pike, R., Livermore, D.M. *et al.* (2006). "The role of IS*Aba1* in expression of OXA carbapenemase genes in *Acinetobacter baumannii*", **FEMS Microbiology Letters**. 258(1), 72-77.

- [18] Figueiredo, S., Poirel, L., Papa, A., Koulourida, V. and Nordmann, P. (2009). "Overexpression of the naturally occurring *bla*_{OXA-51} gene in *Acinetobacter baumannii* mediated by novel insertion sequence IS_{Aba9}", **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**. 53(9), 4045-4047.
- [19] Niumsup, P.R., Boonkerd, N., Tansawai, U. and Tiloklurs, M. (2009). "Carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* producing OXA-23 in Thailand", **Japanese Journal of Infectious Diseases**. 62(2), 152-154.
- [20] Thapa, B., Tribuddharat, C., Srifuengfung, S. and Dhiraputra, C. (2010). "High prevalence of *bla*_{OXA-23} in oligoclonal carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* from Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand", **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 41(3), 625-635.
- [21] ศิริมา สุวรรณภูฏ จันตะมา รัชพงษ์ คุณะวัฒนกุล ศุภเดช แสงสานนท์ ศราวุฒิ เสมรัมย์ย์ นิตยา วีระวัฒนสุข และ เขมวิทช์ จันตะมา. (2556). "ตรวจสอบเอนไซม์คาร์บาปีนิเมสและยีนกลุ่ม *bla*_{OXA-23} ในแบคทีเรีย *Acinetobacter baumannii* ที่ดื้อต่อยากลุ่มคาร์บาปีนิมในโรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์", **วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน**. 9(2), 99-109.

ฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยง

ชนิด SKBR-3

Effect of Synthetic Chalcone Derivatives on Growth Inhibition and Apoptosis

Induction in Breast Cancer Cell Line (SKBR-3)

นุรดีนา จารง^{1*}, วรangkanา ชุงลอก², มลติรา พรหมกัน³ และอภิชาติ สุขสำราญ⁴

Nurdina Charong^{1*}, Warangkana Chunglok², Moltira Promkan³ and Apichart Suksamrarn⁴

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ที่ปรับโครงสร้าง 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและชักนำการตายของเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี MTT และ การย้อม DAPI ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าสารสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ SKBR-3 ที่ความเข้มข้น IC_{50} เท่ากับ 18.35 และ 15.93 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อนำเซลล์ SKBR-3 มาบ่มด้วยสารอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ที่ความเข้มข้น IC_{50} เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำไปย้อมด้วย DAPI พบว่านิวเคลียสของเซลล์ SKBR-3 มีการหดตัวของโครมาติน และมีการแตกเป็นชิ้นส่วน ซึ่งเป็นลักษณะการตายแบบอะพอพโทซิส จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด มีฤทธิ์ในการต้านเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 โดยชักนำให้เกิดการตายแบบอะพอพโทซิสได้ จึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการศึกษาต่อยอดเชิงลึกต่อไปในการค้นหาสารที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็งเต้านม

คำสำคัญ: ชาโลน SKBR-3 มะเร็งเต้านม

Abstract

This study aims to examine the effects of synthetic chalcone derivatives including 4-methoxychalcone and 4-chlorochalcone. Their anti-proliferative and anti-apoptotic effects on breast cancer cell line SKBR-3 were investigated by MTT and DAPI staining, respectively. Results from MTT assay indicated that 4-methoxychalcone and 4-chlorochalcone could inhibit the proliferation of SKBR-3 cell in a dose dependent manner with IC_{50} doses of 18.35 μ g/ ml and 15.93 μ g/ ml,

¹ อ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² ผศ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

³ อ.ดร., ภาควิชาจุลทรรศน์ศาสตร์คลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

⁴ ศ.ดร., ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

¹ Lecturer, Dr., Department of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

² Asst. Prof. Dr., Department of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

³ Lecturer, Dr., Department of Clinical Microscopy, Faculty of Medical Technology, Mahidol University, Nakhon Pathom, 73170

⁴ Prof. Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok, 10240

* Corresponding author: Tel.: 075-672181. E-mail address: nurdina.ch@wu.ac.th

respectively. Incubation of SKBR-3 cell with IC_{50} doses of both synthetic chalcone derivatives for 24 hours was found increasing apoptosis of this cell. In addition, nuclear condensation could be visualized by DAPI staining. These preliminary results suggest that two types of synthetic chalcone derivatives could be candidate compounds for further investigations of anti-breast cancer agent.

Keywords: Chalcone, SKBR-3, Breast Cancer

บทนำ

ประเทศไทยมีจำนวนผู้ป่วยมะเร็งเต้านมมากเป็นอันดับหนึ่งของกลุ่มโรคมะเร็งในสตรี โดยมีอุบัติการณ์เพิ่มขึ้นจาก 20.5 คน เป็น 30.7 คน ต่อประชากรสตรี 100,000 คนต่อปี [1] การรักษามะเร็งเต้านมในปัจจุบันมีหลายวิธีได้แก่การผ่าตัด การฉายแสง การใช้ยาต้านฮอร์โมน และเคมีบำบัด โดยพบว่า การรักษาในระยะที่ก่อนมะเร็งยังไม่แพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น จะได้ผลดีโดยการผ่าตัดหรือฉายรังสี ส่วนมะเร็งที่มีการแพร่กระจายแล้วจะต้องทำการรักษาด้วยเคมีบำบัด [2] ปัจจุบันมีการนำสมุนไพรและสารสกัดจากสมุนไพรมาใช้ในการบำบัดรักษาโรคหลายชนิดรวมถึงโรคมะเร็ง มีพัฒนาการสกัดสารออกฤทธิ์สำคัญจากสมุนไพรโดยตัวทำละลายต่างๆจนได้สารที่บริสุทธิ์ และนำมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ เช่น ฤทธิ์การต้านการเจริญของเซลล์มะเร็ง การต้านการเจริญของแบคทีเรีย รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษในสัตว์ทดลอง [3] นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์และปรับโครงสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสมุนไพรต่างๆ เพื่อหาสารต้นแบบที่มีฤทธิ์ดี เพื่อนำไปพัฒนาเป็นยาในอนาคต ฟลาโวนอยด์เป็นสารที่พบในผัก ผลไม้ ชา หรือไวน์ แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีกเป็น 9 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ flavonols flavones flavanones flavan-3-ols anthocyanidins isoflavones proanthocyanidins aurones และ chalcones [4] การศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การรับประทานพืช ผัก ที่มีสารฟลาโวนอยด์สามารถลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ มะเร็งปอด มะเร็งต่อมลูกหมาก และมะเร็งตับอ่อน [5] การศึกษานี้ได้เลือกสารกลุ่มชาโคโนมาทดสอบ เนื่องจากพบได้ในพืชหลายชนิด และนอกจากชาโคโนสกัดแยกได้จากธรรมชาติแล้ว ยังสังเคราะห์ปรับโครงสร้างเนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่ไม่ซับซ้อน สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ง่าย โดยให้มีหมู่แทนที่ได้ที่ตำแหน่งต่างๆกันหลายตำแหน่ง ส่งผลให้สามารถสร้างสารอนุพันธ์ได้หลากหลาย การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารชาโคโนสังเคราะห์มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายด้าน เช่น ฤทธิ์ต้านเบาหวาน [6] ฤทธิ์ต้านมะเร็ง [7] ฤทธิ์ต้านภาวะความดันโลหิตสูง [8] ฤทธิ์ต้านการอักเสบ [9] ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [10] และฤทธิ์ต้านมาลาเรีย [11] เป็นต้น สารอนุพันธ์ชาโคโน หรือ ชาโคโนที่ปรับแต่งโครงสร้างแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สามารถแสดงฤทธิ์ที่ต่างกัน เช่น chemopreventors หรือ chemosensitizers ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารและชนิดของเซลล์ที่ใช้ทดสอบ [12] การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโคโนสังเคราะห์ จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการชักนำการตายในเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ซึ่งทั้ง 2 สารสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีรายงานการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งปอดเพาะเลี้ยงชนิด A549 [13] แต่ยังไม่มียาฤทธิ์การยับยั้งมะเร็งเต้านม และเนื่องจากเซลล์ SKBR3 เป็นเซลล์มะเร็งที่มีการแสดงออกของโปรตีน Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 (HER2) มาก การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 (HER2 Positive) มีแนวโน้มของความเสี่ยงของโรคมะเร็งเต้านม และมีอัตราการตายสูงถึงร้อยละ 25 ถึง 30 เมื่อเทียบกับในกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งเต้านมทั้งหมด [14] คณะผู้วิจัยจึงได้ใช้เซลล์ดังกล่าวเป็นเซลล์ตัวแทนในการศึกษาในครั้งนี้ โดยศึกษาฤทธิ์การต้านการเจริญของเซลล์มะเร็งของอนุพันธ์ชาโคโนสังเคราะห์ทั้งสองชนิดด้วยวิธี MTT และติดตามการชักนำการเกิดการตายของเซลล์แบบอะพอพโทซิส โดยการย้อมนิวเคลียสของเซลล์ที่ผ่านการบ่มสารด้วยสี DAPI เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอนุพันธ์ชาโคโนสังเคราะห์ทั้งสองสารต่อเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์

ทำการสังเคราะห์อนุพันธ์ชาลโคนที่ใช้ในการศึกษาโดยใช้ปฏิกิริยา Claisen-Schmidt condensation ตามวิธีการที่ได้รายงานมาแล้ว [15] วิธีการสั้นๆ ได้แก่ การนำสาร acetophenone กับ substituted benzaldehyde มาทำปฏิกิริยา โดยมีสารละลาย 50% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ และมีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย คนส่วนผสมเป็นเวลา 6-10 ชั่วโมง แล้วทำส่วนผสมของปฏิกิริยาให้มีฤทธิ์เป็นกรด กรองของแข็งที่เกิดขึ้น ล้างด้วยน้ำ และตกผลึกสารผลิตภัณฑ์ด้วยเอทานอล-น้ำ ในการสังเคราะห์ 4-methoxychalcone ใช้ acetophenone กับ 4-methoxybenzaldehyde ส่วนการสังเคราะห์ 4-chlorochalcone ใช้ acetophenone กับ 4-chlorobenzaldehyde ชาลโคนทั้งสองชนิดมีข้อมูลทางสเปกโทรสโกปีสอดคล้องกับที่ได้มีรายงานไว้ [16] จากนั้นนำอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด มาละลายด้วย DMSO นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วย millipore filter ที่มีขนาดรูกรอง 0.45 ไมครอน และเจือจางตามความเข้มข้นที่ต้องการใช้

2. การเพาะเลี้ยงเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3

เซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 สั่งซื้อจากบริษัท American Type Culture Collection (ATCC) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ชนิด DMEM สมบูรณ์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร มีส่วนผสมของ 10% fetal bovine serum (FBS) และ 1% penicillin-streptomycin เพาะเลี้ยงไว้ในตู้บ่มที่ปรับสภาวะเป็น 5% CO₂ อุณหภูมิ 37 °C จนเมื่อเซลล์เจริญถึงระดับความหนาแน่นร้อยละ 80 จะทำการเก็บเซลล์ด้วยวิธี trypsinization ทำการนับจำนวนโดยการย้อมด้วยสี trypan blue นับจำนวนเซลล์ที่ไม่ติดสี และคำนวณปริมาณเซลล์เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

3. การหาความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี MTT assay

เซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 จำนวน 1×10^4 เซลล์ต่อหลุม ถูกเลี้ยงในจานเพาะเลี้ยงขนาด 96 หลุม (96-well plate) ในตู้บ่มที่สภาวะ 5% CO₂ อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ทิ้ง และเติมอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยผสมกับอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ ใส่หลุมละ 200 ไมโครลิตร นำไปบ่มต่อในตู้เพาะเลี้ยงอีก 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ที่ผสมสารที่ต้องการทดสอบทิ้ง แล้วเติมสาร MTT ((3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide) (ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม / มิลลิลิตร ในอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงไปในแต่ละหลุม นำไปบ่มต่อที่ 37 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดูดน้ำยา MTT ทิ้ง แล้วเติม DMSO ลงไป หลุมละ 200 ไมโครลิตร ในแต่ละหลุม ดูผสมให้เข้ากันเบาๆ จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง microplate reader ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์ ดังสมการ $\% \text{ cell viability} = (O.D \text{ of treated cell} / O.D \text{ of control cell}) \times 100$ และคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

4. การวิเคราะห์การเกิดการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี DAPI staining

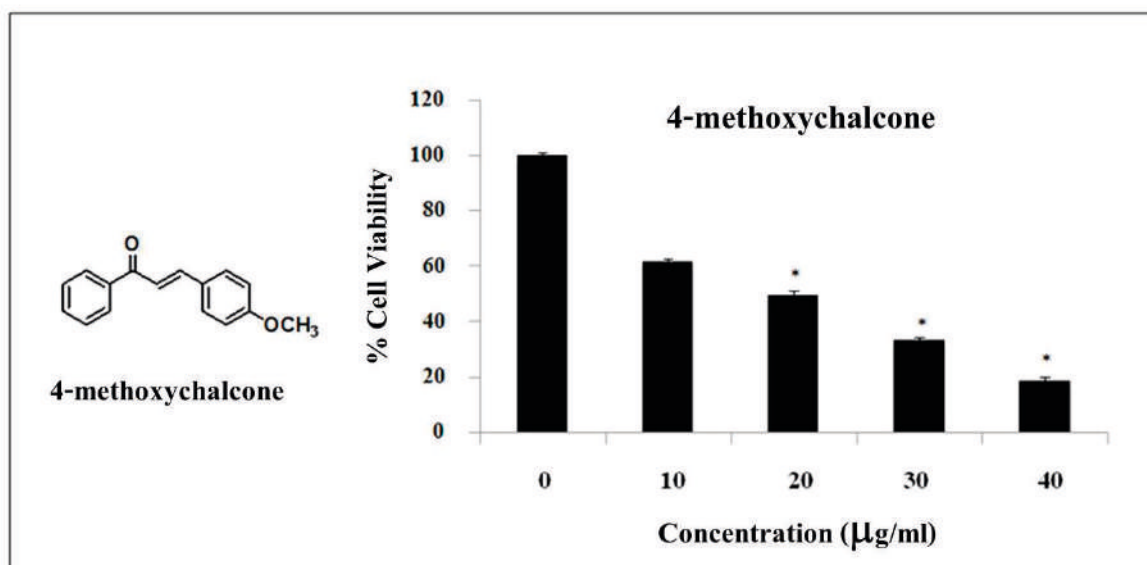
เซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ปริมาณ 1×10^5 cells ถูกเพาะเลี้ยงบน sterile cover slip ในหลุมของจานเพาะเลี้ยงเซลล์ขนาด 6 หลุม (6-well plate) และถูกบ่มในตู้บ่มที่สภาวะ 5% CO₂ ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง จากนั้นดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ออก เติมนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ 2 ชนิด ที่ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) ที่เตรียมในอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ หลุมละ 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มในตู้บ่ม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ทิ้ง ทำการล้างด้วย PBS 2 ครั้ง ทำการตรึงเซลล์ด้วย 4% paraformaldehyde เตรียมสไลด์แก้ว โดยหยด 80% glycerol ปริมาตร 20 ไมโครลิตร และ DAPI ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นสไลด์ เอียงแผ่นสไลด์ให้สารทั้งสองผสมกัน นำ cover slip วางบนแผ่นสไลด์แก้ว แล้วเคลือบด้วยน้ำยาทาเล็บ นำไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์ ที่ความยาวคลื่น 350 nm ศึกษาลักษณะรูปร่างของเซลล์ที่เกิดการตายแบบอะพอพโทซิส

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

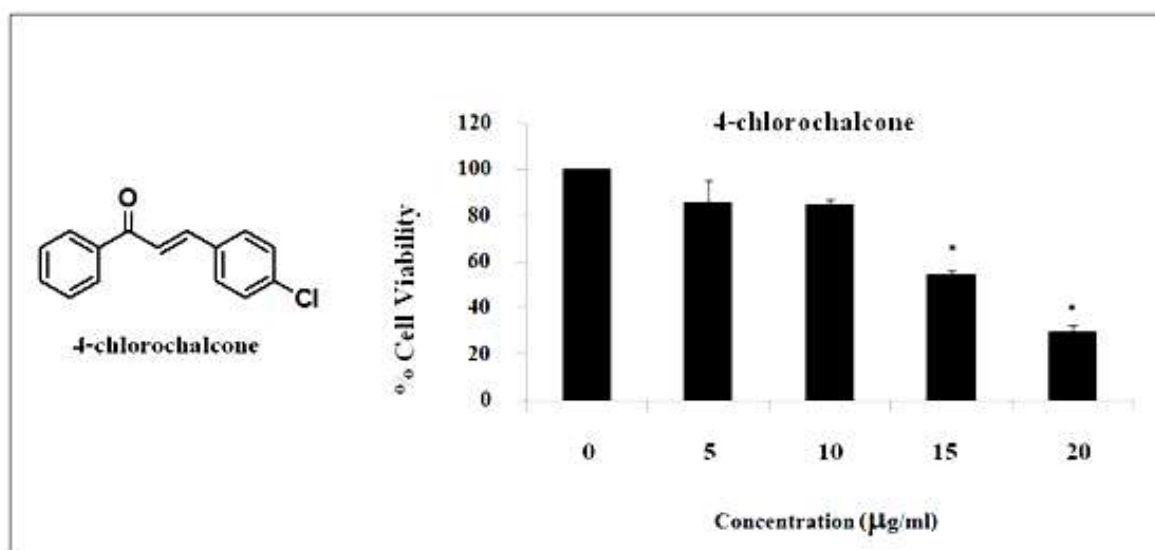
คำนวณเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเซลล์จากการทดสอบด้วยอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ 2 ชนิด โดยแสดงผลเป็นค่าสถิติแบบ $\text{mean} \pm \text{SD}$ เปรียบเทียบความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมโดยใช้สถิติแบบ One-way ANOVA ค่า $p \text{ value} < 0.05$ ถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 โดยวิธี MTT assay ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ที่ไม่เติมสาร พบว่า 4-methoxychalcone ที่ความเข้มข้น 10 20 30 และ 40 $\mu\text{g/ml}$ มีร้อยละการเจริญของเซลล์ลดลงในลักษณะแปรผันตรงกับความเข้มข้นที่ใช้ (ภาพที่ 1) การมีชีวิตรอดของเซลล์ SKBR-3 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (Inhibition Concentration: IC_{50}) เท่ากับ 18.35 $\mu\text{g/ml}$ หรือ 77.01 μM สาร 4-chlorochalcone ที่ความเข้มข้นของสาร 5 10 15 และ 20 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งได้เช่นกัน (ภาพที่ 2) ร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์ SKBR-3 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นเท่ากับ 15 และ 20 $\mu\text{g/ml}$ ($p < 0.05$) โดยค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 เท่ากับ 15.93 $\mu\text{g/ml}$ หรือ 65.64 μM และพบว่า 4-chlorochalcone มีค่า IC_{50} ต่ำกว่า 4-methoxychalcone (ตารางที่ 1) ความเป็นพิษของ DMSO ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้น 0 0.25% 0.5% 0.75% และ 1% พบร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็ง SKBR-3 เท่ากับ 94.61 ± 7.63 89.21 ± 7.94 , 94.24 ± 7.16 , 93.49 ± 3.64 และ 87.43 ± 3.05 ขึ้นันว่าผลดังกล่าวไม่ได้เกิดจาก DMSO



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของอนุพันธ์สังเคราะห์ 4-methoxychalcone และผลทดสอบการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ที่บ่มด้วยสารชาลโคนชนิดนี้ ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม
 หมายเหตุ : *, $p < 0.05$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ 0 ไม่โครกรัมต่อมิลลิลิตร



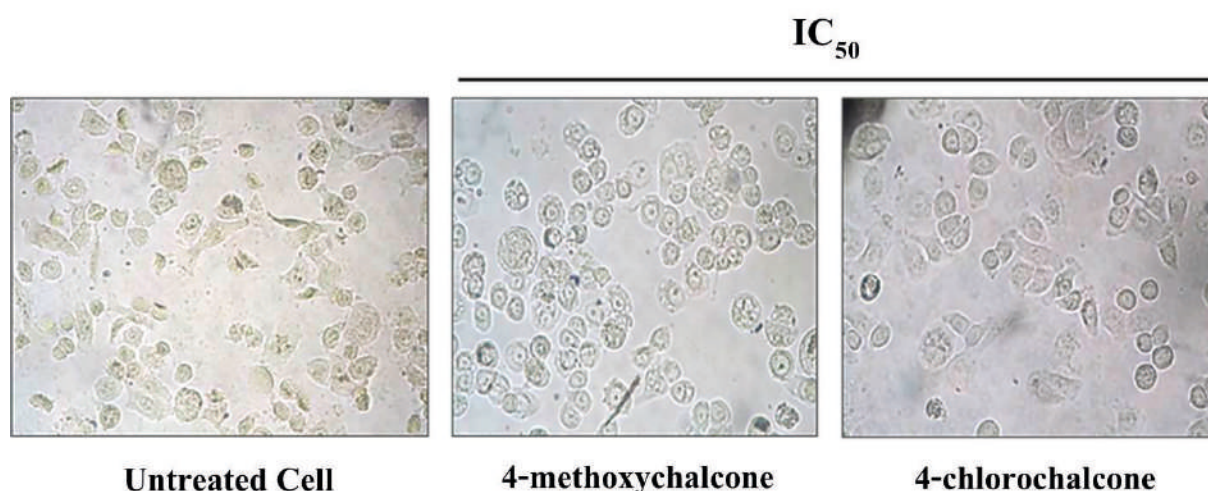
ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของอนุพันธ์สังเคราะห์ 4-chlorochalcone และผลทดสอบการมีชีวิตของเซลล์มะเร็งเต้านม เพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ที่บ่มด้วยสารชาโลนชนิดนี้ ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม
หมายเหตุ : *, $p < 0.05$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ 0 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มข้นของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ได้ร้อยละ 50 (Inhibition Concentration: IC_{50}) เมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อนุพันธ์สังเคราะห์	Inhibition Concentration: IC_{50}
4-methoxychalcone	18.35 µg/ ml
4-chlorochalcone	15.93 µg/ ml

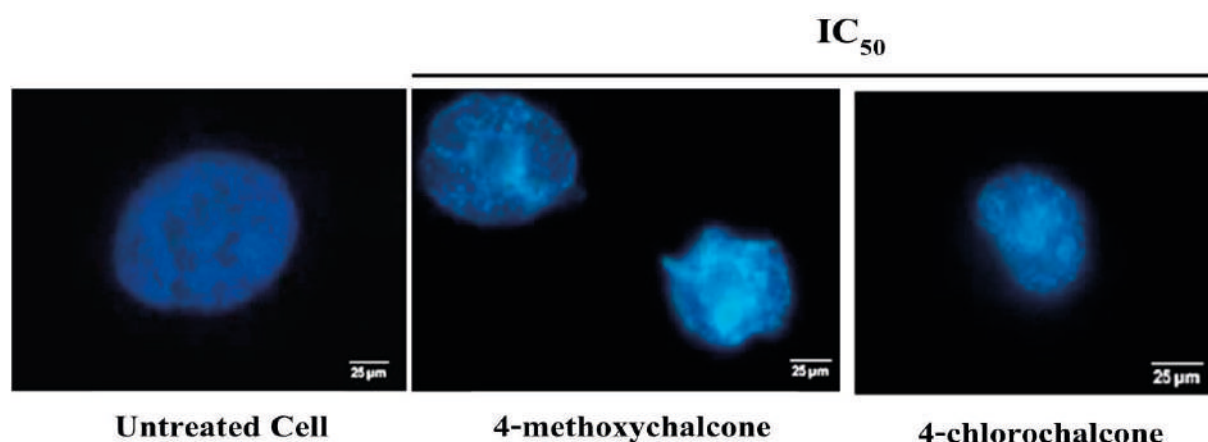
การทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสาร 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์ SKBR-3 ได้ มีรายงานการทดสอบสารชาโลนกับเซลล์ SKBR-3 เพียงหนึ่งการศึกษาพบว่า Flavokawain A (FKA) ซึ่งเป็นชาโลนที่สกัดแยกมาจากพืชคาวา คาวา สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงหลายชนิดรวมถึง SKBR-3 มีค่า IC_{50} เท่ากับ 10 µM [17] นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่า methoxy-chalcone derivatives สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งผิวหนังเพาะเลี้ยงชนิด A357 ได้ [18] ในขณะที่ 4-chlorochalcone มีรายงานฤทธิ์การลดระดับโคเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในซีรัม [19]

การทดสอบฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ 2 ชนิด ต่อการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 พบความเปลี่ยนแปลงของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ หลังจากผ่านการบ่มด้วยสารทั้ง 2 ชนิด ที่ IC_{50} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเซลล์เปลี่ยนแปลงรูปร่างและปริมาณ โดยรูปร่างเซลล์เปลี่ยนเป็นลักษณะกลม หดตัวเล็ก ปริมาณเซลล์ที่ติดเกาะกับพื้นผิวจานเพาะเลี้ยงลดลง และพบเซลล์ที่ตายหลุดลอยในอาหารเลี้ยงเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาลโคน 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ที่ IC₅₀ ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและลักษณะของเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 เมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Untreated cell) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20X

เมื่อทำการย้อมเซลล์ที่ผ่านการบ่มด้วยอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้นที่ IC₅₀ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยสี DAPI (DAPI staining) และวิเคราะห์ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์พบว่า เซลล์มะเร็งกลุ่มควบคุมมีลักษณะการติดสีของนิวเคลียสเรียบเสมอกัน เมื่อบ่มด้วยสารทั้ง 2 ชนิดพบว่าการติดสีนิวเคลียสแตกต่างออกไป ตรวจพบการแตกหักของ genomic DNA และการหดแน่นของโครมาติน ดังภาพที่ 4 งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า 4-methoxychalcone สามารถยับยั้งวิถีส่งสัญญาณ Nrf2/ARE ในเซลล์มะเร็งปอดเฉพาะเลี้ยงชนิด A597 ส่งผลให้เซลล์ดังกล่าวมีความไวต่อการรักษาด้วยยา cisplatin โดยชักนำให้เกิดการตายแบบอะพอพโทซิสได้ดีกว่าการใช้ยา cisplatin เพียงอย่างเดียว [13] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า HER2 สามารถเพิ่มการแสดงออกของ Nrf2 จึงส่งผลให้เซลล์มะเร็งเต้านมชนิด HER2-positive คือต่อการรักษาด้วยยาเคมีบำบัด [20] ดังนั้นการศึกษาหาฤทธิ์ของสารที่สามารถลดแสดงออกของ Nrf2 รวมถึงการควบคุมวิถีส่งสัญญาณ Nrf2/ARE จะทำให้สามารถรู้กลไกการยับยั้งเซลล์มะเร็งที่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 และเพิ่มประสิทธิภาพเคมีบำบัดในการรักษามะเร็งได้



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเกิดอะพอพโทซิส ของเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี DAPI staining และดูลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ (กำลังขยาย 100x)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการชักนำการตายแบบอะพอพโทซิสในเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 โดยอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 และชักนำเซลล์มะเร็งให้ตายแบบอะพอพโทซิสได้ โดยสาร 4-chlorochalcone สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ SKBR-3 ได้ดีกว่าสาร 4-methoxychalcone จึงสรุปในเบื้องต้นได้ว่าอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดอาจเป็นประโยชน์ต่อการยับยั้งเซลล์มะเร็งที่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 มาก อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ของสาร 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ต่อการแสดงออกของระดับยีน และกลไกระดับโมเลกุลเชิงลึกหรือการเสริมฤทธิ์เมื่อใช้ร่วมกับยาต้านมะเร็งต่างๆ เพื่อพัฒนาสารดังกล่าวเป็นยาต้านมะเร็งเต้านมต่อไปในอนาคต

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยอนุชีววิทยาและมะเร็ง มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Virani, S., Sriplung, H., Rozek, L.S. and Meza, R. (2014). "Escalating burden of breast cancer in southern Thailand: analysis of 1990-2010 incidence and prediction of future trends", **Cancer Epidemiology**. 38, 235-243.
- [2] Jordan, V.C. (2008). "Tamoxifen: Catalyst for the change to targeted therapy", **European Journal of Cancer**. 44, 30-38.
- [3] Lee, C.C. and Houghton, P. (2005). "Cytotoxicity of plants from Malaysia and Thailand used traditionally to treat cancer", **Journal of Ethnopharmacology**. 100, 237-243.
- [4] Mahapatra, D.K., Bharti, S.K. and Asati, V. (2015). "Anti-cancer chalcones: structural and molecular target perspectives", **European Journal of Medical Chemistry**. 98, 69-114.
- [5] Praksah, O., Kumar A. and Kumar P. (2013). "Ajeet, anticancer potential of plants and natural products: a review", **Journal of Pharmaceutical Sciences**. 6, 104-115.
- [6] Dimmock, J.R., Elias, D. W., Beazely, M. A. and Kandepu, N.M. (1999). "Bioactivities of chalcones", **Current Medicinal Chemistry**. 6, 1125-1149.
- [7] Romagnolo, D.F. and Selmin, O.I. (2012). "Flavonoids and cancer prevention: a review of the evidence", **Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics**. 31, 206-238.
- [8] Detsi, A., Majdalani, M., Kontogiorgis, C.A., Hadjipavlou-Litin, D. and Kefalas P. (2009). "Natural and synthetic 20-hydroxy-chalcones and aurones: synthesis, characterization and evaluation of the antioxidant and soybean lipoxygenase inhibitory activity", **Bioorganic and Medical Chemistry**. 17, 8073-8085.
- [9] Israf, D.A., Khaizurin, T.A., Syahida, A., Lajis, N.H. and Khorizah, S. (2007). "Cardamonin inhibits COX and iNOS expression via inhibition of p65NF-kB nuclear translocation and Ik-B phosphorylation in RAW264.7 macrophage cells", **Molecular Immunology**. 44, 673-679.

- [10] Mishra, L., Sinha, R., Itokawa, H., Bastow, K. F., Tachibana, Y., Nakanishi, Y., et al. (2001). "Anti-HIV and cytotoxic activities of Ru(II)/Ru(III) polypyridyl complexes containing 2,6-(20-Benzimidazolyl) pyridine/chalcone as co-ligand", **Bioorganic and Medical Chemistry**. 9, 1667-1671.
- [11] Chen, M., Brøgger Christensen, S., Zhai, L., Rasmussen, M.H, Theander, T.G., Frøkjær, S., et al. (1997). "The novel oxygenated chalcone, 2,4-Dimethoxy-40-Butoxychalcone, exhibits potent activity against human Malaria Parasite *Plasmodium falciparum* in vitro and rodent Parasites *Plasmodium berghei* and *Plasmodium yoelii* in vivo", **Journal of Infectious Diseases**. 176, 1327-1333.
- [12] Yadav, V.R., Prasad, S., Sung, B. and Aggarwal, B.B. (2011). "The role of chalcones in suppression of NF-kappaB-mediated inflammation and cancer", **International Immunopharmacology**. 11, 295-309.
- [13] Lim, J., Lee, S.H., Cho, S., Lee, I.S., Kang, B.Y. and Choi, H.J. (2013). "4-methoxychalcone enhances cisplatin-induced oxidative stress and cytotoxicity by inhibiting the Nrf2 /ARE-mediated defense mechanism in A549 lung cancer cells", **Molecules and cells**. 36, 340-346.
- [14] Slamon, D.J., Clark, G.M., Wong, S.G., Levin, W.J., Ullrich, A. and McGuire, W.L. (1987). "Human breast cancer: Correlation of relapse and survival with amplification of the HER-2/neu oncogene", **Science**. 235, 177-182.
- [15] Kunthalert, D., Baothong, S., Khetkam, P., Chokchaisiri, S. and Suksamrarn, A. (2014). "A chalcone with potent inhibiting activity against biofilm formation of nontypeable *Haemophilus influenza*", **Microbiology and Immunology**. 58, 581-589.
- [16] Yadav H.L., Gupta P., Pawar R.S., Singour P.K. and Patil U.K. (2011). "Synthesis and biological evaluation of anti-inflammatory activity of 1,3-diphenyl propenone derivatives", **Medecinal Chemistry Research**. 20, 461-465.
- [17] Jandial, D., Krill, L., Chen, L., Wu, C., Ke, Yu., Xie, Jun., et al. (2017). "Induction of G2M Arrest by Flavokawain A, a Kava Chalcone, Increases the Responsiveness of HER2-Overexpressing Breast Cancer Cells to Herceptin", **Molecules**. 22, 462-475.
- [18] Henmi, K., Hiwatashi, Y., Hikita, E., Toyama, N., and Hirano, T. (2009). "Methoxy- and Fluoro-chalcone Derivatives Arrest Cell Cycle Progression and Induce Apoptosis in Human Melanoma Cell A375", **Biological and Pharmaceutical Bulletin**. 32, 1109-1113.
- [19] Santos, L., Curi Pedrosa, R., Correa, R., Cechinel Filho, V., Nunes, R. J. and Yunes, R. A. (2006). "Biological evaluation of chalcones and analogues as hypolipidemic agents", **Archiv Der Pharmazie**. 339, 541-546.
- [20] Cai-McRae, X. and Karantza V. (2015) "p62: a hub of multiple signaling pathways in HER2-induced mammary tumorigenesis", **Molecular and Cellular Oncology**. 2, e975035.

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งในภาคใต้

A Confirmatory Analysis of Affected Factors to Supply Chain Collaboration: A Case Study of the Frozen Shrimp Industries in Southern Thailand

สิริรัตน์ พึ่งชมพู^{1*}, กมลชนก ฤทธิเดช² และธนิกานต์ ไชยโห๊ะ²

Sirirat Pungchompoo^{1*}, Kamonchanok Rittidech² and Thanikarn Chaiho²

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งไทย มีปัญหาที่สำคัญสองด้าน กล่าวคือ ปัญหาด้านราคาและการระบาดของโรคกุ้ง อันเนื่องมาจากขาดการร่วมมือกันของสมาชิกในโซ่อุปทาน ดังนั้นในเบื้องต้นงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือของสมาชิกในอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทย โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อยืนยันโครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยใช้แบบสอบถามมาตรวัด likert's scale 5 คะแนน เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 221 ตัวอย่างของสมาชิกในโซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งทั้งฟาร์มกุ้ง ห้างเย็น และโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำทะเล ในพื้นที่จังหวัดสงขลา พัทลุง นครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม SPSS AMOS จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทยประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้ การใช้สารสนเทศร่วมกัน การร่วมกันตัดสินใจ การดำเนินงานไปสู่เป้าหมายเดียวกัน การจัดสรรผลตอบแทน การแบ่งปันทรัพยากร การสื่อสารและการประสานงานร่วมกัน การสร้างความรู้ร่วมกัน การสร้างความร่วมมือในโซ่อุปทาน และความเชื่อใจซึ่งกันและกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลเชิงโครงสร้างทางทฤษฎีมีความเหมาะสมพอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดังต่อไปนี้ตามลำดับ CMIN/df= 0.605 GFI = 0.984 AGFI = 0.974 CFI = 1.00 และ RMSEA = 0.000 ตัวแบบที่ได้จะถูกนำไปใช้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการของโซ่อุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทยเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว

คำสำคัญ: การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โซ่อุปทานความร่วมมือ โซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งไทย

Abstract

Nowadays, the Thai frozen shrimp supply chain has critical problems both of shrimp price and spread of shrimp diseases. One of all reasons come from the lack of a collaboration in their chain members. Therefore, this research aimed to study factors that affected supply chain collaboration in the Thai frozen shrimp chain by using a Confirm Factor Analysis (CFA) approach. this research adopted questionnaires with 5-point Likert scale as a tool to collect data. The sample used in

¹ อ.ดร., สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

² นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

¹ Dr., Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Rajamangala of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

² Undergraduated Student, Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Rajamangala of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

*Corresponding author: Tel.: 0850808939. E-mail address: sirirat.pungchompoo@gmail.com

this study consisted of 221 subjects, selected from shrimp agents, shrimp feed and shrimp equipment manufacturers, and freezing sections and processors in Songkhla province, Pattalung province, Nakhon Si Thammarat province, and Suratthani province, respectively. Using SPSS AMOS software to analyze data, the results showed main effect factors of supply chain collaboration composed of information sharing, decision synchronization, goal congruence, incentive alignment, resource sharing, collaboration communication, joint knowledge creation and trust. In addition, the results of the CFA analysis represented $CMIN/df = 0.605$, $GFI = 0.984$, $AGFI = 0.974$, $CFI = 1.00$ and $RMSEA = 0.000$. Therefore, the model can be acceptably conceptualized as a causal relationship construct model significantly. Finally, this model will apply to study and will construct a guidance of an increasing of management performance in the Thai frozen shrimp supply chain.

Keywords: CFA, Supply Collaboration, Thai Frozen Shrimp Supply Chain

บทนำ

โซ่อุปทานความร่วมมือถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม [1] พบว่าโซ่อุปทานความร่วมมือเริ่มมีการประยุกต์ใช้ตั้งแต่กลาง 1990 ในระบบ Vendor-managed Inventory (VMI), Collaborative Forecasting Planning and Replenishment (CFPR), Continuous Replenishment (CR) และ E-collaboration (EC) [2] เพื่อทำให้องค์กรมีประสิทธิภาพสูงเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดซื้อและความต้องการของลูกค้าด้วยความแม่นยำ [3] ช่วยในการวางแผนกลยุทธ์ สร้างโอกาสและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน [4] โดยหลักในการพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพขององค์กรนั้น ส่วนใหญ่จะพิจารณาจากปัจจัยทางการเงิน เช่น ลดค่าใช้จ่าย เพิ่มผลกำไร หรือในมิติด้านอื่น เช่น การมีส่วนร่วมกับผู้ธุรกิจในการวางแผนหรือตัดสินใจทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กรทั้งสองฝ่าย ช่วยปรับปรุงความสัมพันธ์และพัฒนาระบบการบริการลูกค้า [4-6] จากงานวิจัยของ [7] ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพขององค์กรที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการแบ่งส่วนค่าใช้จ่าย จัดสรรผลประโยชน์ แบ่งปันความเสี่ยงที่เกิดจากความร่วมมือกัน หรือที่เรียกว่า Incentive Alignment นอกจากนี้องค์กรยังมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นมาจากการแชร์ข้อมูลทั้งในส่วนของการจัดซื้อ (Procurement) สินค้าคงคลัง (Inventory Level) คำสั่งซื้อที่อ้างถึงต้นทุนด้านธุรกรรม (Transaction Costs) ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายนั้นจะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง อัตราการเติมเต็มสินค้าสูงขึ้น (Fulfill Orders) รอบเวลาการผลิตสั้นลง [8]

แต่อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปัญหาประสิทธิภาพขององค์กรที่เกิดจากปัจจัยของความร่วมมือกันในโซ่อุปทานยังคงมีอยู่ อาทิเช่น การขาดการแชร์ข้อมูลระหว่างสมาชิกในโซ่อุปทาน, คุณภาพของข้อมูล [2, 7, 9-12] การปฏิรูปเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้ E-business ในการทำธุรกิจ จำนวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ ลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรม ความซับซ้อนของโซ่อุปทานนั้นๆ คุณลักษณะขององค์กร อิทธิพลจากธุรกิจในโซ่อุปทานระหว่างผู้ผลิต-ผู้ซื้อ [10] ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Bullwhip Effect อันจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านการเงิน การทำงานขององค์กร และการวางแผนกลยุทธ์ในระยะยาว นอกจากนี้ [10] ให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมว่าปัญหาด้านความเสี่ยง (Risks) มีความเกี่ยวเนื่องต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานเช่นกัน โดยอาจส่งผลให้สูญเสียเงินเวลา และทำให้เกิดความล่าช้าในการวางแผนการผลิต การจัดซื้อ และการขนส่งสินค้า ดังนั้นโซ่อุปทานความร่วมมือจึงเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพขององค์กรทั้งมิติด้านการเงิน (Financial Dimension) และมิติด้านอื่น (Nonfinancial Dimension) ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและสังเคราะห์ปัจจัยด้านความร่วมมือที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโซ่อุปทาน กุ้งแช่แข็ง โดยในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis : CFA) เพื่อยืนยัน โครงสร้างทางทฤษฎี ภายใต้กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอาหารทะเลชนิดกุ้งแช่แข็งไทย

โซ่อุปทานความร่วมมือ

ความร่วมมือ (Collaboration) โดยรากศัพท์แล้ว หมายถึง ความร่วมมือหรือความช่วยเหลือในการบริหารโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) ซึ่งปัจจัยความสำเร็จของการบริหารห่วงโซ่อุปทาน ก็คือการบริหารจัดการความร่วมมือและความสัมพันธ์ของคู่ค้า (Suppliers Cooperative Relationship) [13] ซึ่งความร่วมมือกับคู่ค้าส่งผลต่อการส่งมอบสร้างมูลค่าเพิ่ม (Creative Value Added) และในท้ายที่สุดส่งผลต่อผลลัพธ์ คือ การตอบสนองที่ดียิ่งจากลูกค้า ที่เรียกว่าการจัดการความร่วมมือ (Efficient Customers Response : ECR) หรือ (Collaboration Management : CM) ทำให้เกิดรรถประโยชน์ต่อเวลา (Time Utility) ทำให้มีการไหลเวียนของวัตถุดิบและสินค้าตลอดทั้งโซ่อุปทานนั้นๆ โดยอาศัยการร่วมมือกันของทุกๆ หน่วยงานในองค์กรร่วมกับคู่ค้าและลูกค้าในทุกกิจกรรม เช่น การสื่อสาร การร่วมกันแก้ปัญหา การดำเนินกิจกรรมในการสร้างประสิทธิภาพ และสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าปัจจัยที่มีความสำคัญในการวัดความร่วมมือของโซ่อุปทานทั้งในและนอกองค์กร อาทิเช่น การแลกเปลี่ยนหรือการแบ่งปันข้อมูล (Information Sharing) เป็นปัจจัยเพื่อใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเงิน สินค้า และเวลา เช่น ปริมาณสินค้าที่ต้องส่งต่อวัน ปัญหาในการดำเนินงาน การขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิต เป็นต้น [1, 4] การจัดระบบผลตอบแทน (Incentive Alignment) คือ การกระจายความรับผิดชอบในด้านทุน ความเสี่ยง รวมถึงผลประโยชน์ที่ได้รับร่วมกันของสมาชิกในโซ่อุปทาน [การกำหนดแนวทางการทำงานร่วมกัน (Decision Synchronization) คือ การวางแผนการทำงานหรือร่วมกันตัดสินใจดำเนินงาน รวมไปถึงกิจกรรมต่างๆ ในการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต และขนส่งร่วมกัน [1] การใช้ทรัพยากรและเทคโนโลยีร่วมกัน (Resource Sharing) คือ การใช้ทรัพยากรต่างๆ ร่วมกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด คุณภาพของข้อมูล (Information Quality) คือ ข้อมูลที่ใช้ร่วมกันต้องมีความถูกต้องและทันต่อเวลาข้อมูลนั้นจะไม่เกิดประโยชน์ใดๆ หากเป็นข้อมูลที่ขาดความถูกต้องแม่นยำ การตั้งเป้าหมายที่สอดคล้องกัน (Goal Congruence) เพื่อเป็นที่ยอมรับของสมาชิกในโซ่อุปทาน [17] การติดต่อประสานงานภายในสมาชิกของโซ่อุปทาน (Collaborative Communication) โดยอาจวัดในรูปของความถี่ในการประสานงาน แนวทางกลยุทธ์ที่ใช้รูปแบบวิธีการและการประสานงานในหลายระดับ, การสร้างองค์ความรู้ (Joint Knowledge Creation) คือ การวิเคราะห์ และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ความเข้าใจร่วมกันในกิจกรรมต่างๆ รวมไปถึงการแก้ไขในประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นร่วมกัน, ความร่วมมือกันในโซ่อุปทานที่การสร้างมูลค่าความพึงพอใจของทั้งสองฝ่าย (Collaborative Supply Chain Value) [1] และความไว้วางใจ (Trust) เป็นปัจจัยที่ช่วยทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกในโซ่อุปทานมีความแนบแน่นมากขึ้น

การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง

SEM เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์การหาสาเหตุ การหาความสัมพันธ์แบบมีเหตุผล (Causal Relationship) การตรวจสอบโครงสร้างของตัวแปรแบบพหุ (Multivariate Data Analysis) โดยการศึกษาความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปร (Covariance) อีกทั้งยังสามารถใช้วิเคราะห์ตัวแปรทั้งตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) และตัวแปรแฝง (Latent Variable) SEM มีประสิทธิภาพสูงกว่าการวิเคราะห์แบบหลายตัวแปร (Factor Analysis) เพราะเป็นวิธีการยืนยันเชิงโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยทางทฤษฎีที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลจริง (Confirmatory Factor Analysis : CFA) นอกเหนือจากการสำรวจปัจจัย (Exploratory Factor Analysis : EFA) รวมทั้งสามารถอธิบายลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุและผล (Causal Relationship) โดยมีสมการที่ใช้ในการยืนยันโมเดลที่ เรียกว่า Measurement Model ตามหลักการวิเคราะห์ SEM แสดงดังสมการที่ (1) (3) และสมการความสัมพันธ์คือสมการที่ (2) ดังนี้ [18]

$$\text{Measurement model:} \quad x = A_x \zeta + \delta \quad (1)$$

$$\text{Structural equation model:} \quad \eta = \beta \eta + \tau \zeta + \zeta \quad (2)$$

$$\text{Measurement model:} \quad y = A_y \eta + \varepsilon \quad (3)$$

เมื่อ

- x คือ Observed exogenous variable. δ คือ Measurement error in an observed exogenous variable.
- y คือ Observed endogenous variable. ε คือ Measurement error in an observed endogenous variable.
- ζ คือ Latent exogenous variable. ζ คือ Error term associated with the Latent endogenous variable.
- η คือ Latent endogenous variable.

สำหรับงานวิจัยด้านโซ่อุปทานในอดีต พบว่า นักวิจัยได้ใช้ SEM ในการศึกษาในหลายบริบท อาทิเช่น [14] ใช้ SEM ในการยืนยันโมเดลการวัดประสิทธิภาพทางด้านสิ่งแวดล้อม [15] ทำการศึกษาการคัดเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ ใช้ SEM ร่วมกับการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น รวมไปถึงการยืนยันความสอดคล้องของโมเดลทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นกับข้อมูลที่สังเกตได้จริงโดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติหลายๆ ตัว ในการตัดสินใจงานด้านการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ [16-17, 19-21] ใช้ CFA ในการยืนยันตัวชี้วัดประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานสีเขียว [25] หรือประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ CFA ลำดับที่สองร่วมกับทฤษฎีพีชชีในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ [22] ประยุกต์ใช้ SEM ในการอธิบายความสัมพันธ์ของทรัพยากรมนุษย์ในเชิงปฏิบัติการ Human Resource Practices ประสิทธิภาพขององค์กร [23]

วิธีการวิจัย

ในเบื้องต้นสร้างโครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือดังแสดงในตารางที่ 1 และดำเนินการสร้างแบบสอบถามเพื่อยืนยันเชิงโครงสร้าง แบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นถูกตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่ามีค่า IOC 0.67 และตรวจสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability) ด้วยค่าครอนบัตอัลฟา (Cronbach Alpha : α) จากกลุ่มตัวอย่างเบื้องต้น 20 คน โดยวิเคราะห์ด้วย SPSS พบว่าได้ค่า $\alpha = 0.74$ จึงถือได้ว่าแบบสอบถามมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและความเชื่อมั่นทางสถิติที่เพียงพอที่จะไปใช้เก็บข้อมูลได้ การเก็บข้อมูลจากสมาชิกในโซ่อุปทานโดยใช้อัตราส่วน 20 ตัวอย่างต่อหนึ่งตัวแปรตามหลักการของ SEM โดยใช้โปรแกรม AMOS และยืนยันโมเดลว่ามีความสอดคล้องทางทฤษฎีและข้อมูลจริง วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดกับมิติการวัดในกลุ่มนั้นๆ ด้วยวิธีการ CFA และในท้ายสุดจะทำการสรุปผลการวิจัย

โครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานสามารถแบ่งตัวแปร ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตัวแปรโซ่อุปทานความร่วมมือตัวแปรแฝง (Latent Variable)

ตัวแปรแฝง (Latent Variable)	
● โซ่อุปทานความร่วมมือ (Supply Chain Collaboration: SCC)	
ตัวแปรสังเกต (Observed Variable)	
● การแบ่งปันข้อมูล (Information sharing : IS)	
● การสร้างความรู้ร่วมกัน (Joint Knowledge Creation : JK)	
● การตัดสินใจร่วมกัน (Decision Synchronization : DS)	
● คุณค่าของโซ่อุปทานความร่วมมือ (Collaborative supply chain value : CSI)	
● การมีเป้าหมายสอดคล้อง (Goal Congruence : GC)	
● ความไว้วางใจ (Trust : Trust)	
● แรงจูงใจ (Incentive Alignment : InA)	
● การใช้ทรัพยากรร่วมกัน (Resource Sharing : RES)	

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของงานวิจัยในครั้งนี้ คือ สมาชิกที่อยู่ในโซ่อุปทานอุตสาหกรรมแปรรูปกุ้งแช่แข็งในพื้นที่ภาคใต้ โดยเฉพาะในจังหวัดสงขลา คือ อำเภอสิงหนคร อำเภอสทิงพระ และในจังหวัดพัทลุง คือ อำเภอปากพะยูน เนื่องจากมีการเลี้ยงกุ้งจำนวนมากจากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจเกษตรภายใต้การสุ่มตัวอย่างแบบสะดวกจากข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลซึ่งเป็นไปได้ยากทั้งจากการส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ ทางอิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์จึงไม่สามารถทำการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบได้ โดยมีประชากรของกลุ่มตัวอย่าง คือ เจ้าของกิจการของฟาร์มโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำและห้องเย็น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งสิ้นจำนวน 221 กลุ่มตัวอย่าง โดยการจะทำการสอบถามพร้อมกับการสัมภาษณ์เชิงลึก ภายใต้ประเด็นคำถามที่ครอบคลุมปัจจัยภายใต้ความร่วมมือในโซ่อุปทาน เช่น การแลกเปลี่ยนข้อมูล การทำข้อตกลงร่วมกันกับบริษัทจัดส่งลูกกุ้งให้กับเจ้าของฟาร์ม การร่วมกันวางแผนในการแก้ปัญหา การที่บริษัทผู้จัดส่งลูกกุ้งในการจัดหาสถาบันการเงินหรือไม่ใช่สถาบันการเงิน และช่องทางการติดต่อสื่อสารระหว่างบริษัทจัดส่งลูกกุ้งกับเจ้าของฟาร์ม รวมไปถึงปัจจัยทั้งทางด้านการเงินและปัจจัยด้านการจัดการในส่วนประสิทธิภาพของโซ่อุปทาน

ผลการวิจัย

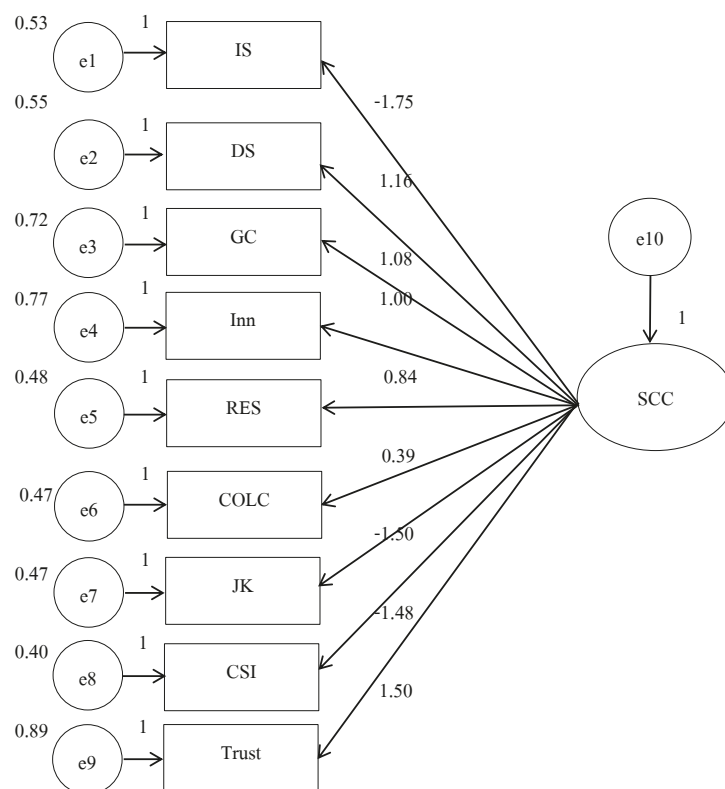
ในการวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบเชิงยืนยันต้องวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ พิจารณาตรวจสอบข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่และตรวจสอบความกลมกลืนของโมเดลด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (CFA) โดยผลที่ได้แสดงดังนี้พิจารณาตรวจสอบข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ในส่วนนี้สถิติทดสอบ Z-Test จะถูกใช้เพื่อตรวจสอบว่าค่าประมาณต่างๆ มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยมีหลักเกณฑ์จากค่า c.r. ถ้าค่า |c.r.| ของตัวแปรทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 1.96 จึงจะยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า c.r. ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 1.213 ซึ่งค่า |c.r.| < 1.96 ดังนั้นจึงยอมรับ H_0 หรือแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การตรวจสอบความกลมกลืนหรือความสอดคล้องของโมเดลด้วยวิธีการ CFA

ในการตรวจสอบว่าข้อมูลมีความกลมกลืนหรือมีความสอดคล้องกับโมเดลที่คาดไว้หรือไม่ โดยพิจารณาจากตัวทดสอบทางสถิติ ซึ่งในการทดสอบความกลมกลืนของโมเดลจะใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธี Maximum Likelihood ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตัวทดสอบทางสถิติของโซ่อุปทานความร่วมมือ

สถิติ	ความหมาย	หลักเกณฑ์	ผลที่ได้
1. CMIN/ df	Chi – Square/df ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 3	$P < 3$	$P = 0.605$
2. GFI	Goodness of Fit Index ซึ่งมีค่า 0 ถึง 1 ควรมีค่าใกล้เคียง 1 ค่า GFI ≥ 0.90 จะถือว่าโมเดลของผู้วิจัย fit กับข้อมูล	$P \geq 0.90$	$P = 0.984$
3. RMSEA	Root Mean Square Error of Approximation ควรมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ค่า RMSEA ≤ 0.08 จะถือว่าโมเดลของผู้วิจัย Fit กับข้อมูล	$P \leq 0.08$	$P = 0.000$
4. IFI	Incremental Fit Index ควรมีค่าใกล้เคียง 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.90	$P > 0.90$	$P = 2.030$
5. CFI	Comparative Fit Index ควรมีค่ามากกว่า 0.90	$P > 0.90$	$P = 1.000$



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่ 1 ของโซ่อุปทานความร่วมมือ

จากผลการวิเคราะห์พบว่าโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่ 1 ของโซ่อุปทานความร่วมมือมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบความตรงของโมเดลได้แก่ ค่า CMIN/df = 0.605 GFI = 0.984 RMSEA = 0.000 IFI = 2.030 และ CFI = 1.00

การอภิปรายผล

โมเดลปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือของสมาชิกในอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทย ภายใต้กรณีศึกษาพื้นที่ภาคใต้ มี 9 องค์ประกอบ พบว่าค่าน้ำหนักองค์ประกอบทั้ง 9 องค์ประกอบมีค่าเป็นบวกและลบ โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบตั้งแต่ -1.75 ถึง 1.50 แสดงว่าองค์ประกอบทั้ง 9 องค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ องค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักเป็นลบแสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงผกผัน กัน เนื่องจากว่าอาจมีปัจจัยบางตัวที่ทำให้ค่าน้ำหนักเส้นทางผิดแปลกไปจากข้อคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยจัดเรียงลำดับขององค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อโซ่อุปทานความร่วมมือจากมากไปน้อยโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายบวกหรือลบ ดังนี้ การแบ่งปันข้อมูลร่วมกัน การสร้างองค์ความรู้ร่วมกัน ความไว้วางใจ ความร่วมมือกัน โซ่อุปทานที่สร้างมูลค่าความพึงพอใจของทั้งสองฝ่าย การกำหนดแนวทางการตัดสินใจร่วมกัน การตั้งเป้าหมายที่สอดคล้องกัน การจัดสร้างแรงจูงใจร่วมกัน การใช้ทรัพยากรและเทคโนโลยีร่วมกัน และการติดต่อประสานงานภายในสมาชิกของโซ่อุปทาน มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ -1.75 -1.50 1.50 -1.48 1.16 1.08 1.00 0.84 และ 0.39 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ทุกค่าและผลการตรวจสอบความกลมกลืนหรือความสอดคล้องของโมเดลเชิงโครงสร้างทางทฤษฎีมีความเหมาะสมพอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ด้วยค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ $CMIN/df = 0.605$ $GFI = 0.984$ $RMSEA = 0.000$ $IFI = 2.030$ และ $CFI = 1.000$ ตามลำดับ

สรุป

จากผลการวิจัยเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือของสมาชิกในอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทย โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เพื่อยืนยันโครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทยประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้ การใช้สารสนเทศร่วมกัน การร่วมกันตัดสินใจ การดำเนินงานไปสู่เป้าหมายเดียวกัน การจัดสรรผลตอบแทน การแบ่งปันทรัพยากร การสื่อสารและการประสานงานร่วมกัน การสร้างความรู้ร่วมกัน การสร้างความร่วมมือในโซ่อุปทาน และความเชื่อใจซึ่งกันและกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลเชิงโครงสร้างทางทฤษฎีมีความเหมาะสมพอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ด้วยค่าพารามิเตอร์ $CMIN/df = 0.605$ $GFI = 0.984$ $AGFI = 0.974$ $CFI = 1.00$ และ $RMSEA = 0.000$ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีทัศนคติทางลบในการกรอกแบบสอบถาม เพราะฉะนั้นควรเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างและจำนวนข้อมูล เนื่องจากถ้าจำนวนกลุ่มตัวอย่างและจำนวนข้อมูลมีมากขึ้นส่งผลให้การวัดประสิทธิภาพของโซ่อุปทานด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะเน้นไปที่เกษตรกรเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทำให้ค่าคะแนนจากแบบสอบถามผกผันไปจากความเป็นจริง ดังนั้นควรที่จะเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างอื่นด้วย เพราะในมุมมองของเกษตรกรอาจให้ค่าคะแนนแตกต่างไป จากกลุ่มตัวอย่างอื่น และนำค่าคะแนนที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างของเกษตรกรและกลุ่มตัวอย่างอื่นมาเปรียบเทียบว่ามีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

คำขอบคุณ

คณะวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Liao, S. H. and Kuo, F. I. (2014). "The study of relationships between the collaboration for supply chain, supply chain capacities and firm performance: A case of the Taiwan's TFT-LCD industry", **International Journal of Production Economics**. 156, 295-304.
- [2] Akintope, A., McIntosh, G. and Fitzgerald, E. (2000). "A survey of supply chain collaboration and management in UK construction Industry", **European Journal of Purchasing & Supply Chain Management**. 6, 159-168.
- [3] Fu Jeng, D. J. (2015). "Generating a casual model of supply chain collaboration using the fuzzy DEMATEL technique", **Computer & Industrial Engineering**. 87, 281-295.
- [4] Ramanathan, U., Bentley, Y. and Pang, G. (2014). "The role of collaboration in the UK green supply chains: an exploratory study of the perspectives of suppliers, logistics and retailers", **Journal of Cleaner Production**. 70, 231-241.
- [5] Cao, M. and Zhang, Q. (2011). "Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance", **Journal of Operation Management**. 29, 163-180.
- [6] Ramanathan, U. (2014). "Performance of supply chain collaboration-A simulation study", **Expert System with Application**. 41, 210-220.
- [7] Simatupang, T. M. and Sridharan, R. (2005). "The collaboration index: a measure for supply chain collaboration", **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. 35(1), 44-62.
- [8] Lin, C., Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C. H. and Yu, P. P., (2005). "A structural equation model of supply chain quality management and organizational performance", **International journal of Production Economics**. 96, 355-365. Doi: 10. 1016/j.jipe. 2004.05.009.
- [9] Lee, H. L., Padamnabhan, V. and Whang, S. (1997). "The bullwhip effect in supply chains", **Sloan Management Review**. 38(3), 93-102.
- [10] Mathopoulos, A., Vlachopoulou, M. and Manos, B. (2007). "A conceptual framework for Supply Chain collaboration: empirical evidence for agri-food industry", **An International Journal of Supply Chain Management**. 12(3), 177-186.
- [11] Gao, S., Zhang, Z. and Cao, C. (2010). "Calculating weight methods in complete matrices and incomplete matrices", **Journal of Software**. 5(3), 304-311.
- [12] Motoya-Torres, J. R. and Ortiz-Vargas, D. A. (2014). "Collaboration and information sharing in dyadic supply chain: A literature review over the period 2000-2012", **Estudios Greeciales**. 30, 342-354.
- [13] ธนิต โสรัตน์. (2559). **COLLABORATION MANAGEMENT**. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2559, จาก <http://www.tanitsorat.com/view.php?id=93>.
- [14] Pungchompoo, S. and Sopadang, A. (2015). "Confirmation and evaluation of performance measurement model for the Thai frozen shrimp", **Business Process Management Journal**. 21(4), 837-856.
- [15] Chan, F. T. S. (2003). "Performance measurement in supply chain", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. 21, 534-548.

- [16] Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P. and Parthiban, P. (2011). "A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection", **Expert Systems with Applications**. 38(1), 458-474. Doi: 10.1016/j.eswa. 2010.06.086.
- [17] Tseng, Y. and Lee, T. (2009). "Comparing appropriate decision support of human resource practices on organizational performance with DEA/AHP model", **Expert Systems with Applications**. 36(3), 6548-6558
- [18] Mueller, R. O. (1996). **Basic principles of structural equation modeling: An introduction to LISREL and EQS**. New York, NY: Springer.
- [19] Li, G., Yang, H., Sun, L. and Sohal, A. S. (2009). "The impact of IT implementation on supply chain integration and performance", **International Journal of Production Economics**. 120, 125-138.
- [20] Zhu, Q., Sarkis J. and Lai, K. H. (2008). "Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation", **International Journal of Production Economics**. 111(2), 261-273.
- [21] Vachon, S. and Klassen, R. D. (2008). "Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain", **International Journal Production Economics**. 111, 299-315.
- [22] Olugu, E., Wong, K. Y. and Shaharoun, A. M. (2011). "Development of key performance measures for the automobile green supply chain", **Resources Conservation and Recycling**. 55(6), 567-579. Doi: 10.1016/j.resconrec. 2016.06.003
- [23] Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P. and Lakshmi, G. (2012). "A combined application of structural equation modeling (SEM) and analytic hierarchy process (AHP) in supplier selection", **Benchmarking: An International Journal**. 19(1), 70-92.

การเตรียมและสมบัติของยางไนไตรล์ผสมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล

Preparation and Properties of Nitrile Rubber Mixed with Carbon Filler from Molasses

สุริยาพร หอมเจียน¹ และธนัญญา เสาวภาคย์^{2*}

Suriyaporn Homkeing¹ and Thanunya Saowapark^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากน้ำตาลที่เป็นผลพลอยได้ จากกระบวนการผลิตน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ โดยเมื่อนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อน จะสามารถเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนได้ ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนร้อยละ 56 และจากผลของ FTIR พบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล มีลักษณะของหมู่ฟังก์ชัน เช่นเดียวกับผงเขม่าดำ แต่อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย SEM พบว่า ขนาดของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มีขนาดใหญ่กว่าผงเขม่าดำในงานวิจัยนี้ นำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ ที่ปริมาณ 0-30 phr และเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ จากการทดลองพบว่า การใช้ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลสามารถลดเวลาในการคงรูปของยางไนไตรล์ได้ นอกจากนั้นยังพบว่า โมดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และความต้านทานต่อการบวมในตัวทำละลายของยางไนไตรล์ดีขึ้นเล็กน้อย โดยปริมาณที่เหมาะสมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลที่เติมลงในยางไนไตรล์ในงานวิจัยนี้ คือ 30 phr

คำสำคัญ: ยางไนไตรล์ กากน้ำตาล ผงคาร์บอน สารตัวเติม

Abstract

In this research, a feasibility study was carried out on the utilization of molasses, by-product of the refining of sugarcane into sugar, as filler in nitrile rubber (NBR). Molasses was converted to powder under heating process. Molasses carbon filler (MCF) was finally obtained. As a result of percentage of carbon, it is observed that MCF containing 56 percent of carbon. Additionally, FTIR result confirmed that functional groups of MCF were comparable with carbon black. Nevertheless, SEM image clarified that the large particle size of MCF were different from carbon black. In the present work, MCF was incorporated into the NBR with various loadings of 0-30 phr and compared with carbon black. From the results, it was observed

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

² อ.ดร., ศูนย์วิจัยวัสดุธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

¹ Undergraduate Student, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

² Lecturer, Dr., Research Center of Natural Materials and Natural Products, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

* Corresponding author: E-mail address: bbiirddtt@hotmail.com

that cure times decreased with the incorporation of MCF. Additionally, modulus, tear strength, and swelling resistance of NBR slightly increased. In this work, the results revealed that the vulcanizates containing 30 phr of MCF provided optimum properties.

Keywords: Nitrile Rubber, Molasses, Carbon Powder, Filler

บทนำ

ยางไนไตรล์ (Nitrile Rubber หรือ NBR) เป็นยางสังเคราะห์ที่มีความเป็นขี้ผึ้งและมีคุณสมบัติการใช้งานที่หลากหลาย มีคุณสมบัติในการทนน้ำมัน ยางชนิดนี้ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน ทนต่อความร้อน และต้านทานต่อการกัดกร่อน เช่น ปะเก็นน้ำมัน ยางโอริง ยางซีล เป็นต้น [1] ยางไนไตรล์เป็นยางที่มีความต้านทานต่อการดึงและฉีกขาดไม่มากนัก ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางไนไตรล์ด้วยการเติม สารตัวเติมเสริมแรง เช่น ผงเขม่าดำ และซิลิกา เป็นต้น [2-3] ปัจจุบันได้มีการนำชีวมวลจากส่วนที่เหลือใช้ทางการเกษตร การปศุสัตว์ และของเสียบางประเภทจากอุตสาหกรรม นำมาใช้ทดแทนสารตัวเติมดังกล่าวที่มาจากสารสังเคราะห์ หากนำตาลนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาล ปัจจุบันได้นำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น นำมาทำน้ำสกัดชีวภาพ เพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อนำกากน้ำตาลมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นผงคาร์บอนได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยพยายามเพิ่มความหลากหลายในการนำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์โดยนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยาง

วิธีการดำเนินการ

1. การเตรียมและวิเคราะห์ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล

นำกากน้ำตาลไปทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปคั่วให้ละเอียด และนำมาเผาภายใต้สภาวะไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล จากนั้นนำมาวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน โดยใช้เครื่อง CHN Elemental Analyzer และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่อยู่ภายในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ในช่วงความถี่ $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และการขนาดการกระจายของขนาดอนุภาคผงคาร์บอน (Particle Size Distribution) ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer

2. การเตรียมยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

โดยการผสมยางไนไตรล์และสารเคมีตามสูตรดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์ในขั้นตอนที่ 1 คือ ทำการผสมยางไนไตรล์และสารตัวเติม ซึ่งได้แก่ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (Molasses Carbon Filler, MCF) โดยทำการศึกษเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ เกรด N550 (Carbon Black, CB) และสารเคมีอื่นๆ ยกเว้น ตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูป คือ TBBS (N-Tert-Butyl-2-Benzothiazole Sulfenamide) และสารเคมีที่ใช้ในการคงรูป คือ Sulphur ในเครื่องผสมแบบปิด Brabender (Cam Blade Rotor) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 40 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการผสม 9 นาที ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเติม TBBS และ Sulphur ลงในยาง Masterbatch ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเครื่องผสมแบบปิด Brabender เช่นเดิมใช้เวลาผสม 3 นาที จากนั้นนำยางผสมไปรีดโดยใช้เครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

3. การทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผิวงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

3.1 การศึกษาลักษณะการคงรูป (Cure Characteristics)

การศึกษาการคงรูปของยางคอมพาวด์โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR: TECHPRO, Rheotech MD+) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 150 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการคงรูปต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางคอมพาวด์

องค์ประกอบ	Part per hundred rubber (phr)			
Nitrile Rubber (NBR)	100.0	100.0	100.0	100.0
Zinc Oxide	4.0	4.0	4.0	4.0
Stearic acid	2.0	2.0	2.0	2.0
Filler (MCF or CB)	0.0	10.0	20.0	30.0
TBBS	2.25	2.25	2.25	2.25
Sulphur	0.75	0.75	0.75	0.75

3.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tensile Properties and Tear Strength)

ทำการขึ้นรูปยางคอมพาวด์เป็นแผ่น โดยแม่พิมพ์แบบอัด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาคงรูปที่ได้จากการศึกษาลักษณะการคงรูปที่ได้การทดสอบก่อนหน้าทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) และ ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624 (Die B) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (INSTRON 3366)

3.3 การทดสอบสมบัติความต้านต่อตัวทำละลาย (Swelling Resistance)

ทดสอบโดยใช้วิธีการ Equilibrium Swelling Measurement เป็นการทดสอบการบวมตัวของยางไนไตรล์ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปนำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมให้มีน้ำหนัก 0.5-0.7 กรัม นำไปแช่ในโทลูอีน เป็นเวลา 7 วันนำไปตั้งไว้ในที่มืด จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาอัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio) โดยใช้สมการ

$$Q = \frac{(W_s - W_u)}{W_u}$$

เมื่อ Q คือ อัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio)

W_u คือ น้ำหนักก่อนแช่โทลูอีน (g)

W_s คือ น้ำหนักหลังแช่ในโทลูอีน (g)

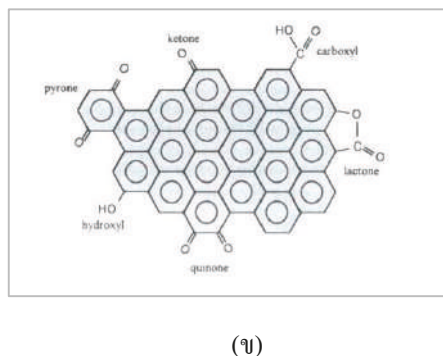
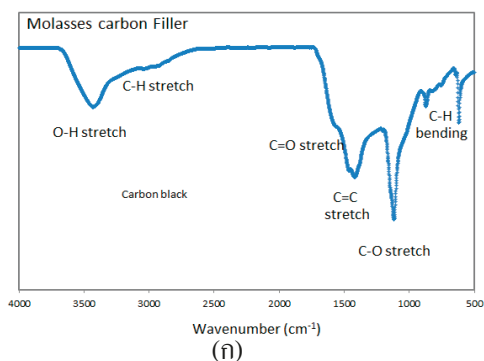
ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

1. สมบัติของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล

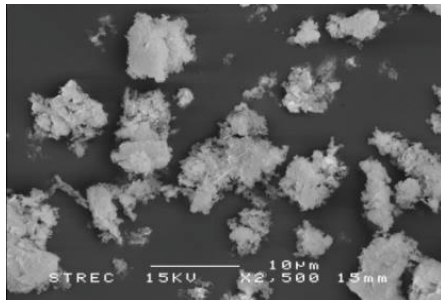
ผลของการวิเคราะห์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ของผงคาร์บอนที่ได้ จากกากน้ำตาล (MCF) เปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ (CB) ดังตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณของคาร์บอนที่พบในผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลโดยเฉลี่ย ร้อยละ 56.13 ในขณะที่ผงเขม่าดำมีปริมาณคาร์บอนโดยร้อยละ 95.31 ผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) แสดงดังภาพที่ 1(ก) จากภาพจะเห็นได้ว่าตรวจพบสัญญาณที่ $3,200-3,400\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน OH Stretch สัญญาณที่ $3,000\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H Stretch สัญญาณที่ $1,725\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=O Stretch สัญญาณที่ $1,640-1,667\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=C Stretch พบสัญญาณที่ $1,250\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-O Stretch และสัญญาณที่ 700 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H Bending [4-7] จากสัญญาณที่ตรวจพบนั้นแสดงให้เห็นว่าบนพื้นผิวของของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล น่าจะมีหมู่ฟังก์ชัน Hydroxyl Group และ Double Conjugated Bond บน Carbonyl Group เช่นเดียวกับที่ปรากฏบนผงเขม่าดำมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1(ข) [8] ภาพที่ 2 (ก) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของผงคาร์บอนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่าการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน นอกจากนั้นจากผลของการกระจายตัวของอนุภาคผงคาร์บอนแสดงดังภาพที่ 2(ข) โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 100-400 ไมครอน

ตารางที่ 2 ปริมาณของธาตุคาร์บอนของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และของผงเขม่าดำ

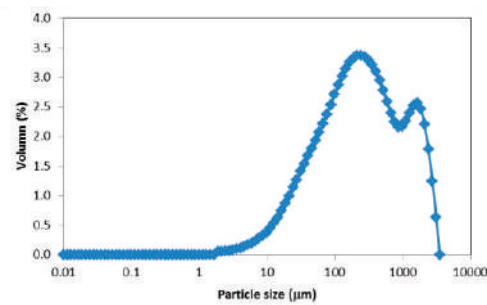
ชนิดผงคาร์บอน	ร้อยละของธาตุคาร์บอน
ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MCF)	56.13
ผงเขม่าดำ (CB)	95.31



ภาพที่ 1 (ก) FTIR spectrum ของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และ (ข) แบบจำลองพื้นผิวของผงเขม่าดำ



(ก)

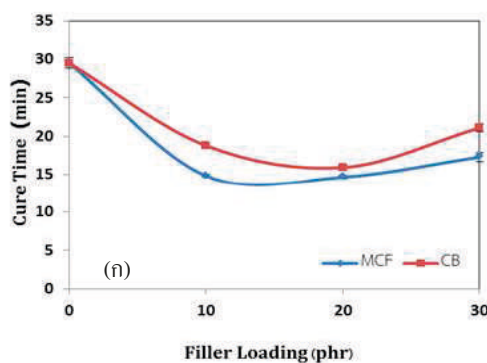


(ข)

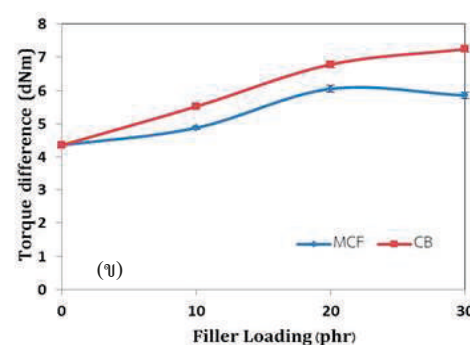
ภาพที่ 2 (ก) ลักษณะสัณฐานวิทยา และ (ข) การกระจายของขนาดอนุภาคของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำเต้า

2. การทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าเป็นสารตัวเติม

ผลของการเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า (MCF) ลงในยางไนไตรล์ ที่มีต่อเวลาการคงรูป (Cure Time) และผลต่างของแรงบิด (Torque Difference) เปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ (CB) แสดงดังภาพที่ 3 โดยภาพที่ 3(ก) แสดงเวลาการคงรูปของยางไนไตรล์ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปของยางไนไตรล์ลดลงเมื่อมีการใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าและ ผงเขม่าดำเนื่องจาก ความหนืดของระบบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ เกิด Thermal History ระหว่างการผสมกับสารคงรูป ส่งผลให้มีระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป ลดลง ในขณะภาพที่ 3(ข) แสดงผลของการเติมผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำเต้าและ ผงเขม่าดำ ที่มีต่อผลต่างแรงบิด (Torque Difference) จะเห็นได้ว่า การเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าหรือ ผงเขม่าดำลงในยางไนไตรล์ ส่งผลให้ผลต่างของแรงบิดสูงสุด สูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงความแข็งของยางไนไตรล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมสารตัวเติมลงไปมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้ น้อยลงจึงทำให้ยางคงรูป มีความแข็งเพิ่มขึ้น อีกทั้งจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม และการเกิดพันธะเชื่อม ขวาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางที่เพิ่มขึ้นด้วย (Crosslink Density) อย่างไรก็ตามในยางนั้นเมื่อใช้ผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติมจะมีค่าผลต่างแรงบิดสูงกว่าการใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า ทั้งนี้เนื่องจากผงคาร์บอนเกรดการค้าสามารถเกิดอันตรกิริยากับยาง ไนไตรล์ได้มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า เนื่องจากผงคาร์บอนเกรดการค้าที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า ผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า ส่งผลให้มี Active Sites ในการเกิดอันตรกิริยาได้มาก [9]



(ก)

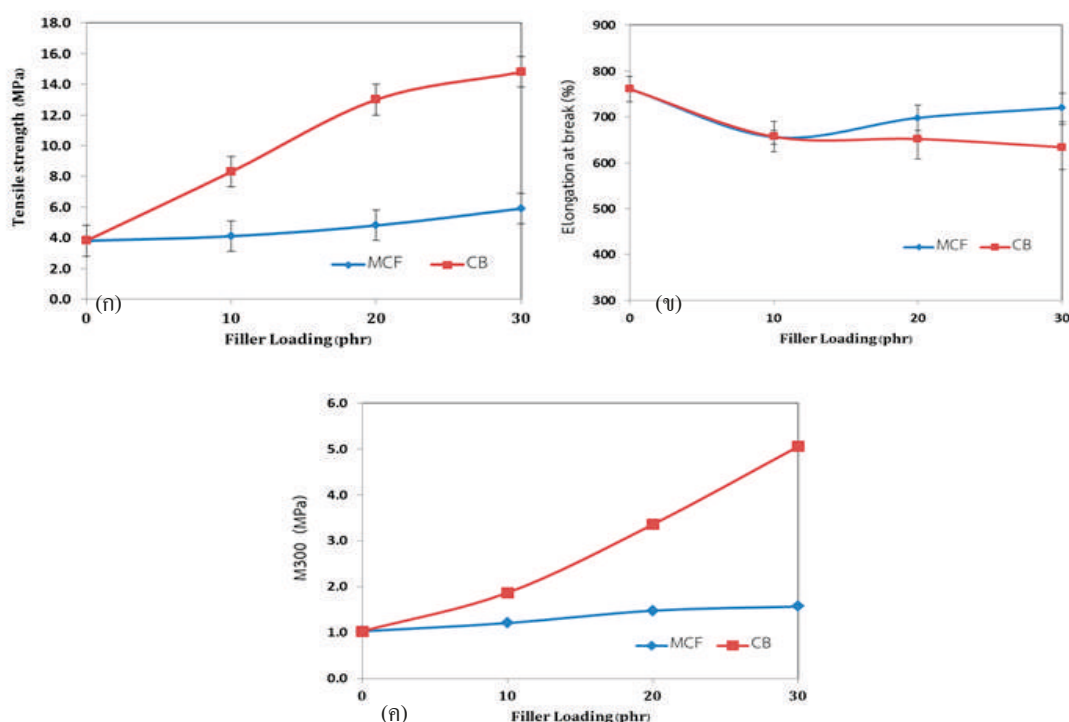


(ข)

ภาพที่ 3 (ก) เวลาการคงรูป (Cure Time) และ (ข) ผลต่างแรงบิด (Torque Difference) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จาก กากน้ำเต้าและผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

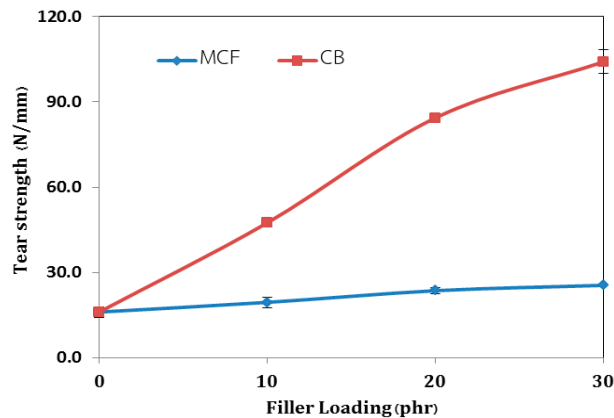
การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) และความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ของการเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำลงในยางไนไตรล์ที่มี

ผลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) และ โมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% (Tensile Modulus at 300% Elongation, M300) แสดงดังภาพที่ 4 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงดึงของไนไตรล์ที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงคาร์บอนเพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 4 (ก) แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีความต้านทานต่อแรงดึงที่ต่ำกว่าผงเขม่าดำ ในขณะที่ยืดตัว ณ จุดขาด ของยางไนไตรล์ที่เติมคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำมีค่าไม่แตกต่างกันส่วนโมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% นั้น เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมผงคาร์บอนทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น โดยการเติมผงคาร์บอนเกรดการค่าให้ค่าโมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้ จากกากน้ำตาล และ ผงเขม่าดำแสดงดังภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลนั้นส่งผลต่อสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เติมผงเขม่าดำจะให้เห็นชัดเจนว่า มีความต้านทานต่อการฉีกขาดดีขึ้น

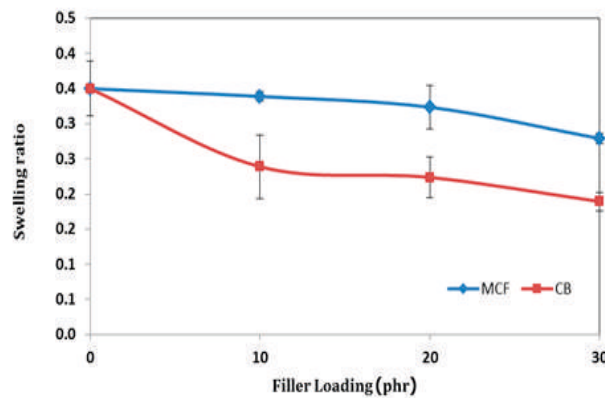


ภาพที่ 4 (ก) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) (ข) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) และ (ค) โมดูลัส ณ ระยะยืดตัว 300% (M300) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลและผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

จากภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ จะให้เห็นว่า เมื่อเติมผงคาร์บอนทั้งสองชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ และเมื่อนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำมาใช้เป็นสารตัวเติมจะยังมองเห็นได้ว่าเมื่อใช้ผงเขม่าดำความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ยังคงดีกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล จากการทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติมนั้นจะเห็นได้สามารถเพิ่มสมบัติต่างๆ ของยางไนไตรล์ได้เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก อนุภาคส่วนใหญ่ของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลยังมีขนาดที่ใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำส่งผลให้ยังไม่สามารถเสริมแรงยางไนไตรล์ได้ดี



ภาพที่ 5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม



ภาพที่ 6 ความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย (Swelling Resistance) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

สรุปผลการวิจัย

เมื่อกากน้ำตาลนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อน จะสามารถเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนได้ โดยผลจากการ วิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอน ในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 56 และผลของ FTIR แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะของหมู่ฟังก์ชัน เช่นเดียวกับผงคาร์บอนเกรดการค้า แต่อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ ภาพถ่าย SEM และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่า ขนาดของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มีขนาดใหญ่ และเมื่อนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ พบว่าการใช้ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลสามารถลดเวลาในการคงรูปของยางไนไตรล์ได้นอกจากนั้นยังพบว่า มอดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และความต้านทานต่อการบวมในตัวทำละลายของยางไนไตรล์ดีขึ้นเล็กน้อยโดยปริมาณที่เหมาะสมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลในงานวิจัยนี้ที่เติมลงในยางไนไตรล์ คือ 30 phr

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย (ทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2559 โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์) ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jie, L., Xiangbo, L., Likun, X. and Peiqing, Z. (2016). "Investigation of aging behavior and mechanism of nitrile butadiene rubber (NBR) in the accelerated thermal aging environment", **Polymer Testing**, 24, 59-66.
- [2] Mark, J.E., Erman, B. and Eirich, F.R. (2005). **The Science and Technology of Rubber** (third ed). New York: Elsevier Academic.
- [3] Boonstra, B. B. (1973). **Filler review: Carbon Black and Nonblack. Rubber Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [4] Peng, B., Suqin, L., Yuan, L., Shuxin, Z., Haiyan, W. and Feiyue, T. (2012). "Effects of carbon black on the electrochemical performance of lithium-organic coordination compound batteries", **International Journal of Electrochemical Science**, 7, 4617-4624.
- [5] Geyou, A., Quanli, H. and Myung-Soo, K. (2008). "Properties of activated carbon blacks filled SBR rubber composites", **Carbon Letters**, 9, 115-120.
- [6] Samantha, A. G., Du, T.N. and Aoren, P.E. (2016). "Surface modification of carbon black nanoparticles enhances photothermal separation and release of CO₂", **Carbon**, 106, 126-135.
- [7] Subhan, S. and Charoen, N. (2012). "Influence of modified natural rubber and structure of carbon black on properties of natural rubber compounds", **Polymer Composite**, 33, 489-500.
- [8] Leblance, J.L. (2002). "Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds", **Progress in Polymer Science**, 27, 627-687.
- [9] Qu, L., Huang, H., Zhang, P., Nie, Y., Weng, G. and Wu, J. (2010). "Synergistic reinforcement of nanoclay and carbon black in natural rubber", **Polymer International**, 591, 397-1402.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ

Feasibility Study of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds Oil

โชคชัย เหมือนมาส^{1*} และรวมพร นิคม¹

Chokchai Mueanmas^{1*} and Ruamporn Nikhom¹

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เนื่องจากมีข้อดีทั้งในแง่ของการผลิตได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันปาล์ม ยังเป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับการบริโภค การที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานในปริมาณมาก อาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนในแง่ของการบริโภคได้ อีกทั้งยังส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย ดังนั้น การหาวัตถุดิบใหม่เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีเป้าหมายที่จะหาแหล่งวัตถุดิบอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันปาล์มได้ โดยกากกาแฟ ซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งที่มีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิง เนื่องจากผลการทดลองเบื้องต้นในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟพบว่า กากกาแฟมีปริมาณน้ำมัน และกรดไขมันอิสระประมาณ 12.2% และ 16.5% โดยน้ำหนัก อีกทั้ง เมื่อศึกษาผลของปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ถึง 85% และสามารถผลิตเมทิลเอสเตอร์ได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ดังนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ จึงมีศักยภาพในการที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล

คำสำคัญ: กากกาแฟ, น้ำมันสกัดจากกากกาแฟ, กรดไขมันอิสระ, การทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน, ไบโอดีเซล

Abstract

Biodiesel is the potential fuel to substitute for fossil fuel, which is easy to produce and friendly for environment. Common feedstock (i.e. palm oil) used in the biodiesel production can also be consumed as a human food. When the large-scale of biodiesel is produced, it may result in a shortage of edible oil and also increase the production cost. Therefore, a new resource for the biodiesel production is an attractive choice. The aim of this paper is to study the feasibility of using the extracted oil from waste coffee grounds (WCG) as the new feedstock for the biodiesel production. The preliminary results showed that the amount of extracted oil from WCG was 12.2%wt in the presence of free fatty acid (FFA) 16.5%wt. Moreover, 85% of FFA was reduced by esterification reaction and 90.20% of methyl ester was produced by transesterification reaction. Therefore, WCG was potential feedstock for the biodiesel production.

Keywords: Waste Coffee Grounds, Extracted Oil from Waste Coffee Grounds, Free Fatty Acid, Two-Step Reaction, Biodiesel

¹อ.ดร., หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

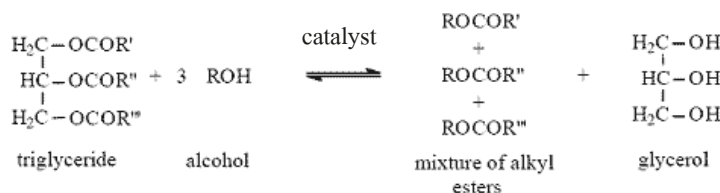
¹ Lecturer, Dr., Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel.: 074-609600 ต่อ 3602-3. E-mail address: cmueanmas@hotmail.com

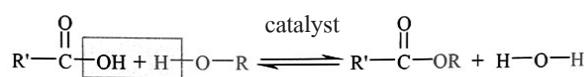
บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ในสถานะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด หรือเบส ด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) จะได้ผลิตผลเป็น เอสเทอร์ (Ester) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) และไม่มีพิษ (Nontoxic) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด องค์ประกอบของออกซิเจนที่มีอยู่ในไบโอดีเซลจะส่งผลให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดน้อยลง ช่วยลดมลพิษทางอากาศ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ไบโอดีเซลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน ยังคงมีต้นทุนที่สูง โดยต้นทุนส่วนใหญ่เกิดจากราคาของน้ำมันพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 66 [1] ของต้นทุนในการผลิตทั้งหมด จึงส่งผลให้ราคาขายของไบโอดีเซลไม่สามารถที่จะแข่งขันในเชิงธุรกิจกับน้ำมันปิโตรเลียมได้

ดังนั้น จึงได้มีการทดลองกันอย่างกว้างขวางเพื่อแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ในการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล พบว่า ในกากกาแฟนั้นมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งน่าจะมีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ อีกทั้งกากกาแฟเป็นผลพลอยได้ที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือ แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ไม่ใช่น้ำมันสำหรับการบริโภค ส่วนใหญ่แล้วจะมีกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงเกินกว่า 1% ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาที่ 1) ได้โดยตรง เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจนเกิดเป็นสบู่ [2] จำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 1% ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาที่ 2) เสียก่อน จึงจะสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุน และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล



ปฏิกิริยาที่ 1 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ปฏิกิริยาที่ 2 เอสเทอริฟิเคชัน

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบหลักสำหรับการศึกษาครั้งนี้ เป็นกากกาแฟจากร้าน Southern Coffee สาขาเทศบาลโก๊โลดส์ นครศรีธรรมราช ทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย AR เกรด 5 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) เอทิลอะซิเตต (Ethyl Acetate) เบนซีน (Benzene) และไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอล (Methanol) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของกากกาแฟ

ปริมาณความชื้นของกากกาแฟทำการวิเคราะห์โดย ชั่งตัวอย่างกากกาแฟประมาณ 10 กรัม ให้น้ำหนักแน่นอนในภาชนะที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [3-4] ทิ้งให้เย็นในโถสุญญากาศ แล้วชั่งน้ำหนัก และคำนวณปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักฐานเปียก (Wet Basis) ตามสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100 \quad (1)$$

การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

กากกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องชงกาแฟ นำมาทำการอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการสกัดน้ำมันโดยชั่งกากกาแฟแห้งหนักประมาณ 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมหักตัวละลาย 50 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงทำการกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกส่วนของสารละลายออกจากกากกาแฟ แล้วนำส่วนของสารละลายที่กรองได้ไปกลั่นแยกด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดันเพื่อให้ได้น้ำมันจากกากกาแฟ แล้วคำนวณร้อยละของผลได้ตามสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละผลได้ของน้ำมันจากกากกาแฟ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของกากกาแฟแห้ง (กรัม)}} \times 100 \quad (2)$$

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40 [5] ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้น้ำหนักแน่นอน 1-10 g ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกลาง 50 ml ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ และเติมฟีนอล์ฟทาเลอินจำนวน 2-3 หยด แล้วทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรจนกระทั่งได้สีชมพูถาวร คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระตามสมการที่ (3)

$$\% \text{FFA (by weight)} = \frac{V \times C \times 26.75}{m} \quad (3)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (mL) C คือ ความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ (mol/L) m คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g) และ 26.75 คือ ร้อยละ โดยน้ำหนักเฉลี่ยของกรดไขมันในน้ำมันจากกากกาแฟ

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ ทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) Agilent 6890 ที่มี Flame Ionization Detector (FID) เพื่อหาสัดส่วนปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิด โดยใช้คอลัมน์ชนิด Select Biodiesel for FAME ที่มีความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร และมีความหนาของฟิล์มเคลือบ 0.25 ไมโครเมตร ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีอัตราการไหลของก๊าซฮีเลียม ก๊าซไฮโดรเจน อากาศ และก๊าซไนโตรเจน เท่ากับ 1.0 30 300 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ และมีค่า Split ratio เท่ากับ 50:1 โดยอุณหภูมิของ Injector และ Detector เท่ากับ 290°C และ 300°C ตามลำดับ สภาวะอุณหภูมิของ Oven เริ่มต้นที่ 210°C และคงที่ที่อุณหภูมิ 210°C เป็นเวลา 12 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20°C ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 250°C และคงที่ที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 8 นาที

การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน จะใช้เป็นปฏิกิริยาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ และมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ ในสภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยการทำปฏิกิริยาจะชั่งน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 16.5% ลงในขวดก้นกลม ปริมาณ 20 กรัม แล้วให้ความร้อนด้วย Hot Plate และกวนสารด้วย Magnetic Stirrer จนได้อุณหภูมิ 60°C จากนั้นเติมเมทานอลที่อัตราส่วนเชิงโมลเท่ากับ 5 10 และ 15 ของกรดไขมันอิสระ และเติมกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 10% โดยมวลของกรดไขมันอิสระ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 75 นาที จากนั้นเทสารที่ได้ลงในกรวยแยก ทำการล้างด้วยน้ำร้อนจนเป็นกลาง แล้วจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C เพื่อกำจัดน้ำ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อศึกษาอิทธิพลจากอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่อัตราส่วน 4 5.5 และ 7 โดยมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ในสภาวะอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน และคำนวณร้อยละของผลได้ (%yield) ตามสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละผลได้ (\%yield)} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ตามทฤษฎี}} \times 100 \quad (4)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของกากกาแฟ

กากกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาจะมีส่วนผสมที่ประกอบด้วยกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า (Robusta) และ อะราบิก้า (Arabica) ซึ่งลักษณะของกากกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องชงกาแฟ จะเป็นผงหยาบ สีน้ำตาลดำ และมีกลิ่นฉุน (ภาพที่ 1 (ก)) เมื่อผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายจะพบว่าสีของกากกาแฟจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 1 (ข))



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของกากกาแฟ (ก) ก่อนการสกัดแยกน้ำมัน (ข) หลังการสกัดแยกน้ำมัน

การศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ

การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ โดยการอบตัวอย่างด้วยตู้อบไฟฟ้า ผลที่ได้เป็นดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟมีค่าเท่ากับ 58.30% ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Haile และคณะ [3] แต่จะมีค่าแตกต่างจากงานวิจัยของ Ammerlaan และคณะ [6] และ Caetano และคณะ [7] โดยปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่จะเป็นผลสืบเนื่องมาจากขั้นตอนของการสกัดกาแฟโดยใช้น้ำร้อนด้วยเครื่องชงกาแฟ ซึ่งกระบวนการสกัดกาแฟด้วยเครื่องชงกาแฟนั้นจะต้องมีการใช้ความดันช่วยในขั้นตอนของการสกัด ดังนั้น ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่จึงแปรผกผันกับความดันที่ใช้ใน

ขั้นตอนการสกัด กล่าวคือ ถ้าเครื่องชงกาแฟใช้แรงดันสูงในการสกัดกาแฟปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ก็จะน้อย และในทางกลับกันถ้าเครื่องชงกาแฟมีแรงดันต่ำก็จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีเหลืออยู่มาก ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในกากกาแฟจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน โดยใช้ตัวทำละลายอีกด้วย [8]

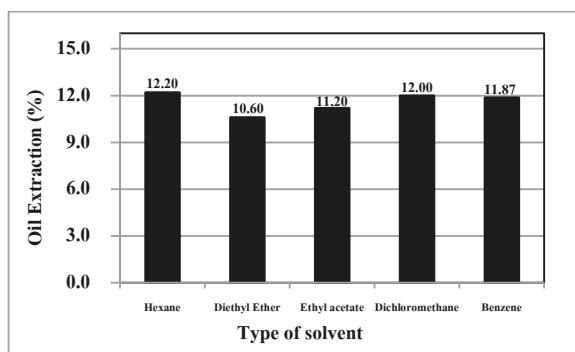
ตารางที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ

ความชื้น (%)			
จากการทดลอง	Haile และคณะ [4]	Ammerlaan และคณะ [6]	Caetano และคณะ [7]
58.30	57.60	40.50	65.70

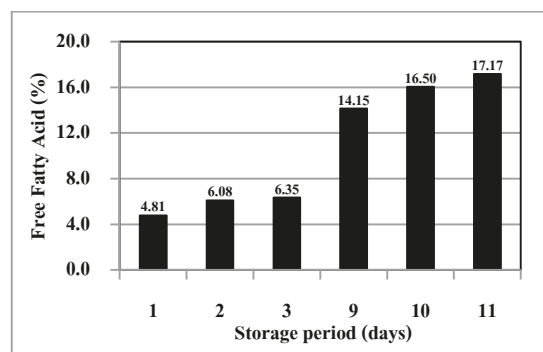
การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

ปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ คือ ชนิดของตัวทำละลาย เนื่องจากการเลือกชนิดของตัวทำละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการสกัด ซึ่งตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดควรมีสมบัติเช่นเดียวกับตัวถูกละลาย ไม่ควรเป็นพิษและราคาไม่แพง ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารในห้องปฏิบัติการจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Hexane Diethyl ether Ethyl acetate Dichloromethane และ Benzene มาใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังภาพที่ 2

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ผลที่ได้พบว่าร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลาย Hexane มีค่ามากที่สุด เนื่องจากตัวทำละลายทั้งหมดที่เลือกใช้ในการศึกษา Hexane เป็นสารที่มีค่าความเป็นขั้วต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับโมเลกุลของน้ำมันที่มีค่าความเป็นขั้วต่ำด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Al-Hamamre และคณะ [6]



ภาพที่ 2 แสดงร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆ



ภาพที่ 3 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระในน้ำมันจากกากกาแฟต่อระยะเวลาการเก็บกากกาแฟเปียกก่อนการอบ

การศึกษาปริมาณน้ำในน้ำมันกากกาแฟ

ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันกากกาแฟที่ได้จากการสกัด ซึ่งมาจากปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในกากกาแฟนั้น จะสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในขั้นตอนการอบไล่ความชื้น นั่นคือ ถ้าประสิทธิภาพในการอบสูง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันกากกาแฟก็จะน้อย แต่ในทางกลับกันถ้าประสิทธิภาพในการอบต่ำก็จะส่งผลให้มีปริมาณน้ำในน้ำมันกากกาแฟสูง ซึ่งปริมาณน้ำที่มีอยู่นี้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ร้อยละของผลได้ของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันลดลง [9-11] จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ พบว่ามีปริมาณน้ำเท่ากับ 0.24% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในการที่จะส่งผลเสียต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Park และคณะ [12]

การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันกากกาแฟ

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูงกว่า 1% จะลดประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยา [13-14] กล่าวคือ กรดไขมันที่มีอยู่จะเกิดปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ จนทำให้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาภายในระบบมีปริมาณน้อยลงทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ อีกทั้งปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอีกด้วย โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันกากกาแฟ เป็นดังแสดงในตารางที่ 2

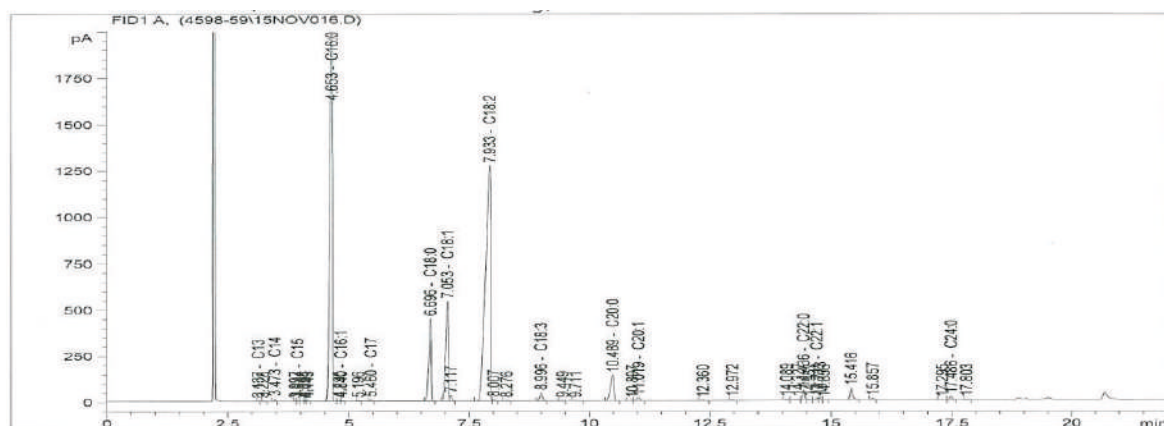
นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันกากกาแฟที่ระยะเวลาต่างๆ กันของการเก็บกากกาแฟสดก่อนการอบไล่ความชื้น พบว่าปริมาณกรดไขมันที่ได้เป็นไปตามภาพที่ 3 จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนวันที่เก็บกากกาแฟสดเพิ่มมากขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชนั้น ได้แก่ ความชื้น ความร้อน ออกซิเจนในอากาศ แสงสว่าง และระยะเวลา ดังนั้นจึงควรเก็บวัตถุดิบหรือน้ำมันในภาชนะที่ปราศจากความชื้น อากาศ และที่บดแสงจะช่วยลดการเกิดปริมาณกรดไขมันอิสระให้น้อยลง [17]

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

% กรดไขมันอิสระ		Al-Hamamre และคณะ [6]	Haile [15]	Pichai and Krit [16]
จากการทดลอง				
กากกาแฟที่เก็บในตู้เย็น 1 วัน	กากกาแฟที่เก็บในตู้เย็น 10 วัน			
4.81	16.50	3.65	4.90	0.41

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยเทคนิค GC-FID พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เท่ากับ 46.05% และ 53.95% ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีมากที่สุดคือน้ำมันกากกาแฟคือ Linoleic acid (C18:2) รองลงมาคือ Palmitic acid (C16:0) และประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันกากกาแฟด้วยเทคนิค GC-FID พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Melo และคณะ [18] และ Vardon และคณะ [19]

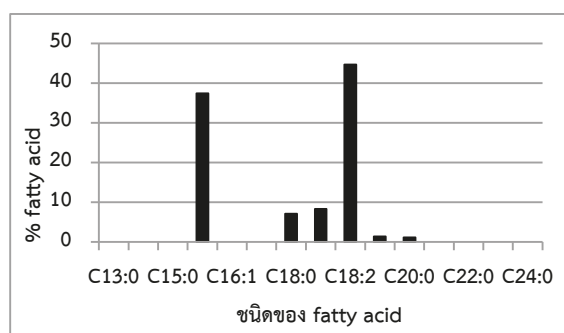


ภาพที่ 4 แสดงโครมาโทแกรมของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

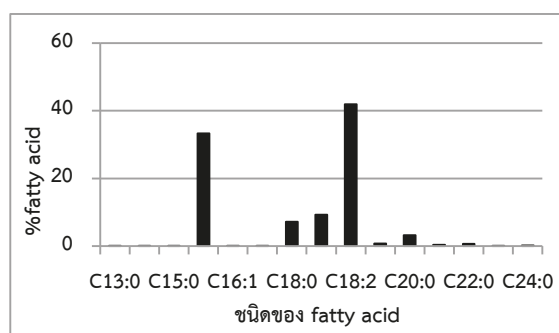
เมื่อนำ %Fatty acid ของน้ำมันจากกากกาแฟที่วิเคราะห์ได้ของงานวิจัยอื่น ๆ และของงานวิจัยชิ้นนี้มาเขียนกราฟ เพื่อแสดง Fatty Acid Profile เทียบกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม พบว่า องค์ประกอบของน้ำมันทั้งสองชนิดมีความใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) – 5 (ง)

การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

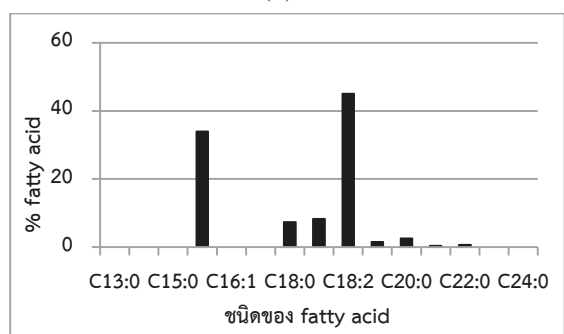
จากการศึกษาเบื้องต้นในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 75 นาที ผลที่ได้เป็นดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อ %FFA ที่ 5 10 และ 15 จะส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่มีปริมาณเท่ากับ 3.40 2.68 และ 2.37 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำเอาน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟที่ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันจนกรดไขมันอิสระเหลือเพียง 2.37% มาทำการศึกษาด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเท่ากับ 1% และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที ผลที่ได้เป็นดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่า เมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 7 จะส่งผลให้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 88.20% เป็น 90.20% ซึ่งจากผลการทดลองของทั้งสองปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นจะทำให้โอกาสที่โมเลกุลของ เมทานอลจะเกิดการชนกับโมเลกุลของน้ำมันจนเกิดปฏิกิริยานั้นมีมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นเช่นกัน และเมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลเพิ่มขึ้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากปริมาณเมทานอลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณเมทานอลที่เหลืออยู่ในชั้นของไบโอดีเซล และกลีเซอรอลภายหลังจากการทำปฏิกิริยามีปริมาณมากตามไปด้วย ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำในการแยกชั้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Samnang และคณะ [21]



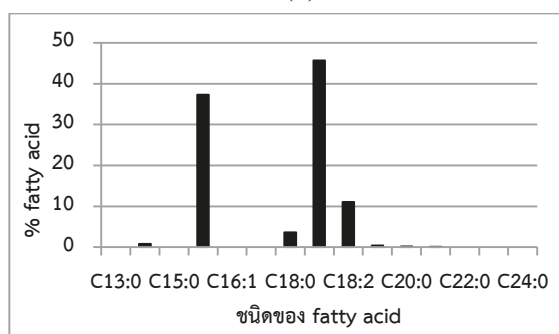
(ก)



(ข)



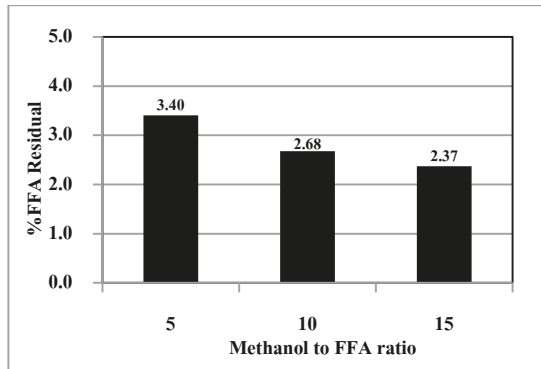
(ค)



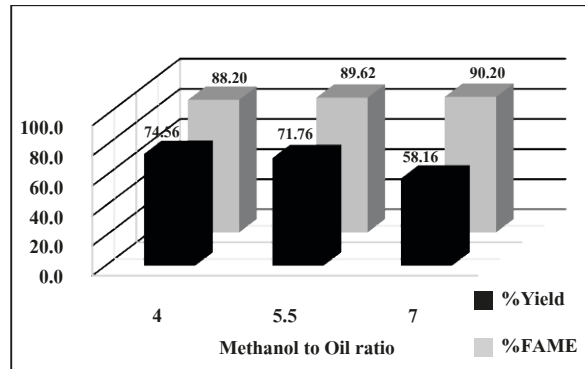
(ง)

ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของ Fatty Acid Profile ของน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ

(ก) Melo และคณะ [18] (ข) Vardon และคณะ [19] (ค) งานวิจัยชิ้นนี้ (ง) Fatty Acid Profile ของน้ำมันปาล์ม [20]



ภาพที่ 6 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมันจากกากกาแฟต่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล หลังจากผ่านการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ 60°C เป็นเวลา 75 นาที และใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ



ภาพที่ 7 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลได้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล หลังจากผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที และใช้ปริมาณเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเท่ากับ 1%

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล พบว่า ปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 12.20% โดยน้ำหนัก และปริมาณของกรดไขมันอิสระจะแปรผันโดยตรงกับระยะเวลาการเก็บกากกาแฟสดก่อนการอบ โดยเมื่อเก็บกากกาแฟไว้ในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 10 วันจะทำให้ปริมาณ FFA เพิ่มขึ้นเป็น 16.5% ดังนั้นจึงควรทำการอบกากกาแฟทันทีเพื่อยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ อีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้ยังมีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม และเมื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถที่จะลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจากกากกาแฟได้ถึง 85% และสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจึงมีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับทำงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdullah, M. and Koc, A. B. (2013). "Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhanced with ultrasonication", **Renewable Energy**. 50, 965-970.
- [2] Razak, N.H., Hashim, H., Yunus, A.N., Ghafar, F. and Zulkafli, N.I. (2016). "Effects of hygroscopic potash lye catalyst concentration on the waste chicken fat methyl ester production", **Journal of Engineering and Technology**. 7, 103-109.

- [3] Caetano, N. S., Silva, V. F. M. and Matab, T. M. (2012). "Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production", **Chemical Engineering Transactions**. 26, 267-272.
- [4] Haile, M., Asfaw, A. and Asfaw, N. (2013). "Investigation of Waste Coffee Ground as a Potential Raw Material for Biodiesel Production", **International Journal of Renewable Energy Research**. 3, 854-860.
- [5] AOCS official method Ca 5a-40, Available online at <https://scribd.com/>.
- [6] Ammerlaan, T., Barrière, V., Genest-Richard, P. and Rabow, S. (2012). **Tales of a Forgotten Bioresource: The Recycling of Spent Coffee Grounds**, Department of Bioresource Engineering McGill University Montréal, Canada.
- [7] Caetano, N. S., Silva, V. F. M., Melo, A. C. and Mata, T. M. (2013). "Potential of Spent Coffee Grounds for Biodiesel Production and Other Applications", **Chemical Engineering Transactions**. 35, 1063-1068.
- [8] อนรรฆมอร์ ศรีไสยเพชร และ มาโนชญ์ ถนอมวัฒน์. (2555). การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ. รายงานผลการวิจัย. 1-76, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [9] Zhang, H., Gao, J., Zhao, Z., Chen, G. Z., Wu, T. and He, F. (2016). "Esterification of fatty acids from waste cooking oil to biodiesel over a sulfonated resin/PVA composite", **Catalysis Science & Technology**. 6, 5590-5598.
- [10] Petchmala, A., Yujaroen, D., Shotipruk, A., Goto, M. and Sasaki, M. (2008). "Production Methyl Esters from Palm Fatty Acids in Supercritical Methanol", **Chiang Mai Journal Science**. 35, 23-28.
- [11] Liu, Y., Lotero, E. and Jr., J. G. G. (2006). "Effect of water on sulfuric acid catalyzed esterification", **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 245, 132-140.
- [12] Park, J.-Y., Wang, Z.-M., Kim, D.-K. and Lee, J.-S. (2010). "Effects of water on the esterification of free fatty acids by acid catalysts", **Renewable Energy**. 35, 614-618.
- [13] Chai, M., Tu, Q., Lu, M. and Yang, Y. J. (2014). "Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry", **Fuel Processing Technology**. 125, 106-113.
- [14] Kombe, G. G., Temu, A. K., Rajabu, H. M. and Mrema, G. D. (2015). "High Free Fatty Acid (FFA) Feedstock Pre-Treatment Method for Biodiesel Production", **In Second International Conference on Advances in Engineering and Technology**. 176-182.
- [15] Haile, M. (2014). "Integrated valorization of spent coffee grounds to biofuels", **Biofuel Research Journal**. 1, 65-69.
- [16] Pichai, E. and Krit, S. (2015). "OPTIMIZATION OF SOLID-TO-SOLVENT RATIO AND TIME FOR OIL EXTRACTION PROCESS FROM SPENT COFFEE GROUNDS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY", **ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences**. 10, 7049-7052.
- [17] อธิยา คงชื่น รัตนชัย ไพรินทร์ แก้วกันยา สุธประเสริฐ และวารุณี ลิ้มม้น. (2014). "การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ในขณะการเก็บรักษา", **Agricultural Science Journal**. 45, 261-264.
- [18] Melo, M. M. R. d., Barbosa, H. M. A., Passos, C. P. and Silva, C. M. (2014). "Supercritical fluid extraction of spent coffee grounds: Measurement of extraction curves, oil characterization and economic analysis", **The Journal of Supercritical Fluids**. 86, 150-159.
- [19] Vardon, D. R., Moser, B. R., Zheng, W., Witkin, K., Evangelista, R. L., Strathmann, T. J., Rajagopalan, K. and Sharma, B. K. (2013). "Complete utilization of spent coffee grounds to produce biodiesel, bio-oil, and biochar", **ACS Sustainable Chemistry and Engineering** 1. 1286-1294.

- [20] Roschat, W., Siritanon, T., Yoosuk, B. and Promarak, V. (2016). "Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst", **Energy Conversion and Management**. 108, 459-467.
- [21] Samniang, A., Tipachan, C. and Kajorncheappun-ngam, S. (2014). "Comparison of biodiesel production from crude *Jatropha* oil and *Krating* oil by supercritical methanol transesterification", **Renewable Energy**. 68, 351-355.

การศึกษาผลกระทบทางรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณจังหวัดสงขลา
ประเทศไทย ภายหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ใน
ประเทศญี่ปุ่น

A Study on Radiation Impact in Surface Beach Sand Samples in Songkhla Province,
Thailand after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan

ประสงค์ เกษราธิคุณ^{1*}, นิคม ชูศิริ², ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ³, มูรณี ดาโอะ⁴ และสุชิน อุดมสมพร⁵
Prasong Kessaratikoon^{1*}, Nikom Choosiri², Ruthairat Boonkrongcheep³, Murnee Daoh⁴
and Suchin Udomsomporn⁵

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ ¹³⁷Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าจำนวน 270 ตัวอย่างที่เก็บจากชายหาด 7 แห่งจากบริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ทางภาคใต้ของประเทศไทยภายหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ห้วงวัดแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.00 – 9.91 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่บริเวณ ชายหาดสวายสวรรค์ อำเภอเทพา มีค่าเท่ากับ 4.19 ± 1.15 Bq/kg และยังได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของทุกชายหาดที่ได้นี้กับข้อมูลในรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศทั่วโลก พบว่าค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพจำเพาะมีค่าสอดคล้องกัน คือมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่าบริเวณดังกล่าวนี้ ไม่มีผลกระทบทางรังสีภายหลังการเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ ยังได้จัดทำแผนภาพทางรังสีของบริเวณดังกล่าวนี้อีกด้วย

คำสำคัญ: กัมมันตภาพจำเพาะ นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น ทรายชายหาดผิวหน้า แผนภาพทางรังสี

¹ ผศ.ดร., หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² รศ.ดร., หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผู้ช่วยวิจัย หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

⁴ อ., โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

⁵ นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Asst. Prof. Dr., Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Assoc. Prof. Dr., Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla 90000

³ Research Assistant, Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000.

⁴ Lecturer, Physics and General Science Program, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla, 90000.

⁵ Nuclear Scientist, Office of Atoms for Peace, 16 Vibhavadi Rungsit Road, Chatuchak, Bangkok, 10900.

* Corresponding author Tel: 0815423598. E-mail address: prasong_mi@hotmail.com

Abstract

The specific activities of anthropogenic radionuclide which is ^{137}Cs in 270 surface beach sand samples collected from 7 beaches from 5 districts in Songkhla province in southern region of Thailand, have been measured and analyzed after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident in Japan by using high purity germanium detector and gamma spectrometry analysis system. It was found that the specific activities of ^{137}Cs ranged from 0.00 – 9.91 Bq/kg and the maximum average values of 4.19 ± 1.15 Bq/kg which was measured in Soisawan beach in Thepa district. Furthermore, the results were also compared with the Office of Atoms for Peace (OAP) annual report data, Thailand and global radioactivity measurements and evaluations. It was also found that the average values in all beaches were in the same level and close to the comparable data. Thus, we can say that the investigated area had no radiation impact after the accident. Moreover, the radioactive contour maps of the studied area were also created.

Keywords: Specific Activity, Anthropogenic Radionuclide, Surface Beach Sand, Radioactive Contour Map

บทนำ

หลังจากการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น ในวันที่ 11 มีนาคม 2554 หรือเมื่อประมาณ 5-6 ปี มาแล้ว จากเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ได้นำมาวิจัยในหลายประเทศได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาผลกระทบทางรังสีอื่นเนื่องมาจากอุบัติเหตุดังกล่าวนี้โดยได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาแบบแบ่งแยกตัว (fission products) โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิด ^{131}I ^{134}Cs และ ^{137}Cs ในตัวอย่างจากธรรมชาติ เช่น ดิน ทรายชายหาด น้ำทะเล และ อากาศ เป็นต้น [1-6] ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ตระหนักถึงผลกระทบทางรังสีต่อบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยของประเทศไทยที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากอุบัติเหตุในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน จึงได้มีความสนใจที่จะทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในที่นี้ คือ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณชายหาดที่มีชื่อเสียงในจังหวัดสงขลาและควรเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีนักท่องเที่ยวเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมากและเป็นประจำทุกปี ทั้งนี้ ได้มีนักวิจัยบางกลุ่มได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดบางบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยมาบ้างพอสมควรและเป็นการทำวิจัยก่อนการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่นดังกล่าวแล้วข้างต้น[7-9] ดังนั้น จึงได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดในจังหวัดสงขลา(ประเทศไทย) หลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น ในที่นี้ได้เลือกชายหาดภายในจังหวัดสงขลาที่มีนักท่องเที่ยวทั้งในและต่างประเทศ (มาเลเซีย สิงคโปร์ และอินโดนีเซีย) และประชาชนทั่วไปเดินทางมาท่องเที่ยวอยู่เป็นประจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันหยุดสุดสัปดาห์ จำนวน 7 แห่ง จากบริเวณ 5 อำเภอภายในจังหวัดสงขลา ได้แก่ ชายหาดมหาราช อำเภอสตงิ่งพระ ชายหาดทรายแก้ว อำเภอลี้หอนคร ชายหาดสมิหลาและชายหาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง ชายหาดนาทับ อำเภอนะบะ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา ในบริเวณดังกล่าวนี้ยังไม่มีข้อมูลที่เป็นระบบและมีมาตรฐานสากลของค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อได้ข้อมูลจากการตรวจวัดและวิเคราะห์แล้วนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้แล้วนี้ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยซึ่งใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ศึกษาต่อไป และยังได้นำข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ไปสร้างเป็นแผนภาพทางรังสี (Radioactive Contour Maps : RCM) ของชายหาดทั้ง 7 แห่ง ในบริเวณพื้นที่ศึกษาและวิจัยนี้ เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ประชาชนที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวและอาศัยอยู่

ในพื้นที่ และข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเปรียบเทียบเกี่ยวกับการก่อกับและดูแล เรื่อง ความปลอดภัยทางรังสีและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชายหาดบริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย ต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ ยังนำข้อมูลที่ได้ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ทั้งหมดนี้ ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติจากรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและผลการวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและทั่วโลกอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. วิธีการดำเนินการเก็บและเตรียมตัวอย่างทรายชายหาด

เก็บตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้า (ลึกจากผิวหน้าของชายหาดไม่เกิน 10 ซม.) จากชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา (ชายหาดมหาราช อำเภอสทิงพระ ชายหาดทรายแก้ว อำเภอสทิงพระ ชายหาดสมิหลาและชายหาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง ชายหาดนาทับ อำเภोजะนะ ชายหาดสะกอมและชายหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา) ชายหาดละ 30 ตัวอย่างเป็นอย่างน้อย รวมทั้งหมดเป็น 270 ตัวอย่างตามวิธีมาตรฐานสากล โดยเลือกบริเวณที่นักท่องเที่ยวและประชาชนที่เดินทางมาท่องเที่ยวใช้ในการเดินเที่ยวชมชายหาดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณกลางชายหาด พร้อมทั้งบันทึกตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องมือ GPS ของจุดที่เก็บตัวอย่างทรายชายหาดทุกจุด นำตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บมาทั้งหมดมาใส่ภาชนะภาชนะเคลือบให้กระจายทั่วทั้งภาชนะแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตัวอย่างทรายแห้งในระดับหนึ่ง หลังจากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่เหลืออยู่ในตัวอย่างทรายชายหาดที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำการร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงขนาด 325 mesh เพื่อเอาเศษไม้ ใบหญ้า ออกให้หมด และเพื่อให้ตัวอย่างของทรายชายหาดที่ได้มีขนาดที่สม่ำเสมอและใกล้เคียงกัน นำตัวอย่างทรายชายหาดบรรจุลงในภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกซึ่งมีขนาดเช่นเดียวกับมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ทำการปิดภาชนะพลาสติกให้สนิทและปิดฉนักภาชนะพลาสติกด้วยเทปกา

2. วิธีดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ

นำตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าทั้งหมดที่เตรียมได้ไปทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) โดยใช้หัววัดรังสีชนิดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe detector) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการของหน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา และห้องปฏิบัติการเฉพาะด้านของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยใช้มาตรฐานทางรังสี IAEA/RGU-1 IAEA/RGTh-1 และ KCl สำหรับ ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดชลาทัศน์ ชายหาดนาทับ ชายหาดสะกอมและชายหาดสร้อยสวรรค์ และใช้มาตรฐานทางรังสี IAEA/Soil-375 สำหรับชายหาดมหาราชและชายหาดสมิหลาใช้เวลาในการตรวจวัด 3 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์และคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าทั้งหมดนี้โดยใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เฉพาะด้าน (GENIE 2000) ของบริษัท CANBERRA หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ บันทึกค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นตัวแทนของค่ากัมมันตภาพจำเพาะนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ทั้งหมดนี้ แล้วนำค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้นี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ ยังสามารถนำผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่า กัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าทั้งหมดนี้ไป จัดทำเป็นแผนภาพทางรังสีของบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่งนี้อีกด้วย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs)

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ได้ทำการศึกษาและคำนวณค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ โดยได้แสดงค่าพิสัย และค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs ในหน่วยของ Bq/kg ในตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาด 7 ชายหาดในจังหวัดสงขลา ทั้งหมด 270 ตัวอย่าง

ชายหาดจังหวัดสงขลา	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs	
	ค่าพิสัย (Bq/kg)	ค่าเฉลี่ย (Bq/kg)
1. ชายหาดมหาราช (30 ตัวอย่าง)	0.00 – 2.56	1.20 ± 0.40
2. ชายหาดทรายแก้ว (30 ตัวอย่าง)	0.79 – 2.31	1.49 ± 0.52
3. ชายหาดสมิหลา (30 ตัวอย่าง)	0.00 – 1.08	0.88 ± 0.30
4. ชายหาดชลาทัศน์ (30 ตัวอย่าง)	0.58 – 4.52	2.16 ± 0.72
5. ชายหาดนาทับ (50 ตัวอย่าง)	1.28 – 4.91	2.37 ± 1.22
6. ชายหาดสะกอม (50 ตัวอย่าง)	1.18 – 9.91	3.63 ± 1.06
7. ชายหาดสร้อยสวรรค์ (50 ตัวอย่าง)	1.77 – 9.30	4.19 ± 1.15

2. การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดได้กับข้อมูล วิจัย

เมื่อพิจารณาเฉพาะข้อมูลของค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 และได้้นำข้อมูลค่าเฉลี่ยดังกล่าวนี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศทั่วโลก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา กับข้อมูลวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ

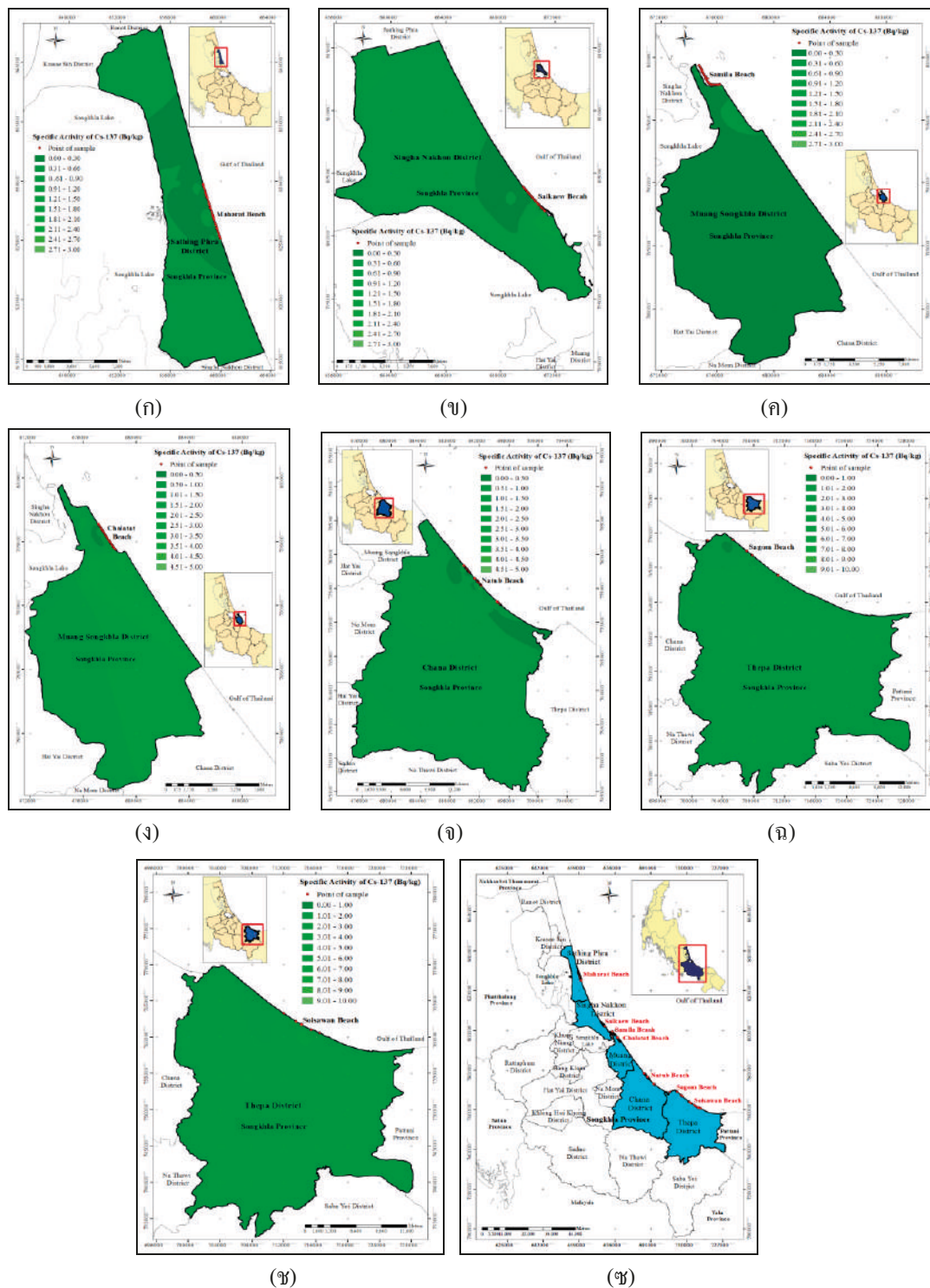
พื้นที่ศึกษาวิจัย	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs (Bq/kg)
1. ชายหาดมหาราช จังหวัดสงขลา	1.20 ± 0.40
2. ชายหาดทรายแก้ว จังหวัดสงขลา	1.49 ± 0.52
3. ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา	0.88 ± 0.30
4. ชายหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา	2.16 ± 0.72
5. ชายหาดนาทับ จังหวัดสงขลา	2.37 ± 1.22
6. ชายหาดสะกอม จังหวัดสงขลา	3.63 ± 1.06
8. ชายหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา	4.19 ± 1.15

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา กับข้อมูลวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ (ต่อ)

พื้นที่ศึกษาวิจัย	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs (Bq/kg)
9. ชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต [9]	3.28 ± 1.03
10. ชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต [9]	1.19 ± 0.66
11. ค่าเฉลี่ยในภาคใต้ของประเทศไทย (สำนักงาน ปส.) [10]	1.13 ± 0.49
12. ข้อมูลวิจัยในประเทศอียิปต์ [11]	1.2
13. ข้อมูลวิจัยในประเทศโรมาเนีย [12]	1.3
14. ข้อมูลวิจัยในประเทศเซอร์เบีย [13]	1.4
15. ข้อมูลวิจัยในประเทศอินเดีย [14]	$\leq 1.0 - 2.8$
16. ข้อมูลวิจัยในประเทศตุรกี [15]	0.56-5.43
17. ข้อมูลวิจัยในประเทศเยอรมัน [16]	4.78
18. ข้อมูลวิจัยในประเทศจีน [17]	12.9

3. การสร้างแผนภาพทางรังสีบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง

นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ไปสร้างเป็นแผนภาพทางรังสีของบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1 ต่อไปนี้



ภาพที่ 1 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้
จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณ (ก) ชายหาดมหาราช อำเภอสทิงพระ (ข) ชายหาดทรายแก้ว
อำเภอสทิงพระ (ค) ชายหาดสมิหลา อำเภอเมือง (ง) ชายหาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง (จ) ชายหาดนาทับ อำเภोजะนะ
(ฉ) ชายหาดสะกอม อำเภอเทพา (ข) ชายหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา และ
(ข) เป็นภาพแสดงบริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลาที่ใช้เป็นพื้นที่ศึกษาวิจัย

จะเห็นได้ว่า จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา ที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่า

1. ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดมหาราช ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดสมิหลา ชายหาดชลาทัศน์ และชายหาดนาทับ จำนวน 5 ชายหาด มีค่าต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs บริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ที่ตรวจวัดไว้ก่อนการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น ส่วนอีก 2 ชายหาด คือ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs บริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

2. ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดมหาราช ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดชลาทัศน์ ชายหาดนาทับ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ จำนวน 6 ชายหาด มีค่าสูงกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs บริเวณชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต และ ค่าเฉลี่ยในภาคใต้ของประเทศไทย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ส่วนบริเวณชายหาดสมิหลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่าบริเวณชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต และ ค่าเฉลี่ยในภาคใต้ของประเทศไทย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

3. ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดสมิหลาเพียงแห่งเดียวที่มีค่าต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในประเทศ อียิปต์ ประเทศโรมาเนีย ประเทศเซอร์เบีย ประเทศเยเมน และประเทศจีน และมีค่าอยู่ในพิสัยเดียวกันกับข้อมูลวิจัยที่ตรวจวัดได้ในประเทศอินเดียและประเทศตุรกี ส่วนบริเวณชายหาดมหาราช ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดชลาทัศน์ ชายหาดนาทับ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ จำนวนอีก 6 ชายหาด มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในพิสัยเดียวกัน กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในประเทศอียิปต์ ประเทศโรมาเนีย ประเทศเซอร์เบีย ประเทศอินเดีย ประเทศตุรกี ประเทศเยเมน และประเทศจีน

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาแผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2 พบว่า มีสีเขียวเข้มเป็นส่วนใหญ่ และมีบางบริเวณเท่านั้นที่มีสีเขียวอ่อน เช่นที่บริเวณชายหาดชลาทัศน์ เป็นต้น นั่นหมายถึง ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่มีอยู่ทรายชายหาดทั้ง 7 แห่งในจังหวัดสงขลา โดยภาพรวมจะมีค่าที่อยู่ในระดับต่ำสุดของแถบสีในแผนภาพทางรังสี คือ สีเขียวเข้ม

สรุป

เมื่อพิจารณาผลการวิจัยและอภิปรายผลในหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในพิสัยเดียวกันกับข้อมูลวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่นำมาเปรียบเทียบ ด้วยเหตุนี้ สามารถกล่าวได้ว่า “บริเวณพื้นที่ศึกษาวิจัยนี้ไม่มีผลกระทบทางรังสีหลังจากการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น” ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Takemura และคณะ [18]

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ประจำปี พ.ศ. 2558 เลขที่โครงการ 80377 ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณทางสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ และ หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ที่ให้การสนับสนุนทั้งทางด้าน

กำลังคน วัสดุ อุปกรณ์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ดร. อุดร ยังช่วย และนายสิทธิพงษ์ พลธรรม นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สังกัดสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐานทางรังสีและช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้านสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ และท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทและนิสิตปริญญาตรีทุกท่านในฐานะที่มีส่วนช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hirose, K. (2012). “2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactive deposition monitoring results”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 111, 13-17.
- [2] Long, N.Q., *et al.* (2012). “Atmospheric radionuclides from the Fukushima Dai-ichi nuclear reactor accident observed in Vietnam”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 111, 53-58.
- [3] MacMullin, S., *et al.* (2012). “Measurement of airborne fission products in Chapel Hill, NC, USA from the Fukushima Dai-ichi reactor accident”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 112, 165-170.
- [4] Barsanti, M., *et al.* (2012). “Environmental radioactivity in Italy following the Fukushima Dai-ichi nuclear accident”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 114, 126-130.
- [5] Baeza, A., *et al.* (2012). “Influence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident on Spanish environmental radioactivity levels”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 114, 138-145.
- [6] Ozman, S.F., Cesar, A., Boztosan I. and Yavuz, M. (2014). “Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples from Mediterranean Coast of Turkey”, **Radiation Physics and Chemistry**. 103, 37-44.
- [7] Chanyotha, S., Kranrod, C., Tokonami, S., Suwankot, N., Pangza, K. and Pornnumpa, C. (2011). “Terrestrial gamma radiation in Phuket Island”, Thailand. **Engineering Journal**. 15(4), 66-76.
- [8] Malain, D., Regan, P.H., Bradley, D.A., Matthews, M., Al-Sulaiti, H.A. and Santawamaitre, T. (2012). “An evaluation of the natural radioactivity in Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami”, **Applied Radiation and Isotopes**. 70(8), 1467–1474.
- [9] Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U. (2013). “Specific activities and radioactive contour maps of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after tsunami disaster in Phuket province, Thailand”, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. 297(2), 247-255.
- [10] Office of Atoms for Peace (OAP). (1994-2002). **OAP Annual Reports**. Ministry of Science and Technology, Bangkok, Thailand.
- [11] Harb, S. (2008). “Natural radioactivity and external gamma radiation exposure at the coastal red sea in Egypt”, **Radiation Protection Dosimetry**. 130, 376.
- [12] Margineanu, R.M., Dului, O.G., Blebea-Apostu, Ana Maria, Gomoiu, Claudia and Bercea, S. (2011). “Environmental dose rate distribution along the Romanian Black Sea Shore”, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. 298(2), 1191-1196.

- [13] Radenkovic, M.B., Alshikh, S.M., Andric, V.B. and Miljanic, S.S. (2009). "Radioactivity of sand from several renowned public beaches and assessment of the corresponding environmental risks", **Journal of Serbian Chemistry Society**. 74(4), 461-470.
- [14] Kannan, V., Rajan, M.P., Iyengar, M.A.R. and Ramesh, R. (2002). "Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam, India", **Applied Radiation and Isotopes**. 57, 109–119.
- [15] Korkulu, Z. and Ozkan, N. (2013). "Determination of natural radioactivity levels of beach sand samples in the black sea coast of Kocaeli, Turkey", **Radiation Physics and Chemistry**. 88, 27-31.
- [16] Abd El-Mageed, A. I., El-Kamel, A. H., Abbady, A., Harb, S., Youssef, A. M. M. and Saleh, I. I. (2011). "Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen", **Radiation Physics and Chemistry**. 80, 710-715.
- [17] Zhao, Y., Yan, D., Zhang, Q., Zhan, J. and Hu, H. (2012). "Spatial distributions of ^{137}Cs in surface soil in Jing-Jin-Ji Region, North China", **Journal of Environment Radioactivity**. 113, 1-7.
- [18] Takemura, T., Nakamura, H., Takigawa, M., Kondo, H., Satomura, T., Miyasaka, T. and Nakajima, T. (2011). "A Numerical simulation of global transport of atmospheric particles emitted from the Fukushima Daiichi nuclear power plant", **Scientific OnLine Letters on the Atmosphere**. 7, 101-104.

การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ
(^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดบางแสน
จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides
(^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Beach Sand Samples Collected from Bangsaen
Beach in Chonburi Province, Thailand

นพฤทธิ์ ช่างคิด¹ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ² อุดร ยังช่วย³ สิทธิพงษ์ พลธรรม³ และประสงค์ เกษราธิคุณ^{4*}

Nopparit Changkit¹, Ruthairat Boonkrongcheep², Udom Youngchaay³, Sitthipong Polthum³

and Prasong Kessaratikoon^{4*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยใช้ห้ววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการตรวจวัดปริมาณรังสีของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สทน) โดยใช้สารมาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-375 ในการวิเคราะห์และคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องการ โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 3 ชั่วโมง พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายที่ตรวจวัด ได้มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 510.85 - 771.35, 8.17 - 17.06 และ 4.25 - 15.68 Bq/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 615.84 ± 14.62 10.18 ± 0.70 และ 7.87 ± 0.86 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดได้นี้กับข้อมูลจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ผลงานวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศอีกด้วย

คำสำคัญ: กัมมันตภาพจำเพาะ ทรายชายหาดผิวหน้า ห้ววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง แกมมาสเปกโตรเมตรี

¹ นิสิตปริญญาโท หลักสูตร วท.ม. ฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² ผู้ช่วยวิจัย หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นครนายก 26120

⁴ ผศ.ดร., หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Graduate Student, Master of Science in Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Research Assistant, Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Nuclear Scientist, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Nakorn Nayok, 26120

⁴ Asst. Prof. Dr., Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel.: 081-5423598. E-mail address: prasong_mi@hotmail.com

Abstract

Specific activities of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in 50 surface beach sand samples which were collected from Bangsaen beach in Chonburi Province (Thailand), have been studied and measured. Experimental results were obtained by using a high-purity germanium (HPGe) detector and gamma spectrometry analysis system at quantitative measurement of radiation laboratory of Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization) (TINT). The IAEA-SOIL-375 standard source was used to analyze and compute the specific activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in all samples. The measuring time for each sample is 3 hrs. It was found that the specific activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th were ranged from 510.85 - 771.35, 8.17 - 17.06 and 4.25 - 15.68 Bq/kg with mean values of 615.84 ± 14.62 , 10.18 ± 0.70 and 7.87 ± 0.86 Bq/kg, respectively. Moreover, the experimental results were also compared with Office of Atoms for Peace (OAP) research data, Thailand and global radioactivity measurement and evaluations.

Keywords: Specific Activity, Surface Beach Sand, High-Purity Germanium Detector (HPGe), Gamma Spectrometry

บทนำ

มนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิดอาศัยอยู่บนโลกที่มีกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมอยู่ทั่วไป โดยส่วนใหญ่เป็นรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Natural Occurring Radiation) และบางส่วนเกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-Made Radiation) โดยที่แหล่งกำเนิดรังสีที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ แหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติ ซึ่งอาจเกิดมาจากทั้งภายในและภายนอกโลก เช่น ^{40}K ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่มีปริมาณมากเป็นอันดับที่เจ็ดในเปลือกโลกและมีมากเป็นอันดับที่หกในน้ำทะเล เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์เหมาะสำหรับการเกษตรกรรม และยังมีธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติชนิด ^{226}Ra และ ^{238}U ที่มีอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม และ ^{232}Th ในอนุกรมทอเรียม นอกจากนี้ในชั้นบรรยากาศของโลกก็ยังมีรังสีอยู่ด้วย ซึ่งนอกจากรังสีของแสงอาทิตย์แล้ว ยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิกซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้เกิดนิวไคลด์กัมมันตรังสีขึ้นมาสะสมและปะปนอยู่ในอากาศที่เราหายใจเข้าไปในร่างกายอยู่ทุกวัน หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับแร่ธาตุในหินและดินได้อีกด้วย หากปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้มีมากเกินไปในธรรมชาติ จะทำให้มนุษย์โลกได้รับรังสีในปริมาณที่มากตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นก็ตาม พบว่า มีการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเราอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะในดิน ทรายน้ำจืด ทรายชายหาด น้ำ และอากาศ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วมนุษย์ได้อาศัยอยู่บนพื้นดินอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างดินและทรายจึงเป็นการกระทำที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นดินที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย และชายหาดต่างๆ ที่เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของพื้นที่ต่างๆ

ในสภาวะปัจจุบันนี้ ได้มีกลุ่มของนักวิจัยทางด้านการวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติในต่างประเทศ ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการตรวจวัดและวิเคราะห์หาปริมาณของระดับรังสีพื้นในธรรมชาติ (Natural Background Radiation) ในบริเวณที่มีอัตราการได้รับรังสี (Exposure Dose Rate) ก่อนข้างสูง เช่น ในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล และบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกในรัฐเกรละ (Kerala) และโอริสสา (Orissa) ของประเทศอินเดีย เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการวัดปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างอื่นๆ เช่น ในตัวอย่างดินโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี [1-4] ได้ทำการตรวจวัด ^{40}K , ^{232}Th และ ^{238}U ทั้งนี้ เพื่อศึกษาและคำนวณค่าระดับรังสียังผล (Effective Dose Rate) ของพื้นที่ที่ทำการวิจัย และยังได้มีการให้ความสนใจในการตรวจวัดปริมาณ

ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติในตัวอย่างตะกอนชายหาดตามแนวชายฝั่งอเล็กซานเดรีย-โรเซตตา (Alexandria-Rosetta) ในประเทศอียิปต์ [5] เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการท่องเที่ยวเชิงการแพทย์ (Medical Tourism) อีกด้วย

สำหรับในประเทศไทยนั้น ทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงในการตรวจสอบ ดูแล และประเมินค่าความเป็นอันตรายในการได้รับรังสีจากธรรมชาติและจากมนุษย์ผลิตขึ้นมา โดยจะดำเนินการสุ่มเก็บบริเวณเก็บตัวอย่างเฉพาะบางบริเวณ บางอำเภอ และบางจังหวัดเพื่อทำการตรวจวัดและวิเคราะห์เท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปีมีจำนวนจำกัดและจำนวนของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานยังมีจำนวนค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ จึงยังทำให้ขาดข้อมูลที่มีการตรวจวัดอย่างเป็นระบบและมาตรฐานของปริมาณรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ ในหลายๆ บริเวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณสถานที่ท่องเที่ยวของจังหวัดทางชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณชายหาดบางแสนและชายหาดพัทยา จังหวัดชลบุรี ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงอันดับต้นๆ ของประเทศไทย โดยในแต่ละปีมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศเดินทางมาท่องเที่ยวบริเวณดังกล่าวนี้นับล้านคน

ชายหาดบางแสน เริ่มเป็นแหล่งท่องเที่ยวยอดนิยมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2486 จนถูกขนานนามว่า “บางแสนดินแดนสุวิชัย” มีผู้เดินทางมาเยือนเป็นจำนวนมากในแต่ละปี จนครั้งหนึ่งชายหาดบางแสนมีสภาพที่ทรุดโทรม ซึ่งแตกต่างกับสภาพของชายหาดในปัจจุบันที่ได้รับการดูแลและจัดระเบียบเป็นอย่างดี จึงกลายเป็นชายหาดที่สะอาด สวยงามและสามารถเดินทางมาท่องเที่ยวได้ในทุกฤดูกาล โดยที่ชายหาดบางแสนมีความยาวต่อเนื่องกันถึง 4.5 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. แหลมแท่น เป็นช่วงตอนเหนือสุดของชายหาด 2. ชายหาดบางแสน เป็นช่วงตอนกลางของชายหาดและเป็นบริเวณที่นักท่องเที่ยวนิยมลงเล่นน้ำกัน และ 3. ชายหาดวอนนภา ซึ่งเป็นชายหาดตอนใต้สุดของชายหาด มีบรรยากาศเงียบสงบและมีหมู่บ้านชาวประมงพื้นถิ่นขนาดเล็กกระจายอยู่ห่างๆ กัน สำหรับชายหาดบางแสนนี้มีท่าเลและที่ตั้งอยู่ใกล้กับบริเวณเขตอุตสาหกรรมใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ เขตอุตสาหกรรมบริเวณกรุงเทพมหานคร ท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี และนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้บริเวณชายหาดบางแสนจึงมักจะเกิดการปนเปื้อนจากขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูลต่างๆ รวมทั้งน้ำมันดิบที่เกิดจากการรั่วไหลทั้งจากเรือบรรทุกสินค้า หรือจากเรือขนถ่ายน้ำมันดิบจากต่างประเทศเพื่อนำส่งโรงกลั่นน้ำมันในบริเวณเขตอุตสาหกรรมดังกล่าวข้างต้น เหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลดังกล่าวข้างต้นอาจทำให้มีการสะสมของสารกัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารกัมมันตรังสีเกิดขึ้นมาพร้อมกับการกำเนิดของโลก ในหิน ดิน ทราย บนพื้นผิวโลกจึงล้วนประกอบไปด้วยสารกัมมันตรังสี ดังนั้น น้ำมันดิบซึ่งเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ในชั้นหินใต้พื้นผิวโลกมานานนับล้านปี อาจมีสารกัมมันตรังสีสะสมอยู่ด้วยเช่นกัน [6-7]

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัย จึงได้มีความสนใจที่จะตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe Detector) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริกที่มีใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการตรวจวัดปริมาณรังสีของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สทน) นำข้อมูลที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลวิจัยที่มีอยู่ทั้งในและต่างประเทศต่อไป

วิธีการวิจัย

1. การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี จำนวน 50 ตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างทรายจะแบ่งให้มีระยะห่างที่เท่ากันและเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ของบริเวณชายหาด โดยเลือกเก็บบริเวณกึ่งกลางหาดทราย หรือเป็นบริเวณที่นักท่องเที่ยวมักจะเดินเล่นไปตามชายหาด จากนั้นนำไปผึ่งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

จนแห้งสนิท กำจัดเศษรากไม้ ใบไม้และเปลือกหอยที่ติดมากับตัวอย่างทราย แล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.2 เซนติเมตร สูง 7.5 เซนติเมตร ให้มีขนาดและปริมาตรใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดต่อไป ทำการปิดผนึกภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุตัวอย่างทรายชายหาดด้วยเทปกาวเพื่อป้องกันการปลดปล่อยแก๊สเรดอนและทอรอน และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 วัน ก่อนที่จะนำไปตรวจวัดต่อไป ทั้งนี้ เพื่อทำให้เกิดสมดุลทางกัมมันตรังสี

2. การตรวจวัดรังสีและการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ

นำตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดไปตรวจวัดและวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดรังสีของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอบางกรวย จังหวัดนครนายก โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe, EG&G ORTEC Model GEM 20 P4) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม-137 (Cs-137) และ โคบอลต์-60 (Co-60) ในการปรับเทียบพลังงานของหัววัดและใช้สารมาตรฐานดิน (IAEA SOIL-375) ในการวิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาด ทั้ง 50 ตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์พีคพลังงาน (Photo Peak) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Gamma Vision V32) ในการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และ ^{232}Th นั้น ใช้วิธีการตรวจวัดพลังงานรังสีแกมมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีรุ่นลูกที่อยู่ในอนุกรมเดียวกันและเกิดสมดุลทางกัมมันตรังสี โดยที่ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609.2 keV สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของ ^{228}Ac ที่พลังงาน 911.07 keV ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของตัวเองที่พลังงาน 1460.75 keV ในการวิเคราะห์และคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องการ โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 3 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังได้นำค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในรายงานประจำปีของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ผลงานวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศอีกด้วย

ผลการทดลองและอภิปรายผล

สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในหน่วยของ Bq/kg ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ได้แสดงไว้ในรูปของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ของแต่ละตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 50 ตัวอย่าง ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนี้ ยังได้นำข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (สนง. ปส) ข้อมูลของนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ของตัวอย่างทรายผิวหน้า จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี

ตัวอย่าง	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
BS-1	622.48 ± 14.96	10.40 ± 0.72	7.74 ± 0.88
BS-2	585.40 ± 13.94	16.89 ± 0.85	15.68 ± 1.14
BS-3	602.74 ± 14.28	12.20 ± 0.75	7.14 ± 0.82
BS-4	552.47 ± 13.59	11.30 ± 0.72	8.94 ± 0.89

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ของ
ตัวอย่างทรายผิวหน้า จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี (ต่อ)

ตัวอย่าง	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
BS-5	535.17 ± 14.21	15.06 ± 0.86	12.22 ± 1.09
BS-6	583.82 ± 14.02	11.42 ± 0.72	8.18 ± 0.87
BS-7	574.42 ± 13.81	9.89 ± 0.67	10.12 ± 0.94
BS-8	518.35 ± 13.52	9.01 ± 0.67	5.93 ± 0.78
BS-9	554.00 ± 13.92	8.23 ± 0.64	8.53 ± 0.90
BS-10	528.46 ± 13.38	9.91 ± 0.68	8.49 ± 0.88
BS-11	545.64 ± 13.58	8.56 ± 0.64	8.34 ± 0.87
BS-12	612.99 ± 14.54	12.35 ± 0.76	9.02 ± 0.92
BS-13	527.55 ± 13.22	9.66 ± 0.66	6.27 ± 0.77
BS-14	510.85 ± 13.39	11.04 ± 0.72	6.92 ± 0.82
BS-15	629.95 ± 14.45	9.75 ± 0.67	6.94 ± 0.80
BS-16	530.68 ± 13.41	12.21 ± 0.74	8.72 ± 0.89
BS-17	571.11 ± 14.65	8.91 ± 0.69	6.07 ± 0.82
BS-18	565.84 ± 14.06	9.26 ± 0.67	6.94 ± 0.83
BS-19	546.32 ± 14.02	10.67 ± 0.73	5.24 ± 0.75
BS-20	684.37 ± 15.66	9.03 ± 0.68	7.59 ± 0.87
BS-21	513.91 ± 13.50	17.06 ± 0.88	14.07 ± 1.12
BS-22	619.18 ± 14.85	10.73 ± 0.73	8.08 ± 0.89
BS-23	696.77 ± 16.30	10.71 ± 0.76	7.45 ± 0.90
BS-24	771.35 ± 16.64	8.87 ± 0.68	7.47 ± 0.87
BS-25	548.30 ± 14.14	10.00 ± 0.71	8.54 ± 0.92
BS-26	702.85 ± 15.95	10.80 ± 0.74	7.76 ± 0.89
BS-27	696.09 ± 16.03	11.38 ± 0.76	8.15 ± 0.91
BS-28	726.84 ± 16.42	8.78 ± 0.69	9.40 ± 0.97
BS-29	641.76 ± 14.91	9.77 ± 0.69	6.77 ± 0.82
BS-30	610.63 ± 14.42	8.99 ± 0.66	6.41 ± 0.79
BS-31	586.97 ± 14.29	9.32 ± 0.67	8.68 ± 0.90
BS-32	643.19 ± 15.19	10.11 ± 0.71	7.00 ± 0.84
BS-33	568.47 ± 14.09	10.00 ± 0.70	6.14 ± 0.79
BS-34	513.46 ± 13.36	9.53 ± 0.68	7.58 ± 0.85
BS-35	545.73 ± 13.47	9.83 ± 0.67	8.58 ± 0.88
BS-36	654.76 ± 15.11	8.78 ± 0.66	7.14 ± 0.84
BS-37	665.95 ± 15.01	10.17 ± 0.69	7.95 ± 0.86
BS-38	703.12 ± 15.57	9.48 ± 0.68	7.00 ± 0.83
BS-39	671.64 ± 15.30	9.94 ± 0.70	4.25 ± 0.69

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ของตัวอย่างทรายผิวน้ำ จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี(ต่อ)

ตัวอย่าง	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
BS-40	678.08 ± 15.28	8.65 ± 0.65	6.59 ± 0.81
BS-41	698.28 ± 15.45	9.37 ± 0.67	6.31 ± 0.79
BS-42	655.56 ± 14.86	8.38 ± 0.64	8.62 ± 0.89
BS-43	689.93 ± 15.24	8.59 ± 0.64	8.87 ± 0.90
BS-44	670.30 ± 15.15	9.20 ± 0.67	5.92 ± 0.77
BS-45	680.64 ± 15.10	8.30 ± 0.63	5.95 ± 0.76
BS-46	667.60 ± 15.17	8.85 ± 0.66	7.70 ± 0.86
BS-47	659.90 ± 14.96	9.51 ± 0.67	7.19 ± 0.83
BS-48	651.97 ± 15.15	10.10 ± 0.70	7.28 ± 0.85
BS-49	622.24 ± 14.53	8.17 ± 0.63	8.11 ± 0.87
BS-50	649.16 ± 14.79	9.81 ± 0.68	7.45 ± 0.84
ค่าพิสัย	510.85 – 771.35	8.17 – 17.06	4.25 – 15.68
ค่าเฉลี่ย	615.74 ± 14.62	10.18 ± 0.70	7.87 ± 0.86

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำ จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี กับข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (สนง. ปส) ข้อมูลของนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

สถานที่และค่าเฉลี่ยต่างๆ	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
ชายหาดป่าตอง (จังหวัดภูเก็ต) [8]	3538.09 ± 959.56	29.72 ± 11.48	32.71 ± 7.51
ชายหาดไนยาง (จังหวัดภูเก็ต) [8]	1648.27 ± 702.98	14.62 ± 6.54	18.10 ± 4.22
ชายหาดตะกั่วป่าและท้ายเหมือง (จังหวัดพังงา) [9]	1069.99 ± 119.43	40.39 ± 4.30	41.15 ± 3.65
ชายหาดอ่าวนาง (จังหวัดกระบี่) [10]	330.73	4.60	5.78
ชายหาดนพรัตน์ธารา (จังหวัดกระบี่) [11]	307.60	5.31	5.28
ชายหาดปากเมง (จังหวัดตรัง) [12]	57.3	23.1	6.9
ชายหาดเฉวง (จังหวัดสุราษฎร์ธานี) [13]	373.30	18.85	23.53
ชายหาดบางแสน (จังหวัดชลบุรี)	615.74 ± 14.62	10.18 ± 0.70	7.87 ± 0.86
ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย) [14]	511.04 ± 7.04	171.55 ± 3.13	211.19 ± 1.98
ค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลก [15]	400	35	30

จะเห็นได้ว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ดังแสดงในตารางที่ 1 มีค่าพิสัยอยู่

ระหว่าง 510.85 - 771.35 8.17 - 17.06 และ 4.25 - 15.68 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ยเป็น 615.74 ± 14.62 10.18 ± 0.70 และ 7.87 ± 0.86 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี พบว่า มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของชายหาดอ่าวนางและชายหาดนพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ ชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง ชายหาดเจว่ง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย) และค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลก แต่มีค่าน้อยกว่าชายหาดป่าตองและชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต และชายหาดตะกั่วป่าและท้ายเหมือง จังหวัดพังงา

สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี พบว่า มีค่ามากกว่า ค่าเฉลี่ยของชายหาดอ่าวนางและชายหาด นพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ แต่มีค่าน้อยกว่า ชายหาดป่าตอง และชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต ชายหาด ตะกั่วป่า และท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง ชายหาดเจว่ง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าเฉลี่ยของสำนักงาน ปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย) และค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลกและค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี พบว่า มีค่ามากกว่า ค่าเฉลี่ยของชายหาดอ่าวนางและชายหาด นพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ และชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง แต่มีค่าน้อยกว่า ชายหาดป่าตองและชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต ชายหาดตะกั่วป่าและท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ชายหาดเจว่ง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าเฉลี่ยของสำนักงาน ปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย)และค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลก

สรุป

จากข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในพิสัยเดียวกันกับข้อมูลวิจัยของทรายชายหาดทางภาคใต้ของประเทศไทย ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่ได้ตรวจวัดไว้ในบางบริเวณทางภาคใต้ของประเทศไทยและค่าเฉลี่ยของนักวิจัยทั่วโลก ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ประชาชนทั่วไปและนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี จะได้รับปริมาณรังสีจากธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bavarnegin E., Fathabadi N., Vahabi Moghaddam M., Vasheghani Farahani M, Babakhni A., Moradi M. (2013). "Radon exhalation rate and natural radionuclide content in building materials of high background areas of Ramsar, Iran", **Journal of Environmental Radioactivity**. 117, 36-40.
- [2] Bala P., Mehra R., Ramola R.C. (2014). "Distribution of natural radioactivity in soil samples and radiological hazards in building material of Una, Himachal Pradesh", **Journal of Geochemical Exploration**. 142, 11-15.
- [3] Manigandan P.K. and Chandar Shekar B. (2014). "Uptake of some radionuclides by woody plants growing in the rainforest of Western Ghats in India", **Journal of Environmental Radioactivity**. 130, 63-67.
- [4] Isinkaye M.O. and Emelue H.U. (2015). "Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria", **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. 8(3), 459-469.

- [5] Abdel-Halim A.A. and Saleh I.H. (2016). “Radiological characterization of beach sediments along the Alexandria–Rosetta coasts of Egypt”, **Journal of Taibah University for Science**. 10(2), 212-220.
- [6] Hamlat, M.S., Djeflal, S. and Kadi, H. (2001). “Assessment of radiation exposures from naturally occurring radioactive materials in the oil and gas industry”, **Applied Radiation and Isotopes**. 55, 141-146.
- [7] Ajayi, T.R., Torto, N. and Tchokossa, P. (2009). “Natural radioactivity and trace metals in crude oils: implication for health”, **Environmental Geochemistry and Health**. 31, 61-69.
- [8] Kessaratikoon, P., Chusiri, N., Kongratana, P., Boonkrongcheep, R. and Youngchauly, U. (2013). “Frequency Distribution and Radiological Hazard Assessment of Specific Activities of Natural Anthropogenic Radionuclides in Beach Sand from Patong and Naiyang Beaches in Phuket Province, Thailand”, **Proceedings of the 39th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 39)**. 21-23 October, 2013, 55-62.
- [9] Kessaratikoon, P., Ramunet, S. and Boonkrongcheep, R. (2014). “A determination of natural radioactivity and Radiological hazard assessment in beach sand samples from Takua Pa and Thai Mueang Districts in Phang Nga province (Thailand) after the 2004 tsunami”, **Proceedings of the 40th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 40)**. 2-4 December, 2014, 63-70.
- [10] Kessaratikoon, P., Rhian-nui, J. and Boonkrongcheep, R. (2013). “Frequency Distribution of Specific Activities of Natural Radionuclides and Radiological Hazard Indices in Beach Sand Samples from Ao Nang Beach Krabi Province, Thailand”, **The 23rd Thaksin University Annual Conference “Green Society: Food and Energy Security”**. 22-25 May, 2013, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
- [11] Kessaratikoon, P., Kumnurak, P. and Boonkrongcheep, R. (2013). “Measurement and Analysis of Specific Activities of Natural Radionuclides in Beach Sand Samples from Noppharat Thara Beach in Krabi Province, Thailand”, **The 5th Walailak Research National Conference**. 1 August, 2013, Walailak University, Tasala District, Nakhon Si Thammarat, Thailand.
- [12] Kessaratikoon, P., Ayusuk, W. and Youngchauly, U. (2010). “Natural radioactivity in beach sands of the Pakmeng beach in Trang province, Thailand”, **Thai Journal of Physics Series 5**. 5, 284-289.
- [13] Kessaratikoon, P., Thaneerat, S. and Youngchauly, U. (2009). “Measurement of Natural Radioactivity in Beach sand Samples from Chaweng Beach Amphur Ko Samui Surat Thani Province”, **The 35th Congress on Science and Technology of Thailand, (STT 35)**. 15-17 October, 2009, Bangsean, Chonburi, Thailand.
- [14] Office of Atoms for Peace (OAP). (1994 – 2002). **OAP Annual Reports**. Ministry of Science and Technology, Bangkok, Thailand.
- [15] UNSCEAR, (2000). “Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation”, **United Nations**. New York.

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรง สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น (The Development of Android Application for Learning of the Moment of Force for Secondary Students)

อนุสา แก้วสมทอง¹ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}
Anusa Kaewsomtong¹ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักสำคัญและบททดสอบความเข้าใจในลักษณะของเกมเพื่อช่วยให้เกิดความเพลิดเพลิน สนุกสนาน โดยได้ทดสอบความรู้ไปพร้อมกัน และมีแบบทดสอบสำหรับตรวจวัดระดับความเข้าใจในตอนท้าย โดยการสร้างแอปพลิเคชันใช้โปรแกรม Adobe Flash Professional CS6 และ โปรแกรมอื่นๆ ที่จำเป็น และได้ทำการทดสอบแอปพลิเคชันโดยใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างทั้งจากนักศึกษาปริญญาตรีจำนวน 30 คน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 30 คน ด้วยแบบทดสอบระหว่างเรียน แบบทดสอบหลังเรียนและแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันและแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อแอปพลิเคชัน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และวิเคราะห์หาคุณภาพและประสิทธิภาพสื่อและระดับความพึงพอใจ พบว่าแอปพลิเคชันมีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์แบบ E1/E2 คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: แอนดรอยด์ แอปพลิเคชัน โมเมนต์ของแรง

Abstract

We have created and developed an Android application for learning in physics of "Moment of Force" for junior high school level. The application was designed by including the key contents of the moment and force incorporate with gameplay as evaluation student's conception insights. This learning style will entertain users with studying and testing knowledge and concept along the way. There is also an examination for measuring the level of understanding at the end. By creating the application, the Adobe Flash Professional CS6 and other required programs were used. Finally, the

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์ – ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะศึกษาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nu_ferml@yahoo.com

performance and efficiency were evaluated by random samples of 30 physics students and 30 middle school students with while- learning test, post- test and quality assessments including satisfaction surveys for the application. Data analysis statistical techniques, such as mean value and standard deviation, were used as well as qualitative and quantitative analysis of media and satisfaction levels. It was found that the app has performance of good quality and efficiency according to criteria E1/E2 of 80/80. The overall level of satisfaction by student samples with the application is very good.

Keywords: Android, Applications, Moment of Force

บทนำ

การศึกษานับได้ว่าเป็นกระบวนการหนึ่งสำหรับการพัฒนาศักยภาพของมนุษย์ให้มีความสมบูรณ์ในทุกๆ ด้านตามศักยภาพของแต่ละบุคคลเท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งในฐานะปัจเจกบุคคลและฐานะเป็นสมาชิกในสังคมและของโลก มนุษย์ทุกคนมีโอกาสเรียนรู้หรือได้รับการศึกษาใน 2 ลักษณะคือ ได้รับการศึกษาด้วยการเรียนรู้ของตนเองจากแหล่งความรู้ต่างๆ หรือการศึกษาที่เกิดจากกระบวนการเรียนรู้ในวิถีชีวิตและที่ได้รับการศึกษาที่มีผู้จัดให้อย่างเป็นทางการหรือที่เป็นไปตามแผนการศึกษาแห่งชาติ เรียกว่า การศึกษาตามแนวระบบของโรงเรียน [1]

การที่จะพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพได้ต้องอาศัยครูผู้สอนที่มีทักษะในการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะในยุคศตวรรษที่ 21 ที่เป็นทักษะแห่งอนาคตใหม่ที่ครูควรมีทักษะและคุณลักษณะที่รองรับและเข้าถึงการ สร้างนวัตกรรมทางการศึกษาและการเรียนรู้แบบดิจิทัล [2-3] รวมไปถึงการบริหารจัดการชั้นเรียนในแนวใหม่ [4] ในอันที่จะพัฒนาผู้เรียนเยาวชนในยุคใหม่ได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืนและสอดคล้องกับหลักการจัดการศึกษาตามมาตรา 22 ที่ว่า “การจัดการศึกษาต้องยึดหลักว่า ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพ [5]”

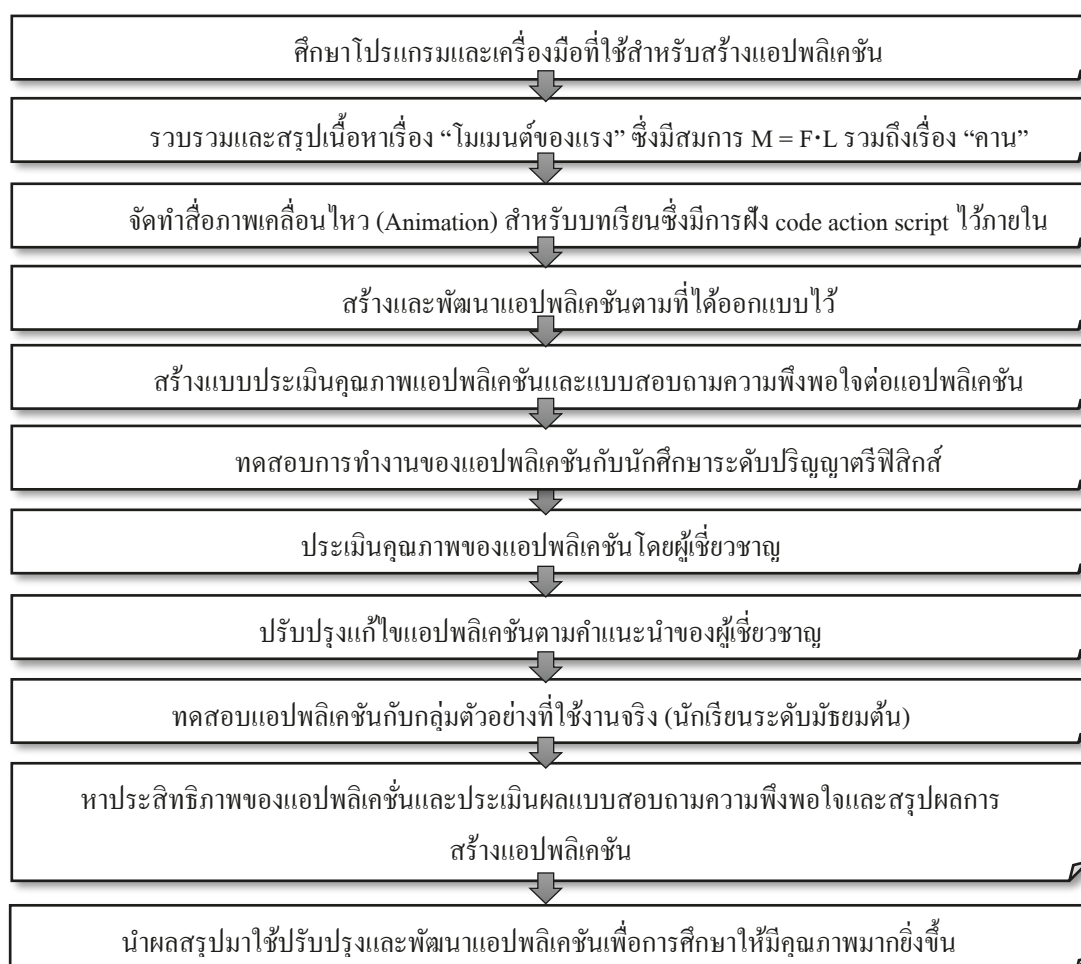
ปัจจุบันโลกของการศึกษาได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยเฉพาะเครื่องมือทางด้านดิจิทัลและการสื่อสาร [6] เพื่อแสวงหาความรู้ได้เพิ่มพูนความสำคัญมากขึ้นซึ่งเป็นการช่วยให้ครูผู้สอนมีเครื่องมือสำหรับถ่ายทอดเนื้อหาความรู้สู่ผู้เรียนได้หลากหลายกระบวนการตามแต่ความเหมาะสมกับผู้เรียนแต่ละคน [7] นอกจากนี้ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการสื่อสารทำให้ผู้เรียนสามารถค้นหาค้นหาความรู้ได้ด้วยตนเองจากแหล่งเรียนรู้ข้อมูลต่างๆ มากมายและตลอดเวลาที่ต้องการ ทำให้ห้องเรียนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ภาพของนักเรียนหรือนิสิต นักศึกษามีคอมพิวเตอร์พกพา (Notebook) แท็บเล็ต (Tablet) เช่น ไอแพด (iPad) หรือสมาร์ตโฟน (Smart Phone) เป็นอุปกรณ์การเรียนรู้เป็นเรื่องปกติมากขึ้น ดังนั้นหน้าที่ครูอาจารย์จึงเปลี่ยนจากการยืนหน้าชั้นมาเป็นการกระตุ้นและอำนวยความสะดวกในการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพของตนเองให้มากที่สุด ด้วยกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ จึงทำให้เกิดแนวความคิดต่อการจัดการศึกษานั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย [8]

สำหรับวิชาฟิสิกส์มีลักษณะเนื้อหาที่ต้องแสดงให้ผู้เรียนเห็นเป็นรูปธรรมชัดเจน การอธิบายด้วยคำพูดเพียงอย่างเดียวจึงอาจจะยังไม่เพียงพอ ต้องมีภาพประกอบการอธิบายเนื้อหาที่เหมาะสมจนทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้อย่างดี และสามารถเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตประจำวันได้ และหนึ่งในเรื่องทางฟิสิกส์เรื่องหนึ่งที่เข้าใจได้ไม่ยากคือเรื่อง “โมเมนต์ของแรง หรือ moment of force” ถึงแม้จะมีลักษณะไม่ยากเกินไปแต่การจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ชัดเจนนั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายความสามารถของผู้สอนที่จะค้นหาเทคนิคและวิธีการมาปรับใช้ และเมื่อในปัจจุบันมีเครื่องมือด้านสารสนเทศดิจิทัลที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพและเข้าถึงง่ายสำหรับครูผู้สอน ตัวอย่างเช่น การสร้างแอปพลิเคชันทางการศึกษา [9] จึงเป็นเหตุผลที่ได้สร้างแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” เพื่อใช้เป็นสื่อเสริมในการเรียนการสอนสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักการสำคัญและได้ออกแบบสร้างเป็นเกมเพื่อใช้ทบทวนความเข้าใจ ซึ่งจะทำให้เกิดความ

ผลิตเพลินสนุกสนานไปด้วย มีแบบทดสอบสำหรับตรวจสอบระดับความเข้าใจในตอนท้าย ผู้เรียนจึงได้ทดสอบความรู้และความเข้าใจในหลักการของโมเมนต์และสามารถนำไปใช้กับปัญหาในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องได้

วิธีการวิจัย

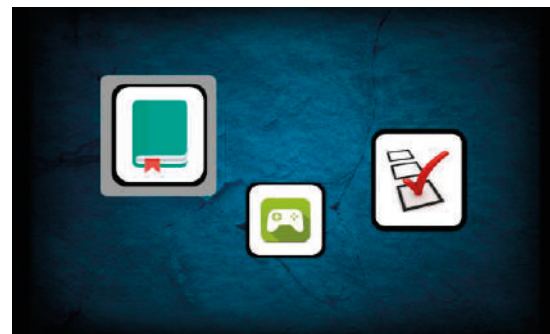
ในการสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” เริ่มจากสร้างและออกแบบแผนการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อนำเนื้อหาความรู้เรื่องโมเมนต์ของแรงซึ่งอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นมากำหนดขอบเขตของเนื้อหา เมื่อได้ขอบเขตที่แน่ชัดแล้วจึงรวบรวมและศึกษาทฤษฎีที่จำเป็นและสำคัญของเรื่องโมเมนต์ของแรงจากหนังสือกลุ่มสาระการเรียนรู้ [10] หนังสือตำราและศึกษาข้อมูลบน website ต่างๆ [11] แล้วจึงเริ่มออกแบบแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับเนื้อหาหลักโดยมีการดำเนินงานดังแผนภาพที่ 1 คือการศึกษาโปรแกรม Adobe Flash Professional CS6 และโปรแกรมอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับสร้างแอปพลิเคชัน [12-14] นำเนื้อหาที่ได้รวบรวมไว้มาจำแนกความเหมาะสมว่าส่วนใดควรทำเป็นภาพเคลื่อนไหว (Animation) หรือภาพนิ่งจะเหมาะสมในการใช้เรียนรู้ แล้วจึงเริ่มสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชันตามที่ได้ออกแบบไว้



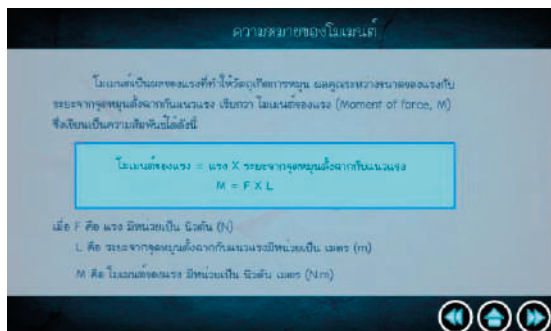
ภาพที่ 1 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง”



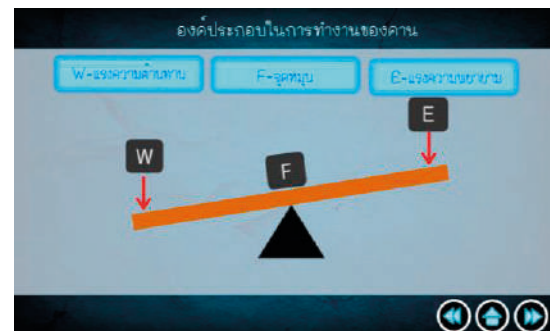
(a)



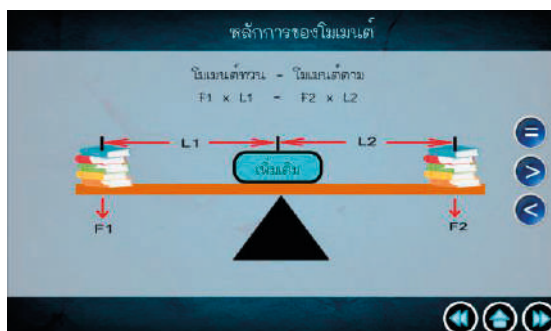
(b)



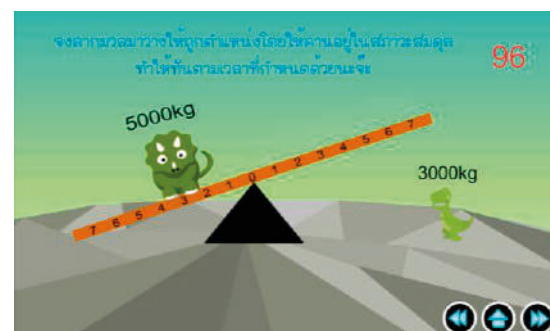
(c)



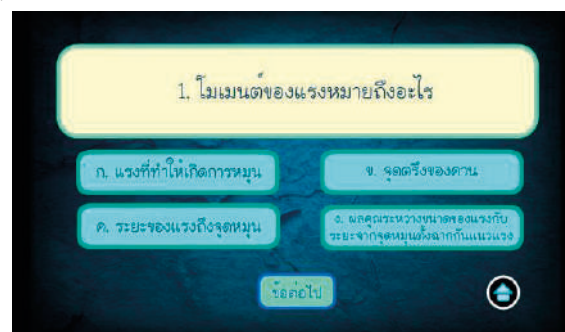
(d)



(e)



(f)



(g)

ภาพที่ 2 (a) หน้าแรกของแอปพลิเคชัน (b) หน้าหลักของแอปพลิเคชัน (c) หน้าเนื้อหาความหมายของโมเมนต์ (d) หน้าเนื้อหาองค์ประกอบในการทำงานของคาน (e) หน้าเนื้อหาหลักการของโมเมนต์ (f) หน้าเกม (g) หน้าแบบทดสอบ

การกำหนดขอบเขตเนื้อหาวิชาฟิสิกส์เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ได้ยึดตามกรอบเนื้อหาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ที่ว่าโมเมนต์เป็นผลของแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการหมุน ผลคูณระหว่างขนาดของแรงกับระยะจากจุดหมุนตั้งฉากกับแนวแรง เรียกว่า โมเมนต์ของแรง (Moment of Force, M) ดังภาพที่ 2(c) ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1)

$$M = F \cdot L \quad (1)$$

หรือ โมเมนต์ของแรง = แรง $\times$ ระยะจากจุดหมุนตั้งฉากกับแนวแรง เมื่อ F คือแรง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) L คือระยะจากจุดหมุนตั้งฉากกับแนวแรงมีหน่วยเป็นเมตร (m) และ M คือโมเมนต์ของแรง มีหน่วยเป็น นิวตัน·เมตร (N·m) ซึ่งในแอปพลิเคชันมีการอธิบายถึงรายละเอียดการนำเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ไปใช้ในเรื่องการหมุนของคานในรูปแบบต่างๆ เช่น โมเมนต์ของแรงตามเข็มนาฬิกาและโมเมนต์ของแรงทวนเข็มนาฬิกา ดังภาพที่ 2(c และ d) รวมถึงสมดุลต่อการหมุนเมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อคาน เป็นต้น และได้ออกแบบการทดสอบในลักษณะของเกมแบบ interactive ซึ่งเป็นทั้งการทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนที่มีความสนุกสนาน ดังภาพที่ 2(f) และสุดท้ายได้ออกแบบให้มีการทดสอบความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาสาระจากการทำการทดสอบแบบปรนัย ดังภาพที่ 2(g) จำนวน 10 ข้อ โดยผู้เรียนสามารถทราบผลการทดสอบรวมทั้งตรวจสอบคำตอบได้ภายหลังการทดสอบเสร็จสิ้น ซึ่งสร้างขึ้นจากการเขียน code action script ในโปรแกรม Adobe flash CS6 ผีงไว้ภายในแอปพลิเคชัน (Embedded) เพื่อให้การใช้งานมีความสมจริงและลื่นไหล

เมื่อแอปพลิเคชันแล้วเสร็จในลำดับแรก (Beta Version) จึงได้จัดทำแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันและแบบสอบถามความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพ นำผลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขแอปพลิเคชันตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชัน แล้วนำไปทดสอบอีกครั้งเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันตามแบบประเมินผลแบบสอบถามความพึงพอใจเพื่อประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยนักศึกษาริทยูนิเวอร์ซิตี หลังจากปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องจึงได้นำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายจริงคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น แล้วจึงสรุปผลการทดสอบแอปพลิเคชันและนำผลสรุปมาปรับปรุงและพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการศึกษาให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้นในลำดับถัดไป (New Version) โดยสำหรับแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วได้แสดงไว้ในภาพที่ 2

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

แอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ที่ได้ถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพเป็นเวอร์ชันสำหรับใช้ทดสอบประสิทธิภาพ โดยมีการประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อเสนอแนะตรวจสอบแก้ไขและปรับปรุง แล้วได้นำไปทำการทดสอบกับนักศึกษาริทยูนิเวอร์ซิตีจำนวน 30 คน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 30 คน โดยการสุ่มอย่างง่ายและสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ด้วยแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันและแบบประเมินความพึงพอใจ เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยมีการแบ่งระดับคุณภาพดังนี้คือ “มากที่สุด” อยู่ในช่วง 4.51 - 5.00 “มาก” อยู่ในช่วง 3.51 - 4.50 “ปานกลาง” อยู่ในช่วง 2.51 - 3.50 “น้อย” อยู่ในช่วง 1.51-2.50 และ “น้อยที่สุด” อยู่ในช่วง 1.00 - 1.50 และมีการหาประสิทธิภาพแบบ E_1/E_2 ตามเกณฑ์ 80/80 [15] โดย E_1 เป็นไปดังสมการที่ (2)

$$E_1 = \frac{\sum X}{N} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{X}}{A} \times 100 \quad (2)$$

และ E_2 เป็นคังสมการที่ (3)

$$E_2 = \frac{\sum F}{N} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{F}}{B} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ E_1 คือประสิทธิภาพของกระบวนการ $\sum X$ คือคะแนนรวมของแบบฝึกหัดระหว่างเรียน A คือ คะแนนเต็มของ

แบบฝึกหัดระหว่างเรียน E_2 คือประสิทธิภาพของผลลัพธ์ $\sum F$ คือคะแนนรวมแบบทดสอบหลังเรียน B คือคะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนและ N คือ จำนวนตัวอย่าง

โดยในการประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ทั้งหกด้านโดยผู้เชี่ยวชาญ (ไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้) พบว่าด้านเนื้อหาของสื่อโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ด้านการออกแบบหน้าจอโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ด้านตัวอักษร สี และเสียงโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก การจัดการบทเรียนและการเชื่อมโยงอยู่ในระดับดีมาก และด้านการส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้การสอนผลการประเมินอยู่ในระดับดีมากเช่นกัน และได้นำแอปพลิเคชันดังกล่าวไปทดสอบกับนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์จำนวน 30 คน (ไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้) เพื่อทดลองและตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและประสิทธิภาพของกระบวนการการเรียนรู้จากกลุ่มตัวอย่างที่มีความรู้และประสบการณ์ที่สูงกว่าระดับเนื้อหาของกลุ่มเป้าหมายจริง ซึ่งได้ผลการทดสอบแอปพลิเคชันมีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพ 80.67/82.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์แบบ E_1 / E_2 ที่ตั้งไว้คือ 80/80 และมีระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก

ตารางที่ 1 คะแนนจากแบบทดสอบระหว่างใช้งานและแบบทดสอบหลังการใช้งานแอปพลิเคชันในชั้นเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

ลำดับ ที่	คะแนนทดสอบ ระหว่างเรียน	คะแนน ทดสอบหลัง เรียน	ลำดับที่	คะแนนทดสอบ ระหว่างเรียน	คะแนน ทดสอบหลัง เรียน	ลำดับที่	คะแนนทดสอบ ระหว่างเรียน	คะแนนทดสอบ หลังเรียน
1	9	13	11	10	14	21	8	12
2	9	13	12	10	13	22	10	13
3	9	14	13	8	12	23	9	13
4	6	11	14	9	12	24	5	10
5	10	13	15	3	10	25	7	12
6	9	14	16	6	10	26	10	13
7	9	12	17	7	11	27	7	11
8	8	12	18	7	12	28	9	13
9	10	15	19	6	12	29	10	13
10	10	14	20	8	13	30	5	10

$$\sum \frac{x}{N} = 8.10 \quad \sum \frac{F}{N} = 12.33$$

$$E_1 = 81.00 \quad E_2 = 82.22$$

ในขณะที่ผลการทดสอบประสิทธิภาพกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมาย จริงที่จะใช้งานแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1 พบว่า

ผลจากการทดสอบสะท้อนว่าแอปพลิเคชันมีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพ 81.00/82.22 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์แบบ E_1 / E_2 ที่ตั้งไว้คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ทำให้ทราบว่าแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัลตอบสนองผู้เรียนโดยตรง เพราะได้รับการกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติผ่านการอยากรู้ อยากเห็น ได้เล่น ได้ลองกับสถานการณ์จำลองการหมุนและกระดกของคานา โดยต้องนำความรู้ที่ได้เรียนไปก่อนหน้านั้นมาใช้งานซึ่งสอดคล้องกับบทเรียน รวมไปถึงได้พบกับประสบการณ์แปลกใหม่ซึ่งไปส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์ได้ด้วยตนเอง

แต่อย่างไรก็ตามแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรงสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นดังกล่าวยังจะต้องได้รับการทดสอบหรือออกแบบการทดสอบในด้านข้อได้เปรียบทั้งเชิงวิชาการและความพึงพอใจที่เกิดขึ้นจากการใช้งานแอปพลิเคชันที่ชัดเจนกว่านี้ ซึ่งแอปพลิเคชันจะต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจากการทดสอบครั้งนี้ก่อน โดยผู้ออกแบบและสร้างแอปพลิเคชันพบว่าต้องมีการปรับปรุงข้อมูลความรู้เพื่อออกแบบบทเรียนให้กระชับไม่เยิ่นเย้อด้วยเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับธรรมชาติการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมายและรูปแบบการศึกษาในยุคศตวรรษที่ 21 ที่เหมาะสมกว่าเดิม มีการวิเคราะห์บทเรียนและการจัดลำดับขั้นของการเรียนรู้ที่เหมาะสมมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและสอดคล้องเหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงของกลุ่มเป้าหมายในลำดับต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ได้สร้างแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรงสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นโดยใช้โปรแกรม Adobe flash professional CS6 ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักการที่สำคัญและได้ออกแบบสร้างเกมเพื่อใช้ทดสอบความเข้าใจของผู้เรียน ซึ่งทำให้เกิดความเพลิดเพลินสนุกสนานไปด้วยในตัว และมีแบบทดสอบสำหรับตรวจสอบระดับความเข้าใจของผู้ใช้เองในตอนท้าย ผู้เรียนจึงได้ทดสอบความรู้และความเข้าใจในหลักการของโมเมนต์ และสามารถนำไปใช้กับปัญหาในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องได้ โดยจะใช้นำเสนอเป็นแบบมัลติมีเดียบนสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ต โดยที่แอปพลิเคชันสามารถโต้ตอบกับผู้เรียนได้ ตอบสนองการเรียนรู้ของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี สามารถเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็วและมีรูปแบบที่น่าสนใจจนสามารถจูงใจผู้เรียนได้ ไม่ทำให้ผู้เรียนเกิดความเบื่อหน่าย และผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองในทุกที่ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้และความเข้าใจในเรื่องที่ต้องการศึกษาได้ง่ายและรวดเร็ว จากการทดสอบแอปพลิเคชันจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริงพบว่ามีความคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพ 81.00/82.22 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์แบบ E_1 / E_2 คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก และผู้เรียนมีความเพลิดเพลินสนุกสนานและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ด้วยแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรง

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ.2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] อารุง จันทวานิช. (2547). **แนวทางการบริหารและการพัฒนาสถานศึกษาสู่โรงเรียนคุณภาพ (Guidelines on the Best Practice for Quality Schools)**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.
- [2] Voogt, J., Erstad O., Dede, C. and Mishra P. (2013). “Challenges to learning and schooling in the digital networked world of the 21st century”, **Journal of Computer Assisted Learning**. 29, 403-413.
- [3] Wastiau, P., Blamire, R., Kearney, C., Quittre, V., Van de Gaer, E. and Monseur, C. (2013). “The Use of ICT in Education: a survey of schools in Europe”, **European Journal of Education**. 48, 11-27.
- [4] Perrotta, C. (2012). “Do school-level factors influence the educational benefits of digital technology? A critical analysis of teachers' perceptions”, **British Journal of Educational Technology**. 44, 314-327.
- [5] สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง. (2559). **การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21**. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก http://arit.mcru.ac.th/images/KM/2556/56KM_1.pdf.
- [6] Voogt, J., Knezek, G., Cox, M., Knezek, D. and ten Brummelhuis, A. (2011). “Under which conditions does ICT have a positive effect on teaching and learning? A Call to Action”, **Journal of Computer Assisted Learning**. 29, 4-14.
- [7] Davis, N., Eickelmann, B. and Zaka, P. (2013). “Restructuring of educational systems in the digital age from a co-evolutionary perspective”, **Journal of Computer Assisted Learning**. 29, 438-450.
- [8] พรทิพย์ ศิริภทราชย์. (2556). **STEM Education** กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.math.rbru.ac.th/pdf/trigometry2.pdf>.
- [9] Ulfa, A. M., Sugiyarto, K. H. and Ikhsan, J. (2017). “The effect of the use of android-based application in learning together to improve students' academic performance”, **AIP Conference Proceedings**. 1847 050008.
- [10] โหมเมตซ์ของแรง. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.maceducation.com/e-knowledge/2432209100/17.htm>.
- [11] ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2556). **คู่มือครูรายวิชาพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เล่ม 1**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สวสท.ลาดพร้าว.
- [12] พันจันทร์ ธนวัฒนเสถียร. (2557). **สร้างงานมัลติมีเดียแอนิเมชันด้วย Flash CS6 ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ: Simplify.
- [13] อภิวัฒน์ วงศ์กัณหา. **การสร้างเกม Flash ด้วย AS3**. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.apivat.com/joomla/index.php>.
- [14] **Flash AS 3.0 – พื้นฐานการทำข้อสอบ, แบบทดสอบ แบบที่ 1 – คำถามละเฟรม**. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <https://www.zzzleapinclass.com/2014/08/Flash-AS3-How-to-Make-Quiz-1-Simple.html>.
- [15] ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). “การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน”, **วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย**. 5(1) 7-20.

“เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า”: เกมสำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้า

และแรงคูลอมป์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ

(The “ELECTRIC CHARGE ARENA GAME”: A Gamification for Learning in an Electric Charges and the Coulomb Force on Smart Devices)

พรสุดา กรดสัน¹ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}

Pornsuda Krodsan¹ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

ได้ออกแบบและสร้างเกมดิจิทัลที่ผนวกเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์ ชื่อ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ซึ่งสามารถใช้งานบนอุปกรณ์สื่อสารอัจฉริยะยุคใหม่ได้ เพื่อช่วยเสริมทักษะการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เนื่องจากผสมผสานปัจจัยที่มีแรงกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติ ทำให้เกิดความสนุกสนานจากการต้องเรียนรู้กฎเกณฑ์ เข้าใจวัตถุดิบประสงค์ ขอมรับและเคารพผลลัพธ์ของเกม การพยายามแก้ปัญหาในเกมจะช่วยกระตุ้นและจุดประกายให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ โดย “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” นี้สร้างด้วยโปรแกรม Unity3D และใช้เนื้อหาวิชาฟิสิกส์ เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์ซึ่งได้ออกแบบสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ภายในเกมประกอบด้วยแบบฝึกทดสอบความรู้ระหว่างใช้งานเกมสองช่วงรวมถึงแบบทดสอบหลังจากเล่นเกมเสร็จสิ้น และได้นำไปทดสอบการใช้งานโดยใช้กลุ่มตัวอย่างจริงคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คน โดยการเลือกแบบสุ่มอย่างง่ายและมีแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า ซึ่งใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และร้อยละ (Percentage) เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพสื่อและระดับความพึงพอใจ พบว่าประสิทธิภาพของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ได้ผลลัพธ์ $E_1/E_2 = 82.33/80.67$ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ 80 /80 และระดับความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: การศึกษาที่สนุกสนาน เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า เทคโนโลยีดิจิทัล ฟิสิกส์ของประจุไฟฟ้า Unity3D

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์ – ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nufermi2@gmail.com

Abstract

We have designed and created the digital game that combined the charge and Coulomb force; called "ELECTRIC CHARGE ARENA GAME", which can be used in modern communication devices. There should be a tool to enhance student-centered learning skills. since it was merged the factors that stimulate learning by nature. The studying through the game style will make players enjoyable from learning the rules. Players must understand the purpose, accept, and respect the outcome of the game. A struggle to solve problems in the game will motivate and inspire students' creativity. The "ELECTRIC CHARGE ARENA GAME" was built by the Unity3D which followed the physics of electrostatic charges and Coulomb's law. The game was designed for high school level. At the final stage of the game, it has included the series of practical tests while the game was played as well as quizzes after the playing game was terminate. It was evaluated by 30 high school students with simple random selection and a satisfaction questionnaire on the game. The statistics used in the analysis are mean value, standard deviation and percentage to verify the media efficiency and satisfaction levels. It was found that the efficiency of The "ELECTRIC CHARGE ARENA GAME" has achieved E_1/E_2 is 82.33/80.67, which is 80 /80 effective level and the level of player satisfaction is very high.

Keywords: Amusement Educational Game, Physics Education, Technology Digital, Physics of Electric Charges, Unity3D

บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลและจะเป็นโลกยุคดิจิทัลเต็มรูปแบบในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า โดยมีเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และสารสนเทศเป็นรากฐานสำคัญ จึงทำให้มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ อย่างรวดเร็วทั้งด้านสังคม วัฒนธรรม เทคโนโลยี เศรษฐกิจ และการศึกษา สิ่งสำคัญที่บ่งบอกความเป็นยุคดิจิทัลเต็มรูปแบบ คือ การบูรณาการหรือการหลอมรวมเทคโนโลยีต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อตอบสนองความแตกต่างของมนุษย์ ณ ตอนนี้เป็นที่น่าสนใจของโลกยุคดิจิทัลที่จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในวงการศึกษามีผู้เริ่มนำเกมมาใช้ในกระบวนการเรียนการสอนอย่าง Minecraft: Education Edition [1] ที่มีแผนจะเปิดตัว Minecraft ซึ่งเป็นรุ่นที่ถูกออกแบบมาสำหรับให้ใช้เพื่อส่งเสริมการศึกษาภายในโรงเรียน โดยจะเปิดให้ครูและนักเรียนเข้าไปอยู่ในโลกเสมือนร่วมกัน และรองรับนักเรียนได้สูงสุดถึง 40 คนต่อห้อง ด้วยเหตุผลว่าผู้สนใจและให้ความสำคัญกับเกมมากขึ้น ด้วยสถิติผู้เล่น Minecraft จำนวนมากถึง 22 ล้านคนทั่วโลก อีกทั้งยังมีห้องเรียนกว่า 7,000 แห่งใน 40 ประเทศทั่วโลกที่ใช้งาน Minecraft Edu ซึ่งจะทำให้การเข้าถึงวงการการศึกษาของ Microsoft ด้วย Minecraft ได้ผลที่ดียิ่ง โดยปัจจุบันนี้ครูผู้สอนก็มีการใช้ Minecraft ในการสอนการเขียนโปรแกรม สอนคณิตศาสตร์ สอนประวัติศาสตร์ หรือสอนภูมิศาสตร์ ไปจนถึงสอนวิศวกรรมโยธา โดยนักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ทั้งภายในและภายนอกห้องเรียนอีกด้วย

โกวิท พิพิศาล [2] ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมองในแง่ของการศึกษา การบูรณาการเทคโนโลยีเหล่านี้ได้มีพัฒนาการเกิดขึ้นอยู่เช่นกัน เช่น การบูรณาการระหว่างความบันเทิงกับการศึกษาที่เรียกว่า "ศึกษานันทนาการ (Edutainment)" นั้นเข้ามามีบทบาทในระบบการศึกษาและได้รับการนำมาใช้จนประสบความสำเร็จในการศึกษาของหลายประเทศ สื่อในลักษณะเพื่อศึกษานันทนาการนี้สามารถแสดงในสื่อหลายรูปแบบ อาทิ โทรศัพท์ วิทยุ สิ่งพิมพ์ ภาพยนตร์ ดนตรี สื่อประสม อินเทอร์เน็ต เกมวีดิทัศน์และเกมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ในบรรดาสื่อต่างๆ เหล่านี้ เกมวีดิทัศน์หรือเกมคอมพิวเตอร์ได้รับความนิยมในกลุ่มเด็กและวัยรุ่นที่เติบโตมากับโลกไซเบอร์ [3] พวกเขาเติบโตมากับวัฒนธรรมการเล่นเกมนิตติจอจนดูเหมือนการเล่นเกมประเภทนี้กลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันไป สถาบันการศึกษาหลายแห่งในต่างประเทศจึงมีแนวคิดในการพัฒนา

โปรแกรมการศึกษาแผนใหม่โดยนำเกมคอมพิวเตอร์ผนวกเข้ากับบทเรียนเพื่อดึงดูดความสนใจของผู้เรียนต่อเนื้อหาที่ต้องการนำเสนอซึ่งหลอมรวมเอาความบันเทิงสนุกสนานในการเรียนนั้นๆ เข้าไปอย่างแนบเนียน [4-5]

ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงได้สร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” จากหลักการของเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงไฟฟ้าคลอมป์ เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ที่ดีและหลากหลายและเรียนรู้วิชาฟิสิกส์อย่างสนุกสนานไม่รู้สึกลำบาก ผู้เล่นได้เรียนรู้และนำความรู้เรื่องแรงกระทำต่อประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้าและแรงระหว่างประจุไฟฟ้ามาใช้แก้ปัญหาเพื่อเอาชนะเกม เป็นการพัฒนาทั้งด้านสติปัญญา ด้านเจตคติและด้านปฏิบัติ อันเป็นเป้าหมายสำคัญของการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญและเป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วิธีการวิจัย

การสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” สำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคลอมป์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ ดำเนินงานโดยวางแผนและวิเคราะห์เพื่อกำหนดขอบเขตของเนื้อหาเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคลอมป์เบื้องต้น [6,7] ซึ่งเป็นสาระความรู้ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีขอบเขตเรื่องของประจุไฟฟ้าบวกและลบ และแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองทั้งประจุที่เหมือนกันและประจุที่ต่างกัน รวมถึงสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามกฎคลอมป์ ดังสมการขนาดของแรงไฟฟ้า

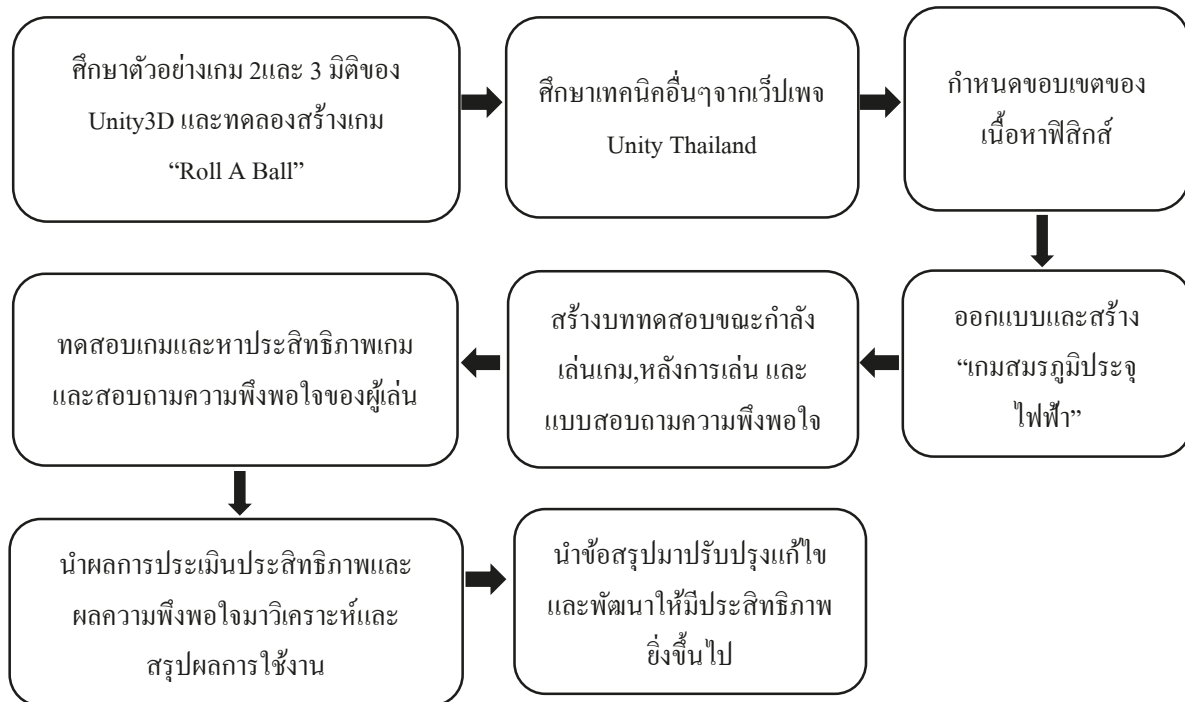
$$\text{คลอมป์} \quad F = \frac{kQ_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$

$$\text{และสมการสนามไฟฟ้า} \quad E = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัวของการแปรผันในระบบเอสไอ มีหน่วย นิวตัน·เมตร² ต่อ คลอมป์² แรง F มีหน่วยเป็นนิวตัน Q_1 และ Q_2 มีหน่วยเป็นคลอมป์และระยะระหว่างประจุ r มีหน่วยเป็นเมตร สำหรับค่าคงที่ k เมื่อตัวกลางระหว่างประจุทั้งสองเป็นสุญญากาศหรืออากาศ ค่าคงตัว $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ซึ่งมีค่า $8.9876 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ หรือประมาณ $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ เมื่อ ϵ_0 คือสภาพยอมในสุญญากาศ (Permittivity) มีค่าประมาณ $8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ เมื่อได้ขอบเขตของเนื้อหาและข้อมูลทางทฤษฎีที่ชัดเจนจากบทความที่เกี่ยวข้องจากแหล่งอ้างอิง เช่น หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ [6] และศึกษาข้อมูลที่สอดคล้องกับขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ [7] ครบถ้วนแล้ว จึงวางโครงเรื่องและออกแบบเกมให้เหมาะสมและสวยงามน่าใช้งาน โดยดำเนินการเป็นลำดับขั้น ดังแผนภาพที่ 1 โดยศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับโปรแกรม Unity3D และศึกษาตัวอย่างเกม 2 มิติ และ 3 มิติที่สร้างจาก Unity3D [8-15] และศึกษาการสร้างเกม “Roll A Ball” [16] และการสร้างเกม “Claire”, “Ping-Pong”, “Charge” และ “Tappy Plane” เพื่อให้เข้าใจเทคนิคการออกแบบและวิธีฝัง (Embedded) code ภาษา C# ซึ่งใช้ในโปรแกรม Unity3D ซึ่งเป็นเทคนิคระดับสูงและเทคนิคอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการนำมาสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” จากเว็บเพจ Unity Thailand [17] โดยการฝัง code ภาษา C# เป็นขั้นตอนการออกแบบเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าให้สามารถคำนวณเพื่อบอกขนาดและทิศทางตามหลักการของเรื่องแรงทางไฟฟ้าอันเนื่องมาจากจุดประจุบวกและลบ

โดยในการออกแบบและสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” อาศัยเทคนิคบางส่วนจากเกม Ping-Pong และเกม Hockey ทำให้เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าประกอบด้วยขั้นตอนการเล่น 2 ส่วน (ด่าน) คือ ส่วนของ “แรงกระทำต่อประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า E ” และส่วนของ “แรงกระทำระหว่างประจุไฟฟ้าที่เหมือนและแตกต่างกัน” โดยเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า ที่ได้สร้างขึ้นได้แสดงส่วนประกอบโดยสังเขปไว้ดังภาพที่ 2 ซึ่งมีบททดสอบขณะกำลังเล่น “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” และ

แบบทดสอบหลังการเล่น โดยมีแบบสอบถามความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” เพื่อใช้ประเมิน “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” สำหรับใช้ปรับปรุงแก้ไข แล้วจึงนำไปทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเกมพร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าจากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน และนำผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมและผลจากแบบสอบถามความพึงพอใจมาวิเคราะห์และสรุปผลการใช้งาน “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” และสุดท้ายนำผลการทดสอบและการประเมินมาสรุปหาข้อผิดพลาดเพื่อปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาให้เป็นเกมเพื่อเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



ภาพที่ 1 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” เวอร์ชันทดสอบ (Beta Version หรือ Version 0.1) แล้วเสร็จ ได้นำไปทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นกับนักศึกษาสาขาฟิสิกส์จำนวน 30 คนและโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อเสนอแนะ ตรวจสอบ แก้ไขและปรับปรุง แล้วได้นำไปทำการทดสอบกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คนซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง โดยใช้วิธีเลือกแบบสุ่มอย่างง่ายและมีการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อหาระดับความพึงพอใจ ซึ่งจะมีช่วงคะแนนการแบ่งระดับความพึงพอใจ คือ “มากที่สุด” อยู่ในช่วง 4.51 – 5.00 “มาก” อยู่ในช่วง 3.51 – 4.50 “ปานกลาง” อยู่ในช่วง 2.51 – 3.50 “น้อย” อยู่ในช่วง 1.51 – 2.50 และ “น้อยที่สุด” อยู่ในช่วง 1.00 – 1.50 และร้อยละ (Percentage) ของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบประสิทธิภาพระหว่างเรียน (E_1) ดังสมการที่ (3)

$$E_1 = \frac{\sum x}{N} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{X}}{A} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ E_1 คือประสิทธิภาพของกระบวนการ $\sum_N x$ คือคะแนนรวมของแบบฝึกหัดปฏิบัติกิจกรรมหรืองานที่ทำระหว่างเรียนทั้งที่เป็นกิจกรรมในห้องเรียนและนอกห้องเรียนหรือแบบออนไลน์ A คือคะแนนเต็มของแบบฝึกปฏิบัติทุกชิ้นรวมกัน N คือจำนวนตัวอย่างและร้อยละของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (E_2) ดังสมการที่ (4) เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสื่อซึ่งอยู่ในลักษณะเกมเพื่อการศึกษา

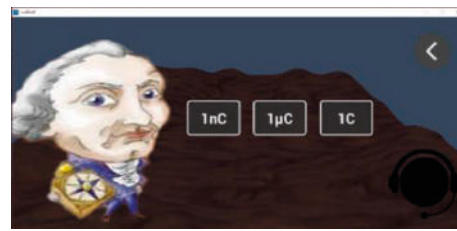
$$E_2 = \frac{\frac{\sum_F}{N}}{B} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{F}}{B} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ E_2 คือประสิทธิภาพของผลลัพธ์ $\sum_F$ คือคะแนนรวมของผลลัพธ์ของการประเมินหลังเรียน B คือคะแนนเต็มของการประเมินสุดท้ายของแต่ละหน่วยประกอบด้วยผลการสอบหลังเรียนและคะแนนจากการประเมินงานสุดท้าย N คือจำนวนตัวอย่าง โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ได้ผลดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพ $E_1 / E_2 = 82.33 / 80.67$ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ $80 / 80$ และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ดังตารางที่ 2 ซึ่งผลโดยรวมอยู่ในระดับความพึงพอใจที่มากที่สุด ทำให้ทราบว่า “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัลในรูปแบบของเกมตอบสนองผู้เรียนโดยตรง เพราะได้รับการกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติผ่านการอยากรู้ อยากเห็น ได้เล่น ได้ลองกับสถานการณ์จำลอง โดยต้องนำความรู้ที่ได้เรียนไปก่อนหน้านั้นมาใช้งานซึ่งสอดคล้องกับบทเรียน รวมไปถึงได้พบกับประสบการณ์แปลกใหม่ซึ่งไปส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์ได้ด้วยตนเอง

แต่อย่างไรก็ตาม “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ยังจะต้องได้รับการทดสอบหรือออกแบบการทดสอบในด้านข้อได้เปรียบทั้งเชิงวิชาการและความพึงพอใจที่เกิดขึ้นจากการใช้งานที่ชัดเจนมากกว่านี้ และต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถใช้งานไปบนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ หรือสามารถเล่นแบบออนไลน์ หรือเล่นเป็นกลุ่มได้ต่อไป



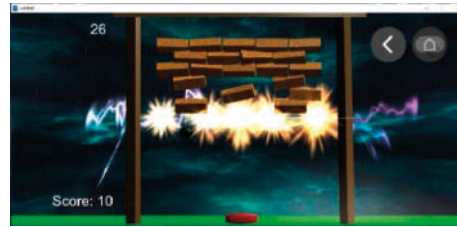
(a)



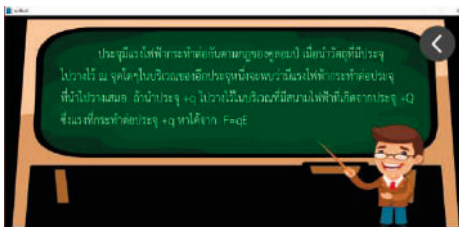
(b)



(c)



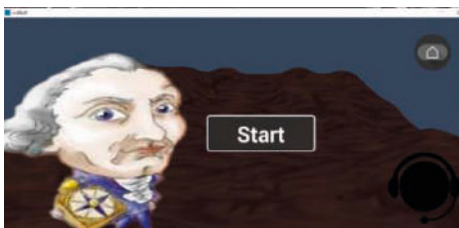
(d)



(e)



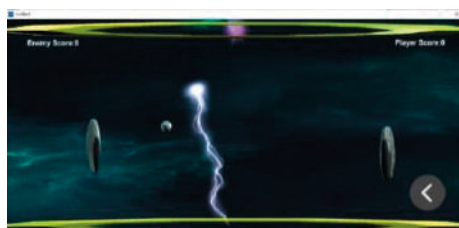
(f)



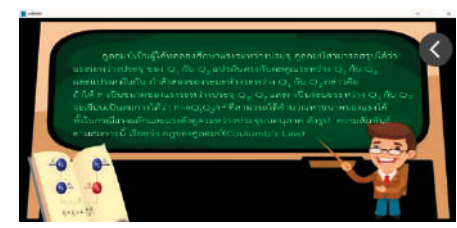
(g)



(h)



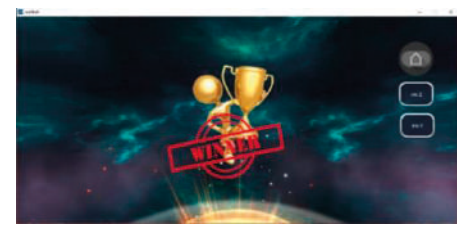
(i)



(j)



(k)



(l)

ภาพที่ 2 (a) หน้าหลักของเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า (b) หน้าแรกของเกมด่านที่หนึ่ง (c) หน้ากติกาเกมด่านที่หนึ่ง
(d) หน้าเกมด่านที่หนึ่ง (e) หน้าความรู้เกมด่านที่หนึ่ง (f) หน้าคำถามเกมด่านที่หนึ่ง (g) หน้าแรกของเกมด่านที่สอง
(h) หน้ากติกาเกมด่านที่สอง (i) หน้าเกมด่านที่สอง (j) หน้าความรู้เกมด่านที่สอง (k) หน้าคำถามเกมด่านที่สอง
(l) หน้าสุดท้ายเมื่อชนะเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระหว่างเรียนและหลังเรียนของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
จำนวน 30 คนซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง

คนที่	คะแนนรวม จากแบบฝึก ระหว่าง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คะแนนรวม จากแบบ ทดสอบหลัง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คนที่	คะแนนรวม จากแบบฝึก ระหว่างเรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คะแนนรวม จากแบบ ทดสอบหลัง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คนที่	คะแนนรวม จากแบบฝึก ระหว่างเรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คะแนนรวมจาก แบบ ทดสอบหลัง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)
1	7	9	11	7	8	21	9	7
2	7	9	12	6	5	22	9	6
3	7	9	13	8	7	23	9	9
4	7	9	14	9	7	24	10	9
5	7	9	15	9	6	25	8	9
6	7	9	16	7	6	26	9	10
7	8	9	17	9	6	27	9	9
8	10	9	18	9	6	28	10	8
9	10	10	19	9	10	29	10	10
10	6	6	20	7	8	30	8	8
$E_1 = 82.33$ $E_2 = 80.67$								

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คน
ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับ ความพึงพอใจ
1. ผู้เล่นได้รับทักษะความรู้ในด้านการคิดแก้ปัญหา	4.53	0.63	มากที่สุด
2. ผู้เล่นจะเกิดการจินตนาการที่ดี	4.57	0.63	มากที่สุด
3. ผู้เล่นเกมได้ความรู้หรือ ได้ใช้ความรู้เรื่อง “แรงกระทำต่อประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า”	4.70	0.47	มากที่สุด
4. ผู้เล่นเกมได้ความรู้หรือ ได้ใช้ความรู้เรื่อง “แรงระหว่างประจุไฟฟ้า”	4.63	0.49	มากที่สุด
5. เวลาในการเล่นเหมาะสมกับเกมในแต่ละด่าน	4.57	0.63	มากที่สุด
6. ผู้เล่นเล่นแล้วเข้าใจง่าย	4.53	0.57	มากที่สุด
7. เกิดความสนุกและได้ความรู้ในการเล่น	4.70	0.70	มากที่สุด
8. เกมช่วยกระตุ้นผู้เล่นให้เกิดความสนใจเรียนมากขึ้น	4.67	0.55	มากที่สุด
9. รูปแบบของเกมสวยงามและเหมาะสม	4.63	0.76	มากที่สุด
10. เกมมีประโยชน์ต่อผู้เล่น	4.80	0.41	มากที่สุด
รวม	4.63	0.11	มากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ได้สร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” : เกมสำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ โดยใช้โปรแกรม Unity3D ซึ่งได้ออกแบบสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ทำให้สามารถใช้เป็นสื่อเสริมการเรียนรู้ด้วยตัวเองที่มีความบันเทิงเข้ามาผสมผสานหรือที่เรียกว่า “ศึกษานันทนาการ” ประกอบด้วยเนื้อหา 2 เรื่อง ได้แก่ ประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์ ภายในเกมประกอบด้วยแบบฝึกทดสอบความรู้ระหว่างใช้งานเกมสองช่วงรวมถึงแบบทดสอบหลังการใช้เกมเสร็จสิ้น โดยที่ผู้เล่นต้องใช้ความรู้และความเข้าใจในเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์เพื่อเอาชนะและผ่านด่านของเกมไปได้ ซึ่งจะเล่นเกมบนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะอย่างคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ โดยมีภาพเคลื่อนไหวเสียงประกอบ ความสนุกสนาน ความตื่นเต้น การแข่งขัน ความท้าทาย การตอบสนองกับผู้อื่นและการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นหรือผู้เล่นได้ตลอดเวลา ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญของกระบวนการการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งช่วยเสริมทักษะการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เนื่องจากปัจจัยที่มีแรงกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติ ทำให้เกิดความสนุกสนานจากการต้องเรียนรู้กฎเกณฑ์ เข้าใจวัตถุประสงค์ ยอมรับและเคารพ ผลลัพธ์ของเกม การพยายามแก้ปัญหาในเกมจะช่วยกระตุ้นและจูงใจให้ผู้เล่นเกิดความคิดสร้างสรรค์ จากการประเมินประสิทธิภาพ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” เพื่อการเรียนรู้ โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คนซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง ได้ผลลัพธ์ $E_1/E_2 = 82.33/80.67$ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเกมสำหรับการเรียนรู้ดังกล่าวจะต้องได้รับการแก้ไขและพัฒนาให้มีความทันสมัย ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ. 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] **Minecraft: Education Edition**. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2560, จาก <https://education.minecraft.net>
- [2] โกวิท ทรัพย์พิศาล. (2553). “เกมคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา: การเรียนรู้ผ่านการเล่น การลงมือปฏิบัติและสถานการณ์จำลอง”, **นิเทศศาสตร์ปริทัศน์**. 14(2), 37-46.
- [3] Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G. and Angelova, G. (2015) “Gamification in Education: A Systematic Mapping Study”, **Educational Technology & Society**. 18(3), 75–88.
- [4] Erenli, K. (2013). “The Impact of Gamification - Recommending Education Scenarios.” **International Journal of Emerging Technologies in Learning**. 8, 15-21.
- [5] Lister, M.C. and College, H. (2015). “Gamification: The effect on student motivation and performance at the post-secondary level”, **Issues and Trends in Educational Technology**. 3, 1-22.
- [6] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 4**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- [7] นัตรชัย ศรีนิติวรพงศ์. (ม.ป.ป.). **คู่มือสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องแรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมป์**. คู่มือสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์ โดยความร่วมมือระหว่าง สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.phukhiao.ac.th/obec-media/2554/manual/>.

- [8] แผนการจัดการเรียนรู้ (ฉบับอบรมครู) สาขาคอมพิวเตอร์. **หลักสูตรการเขียนโปรแกรมScratch เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์**. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- [9] ศรัญญา ผาเป้า. (2551). ผลการใช้เกมคอมพิวเตอร์เป็นสื่อเสริม วิชาวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 2 ที่มีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางวิทยาศาสตร์ต่างกัน. ปรินุณานิพนธ์ ปรินุณาศึกษามหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [10] สุไม บิลไบ และศศิฉาย ชนะมัย. (2557). “เกมคอมพิวเตอร์กับการเรียนรู้ยุคดิจิทัล Computer Games with Learning in Digital Age”, **วิชาการครูศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 5(1), 177-182.
- [11] หทัยรัตน์ โตประโคน และนายวราเทพ คงนิม. (2558). **โครงการการสร้างเกมผจญภัยในโลกโปเกมอนด้วย Unity 3D**. สงขลา: วิทยาลัยอาชีวศึกษาบริหารธุรกิจวิทยาสงขลา.
- [12] อภินันท์ ภิรมย์ ภักย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว. (2559). “การพัฒนาเกมสามมิติ เรื่อง เกม ทางออกอยู่ไหน 3D Game Development: Where are exit?”, ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 2**. 15-20. วันที่ 30 - 31 มีนาคม 2559 มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- [13] อภินันท์ รังสูงเนิน. (2550). **การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติ เรื่องโซล่าผจญภัย**. ปรินุณานิพนธ์ปรินุณาศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [14] อภิสิทธิ์ เต็มสุข. (2558). **เกมยิงความรู้ 3 มิติ Game Knowledge Shoot 3D**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สุรินทร์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- [15] **EP2: มารู้จักหน้าต่าง Unity กัน**. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2558, จาก <https://pieroblog.com>.
- [16] **Roll A Ball**. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2558, จาก <https://unity3d.com>.
- [17] **Unity3D Thailand**. สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2558, จาก <https://www.facebook.com/groups/unity3dthailand>.

การสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อการเรียนรู้แบบ STEAM

The Construction of 3D Printing Machine for STEAM Learning

กมล ทัลวัลลี¹ วัศพล สมใจ¹ เกษม เปรมประยูร³ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}

Kamon Tanlawan¹, Wassapon Somjai¹, Kasem Premprayool³ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

การสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อใช้สำหรับการจัดการเรียนการสอนแบบ STEAM โดยได้พัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ Fuse Deposition Manufacturing หรือ FDM โดยโครงสร้างหลักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่นำกลับมาใช้ใหม่ จึงทำให้ต้นทุนในการสร้างลดลงและสามารถนำเครื่องพิมพ์สามมิติไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน เช่น การสร้างสื่อการสอนหรือการเรียนแบบ STEAM (Science, Technology, Engineer, Fine Art and Mathematics) โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ 5 ด้าน คือ 1. ความเร็วในการพิมพ์วัสดุ 2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวฉีด 3. ขนาดสูงสุดของการพิมพ์ 4. ความแม่นยำในการพิมพ์ และ 5. การพิมพ์รูปทรงต่างๆ จากการศึกษาและทดสอบพบว่า ด้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวฉีดใช้เวลา 90 วินาทีในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 29 °C เป็น 220 °C ด้านขนาดการพิมพ์รูปร่าง 3 มิติพบว่ามีความสูงอยู่ที่ความกว้าง 130 mm ความยาว 200 mm และความสูง 160 mm ด้านความเร็วในการพิมพ์วัสดุพบว่าสามารถพิมพ์โมเดลลูกบาศก์ขนาด 1 ลูกบาศก์นิ้วใช้เวลา 22 นาที ด้านความแม่นยำในการพิมพ์มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 2.55 เปอร์เซ็นต์ และด้านการพิมพ์รูปทรงต่างๆ สามารถพิมพ์รูปทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก ทรงกลมได้อย่างดี ดังนั้นเครื่องพิมพ์สามมิติที่สร้างขึ้นสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้ดีในระดับพอใช้ ซึ่งต้องได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องพิมพ์สามมิติ การพิมพ์สามมิติ การศึกษาแบบ STEAM Fuse Deposition Manufacturing

Abstract

We have constructed and developed a Fuse Deposition Manufacturing (or FDM) 3D printer using for teaching and learning STEAM (Science, Technology, Engineer, Fine Art and Mathematics). A body of this 3D printer was applied from recycle materials. There are results to reduce the materials cost of 3D printer for help in teaching and learning. This 3D printer was evaluated for efficiencies by 5 choices: *i.e.*, *i*) the speed of printing materials (*e.g.* PLA & ABS), *ii*) the

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ อ.ดร., สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery and Developments (RLIMD³), Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Lecturer, Dr., Department of Teaching Science and Mathematics, Faculty of Education, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nufermi2@gmail.com

change of nozzle temperature, *iii*) maximum size of printing, *iv*) the printing precision, and *v*) the printing of various shapes. It was found that on the change of temperature, the nozzle took 90 seconds to change the temperature from 29 °C to 220 °C. In case of the maximum size of printing, the 3D maximum size was 130 mm in width, 200 mm in length and height was 160 mm. For a print speed, the 3D printer could feeds materials to print a one cubic-inch model within 22 minutes was found. The accuracy of printing is 2.55%. Finally, this 3D printer could precisely create a cubic, cylindrical and spherical shapes. However, this 3D printer created is still working well at a fair level. There must be further improved in higher performance.

Keywords: 3D Printer, 3D Printing, STEAM Study, Fuse Deposition Manufacturing

บทนำ

เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงในยุคศตวรรษที่ 21 ทำให้ประเทศที่กำลังพัฒนาหลายประเทศที่มีบทบาทในเชิงการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ประกอบกับโครงการ RepRap [1] ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติที่สามารถนำมาใช้งานในบ้าน ได้เปิดเผยข้อมูลของเครื่องพิมพ์สามมิติอย่างเต็มรูปแบบทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เครื่องพิมพ์สามมิติจึงมีราคาที่ถูกลงอย่างมากจนบุคคลทั่วไปสามารถเป็นเจ้าของได้ เครื่องพิมพ์สามมิติจึงกลายเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าจับตามองในโลกยุคปัจจุบัน

เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานออกมาเป็นรูปทรง 3 มิติ สามารถจับต้องได้ แตกต่างจากเครื่องพิมพ์เอกสารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันที่พิมพ์งานออกมาในรูปแบบ 2 มิติ โดยเครื่องพิมพ์สามมิติจะใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุเป็นชั้นบางๆ ทีละชั้นและนำชั้นบางๆ เหล่านั้นมาซ้อนทับกันจนได้เป็นตัวชิ้นงาน เรียกกระบวนการนี้ว่า Additive Process เครื่องพิมพ์สามมิติมีหลากหลายประเภท แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ Material Extrusion เนื่องมาจากราคาที่ต่ำและไม่สูงและเป็นเทคโนโลยีที่เป็นแบบ Open Source สามารถนำไปสร้างได้โดยไม่มีปัญหาทางด้านลิขสิทธิ์ เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า Fuse Deposition Material หรือ FDM

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยนำความรู้ทางฟิสิกส์ที่หลากหลายมาใช้ในการสร้างและพัฒนานวัตกรรมยุคใหม่ ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการนำกระบวนการคิดและการเรียนรู้ไปใช้ต่อไป และเป็นการกระตุ้นให้ผู้สนใจสามารถสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติขึ้นมาได้เองด้วยวัสดุที่มีจำหน่ายทั่วไปในร้านขายวัสดุก่อสร้าง โดยโครงสร้างหลักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่นำมาแปรรูปใหม่ จึงทำให้ต้นทุนในการสร้างลดลง และนำเครื่องพิมพ์สามมิติที่ได้สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน เช่น การสร้างสื่อการสอนหรือการสอนแบบ STEAM (Science, Technology, Engineer, Fine Art and Mathematics) [2] ในโรงเรียนที่จะปรากฏขึ้นในอนาคตอันใกล้ต่อไป

วิธีการวิจัย

1. ส่วนประกอบทางกลและอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ หรือ hardware

เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยกลไกและฟังก์ชันการทำงานหลายส่วนทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อให้สามารถสร้างชิ้นงานตามความต้องการของผู้ใช้ โดยได้สร้างเครื่องพิมพ์สามมิติชนิดระบบพิกัดฉาก (Cartesian) ซึ่งมีการเคลื่อนตำแหน่งของหัวฉีดวัสดุ (Extruder) ในแกน X Y และ Z โดยโครงสร้างส่วนใหญ่ได้อ้างอิงมาจาก Vulcman [3] มีส่วนประกอบสำคัญดังต่อไปนี้

1.1 ส่วนโครงสร้างการขับเคลื่อนเชิงกล

เครื่องพิมพ์สามมิติสามารถแจกแจงโครงสร้างตามแนวแกน X (ภาพที่ 1) แกน Y (ภาพที่ 2) และแกน Z (ภาพที่ 3) ทำให้หัวฉีดวัสดุเคลื่อนที่อยู่ในแนวแกน +X +Y และ +Z โดยใช้วิธีการพิมพ์สามมิติในการสร้างชิ้นส่วนของทั้งสามแกน

1.2 ส่วนฐานรองชิ้นงาน

สำหรับส่วนฐานรองชิ้นงาน (ภาพที่ 4) ใช้เป็นพื้นที่รองรับการฉีดพ่นวัสดุเพื่อขึ้นรูปโดยใช้วิธีฉีดวัสดุแบบวางเรียงกันเป็นชั้นๆ ซึ่งเป็นฐานที่สร้างจากแผ่นไม้กระดานอัดเหลือใช้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา โดยมีขนาด 21×21 cm จำนวนสองแผ่น แผ่นแรกทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเสริมให้กับโครงสร้างแนวแกน X ภาพที่ 1(b) เพื่อให้สามารถติดแผ่นไม้กระดานอัดได้โดยไม่ทำให้สกรูยึดแผ่นกระดานอยู่บริเวณกลางแผ่น ส่วนแผ่นที่สองเป็นฐานรองรับชิ้นงานสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน X

1.3 ส่วนรองรับการติดตั้งหัวฉีดวัสดุ

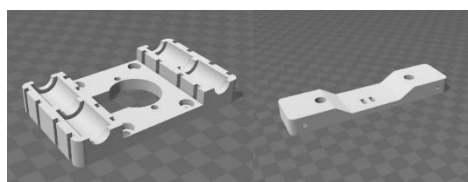
ส่วนนี้เป็นส่วนสำหรับติดตั้งหัวฉีดวัสดุ (Extruder) ดังภาพที่ 5 ซึ่งจะติดอยู่กับแกน Y เพื่อให้หัวฉีดสามารถเคลื่อนที่ได้บนแกน Y และแกน Z

1.4 ส่วนสมองกลควบคุมอิเล็กทรอนิกส์และแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

การควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติให้ทำงานได้ตามต้องการนั้น ต้องมีส่วนสมองกลสำหรับใช้ควบคุมและรับคำสั่ง โดยได้เลือกใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 ดังภาพที่ 6(a) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์หลายๆ ตัว โดยบอร์ดดังกล่าวทำหน้าที่รับคำสั่งจากโปรแกรม (โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) ซึ่งจะแปลคำสั่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อให้บอร์ดสามารถสั่งการควบคุมไปยังอุปกรณ์ในตารางที่ 1 เช่น Micro Stepper Motor ให้ทำงาน หรือสั่งให้ส่งกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ Hot-end เพื่อให้เกิดความร้อน เป็นต้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบต่อเข้ากับบอร์ดเป็นดังตารางที่ 1 และใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 12 V รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ช่วยจับยึดข้อต่อทั้งส่วนข้อต่อที่อยู่นิ่งและส่วนข้อต่อที่ต้องเคลื่อนที่ เมื่อนำอุปกรณ์ทุกส่วนมาเชื่อมต่อกันจะได้เป็นเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีขนาดของตัวเครื่องประมาณ $50 \times 40 \times 30$ cm³ โดยภาพหลังประกอบเสร็จแสดงไว้ดังภาพที่ 7

1.5 ต้นทุนการสร้าง

ราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติใช้งบประมาณทั้งสิ้น 7,327 บาท แต่ในการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติได้สั่งพิมพ์ชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยความหนาแน่น (infill) 80% หากลดความหนาแน่นให้ต่ำลงจะสามารถประหยัดต้นทุนลงไปได้ระดับหนึ่ง

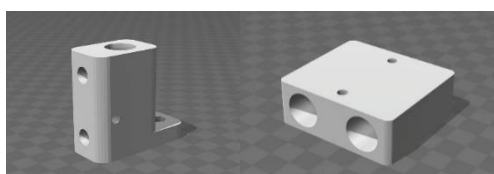


(a)

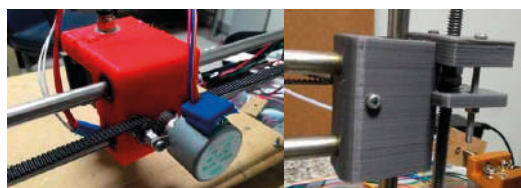


(b)

ภาพที่ 1 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวแกน X (b) แสดงโครงสร้างแนวแกน X ที่ได้สร้างขึ้น

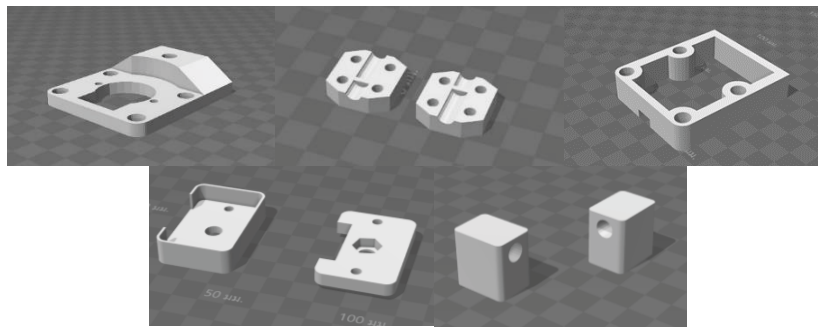


(a)

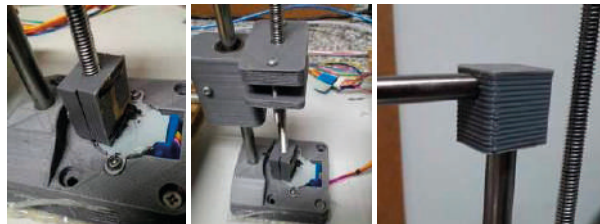


(b)

ภาพที่ 2 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวแกน Y (b) แสดงโครงสร้างแนวแกน Y ที่ได้สร้างขึ้น



(a)



(b)

ภาพที่ 3 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวแกน Z (b) แสดงโครงสร้างแนวแกน Z ที่ได้สร้างขึ้น



(a)

(b)

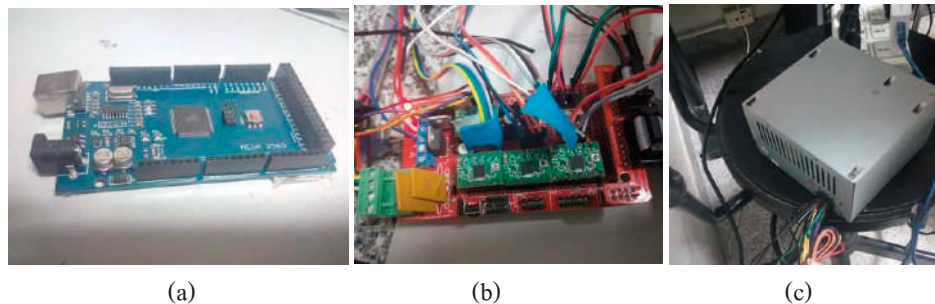
ภาพที่ 4 (a) ฐานรองชิ้นงาน (b) โครงสร้างฐานรองชิ้นงานที่ประกอบแล้ว

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่จำเป็นในส่วนสมองกลอิเล็กทรอนิกส์

รายการ	จำนวน
1. Arduino Mega 2560	1 ชุด
2. Ramps 1.4	1 ชุด
3. Micro Stepper Motor Driver A4988	4 ตัว
4. LCD Screen and Rotary Controller	1 ชุด
5. Limit Switches	3 ชิ้น
6. 28byj-48 Stepper motor	4 ตัว
7. E3D V6 Hot-end with Single Cooling Fan for 1.75mm Bowden Filament 0.4 mm Nozzle	1 ชุด



ภาพที่ 5 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างยึดหัวฉีด (b) โครงสร้างส่วนยึดหัวฉีดวัสดุที่มีการติดตั้งหัวฉีดวัสดุแล้ว



ภาพที่ 6 (a) Arduino Mega 2560 (b) Ramps 1.4 (c) แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 12 V

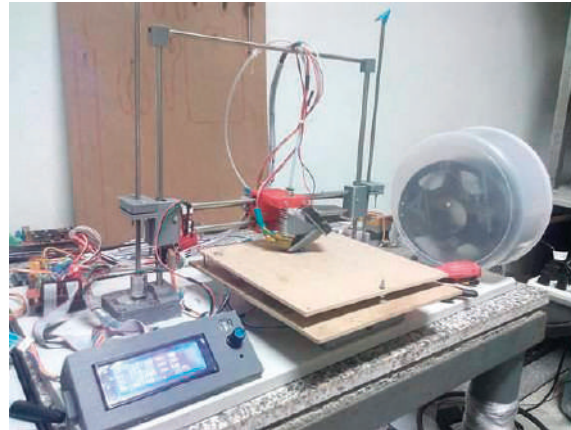
2. การปรับค่าพารามิเตอร์ของส่วนโปรแกรม

ในการจะควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ จะต้องมีส่วนของโครงสร้างคำสั่งและส่วนการรับคำสั่งเพื่อจะสามารถสั่งให้เครื่องพิมพ์สามมิติทำงานตามที่ต้องการ โดยส่วนนี้เป็นส่วนของโปรแกรมซึ่งแบ่งเป็นส่วนย่อย คือ

2.1. Firmware [4] เป็น โปรแกรมขนาดเล็กที่ถูกเขียนขึ้นและบันทึกไว้ในชิปของบอร์ด Arduino Mega 2560 โดยผ่านโปรแกรม Arduino อีกชั้นหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด Firmware ที่ใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิตินี้เป็นฟรีแวร์จาก Repetier [5] ซึ่งดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ที่ระบุไว้ในส่วนอ้างอิงที่ [6] โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ เช่น Motherboard เลือกใช้ Ramps 1.4 เป็นต้น

2.2. โปรแกรม Repetier Host [7] เป็น โปรแกรมที่ทำหน้าที่หลัก 2 อย่าง คือ ทำการติดต่อสื่อสารกับส่วนสมองกลของเครื่องพิมพ์สามมิติและเรียกใช้โปรแกรมการคำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของหัวฉีดวัสดุหรือ tool path ซึ่งเรียกว่า Slicer (โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) เช่น Cura [8] หรือ Slic3R [9] เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวเป็นฟรีแวร์ด้วยเช่นกัน และดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ที่ระบุไว้ในส่วนอ้างอิงที่ [10] โดยแบบจำลอง 3 มิติที่จะใช้พิมพ์ได้นั้นจะต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .stl, .obj หรือ .amf

2.3. โปรแกรม Cura [11] เป็นโปรแกรม Slicer เป็นโปรแกรมสำหรับการตัดแบ่งแบบจำลองชิ้นงานที่ต้องการพิมพ์ออกเป็นชั้นๆ แล้วคำนวณหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหัวฉีดวัสดุ สามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของแกน XYZ ให้ไปยังตำแหน่งที่กำหนดเพื่อฉีดเนื้อวัสดุสร้างเป็นชิ้นงานตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่ายกว่าโปรแกรม Slic3R เนื่องจากมีส่วน user interface ที่เข้าใจได้ง่าย และมี Interface ที่สวยงาม ทำให้ได้รับความนิยม โดยดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ที่ระบุไว้ในส่วนอ้างอิงที่ [8] และรูปแบบไฟล์จะอยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า G-Code [12] ซึ่งสามารถนำไปใช้งานกับโปรแกรม Repetier-Host ได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 7 ภาพเครื่องพิมพ์สามมิติหลังประกอบเสร็จ

3. Calibration

เครื่องพิมพ์สามมิติจำเป็นต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ของตำแหน่งของหัวฉีดวัสดุในเครื่องพิมพ์ โดยตั้งค่าในโปรแกรมให้ตรงกับตำแหน่งที่เป็นจริงของ Hardware ซึ่งจะต้องทำการปรับเทียบค่า 'Step per mm' ของสเต็ปมอเตอร์ให้มีความเหมาะสม ซึ่งสามารถคำนวณผ่านโปรแกรมต่างจากค่ามุมของสเต็ปมอเตอร์ แต่สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิตินี้ได้ดัดแปลง 28byj-48 Stepper motor ซึ่งเป็นมอเตอร์ 4 เฟสให้เหลือเพียง 2 เฟส จึงไม่สามารถระบุค่ามุมของสเต็ปมอเตอร์ที่แน่นอนได้ จึงได้เลือกใช้วิธีการพิมพ์โมเดลสามมิติแล้วปรับเทียบค่า 'Step per mm' กับการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานสามมิติ โดยมีขั้นตอนคือ พิมพ์โมเดลลูกบาศก์ขนาด $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ แล้ววัดขนาดของลูกบาศก์แล้วทำการปรับเพิ่มหรือลดค่า Step per mm ตามขนาดของลูกบาศก์ที่เปลี่ยนแปลงไปจนได้ค่าที่ถูกต้อง

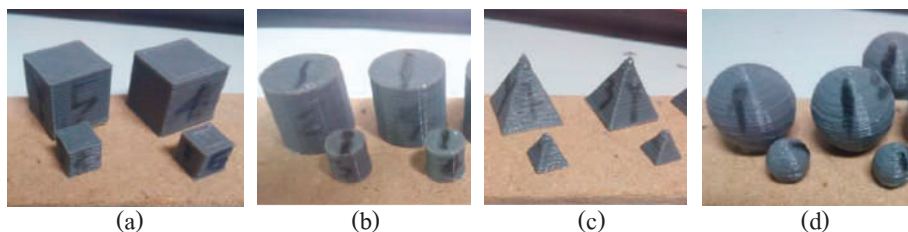
ผลการดำเนินงาน

1. คุณสมบัติของเครื่องพิมพ์สามมิติ

- 1.1 คุณสมบัติทั่วไป: เครื่องพิมพ์สามมิติมีคุณสมบัติทั่วไปดังตารางที่ 2
- 1.2 เครื่องพิมพ์สามมิติมีขนาดสูงสุดของการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองสามมิติ โดยแยกตามระยะแนวแกน $X = 130 \text{ mm}$ แกน $Y = 200 \text{ mm}$ และแกน $Z = 160 \text{ mm}$ ทำให้ได้ขนาดปริมาตรสูงสุดของการพิมพ์เป็น $4,160 \text{ mm}^3$
- 1.3 ความเร็วของหัวฉีด
 - 1.3.1 มีความเร็วในการฉีดเส้นพลาสติกชนิด PLA ประมาณ 22.84 mm/นาท
 - 1.3.2 มีความเร็วการเพิ่มอุณหภูมิของหัวฉีดวัสดุจาก 29.0°C ถึง 220.9°C ใช้เวลา 90 วินาที
- 1.4 การทดสอบการพิมพ์วัตถุรูปทรงเรขาคณิต 4 รูปทรง คือ 1.ลูกบาศก์ 2.ทรงกระบอก 3.พีระมิด และ 4.ทรงกลมขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ และ $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ สามารถพิมพ์รูปทรงต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 8 โดยมีขนาดเฉลี่ยดังตารางที่ 3 และมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 0.94 1.33 2.55 และ 1.05 ตามลำดับ โดยความคลาดเคลื่อนของการพิมพ์พีระมิดมีค่ามากที่สุดเกิดจากบริเวณยอดพีระมิดเป็นพื้นที่ที่เล็กกว่า 0.5 mm^2 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดวัสดุ ดังนั้นเครื่องพิมพ์สามมิติที่ได้สร้างขึ้นจึงไม่สามารถพิมพ์แบบจำลองสามมิติที่มีขนาดเล็กกว่าหัวฉีดวัสดุได้ ปัจจุบันนี้ขนาดของหัวฉีดถูกปรับลดลงเป็น 0.4 และ 0.25 เครื่องพิมพ์สามารถปรับเปลี่ยนหัวฉีดให้มีขนาดเล็กลงได้ แต่จำเป็นต้องปรับลดความสูงเลเซอร์ตามความเหมาะสมกับขนาดของหัวฉีด แต่ไม่ได้รายงานผลการทดสอบไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งจะได้ทำการทดสอบสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติในรุ่นถัดไปที่กำลังอยู่ระหว่างปรับปรุงและพัฒนา

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องพิมพ์สามมิติ

รายการ	คุณสมบัติ
ขนาดหัวฉีด (สามารถเปลี่ยนขนาดได้)	0.50 mm
ความสูงเลเยอร์	0.24 mm
ความหนาขอบนอกชิ้นงาน	1.00 mm
อุณหภูมิหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA	220.00 °C
ขนาดเส้นพลาสติก PLA	1.75 mm
การดึงเส้นพลาสติก PLA กลับ	6.50 mm
Slicer	Cura 2.4
Printer Host	Repetier Host , SD card
Printer Firmware	Repetier Firmware



ภาพที่ 8 ผลการพิมพ์วัตถุทรงสามมิติขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ และ $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$

(a) ลูกบาศก์ (b) ทรงกระบอก (c) พีระมิดและ (d) ทรงกลม

2. การประยุกต์ใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ

เครื่องพิมพ์สามมิติสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย แม้แต่ในเรื่องของการจัดการศึกษาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ เช่น การสร้างสื่อการสอนจากการพิมพ์วัตถุเป็นรูปสามมิติ การจัดกิจกรรมและการเรียนการสอนแบบ STEM และหรือ STEAM โดยเครื่องพิมพ์สามมิติจะช่วยลดข้อจำกัดต่างๆ ในการศึกษา แต่จะต้องเข้าใจว่าเครื่องพิมพ์สามมิติคืออะไรและจะช่วยให้การจัดการศึกษามีความง่ายและมีประสิทธิภาพได้อย่างไรเสียก่อนจึงจะทำให้การจัดการศึกษาโดยมีเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นเครื่องมือช่วยเหลือมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นการจัดการเรียนการสอนวิชาคณิตศาสตร์เรื่อง ปริมาตรของวัตถุ โดยให้นักเรียนศึกษาค้นคว้าและอภิปรายเรื่องปริมาตรของวัตถุ ออกแบบและสร้างรูปทรงด้วยกล่องสี่เหลี่ยม 1 mm^3 จำนวน 100 กล่อง โดยให้นักเรียนสามารถตั้งได้โดยไม่สลับในคอมพิวเตอร์ แล้วนำโมเดลพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ นำชิ้นงานที่พิมพ์ไปวัดปริมาตรด้วยถ้วยเรก้า

ตารางที่ 3 ขนาดเฉลี่ยของวัตถุทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก ทรงพีระมิดและทรงกลม

ขนาดของ แบบจำลอง (mm^3)	ขนาดเฉลี่ย (mm)			ขนาดของแบบจำลอง (mm^3)	ขนาดเฉลี่ย (mm)		
	X	Y	Z		X	Y	Z
วัตถุทรงลูกบาศก์:				วัตถุทรงพีระมิด:			
$10 \times 10 \times 10$	10.10	10.10	10.05	$10 \times 10 \times 10$	9.70	9.70	9.30
$20 \times 20 \times 20$	20.25	20.10	19.80	$20 \times 20 \times 20$	19.95	20.25	19.30
วัตถุทรงกระบอก:				วัตถุทรงทรงกลม:			
$10 \times 10 \times 10$	9.80	9.90	10.00	$10 \times 10 \times 10$	9.90	9.90	9.90
$20 \times 20 \times 20$	20.30	20.10	19.50	$20 \times 20 \times 20$	20.30	20.15	19.80

ในกระบวนการดังกล่าวนักเรียนจะได้ฝึกฝนทักษะทางคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งฝึกความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการซึ่งเป็นส่วนด้านศิลปะและได้ใช้ความรู้เรื่องจุด เส้น พื้นที่และปริมาตร ซึ่งเป็นส่วนของคณิตศาสตร์ โดยการออกแบบโมเดลในโปรแกรม CAD (Computer-Aided Design) อย่างง่ายๆ โดยมีความรู้เรื่องเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นส่วนหนึ่งของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและวิศวกรรม หลังจากนั้นจึงนำแบบจำลองมาสั่งให้เครื่องพิมพ์สามมิติพิมพ์รูปทรงปริมาตรตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วนำมาทดลองหาค่าปริมาตรกับถ้วยเรก้า เพื่อแสดงให้เห็นว่าปริมาตรมีค่าเท่ากับจำนวนกล่องที่ต่อเรียงกันในหน่วยลูกบาศก์มิลลิเมตร

สรุปผลการวิจัย

จากการทำวิจัยพบว่าเครื่องพิมพ์สามมิติที่ได้สร้างขึ้นในราคาต้นทุน 7327 บาท สามารถใช้พิมพ์แบบจำลองสามมิติได้มีประสิทธิภาพระดับหนึ่ง แต่ความเร็วในการพิมพ์ขึ้นงานยังต่ำกว่าเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีวางขายในท้องตลาดอย่างมาก เนื่องจากได้เลือกใช้ 28byj-48 Stepper motor ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีค่าทอร์กต่ำราคาถูกเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการสร้างให้มีราคาเหมาะแก่การนำไปใช้งานภายในห้องเรียน สามารถใช้เครื่องพิมพ์สามมิติในการสร้างสื่อต่างๆ เช่น โมเดลรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพจริง สามารถหาปริมาณของวัตถุที่พิมพ์ออกมาจากถ้วยเรก้าและความหนาแน่นของวัตถุ เปลี่ยนการเรียนจากหนังสือมาเป็นการลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งจะทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น และก่อให้เกิดรูปแบบการเรียนการสอนที่หลากหลาย เนื่องจากเครื่องพิมพ์สามมิติหากสามารถสร้างโมเดลในคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องพิมพ์สามมิติก็สามารถพิมพ์โมเดลนั้นออกมาเป็นของจริงได้ ทำให้เกิดสื่อการสอนได้อีกมากมาย รวมถึงสร้างอุปกรณ์ที่ไม่สามารถหาซื้อได้จากท้องตลาดได้อีกด้วย ซึ่งจะส่งผลให้สามารถทำการสอนในรูปแบบ STEAM ที่กำลังได้รับการนิยม ไม่ว่าจะเป็นการผลิตสื่อเพื่อใช้ในการสอน STEAM หรือใช้เครื่องพิมพ์สามมิติในการสอน STEAM ก็ตาม

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ.2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bowyer. (2560). **RepRap**. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2559, จาก <http://reprap.org/wiki/RepRap>.
- [2] สุทัศน์ เอกา และบรร พิมพ์ภู. (2559). **จาก STEM สู่ STEAM จึงสมบูรณ์แบบ**. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2559, จาก <https://www.facebook.com/sutat.eaka/posts/1167199053328251>.
- [3] Vulcaman. (ม.ป.ป.). **Cherry- 60€ 3D-Printer**. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.instructables.com/id/Cherry-60-3D-Printer/>
- [4] **Firmware คืออะไร? อัปเดตแล้วได้อะไร?**. สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://www.karethailand.com/what-is-firmware>.
- [5] Marcus Littwin. (ม.ป.ป.). **Repetier-Host Documentation**. สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://www.repetier.com/>.
- [6] Marcus Littwin. (ม.ป.ป.). **Repetier-Firmware configuration tool for version 0.92.9 version**. สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://www.repetier.com/firmware/v092/>.

- [7] วิวัฒน์ อรุณเรืองศิริเลิศ. (ม.ป.ป.). **วิธีการใช้งาน Repetier Host 1.0.6 สำหรับการเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer).** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://www.in2real3d.com/article/5วิธีการใช้งาน-repetier-host-1-0-6สำหรับการเครื่องพิมพ์-3-มิติ-3d-printer>.
- [8] Ultimaker. (2560). **Cura Software.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>.
- [9] Alessandro Ranellucci. (2560). **Slic3r G-code generator for 3D printers.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://slic3r.org/>.
- [10] Marcus Littwin. (ม.ป.ป.). **Repetier-Firmware Documentation.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://www.repetier.com/download-software/>.
- [11] Nattawat.(ม.ป.ป.). **การใช้งานโปรแกรม Cura สำหรับเครื่องพิมพ์ 3D Printer.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://www.siamreprap.com/2016/01/cura-program-for-3d-printer/>.
- [12] Bowyer. (2560). **G-code.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://reprap.org/wiki/G-code>.

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า

Water Level Measurement using Capacitance Measurement Technique

ศุภกร กตาทิการกุล^{1*}, มารินา มะหนิ², สุวิทย์ คงภักดี³ และนันท์นภัส เพชรmani⁴

Supagone Katathikarnkul^{1*}, Marina Mani², Suwit Khongpugdee³ and Nannapas Pengmanee⁴

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยมีหัววัดเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้น พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) พบว่า ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า 8.53 % FSO ความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% และ ฮิสเทอรีซิสมีค่า 2.97% FSO สามารถนำไปใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ทันที อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ: การวัดระดับน้ำ การวัดความจุไฟฟ้า วงจรบริดจ์

Abstract

This paper presents the water level measurement technique using a capacitance measurement. The probe is a parallel plate capacitor made of printed circuit board (PCB). Techniques for measuring capacitance was used by applying the modified bridge circuit. Results show that the measured voltage is in the range of millivolt (mV) and is proportional to the variation in water level, Results show non-linear and 8.53% FSO, repeatability 4.45% and hysteresis error were 2.97%FSO respectively. This technique can be efficiently used in real-time water level measurement. Moreover, it is low cost, easy to use, and portable.

Keywords: Water Level Measurement, Capacitance Measurement, Bridge Circuit

¹ นักวิชาชีพ สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

⁴ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Scientists, Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Asst. Prof., Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Asst. Prof. Dr., Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

⁴ Student Undergraduate, Department of Science and Mathematics, Faculty of Education, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel. 082-4384686. E-mail address: supagone@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการวัดระดับน้ำได้เข้ามามีบทบาทในการเฝ้าระวังปัญหาในระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตประจำวันได้ และมีส่วนในทางกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก แต่เทคนิคการเรียนรู้ในการวัดระดับน้ำที่มีอยู่ในการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยยังมีจำนวนน้อย เข้าใจยาก ราคาแพงและนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ จึงส่งผลต่อการเรียนรู้และความเข้าใจต่อวิธีการวัดระดับน้ำ และจากการศึกษาเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดระดับน้ำหลายๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาทิเช่น การใช้เทคนิค Acoustical gas resonator [1] เทคนิคของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber-optic) เทคนิคการใช้แขนกลขนาดเล็ก (Cantilever Beam) [2] เทคนิคการใช้หัววัดอุลตราโซนิก [3] หรือใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้าแบบหัววัดกึ่งทรงกระบอก [4] พบว่าการใช้เทคนิคด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์จะมีข้อจำกัดบางอย่างในการวัด เทคนิคการสร้างการวัดที่ยู่งยาก และยังมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำอย่างง่ายที่สามารถนำมาใช้ในการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดองค์ความรู้และหลักการที่ถูกต้องสำหรับวิธีการวัดระดับน้ำ

เทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ตรวจวัดระดับน้ำในการเรียนการสอนได้ง่าย คือ การวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เป็นความรู้พื้นฐานของการเรียนในวิชาฟิสิกส์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดการเรียนรู้และนำมาใช้งานได้จริง โดยมีหลักการพื้นฐานคือการใส่ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ทำการวัดระดับน้ำด้วยการวัดปริมาณไดอิเล็กตริกของน้ำซึ่งมีอยู่ในคุณสมบัติของน้ำอาทิเช่น ความเข้มข้น สารแขวนลอย และการเจือปน โครงสร้างส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือแท่งตัวนำที่แยกออกเป็น 2 ส่วน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าไดอิเล็กตริกเปลี่ยนจะส่งผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้

บทความนี้นำเสนอเทคนิคสำหรับตรวจวัดระดับน้ำโดยวัดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดคู่ขนาน โดยประกอบด้วยหัววัดมีลักษณะเป็นแบบคู่ขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์เชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์ และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับคำนวณระดับน้ำ แสดงผลบนหน้าจอ LCD ขนาด 16x4 ตัวอักษร พร้อมทั้งสามารถเก็บข้อมูลด้วย SD Card โดยเครื่องมือที่ประดิษฐ์มีข้อดีคือการติดตั้งที่ไม่ยุ่งยาก มีความสะดวก ปลอดภัยและง่ายต่อการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังมีราคาถูกและสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยการใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนและอุปกรณ์มีจำหน่ายภายในประเทศ ดังนั้นสามารถสร้างขึ้นมาใช้เองได้ซึ่งจะเป็นการลดการนำเข้าเครื่องมือที่มีราคาแพงจากต่างประเทศได้

วิธีการวิจัย

หลักการพื้นฐานการหาความจุไฟฟ้า

การหาความจุไฟฟ้าอย่างง่ายสามารถหาได้จากแผ่นโลหะที่มีพื้นที่ของแผ่นโลหะ (A) อย่างน้อยสองแผ่นวางระยะห่างน้อยที่สุดของช่องว่าง (d) มีฉนวนหรือไดอิเล็กตริกกั้นกลางอยู่มีค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก (ϵ_r) และมีค่า permittivity of free space (ϵ_0) มีเท่ากับ 8.85 (pF/m) สามารถคำนวณหาได้จากสมการของตัวเก็บประจุแผ่นเพลตแบบขนานได้ คือ

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

รูปแบบของเครื่องวัดระดับน้ำด้วยหลักการความจุไฟฟ้า

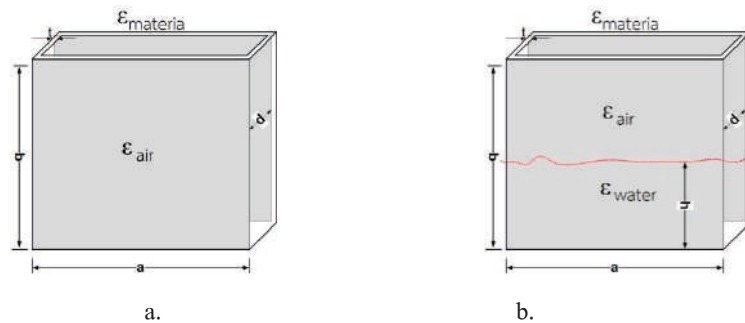
ลักษณะของเครื่องวัดระดับน้ำที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยรูปแบบของเครื่องวัดทำจากแผ่นวงจรพิมพ์มีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นคู่ขนานทำจากแผ่นทองแดง โดยที่แผ่นวงจรพิมพ์ให้เป็นรูปแบบคู่ขนานมีความสูงเท่ากับ b ความกว้างเท่ากับ a มีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ d และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ t ในกรณีที่ไม่มีน้ำมีเพียงอากาศ ดังภาพที่ 1a สามารถวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของการวัดระดับน้ำแบบความจุไฟฟ้าได้โดยเปรียบเสมือนมีค่าความจุไฟฟ้ารวมระหว่าง

ตำแหน่ง A และ B ที่เกิดจากค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ใช้ทำและค่าไดอิเล็กตริกภายในคืออากาศวงจรมุมของค่าความจุไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมกันแสดงดังภาพที่ 2 โดยสามารถหาความจุไฟฟ้าจากแผ่นคู่ขนาน ได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{\text{air}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) \quad (2)$$

ในกรณีมีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศกับน้ำ ดังภาพที่ 1b พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะแบ่งเป็นความจุไฟฟ้าที่ได้จากน้ำรวมกับความจุไฟฟ้าที่เป็นอากาศ นั่นคือความจุไฟฟ้าของทั้งสองต่อกันแบบขนาน คำนวณหาความจุไฟฟ้าได้จากสมการดังนี้

$$C = C_{\text{water}} + C_{\text{air}} \quad (3)$$



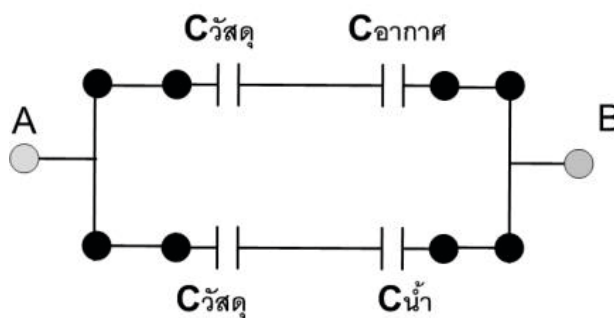
ภาพที่ 1 รูปแบบเครื่องวัดระดับน้ำที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า



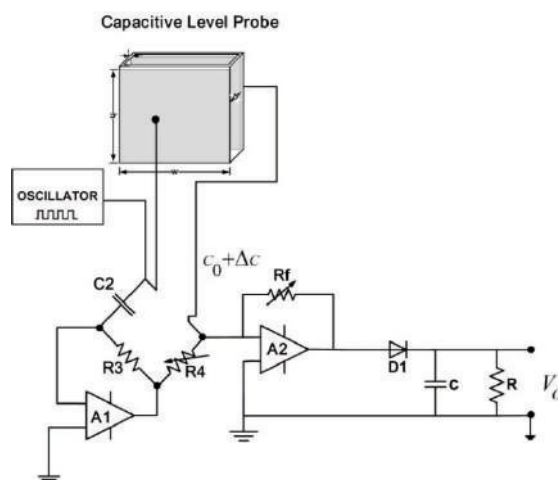
ภาพที่ 2 วงจรมุมของค่าความจุไฟฟ้า

แต่วัสดุที่ใช้ทำหัววัดมีค่าไดอิเล็กตริกด้วย ดังนั้นต้องคิดค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุด้วย แสดงการต่อกันดังวงจรมุมที่แสดงในภาพที่ 3 สามารถหาความจุไฟฟ้ารวมได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{\text{liquid}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) + \left(\frac{1}{C_{\text{air}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) \quad (4)$$



ภาพที่ 3 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแผ่นคู่ขนาน



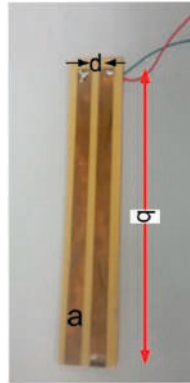
ภาพที่ 4 วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้วัดความจุไฟฟ้าของหัววัด

วงจรที่ใช้วัดความจุไฟฟ้า

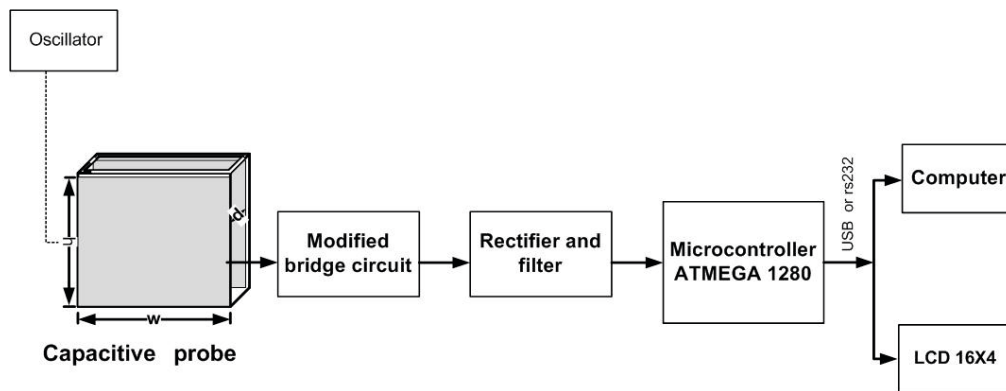
การวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุง [5] ขึ้นพร้อมวงจรขยายดังแสดงในภาพที่ 4 โดยที่ออปแอมป์ตัวที่ 1 เป็นกราวด์เสมือน และออปแอมป์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายคงที่ (V) และความถี่คงที่ (f) เมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันด้านออกและระดับน้ำได้ โดยที่มีแรงดันออกเท่ากับ V_O ที่ได้จะแปลงไปเป็นระดับสัญญาณกระแสตรงด้วยวงจรกรองเรียงกระแส (Rectifier and Filter)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ออกแบบเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้หัววัดความจุไฟฟ้า (Capacitive Probe) ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ให้ทองแดงในแผ่นเป็นรูปคู่ขนานที่มีความสูง (b) เท่ากับ 19 เซนติเมตร ความกว้าง (a) เท่ากับ 1 เซนติเมตร มีช่องว่างน้อยที่สุด (d) เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ 0.02 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5 สำหรับไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำแสดงดังภาพที่ 6 ทำการวัดระดับน้ำด้วยวงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นแล้วนำมาประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ATMEGA1280 จัดเก็บข้อมูลลงใน SD/MMC โดยมี SD Card ขนาดความจุ 4 GB เพื่อทำเป็นฐานข้อมูล กำหนดวันเดือนปีเวลาด้วยวงจรสร้างฐานเวลา DS1307 สามารถแสดงผลผ่านพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์และจอ LCD ขนาด 16x4 ตัวอักษร เพื่อแสดงผลค่าระดับน้ำ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 5 หัววัดระดับน้ำทำจากแผ่นวงจรพิมพ์



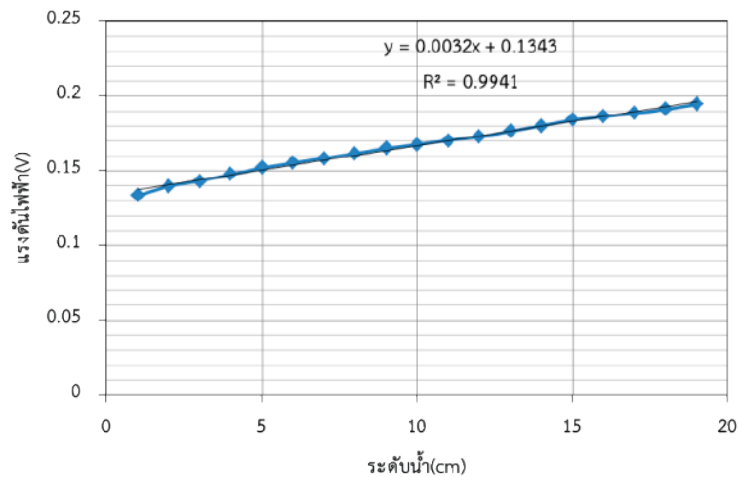
ภาพที่ 6 ไลอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำ



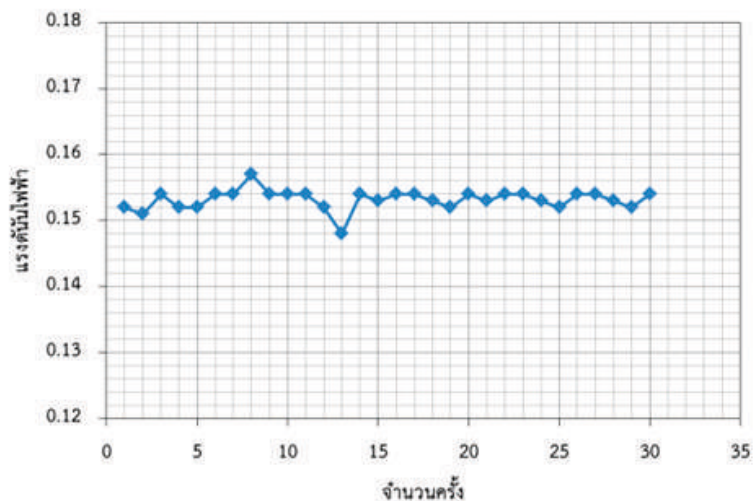
ภาพที่ 7 องค์ประกอบของเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

วัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 0.5 เซนติเมตร การทดลองโดยวัดระดับตั้งแต่ 0 ถึง 19 เซนติเมตร เพิ่มระดับน้ำครั้งละ 1 เซนติเมตร แสดงคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นดังภาพที่ 8 และคำนวณผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 8.53% FSO



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและระดับน้ำ



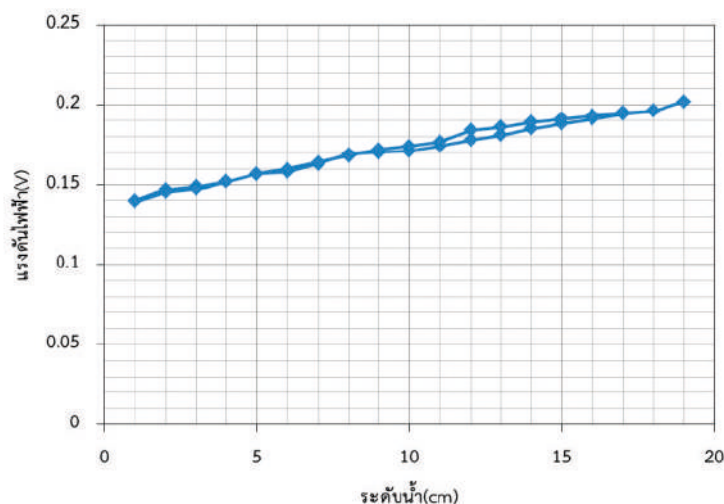
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับจำนวนครั้งที่ระดับน้ำ 4 เซนติเมตร

ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดเมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 0.5 เซนติเมตร ตั้งแต่ระดับน้ำค่า 1 ถึง 19 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร และทดลองซ้ำ 30 ครั้ง จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ ดังภาพที่ 9 จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% ที่ระดับน้ำ 4 เซนติเมตร

ค่าฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

วัดแรงดันไฟฟ้าเทียบกับระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มและลดระดับน้ำความสัมพันธ์ระหว่างค่าฮิสเทอรีซิส แสดงดังภาพที่ 10 เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ได้ค่าความผิดพลาดของฮิสเทอรีซิสเท่ากับ 2.97%FSO



ภาพที่ 10 ค่าความผิดพลาดแบบอิสเทอร์ซิซของเครื่องวัดระดับน้ำ

สรุปผลการวิจัย

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยมีหัววัดเป็นแบบถูขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ให้ทองแดงในแผ่นเป็นรูปถูขนานที่มีความสูงเท่ากับ 19 เซนติเมตร ความกว้างเท่ากับ 1 เซนติเมตร มีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ 0.02 เซนติเมตร เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นพบว่า แรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) พบว่า ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า 8.53% FSO ความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% และอิสเทอร์ซิซมีค่าความผิดพลาด 2.97% FSO ดังนั้นจากผลการศึกษาการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า และสามารถตรวจวัดระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ใช้งานง่าย พกพาสะดวกอีกทั้งยังมีราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Donlagic D., Zavrsnik M and Sirotic I. (2000). "The use of one-dimensional acoustical gas resonator for fluid level measurements", **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 49(5), 1095-1100.
- [2] Eldar M and Sait E K. (2003). "A novel liquid level detection method and its implementation", **Sensors and Actuators A: Physical**. 109, 21-24.
- [3] Srisan, P., Katathikarnkul S. and Mani, M. (2014). "Water Level Gauge to Transmit Data Using Wireless Sensor Network", **Thaksin University Journal**. 17(3), 51-59.
- [4] Supagorn Katathikarnkul. (2012). "เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว", In **The 32th Electrical Engineering Conference (EECON 32)**. Oct 26-30, 2012, Prachinburi.
- [5] S.C. Bera, J.K. Ray and S. Chattopadhyay. (2006). "A low-cost noncontact capacitance- type level transducer for a conducting liquid", **IEEE Trans Instrum Meas**. 55(3), 778-786.

การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ โดยอาศัยการจำลองแบบ

ด้วยโปรแกรม PVsyst

Efficiency Evaluation of 3 kW Photovoltaic Rooftop and Grid Connected System by Using PVsyst Programmed Modeling Simulation

ฉัตร ฝนาค^{1*}, จอมภพ แวศักดิ์^{2,3}, สมพล ชีวมงคลกานต์³ และปราณี หนูทองแก้ว³

Chat Pholnak^{1*}, Jompob Waewsak^{2,3}, Somphol Cheewamongkolkarn³ and Pranee Nutongkaew³

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการจำลองแบบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ ที่จะติดตั้งในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง และประเมินสมรรถนะของระบบภายใต้อิทธิพลของชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ การหันเหทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมุมเอียงของหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVsyst ผลการศึกษาพบว่า พลังงานที่ผลิตได้ต่อวันจะมีค่าเกิน 5.0 kWh/kWp/day ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 4.855 MWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบ Poly-crystalline ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 15.46% และสามารถรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 3.0 kW ผลจากการจำลองแบบยังแสดงให้เห็นอีกว่า เมื่อหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 20 องศา จะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยปริมาณพลังงานรวมรายปีเท่ากับ 1,700 kWh/m²

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของระบบ อัตราส่วนสมรรถนะ โปรแกรม PVsyst อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริด

¹ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² รศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิจัย, ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Assoc. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Researcher., Research Centre in Sustainable Energy & Environment, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600 ext. 2453. E-mail address: chat@tsu.ac.th

Abstract

This article presents the efficiency study of a 3 kW PV rooftop and grid connected system via program simulation technique which system will be setup in Pa-phayom region of Phthalung province. To evaluate a performance of this system, a model simulation is archived by Pvsyst program depending on the conditions of type of PV module, direction orientation and tilt orientation of the solar panels. The research study was found that the electrical energy producing per day or array yield was exceed to 5.0 kWh/kWp/day in March to June as 4.855 MWh/year. And performance ratio (PR) was 81.1% per year in an average. PV efficiency of a selected poly-crystalline silicon was 15.46% and suitable supporting by 3.0 kW grid inverter. Furthermore, the collecting intensity of solar energy and system efficiency were optimum when the solar panels were oriented in the south-east direction and tilt orientation at 20 degree as the annual yield of ~1,700 kWh/m².

Keywords: Solar Cell, System Efficiency, Performance Ratio, PVsyst Program, Grid-Connected Inverter

บทนำ

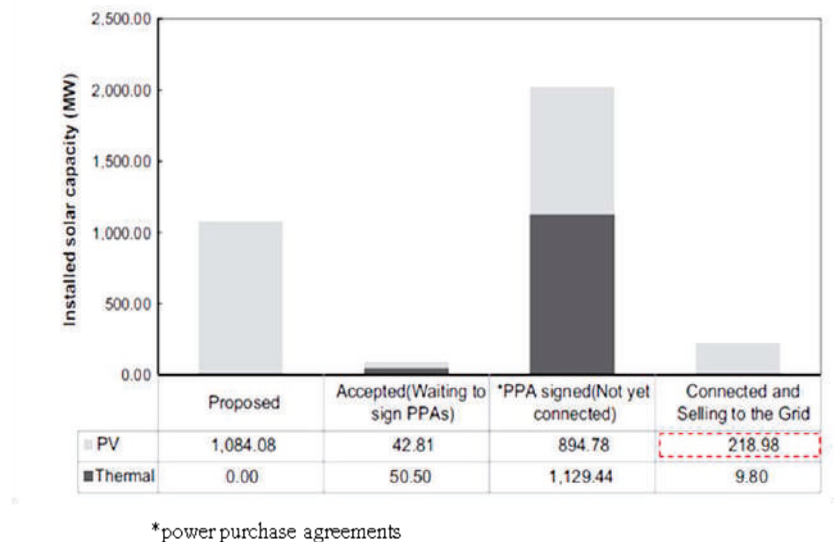
ประเทศไทยมีศักยภาพในพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 18 MJ/m²-day โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-23 MJ/m²-day บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีมีค่าอยู่ในช่วง 19-20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 11.0% ของพื้นที่ทั้งประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 35.6% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m²-day [1] เราจึงสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงานอื่นๆ ได้ เช่นการนำพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ สำหรับประเทศไทยมีการสนับสนุนให้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเรือนและอาคารต่างๆ เพื่อขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ในราคาพิเศษ คือราคา 6.16-6.96 บาทต่อหน่วย เป็นเวลา 25 ปี หรือใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เองภายในบ้านหรืออาคารของตนเอง (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นการประหยัดและลดค่าไฟฟ้า [2-3]

ตารางที่ 1 นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของประเทศไทย [3]

	Residential Scale	Commercial Scale	Utility Scale
Power (kWp)	0-10	> 10-250	> 250-1000
FiT rate (THB/unit)	6.96	6.55	6.16
Payback period (Years)	8-9	7-8	7-8

ปัจจุบันมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ โดยส่วนใหญ่มาตรฐานด้านอุปกรณ์ประกอบของระบบ Solar PV Rooftop จะอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC ของยุโรปเป็นหลัก ขณะที่มาตรฐานการติดตั้งจะอ้างอิงจากมาตรฐาน AS/NZS 5033 ของประเทศออสเตรเลีย [4] และนิวซีแลนด์เป็นหลัก โดยปรับประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับประเทศไทย แต่มีการอ้างอิงมาตรฐาน NEC ของประเทศสหรัฐอเมริกา [5] บางส่วนเท่านั้น ทำให้ระบบมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น [6] สำหรับการเลือกเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับบ้านเรือนต้องคำนึงกำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าและขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่มีอยู่ในท้องตลาดที่มี

ขนาดเท่ากับหรือมากกว่า เพื่อให้ประโยชน์สูงสุดและไม่เกิดการลงทุนที่ไม่จำเป็น ระยะคืนทุนในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกัน เมื่อคิดที่จำนวนแผงเท่ากันจะเกิดจากสองกรณีคือ ค่าความเข้มข้นของแสงเฉลี่ยแต่ละพื้นที่ที่มีค่าแตกต่างกัน และจำนวนโหนดที่ติดตั้ง (ภาพที่ 1) สำหรับประสิทธิภาพถดถอยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มข้นของแสงที่เท่ากันแผงจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากันแต่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงทุกปี [7]



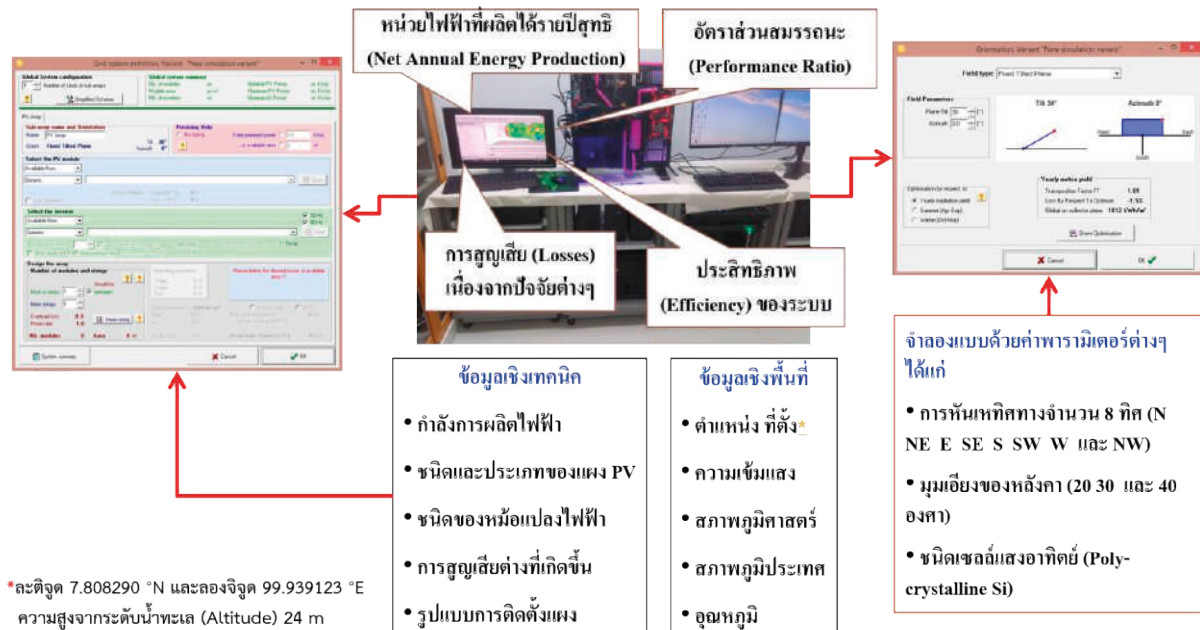
ภาพที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังการผลิตระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนที่ติดตั้งแล้วในประเทศไทย [2]

กระทรวงพลังงานโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) มีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเพิ่มกำลังการผลิตติดตั้งจาก 3,000 MW เป็น 6,000 MW ภายในปี พ.ศ. 2579 โดยหนึ่งในมาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นโครงการโซลาร์เสรี ซึ่งจะยอมให้ผู้ไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของบ้านสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Distribution System) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยไม่เกินขนาดของหม้อแปลงที่จะรองรับได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลังสูงสุด 3 กิโลวัตต์ เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบจากอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ การหันเหทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมุมเอียงของหลังคา โดยอาศัยการจำลองแบบด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ Photovoltaic System (PVsyst) [8] และใช้ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์จาก NASA เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลังการผลิต 3 กิโลวัตต์ โดยใช้ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์จาก NASA-SSE (Surface Meteorological and Solar Energy Programme) ข้อมูลจากดาวเทียมรายเดือน โดยมีความละเอียดของกริดเท่ากับ $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (111 km) ข้อมูลครอบคลุมทั้งโลกเป็นระยะเวลา 10 ปี (1995-2005) อพ โหนดข้อมูลจากตำแหน่งสถานที่ติดตั้งระบบที่ละติจูด $7.808290^{\circ} \text{N}$ และลองจิจูด $99.939123^{\circ} \text{E}$ และที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude) 24 m แล้วจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst V.6.29 ภายใต้เงื่อนไข

ของการหันเหทิศทางจำนวน 8 ทิศ (N NE E SE S SW W และ NW) มุมเอียงของหลังคาทำมุม 20 องศา 30 องศา และ 40 องศา และชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Mono-crystalline, Poly-crystalline, Thin-Film และ Hetero-junction จำนวน 6 ชนิด วิเคราะห์หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิ (Net Annual Energy Production) หลังจากหักกลบการสูญเสีย (Losses) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ แล้ววิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) และอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW แสดงดังแผนภาพที่ 2



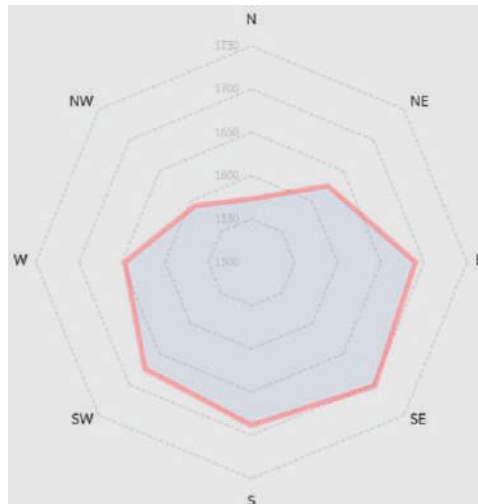
ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทําวิจัย ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และข้อมูลที่ดาวน์โหลดและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นํ้าเข้าสู่โปรแกรมซอฟต์แวร์ PVsyst สำหรับการจำลองแบบ

ผลการวิจัย

ผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW โดยอาศัยฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์ NASA และจำลองแบบภายใต้เงื่อนไขของทิศทางการหันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มุมเอียงของหลังคาและชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งอาคารวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยทักษิณ ในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การหันเหทิศทางจำนวน 8 ทิศ (N NE E SE S SW W และ NW)

จากการศึกษาปัจจัยของการหันเหทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์พบว่า ถ้าหันแผงเซลล์ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุดประมาณ 1,700 kWh/m² และลำดับถัดมาเป็นทิศตะวันออก (E) มีค่าพลังงานรวมรายปีประมาณ 1,690 kWh/m² ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รังสีอาทิตย์รวมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²) เฉลี่ยรายปี

2. การวางเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 20 30 และ 40 องศา

จากการศึกษาการจำลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ Full Solar จำนวน 10 แผง ขนาดกำลังการผลิต 3 kW เอียงทำมุม 20 30 และ 40 องศา กับพื้นราบ พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 20 องศา ให้พลังงานไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพของระบบสูงสุด รองลงมาเป็นมุม 30 องศา การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ผลิตได้รายวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมุมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงทำมุม 20 30 และ 40 องศา

มุมเอียง (Degree)	รังสีอาทิตย์รวมที่ ตกกระทบ บนแผง (kWh/m ²)	รังสีอาทิตย์ ที่ใช้ประโยชน์ ได้ (kWh/m ²)	พลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้จาก อาร์เรย์ (kWh)	พลังงานไฟฟ้า ที่ป้อนเข้าสู่ กริด (kWh)	ประสิทธิภาพ ของอาร์เรย์ (%)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (%)
20	1736.3	1680.6	4367.5	4216.7	13.04	12.58
30	1668.2	1616.1	4207.5	4060.1	13.00	12.54
40	1579.4	1530.8	3997.8	3855.2	12.96	12.52

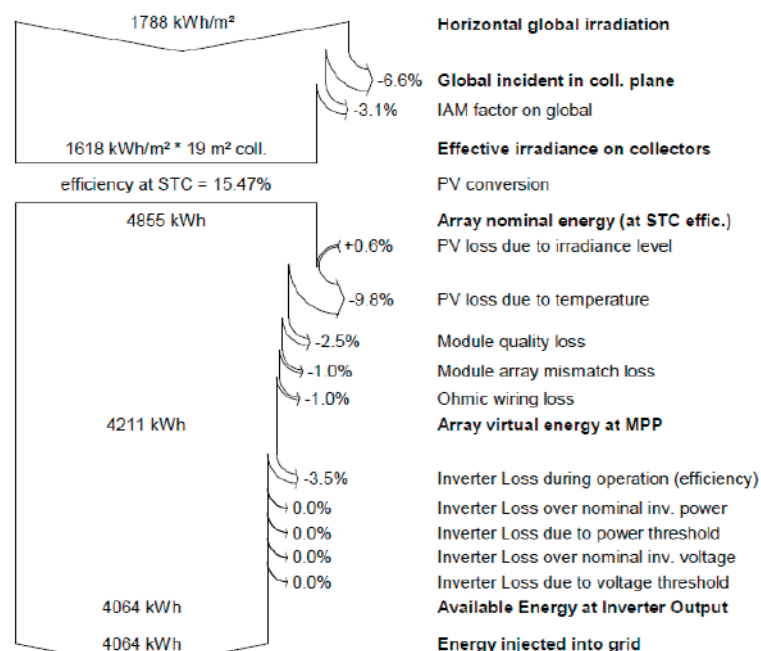
3. ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Mono-crystalline, Poly-crystalline, Thin-Film และ Hetero-junction จำนวน 6 ชนิด

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 3) พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Si ยี่ห้อ FULL Solar รุ่น F-300P ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 15.46% และสามารถต้านทานต่อแรงลมบนหลังคาอาคารได้สูงสุด 2,400 Pa และรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Sunseed รุ่น 3000TL ขนาด 3.0 kW ที่มีความเหมาะสมกันดี

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (kWh)

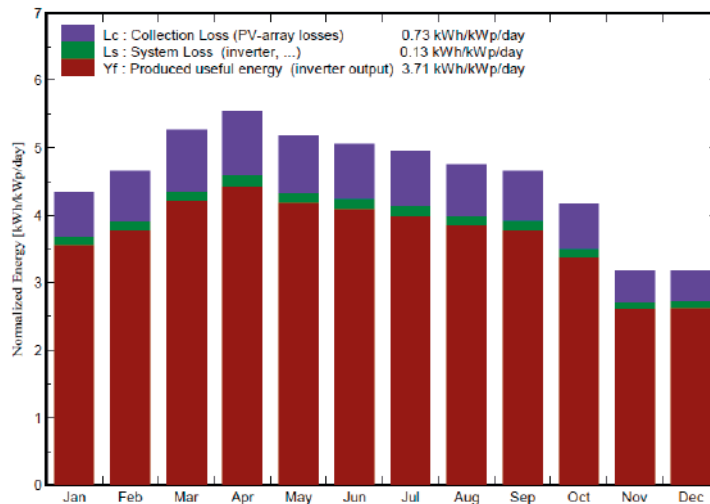
PV Module	Manufacturer	Produced Energy (kWh/year)	Specific product (kWh/kWp/year)	Performance Ratio PR (%)
Si-poly	FULL Solar	4060	1353	81.1
Si-mono	TOPSUN	3991	1330	79.7
Si-EFG	Sovello AG	3946	1315	78.8
a-Si:H single	Kaneka	3770	1257	75.3
a-Si:H tandem	Schueco	4268	1423	85.3
a-Si:H tripple	Xunlight Corporation	4030	1343	80.5
uCSi-aSi:H	NexPower	4179	1393	83.5
CdTe	First Solar	4286	1339	80.3
CIS	TSMC Solar Ltd.	4107	1369	82.1
CSG	CSG Solar AG	3655	1218	73.0
HIT	Panasonic	3935	1366	81.9

สำหรับการวิเคราะห์หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิ (Net Annual Energy Production) หลังจากหักการสูญเสีย (Losses) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ พบว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 4,855 kWh/year แต่พลังงานที่ผลิตได้ป้อนเข้าสู่ระบบกริดอินเวอร์เตอร์ได้เพียง 4,064 kWh/year สาเหตุหลักเนื่องมาจากการเกิดการสูญเสียที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV loss) 14.3% และการสูญเสียที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter Loss) ขณะทำงานถึง 3.5% ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้แสดงดังภาพที่ 4

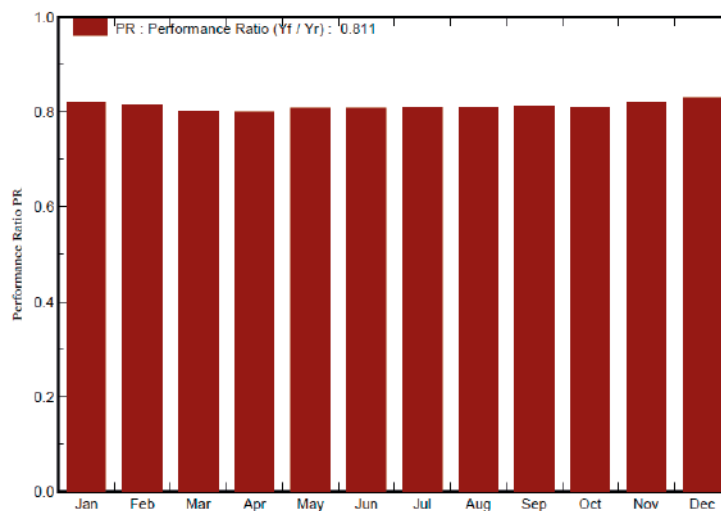


ภาพที่ 4 การสูญเสียที่เกิดในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) และอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW ด้วยการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม PVsyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA พบว่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อวันจะมีค่าเกิน 5 kWh/kWp/day ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน (ภาพที่ 5) ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 4,855 kWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวันรายเดือน



ภาพที่ 6 อัตราส่วนสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kWp ในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง มีความเหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูง ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 4.855 MWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% ควรเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Si และ

รองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 3.0 kW ที่เหมาะสม และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรหันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จึงจะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุดประมาณ 1,700 kWh/m² รวมทั้งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 20 องศา จะให้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2554). **ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.dede.go.th>.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2556). **ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.dede.go.th>.
- [3] Chaianong, A. and Pharino, C. (2015). "Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 48, 356-372.
- [4] Chapman, A.J., McLellan, B. and Tezuka, T. (2016). "Residential solar PV policy: an analysis of impacts, successes and failures in the Australia case", **Renewable Energy**. 86, 1265-1279.
- [5] Kaufmann, R.K. and Vaid, D. (2016). "Low electricity prices and greenhouse gas emissions due to rooftop solar: empirical results for Massachusetts", **Energy Policy**. 93, 345-352.
- [6] สมหมาย ดันติพันธุ์ไชย. (2558). "สรุปมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของระบบ Solar PV Rooftop ตามมาตรฐาน NEC", **การประชุมวิชาการ PEA ปี 2558 เทคโนโลยีกับการพัฒนาระบบจำหน่ายไฟฟ้าในอนาคต**. 15. 27 พฤศจิกายน 2558, ณ ศูนย์ประชุมวายุภักษ์ ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ แจ้งวัฒนะ. กรุงเทพฯ.
- [7] วรินดา ธีระสุภะ และรุ่งวิทย์ เหล่าชัยพฤกษ์. (2549). **การศึกษาแบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการอนุรักษ์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [8] Chacko, J.K. and Thomas, K.J. (2015). "Analysis of different solar panel arrangements using PVSYS", **International Journal of Engineering Research & Technology**. 4, 510-513.

การสังเคราะห์แกรฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD

Graphene Synthesis on Copper Plate by Microwave Plasma CVD

กิตติพงษ์ นัจจันทร^{1*}, ทวี chimoy² และมนู เฟื่องฟู³

Kittipong Namjan^{1*}, Tawee Chimoye² and Manu Fuangfoong³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสังเคราะห์แกรฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD ที่สร้างขึ้นจากเตาไมโครเวฟฟิล์มของแกรฟีนเกิดบนแผ่นทองแดงโดยใช้ไอของเอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอนที่กำหนดอัตราการไหล 1 2 3 4 และ 5 ลิตรต่อนาที ตามลำดับเมื่อตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของแกรฟีนด้วยรามานสเปกโตรสโคปี พบแถบสำคัญทั้งสามคือ D, G และ 2D ของแกรฟีนที่สังเคราะห์อยู่ที่ 1346 1579 และ 2686 cm^{-1} ตามลำดับโดยไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลโดยพบว่าแกรฟีนฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มีความบกพร่องต่ำในทุกกรณี อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 1 ลิตรต่อนาที โดยทำซ้ำ 5 ครั้ง ได้แกรฟีนที่มีความหนา 2 ชั้นแต่สำหรับอัตราการไหลอื่นได้แกรฟีนที่มีความหนาหลายชั้น

คำสำคัญ: แกรฟีน ไมโครเวฟพลาสมา รามานสเปกโตรสโคปี

Abstract

This paper presents the synthesized graphene by using microwave plasma CVD on copper plate created from microwave oven. The graphene film on copper plate was successfully created inside reactor by using vapor of the ethanol as the carbon source in atmosphere of argon. The flow rate of the argon were varied 1, 2, 3, 4 and 5 liter/min. The created graphene films were characterized by Raman spectroscopy. The three major bands of graphene, D, G and 2D-band located around 1345, 1579 and 2686 cm^{-1} , respectively without effect of the flow rate. It was found that the created graphene films had low defect for all conditions. However, when using the flow rate of argon 1 liter/min, and repeated 5 times, the created graphene had 2 layers. But for others flow rates, the created graphene films had multilayers.

Keywords: Graphene, Microwave Plasma, Raman Spectroscopy

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

² รศ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

³ รศ., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

¹ Graduate student, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120

² Assoc.Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120

³ Assoc.Prof., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120

* Corresponding author: Tel.: 086-9252764. E-mail address: kittipong.n1@gmail.com

บทนำ

แกรฟีน (Graphene) เป็นอะตอมคาร์บอนที่จัดเรียงตัวในสองมิติมีแลตทิซแบบหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง และมีไฮบริดเซชันแบบ sp^2 มีความหนา 1 อะตอม ซึ่งก็คือแกรไฟต์ที่มีเพียงชั้นเดียว (Monolayer of Graphite) นับตั้งแต่มีการค้นพบแกรฟีนในปี ค.ศ.2004 เป็นต้นมา นักวิจัยทั่วโลกได้ทำการศึกษาวิจัยทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมันมีลักษณะเด่นกว่าวัสดุอื่นๆ กล่าวคือ มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง มีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะหลายๆ มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อนที่ดีมาก ณ อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเชิงแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ค่อนข้างกว้าง ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นในหลายๆ ด้าน จึงทำให้แกรฟีนได้ชื่อว่าวัสดุแห่งอนาคต [1]

การสังเคราะห์แกรฟีนมีด้วยกันหลายวิธี [2] เช่น วิธีเชิงกล (Mechanical Exfoliation) วิธีเชิงเคมี (Chemical Exfoliation) การสังเคราะห์ทางเคมีที่ใช้การสั่นด้วยเสียงความถี่สูงเป็นตัวช่วย (Chemical Synthesis-Sonication) และวิธีการปลูกฟิล์มด้วยกระบวนการระเหยไอเคมี (Chemical Vapor Deposition หรือ CVD) เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้จะเป็นการสร้างเครื่องปลูกฟิล์มด้วยการระเหยไอเคมีโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวช่วยในการสร้างพลาสมา (Microwave Enhance Plasma CVD) ด้วยการดัดแปลงจากเตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นสารกำเนิดคาร์บอน จากนั้นนำแกรฟีนที่สังเคราะห์ได้ตรวจสอบคุณลักษณะด้วยรามานสเปกโตรสโกปี (Raman Spectroscopy) ข้อมูลที่ได้จะนำมาคำนวณเบื้องต้นเพื่อหาความบกพร่องและจำนวนชั้นแบบคร่าวๆ

วิธีการวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของเครื่องไมโครเวฟพลาสมาชนิดที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดยดัดแปลงจากเตาไมโครเวฟขนาดกำลัง 700 วัตต์ ภาชนะสำหรับปลูกฟิล์มทำจากบีกเกอร์ขนาด 1000 มล. ฝาปิดทำจากโลหะอะลูมิเนียมมีท่อสำหรับให้ก๊าซอาร์กอนและไอของแอลกอฮอล์ผ่านเข้าไป ก๊าซอาร์กอนใส่เพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดฟิล์มด้านบนแผ่นรองรับ ตลอดจนท่อสำหรับระบายความดันพร้อมวาล์ว เสืออากาศสำหรับเหนี่ยวนำให้เกิดพลาสมาทำจากลวดโลหะทั้งสแตนเลสและเหล็กยาว 3 ซม. ติดตั้งบนฐานโลหะอะลูมิเนียมรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ซม. ซึ่งวางอยู่บนฉนวนความร้อนที่ทำจากเทฟลอนหนา 10 มม. ความยาวของลวดทั้งสแตนเลสและเหล็กคำนวณจากสมการ [3]

$$L = \frac{c}{4f\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (1)$$

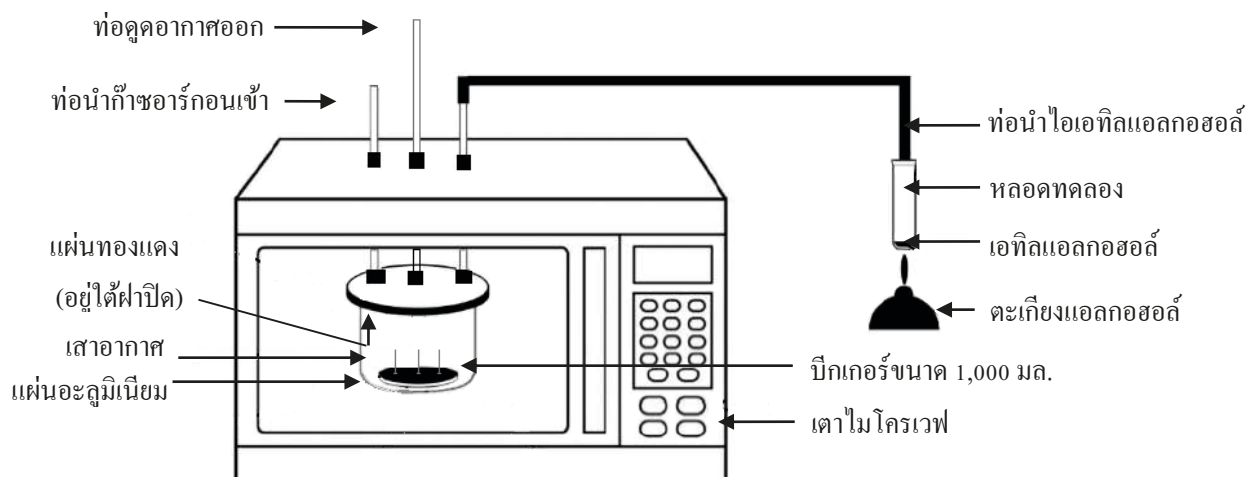
เมื่อ c คือ อัตราเร็วของแสง

f คือ ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ เท่ากับ 2.45 GHz

μ_r คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของสุญญากาศ

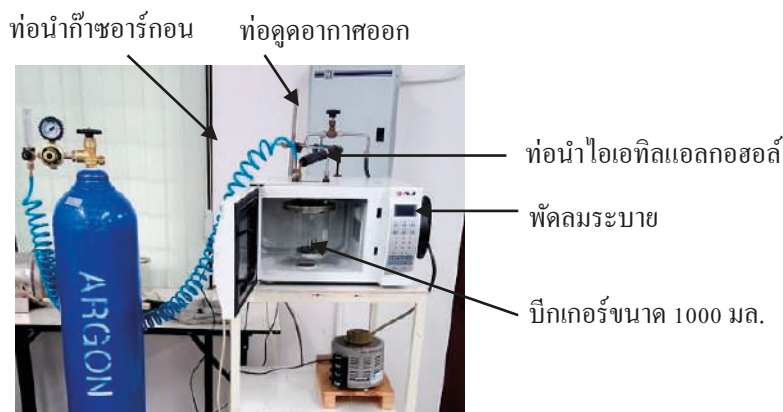
และ ϵ_r คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของสุญญากาศ

ด้านข้างเตาไมโครเวฟบริเวณส่วนควบคุมติดตั้งพัดลมระบายความร้อนให้กับหลอดแมกนีตรอนสำหรับเอทิลแอลกอฮอล์บรรจุในหลอดทดลองที่มีฝาและเชื่อมกับท่อพร้อมวาล์ว โดยใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์สำหรับต้มให้แอลกอฮอล์กลายเป็นไอ ในรายงานฉบับนี้เป็นแผ่นทองแดงเป็นแผ่นรองรับ (Substrate) โดยติดตั้งไว้ที่ฝาด้านในภาชนะ



ภาพที่ 1 ไมโครเวฟพลาสมาวิธีที่ใช้ในการวิจัย [3]

วิธีการวิจัยเริ่มจากตัดแผ่นทองแดงขนาด 2x2 ซม. ก่อนที่จะนำไปติดตั้งที่ฝาด้านในของภาชนะสำหรับปลูกฟิล์ม จะทำความสะอาดผิวด้วยน้ำยาล้างจานแล้วเช็ดให้แห้ง จากนั้นทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์และอะซิโตน ตามลำดับใส่ แอลกอฮอล์ปริมาณ 5 มล. ในหลอดทดลอง พร้อมทั้งปิดวาล์วของท่อนำไอของแอลกอฮอล์ แสดงดังภาพที่ 2 เมื่อติดตั้งแผ่น รองรับเรียบร้อยแล้วจะจ่ายก๊าซอาร์กอนเข้าไปเพื่อแทนที่อากาศภายในภาชนะเป็นเวลาประมาณ 15-20 วินาที จากนั้นจะ ทำความสะอาดผิวของแผ่นรองรับอีกครั้งด้วยเปิดเครื่องไมโครเวฟให้เกิดพลาสมาของก๊าซอาร์กอนเป็นเวลา 60 วินาที ขั้นตอน ของการปลูกฟิล์มแกรฟีนเริ่มจากเปิดวาล์วของท่อนำไอของแอลกอฮอล์แล้วให้ความร้อนกับแอลกอฮอล์ในขณะเดียวกัน ยังคงจ่ายก๊าซอาร์กอนเข้าไปในภาชนะในอัตราการไหลที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดอัตราการไหลที่ 1 2 3 4 และ 5 ลิตรต่อนาที เมื่อแอลกอฮอล์เดือดจึงเปิดไมโครเวฟเป็นเวลา 50 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่แอลกอฮอล์กลายเป็นไอจนหมดและปรากฏเป็น ฟิล์มสีดำบนแผ่นรองรับ



ภาพที่ 2 การติดตั้งโครงสร้างของไมโครเวฟพลาสมาวิธีที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะดูลักษณะพื้นฐานวิทยาของฟิล์มที่เตรียมได้ด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราดและแบบส่องผ่านและยืนยันความเป็นแกรฟีนด้วยการใช้รามานสเปกโตรสโกปีเพื่อดูลักษณะของรามาน สเปกตรัม หากฟิล์มที่เตรียมได้เป็นแกรฟีนจะต้องปรากฏพีกสำคัญของแกรฟีนจำนวน 3 พีก คือ D Peak G Peak และ 2D Peak ณ ตำแหน่ง 1350 1600 และ 2700 cm^{-1} โดยประมาณ ตามลำดับความเข้มของทั้งสามพีก (I_D , I_G และ I_{2D}) ความ กว้างที่ระยะครึ่งหนึ่งของพีก 2D (Full Width at Half Maximum; FWHM) จะบ่งบอกถึงจำนวนชั้นและความบกพร่องของ ฟิล์มแกรฟีนที่เตรียมได้ [2, 4] ตามตารางที่ 1 สำหรับระยะเฉลี่ยของความบกพร่องของแลตทิซ (L_D) คำนวณได้จากสมการ [5]

$$L_D^2 \text{ (nm)} = (1.8 \times 10^{-9}) \lambda_L^4 \left(\frac{I_D}{I_G} \right)^{-1} \quad (2)$$

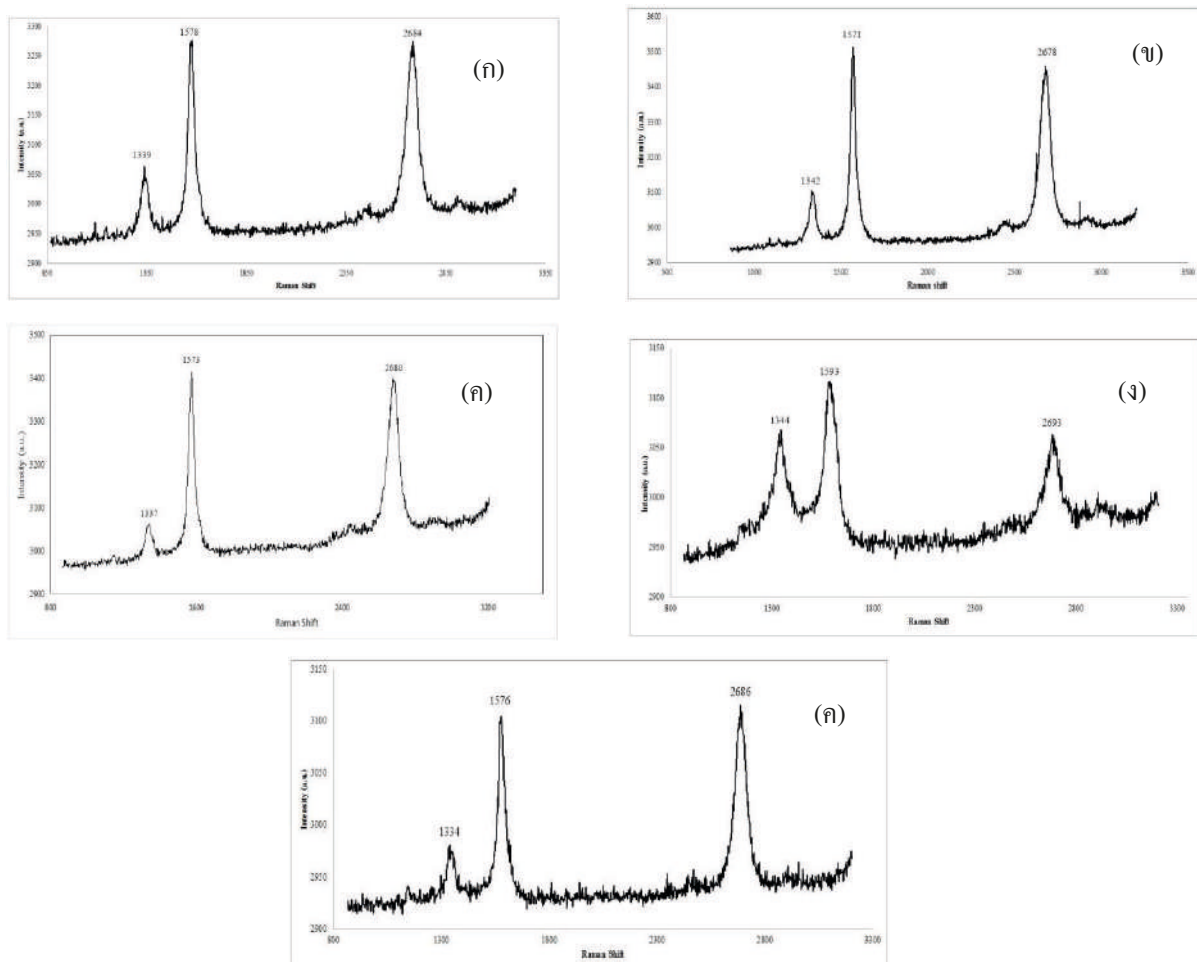
เมื่อ λ_L คือ ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ของเครื่องรามานสเปกโตรสโคปีที่ใช้ในการวิเคราะห์เท่ากับ 532 nm [3]

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคาดคะเนคุณลักษณะเบื้องต้นของแกรไฟีน

I_D/I_G	I_{2D}/I_G	FWHM (cm^{-1})	Defectlevel	Number of layers
≤ 0.25	≥ 2	20 – 40	Low defect	1 (mono - layer)
0.25 – 0.5	0.9 - 2	40 – 60	Medium defect	2 (bi - layers)
≥ 0.5	≤ 0.9	60 – 80	High defect	>3 (Multi – layers)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ภาพที่ 3(ก) – 3(จ) เป็นรามานสเปกโตรสโคปีของฟิล์มแกรไฟีนที่เตรียมจากอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนในอัตรา 1 2 3 4 และ 5 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งของ D, G และ 2D Peak จากรามาน สเปกโตรสโคปี ของฟิล์มแกรไฟีนที่อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนในอัตรา 1 2 3 4 และ 5 ลิตรต่อนาที

ตำแหน่งศูนย์กลางของ D, G และ 2D Peak ตลอดจนอัตราส่วนความเข้มของ I_D/I_G , I_{2D}/I_G และ FWHM (cm^{-1}) ของรามานสเปกโตรสโคปตามภาพที่ 2 สรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน	D Peak	G Peak	2D Peak	I_D/I_G	I_{2D}/I_G	FWHM (cm^{-1})
1 ลิตรต่อนาที	1349	1573	2686	0.90	0.99	67
2 ลิตรต่อนาที	1342	1571	2678	0.88	0.99	70
3 ลิตรต่อนาที	1339	1578	2684	0.94	1.00	67
4 ลิตรต่อนาที	1344	1593	2693	0.99	0.98	55
5 ลิตรต่อนาที	1334	1576	2686	0.85	1.00	63

ระยะเฉลี่ยของความบกพร่องของแลตทิซ (L_D) ของแต่ละตัวอย่างเมื่อคำนวณด้วยสมการ (2) แสดงได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะเฉลี่ยของความบกพร่องของแลตทิซ (L_D)

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน	L_D (nm)
1 ลิตรต่อนาที	12.14
2 ลิตรต่อนาที	12.27
3 ลิตรต่อนาที	11.88
4 ลิตรต่อนาที	11.57
5 ลิตรต่อนาที	12.01

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นตามตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในตารางที่ 1 พบว่าแกรฟีนที่เตรียมบนแผ่นรองรับทองแดงมีจำนวนชั้นมากกว่า 2 ชั้น หรือจัดอยู่ในประเภทหลายชั้น (Multi-layers) จากตารางที่ 2 และ 3 อาจกล่าวได้ว่าแกรฟีนที่เตรียมที่อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 4 ลิตรต่อนาที มีแนวโน้มที่มีความบกพร่องในระดับปานกลางก่อนไปทางสูง นอกนั้นมีความพร่องอยู่ในระดับสูง การออกแบบการสังเคราะห์แกรฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD นี้มีต้นทุนต่ำและใช้เวลาในการสังเคราะห์แกรฟีนน้อย

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่สนับสนุนเครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Eric Puma. (2014). **An Overview of CVD Graphene Growth Characterization and Transfer**. Senior Thesis. Pomona College.
- [2] Jamie H., Franziska S., Alicja B. and Mark H. (2013). "Methods for Obtaining Graphene", **Graphene Fundamentals and Emergent Applications**. 129 -227. Waltham : ElsevierInc.
- [3] Pongsopon R. (2014). **Microwave Plasma Reactor Based on Microwave Oven**. Senior Thesis. Thammasat University.

- [4] Henrique. (2015). “Raman Mapping Characterization of All-Fiber CVD Monolayer Graphene Saturable Absorbers for Erbium = Doped Fiber Laser Model Locking”, **Journal of Lightwave Technology**. 33(19), 4118-4123.
- [5] Byan Beamset. (2015). “Raman Characterization of Defects and Dopants in Grapheme”, **Journal of Physics**. 27(8), 1-26.

การศึกษาด้วยวิธีควอนตัมเชิงคำนวณเพื่อแสดงสมบัติการดูดกลืนแสงอาทิตย์ ของวัสดุแกรฟีนนาโนฟิลลาร์

The Computational Quantum Study in Performing the Feasibility Properties as a Solar Absorption of the Graphene Nanopillars

อรอนงค์ ชุมพล¹ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}

Onanong Chumpon¹ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ (Graphene Nanopillar) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติของแกรฟีน (Graphene) และท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) รวมอยู่ด้วยกันจากการเชื่อมต่ออย่างไรรอยต่อด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยได้ศึกษาถึงลักษณะโครงสร้างเชิงเรขาคณิตที่ส่งผลต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์รวมถึงพลังงานการก่อรูป (Formation Energy) และการดูดกลืนแสง (Optical Absorption) จากการจำลองแบบและคำนวณบนคอมพิวเตอร์ด้วยระเบียบวิธีเชิงควอนตัมแบบ Density Functional Tight-Binding (DFTB) ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์แบบสองท่อนาโนคาร์บอนที่มีการเชื่อมต่อท่อนาโนคาร์บอนแบบ zigzag (6,0) แบบ armchair (6,6) และแบบผสม zigzag(6,0)+armchair(6,6) ระหว่างแผ่นแกรฟีนสองแผ่นทำให้สามารถเพิ่มความกว้างความยาวและความสูงเกิดเป็นการขยายปริมาตรของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่แตกต่างกันได้ พบว่าพลังงานการก่อรูปของทุกโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์เป็นแบบคายความร้อนจึงสามารถก่อรูปได้เองโดยไม่ต้องพลังงานจากสิ่งแวดล้อม มีคุณสมบัติของโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ที่ค่อนข้างเป็นเอกลักษณ์คือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเชิงเรขาคณิตไม่ทำให้โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยรวมเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะสำคัญ ในขณะที่ช่องว่างแถบพลังงาน (Energy Gap) ซึ่งบ่งบอกถึงความยากง่ายในการกระโดดข้ามระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนอยู่ในลักษณะง่ายไปยากดังเงื่อนไข $\text{zigzag}(6,0)+\text{armchair}(6,6) > \text{zigzag}(6,0) > \text{armchair}(6,6)$ และเมื่อศึกษาการดูดกลืนแสงพบว่ามีความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600 nm – 23,000 nm (ช่วงความถี่ 10^{12} - 10^{15} Hz) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared) ถึงย่านแสงที่ตามองเห็น (Visible) เป็นการยืนยันว่าแกรฟีนนาโนฟิลลาร์น่าจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของการใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ (Organic Solar Photovoltaic Cell) ได้

คำสำคัญ: แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ การดูดกลืนแสง เซลล์แสงอาทิตย์ DFTB

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery and Developments (RLIMD³) สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ B.S.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Educational Science, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nu_fermit@yahoo.com

Abstract

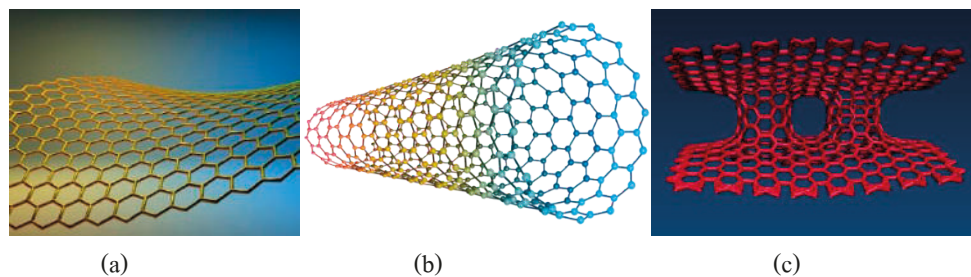
Graphene nanopillars is a hybrid carbon materials between graphene and carbon nanotubes which were seamlessly combined through C-C bonding with covalent bonds. This work is considered the geometric features affecting the electronic structure and including the formation energy and the optical absorption have been examined from the molecular modeling and computation by density functional tight-binding (DFTB) methods. The two-carbon nanotubes in graphene nanopillar with zigzag(6,0), armchair(6,6), and mixed carbon nanotube zigzag(6,0)+armchair(6,6) between the two graphene sheets have been constructed for making it possible to increase the width, length and height. The results enlarge the amplitudes in the different sizes of graphene nanopillars. It was found that the formation energy of all graphene nanopillars was exothermic, *i. e.*, forming itself without the need of energy from environment. It has a rather unique electronic structure since the changing in geometric features does not effects the electronic structure (HOMO and LUMO) of graphene nanopillars. While the energy gap, which can indicates the difficulty of electronic transition, has performs a the condition: zigzag(6,0)+armchair(6,6) > zigzag(6,0) > armchair(6,6). Finally, the optical absorption of graphene nanopillars showed a tendency to absorb light in the range of wavelengths 1,600 - 23,000 nm (or frequency range 10^{12} - 10^{15} Hz), which is the spectrum of infrared to visible light. This useful information could support the graphene nanopillars to be used as material for boost more efficiency in the organic solar photovoltaic cells.

Keywords: Graphene nanopillars, Optical Absorption, Photovoltaic Cells, DFTB

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและไม่มีหมดไปในชั่วชีวิตคนหนึ่งคน แต่การจะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบันนั้นทำมาจากซิลิคอนเป็นส่วนใหญ่ที่มีราคาไม่สูงมากนัก แม้จะมีที่ทำจากวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นอยู่บ้างแต่ก็ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาค่อนข้างสูง รวมถึงมีการใช้สารที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น dye-sensitized solar cell เป็นต้น แต่ยังไม่ให้ประสิทธิภาพที่ไม่มากเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ และจริงอยู่ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด แต่ขั้นตอนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนที่สูงอยู่แม้จะได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน [1]

เมื่อไม่นานมานี้มีการค้นพบวัสดุใหม่เรียกว่า “แกรฟีน” [2] ซึ่งเกิดจากอะตอมคาร์บอนเรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้งต่อกันบนระนาบเดียวกัน มีความหนาเพียง 1 อะตอมดังภาพที่ 1(a) ค้นพบโดยอังเดร ไกม์ (Andre Geim) และคอนสแตนติน โนโวเชลอฟ (Konstantin Novoselov) ด้วยการแยกแกรฟีนออกจากแกรไฟต์ด้วยสก็อตเทป [3] เมื่อนำมา้วนเป็นท่อรูปทรงกระบอกจะเรียกว่า “ท่อนาโนคาร์บอน” [4] ดังภาพที่ 1(b) โดยโครงสร้างระดับนาโนของท่อนาโนคาร์บอนนี้ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1991 โดยศาสตราจารย์ชาวญี่ปุ่นชื่อซูมิโอะ อิจิมะ (Sumio Ijima) [5] ซึ่งมีคุณสมบัติทางควอนตัมที่พิเศษแตกต่างกัน คือ อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่บนแผ่นแกรฟีนแบบ 2 มิติ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ส่วนท่อนาโนคาร์บอนทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ใน 1 มิติ จึงได้มีการนำวัสดุสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบของทั้งแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนขึ้นเป็น “แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ (Graphene Nanopillars)” [6] ซึ่งเป็นโครงสร้าง 3 มิติที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมคาร์บอนเกิดเป็นวัสดุที่ไวรอยต่อดังภาพที่ 1(c) ซึ่งทำให้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์มีคุณสมบัติพิเศษของแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่หลากหลาย เช่น ใช้กักเก็บประจุความจุสูง



ภาพที่ 1 (a) แกรฟีน (b) ท่อนาโนคาร์บอน (c) แกรฟีนนาโนฟิลลาร์

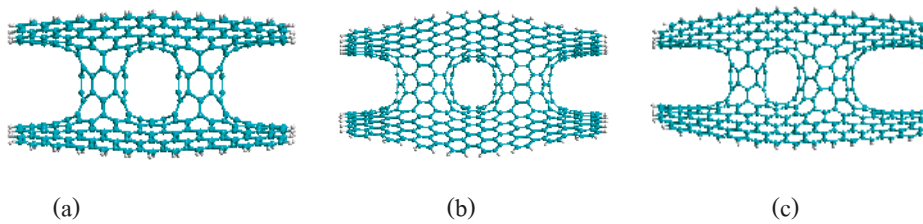
ใช้เป็นเยื่อกรองสำหรับกรองของเสียหรือกรองน้ำทะเลเป็นน้ำจืด และอาจจะเป็นไปได้ที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบหนึ่งในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้เชิงกายภาพของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ในระดับควอนตัมด้วยวิธีทฤษฎีเชิงคำนวณด้วยกลศาสตร์ควอนตัมของ Density Functional Tight Binding (DFTB) สำหรับใช้เป็นวัสดุหนึ่งในองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสารอินทรีย์ (Organic Solar Photovoltaic Cell) โดยศึกษาโครงสร้างระดับนาโนของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีชนิดของท่อนาโนคาร์บอน ความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอนแตกต่างกัน เพื่อศึกษาพลังงานรวม (Total Energy) พลังงานการก่อรูป (Formation Energy) รวมถึงสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุระดับนาโนที่มีโครงสร้างซับซ้อน

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยได้สร้างแบบจำลองโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ [7-8] ที่มีชนิดของท่อนาโนคาร์บอนที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบ zigzag (6,0) ใช้สัญลักษณ์เป็น GNP (6,0) [nly][kdiv] แบบ armchair (6,6) ใช้สัญลักษณ์เป็น GNP (6,6) [nly][kdiv] และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) ใช้สัญลักษณ์เป็น GNP (6,0)+(6,6) [nly][kdiv] ดังภาพที่ 2 เมื่อ n คือ ความยาวของท่อนาโนคาร์บอน และ k คือ ระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอน นั่นคือแต่ละโครงสร้างจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของ ท่อนาโนคาร์บอน 1 2 3 4 และ 5 layers และมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอนเป็น 1 2 3 4 และ 5 วงหกเหลี่ยมตามลำดับ นำมาคำนวณหาโครงสร้างที่มีความเสถียรเบื้องต้น (Optimization) โดยใช้วิธีการกลศาสตร์นิวตันเชิงโมเลกุล (Molecular Mechanics: MM+) [9] และคำนวณหาโครงสร้างที่มีความเสถียร (Optimized Structure) โดยวิธีการกลศาสตร์ควอนตัมแบบ Density Functional Tight Binding (DFTB) [10] ซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำในระดับผลของความเป็นควอนตัมของอิเล็กตรอนชั้นพลังงาน (Energy State) วงนอกสุดของอะตอมเท่านั้น (Valence Electron) และเป็น code แบบเปิด (Open Source) เนื่องจากโครงสร้างแบบจำลองแกรฟีนนาโนฟิลลาร์มีขนาดใหญ่ (ประมาณ $20.5 \times 35.8 \times 17.6 \text{ \AA}^3$ และมีจำนวนอะตอมเฉลี่ยทั้งหมด 857 อะตอม) จึงไม่เหมาะสมต่อการใช่วิธีการคำนวณด้วยกลศาสตร์ควอนตัมที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงได้เนื่องจากต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณสูงและใช้เวลานาน โดยการหาโครงสร้างที่ดีที่สุด (Optimized Structure) ซึ่งมีค่าพลังงานรวมต่ำสุด (Minimized Total Energy) ของแกรฟีน ท่อนาโนคาร์บอนและ แกรฟีนนาโนฟิลลาร์เพื่อนำไปใช้คำนวณสำหรับศึกษาพลังงานการก่อรูป (Heat of formation: ΔH) จากสมการ:

$$\Delta H = \frac{-E_{\text{total}} + (n_1 E_{\text{graphene}} + n_2 E_{\text{junction}} + n_3 E_{\text{tube}})}{N_C} \quad (1)$$



ภาพที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ (a) armchair (6,6), (b) zigzag (6,6) และ (c) zigzag (6,0) + armchair (6,6)

และศึกษาสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties) ของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยศึกษาพลังงานสถานะอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับขั้นสูงสุดที่มีอิเล็กตรอนเต็มเต็ม (Highest Occupied Molecular Orbital: HOMO) และค่าพลังงานสถานะอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับขั้นพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนเต็มเต็ม (Lowest Unoccupied Molecular Orbital: LUMO) และช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) รวมไปถึงการศึกษาช่วงความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสง (Absorption Wavelength) และช่วงความถี่ของการดูดกลืนแสง (Absorption Frequency) จากสมการ:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} \text{ และ } \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

เมื่อ $\Delta E = \text{LUMO} - \text{HOMO}$ และ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ และ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

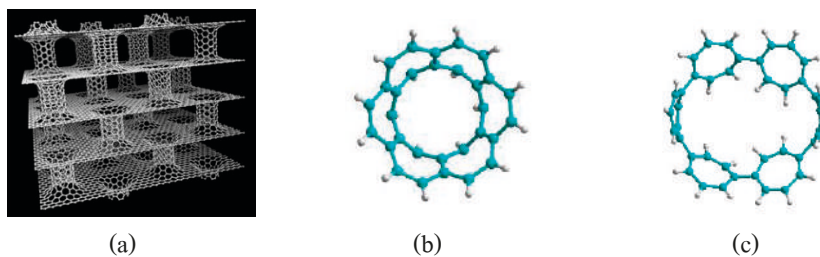
การศึกษาเชิงทฤษฎีการคำนวณของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยใช้กลศาสตร์นิวตันเชิงโมเลกุล (Molecular Mechanics) และกลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics) ทำให้สามารถศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกายภาพของโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ในระดับควอนตัมแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ซึ่งได้แบ่งอภิปรายเป็นหัวข้อดังนี้

1. ลักษณะเชิงโครงสร้าง (Geometrical Features)

1.1 โครงสร้างของรอยต่อ (Interface Structures)

แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ถือว่าเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ (Macromolecule) มีจำนวนอะตอมคาร์บอนมากกว่า 10,000 อะตอมจัดเรียงต่อเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ลักษณะเป็นชั้นซ้อนกันหลายชั้นโดยระหว่างชั้นเชื่อมต่อกันด้วยท่อนาโนคาร์บอนหลายท่อ ดังภาพที่ 3(a) แต่ในการวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่ประกอบด้วยท่อนาโนคาร์บอนเพียงสองท่อหรือสองเสา ดังรูปที่ 2 และได้แบ่งโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ออกเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบ zigzag (6,0) (หรือ GNP(6,0)-[nly][kdiv]) แบบ armchair (6,6) (หรือ GNP(6,6)-[nly][kdiv]) และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) (หรือ GNP(hyb)(6,0)+(6,6)-[nly][kdiv]) ดังภาพที่ 2 เมื่อ n คือ ความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและ k คือ ระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอน จากแบบจำลองที่ได้สร้างตามขั้นตอนในวิธีการวิจัยพบว่า

- โครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ zigzag (6,0) มีรอยต่อ (Junction) ที่ประกอบด้วยวงเจ็ดเหลี่ยม (Heptagon Ring) เรียงชิดติดกัน ดังภาพที่ 3(b)
 - โครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ armchair (6,6) จะมีรอยต่อ (Junction) ที่ประกอบด้วยวงเจ็ดเหลี่ยม (Heptagon Ring) วางสลับกับวงหกเหลี่ยม (Hexagon Ring) ดังภาพที่ 3(c)
- สำหรับแกรฟีนนาโนฟิลลาร์แบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) มีทั้งรอยต่อของทั้งสองแบบข้างต้นในโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์เดียวกัน ดังภาพที่ 2(c)



ภาพที่ 3 (a) แสดงแบบจำลองรูปร่างโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ และรอยต่อของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มี
 ท่อนาโนคาร์บอน (b) แบบ zigzag (6,0) (c) armchair (6,6)

1.2 พลังงานการก่อรูป (Formation Energy)

พลังงานการก่อรูป (Formation Energy: ΔH) เป็นค่า enthalpy เพื่อศึกษาโอกาสการเกิดขึ้นของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์จากแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งได้แสดงผลของพลังงานการก่อรูปดังภาพที่ 4 พบว่าค่าพลังงานการก่อรูปของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์แบบ armchair GNP(6,6)-[nly][kdiv] แบบ zigzag GNP(6,0)-[nly][kdiv] และแบบผสม GNP(hyb)(6,0)+(6,6)-[nly][kdiv] (ดังตารางที่ 1) มีค่าลบซึ่งแสดงว่าทุกโครงสร้างมีการก่อรูปแบบคายพลังงานความร้อน (exothermal) จึงทำให้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทั้งสามรูปแบบสามารถก่อรูปได้เองโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอก เช่น จากสิ่งแวดล้อมหรือต้องคอยเติมพลังงานให้กับระบบ และเมื่อแกรฟีนนาโนฟิลลาร์มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น นั่นคือการเพิ่มค่า n และ k (หรือ $[n][k]$) จาก 1 – 5 จะมีการคายพลังงานในการก่อรูปที่ลดน้อยลงตามลำดับดังภาพที่ 4 นั่นอาจจะทำให้การสังเคราะห์แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีโครงสร้างของปริมาตรของช่องว่างขนาดใหญ่ทำได้ยากมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการจำกัดขนาดของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ไปโดยปริยาย โดยข้อจำกัดดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการนำแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ไปประยุกต์ใช้งาน เช่น อุปกรณ์กักเก็บประจุความจุสูง หรือใช้ทำเยื่อกรองน้ำทะเลเป็นน้ำจืด หรือแม้แต่ใช้เป็นส่วนประกอบในเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ เหมือนกับที่มีการนำฟูลเลอรีนหรือคาร์บอน 60 มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

2. สมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties)

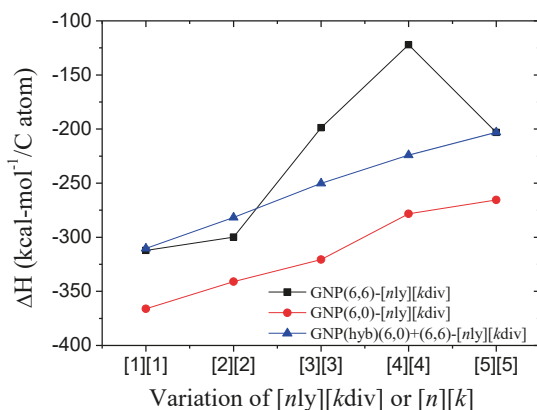
2.1 โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Structure)

ผลการคำนวณทางกลศาสตร์ควอนตัมของ DFTB ทำให้ทราบสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties) ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ armchair (6,6) zigzag (6,0) และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าระดับชั้นสถานะพลังงาน LUMO (จุดวงกลมและเส้นกราฟสีน้ำเงิน) ซึ่งเป็นชั้นพลังงานแรกหรือต่ำที่สุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนเต็มเต็ม และ HOMO (จุดสี่เหลี่ยมและเส้นกราฟสีเขียว) ซึ่งเป็นชั้นพลังงานสุดท้ายหรือสูงสุดที่มีอิเล็กตรอนเต็มเต็มของทั้งสาม โครงสร้างที่มีการเพิ่มค่า n และ k จาก 1 – 5 มีการกวัดแกว่งอยู่ในช่วงสถานะพลังงาน -4.50 ถึง -4.10 eV ซึ่งถือได้ว่าเป็นช่วงที่แคบมาก (ประมาณ 0.40 eV) จนไม่ส่งผลให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทั้งสามแบบ แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเฉพาะผลของโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ HOMO หรือ LUMO จะเห็นว่าทั้งสองระดับชั้นพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน ตามการขยายขนาดค่า n และ k จาก 1 – 5 โดยพิจารณาร่วมกับรูปแบบบริเวณรอยต่อระหว่างท่อนาโนคาร์บอนกับแผ่นแกรฟีนที่ต่างกัน จึงเป็นผลกระทบจากความเป็นโครงสร้างระดับควอนตัมของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสอง แต่หากพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงความยาว (n) และระยะห่าง (k) ระหว่างท่อนาโนคาร์บอนโดยรวมแล้ว ผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวถือได้ว่าไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์หรือจะมีผลก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเป็นผลยืนยันแรกที่ทำให้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์น่าจะนำไปใช้เป็น

ส่วนประกอบหนึ่งในการใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบสารอินทรีย์ได้ไม่ว่าจะมีขนาดหรือรูปแบบโครงสร้างของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์เป็นแบบใดก็ตาม

ตารางที่ 1 แสดงค่าพลังงานการก่อรูป (ΔH) ของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบ

n และ k ของโครงสร้าง แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์	พลังงานการก่อรูป (ΔH) (kcal-mol ⁻¹ /C atom)		
	GNP(6,6)-[nly][kdiv]	GNP(6,0)-[nly][kdiv]	GNP(hyb)(6,0)+(6,6)- [nly][kdiv]
[1ly][1div] หรือ [1][1]	-366.138	-312.271	-310.311
[2ly][2div] หรือ [2][2]	-341.014	-299.849	-281.706
[3ly][3div] หรือ [3][3]	-320.582	-198.750	-250.163
[4ly][4div] หรือ [4][4]	-278.270	-122.016	-224.081
[5ly][5div] หรือ [5][5]	-265.523	-203.120	-202.931

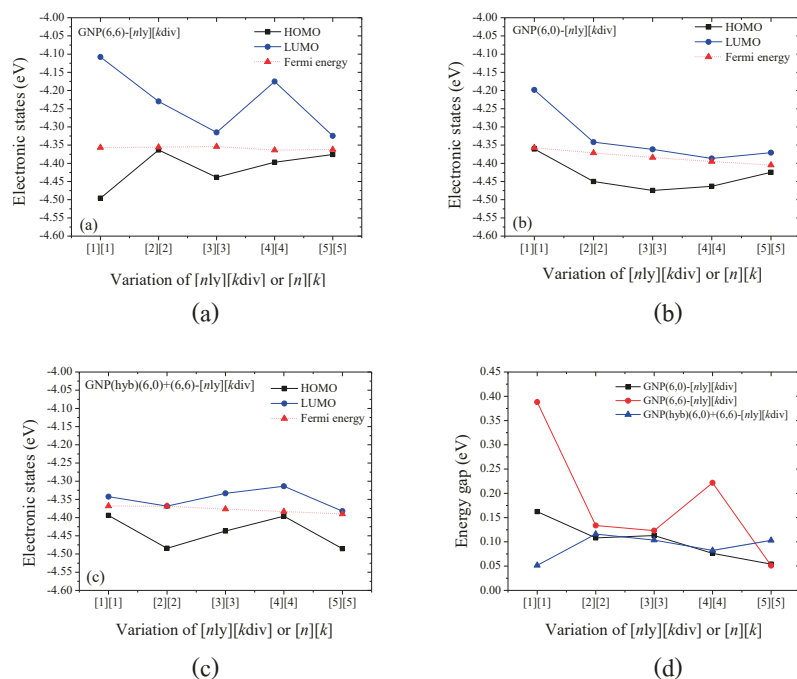


ภาพที่ 4 พลังงานการก่อรูปของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ (a) armchair (6,6) หรือ GNP(6,6)-[nly][kdiv] (b) zigzag (6,0) หรือ GNP(6,0)-[nly][kdiv] และ (c) zigzag (6,0) + armchair (6,6) หรือ GNP(hyb)(6,0)+(6,6)-[nly][kdiv]

2.2 ช่องว่างแถบพลังงาน (Energy Band Gap)

เมื่อพิจารณาช่องว่างพลังงานของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครงสร้างตามค่า n และ k จาก 1 – 5 พบว่าแต่ละโครงสร้างมีค่าช่องว่างพลังงานเปลี่ยนไปแตกต่างกันตามลักษณะของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์นั้นๆ (ดูภาพที่ 5(d)) โดยช่องว่างสถานะพลังงานสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของการกระโดดข้ามชั้นพลังงาน (transition) ของอิเล็กตรอนระหว่างระดับชั้นพลังงานสถานะ HOMO และ LUMO ภายในโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ได้ว่าเกิดได้ง่ายหรือยาก เช่น เมื่อพิจารณาค่าช่องว่างสถานะพลังงานของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์แบบผสม zigzag (6,0)+ armchair (6,6) พบว่ามีช่องว่างสถานะพลังงานเฉลี่ย (ค่า n และ k จาก 1 – 5) ประมาณ 0.05 eV ซึ่งใกล้เคียงกับแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์แบบ zigzag (6,0) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 eV ส่วนแบบ armchair (6,6) มีค่าช่องว่างสถานะพลังงานเฉลี่ย ประมาณ 0.35 eV และได้รับผลกระทบเชิงโครงสร้างอย่างชัดเจน (ลักษณะกราฟมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก) โดยจะเห็นว่าแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งหมดมีพฤติกรรมเชิงอิเล็กตรอนเป็นแบบกึ่งโลหะ (Semi-Metallic) ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนสามารถกระโดดข้ามระดับชั้นสถานะพลังงานได้จากง่ายไปยากโดย zigzag (6,0)+armchair (6,6) > zigzag (6,0) > armchair (6,6) แม้จะเป็นผลจากความถูกต้องแม่นยำที่ค่อนข้างต่ำ (Underestimate) จากวิธี DFTB เมื่อเปรียบเทียบกับแบบ (a) armchair(6,6) (b) zigzag(6,0)

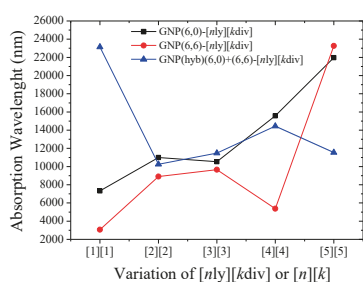
(c) zigzag(6,0)+armchair(6,6) และ (d) ช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) กับระเบียบวิธีของ Density Functional Theory (DFT) [11-12] แต่ที่เพียงพอต่อการยืนยันถึงความเป็นไปได้ของการใช้แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์เป็นส่วนประกอบของการใช้สร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ได้ในระดับหนึ่ง



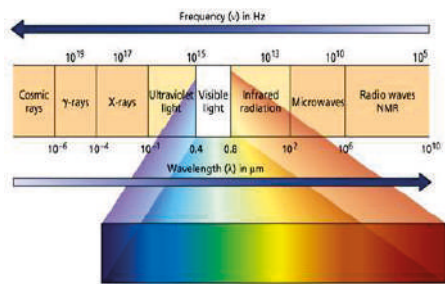
ภาพที่ 5 ค่าพลังงานสถานะ HOMO, LUMO และ Fermi Energy ของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอน

2.3 การดูดกลืนแสง (Optical Absorption)

ในการศึกษาการดูดกลืนแสงของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ zigzag (6,0) แบบ armchair (6,6) และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) โดยใช้สมการที่ (2) ในการคำนวณค่าความยาวคลื่น (λ) และความถี่ (ν) จากสมการ $\nu = c/\lambda$ ของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบระหว่างระดับชั้นสถานะพลังงาน HOMO และ LUMO ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 6(a) พบว่าแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบมีแนวโน้มดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600 nm – 23,000 nm หรืออยู่ช่วงความถี่ 10^{12} - 10^{15} Hz ดังภาพที่ 6(b) ซึ่งเป็นในช่วงคลื่นแสงในย่านอินฟราเรด (Infrared) ถึงช่วงคลื่นแสงย่านที่ตามองเห็นได้ (Visible Light) นอกจากนี้แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทุกโครงสร้างเมื่อพิจารณาในระดับชั้นสถานะพลังงานที่ไม่มีอิเล็กตรอนเติมเต็มที่สูงขึ้น (LUMO+n เมื่อ n เป็นลำดับชั้นสถานะพลังงานใดๆ ที่อยู่เหนือชั้น LUMO) พบว่าช่วงความถี่ของการดูดซับแสงขยายเพิ่มมากขึ้น (ค่าความยาวคลื่นมีค่าน้อยลง) ซึ่งยังอยู่ในช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดถึงย่านแสงที่ตามองเห็นได้ แต่จะเลื่อนไปทางช่วงย่านแสงที่ตามองเห็นได้มากขึ้นจึงทำให้แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์น่าจะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cells) ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานของแสง (Photon) ในช่วงความยาวคลื่นหรือความถี่ในช่วงแถบแสง (Light Spectrum) ที่กว้างขึ้นกว่าช่วงย่านแสงที่ตามองเห็นได้



(a)



(b)

ภาพที่ 6 (a) ช่วงความยาวคลื่นในการดูดซับเชิงแสงและ (b) แสดงการเปรียบเทียบแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง) ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่ (ที่มา: <http://www.neutron.rmutphysics.com/physics-glossary>)

สรุปผลการวิจัย

แกรฟีนนาโนฟิลลาร์เป็นโครงสร้าง 3 มิติที่มีอะตอมคาร์บอนจัดเรียงต่อกันโดยได้สร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีชนิดของท่อนาโนคาร์บอนสองท่อหรือสองเสาแตกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบ zigzag (6,0) แบบ armchair (6,6) และแบบผสม zigzag (6,0)+armchair (6,6) โดยปรับเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ด้วยการขยายขนาดความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอน ทำให้ได้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีรอยต่อของท่อนาโนคาร์บอนกับแกรฟีนที่แตกต่างกันสองแบบ คือ แบบที่มีรอยต่อเป็นวงเจ็ดเหลี่ยมเรียงชิดติดกันและแบบที่มีรอยต่อเป็นวงเจ็ดเหลี่ยมวางสลับกับวงหกเหลี่ยม โดยพบว่าแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทุกโครงสร้างสามารถก่อรูปได้โดยจะเกิดปฏิกิริยาแบบคายพลังงานความร้อน (Exothermal) เมื่อศึกษาด้วยระเบียบวิธีควอนตัมเชิงคำนวณของ DFTB ซึ่งทำให้สามารถศึกษาถึงสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties) ได้อีกด้วย และพบว่าความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอนที่ขยายออกไม่ทำให้โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (HOMO และ LUMO) ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยรวมเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะสำคัญแต่อย่างใด และเมื่อศึกษาการดูดกลืนแสงของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์พบว่ามีความไวต่อการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600 nm – 23,000 nm (ช่วงความถี่ 10^{12} - 10^{15} Hz) ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นแสงในย่านอินฟราเรด (Infrared) ถึงย่านแสงที่ตามองเห็น (Visible)

ข้อมูลของผลกระทบเชิงโครงสร้างเชิงเรขาคณิตที่มีต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ในแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทั้งสามรูปแบบเป็นการยืนยันว่าแกรฟีนนาโนฟิลลาร์น่าจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของการใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ (Organic Solar Photovoltaic Cell) ได้ไม่ว่าจะมีขนาดหรือรูปแบบโครงสร้างของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์เป็นแบบใดก็ตาม

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี. (2551). **พลังงานทดแทน**. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.ku.ac.th/e-magazine/jun51/know/know3.htm>.
- [2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2553). **“แกรฟีน” วัสดุแห่งโลกอนาคต**. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.nstda.or.th/news/2398-2010-11-01-02-36-30>.

- [3] วิชาการ.คอม. (2553). กราฟีนวัสดุมหัศจรรย์. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2558 , จาก <http://www.vcharkarn.com/varticle>.
- [4] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้. (2559). ท่อนาโนคาร์บอน. 15 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit3-8.html>.
- [5] Sumio Ijima. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. **Nature**. 354. 56-58.
- [6] Yu Zhu, Lei Li and other. (2012). “A seamless three-dimensional carbon nanotube graphene hybrid material”, **Nature communication**. 3, 1-7.
- [7] พิภู ฟูแล้ว และ อนุรักษ์ อุดมเวช. (2557). “กราฟีนนาโนฟิลลา: การศึกษาดัวยทฤษฎีเชิงคำนวณระดับเบื้องต้นของสมบัติเชิงโครงสร้างและเชิงอิเล็กทรอนิกส์”, **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**. 17(3), 185-193.
- [8] เพชรวิทย์ นรินทร์รัตน์ และ อนุรักษ์ อุดมเวช. (2558). “การศึกษาดัวยทฤษฎีเชิงคำนวณโครงสร้างเชิงเรขาคณิตและเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของกราฟีนนาโนฟิลลาร์: แบบนาโนคาร์บอนชนิดสองท่อ”, **ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25 ประจำปี 2558**. 1339-1346. วันที่ 10 - 12 มิถุนายน 2558. ณ หอประชุมปาริชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา.
- [9] U. Berkert and N.L. Allinger. (1982). “Molecular Mechanics”, **American Chemical Society Monograph**. 177. Washington, D.C.
- [10] Pekka Koskinen and Ville Mäkinen. (2009). “Density-functional tight-binding for beginners”, **Computational Materials Science**. 47. 237–253.
- [11] Zheng, G., Irle, S. and Morokuma, K. (2005). “Performance of the DFTB method in comparison to DFT and semiempirical methods for geometries and energies of C20–C86 fullerene isomers”, **Chemical Physics Letters**. 412. 210-216.
- [12] Li, W., Kotsisa, K. and Manzhos, S. (2016). “Comparative density functional theory and density functional tight binding study of arginine and arginine-rich cell penetrating peptide TAT adsorption on anatase TiO₂”, **Phys. Chem. Chem. Phys.** 18. 19902-19917.

การศึกษากระจุกดาวเปิดด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก

The Study of Open Cluster by Small Telescope

วิระภรณ์ ไหมทอง^{1*}, นาววรรณ บางโป่ง², เบญจภรณ์ ตุ่นภักดี² และสุวนิตย์ วุฒิสั่งข์³

Wiraporn Maithong^{1*}, Nawawan Bangpong², Benjaporn Thunpakdee² and Suwanit Wutsang³

บทคัดย่อ

การศึกษากระจุกดาวเปิดด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กในครั้งนี้ ได้ทำการคำนวณระยะทาง และอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ซึ่งทำการสังเกตการณ์ ในวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2560 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา จังหวัดฉะเชิงเทรา จากนั้นหาค่าความสว่างของดาวในกระจุกดาวเปิด M35 เพื่อสร้าง H-R Diagram แล้ววิเคราะห์อายุและระยะทาง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10%

คำสำคัญ: M35 กระจุกดาวเปิด ระยะทาง อายุ กล้องดิจิทัล DSLR

Abstract

The study of open cluster by small telescope in the work is the calculation of the distance and the age of an open cluster M35. It was observed by the digital DSLR via the 150 millimeters' diameter telescope at Regional Observatory for the Public, Cha Cheong Sao on 19th January 2017 and was analyzed the intensity to constructed an H-R Diagram. The distance and the age analysis show that the errors are less than 10%.

คำสำคัญ: M35, Open Cluster, Distance, Age, DSLR Camera

¹ อ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

² นักศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

³ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา 24190

¹ Lecturer, Dr., Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300

² Physics, Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300

³ National Research Institute of Thailand (Public Organization), Regional Observatory for the Public Chachoengsao, 24190

*Corresponding author: Tel. 053-885632. E-mail address: wiraporn.m@gmail.com

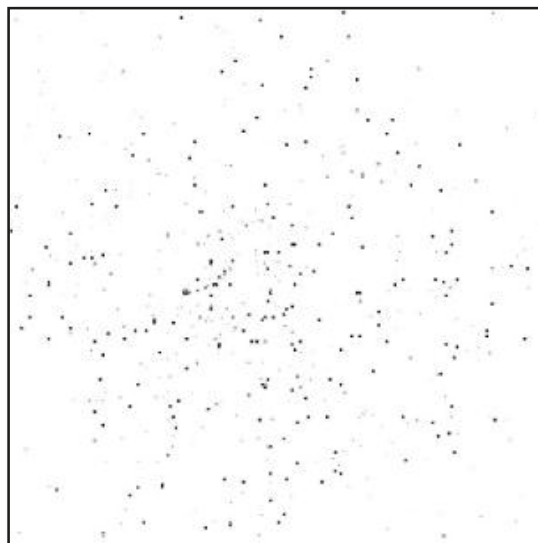
บทนำ

กระจุกดาวเปิด คือ กลุ่มดาวจำนวนมากที่รวมกลุ่มกันอยู่ในเมฆโมเลกุลชนิดเดียวกัน มีแรงโน้มถ่วงดึงดูดกันและกันอย่างหลวมๆ ไม่แน่นเท่ากับกระจุกดาวทรงกลม กระจุกดาวเปิดเป็นกระจุกดาวที่ส่วนใหญ่เป็นกระจุกดาวเกิดใหม่กว่าร้อยล้านปี ดาวฤกษ์ในกระจุกดาวเดียวกันจะมีอายุใกล้เคียงกันและมีลักษณะทางเคมีคล้ายคลึงกัน มีความสัมพันธ์กันในทางกายภาพ และด้วยเหตุนี้ระยะทางจึงสมควรให้เท่ากันทั้งกระจุกดาว [1]

ในงานนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 (หรือเรียกว่า NGC2168) มีค่าความสว่างปรากฏเท่ากับ 5.3 มีตำแหน่งอยู่ที่ RA= 6h 08.9m และ Dec= +24° 20' ในงานนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาอายุและระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 จากภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล DSLR และ CCD โดยวิเคราะห์ H-R Diagram เทียบกับ H-R Diagram มาตรฐาน ซึ่งเป็นแผนภาพที่บอกความสัมพันธ์ระหว่าง ไซโตมาตรหรืออันดับความสว่าง และดัชนีสีมาตรฐาน และสามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณระยะทางและอายุของกระจุกดาวได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ตอน โดยตอนที่ 1 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR และตอนที่ 2 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจาก CCD ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 30 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2559 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา ได้ตัวอย่างภาพถ่ายของกระจุกดาวเปิดดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระจุกดาวเปิด M35 ในช่วงความยาวคลื่นสีแดง

จากภาพถ่ายกระจุกดาว ทำการวิเคราะห์หาค่า Intensity ด้วยโปรแกรม IRIS เพื่อนำไปคำนวณหาค่าไซโตมาตรปรากฏ แล้วนำมาสร้าง H-R Diagram และวิเคราะห์หาค่าไซโตมาตรสัมบูรณ์ โดยใช้วิธี Main Sequence Fitting หรือการเปรียบเทียบลำดับหลัก จาก H-R Diagram ที่ได้ เทียบกับ H-R diagram มาตรฐาน [2] โดยคำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวได้ดังสมการ [3]

$$m - M = -2.5 \log(10 \text{ pc} / d)^2 \quad (1)$$

เมื่อพิจารณาระยะทางของกระจุกดาว จะได้

$$d = 10^{\left(\frac{m-M+5}{5}\right)} \quad (2)$$

เมื่อ	d	คือ ระยะทางในหน่วยพาร์เซก
	m	คือ โชติมาตรปรากฏของดาว
	M	คือ โชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน

การหาอายุของกระจุกดาวสามารถหาได้จากสมการ [4]

$$t = 10^{10} \text{ years} \left[\frac{m}{m_{\text{sun}}} \right]^{-2.5} \quad (3)$$

เนื่องจากค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบลำดับหลักคือค่าโชติมาตรปรากฏ จึงต้องทำการแปลงค่าดังกล่าวเป็นมวลของดาวฤกษ์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับกำลังส่องสว่าง เพื่อใช้ในการคำนวณหาอายุในสมการที่ (3) การคำนวณหาอัตราส่วนกำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ ดังสมการ

$$m - m_{\text{sun}} = -2.5 \log \left[\left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) \left(\frac{d_{\text{sun}}}{d} \right)^2 \right] \quad (4)$$

เมื่อ	m	คือ โชติมาตรปรากฏของกระจุกดาวที่จุดศูนย์กลางหลัก
	m_{sun}	คือ โชติมาตรปรากฏของดวงอาทิตย์ ประมาณ -26.5*
	L	คือ กำลังส่องสว่างของดาว
	L_{sun}	คือ กำลังส่องสว่างของดวงอาทิตย์
	d	คือ ระยะทางของดาว
	d_{sun}	คือ ระยะทางของดวงอาทิตย์ 4.848132 x 10 ⁻⁶ พาร์เซก

จากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ พบว่ามวลของดาวแปรผันตามกำลังส่องสว่างของดาว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับกำลังส่องสว่างของดาวได้ดังนี้

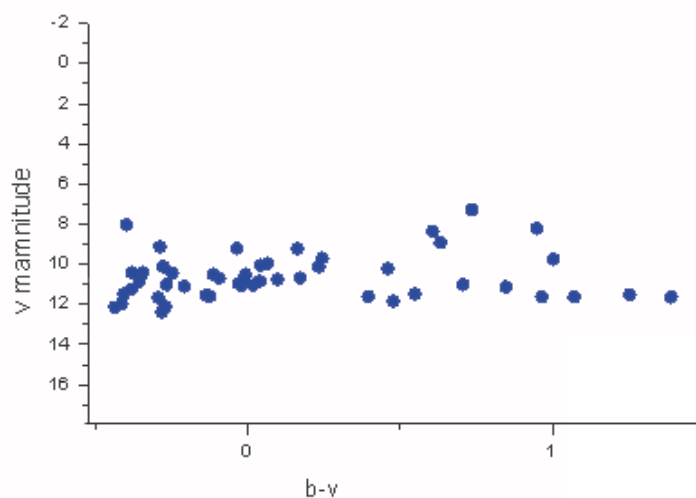
$$\log \left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) = 3.5 \log \left(\frac{M_s}{M_{\text{sun}}} \right) \quad (5)$$

เมื่อ	M_s	คือ มวลของดาว
	M_{sun}	คือ มวลของดวงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

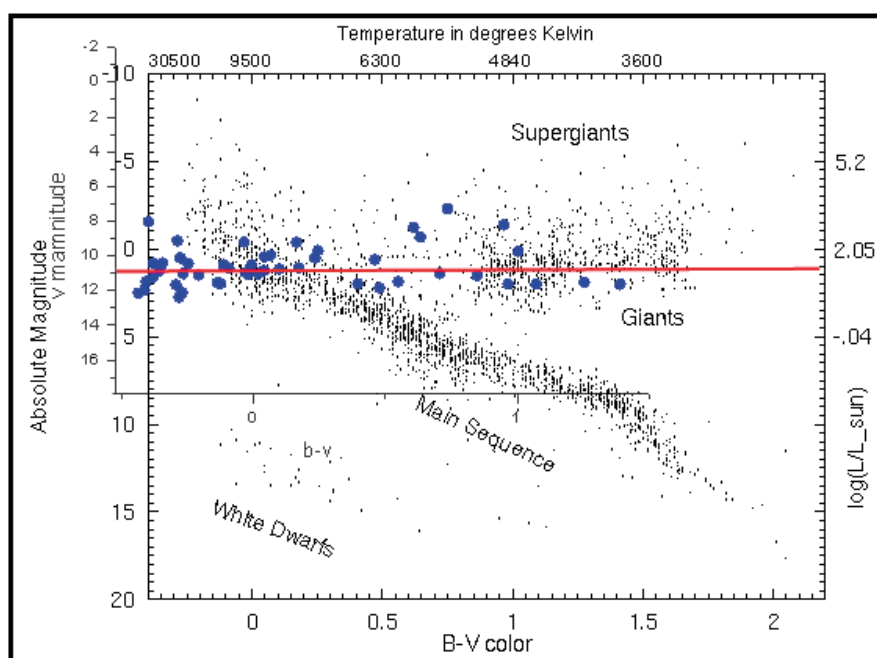
ตอนที่ 1 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากการวิเคราะห์หาค่า Intensity ของกระจุกดาวจากข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์ กระจุกดาวเปิด M35 ด้วยโปรแกรม IRIS จะได้กราฟ ดังภาพที่ 2



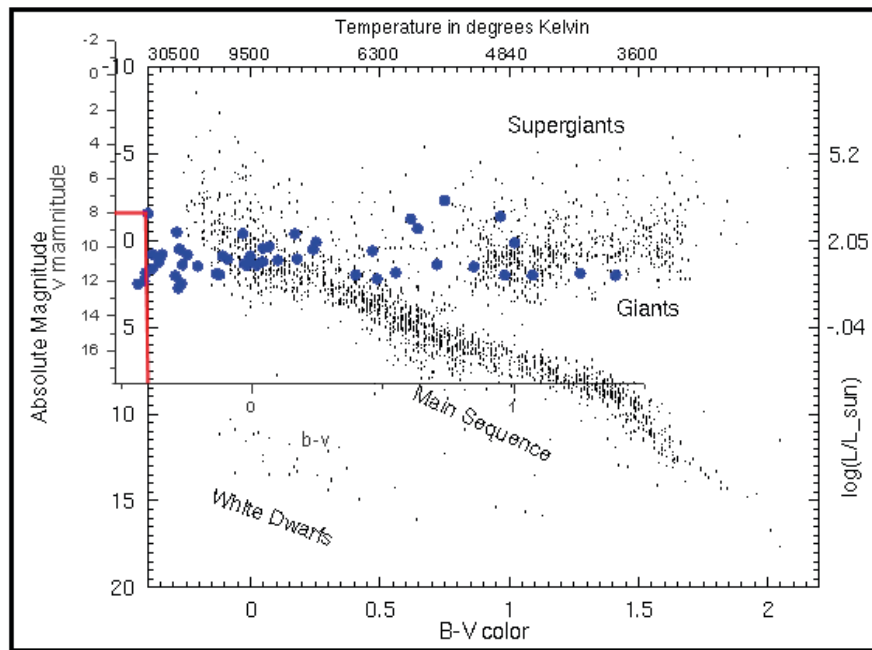
ภาพที่ 2 H-R Diagram ของกระจุกดาวเปิด M35 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากภาพที่ 2 สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวโดยใช้วิธีการช้อนลำดับหลัก ด้วยการนำข้อมูลในภาพที่ 2 มาเทียบลำดับหลักของกระจุกดาวกับลำดับหลักของ H-R Diagram มาตรฐาน เพื่อหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Magnitude) ซึ่งจะได้อัตราผลดังแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเทียบ H-R Diagram ของกระจุกดาวเปิด M35 กับ H-R Diagram มาตรฐาน
เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากภาพที่ 3 แสดงผลการช้อนลำดับหลักของโชติมาตรปรากฏของกระจุกดาวเปิด M35 กับค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นผลการช้อนทับจะได้โชติมาตรปรากฏของดาว (m) มีค่าประมาณ 11 และ ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน (M) มีค่าประมาณ 1.3 เมื่อคำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 ตามสมการที่ (2) พบว่าระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 มีค่าประมาณ 871 พาร์เซก หรือประมาณ 2,839 ปีแสง



ภาพที่ 4 จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลักของกระจุกดาวเปิด M35
เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นตำแหน่งที่ค่าโชติมาตรปรากฏของดาวที่จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลัก (m) มีค่าประมาณ 8 เนื่องจากค่าที่ได้ คือค่าโชติมาตรปรากฏจึงต้องเปลี่ยนค่าโชติมาตรปรากฏ เป็นค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ดังสมการที่ (4) จะได้

$$8 - (-26.5) = -2.5 \log \left[\left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) \left(\frac{4.848132 \times 10^{-6}}{871} \right)^2 \right]$$

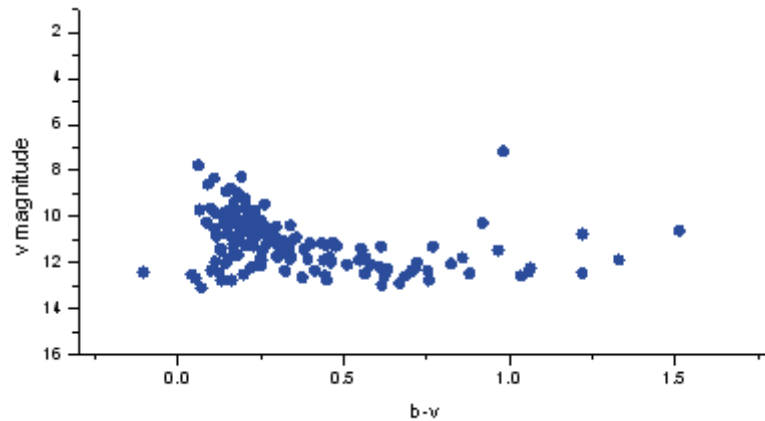
เมื่อนำค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์มาคำนวณหามวลของดาวฤกษ์ ต่อมวลดวงอาทิตย์ จากสมการที่ (5) จะได้มวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ของกระจุกดาวเปิด M35 (M/M_{sun}) = 5.94232697 จากนั้นคำนวณหาอายุของกระจุกดาวโดยแทนค่ามวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ ลงในสมการที่ (3) จะได้

$$\begin{aligned} t &= 10^{10} \text{ years} \left[\frac{m}{m_{\text{sun}}} \right]^{-2.5} \\ t &= 10^{10} \text{ years} [5.94232697]^{-2.5} \\ t &= 0.0116173918 \times 10^{10} \\ t &= 116 \text{ ล้านปี} \end{aligned}$$

นั่นคือ กระจุกดาวเปิด M35 มีอายุ 116 ล้านปี

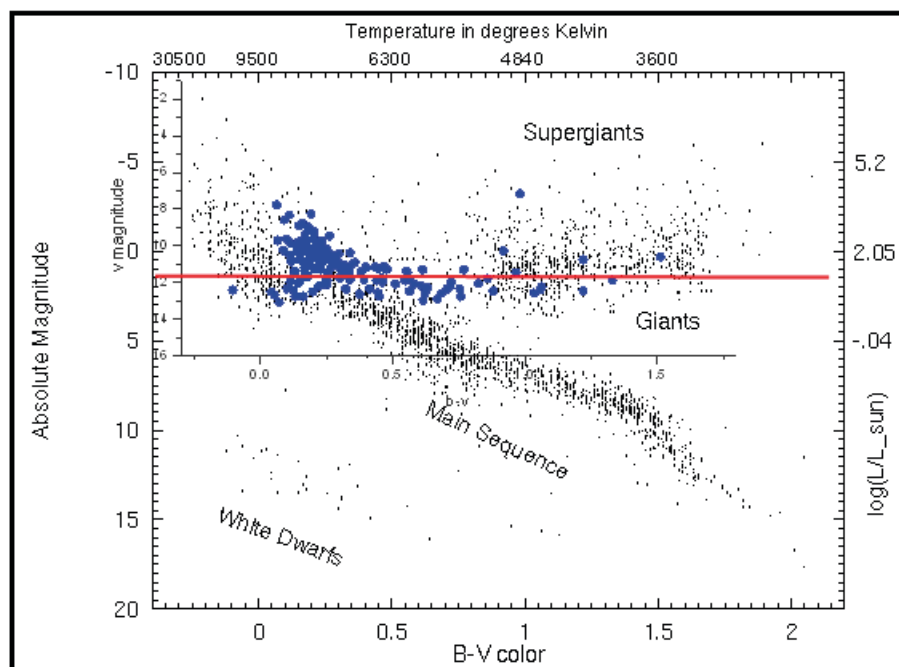
ตอนที่ 2 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจากกล้อง CCD

จากการวิเคราะห์หาค่า Intensity ของกระจุกดาวจากข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์ กระจุกดาวเปิด M35 ด้วยโปรแกรม IRIS จะได้กราฟ ดังภาพที่ 5



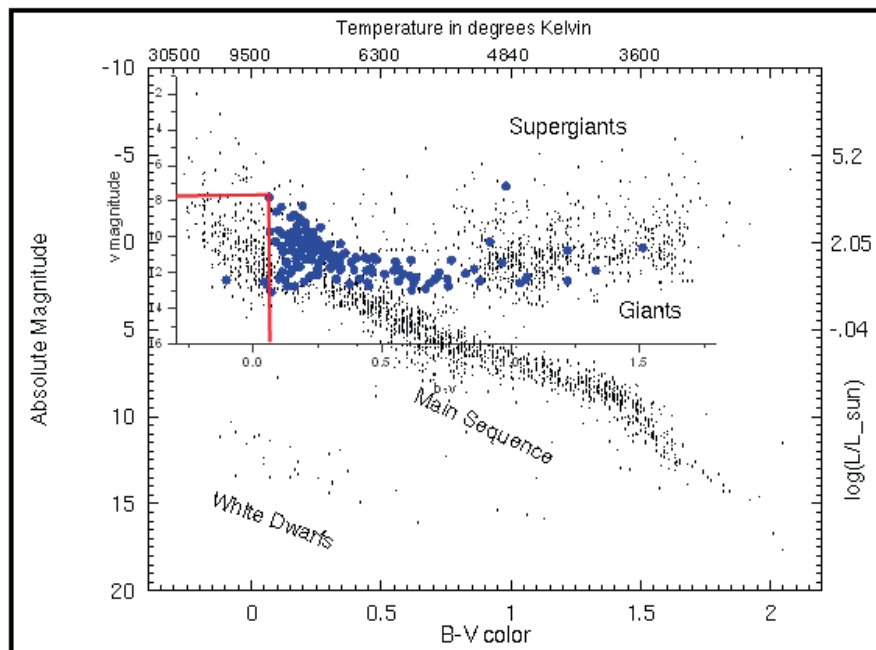
ภาพที่ 5 H-R Diagram ของกระจุกดาวเปิด M35 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจาก CCD

จากภาพที่ 5 สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวโดยใช้วิธีการช้อนลำดับ ซึ่งจะได้อัตราการลดลงของโชติมาตรปรากฏของกระจุกดาวเปิด M35 กับค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นผลการช้อนทับจะได้โชติมาตรปรากฏของดาว (m) มีค่าประมาณ 11.4 และ ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน (M) มีค่าประมาณ 1.5



ภาพที่ 6 การเทียบ H-R Diagram ของกระจุกดาวเปิด M35 กับ H-R Diagramมาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจาก CCD

เมื่อกำหนดหาระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 ตามสมการที่ (2) ซึ่งผลการคำนวณพบว่าระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 มีค่าประมาณ 871 พาร์เซก หรือประมาณ 2,839 ปีแสง



ภาพที่ 7 จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลักของกระจุกดาวเปิด M35

เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจาก CCD

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นตำแหน่งที่ค่าโชติมาตรปรากฏของดาวที่จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลัก (m) มีค่าประมาณ 7.8 เนื่องจากค่าที่ได้ คือค่าโชติมาตรปรากฏจึงต้องเปลี่ยนค่าโชติมาตรปรากฏ เป็นค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ดังสมการที่ (4) จะได้

$$7.8 - (-26.5) = -2.5 \log \left[\left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) \left(\frac{4.848132 \times 10^{-6}}{871} \right)^2 \right]$$

เมื่อนำค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์มาคำนวณหามวลของดาวฤกษ์ ต่อมวลดวงอาทิตย์ จากสมการที่ (5) จะได้มวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ของกระจุกดาวเปิด M35 (M/M_{sun}) = 6.263615423 จากนั้นคำนวณหาอายุของกระจุกดาวโดยแทนค่ามวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ ลงในสมการที่ (3) จะคำนวณอายุของกระจุกดาวเปิด M35 นี้ได้ 102 ล้านปี

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อกำหนดหาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้ ผลการวิเคราะห์อายุของกระจุกดาวเปิด M35 พบว่า มีอายุประมาณ 116 ล้านปี มีระยะทางประมาณ 871 พาร์เซก หรือ 2,839 ปีแสง กำหนดหาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจาก CCD สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้ ผลการวิเคราะห์อายุของกระจุกดาวเปิด M35 พบว่า มีอายุประมาณ 102 ล้านปี มีระยะทางประมาณ 871 พาร์เซก หรือ 2,839 ปีแสง

จากงานวิจัยอื่นที่ได้วิเคราะห์หาอายุของกระจุกดาวเปิด M35 มีอายุประมาณ 100 - 110 ล้านปี มีระยะทาง คือ 2,800 ปีแสง [4] จากผลการวิเคราะห์หาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR มีค่าความคลาดเคลื่อน 1.4% และ 5.45% ตามลำดับ และภาพจากกล้อง CCD มีค่าความคลาดเคลื่อน 1.4% และ 2% ตามลำดับ จากผลที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายทั้งจากกล้องดิจิทัล DSLR และ CCD ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่ถึง 10% จึงอาจสรุปได้ว่าภาพถ่ายกระจุกดาวจากกล้อง ดิจิทัล DSLR และ CCD สามารถนำมาวิเคราะห์และให้ผลใกล้เคียงกัน

คำขอบคุณ

ขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบคุณหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา จังหวัดพะเยา สำหรับสถานที่และอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุทธิดา เชื้อนแก้ว. (2557). การศึกษา **Initial Mass Function** ของกระจุกดาวเปิด. THE 1st THAI ASTRONOMICAL CONFERENCE (STUDENT SESSION).
- [2] Gigerich,O. (1990). **Exercises in Practical Astronomy Using Photograph with Solution**. Great Britain: The Bath Press.
- [3] Karttunen, H., Kroger, K., Oja, H., Poutanen, M. and Donner, K.J. (1987). **Fundamental Astronomy**: Germany: Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- [4] Carrol, B.W. and Ostle, D.A. (1996). **An Introduction to Modern Astrophysics**. United State of America: Addison - Wesley Publishing Company.
- [5] ไพโรบลย์ ทองเชื้อ. (2549). การสร้างและวิเคราะห์แผนภาพเฮช-อาร์ของกระจุกดาวเปิด M35. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมในบริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่น

กรณีศึกษา: จังหวัดพัทลุง

Knowledge-based System of Art and Culture in the Context of Folk Wisdom

Case Study: Phatthalung Province

อาจารย์ นาโค^{1*}

Ajaree Naco^{1*}

บทคัดย่อ

จังหวัดพัทลุงเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมที่เป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นอย่างต่อเนื่อง ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับศิลปะและวัฒนธรรมที่ชัดเจนจะถูกจัดเก็บในรูปแบบที่เผยแพร่ เช่น หนังสือ หรือเอกสาร ซึ่งเสี่ยงกับการชำรุด และบางเรื่องเป็นความรู้ที่ฝังอยู่ในตัวบุคคล งานวิจัยนี้นำเสนอฐานความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงที่เชื่อมโยงกับภูมิปัญญาของบุคคลโดยใช้กระบวนการดังนี้ 1) การสร้าง แสวงหา และรวบรวมความรู้ 2) การจัดการความรู้ให้เป็นระบบ 3) การปรับปรุงและกลั่นกรองความรู้เพื่อนำไปจัดเก็บในฐานความรู้ และ 4) การเข้าถึงความรู้ และการแลกเปลี่ยนความรู้ ผ่านทางเว็บไซต์ที่พัฒนาด้วยภาษา PHP โดยจัดเก็บข้อมูลด้วย MySQL ผลการทดสอบระบบโดยการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน 30 คน พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจการใช้งานระดับดี (4.21/5) กล่าวคือ เว็บไซต์สามารถนำเสนอความรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เชื่อมโยงกับศิลปะและวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงได้ผ่านการสืบค้นจากคำสำคัญ และการเลือกหมวดหมู่ที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้

คำสำคัญ: ระบบฐานความรู้ ศิลปะและวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น ปราชญ์ชาวบ้าน พัทลุง

Abstract

Phatthalung is one of the southern provinces that continuously preserves the arts and culture of the province. Some explicit knowledge related to art and cultural is stored in a published format such as books or documents which are vulnerable to damage while others are tacit knowledge embedded in the person. This research presents the knowledge base website on art and culture of Phatthalung province which can be linked to the wisdom of the person using the following process: 1) knowledge create and acquisition; 2) knowledge organization; 3) knowledge improving and refinement for storing in a knowledge base; 4) knowledge access and sharing through a website developed with the PHP language and storing data in the MySQL. The results of the system testing by 30 users satisfaction evaluation showed that the satisfaction level were good. (4.21 of 5). The website can offer local wisdom information linked to the arts and culture of Phatthalung province through keyword searches or browsing form categories that meets the needs of the user.

Keywords: Knowledge Based System, Art and Culture, Local Wisdom, Folk Philosophy, Phatthalung

¹ อ., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: ajaree@scholar.tsu.ac.th, najaree@gmail.com

บทนำ

จังหวัดพัทลุงเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีประวัติศาสตร์ยาวนานตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ ตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ฝั่งตะวันตกของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครตามเส้นทางทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 41 ประมาณ 856 กิโลเมตร มีรูปร่างลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทิศเหนือติดกับจังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดสงขลา ทิศใต้ติดต่อกับจังหวัดสงขลา และจังหวัดสตูล ทิศตะวันออกติดต่อกับจังหวัดสงขลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ทิศตะวันตกติดต่อกับจังหวัดสตูล และจังหวัดตรัง [6] จากอาณาเขตของพื้นที่ใกล้เคียงทำให้จังหวัดพัทลุงมีรูปแบบของศิลปะและวัฒนธรรม เช่นเดียวกับจังหวัดนครศรีธรรมราช ตรัง สงขลา และสตูล แต่อาจมีความแตกต่างในส่วนของการเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัด ศิลปะและวัฒนธรรมของภาคใต้ในภาพรวมมีการสืบทอดจากอดีตจนถึงปัจจุบันซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากความเชื่อ ศาสนา ภูมิประเทศ และการใช้ชีวิตประจำวัน และถูกถ่ายทอดในรูปแบบของศิลปะการแสดง งานช่างฝีมือ การละเล่น กีฬา พิธีกรรมหรืองานเทศกาล เป็นต้น ศิลปะและวัฒนธรรมเป็นสิ่งที่กำหนดรูปแบบของของสถาบัน สร้างระเบียบให้กับสังคม และเป็นสิ่งที่บ่งบอกเอกลักษณ์ของท้องถิ่นและประเทศชาติ การอนุรักษ์และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องส่งเสริมให้เกิดขึ้นในสังคมไทย

การอนุรักษ์ศิลปะและวัฒนธรรมให้ดำรงอยู่อย่างยั่งยืน จะต้องทำให้ทุกคนรับรู้และเข้าใจ ความเป็นมาและความสำคัญของศิลปะและวัฒนธรรมเหล่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นความรู้ที่มีการบันทึกไว้ในสื่อต่างๆ และสามารถรวบรวมเพื่อเผยแพร่ความรู้ได้โดยง่าย นอกจากนั้นแล้วยังต้องค้นหาความรู้อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรมในแง่มุมต่าง ๆ อาทิเช่น องค์ประกอบของศิลปะการแสดงที่มักจะประกอบด้วย การขับร้อง ทำรำ เครื่องแต่งกาย เป็นต้น ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบเหล่านี้มักจะฝังอยู่ในตัวบุคคล เช่น ผู้เชี่ยวชาญด้านการตัดเย็บเครื่องแต่งกาย ผู้เชี่ยวชาญการออกแบบท่ารำ เป็นต้น เหล่านี้ถือได้ว่าเป็นภูมิปัญญาที่เชื่อมโยงกับศิลปวัฒนธรรมและสร้างเอกลักษณ์ของงานให้โดดเด่นยิ่งขึ้น การจัดการความรู้ทางด้านภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้องจึงถือได้ว่าเป็นการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมได้อีกทางหนึ่ง

การนำเสนอความรู้และการแบ่งปันความรู้สามารถนำเสนอทั้งในรูปแบบแผ่นพับ เอกสาร หรือสื่อโทรทัศน์แต่ปัจจุบันสื่อต่างๆ ถูกนำไปนำเสนอบนอินเทอร์เน็ต ดังนั้นเว็บไซต์จึงเป็นรูปแบบที่ถูกนำมาประยุกต์ในการนำเสนอความรู้ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากประชาชนสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา ทุกสถานที่ และสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการรวบรวมความรู้ใหม่ได้อีกด้วย เว็บไซต์ที่นำเสนอความรู้ทางศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงส่วนใหญ่จะเป็นการรวบรวมข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ที่ยังคงสืบทอดในปัจจุบัน เว็บไซต์เหล่านี้มีทั้งที่จัดทำโดยหน่วยงานราชการ ชุมชน หรือส่วนบุคคล การนำเสนอความรู้ทางด้านศิลปวัฒนธรรมบนเว็บประกอบด้วย ข้อความ รูปภาพ หรือวิดีโอ ส่วนใหญ่เป็นการรวบรวมข้อมูลหรือสารสนเทศของเนื้อหาที่จัดทำการค้นหาข้อมูลในเว็บไซต์เหล่านี้จะมีข้อจำกัดคือ ผู้ใช้สามารถเลือกดูข้อมูลตามหมวดหมู่ที่จัดไว้ให้เท่านั้น ไม่มีฟังก์ชันของการสืบค้นข้อมูล เนื่องจากเว็บไซต์เหล่านั้นไม่ได้ถูกออกแบบในรูปแบบของฐานข้อมูล [6] ในขณะที่เว็บไซต์ภูมิปัญญาที่มีอยู่มักจะเน้นการนำเสนอภูมิปัญญาของผลิตภัณฑ์ OTOP การนำเสนอความรู้จะเฉพาะเจาะจงไปยังตัวบุคคลหรือกลุ่มบุคคล ตัวอย่างเช่น ถั่วฝักยาวแม่แดง จะนำเสนอประวัติความเป็นมา และความรู้ของการทำถั่วฝักยาว เทคนิคพิเศษ และความเป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งความรู้เหล่านี้จะถูกนำเสนออย่างกระจัดกระจาย โดยไม่มีการแสดงความเชื่อมโยงระหว่างภูมิปัญญากับรายละเอียดปลีกย่อยของข้อมูลศิลปวัฒนธรรม ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของความรู้ที่ซ่อนอยู่ในศิลปวัฒนธรรม

มหาวิทยาลัยทักษิณเป็นมหาวิทยาลัยที่จัดตั้งในพื้นที่ของจังหวัดพัทลุง มีปณิธานในการเป็นมหาวิทยาลัยรับใช้สังคม พันธกิจหลักที่สำคัญด้านหนึ่งคือ การส่งเสริม สนับสนุนการทำนุบำรุง รักษา และพัฒนาด้านศิลปะ วัฒนธรรม ภูมิปัญญา ให้เกิดคุณค่า มูลค่าเพิ่มแก่การพัฒนาท้องถิ่น ประเทศ และอาเซียน การพัฒนาฐานความรู้ในที่นี้หมายถึง การพัฒนาระบบฐานข้อมูลที่จัดเก็บความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีความเชื่อมโยงกับศิลปวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุง ซึ่งถือได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่จะใช้องค์ความรู้ทางเทคโนโลยีสารสนเทศมาสร้างนวัตกรรมใหม่ในการเรียนรู้ โดยจัดเก็บ ประมวลผล และ

นำเสนอข้อมูลความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมบนบริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัด ทั้งนี้เพื่อสร้างแหล่งเรียนรู้ตามอรรถาธิบายในการเรียนรู้ด้วยตนเอง หรือผ่านปราชญ์ชาวบ้านที่อ้างอิงไว้ในระบบ การอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาของท้องถิ่น นำมาซึ่งการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสังคมท้องถิ่นในรูปแบบต่างๆ เช่น การท่องเที่ยวเชิงภูมิปัญญา ซึ่งสามารถส่งเสริมท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็งบนฐานภูมิปัญญาของท้องถิ่น นอกจากนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นยังทำหน้าที่เป็นคุณเฝ้าให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการเสนอแนะเนื้อหาภูมิปัญญาท้องถิ่นใหม่ ๆ หรือเจ้าของภูมิปัญญาท้องถิ่นรายใหม่ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมภูมิปัญญาทั่วทั้งจังหวัดพัทลุง

เอกสารฉบับนี้เริ่มต้นด้วยการนำเสนอความสำคัญของการทำงานวิจัยครั้งนี้ ความรู้พื้นฐานที่ใช้ในการแสวงหาและจัดเก็บข้อมูลความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญา วิธีการพัฒนาระบบ การอภิปรายผลการดำเนินงาน การสรุปผลและงานในอนาคต

ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ได้นิยามความหมายของความรู้ (Knowledge) ไว้ว่า คือสิ่งที่สั่งสมมาจากการศึกษาเล่าเรียน การค้นคว้า หรือจากประสบการณ์ รวมทั้งความสามารถเชิงปฏิบัติและทักษะ ความเข้าใจหรือสารสนเทศที่ได้รับมาจากประสบการณ์ องค์วิชาในแต่ละสาขา [5] จากความหมายดังกล่าวขยายความได้ว่า ความรู้เกิดขึ้นจากการเชื่อมโยงเนื้อหาต่างๆ เช่น ข้อมูลหรือข้อเท็จจริง สารสนเทศที่ผ่านการกลั่นกรอง การปฏิบัติด้วยตนเองจนเกิดทักษะหรือความชำนาญ เป็นต้น การเชื่อมโยงเนื้อหาต่าง ๆ จะต้องดำเนินการผ่านการศึกษาในระบบ หรือการศึกษาด้วยตนเองเรียนรู้จากบุคคล และได้มาซึ่งสิ่งที่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ความรู้สามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มคือ ความรู้ที่ฝังอยู่ในตัวบุคคล (Tacit Knowledge) และความรู้ชัดแจ้ง (Explicit Knowledge) ความรู้ที่ฝังในตัวบุคคลเป็นความรู้ของบุคคลนั้นๆ ซึ่งอาจเกิดจากพรสวรรค์ หรือจากประสบการณ์ที่ยังไม่สามารถนำเสนอหรือถ่ายทอดในรูปแบบที่ชัดเจนได้ ความรู้กลุ่มนี้อาจเกิดการสูญหายไปพร้อมกับบุคคลหากไม่มีการถ่ายทอด ความรู้ชัดแจ้ง เป็นความรู้ที่ชัดเจนสามารถรวบรวมและนำเสนอในรูปแบบของสื่อต่างๆ เช่น เอกสาร การบันทึกเสียง เป็นต้น การจัดการความรู้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในองค์กรจึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่ง ภูมิปัญญาท้องถิ่น (Local Wisdom) หรือภูมิปัญญาชาวบ้าน ถือเป็นความรู้ชนิดหนึ่งซึ่งเฉพาะเจาะจงถึง ความรู้ของชาวบ้านในท้องถิ่น ซึ่งส่วนใหญ่จะได้มาจากการรู้ที่ถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษ และอาจมีการปรับเปลี่ยนหรือประยุกต์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพดีขึ้น การปรับเปลี่ยนหรือประยุกต์มักเกิดขึ้นจากสภาวะการณ์ของสังคมและเศรษฐกิจหรือการประยุกต์ความรู้ทฤษฎีสู่การปฏิบัติจริง ภูมิปัญญาเหล่านี้มีทั้งเป็นความรู้ฝังลึก และความรู้ชัดแจ้ง การหลอมรวมความรู้แบบฝังลึกและแบบชัดแจ้งของภูมิปัญญาท้องถิ่นตามโมเดลเชกกีที่นำเสนอโดย [9] จะช่วยทำให้ความรู้เกิดการไหลเวียน และอาจก่อให้เกิดภูมิปัญญาใหม่ ๆ ที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับชุมชน

คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุ [2] ได้แนะนำการแบ่งประเภทของเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมและการจำแนกภูมิปัญญาท้องถิ่นไว้ใน หนังสือ วัฒนธรรม พัฒนาการทางประวัติศาสตร์ เอกลักษณ์และภูมิปัญญา จังหวัดพัทลุง โดยทำการแบ่งหมวดหมู่เอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงแบ่งออกเป็น 1) การละเล่นพื้นบ้าน ได้แก่ หนังตะลุง โนรา เพลงบอก และลิเกป่า 2) ศิลปกรรมพื้นบ้าน 3) ประเพณีพื้นบ้าน เช่น สงกรานต์ ชิงเปรต ลากพระแข่งโพน เป็นต้น และ 4) อาหารพื้นบ้าน เช่น กาละแม ก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น และจำแนกภูมิปัญญาชาวบ้านและเทคโนโลยีท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงออกเป็น 1) ภูมิปัญญาเพื่อการยังชีพ เป็นความรู้ในการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อการดำรงอยู่ของชีวิต เช่น เครื่องสีข้าวเปลือก อุปกรณ์ดักจับสัตว์น้ำ การทำแป้งข้าวหมาก การประดิษฐ์เครื่องทอผ้า การใช้สมุนไพรรักษาโรค 2) ภูมิปัญญาในการพิทักษ์ชีวิตและทรัพย์สิน เกี่ยวข้องกับความรู้ที่ใช้ในการป้องกันตัวเอง เช่น การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศ เพื่ออพยพย้ายถิ่น หรือการประดิษฐ์ดาบหรือมีดเพื่อป้องกันตัว 3) ภูมิปัญญาเกี่ยวกับการสร้างและพิทักษ์อำนาจ เกี่ยวข้องกับแนวคิด หรือธรรมเนียมปฏิบัติของครอบครัว เช่น การอบรมลูกหลานมีนิสัยกล้าหาญ รักความยุติธรรม 4) ภูมิปัญญาในการ

จัดการเพื่อสาธารณประโยชน์ เป็นความรู้ในการสร้างจิตสาธารณะเพื่อให้กิจกรรมของชุมชนดำรงอยู่ต่อไป เช่น การร่วมรับผิดชอบในงานประเพณีต่างๆ ในวัด และ 5) ภูมิปัญญาที่เป็นการสร้างสรรค์พิเศษ เป็นความรู้ที่อาจจะเกิดจากพรสวรรค์ของบุคคล หรือเป็นการสืบทอดกันของตระกูล เช่น การทำลวดลายต่างๆ การแสดงหนังตะลุง โนรา การผลิตกะลามะพร้าว กระจุก งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาแนวทางการแบ่งหมวดหมู่และการเชื่อมโยงภูมิปัญญาท้องถิ่นของข้อมูลศิลปวัฒนธรรมจังหวัดพัทลุงตามที่เสนอใน คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุ [2]

รูปแบบการเข้าถึงและแบ่งปันความรู้จะศึกษาจากเว็บไซต์ของกระทรวงวัฒนธรรม และเว็บไซต์ของส่วนงานราชการเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความรู้ที่น่าเชื่อถือและสามารถอ้างอิงได้ เว็บไซต์จังหวัดพัทลุง [6] เป็นเว็บไซต์หลักของจังหวัดพัทลุงเพื่อประชาสัมพันธ์ข้อมูลของจังหวัดสู่สาธารณะ โดยมีสำนักงานจังหวัดพัทลุงเป็นผู้บำรุงรักษา เว็บไซต์จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอข้อมูลความรู้ทางด้านศิลปวัฒนธรรมที่โดดเด่นของจังหวัด 5 เรื่องคือ โนรา หนังตะลุง ประเพณีชิงเปรต การละเล่นซัดคัม และงานประเพณีแข่งโพนลากพระ เนื้อหาภายในประกอบด้วยความเป็นมา รูปแบบและส่วนประกอบต่างๆ และนำเสนอภูมิปัญญาของบุคคลหรือกลุ่มบุคคลในผลิตภัณฑ์ OTOP เช่นเดียวกับการนำเสนอใน [4] เว็บไซต์นี้ไม่สามารถสืบค้นข้อมูล การเข้าถึงความรู้ในเว็บไซต์สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดพัทลุง [1] แบ่งองค์ความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมออกเป็น 1) ความรู้ของประเพณีท้องถิ่นพัทลุง ประกอบด้วยความรู้ทั้ง 5 ด้านตามที่เสนอใน [6] 2) อาหารพื้นเมือง 3) โบราณสถานและโบราณวัตถุ และ 4) ทำเนียบศิลปินพื้นบ้านที่การเชื่อมโยงกับองค์ความรู้ในศิลปะการแสดง เว็บไซต์นี้สามารถค้นหาข้อมูลได้เฉพาะหมวดของโบราณสถานและโบราณวัตถุ การนำเสนอความรู้ทางภูมิปัญญาใน [3, 7] จะนำเสนอในรูปแบบข้อความเชิงพรรณนาและภาพประกอบ โดย [3] จัดหมวดหมู่ของการนำเสนอภูมิปัญญาเป็น 5 ด้านคือ ประเพณีความเชื่อ ศิลปะการแสดง สิ่งของเครื่องใช้พื้นบ้าน กีฬาการละเล่น และอาหารการกิน ในขณะที่สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง [7] นำเสนอฐานข้อมูลภูมิปัญญาชาวบ้านจังหวัดลำปางในรูปของการสืบค้น ผู้ใช้จะต้องเลือกตัวเลือกหลักเป็นอำเภอ และตัวเลือกย่อยอีกหนึ่งตัวเลือก ผลที่ได้จากการสืบค้นเป็นการนำเสนอภูมิปัญญาจากตัวเลือกอำเภอเพียงมิติเดียว ส่วนตัวเลือกย่อยอื่น ๆ เป็นการนำเสนอข้อมูลในภาพรวมโดยกรองตามชื่อตัวเลือก สุनिया และอัจฉริย์ [8] ออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง โดยเน้นเจ้าของภูมิปัญญา สื่อต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับกระบวนการภายในของงานฝีมือ ผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลตามที่กำหนด หรือสืบค้นข้อมูลภูมิปัญญาผ่านคำสำคัญ ฐานข้อมูลนี้ยังไม่มีเชื่อมโยงร่วมกับเนื้อหาของศิลปะและวัฒนธรรม รูปแบบการนำเสนอความรู้ด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาผ่านทางเว็บไซต์ตามที่กล่าวมาสามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการเข้าถึงความรู้และแบ่งปันความรู้ในงานวิจัยครั้งนี้

วิธีการวิจัย

ระบบฐานความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมในงานวิจัยนี้ หมายถึง ระบบฐานข้อมูลที่จัดเก็บความรู้ทางด้านศิลปะและวัฒนธรรม และเชื่อมโยงกับภูมิปัญญาท้องถิ่นของความรู้นั้น ๆ วิธีการดำเนินการประกอบด้วย

1) การกำหนดความรู้ที่จะใช้ในการจัดทำฐานความรู้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำฐานข้อมูลความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เชื่อมโยงกับศิลปวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุง เพื่อให้สอดคล้องและเป็นไปตามยุทธศาสตร์ของคณะและมหาวิทยาลัย โดยมีเป้าหมายให้มหาวิทยาลัยเป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านศิลปวัฒนธรรมของจังหวัด มีระบบสารสนเทศที่สนับสนุนการเรียนรู้ศิลปวัฒนธรรมและ ภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง และการให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการนำเสนอภูมิปัญญาของตนเองหรือชุมชนเข้าไปในระบบ บอ

2) การสร้างและแสวงหาความรู้ในการจัดทำฐานความรู้

การค้นหาและรวบรวมข้อมูลความรู้จะใช้ข้อมูล 2 ประเภทร่วมกันคือ ข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งได้มาจากการศึกษาคำรา เอกสารเผยแพร่ เว็บไซต์ ซึ่งนำเสนอความรู้แบบชัดทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญา และการเก็บข้อมูลภาคสนาม เพื่อรวบรวม

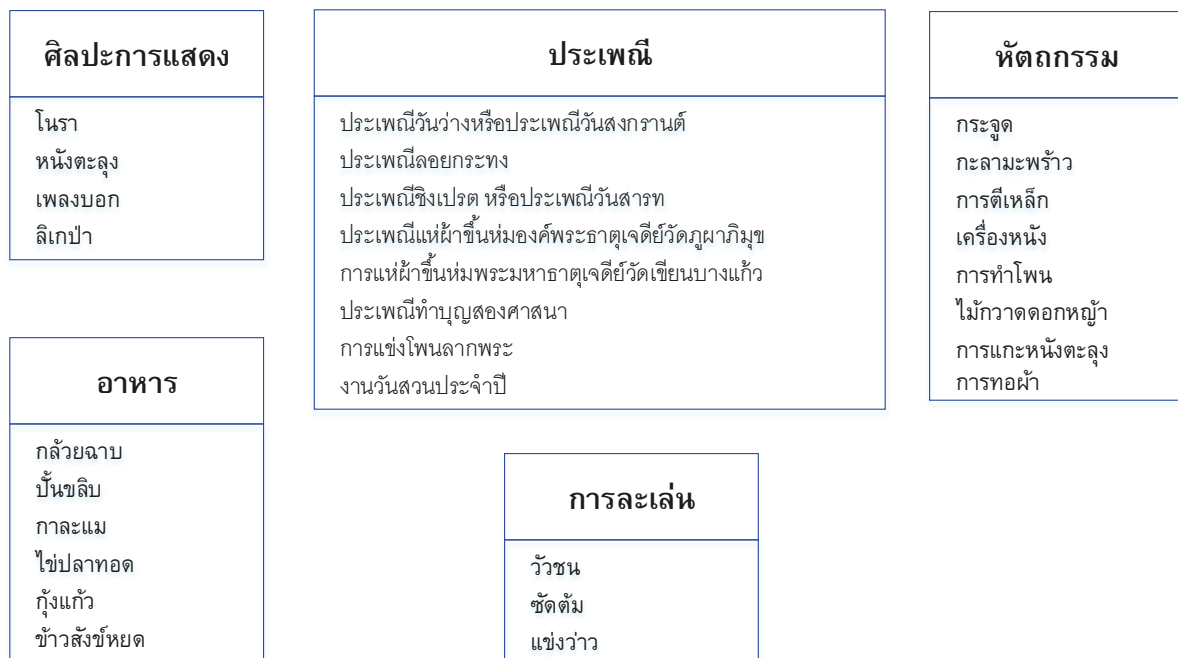
ความรู้ที่ฝังในผู้คนให้เป็นความรู้แบบชัดแจ้ง โดยการสัมภาษณ์ กลุ่มเป้าหมายที่เลือกไว้ ผลจากการค้นหาความรู้พบว่า ความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมที่ต้องการจัดเก็บจะเป็นความรู้ที่จับต้องไม่ได้เนื่องจากเป็นความรู้ที่จำเป็นต่อการอนุรักษ์ให้ยั่งยืน นอกจากนี้ได้กำหนดขอบเขตของการรวบรวมความรู้ 4 อำเภอ คือ อำเภอป่าพะยอม อำเภอมือง อำเภอควนขนุน และอำเภอเขาชัยสน

3) การจัดการความรู้ให้เป็นระบบ

การจัดหมวดหมู่ความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นจะใช้แนวทางตามที่น่าสนใจใน [2] การศึกษาข้อมูลพบข้อสังเกต ดังนี้

- ข้อมูลการเล่นพื้นบ้าน เช่น โนรา หนังตะลุง จะประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไป ประวัติความเป็นมา ความเชื่อ รายละเอียดของการละเล่น เช่น เครื่องแต่งกาย คนตรีที่ใช้ ขั้นตอนการแสดง เพลงที่ใช้ ส่วนละคร เป็นต้น โดยในส่วนของรายละเอียดของการละเล่นสามารถเชื่อมโยงกับภูมิปัญญาเพื่อการยังชีพ
- ข้อมูลประเพณีพื้นบ้าน ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไป ประวัติความเป็นมา และอาจมีขั้นตอนของประเพณีสามารถเชื่อมโยงเข้ากับภูมิปัญญาในการจัดการเพื่อสาธารณประโยชน์
- ข้อมูลศิลปกรรมพื้นบ้าน ไม่ได้มีการจัดเก็บข้อมูลในส่วนนี้ เนื่องจากจะเกี่ยวข้องกับวรรณกรรม และภาษา ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ละเอียดอ่อน จึงไม่ถูกนำมาเสนอในงานวิจัยนี้
- ข้อมูลอาหารพื้นบ้าน ส่วนใหญ่มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับ ข้อมูลทั่วไป วัตถุดิบ ขั้นตอนการประกอบอาหาร เทคนิคพิเศษ โดยสามารถเชื่อมโยงกับภูมิปัญญาทางด้านอาหารหรือโภชนาการ

การแบ่งประเภทความรู้ในฐานความรู้แสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานระบบซึ่งแบ่งออกเป็น ผู้จัดการข้อมูลความรู้ ซึ่งหน้าที่ในการบันทึกความรู้ และเมทาเดตาของความรู้ลงในระบบ และผู้มีส่วนร่วมในการเสนอแนะภูมิปัญญา



ภาพที่ 1 การจำแนกหมวดหมู่ของความรู้

4) การปรับปรุงและกลั่นกรองความรู้เพื่อนำไปจัดเก็บในฐานความรู้

การจัดเก็บความรู้ให้เป็นรูปแบบเดียวกันเริ่มต้น โดยการออกแบบการตารางข้อมูลเพื่อจัดเก็บความรู้ในฐานข้อมูล และจัดเก็บเมทาเดตา (Metadata) ของข้อมูลเพื่อนำไปสร้างมิติของการสืบค้นความรู้

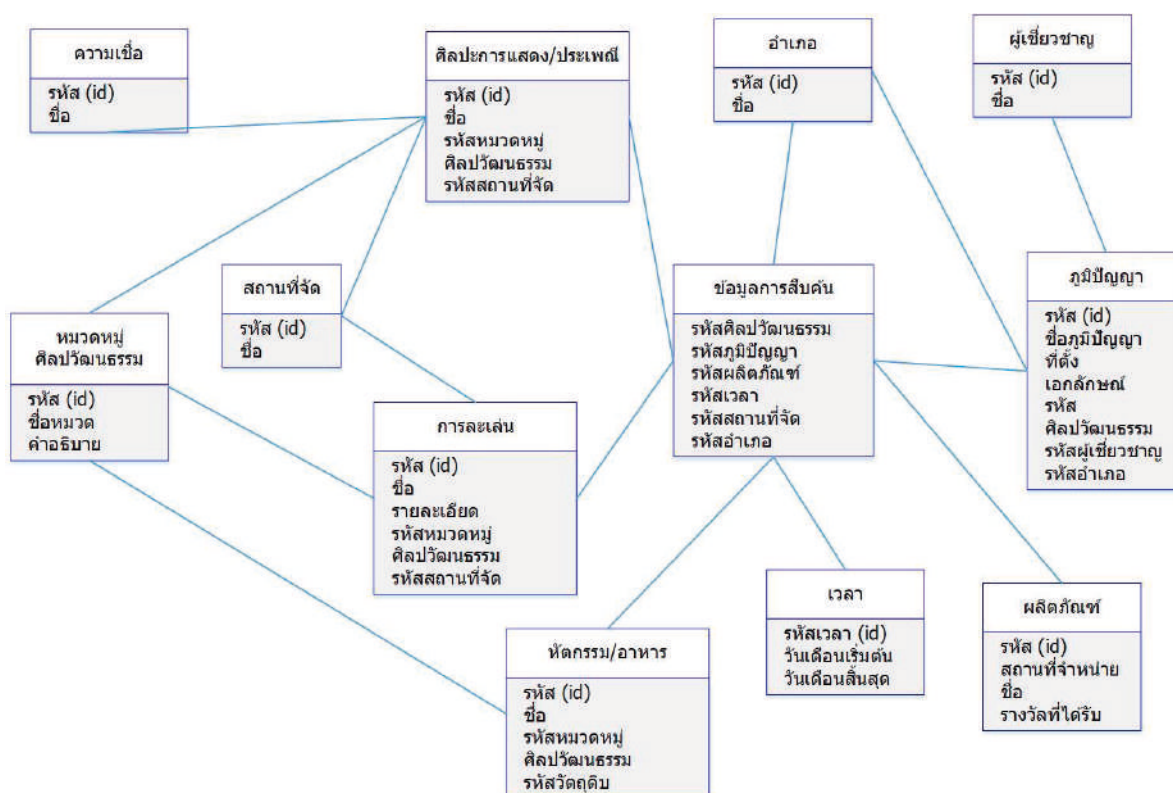
5) การเข้าถึงความรู้

การเข้าถึงความรู้ทำได้โดยการจัดเก็บความรู้ไว้ในเว็บไซต์และสื่อสารผ่านทางอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้สนใจสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา การนำเสนอข้อมูลจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ การเรียกดูข้อมูลผ่านทางหมวดหมู่ที่จำแนกไว้ โดยจะนำเสนอความรู้ของศิลปวัฒนธรรมนั้น ๆ และภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้อง และการเข้าถึงผ่านการสืบค้น ซึ่งผู้ใช้สามารถสืบค้นผ่านทางคำสำคัญหรือจากการเลือกเงื่อนไขที่ระบุไว้

6) การแลกเปลี่ยนเรียนรู้

ฐานข้อมูลความรู้ที่จัดทำขึ้นเป็นการนำเสนอและปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ผ่านทางเว็บไซต์ เน้นให้ผู้สนใจเรียนรู้สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ผู้ใช้งานระบบอาจจะผู้ที่มีภูมิปัญญาในด้านเดียวกัน ผู้ที่ต้องการบอกเล่าภูมิปัญญาของชุมชน หรือผู้สนใจทั่วไปที่ต้องการศึกษาเรื่องนั้นๆ การแลกเปลี่ยนหรือแบ่งปันความรู้ทำได้ผ่านการเสนอแนะความรู้ตามแบบฟอร์มที่กำหนดในระบบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงมิติต่างๆ สำหรับการสืบค้นข้อมูล

ระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงถูกพัฒนาให้นำเสนอความรู้ในรูปของเว็บไซต์ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา PHP ร่วมกับการจัดรูปแบบด้วย CSS และมีการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล MySQL การเชื่อมโยงความรู้เพื่อการสืบค้นความรู้ศิลปวัฒนธรรมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นแสดงดังภาพที่ 2 ตัวอย่าง



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลจากการเลือกความรู้ภูมิปัญญาจากศิลปวัฒนธรรมต่างหมวด

การนำเสนอข้อมูลความรู้ของขั้นตอนแสดงดังตัวอย่างในภาพที่ 3 โดยระบบจะนำเสนอรูปภาพของขั้นตอนแต่ละขั้นตอน รวมถึงผู้เชี่ยวชาญของขั้นตอนนั้นๆ (ถ้ามี) และสามารถเชื่อมโยงไปยังรายละเอียดของผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	รายละเอียดขั้นตอนการทำให้	รูปภาพขั้นตอนการทำให้	ผู้เชี่ยวชาญ
1	เป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ คือ ต้นกระจุยขนาดต่าง ๆ ซึ่งชาวบ้านจะเตรียมที่ทุ่งกระจุย การกอบดินกอบที่ละ 2-3 ต้น รับหน้ากระจุยประมาณ 10-15 กำฟ้า ปิดกระจุย ที่ปิดมาจากแหลมกระจุย เรียก 1 กำฟ้า ใหญ่ขนาดเท่าต้นตาลโตด 1 กำฟ้า นำมาแยกเป็นกำฟ้าได้ประมาณ 4-5 กำฟ้า (1 กำฟ้า 1 ส่วนเพื่อผู้นั่งใส่ 1 พัน)		ม.นิก พ.ค. เชว จวด
2	การคลุกดินต้นกระจุย เพื่อความเหนียวให้กับเส้นใย ชาวบ้านจะใช้น้ำโคลนขาว คลุกกระจุยให้เปียกทั่วก่อนนำไปตากแดด ช่วยให้การกระจุยแข็งตัว ไม่แฉกกรอบ เขียวปิดจากใช้กับไปได้ นำมาผสมกับดินเหนียวขาวจะได้น้ำโคลนสีขาว การผสมน้ำกับโคลน ต้องไม่เหลวหรือข้นจนเกินไป ทดสอบโดยจับมือนำไปให้น้ำโคลนเกาะนิ้วมือ		

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการนำเสนอขั้นตอนการทำกระจุย

การประเมินการใช้งานระบบฐานความรู้ที่พัฒนาขึ้น จะใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 30 คน โดยสอบถามการนำเสนอความรู้จากการเลือกหมวดหมู่ การแสดงผลของการค้นคืนข้อมูลจากคำสำคัญ และการค้นคืนจากการตั้งคำถามแล้วเลือกจากตัวเลือก ผลการทดสอบพบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจการใช้งานในภาพรวม 4.21 จาก 5 นั่นคือ เว็บไซต์สามารถนำเสนอข้อมูลของภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เชื่อมโยงกับศิลปะและวัฒนธรรมโดยการเรียกดูข้อมูล สืบค้นจากคำสำคัญ และสืบค้นผ่านมิติต่าง ๆ ของตัวเลือก การจัดแบ่งหมวดหมู่ทำให้เรียกดูข้อมูลได้ง่าย มีการนำเสนอผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการและมีรายละเอียดปลีกย่อยในส่วนข้อมูลปราชญ์ชาวบ้านที่นอกเหนือจากความต้องการและเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุง ภายใต้บริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลความรู้แบบฝังลึกและแบบชัดแจ้งจากสื่อสิ่งพิมพ์ และการลงพื้นที่ นำความรู้ที่ได้มาจัดระบบโดยการจัดหมวดหมู่ความรู้ ปรับปรุงรูปแบบความรู้ให้เป็นมาตรฐานโดยการทำฐานข้อมูลและจัดเก็บเมตาดาตาของความรู้เพื่อสร้างมิติของความรู้ แล้วนำมาจัดทำตารางสำหรับการสืบค้นข้อมูล การเข้าถึงความรู้จะใช้วิธีการของการจัดทำฐานความรู้ในรูปแบบของเว็บไซต์ด้วยภาษา php โดยจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล MySQL ผู้ใช้ทั่วไปสามารถเรียกดูข้อมูลตามหมวดหมู่ที่กำหนดไว้ และสืบค้นข้อมูลผ่านทางตัวเลือกที่กำหนดให้ หรือใส่คำสำคัญ เช่น ชื่อของศิลปะและวัฒนธรรม ชื่อภูมิปัญญา ชื่อเจ้าของภูมิปัญญา ผลลัพธ์จากการสืบค้นจะนำเสนอข้อมูลทั้งส่วนที่เป็นศิลปวัฒนธรรม ภูมิปัญญา และเจ้าของภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ได้รับข้อมูลที่เชื่อมโยงกับประเด็นการค้นห การแบ่งปันความรู้จะ

เป็นการเสนอแนะข้อมูลภูมิปัญญาเข้าไปในฐานความรู้ ซึ่งทำได้โดยสมาชิกของระบบหรือโดยผู้ดูแลระบบ ความรู้ที่ถูกเสนอแนะโดยสมาชิกจะไม่ถูกนำเสนอในระบบโดยทันที แต่จะต้องผ่านการกลั่นกรองโดยผู้ดูแลระบบ การมีส่วนร่วมของสมาชิกในการเสนอแนะข้อมูลจะทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุมข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุง การต่อยอดงานวิจัยนี้ทำได้โดยการขยายขอบเขตของการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของออนโทโลยี และใช้วิธีการของเว็บเชิงความหมายในการสืบค้นข้อมูล ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการในการค้นหาข้อมูลในประเด็นต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงกันมากขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาคลังความรู้ดิจิทัลทางศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่น จังหวัดพัทลุงและได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2558 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และขอขอบคุณเจ้าของเนื้อหา และบทความที่รวบรวมจากสื่อทุกประเภท

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงวัฒนธรรม. (2558). **เว็บไซต์สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดพัทลุง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.m-culture.go.th/phatthalung/main.php>.
- [2] คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุ. (2544). **วัฒนธรรม พัฒนาการทางประวัติศาสตร์ เอกลักษณ์และภูมิปัญญา จังหวัดพัทลุง**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว.
- [3] ปนัดดา ทองศรีจันทร์. (มปป). **เว็บไซต์วัฒนธรรมภูมิปัญญาภาคใต้** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2560, จาก <https://sites.google.com/site/looknampattalung/home>.
- [4] ภูมิปัญญาท้องถิ่นพัทลุง. (2558). **เว็บไซต์ภูมิปัญญาพัทลุง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2560, จาก <https://sites.google.com/site/phumipayyacanghwadphatthlung/>.
- [5] ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). **พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542**. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่น.
- [6] สำนักงานจังหวัดพัทลุง. (2556). **เว็บไซต์จังหวัดพัทลุง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.phatthalung.go.th>.
- [7] สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. (2550). **ฐานข้อมูลภูมิปัญญาจังหวัดลำปาง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.wisdom.lpru.ac.th/>.
- [8] สุนิษา นวลจันทร์ และอัจฉริย์ สมุทรสาร. (2557). **ต้นแบบระบบฐานข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่น กรณีศึกษาจังหวัดพัทลุง**. รายงานโครงการวิจัยทางวิชาการคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [9] Nonaka, I. and H. Takeuchi. (1995). **The Knowledge Creating Company**. Oxford University Press New York.

การจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยแบบอัตโนมัติโดยวิธีการทางเหมืองข้อมูล

Automatic Thai Folk Wisdom Classification using Data Mining Approach

นพมาศ ปักเข็ม^{1*} ชนิตา จันมณี² และศิวักร อุยสุย²

Noppamas Pukkhem^{1*}, Chanida Junmanee² and Sivakorn Ouisui²

บทคัดย่อ

ในบทความนี้นำเสนอวิธีการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการทางเหมืองข้อมูล เพื่อให้สามารถจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นจากข้อมูลแบบพรรณนาโวหารด้วยการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ได้ ช่วยลดเวลาในการจับใจความรวมถึงแก้ปัญหาการจำแนกประเภทโดยมนุษย์ได้ โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1) การสกัดคำจากข้อความบรรยายและกำจัดคำหยุด 2) การคัดเลือกคุณลักษณะคำสำคัญ 3) การสร้างแบบจำลองการจำแนกประเภท 4) การทดสอบความแม่นยำ จากผลการทดสอบด้วยวิธี K-Folds Cross Validation ด้วยตัวอย่างข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย จำนวน 500 ข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการจำแนกประเภทด้วยอัลกอริทึม Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Distance-Weight K-Nearest Neighbor และ Naïve Bayes พบว่าอัลกอริทึม Naïve Bayes ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด คือ 93.5% ดังนั้นจึงนำแบบจำลองดังกล่าวมาพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านทางหน้าเว็บด้วยภาษา PHP เชื่อมต่อกับตัวประมวลผลเหมืองข้อมูลผ่าน WEKA API เพื่ออำนวยความสะดวกในการเรียกใช้งานแบบจำลองการจำแนกประเภทข้อมูลใหม่ผ่านทางเว็บได้โดยง่าย

คำสำคัญ: การจำแนกประเภท ภูมิปัญญาท้องถิ่น เหมืองข้อมูล

Abstract

This research aims to propose the automatic Thai folk wisdom classification using data mining approaches from text description. The process consists of 4 steps, 1) word extraction and stop words elimination 2) feature selection 3) classification of model construction and 4) model evaluation. In order to compare the accuracy results of Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Distance-Weight K-Nearest Neighbor and Naïve Bayes, K-folds cross validation technique over 500 Thai folk wisdom data were used. The comparison result of this study showed that the highest performance is Naïve Bayes with accuracy 93.5%. As this result, we selected the Naïve Bayes classifier for implementing a web-based application using WEKA API and PHP. This tool supports the ease of use when predicting the unseen data.

Keywords: Classification, Thai Folk Wisdom, Data Mining

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof. Dr., Division of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Undergraduate Students, Division of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: E-mail addresses: n_nop@hotmail.com

บทนำ

ภูมิปัญญาท้องถิ่น มีความสำคัญต่อสังคมและประเทศชาติ เพราะเป็นเครื่องชี้ถึงความเจริญรุ่งเรืองของสังคมนั้น ซึ่งความหมายของภูมิปัญญาท้องถิ่น คือ ความสามารถในการใช้พื้นความรู้สร้างสรรค์งานเพื่อพัฒนา และดำรงชีวิตของคนในท้องถิ่น ดังนั้นถือว่าภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นนั้น ๆ ซึ่งจะต้องมีการอนุรักษ์ และถ่ายทอดองค์ความรู้จากคนรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นหนึ่ง

จากความสำคัญของการดำรงไว้ซึ่งภูมิปัญญาท้องถิ่น ในปัจจุบันจึงมีการเก็บข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นในรูปแบบที่หลากหลาย โดยส่วนใหญ่ มุ่งเน้นในการให้รายละเอียดข้อมูลเชิงพรรณนา ไม่ได้ระบุหมวดหมู่หรือประเภทที่ชัดเจน ซึ่งหากต่อไปมีการพัฒนาระบบการสืบค้นอาจไม่มีข้อมูลในส่วนของการจำแนกประเภท เช่น 1) เว็บไซต์ภูมิปัญญาท้องถิ่น [1] ที่มีการบอกความหมายภูมิปัญญาท้องถิ่น ลักษณะภูมิปัญญาท้องถิ่น และประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นที่จำแนกออกเป็นลักษณะต่างๆ 10 ลักษณะตามความรู้ของผู้จัดการข้อมูล โดยข้อมูลในเว็บไซต์จะแสดงผลเป็นไฟล์นามสกุล .pdf 2) เว็บไซต์วัฒนธรรมภูมิปัญญาท้องถิ่นภาคใต้ [2] ที่มีภูมิปัญญาในด้านต่างๆของภาคใต้ ซึ่งพบว่ามีหลากหลายในการจำแนกประเภทของภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ต่างออกไปจากการจำแนกประเภทของกรมทรัพย์สินทางปัญญา 3) บล็อกภูมิปัญญาท้องถิ่น [3] ที่นำเสนอในรูปแบบของการเขียนบล็อกเกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่น เรื่องสมุนไพรพื้นบ้าน และ 4) เว็บไซต์ประเพณี 4 ภาค [4] โดยการแสดงข้อมูลแบ่งตามหมวดหมู่ ประกอบไปด้วย ประเพณีท้องถิ่น วัฒนธรรมไทย การละเล่นพื้นบ้าน พิธีกรรม ความเชื่อต่าง ๆ ในงานนี้จึงได้นำแนวคิดของการจำแนกประเภท (Classification) ทางเหมืองข้อมูลมาใช้ค้นหาความรู้สำหรับการสร้างตัวแบบการจำแนกประเภทภูมิปัญญาแบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยลดเวลา และแก้ปัญหาการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยมนุษย์หรือบุคคลที่ไม่มีความเชี่ยวชาญ จากการสร้างตัวแบบการจำแนกประเภทจากข้อมูลที่สกัดความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ เว็บไซต์และข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ ที่มีการบันทึกไว้ โดยจะช่วยสนับสนุนการทำงานของงานการสืบค้นข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นมีประสิทธิภาพและเป็นระบบมากขึ้น และเป็นการช่วยส่งเสริมและอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยในด้านของการจัดการความรู้ โดยมีการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยการหาค่าความแม่นยำ (Accuracy) จากข้อมูลสอนและข้อมูลทดสอบซึ่งใช้จากกรณีศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภูมิปัญญาท้องถิ่น

ภูมิปัญญา หรือ Wisdom หมายถึง พื้นฐานความรู้ ความสามารถ ความคิด ความเชื่อทางพฤติกรรม ความสามารถในการแก้ไขปัญหา [1] โดยใช้ประสบการณ์ที่สั่งสมไว้ในการปรับตัวและดำรงชีพในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมทางสังคมและวัฒนธรรมที่ได้มีการพัฒนาสืบสานกันมา อันเป็นผลของการใช้สติปัญญาปรับตัวให้เข้ากับสภาพต่างๆ ในพื้นที่ ที่กลุ่มชนเหล่านั้นตั้งถิ่นฐานอยู่ รวมทั้งได้มีการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมกับกลุ่มอื่น

จากการสำรวจข้อมูลจากเว็บไซต์ของการจำแนกภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย [1] มีการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นออกเป็น 9 ประเภท ดังนี้

1) ภูมิปัญญาที่เกี่ยวกับความเชื่อและศาสนา ภูมิปัญญาประเภทนี้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ในแต่ละท้องถิ่นเนื่องจากมีพื้นฐานทางความเชื่อในศาสนาที่แตกต่างกัน

2) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับประเพณีและพิธีกรรม เนื่องจากประเพณีและพิธีกรรมเป็นสิ่งที่ฝังรากลึกในท้องถิ่น สร้างขึ้นมาเป็นการเพิ่มขวัญและกำลังใจคนในสังคม จึงมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตในสังคมเป็นอย่างมาก

3) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับศิลปะพื้นบ้าน เป็นการสร้างสรรค์งานศิลปะต่างๆ โดยการนำ ทรัพยากรที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน หลังจากนั้นได้สืบทอดโดยการพัฒนาอย่างไม่ขาดสาย กลายเป็นศิลปะที่มีคุณค่าเฉพาะถิ่น

4) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับอาหารและผักพื้นบ้าน นอกจากมนุษย์จะนำอาหารมาบริโภค เพื่อการอยู่รอดแล้ว มนุษย์ยังได้นำเทคนิคการถนอมอาหารและการปรุงอาหารมาใช้ เพื่อให้อาหารที่มีมากเกินไปเกินความต้องการสามารถเก็บไว้บริโภคได้เป็นเวลานาน

5) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับการละเล่นพื้นบ้าน การละเล่นถือว่าเป็นการผ่อนคลายโดยเฉพาะในวัยเด็ก ซึ่งชอบความสนุกสนานเพลิดเพลิน ภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ ในการละเล่นที่ประดิษฐ์มาจากธรรมชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นวิถีชีวิตที่ผูกพันกับธรรมชาติและรู้จักปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมอย่างกลมกลืน

6) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับศิลปวัฒนธรรม ประเทศไทยมีวัฒนธรรมที่หลากหลาย ซึ่งเกิดจากการสร้างสรรค์ของแต่ละภาค เราสามารถพบหลักฐานจากร่องรอยของศิลปวัฒนธรรมที่ปรากฏกระจายอยู่ทั่วไป เช่น สถาปัตยกรรม ประติมากรรม จิตรกรรม เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเทคนิค ความคิด ความเชื่อของบรรพบุรุษเป็นอย่างดี

7) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับเพลงพื้นบ้าน ภูมิปัญญาประเภทนี้ส่วนมากแสดงออกถึงความ สนุกสนาน และยังเป็นคติสอนใจสำหรับคนในสังคม ซึ่งมีส่วนแตกต่างกันออกไปตามโลกทัศน์ของ คนในภาคต่างๆ

8) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับสมุนไพรและตำรายาพื้นบ้าน ภูมิปัญญาประเภทนี้เกิดจากการ สังสมประสบการณ์ของคนในอดีตและถ่ายทอดให้กับคนรุ่นหลัง

9) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับการประดิษฐ์กรรม เทคโนโลยีและสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ที่เกิดจาก ภูมิปัญญาของคนไทยในแต่ละภาคนั้น ถือเป็นการประดิษฐ์กรรมและหัตถกรรมชั้นเยี่ยม

การจำแนกประเภท (Classification)

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือกระบวนการที่กระทำกับข้อมูลจำนวนมากเพื่อค้นหารูปแบบและความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในชุดข้อมูลนั้น [5] ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการจัดเก็บและตีความหมายข้อมูล จากเดิมที่มีการจัดเก็บข้อมูลอย่างง่าย มาสู่การจัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูลที่สามารถดึงข้อมูลสารสนเทศมาใช้ มีเทคนิคที่นิยมใช้ คือ การจำแนกประเภทข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างโมเดล เพื่อทำนายกลุ่มของข้อมูลใหม่ โดยข้อมูลทั้งหมดจะมีการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มข้อมูลสอน (Training Data) เป็นชุดข้อมูลที่มีบทบาทในการสร้างโมเดลจำแนกประเภทข้อมูลขึ้นมา และกลุ่มข้อมูลทดสอบ (Test Data) เป็นชุดข้อมูลประเมินความถูกต้องของโมเดล โดยกระบวนการสร้างตัวโมเดลจำแนกประเภทข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1) การสร้างโมเดลการจำแนกประเภทเป็นขั้นตอนที่อาศัยการเรียนรู้จากข้อมูลสอนที่ได้กำหนดประเภทไว้เรียบร้อยแล้ว 2) การประเมินผลโมเดล เป็นขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ข้อมูลทดสอบ และปรับปรุงโมเดลจำแนกประเภทจนกว่าจะได้ค่าความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ 3) การนำโมเดลไปใช้งาน เป็นขั้นตอนการนำโมเดลจำแนกประเภทที่สร้างขึ้นมากับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อนเพื่อทำนายและกำหนดกลุ่มให้กับข้อมูลนั้น

การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree)

ต้นไม้การตัดสินใจ คือ กราฟต้นไม้ที่ประกอบไปด้วย จุดยอด ด้านและใบ โดยที่จุดยอดภายในแทนลักษณะประจำ (Attribute) ที่ไม่ใช่คลาสผลลัพธ์ กิ่งแทนค่าหรือผลการทดสอบ และใบแทนค่าประเภทของข้อมูลที่ต้องการจำแนก ซึ่งต้นไม้ตัดสินใจนี้ง่ายต่อการเข้าใจและการปรับเปลี่ยนเป็นกฎการจำแนก (Classification Rules) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อัลกอริทึม C4.5 ซึ่งใช้ค่า Gain Ratio ในการประมวลผลโดยค่า Gain Ratio [6] มีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับค่า Information Gain แต่จะมีการ

แก้ปัญหาในเรื่องความเอนเอียงในการคำนวณ โดยการเพิ่มการหาค่าสารสนเทศการแบ่งแยก (Split Information) [7] ซึ่งจะมีการคำนวณที่ละเอียดมากขึ้น ดังสมการที่ (3) และ (4)

$$\text{GainRatio} (S, V) = \frac{\text{Gain} (S, V)}{\text{SplitInfo} (S, V)} \quad (3)$$

$$\text{SplitInfo} (S, V) = \sum_{i=1}^m -\frac{|S_i|}{S} \times \log_2 \frac{|S_i|}{S} \quad (4)$$

เมื่อ S คือ คุณลักษณะที่ใช้ในการตัดสินใจ และ V คือ ประเภทการทำนาย

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบเบย์อย่างง่าย (Naïve Bayes Classification)

ตัวจำแนกประเภทแบบเบย์อย่างง่าย คือ โมเดลการจำแนกประเภทข้อมูลที่ใช้หลักความน่าจะเป็นซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ Bayes' Theorem [8] และสมมติฐานที่ให้การเกิดของเหตุการณ์ต่าง ๆ เป็นอิสระต่อกัน ถ้า กำหนดให้ P(h) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ h และ P(h|D) คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ h เมื่อเกิดเหตุการณ์ D จากตัวแปรที่กำหนด เราสามารถทำนายเหตุการณ์ที่พิจารณาจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (5)

$$P(h | D) = [P(D | h) * P(h)] / P(D) \quad (5)$$

จากสมการข้างต้นสามารถสร้างคำนวณความน่าจะเป็นของการจำแนกประเภทแบบเบย์อย่างง่ายได้ดังสมการที่ (6)

$$P(d | h) = P(a_1, ..., a_T | h) = \prod_t P(a_t | h) \quad (6)$$

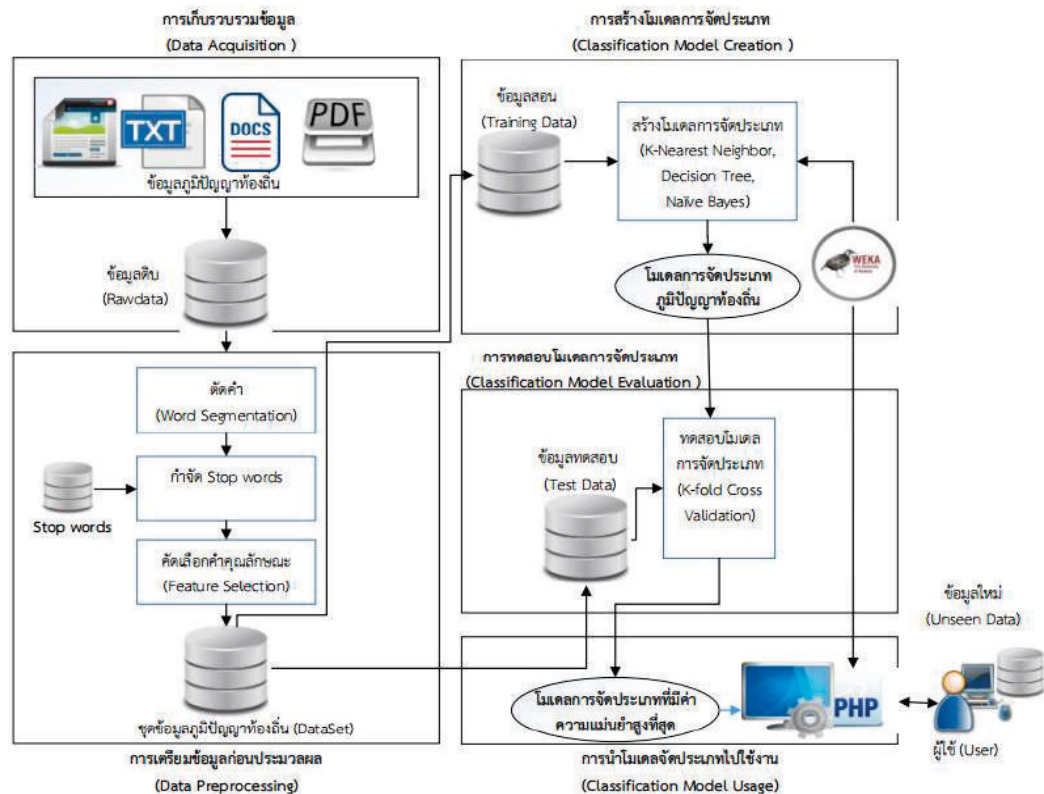
การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors-KNN)

เทคนิคของ K-NN นั้นเป็นการหาระยะห่างระหว่างแต่ละคุณลักษณะในข้อมูลและคำนวณค่าออกมา ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับข้อมูลแบบตัวเลข เป็นการรวมกันของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าระยะห่างโดยทำการเรียงลำดับค่าระยะทางจากน้อยไปมาก หลังจากนั้นดูจากค่า “k” ว่ากำหนดเป็นเท่าไร แล้วนำลำดับที่เรียงได้มาเทียบกับคลาสข้อมูลที่เรียงแล้วนำมาตอบ [9] ระยะห่างแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance) นิยามตัวอย่าง x ด้วยเวกเตอร์คุณลักษณะ $x = \langle a_1(x), a_2(x), ..., a_n(x) \rangle$ และสามารถคำนวณระยะห่างระหว่างตัวแปรตัวอย่าง x_i และ x_j ที่แทนด้วย $d(x_i, x_j)$ ได้ดังสมการที่ (7)

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{r=1}^n (a_r(x_i) - a_r(x_j))^2} \quad (7)$$

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานเพื่อพัฒนากระบวนการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นแบบอัตโนมัติ มีภาพรวมการทำงานของแต่ละขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพรวมการทำงานของระบบการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นด้วยเทคนิคทางเหมืองข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition)

การรวบรวมข้อมูลดิบ (Raw Data) จากแหล่งสารสนเทศทางภูมิปัญญาท้องถิ่น ได้แก่ บล็อกภูมิปัญญาท้องถิ่น [3] เว็บไซต์ประเพณี 4 ภาค [4] และแหล่งข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Data Preprocessing)

การสร้างชุดข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่น (Folk Wisdom Dataset) ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

- 1) การสกัดคำ ในงานนี้ได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับการตัดคำที่เชื่อมโยงฟังก์ชันเลกซ์โต (LexTo) [10] ซึ่งเป็นฟังก์ชันสำหรับการตัดคำภาษาไทยโดยใช้เทคนิคการเลือกคำที่ยาวที่สุด (Longest Matching) โดยอ้างอิงจากพจนานุกรมเล็กชิ ทรอนซ์ ด้วยการเพิ่มข้อมูลพจนานุกรมเกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่นลงไป ตัวอย่างการตัดคำจากคำอธิบายข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่น แสดงดังภาพที่ 2
- 2) การกำจัดคำที่ไม่มีผลต่อการเป็นตัวแทนของประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่น (Stop Words Elimination)
- 3) การคัดเลือกคำคุณลักษณะ (Feature Selection)

ผลลัพธ์จากการตัดคำจะถูกนำมาหาความถี่ของการปรากฏขึ้นจากข้อมูลตัวอย่าง 500 ชุด เพื่อคัดคำที่ปรากฏบ่อยสำหรับเป็นตัวแทนประเภทของภูมิปัญญาท้องถิ่น (ประเภท A B C D E F G H และ I) หลังจากนั้นระบบจะเรียงลำดับความถี่ของคำต่างๆ โดยจะคัดเลือกคุณลักษณะคำที่ถูกใช้บ่อยที่สุด 5 ลำดับแรก พร้อมทั้งกำหนดสัญลักษณ์สำหรับการนำไปสร้างไฟล์ข้อมูลเข้าของการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมทางเหมืองข้อมูล เช่น (A1, 20) หมายถึง “ความเชื่อ” เป็นคำที่ปรากฏขึ้น 20 ครั้ง ในภูมิปัญญาประเภทความเชื่อและศาสนา (A)

การจําแนกภูมิปัญญาท้องถิ่น

หนังตะลุง คือ ศิลปะการแสดงประจำท้องถิ่นอย่างหนึ่งของภาคใต้ เป็นการเล่าเรื่องราวที่ผูกร้อยเป็นนิยายดำเนินเรื่องด้วยบทหรือกรองที่ขับร้องเป็นสำเนียงท้องถิ่น หรือที่เรียกกันว่ากร "ว่วบท" มีบทสนทนาแทรกเป็นระยะ และใช้การแสดงเงาบนจอผ้าเป็นสิ่งดึงดูดสายตาของผู้ชม ซึ่งการว่วบท การสนทนา และการแสดงเงา นายหนังตะลุงเป็นคนแสดงเองทั้งหมด

ตัดคำ

ผลการตัดคำ

หนังตะลุง คือ ศิลปะการแสดง ประจำ ท้องถิ่น อย่างหนึ่ง ของ ภาคใต้ เป็นการ เล่าเรื่อง ราว ที่ ผูก ร้อย เป็น นิยาย ดำเนินเรื่อง ด้วย บท ร้อยกรอง ที่ ขับร้อง เป็น สำเนียง ท้องถิ่น หรือ ที่ เรียก กัน ว่ากร ว่วบท มี บทสนทนา แทรก เป็น ระยะ และ ใช้ การแสดง เงา บน จอผ้า เป็น สิ่ง ดึงดูด สายตา ของ ผู้ชม ซึ่ง การ ว่วบท การ สนทนา และ การแสดง เงา นี้ นาย หนังตะลุง เป็น คน แสดง เอง ทั้งหมด

ภาพที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลเข้าและข้อมูลผลลัพธ์จากการตัดคำ

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การคัดเลือกคำคุณลักษณะที่ปรากฏบ่อยและการให้สัญลักษณ์เพื่อนำไปประมวลผลในอัลกอริทึมทางเหมืองข้อมูล

อันดับ	ความเชื่อและศาสนา	ประเพณีและพิธีกรรม	เพลงพื้นบ้าน (C)	ศิลปะพื้นบ้าน (D)	ศิลปะวัฒนธรรม (E)	การเล่นพื้นบ้าน (F)	อาหารและผักพื้นบ้าน (G)	ประติมากรรม (H)	สมุนไพรและตำรายาพื้นบ้าน (I)
1	(A1,20)	(B1,21)	(C1,15)	(D1,9)	(E1,9)	(F1,22)	(G1,25)	(H1,18)	(I1,24)
2	(A2,18)	(B2,9)	(C2,11)	(D2,4)	(E2,7)	(F2,9)	(G2,18)	(H2,9)	(I2,11)
3	(A3,15)	(B3,8)	(C3,6)	(D3,3)	(E3,6)	(F3,9)	(G3,13)	(H3,7)	(I3,6)
4	(A4, 5)	(B4,5)	(C4,5)	(D4,3)	(E4,6)	(F4,9)	(G4,9)	(H4,7)	(I4,6)
5	(A5, 2)	(B5,4)	(C5,5)	(D5,2)	(E5,5)	(F5,6)	(G5,9)	(H5,7)	(I5,4)

การสร้างโมเดลการจำแนกประเภท (Classification Model Creation)

หลังจากนั้นชุดข้อมูลสอนภูมิปัญญาท้องถิ่นจะถูกระบบแปลงเป็นรูปแบบไฟล์ .arff สำหรับเป็นข้อมูลเข้าในโปรแกรม WEKA [11] เพื่อนำไปทดสอบการสร้างโมเดลการจำแนกประเภทด้วยอัลกอริทึมแบบต่างๆ ได้แก่ Naïve Bayes, Decision Tree, K-Nearest Neighbor (K= 3 5 7 9)

การทดสอบโมเดลการจำแนกประเภท (Classification Model Evaluation)

นำชุดข้อมูลทดสอบเข้าทำการทดสอบความแม่นยำในการทำนายของแต่ละตัวจำแนกประเภทที่สร้างจากอัลกอริทึมประเภทต่าง ๆ โดยใช้วิธี K-Folds Cross Validation [6] คือการแบ่งข้อมูล เป็น K ส่วนเท่าๆกันแล้วทำการทดสอบ โดยเปลี่ยนข้อมูลชุดทดสอบตั้งแต่ส่วนที่ 2 เป็นชุดทดสอบและส่วนที่ 1-(K-1) เป็นชุดข้อมูลสอน ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงชุดทดสอบที่ K เป็นชุดทดสอบ และส่วนที่ 1-(K-1) เป็นชุดข้อมูลสอน โดยจะจำเอาจค่าความแม่นยำที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

การนำโมเดลการจำแนกประเภทไปใช้งาน (Construction Model Usage)

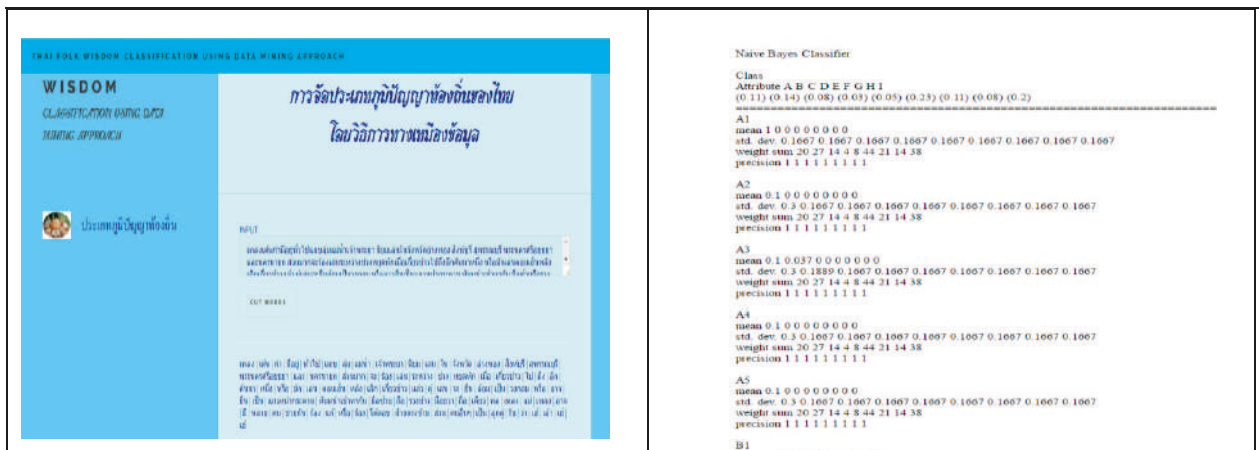
จากขั้นตอนการทดสอบโมเดล หลังจากได้โมเดลที่มีความแม่นยำสูงสุดแล้ว จะนำโมเดลดังกล่าวมาเชื่อมต่อกับส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านเว็บด้วย WEKA API ร่วมกับภาษา PHP ดังนั้นผู้ใช้งานจะสามารถทำนายข้อมูลใหม่ที่ต้องการทราบประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นผ่านทางเว็บได้โดยสะดวก

ผลการวิจัย

จากการใช้ข้อมูลบรรยายของภูมิปัญญาท้องถิ่นจำนวน 500 ชุด นำมาสกัดคุณลักษณะที่สำคัญและด้วยกระบวนการทางการประมวลผลค่า ได้ผลการคัดเลือกแสดงดังตารางที่ 2 นั้น จากนั้นนำมาสร้างโมเดลการจำแนกประเภท และประเมินความแม่นยำในการจัดประเภทโดยใช้ K-Folds Cross Validation ด้วยการกำหนด K= 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ ผลจากการวิเคราะห์ในการทดสอบโมเดลเพื่อสร้างโมเดล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการจำแนกประเภทโดยใช้อัลกอริทึมประเภทต่าง ๆ

Classifiers	K-Folds Cross Validation (Folds)				
	3	5	7	9	11
Naïve Bayes	93.0%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%
Decision Tree (J48)	87.0%	88.0%	89.5%	89.0%	89.0%
K-Nearest Neighbor (k=3)	86.0%	86.5%	87.5%	86.5%	87.5%
K-Nearest Neighbor (k=5)	85.5%	85.5%	86.0%	85.5%	85.5%
K-Nearest Neighbor (k=7)	85.5%	85.5%	86.0%	85.5%	85.5%
K-Nearest Neighbor (k=9)	85.0%	85.5%	86.0%	85.5%	85.5%



ภาพที่ 3 ตัวอย่างหน้าจอของระบบจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นไทยแบบอัตโนมัติ

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการนำข้อมูลการเรียนรู้มาทดสอบกับอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึมพบว่า อัลกอริทึม Naïve Bayes มีค่าความแม่นยำสูงสุด ที่ 93.5% และมี Root Mean Squared Error เท่ากับ 0.0892 ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัลกอริทึม Naïve Bayes เป็นแบบจำลองโมเดล หลังจากนั้นนำโมเดล Naïve Bayes เชื่อมต่อผ่าน WEKA API มาพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านทาง Web Application ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังภาพที่ 3

สรุปและอภิปรายผล

การจำแนกประเภทภูมิปัญญาของไทยแบบอัตโนมัติโดยวิธีการทางเหมืองข้อมูลนี้ นำเสนอวิธีการในการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นด้วยวิธีการทางเหมืองข้อมูลด้วยการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แทนมนุษย์ โดยมีการสร้างฐานความรู้ในรูปแบบตัวจำแนกประเภท ด้วย 3 อัลกอริทึม ได้แก่ Decision Tree, K-Nearest Neighbor และ Naïve Bayes พบว่าจากข้อมูลทดสอบ 500 ข้อมูล อัลกอริทึม Naive Bayes ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุดคือ 93.5% โดยการกำหนด 7-folds cross validation จะให้ค่าการทำนายสูงสุดในทุกโมเดล จึงเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการแบ่งข้อมูลในการทดสอบ จากนั้นมีการพัฒนาการใช้งานโมเดลผ่านทาง Web Application โดยการพัฒนาด้วยภาษา PHP ร่วมกับ WEKA API ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้โดยง่าย ในอนาคตจะพัฒนาให้มีการเพิ่มข้อมูลสอนผ่านทาง Web Application ได้ และสามารถนำพัฒนาไปสู่ระบบแหล่งรวมสารสนเทศทางภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2557). **ระบบฐานข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นไทย**. สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2559, จาก <http://www.ipthailand.go.th/>
- [2] ภูมิปัญญาท้องถิ่น. (2555). สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2559, จาก <http://www.corps2.com/km/05/5601151.pdf>.
- [3] บล็อกภูมิปัญญาท้องถิ่น. (2556). สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2559, จาก http://supapan-kednom.blogspot.com/2008/02/blog-post_24.html.
- [4] เว็บไซต์ประเพณี 4 ภาค (2555). สืบค้นเมื่อ มกราคม 2559, จาก <http://www.prapayneethai.com/>.
- [5] บุญเสริม กิจศิริกุล. (2547). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “อัลกอริทึมเหมืองข้อมูล”. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] Tan, P. N., Steinbach, M. and Kumar, V. (2006). **Introduction to Data Mining**. Addison-Wesley, USA.
- [7] Matthew, N. A. and Sajjan G. S. (2011). “Comparative Analysis of Serial Decision Tree Classification Algorithms”, **International Journal of Computer Science and Security**. 3, 230-240.
- [8] Richard, J. R. and Geatz, M. W. (2003). **Data Mining a Tutorial-Based Primer**. Pearson Education Inc.
- [9] Han, J., Kamber, M. and Pei, J. (2011). **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3rd ed., Morgan Kaufmann Publishers.
- [10] เล็กซ์โต. (2012). **LexTo**. สืบค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://sansarn.com/lexto/>.
- [11] WEKA Tutorial. (2016). สืบค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/documentation.html>.

โปรแกรมต้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถ ของผู้สอบ โดยใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ

กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน

A Prototype of Online Adaptive Testing System Using Sequential Probability Ratio Test Model Case Study: Basic English

ธนาวุธ บุญลิปตานนท์¹ กมลชนก ขำแก้ว² อรยา ปรีชาพานิช^{3*} และสุดา เจริญมนตรี³

Thanawut Bunliptanon¹, Kamolchanok Khamkaew², Oraya Preechapanich^{3*} and Suda Thernmontri³

บทคัดย่อ

ระบบแบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการคัดเลือกและนำเสนอข้อสอบที่สอดคล้องกับผลการประเมินระดับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ ซึ่งเหมาะกับการสร้างแบบทดสอบตามระดับความสามารถของผู้สอบแต่ละคนจากคลังข้อสอบขนาดเล็ก ระบบนี้ได้พัฒนาโดยใช้โปรแกรมภาษา PHP Javascript และ CSS ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL และได้สร้างคลังข้อสอบภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐานจากข้อสอบ O-NET เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตามหลักการวิศวกรรมซอฟต์แวร์และข้อกำหนดคุณลักษณะความต้องการใช้งานระบบ จากนั้นจึงได้ทำการประเมินผลการใช้งานระบบโดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ความสะดวกในการใช้งาน ความถูกต้อง และความสอดคล้องของระบบกับความต้องการใช้งาน สรุปได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับน่าพึงพอใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: การทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ ระบบแบบทดสอบออนไลน์ แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ

¹ ครูพิเศษสอน วิทยาลัยสารพัดช่างภูเก็ต ภูเก็ต 83000

² ครูพิเศษสอน วิทยาลัยการอาชีพตะกั่วป่า พังงา 82110

³ ผศ., สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Contract Teacher, Phuket Polytechnic College, Phuket, 83000

² Contract Teacher, Takuapa Industrial and Community Education, Phang-nga, 82110

³ Asst. Prof., Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600 ext. 2567. E-mail address: ms_oraya@yahoo.com

Abstract

Computerized adaptive testing (CAT) system is a method of assessment which the computer selects and presents test items to examinees according to the estimated examinee's ability levels. The objective of this research aims to develop the CAT system with Sequential Probability Ratio Test (SPRT) model that has ability to generate the customize test items from a small-scale item bank. This proposed system was developed by PHP, JavaScript, CSS and MySQL. The Basic English item bank in this prototype is constructed from O-Net examination for system performance testing based on software engineering principles and system requirement specifications. This system was assessed using a questionnaire examining user interface, ease of use, validation and functional requirement. The result of the questionnaires showed that the efficiency of this system is satisfied and it is possible to deploy this system for our students practically.

Keywords: Adaptive Testing, Online Testing System, Sequential Probability Ratio Test Model

บทนำ

แบบทดสอบเป็นเครื่องมือประเภทหนึ่งที่มีนิยมนำมาใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา เนื่องจากแบบทดสอบจะเป็นตัวแทนเนื้อหาการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เปรียบเสมือนสิ่งเร้าที่นำไปกระตุ้นผู้เรียนให้แสดงพฤติกรรมตอบสนองออกมา แบบทดสอบที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ แบบทดสอบประเพณีนิยมหรือเรียกว่าแบบทดสอบใช้กระดาษและดินสอ (Paper-Pencil Test : P&P Test) ที่ผู้สอบจะได้รับแบบทดสอบชุดเดียวกันและมีจำนวนข้อสอบเท่ากัน ทำให้ผู้สอบบางคนจะต้องทำข้อสอบที่ยากหรือง่ายเกินไป ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องและแม่นยำในการวัดผล [1] จากข้อจำกัดของทฤษฎีการทดสอบแบบมาตรฐานเดิม จึงได้มีการพัฒนาเป็นการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ (Adaptive Testing) ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้งผู้สอบจะได้แบบทดสอบที่เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน โดยมีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีระดับความยากง่ายแปรผันไปตามผลที่ได้จากการประเมินความสามารถในการทำข้อสอบข้อที่ผ่านมา จนกว่าเงื่อนไขของการยุติการทดสอบจะเป็นจริง [2]

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยและประเทศสมาชิกอาเซียนได้มีการเตรียมพร้อมในการจัดตั้งประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community หรือ AEC) โดยกฎบัตรอาเซียนข้อ 34 ได้บัญญัติไว้ว่า ภาษาที่ใช้ในการทำงานของอาเซียนคือภาษาอังกฤษ (The Working Language of ASEAN Shall be English.) ดังนั้นภาษาอังกฤษจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับพลเมืองอาเซียนในการสื่อสารสร้างสัมพันธ์สู่โลกกว้างของภูมิภาคอาเซียน โลกแห่งการแข่งขันไร้ขอบเขตภูมิศาสตร์และวัฒนธรรม [3] จากผลสำรวจทักษะความสามารถของคนไทยในการใช้ภาษาอังกฤษซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการแข่งขันบนเวทีภูมิภาคอาเซียนและในตลาดโลกหลายครั้งพบว่า ประเทศไทยยังอยู่ในอันดับท้าย ๆ เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ เช่น ในปี พ.ศ. 2559 ดัชนีวัดระดับความรู้ทางภาษาอังกฤษของ Education First (EF English Proficiency Index- EPI) ของคนไทยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีความสามารถด้านภาษาอังกฤษระดับต่ำมาก นั่นคืออยู่ในลำดับที่ 56 จากทั้งหมด 72 ประเทศที่ได้รับการสำรวจ [4]

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมค้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน เพื่อให้ระบบสร้างแบบทดสอบโดยการคัดเลือกข้อสอบที่เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน ส่งผลให้สามารถลดจำนวนข้อสอบและลดระยะเวลาในการทดสอบให้น้อยลง เนื่องจากผู้สอบไม่จำเป็นต้องทำข้อสอบจนครบทุกข้อเหมือนในอดีต การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ (Sequential Probability Ratio Test : SPRT) ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Computer Adaptive Testing : CAT)

และเป็นการทดสอบที่ใช้การวิเคราะห์ตามทฤษฎีการตอบสนองรายข้อที่มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างแบบทดสอบด้วยวิธีการสุ่มจากคลังข้อสอบขนาดเล็ก (Small-Scale Item Bank) [5-6] โดยคาดหวังว่าโปรแกรมต้นแบบนี้จะเป็นช่องทางหนึ่งสำหรับนิสิตเพื่อปรับพื้นฐานและฝึกทักษะภาษาอังกฤษของตนเองให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นแล้วอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาภาษาอังกฤษหรือในรายวิชาอื่น ๆ ที่ต้องการสร้างระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ

แบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ (Adaptive Testing) หมายถึง แบบทดสอบที่ประกอบด้วยชุดของข้อสอบที่แตกต่างกันสำหรับผู้สอบแต่ละคน โดยใช้หลักการคัดเลือกข้อสอบตามระดับความสามารถที่มุ่งวัดของบุคคลนั้น [7] นั่นคือการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบจะมีความแตกต่างที่สำคัญจากการทดสอบแบบประเมินซึ่งมีการสร้างแบบสอบขึ้นมาชุดเดียวให้ครอบคลุมองค์ประกอบของคุณลักษณะหรือเนื้อหาที่ต้องการวัด มีค่าความยากของข้อสอบที่หลากหลายโดยไม่มีการกำหนดสัดส่วนของค่าความยากที่แน่นอน โดยทั่วไปนิยมให้มีค่าความยาก (p) อยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 สำหรับนำไปใช้สอบกับผู้สอบกลุ่มใดก็ได้ไม่ว่าผู้สอบจะมีความสามารถสูง ปานกลาง หรือต่ำ นั่นคือผู้สอบทุกคนจะต้องทำข้อสอบชุดเดียวกันที่มีจำนวนข้อเท่ากันและเหมือนกันหมดทุกข้อ แต่การทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบเป็นการใช้ข้อสอบจากคลังข้อสอบมาสร้างแบบสอบแบบสอบแต่ละชุด โดยมีการออกแบบให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน การทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบจะช่วยลดจำนวนข้อสอบและเวลาของการสอบ ทั้งนี้การคัดเลือกข้อสอบที่มีระดับความยากพอเหมาะกับผู้สอบตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory Models : IRT) ย่อมให้สารสนเทศที่สำคัญเกี่ยวกับความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ข้อสอบแต่ละข้อจากคลังข้อสอบที่นำมาใช้แต่ละคนจึงถูกเลือกหรือเสมือนเป็นการปรับให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบ ดังนั้นในขณะที่มีการทดสอบผู้สอบแต่ละคนจึงทำข้อสอบแตกต่างกันและจำนวนข้อของการสอบไม่จำเป็นต้องเท่ากัน [2, 8]

แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ

แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ (Sequential Probability Ratio Test Model : SPRT Model) เป็นแบบจำลองหนึ่งสำหรับระบบ CAT ที่มีการวิเคราะห์ตามทฤษฎีการตอบสนองรายข้อ มีการจัดข้อสอบให้เหมาะสมกับผู้สอบแต่ละคน และการบริหารการสอบทุกขั้นตอนทำโดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยแบบจำลอง SPRT จะเหมาะสมกับการสร้างแบบทดสอบด้วยวิธีการสุ่มจากคลังข้อสอบขนาดเล็ก ในขณะที่แบบจำลองอื่น ๆ เช่น แบบจำลองโลจิสติกแบบหนึ่งพารามิเตอร์ สองพารามิเตอร์ หรือสามพารามิเตอร์ เหมาะสำหรับระบบที่มีคลังข้อสอบขนาดใหญ่และจำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่เพื่อประมาณการค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคลังข้อสอบ [5-6] โดยแบบจำลอง SPRT ใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$LBM \text{ (Lower Bound Mastery)} = \frac{1-\beta}{\alpha}$$

$$UBN \text{ (Upper Bound Non — mastery)} = \frac{\beta}{1-\alpha}$$

$$\text{ความน่าจะเป็นที่จะตอบถูก } PR = \frac{P_m^s (1 - P_m)^f}{P_{nm}^s (1 - P_{nm})^f}$$

โดยที่

- P_m คือ ความน่าจะเป็นที่รู้จริงและตอบคำถามถูก
 P_{nm} คือ ความน่าจะเป็นที่ไม่รู้จริงแต่ตอบคำถามถูก
 s คือ จำนวนข้อสอบที่ตอบถูกจากข้อสอบทั้งหมด
 f คือ จำนวนข้อสอบที่ตอบผิดจากข้อสอบทั้งหมด
 α คือ ข้อผิดพลาดแบบที่ 1 คือ ตัดสินว่า “รู้จริง” แต่ในความเป็นจริงแล้ว “ไม่รู้จริง”
 β คือ ข้อผิดพลาดแบบที่ 2 คือ ตัดสินว่า “ไม่รู้จริง” แต่ในความเป็นจริงแล้ว “รู้จริง”

เมื่อผู้สอบตอบคำถามระบบก็จะทำการประมวลผลหาค่า PR ในทันที ถ้าค่า PR มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ LBM ผลที่ได้จากการสอบจะตัดสินว่า “รู้จริง” และการสอบก็จะสิ้นสุดลง ในทางกลับกัน ผลการสอบจะถูกตัดสินว่า “ไม่รู้จริง” โดยถ้าค่า PR มีค่ามากกว่า UBN แต่น้อยกว่า LBM ระบบจะทำการสุ่มข้อสอบมาให้ทำอีกครั้ง แต่ถ้าค่า PR มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ UBN ผู้สอบจะถูกตัดสินว่า “ไม่รู้จริง”

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการพัฒนาระบบ CAT ที่หลากหลาย เช่น การทดสอบแบบปรับเหมาะที่มีการสะท้อนข้อมูลย้อนกลับในการทดสอบมาตรฐานวิชาชีพไอที [9] ถัดมาคือ การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับมาตรวัดความสุขของคนไทย [10] และการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดสอบ O-NET ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 [11] งานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมักจะใช้ทฤษฎี IRT ที่จำเป็นจะต้องมีการใช้ข้อสอบและจำนวนผู้สอบค่อนข้างมากเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการจัดการคลังข้อสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบของระบบ CAT โดยใช้แบบจำลอง SPRT ซึ่งสามารถประยุกต์กับการสร้างและการจัดการคลังข้อสอบขนาดเล็กสำหรับใช้ในระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อสอบให้สอดคล้องกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคนได้เช่นกัน

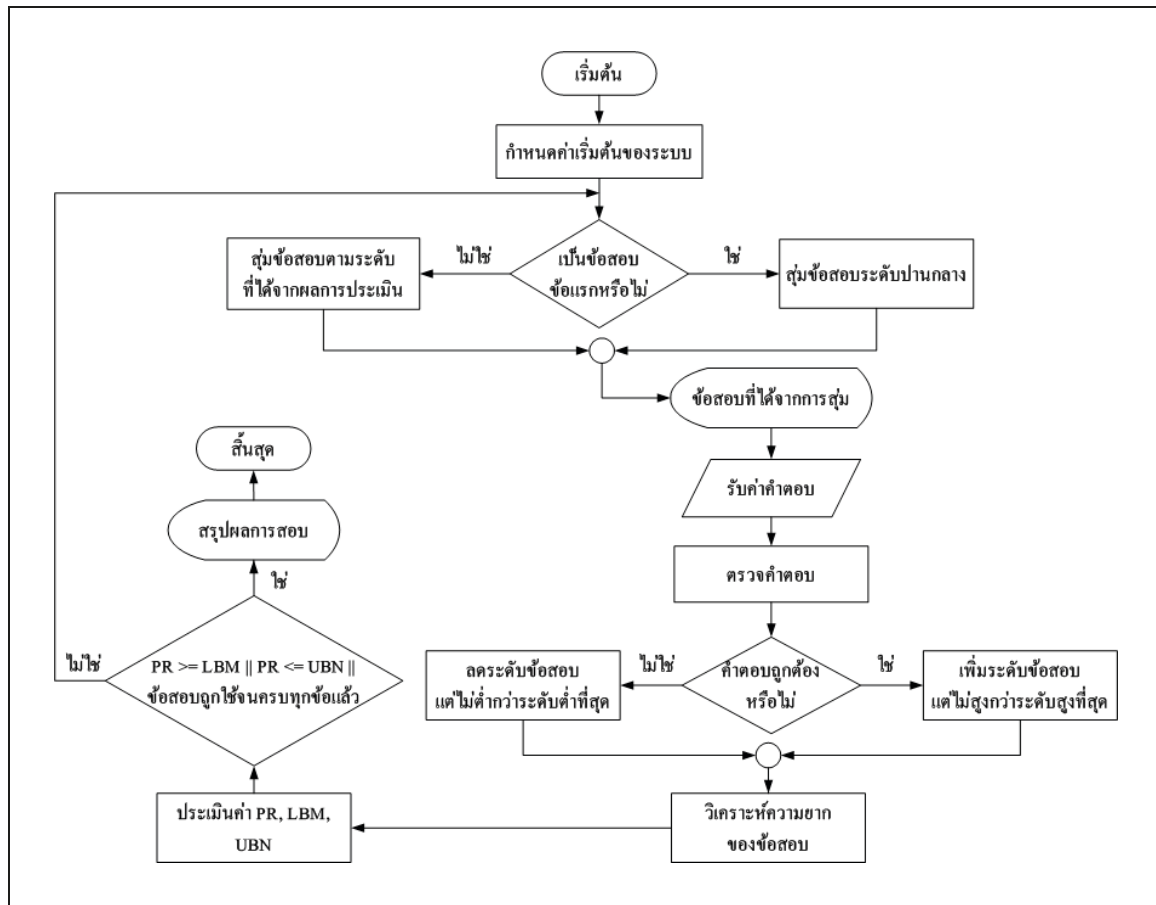
การดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย การวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบ รวมไปถึงการพัฒนาและการทดสอบโปรแกรมต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมต้นแบบ

จากการทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของทฤษฎีและแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบของระบบ CAT ในส่วนของโมดูลการทำข้อสอบซึ่งเป็นโมดูลหลักของงานวิจัยนี้ในรูปแบบของผังงานโปรแกรม (Program Flowchart) เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงาน โมดูลการทำข้อสอบซึ่งใช้อัลกอริทึมที่มีพื้นฐานจากแบบจำลอง SPRT (ภาพที่ 1) เริ่มต้นจากการกำหนดค่าเริ่มต้นของโมดูลการทำข้อสอบ จากนั้นจึงเป็นการสร้างชุดข้อสอบโดยการตรวจสอบสถานะในการทำข้อสอบว่าเป็นการทำข้อสอบข้อแรกหรือไม่ เพื่อทำการสุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบตามหลักการที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้านี้ หลังจากนั้นเมื่อผู้สอบได้ส่งคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อแล้ว โปรแกรมต้นแบบจะประเมินการตอบสนองข้อสอบด้วย ค่า θ_j และค่า PR ซึ่งในกรณีที่ผู้สอบตอบคำถามได้ถูกต้อง โปรแกรมต้นแบบจะเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีระดับความยากเพิ่มขึ้นอีก 1 ระดับ ในทางตรงกันข้ามหาก

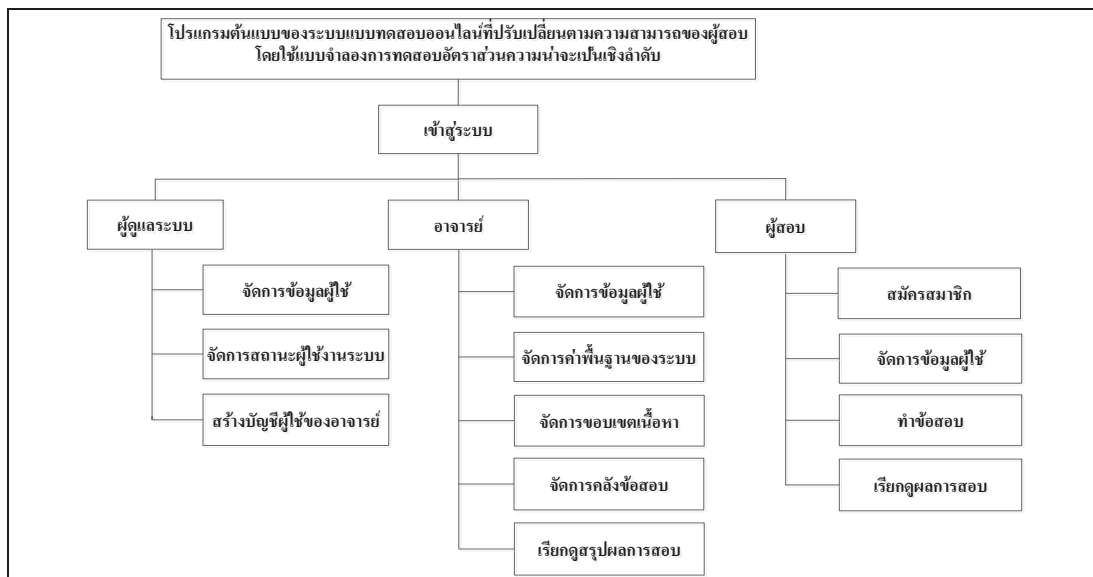
ผู้สอบตอบคำถามผิด ข้อสอบข้อถัดไปก็จะมีระดับความง่ายลดลงไปอีก 1 ระดับ การทำข้อสอบของผู้สอบแต่ละคนจะมีจำนวนข้อสอบมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลที่ได้จากการตรวจสอบเงื่อนไขที่ใช้ในการยุติการทดสอบนั่นคือ $PR \geq LBM$ หรือ $PR \leq UBN$ หรือจนกว่าข้อสอบในคลังข้อสอบได้ถูกใช้จนครบทุกข้อแล้ว



ภาพที่ 1 ฟังก์ชันโปรแกรมของโมดูลการทำข้อสอบ

การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมต้นแบบ

จากขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบ ผู้วิจัยได้กำหนดโครงสร้างระบบของโปรแกรมต้นแบบ โดยมีโมดูลต่างๆ จำแนกตามกลุ่มของผู้ใช้งานได้เป็น 3 กลุ่มคือ ผู้ดูแลระบบ อาจารย์ และผู้สอบ (ภาพที่ 2) จากนั้นผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมต้นแบบโดยใช้โปรแกรมภาษา PHP Javascript และ CSS ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL และได้สร้างคลังข้อสอบจำลองจากข้อสอบ O-NET ของสถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในรายวิชาภาษาอังกฤษ จำนวน 300 ข้อ เพื่อใช้ในการทดสอบ โปรแกรมต้นแบบตามหลักการวิศวกรรมซอฟต์แวร์และข้อกำหนดเกี่ยวกับความต้องการของระบบ

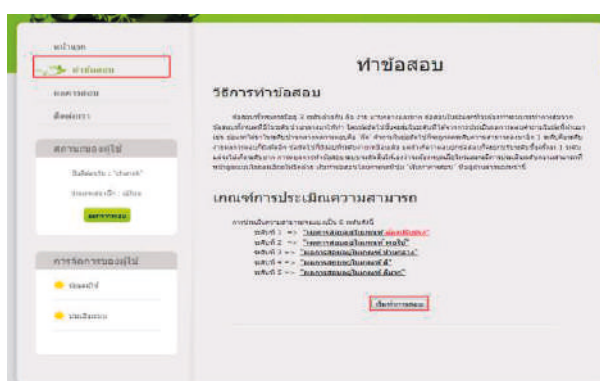


ภาพที่ 2 โครงสร้างของโปรแกรมต้นแบบในภาพรวม

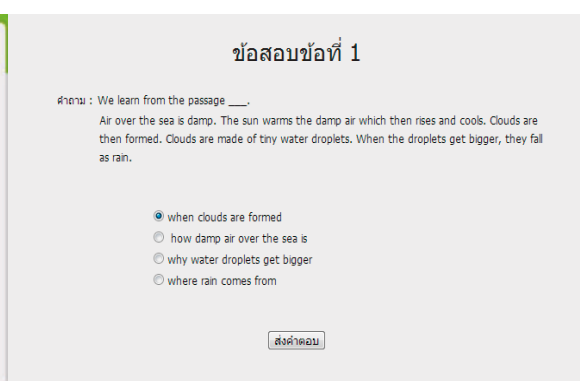
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

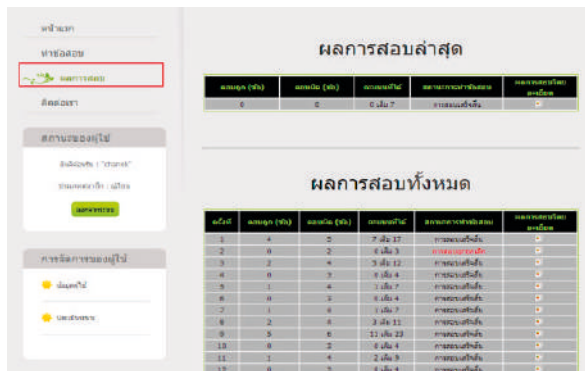
ผลที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน สามารถแสดงตัวอย่างหน้าจอการใช้งานของผู้สอบได้ดังนี้ หน้าหลักสำหรับการใช้งานโมดูลการทำข้อสอบ (ภาพที่ 3) หน้าจอการทำข้อสอบและส่งคำตอบ (ภาพที่ 4) หน้าจอสำหรับเรียกดูผลการสอบที่ผ่านมาของตนเอง (ภาพที่ 5) และหน้าจอแสดงรายละเอียดของผลการสอบแต่ละครั้ง (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 3 หน้าหลักของการทำข้อสอบ



ภาพที่ 4 หน้าจอการทำข้อสอบและส่งคำตอบ



ภาพที่ 5 หน้าจอเรียกดูผลการสอบที่ผ่านมา



ภาพที่ 6 หน้าจอแสดงรายละเอียดผลการสอบแต่ละครั้ง

ผลการประเมินการใช้งานโปรแกรมต้นแบบ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการประเมินผลการใช้งานโปรแกรมต้นแบบคือ นิสิตปริญญาตรีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จำนวน 96 คน มีหลักเกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับจากระดับน้อยที่สุดไปหาระดับมากที่สุด มีคะแนนตั้งแต่ 1-5 คะแนนตามลำดับ ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ของลิเคิร์ต (Likert) ในการสรุปผลคะแนนจากแบบสอบถาม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินการใช้งานโปรแกรมต้นแบบ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน	
	Mean	S.D.
1. ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้	4.42	0.58
2. ความสะดวกในการใช้งาน	4.52	0.57
3. ความถูกต้องของระบบ	4.51	0.57
4. ความสอดคล้องของระบบกับความต้องการใช้งาน	4.62	0.51

ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบพบว่าผู้มีความพึงพอใจในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ใช้งานอยู่ในระดับมาก ส่วนประเด็นด้านความสะดวกในการใช้งาน ความถูกต้องของระบบ และความสอดคล้องของระบบกับความต้องการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งจากความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในแบบสอบถามพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ง่าย เนื่องจากมีคำอธิบายประกอบการใช้งานอย่างชัดเจน และมีการเชื่อมโยงหน้าจอต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ส่วนในเรื่องของส่วนต่อประสานกับผู้ใช้พบว่าการใช้สี รวมไปถึงขนาดและตำแหน่งของวัตถุที่ใช้ในบางหน้าจอยังไม่สอดคล้องกับขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล

ผลการประเมินคุณภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินคุณภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ด้วยวิธีการประเมินผลระบบแบบฮิวริสติก (Heuristic Evaluation) โดยแบ่งประเด็นการสอบถามออกเป็น 3 ประเด็นหลักคือ คุณภาพของสารสนเทศ คุณภาพของระบบ และคุณภาพของการบริการ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินคุณภาพของระบบ

ประเด็นที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของระบบ	ผลการประเมิน	
	Mean	S.D.
1. คุณภาพของสารสนเทศ (ความแม่นยำ (Accuracy) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ความสมบูรณ์ (Completeness) และความตรงประเด็น (Relevance))	4.58	0.49
2. คุณภาพของระบบ (การใช้งานได้ (Usability) สภาพพร้อมใช้งาน (Availability) การออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface Design) และความยืดหยุ่น (Flexibility))	4.42	0.49
3. คุณภาพของการบริการ (ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว (Security and Privacy) และความสามารถในการตอบสนอง (Responsiveness))	4.67	0.50

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าผลการประเมินคุณภาพของระบบในประเด็นด้านคุณภาพของสารสนเทศและคุณภาพของการบริการจะอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนประเด็นด้านคุณภาพของระบบจะอยู่ในระดับมาก โดยผู้เชี่ยวชาญได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ว่า ระบบควรมีการใช้สีสันทันและการแบ่งพื้นที่ในหน้าจอให้มีความสมดุล และมีจุดเด่นมากกว่านี้ ซึ่งผู้วิจัยจะนำผลสะท้อนกลับเหล่านั้น ไปวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงระบบให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ เพื่อสร้างโมเดลการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้คอมพิวเตอร์และเป็นการทดสอบที่ใช้การวิเคราะห์ตามทฤษฎีการตอบสนองรายข้อที่มีความเหมาะสมกับคลังข้อสอบขนาดเล็ก โดยผู้สอบจะต้องสมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานระบบ ระบบจะสุ่มข้อสอบข้อแรกที่มีความยากในระดับปานกลางเพื่อประเมินระดับความสามารถของผู้สอบ จากนั้นระบบจะทำการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีระดับความยากง่ายแปรผันไปตามผลที่ได้จากการประเมินความสามารถในการทำข้อสอบข้อที่ผ่านมาวนรอบไปโดยอัตโนมัติ จนกว่าเงื่อนไขของการยุติการทดสอบจะเป็นจริงหรือจนกว่าข้อสอบในคลังข้อสอบจะถูกใช้จนครบทุกข้อแล้ว ระบบจึงทำการสรุปผลการสอบเพื่อแจ้งให้ผู้สอบรับทราบ จากผลการประเมินคุณภาพของระบบพบว่าโปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพและมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดเกี่ยวกับความต้องการของระบบ ดังนั้นในอนาคตจึงอาจประยุกต์โปรแกรมต้นแบบนี้เพื่อสร้างแบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบในรายวิชาพื้นฐานที่มีผู้สอบเป็นจำนวนมากและใช้ข้อสอบในรูปแบบปรนัยหลายตัวเลือก (Multiple Choices) เช่น รายวิชาพื้นฐานทางด้านภาษา ศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ รวมไปถึงด้านมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ทำให้การทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lord, F. M. (1980). **Application of Item Response Theory to Practical Testing Problems**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- [2] Kanjanawasee, S. (2012). **Modern Test Theories**. Ed 4. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- [3] Onwimon, S. (2011). **ASEAN Diary** (Online). Retrieved 15 August 2015, from <http://blog.eduzones.com/wigi/81880>.
- [4] EF Education First. **The World's Largest Ranking of Countries by English Skills** (Online). Retrieved 12 March 2017, from <http://www.ef.co.th/EPI>.
- [5] Frick, T.W. (1990). A comparison of three decision models for adapting the length of computer-based mastery test. **Journal of Educational Computing Research Systems**. 5(1), 89-114.
- [6] Tao, Y.H., Wu, Y.L. and Chang, H.Y. (2008). A Practical Computer Adaptive Testing Model for Small-Scale Scenarios. **Educational Technology & Society**. 11, 259-274.
- [7] Weiss, D.J. (1983). **New Horizons in Testing: Latent Trait Test Theory and Computerized Adaptive Testing**. New York, NY: Academic Press.
- [8] Wong, K., Leung, K., Kwan, R. and Tsang, P. (2010). E-Learnig: Developing a Simple Web-Based Intelligent Tutoring System Using Cognitive Diagnostic Assessment and Adaptive Testing Technology. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**. 23-34.
- [9] Chaimongkol, N., Pasiphol, S. and Kanjanawasee, S. (2016). Computerized Adaptive Testing with Reflective Feedback in Information Technology Professional Examination. **Information Technology Journal**. 12(2), 58-64.
- [10] Sakolkijrunroj, S., Chadcham, S. and Sudhasani, S. (2015). The Development of Computerized Adaptive Testing Program for Thai Happiness Scale. **Research Methodology & Cognitive Science**. 13(1), 1-17.
- [11] Plumjai, N., Tinnaworn, P. and Sukhanonsawat, S. (2015). Development of Computerized Adaptive Testing Program for O-NET at the Grade Twelve Level. **Research Methodology & Cognitive Science**. 13(2), 109-125.

การทดสอบการแจกแจงปกติโดยแผนภาพของเศษตกค้างในการถดถอยเชิงเส้น

Graphical Normality Tests on Residuals in Linear Regression

วันเพ็ญ จันทรังษี^{1*}

Wanpen Chantarangsi^{1*}

บทคัดย่อ

ลักษณะที่ไม่ปกติของการแจกแจงประชากร เช่น ความเบ้ ความโด่ง หางยาวหรือหางสั้นนั้นสามารถระบุได้ง่ายจากแผนภาพความน่าจะเป็นปกติซึ่งการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติแบบไม่ใช้แผนภาพจะไม่สามารถใช้วินิจฉัยลักษณะเหล่านี้ได้ สำหรับการทบทวนวรรณกรรมทางสถิติ ช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้นขนาด $1 - \alpha$ บนแผนภาพความน่าจะเป็นปกติสำหรับตัวอย่างสุ่มอย่างง่ายมีใช้กันอยู่แล้ว เมื่อ α คือ ระดับนัยสำคัญ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือการสร้างช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้นบนแผนภาพความน่าจะเป็นปกติสำหรับเศษตกค้างจากการถดถอยเชิงเส้นเพื่อก่อให้เกิดการตัดสินใจที่เชื่อถือได้ว่าเศษตกค้างนั้นเรียงกันเป็นเส้นตรงหรือไม่ อันจากการทดสอบสำหรับวิธีการทดสอบโดยใช้ภาพจะถูกเปรียบเทียบกับทดสอบแบบไม่ใช้แผนภาพเพื่อประเมินว่าแบบใดจะมีอำนาจการทดสอบที่ดีกว่ากัน ท้ายที่สุดตัวอย่างจะถูกแสดงเพื่อสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการทดสอบ

คำสำคัญ: การทดสอบโดยใช้ภาพ แผนภาพความน่าจะเป็นปกติ เศษตกค้าง ช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้น

Abstract

Non-normal features of the population distribution such as skewness, kurtosis, long or short tails can be easily identified from the normal probability plot. The non-graphical hypotheses tests of normality do not have this diagnostic feature. For the statistical literature, $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals for augmenting a normal probability plot for a simple random sample are available where α is a significance level. The main objective of this research is on construction of simultaneous probability intervals on normal probability plots for residuals from linear regression providing objective judgements whether on residuals fall close to a straight line. We then compare the powers of these graphical tests and some non-graphical tests for residuals in order to assess the power performances of the graphical tests and to identify the ones that have better power. Finally, the example is provided to illustrate the effectiveness of the tests.

Keywords: Graphical Test, Normal Probability Plot, Residuals, Simultaneous Probability Interval

¹ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

¹Dr., Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

*Corresponding author: Tel.: 063-6415942. E-mail address: wanpen@webmail.npru.ac.th

Introduction

First of all, the theoretical background of a linear regression model is introduced so that it enables to extend the tests of normality for a simple random sample to the vector of residuals from a linear regression model. It is more convenient to deal with multiple regression models if they are expressed in matrix notation. The model is given by $\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$ or in terms of matrix form as

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$\text{where } \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}_{n \times 1}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}_{n \times (p+1)}, \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}_{(p+1) \times 1}, \text{ and } \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}_{n \times 1}.$$

In general, $\mathbf{y}$ is an $n \times 1$ vector of the observations, $\mathbf{X}$ is an $n \times (p+1)$ matrix of the levels of the regressor variables or the design matrix, $\boldsymbol{\beta}$ is a $(p+1) \times 1$ vector of the regression coefficients, and $\boldsymbol{\varepsilon}$ is an $n \times 1$ vector of random errors.

The least squares estimator of $\boldsymbol{\beta}$ results from minimizing the sum of squared residuals is given by $\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}$ provided that the inverse matrix $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$ exists. Therefore, the vector of fitted values ($\hat{\mathbf{y}}$) corresponding to the vector of observed values ($\mathbf{y}$) is

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{y}$$

where $\mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T$ is called the hat matrix. The vector of residuals can be written in matrix form as

$$\mathbf{e} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{y} = (\mathbf{I} - \mathbf{H})\mathbf{y} = (\mathbf{I} - \mathbf{H})\boldsymbol{\varepsilon}$$

then the residuals $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_n)^T$ have the multivariate normal distribution since

$$\text{Var}(\mathbf{e}) = \text{Var}[(\mathbf{I} - \mathbf{H})\boldsymbol{\varepsilon}] = (\mathbf{I} - \mathbf{H})\text{Var}(\boldsymbol{\varepsilon})(\mathbf{I} - \mathbf{H})^T = \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H})$$

where $\text{Var}(\boldsymbol{\varepsilon}) = \sigma^2 \mathbf{I}$ and $\mathbf{I} - \mathbf{H}$ is symmetric and idempotent.

This leads to residuals which follow the normal distribution $N(\mathbf{0}, \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H}))$. Therefore, the regression residuals are neither independent nor homoscedastic because the covariance matrix $\sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H})$ is not a diagonal matrix. The variance of the k^{th} residual is $\text{Var}(e_k) = \sigma^2 (1 - h_{kk})$ where h_{kk} is the k^{th} diagonal element of the hat matrix for $k = 1, \dots, n$. The unknown error variance σ^2 is assumed to be estimated by the mean residual sum of

squares $S_e = \sqrt{\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{e}}{n-p-1}}$. Note that the studentized residuals can be defined as $r_k = \frac{e_k}{S_e \sqrt{1-h_{kk}}}$ for $k = 1, \dots, n$

which replaces the standardized residuals $\frac{e_k}{S_e}$.

As known in general statistical textbooks, one of the major assumptions of the linear regression model which we have concerned is the normality of random errors (ϵ). Our objective is to test normality of the error vector with the hypothesis

$$H_0 : \epsilon \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I}).$$

However, ϵ is unobservable data, the residuals $\mathbf{e}$ will be the estimator of ϵ to construct the tests on normality.

Basically, there are two types of procedures for assessing whether a population has a normal distribution based on a random sample. One of them is the graphical tests (e.g., normal probability plots) and the other is non-graphical tests (e.g., the Anderson-Darling and Shapiro-Wilk tests). The normal probability plot is a graphical technique for assessing whether or not a data set is approximately normally distributed. The data are plotted against a theoretical normal distribution in such a way that the points should form an approximate straight line. Specifically, the normal probability plot of the residuals is a simple graphical method to detect the normality assumption in linear regression if and only if the n points of residuals fall close to a straight line, the random errors are claimed to be normally distributed. As concerned, the graphical tests are more intuitive and more easily interpretable than non-graphical ones. However, the drawback is that different people can make different interpretations of the plots. Thus, graphical tests are usually regarded as informal techniques because the conclusions arrived at may be influenced by the subjectivity of users.

In methodology section, the construction of graphical tests on normal probability plot are developed to provide the $1-\alpha$ simultaneous probability intervals for the residuals as objective judgement. Then, we compare the powers of graphical tests on normal probability plot and non-graphical tests to identify the tests shown in results and discussion section. Finally, the conclusion of this research is presented in the subsequent section.

Methodology

Let $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_n)^T$ be the vector of residuals from a normal error in linear regression with $\mathbf{e} \sim N(0, \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H}))$ and $e_{[1]} \leq \dots \leq e_{[n]}$ be the residual arranged in ascending order. In addition, the unknown error variance σ^2 is estimated by $S_e = \sqrt{\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{e}}{n-p-1}}$ as before.

Normal probability plot for residuals consists of the n points $(z_k, e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$. There are several ways to choose the reference values z_k . Denote that $\Phi(\cdot)$ is the cumulative distribution function of the standard normal distribution and $\Phi^{-1}(\cdot)$ is the inverse function of $\Phi(\cdot)$. One can be used a set of plotting positions $0 < p_1 < \dots < p_n < 1$, that is, $\Phi(z_k) = p_k$ for $k = 1, \dots, n$. According to [1], plotting position proposed by Blom (1958) is most suitable in the normal distribution. Thus, through this research we will use $p_k = \frac{k-0.375}{n+0.25}$ for $k = 1, \dots, n$ as plotting positions [2].

We introduced two graphical tests considered in this article as follows:

1. The first test on normal probability plot based on Kolmogorov-Smirnov (1933) statistic [3] is

$$D = \max_{1 \leq k \leq n} \left| \Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right) - \frac{k - 0.375}{n + 0.25} \right|.$$

Let c_D be a critical constant so that $P\{D < c_D\} = 1 - \alpha$ under H_0 . The probability statement $P\{D < c_D\} = 1 - \alpha$ can be rewritten as

$$\begin{aligned} 1 - \alpha &= P\{D < c_D\} \\ &= P\left\{ \max_{1 \leq k \leq n} \left| \Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right) - \frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \right| < c_D \right\} \\ &= P\left\{ e_{[k]} \in S_e \sqrt{1 - h_{kk}} \Phi^{-1} \left(\frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \pm c_D \right) \text{ for } k = 1, \dots, n \right\}. \end{aligned}$$

Therefore, the simultaneous intervals of $e_{[k]}$ for $k = 1, \dots, n$ is given by

$$S_e \sqrt{1 - h_{kk}} \Phi^{-1} \left(\frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \pm c_D \right).$$

2. The second test on normal probability plot constructed based on Michael [4] is

$$D_{sp} = \max_{1 \leq k \leq n} \left| \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)} - \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{k - 0.375}{n + 0.25}} \right|.$$

Let c_{sp} be a critical constant so that $P\{D_{sp} < c_{sp}\} = 1 - \alpha$ under H_0 . The $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals associated with the probability statement $P\{D_{sp} < c_{sp}\} = 1 - \alpha$ can be rewritten as

$$\begin{aligned} 1 - \alpha &= P\{D_{sp} < c_{sp}\} \\ &= P\left\{ \max_{1 \leq k \leq n} \left| \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)} - \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{k - 0.375}{n + 0.25}} \right| < c_{sp} \right\}. \end{aligned}$$

Therefore, the simultaneous intervals of $e_{[k]}$ for $k = 1, \dots, n$ is given by

$$S_e \sqrt{1 - h_{kk}} \Phi^{-1} \left(\sin^2 \left(\arcsin \sqrt{\frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \pm \frac{\pi}{2} c_{sp}} \right) \right).$$

In power comparison, we include the Anderson-Darling [5] and Shapiro-Wilk [5] tests as the non-graphical based tests. That is, the Anderson-Darling statistic is

$$AD = -\frac{1}{n} \left[\sum_{k=1}^n (2k-1) \left\{ \ln Z_k + \ln(1 - Z_{n-k+1}) \right\} \right] - n$$

where $z_k = \Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)$. The critical constant c_{AD} which corresponding to $P\{AD < c_{AD}\} = 1 - \alpha$ can be

determined by simulation as the critical constant c_D .

The Shapiro-Wilk statistic is

$$SW = \left\{ \sum_{k=1}^n a_k \frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right\}^2 \bigg/ \sum_{k=1}^n \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)^2$$

where a_k are coefficients tabulated by Shapiro and Wilk. The critical constant c_{SW} which corresponding to $P\{SW < c_{SW}\} = 1 - \alpha$ can be determined by simulation as the critical constant c_D .

To compute power results among graphical and non-graphical tests when standardized and studentized residuals are applied for linear regression with one explanatory variable, 10,000 simulations are used. Similarly, the $\varepsilon_1^*, \dots, \varepsilon_n^*$ are drawn from the given distribution. Note that μ is the mean of the given distribution as shown in the next section. Then the error vector is $\varepsilon = (\varepsilon_1^* - \mu, \dots, \varepsilon_n^* - \mu)$. The residual vector can be computed by $e = (I - H)\varepsilon$ applying to test e . The proportion of times that H_0 is rejected taking as the power of the test when compare with critical values in [6].

In our simulation study, we use $\alpha = 0.05$ and the two different forms of design matrix X which are presented by [6]. For the symmetrical design matrix (say Design 1), we generate the first $\frac{n}{2}$ observations of column vector for explanatory variable in X are set to be -1 and the remaining $\frac{n}{2}$ observations are set equal to 1. Conversely, for the asymmetrical design matrix (say Design 2) the first observation is set equal to -1 and the remaining observations are set equal to 1.

Group I of the given distributions is asymmetric on the support $(0, \infty)$ including χ_1^2 , exponential(0,1) and χ_4^2 . Group II of three distributions is on interval $(0,1)$ and includes uniform(0,1), beta(1,2) and beta(2,2). In addition, Group III of distributions are symmetric on the support $(-\infty, \infty)$ consisting of t(1), t(3) and t(6).

In practice, the $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals can then be used to test H_0 based on corresponding graphical tests in the following procedure:

1. Choose a significance level α and the graphical test.
2. Calculate the critical constant which depends on α , sample size n and the number of simulation.
3. Sort e_k 's in ascending order $e_{[1]} \leq \dots \leq e_{[n]}$ and plot $(\Phi^{-1}(p_k), e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$. This step produces normal probability plot.
4. For each k , plot the vertical intervals corresponding to $e_{[k]}$ based on the graphical test considered for $k = 1, \dots, n$.
5. Join the upper bounds and the lower bounds of all n vertical intervals from step 4 which becomes the bands.
6. Reject the null hypothesis H_0 at level α if at least one point $(\Phi^{-1}(p_k), e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$ falls outside the bands.

Results and Discussion

From the power comparison among all alternative distributions in Group I, II and III given in Table 1 and 2, the following observations can be made as follows:

For overall results of power comparison in Table 1, D test performs quite badly in comparison with the other tests but the performance of D test seems better on other situations (especially Group III). The reason is because the characteristics of $\mathbf{X}$ is choose as in Methodology section. In General, SW test gives highest power among all tests for Group I, but it performs as good as AD test based on distributions in Group II and III. Although the D_{sp} test is not the best test for all cases, it still gives higher powers than the D test in almost all cases.

Table 1 Power comparison among D, D_{sp} , AD and SW tests where $\mathbf{X}$ comes from Design 1

Distributions	n	D	D_{sp}	AD	SW
χ_1^2	8	22.94	23.28	31.52	35.04
	12	47.53	49.13	56.68	60.11
	24	86.14	93.41	94.08	95.79
	48	99.68	99.98	99.95	99.97
	60	99.97	100	100	100
exponential(0,1)	8	13.75	13.71	17.13	20.15
	12	27.50	27.52	35.36	38.74
	24	59.99	73.31	76.12	81.10
	48	92.43	99.09	98.57	99.41
	60	97.29	99.92	99.70	99.94
χ_4^2	8	8.71	8.53	10.42	11.86
	12	15.35	15.29	19.92	22.38
	24	33.86	41.40	46.90	54.09
	48	64.23	86.67	83.98	90.71
	36	75.97	95.12	92.40	96.51
uniform(0,1)	8	6.60	7.16	7.24	7.40
	12	8.27	8.82	8.90	7.84
	24	12.50	14.31	19.70	18.84
	48	26.88	39.39	51.56	59.26
	60	34.45	56.37	65.34	75.45
beta(1,2)	8	7.22	7.27	8.13	8.40
	12	10.34	10.24	11.89	11.79
	24	20.22	24.17	27.78	29.06
	48	43.27	73.21	63.93	71.06
	60	54.84	88.83	78.82	86.05
beta(2,2)	8	4.99	5.11	5.21	5.21
	12	5.63	5.45	5.69	4.71
	24	6.31	5.96	7.21	5.66
	48	9.10	9.06	13.46	12.34
	60	10.55	12.38	16.59	17.11
t(1)	8	24.98	26.68	32.35	35.91
	12	48.41	51.85	55.10	57.52
	24	83.41	86.53	88.78	88.86

Distributions	n	D	D _{sp}	AD	SW
	48	98.69	98.93	99.50	99.41
	60	99.56	99.63	99.87	99.86
t(3)	8	6.72	7.04	7.85	8.11
	12	12.48	13.78	15.76	12.77
	24	23.52	28.67	31.78	26.11
	48	43.34	50.00	56.42	44.52
	60	49.85	55.73	63.52	51.62
t(6)	8	5.48	5.43	5.66	6.14
	12	6.61	6.90	8.24	9.17
	24	9.32	12.08	13.17	16.59
	48	13.36	18.03	20.18	26.73
	60	15.70	20.45	23.49	31.06

Table 2 power comparison among D, D_{sp}, AD and SW tests where **X** comes from Design 2

Distributions	n	D	D _{sp}	AD	SW
χ_1^2	8	25.54	13.83	17.80	15.25
	12	45.78	37.14	42.04	32.76
	24	85.51	86.23	90.73	77.61
	48	99.64	99.99	99.97	99.40
	60	100	100	100	99.91
exponential(0,1)	8	14.69	6.82	8.32	6.31
	12	26.64	19.57	20.62	14.57
	24	58.96	55.69	60.36	40.20
	48	91.51	95.15	96.79	82.21
	60	97.08	99.37	99.37	93.50
χ_4^2	8	9.65	4.76	5.24	3.76
	12	16.17	10.55	10.10	6.27
	24	32.73	28.47	28.18	14.58
	48	64.72	61.04	70.70	37.80
	36	75.93	76.22	84.63	52.22
uniform(0,1)	8	6.26	3.50	4.98	4.07
	12	6.74	4.24	5.43	2.79
	24	10.58	10.97	9.77	0.95
	48	23.22	33.98	33.80	1.12
	60	31.89	50.75	49.98	2.20
beta(1,2)	8	7.59	3.26	3.97	3.5
	12	9.11	5.58	4.59	4.82
	24	18.30	14.49	10.93	14.38
	48	40.48	31.82	41.14	40.13
	60	51.86	45.65	58.19	56.80
beta(2,2)	8	5.25	3.94	4.47	4.20
	12	4.40	3.33	3.30	3.60
	24	5.80	4.95	3.70	4.03
	48	7.44	6.93	6.44	6.10
	60	9.95	9.45	9.91	9.87

Distributions	n	D	D _{sp}	AD	SW
t(1)	8	29.01	32.09	34.01	32.50
	12	54.44	59.44	60.32	56.61
	24	86.59	88.50	90.87	87.40
	48	99.10	99.03	99.69	99.14
	60	99.76	99.80	99.93	99.84
t(3)	8	8.75	11.83	10.88	8.76
	12	13.86	18.93	18.39	13.64
	24	26.13	31.26	34.62	26.16
	48	45.44	52.65	59.98	43.10
	60	54.14	62.24	69.47	50.63
t(6)	8	6.55	7.71	6.76	6.88
	12	7.59	10.00	9.32	10.14
	24	9.98	12.75	14.61	16.98
	48	14.20	20.20	23.28	26.24
	60	17.34	24.64	28.01	31.66

For the conclusion made by Table 2, It is very interestingly that there is a slight difference among D_{sp} , AD and SW tests in several cases. Obviously, the D test performs well in χ_1^2 , exponential(0,1), χ_4^2 and beta(2,2). The D_{sp} test shows impressive powers for the rest even though it is a graphical test.

Montgomery [7] studied on the rocket propellant and the authors suspected whether the shear strength is related to the age in weeks of the batch of sustainer propellant or not. The twenty observations on shear strength and the age of the corresponding batch of propellant have been collected when shear strength is a dependent variable and age of propellant (weeks) is an explanatory variable in simple linear regression. To estimate the model parameter, least squares method is applicable to obtain the least squares equation as $\hat{y} = 2627.82 - 37.15x$.

Now, we will apply the procedure of $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals in the methodology section to produce the vertical intervals for each residual. The objective judgement on normal probability plot is that if at least one point $(\Phi^{-1}(p_k), e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$ in the normal probability plot is not included in the corresponding vertical interval, ones can claim that H_0 is not supported by the observed data.

To draw the conclusion that the random errors follow normal assumption by Figure 1, all residuals must lie within the corresponding intervals. The top panel of Figure 1 shows that each residual $e_{[k]}$ $k = 1, \dots, n$ falls inside the corresponding vertical interval based on the D test. Hence, the inference is that the random errors are normally distributed under the D test. However, from the bottom panel of Figure 1, $e_{[2]} = -213.6$ does not lie inside the corresponding interval $(-204.9496, -72.5683)$. Thus, we can draw the conclusion that the errors do not follow a normal distribution based on the D_{sp} test. Additionally, by the statistical software, we also make a conclusion that the null hypothesis H_0 is rejected at $\alpha = 0.05$ under AD and SW tests.

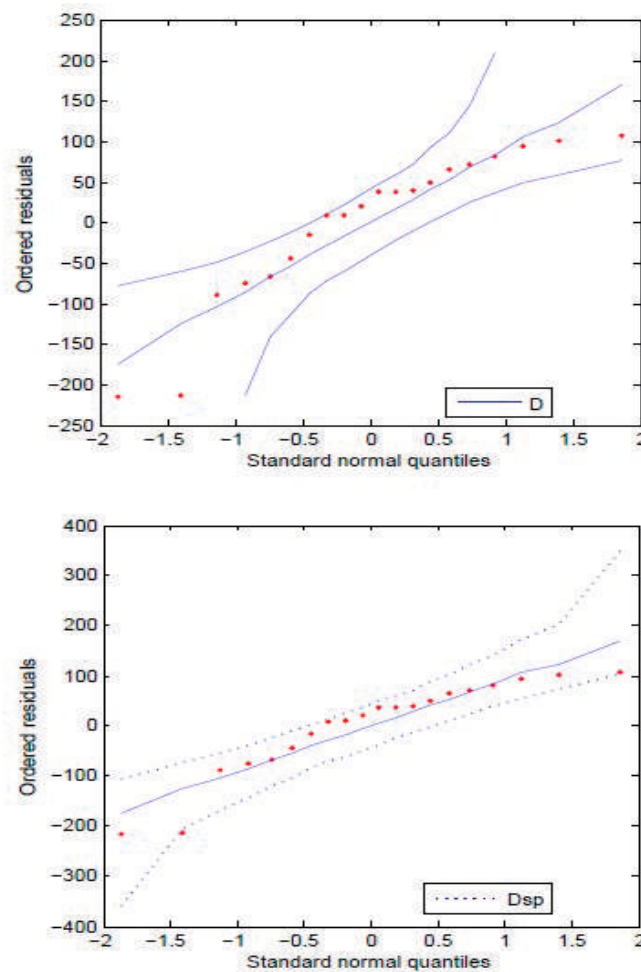


Figure 1 Simultaneous intervals for testing normality of residuals based on rocket propellant data for graphical based D and D_{sp} tests at $\alpha = 0.05$

Conclusion

Based on the investigations set out in the previous sections, the SW and AD tests are non-graphical tests, they may not be more powerful than the graphical tests. In general, the D_{sp} test, which is effectively graphical test for normality based on residuals in linear regression, is good enough to detect normality on residuals as shown in above figure similar to the SW and AD tests. Therefore, the graphical test on normal probability plot becomes a useful tool for practitioners who look for the objective judgement on the normal probability plot.

Acknowledgment

The author would like to express my sincere thanks to the Research and Development Institute, Nakhon Pathom Rajabhat University for their financial support. Moreover, the author is extremely grateful to all the referees, associate editor, and editor for constructive comments.

References

- [1] Blom, G. (1958). **Statistical Estimates and Transformed Beta-variates**. Wiley, New York.
- [2] Lozano-Aguilera, E.D., Estudillo-Martinez, M.D., and Castillo-Gutierrez, S. (2014). “A Proposal for Plotting Positions in Probability Plots”, **Journal of Applied Statistics**. 41(1), 118-126.
- [3] Kolmogorov, A.N. (1933). “Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione”, **Giorna. Ist. Attuari**. 4, 83-91.
- [4] Michael, J.R. (1983). “The Stabilized Probability Plot”, **Biometrika**. 70, 11-17.
- [5] Shapiro, S.S. and Wilk, M.B. (1965). “An Analysis of Variance Test for Normality (complete samples)”, **Biometrika**. 52, 591-611.
- [6] Chantarangsi, W., Liu, W., Bretz, F., Kiatsupaibul, S., and Hayter, A.J. (2017). “Normal Probability Plots with Confidence for the Residuals in Linear Regression”, **Communication in Statistics-Simulation and Computation**. (Article in Press).
- [7] Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vinning, G.G. (2001). **Introduction to Linear Regression Analysis**. John Wiley & Sons, Inc. New York.

การศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกในไซโลฐานแบนเรียบ

The Study of the Impact of Displacing Insert in Flat-Bottomed Silo

วาเรียม ช่วยจันทร^{1*} และสุทธิวัฒน์ ทองนาค¹

Wariam Chuayjan^{1*} and Sutthiwat Thongnak¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการออกแบบโครงสร้างของไซโลฐานแบนเรียบที่ใช้สำหรับเก็บเมล็ดถั่วเหลือง ในการจำลองการไหลของเมล็ดถั่วเหลืองจะใช้หลักการของกฎอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้นและโมเมนตัมเชิงมุม รวมถึงใช้วิธีดิสครีทอีลิเมนต์ เพื่อหาผลเฉลยเชิงตัวเลข สำหรับศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกที่มีรูปร่างเป็นกรวยคว่ำ และตำแหน่งของกรวยคว่ำต่อรูปแบบการไหล เวกเตอร์ความเร็ว และแรงดันที่ผนังไซโล ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า สิ่งแทรกมีอิทธิพลต่อรูปแบบการไหลของเมล็ดถั่วเหลืองในไซโลและสามารถปรับปรุงรูปแบบการไหลจากการไหลแบบท่อระบายไปสู่การไหลแบบทั้งมวล นอกจากนี้การเพิ่มสิ่งแทรกยังสามารถลดแรงดันที่ผนังไซโลได้ และยังพบว่าการวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการกระจายแรงไปยังอนุภาคที่ใกล้ผนังของไซโลช่วยให้ลดบริเวณที่อนุภาคหยุดเคลื่อนที่ได้ ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบไซโลและสิ่งแทรกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เมล็ดถั่วเหลือง ไซโล วิธีดิสครีทอีลิเมนต์

Abstract

In this paper, we developed a mathematical model to study silo structure design of flat-bottomed silo for storing soybeans. The model bases on both conservative linear momentum and conservative angular momentum. The Discrete Element Technique is used to obtain the numerical solutions for studying how insert, installed in silo, affects the flow pattern, the velocity profile and the wall pressure in silo. The results indicated that the inverted cone insert influences flow pattern of soybean in silo. The simulation reveals that the appropriately position of the insert in a flat bottom silo can improve the flow pattern from funnel flow to mass flow. Moreover, the wall pressure and dead zone decrease when the insert is installed. The knowledge has led to the effective design of flat-bottomed silo with insert.

Keywords: Soybeans, Silo, Discrete Element Method

¹ อ.ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: E-mail address: wariam_chuayjan@hotmail.com, Tel.: 074-609600 ext. 2578

บทนำ

การเก็บรักษาวัสดุเม็ด (Granular Materials) มีความสำคัญเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเหมืองแร่ และอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น เนื่องจากวัตถุดิบส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมเหล่านี้มักจะอยู่ในรูปของวัสดุเม็ด เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถ่านหิน ซิเมนต์ เป็นต้น โดยทั่วไป วัสดุเม็ดเหล่านี้จะถูกเก็บในไซโล (Silos) ซึ่งเป็นถังขนาดใหญ่ที่ใช้เก็บรักษาหรือขนส่งสินค้าอุตสาหกรรม ไซโลมีหลายชนิด ได้แก่ ไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Storage Silos) ไซโลถุง (Bag Silos) แท็งก์ (Tanks) และถัง (Bin) รูปร่างของไซโลอาจจะเป็นทรงกระบอก สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขนาดความจุตั้งแต่ 1 ตัน ถึง 100,000 ตัน ดังนั้น การออกแบบไซโลสำหรับเก็บวัสดุเม็ดเพื่อให้มีโครงสร้างที่เหมาะสม สามารถใช้งานได้ดีและปลอดภัย จำเป็นต้องพิจารณารูปร่างของไซโล และปัจจัยที่กระทำต่อการไหลภายในไซโล ซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมการณ์ไหลของวัสดุเม็ด และแรงดันบนผนังไซโล กระบวนการหลักที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบในไซโลประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ การบรรจุ (Filling Process) และการปล่อยออก (Discharging Process) ในกระบวนการปล่อยออก เมื่อเปิดช่องทางออก (Outlet) ของไซโล วัสดุเม็ดจะเริ่มไหลออกจากไซโลภายใต้แรงโน้มถ่วง รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดมี 2 รูปแบบ คือ การไหลแบบทั้งมวล (Mass Flow) และการไหลแบบท่อระบาย (Funnel Flow) [1] สำหรับการไหลแบบทั้งมวลพบว่าวัสดุเม็ดทั้งหมดภายในไซโลอยู่ในสภาพเคลื่อนที่ออกจากไซโลอย่างสม่ำเสมอ รูปแบบการไหลประเภทนี้มีความเหมาะสมสำหรับการทำงานของไซโล และกรณีการไหลแบบท่อระบายเป็นการไหลในลักษณะที่เฉพาะวัสดุเม็ดที่อยู่บริเวณส่วนตรงกลางของไซโลเท่านั้นที่เคลื่อนที่ออกจากไซโลได้ ในขณะที่มีวัสดุเม็ดบางส่วนติดเกาะติดผนังไซโลและไม่สามารถไหลออกจากไซโลได้ ทำให้เกิดบริเวณที่วัสดุเม็ดหยุดนิ่ง (Dead Zone) ขึ้นภายในไซโล รูปแบบการไหลขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุเม็ดและรูปร่างไซโล

ปัจจุบันพบปัญหาหลายอย่างที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม เช่น ปัญหาการอุดตัน (Arching Problem) ที่เกิดขึ้นเหนือช่องทางออกของไซโล ปัญหาเกิดบริเวณหยุดเคลื่อนที่ของวัสดุเม็ดใกล้กับผนังไซโล และการออกแบบที่ไม่เหมาะสมของไซโลมักเป็นสาเหตุทำให้ไซโลพังทลาย ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ ก่อให้เกิดความเสียหายในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยให้วัสดุเม็ดที่บรรจุในไซโลสามารถเคลื่อนที่ออกจากไซโลได้ง่าย สิ่งแทรก (Insert) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและออกแบบให้มีการติดตั้งภายในไซโล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการไหล และลดความเค้นของผนังไซโล (Wall Stress) ซึ่งเป็นสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดการอุดตันหรือการเกิดโคมในระหว่างการปล่อยวัสดุออกจากไซโล สิ่งแทรกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สิ่งแทรกแบบวัสดุเม็ดไหลผ่านไม่ได้ (Displacing Inserts) และสิ่งแทรกแบบวัสดุเม็ดไหลผ่านได้ (Non-Displacing Inserts) [5] ตัวอย่างเช่น กรวยคว่ำ (Inverted Cone) กรวยคู่ (Double Cone) และแผ่นแนวนอน (Horizontal Plate) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ว สิ่งแทรกจะถูกวางในบริเวณกรวย (Hopper) ของไซโล เพื่อช่วยแก้ปัญหาการไหล การออกแบบสิ่งแทรกที่มีประสิทธิภาพและวางในตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง ทำให้ลดบริเวณที่วัสดุเม็ดไม่เคลื่อนที่ (Stagnant Zone) ในไซโลได้ทั้งหมด ซึ่งจะนำไปสู่การไหลแบบทั้งมวล ดังนั้น การศึกษาพฤติกรรมการณ์เคลื่อนที่ของวัสดุเม็ด แรงดันที่ผนังไซโล และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลในไซโลระหว่างกระบวนการปล่อยออกจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการณ์ที่เกิดขึ้นภายในไซโลซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้

โดยที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการณ์เคลื่อนที่ของวัสดุเม็ดในไซโลด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การทดลอง [1-3] และวิธีเชิงตัวเลข [4-9] เนื่องจากวัสดุเม็ดมีจำนวนมากและมีขนาดเล็ก การศึกษาด้วยวิธีการทดลองทำให้เสียเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง ปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคเชิงตัวเลขได้ถูกพัฒนาเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์ของวัสดุเม็ดและแรงดันในไซโล โดยวิธีเชิงตัวเลขประกอบด้วย 2 วิธี คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) [6-7] และวิธีดิสรีทเอลิเมนต์

(Discrete Element Method: DEM) [4-5, 9] โดยทั่วไปแล้ว วิธีดิสครีทเอลิเมนต์เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เพราะสามารถอธิบายปรากฏการณ์การไหลของแต่ละอนุภาคในโซโลได้อย่างชัดเจน

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของวัสดุเม็ดและเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีดิสครีทเอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของสิ่งแทรกต่อพฤติกรรมการไหลของวัสดุเม็ด รูปแบบการไหล เวกเตอร์ความเร็ว และแรงดันที่ผนังฐานของโซโล ในงานวิจัยนี้ใช้โซโลฐานแบบเรียบที่มีสิ่งแทรกแบบกรวยคว่ำ และทำการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในโซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกและมีสิ่งแทรก

วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งได้พัฒนามาจากแบบจำลองของ Cundall และ Strack [9] โดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน สมการควบคุมสำหรับอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาค i อยู่ภายใต้หลักการของโมเมนตัมเชิงเส้นและหลักการโมเมนตัมเชิงมุม คือ

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i(t)}{dt^2} = m_i \mathbf{g} + \mathbf{F}_i(t) \quad (1)$$

$$I_i \frac{d^2 \boldsymbol{\theta}_i(t)}{dt^2} = \mathbf{M}_i(t) \quad (2)$$

เมื่อ $\mathbf{r}_i$ และ $\boldsymbol{\theta}_i$ แทนเวกเตอร์ตำแหน่ง (Position Vector) และเวกเตอร์เชิงมุม (Rotation Vector) ที่จุดศูนย์กลางของอนุภาค i ตามลำดับ $\mathbf{g}$ คือแรงโน้มถ่วงโลก m_i และ I_i คือมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของอนุภาค i ตามลำดับ เวกเตอร์ $\mathbf{F}_i$ และ $\mathbf{M}_i$ คือแรงและทอร์กรวมทั้งหมดที่กระทำกับอนุภาค i ตามลำดับ โดยนิยามดังนี้

$$\mathbf{F}_i(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_p} \mathbf{F}_{i,j} + \sum_{k=1}^{N_w} \mathbf{F}_{i,w_k} \quad (3)$$

$$\mathbf{M}_i(t) = \sum_{j=1}^{N_p} \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_{i,j} + \sum_{k=1}^{N_w} \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_{i,w_k} \quad (4)$$

เมื่อ N_p แทนจำนวนของอนุภาคทั้งหมด และ N_w แทนจำนวนผนังทั้งหมดที่กระทำบนอนุภาค i และ $\mathbf{F}_{i,j}$ แทนแรงที่กระทำกันระหว่างอนุภาค i และ j และ $\mathbf{F}_{i,w_k}$ แทนแรงที่กระทำกันระหว่างอนุภาค i และผนัง w_k นิยามดังนี้

$$\mathbf{F}_{i,j}(t) = F_{ijn}(t) \mathbf{n} + F_{ijs}(t) \mathbf{s} \quad (5)$$

$$\mathbf{F}_{i,w}(t) = F_{iwn}(t) \mathbf{n} + F_{iws}(t) \mathbf{s} \quad (6)$$

เมื่อ $\mathbf{n}$ และ $\mathbf{s}$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศตั้งฉากและทิศสัมผัส ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้ $\mathbf{v}_i = \frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt}$ และ

$\boldsymbol{\omega}_i = \frac{d\boldsymbol{\theta}_i(t)}{dt}$ สำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, N_p$ เราจะได้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญอันดับหนึ่ง คือ

$$\begin{aligned}\frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt} &= \mathbf{v}_i \\ \frac{d\boldsymbol{\theta}_i(t)}{dt} &= \boldsymbol{\omega}_i \\ \frac{d\mathbf{v}_i(t)}{dt} &= \mathbf{g} + \frac{\mathbf{F}_i(t)}{m_i} \\ \frac{d\boldsymbol{\omega}_i(t)}{dt} &= \frac{\mathbf{M}_i(t)}{I_i}\end{aligned}\tag{7}$$

จากระบบสมการดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการต่อไปนี้

$$\frac{d\boldsymbol{\psi}(t)}{dt} = \boldsymbol{\phi}(t)\tag{8}$$

$$\frac{d\boldsymbol{\phi}(t)}{dt} = \mathbf{P}(t)\tag{9}$$

เมื่อ $\boldsymbol{\psi}(t) = [\mathbf{r}_1(t) \ \boldsymbol{\theta}_1(t) \ \dots \ \mathbf{r}_{N_p}(t) \ \boldsymbol{\theta}_{N_p}(t)]^T$, $\boldsymbol{\phi}(t) = [\mathbf{v}_1(t) \ \boldsymbol{\omega}_1(t) \ \dots \ \mathbf{v}_{N_p}(t) \ \boldsymbol{\omega}_{N_p}(t)]^T$

และ $\mathbf{P}(t) = \left[\mathbf{g} + \frac{\mathbf{F}_1(t)}{m_1} \quad \frac{\mathbf{M}_1(t)}{I_1} \quad \dots \quad \mathbf{g} + \frac{\mathbf{F}_{N_p}(t)}{m_{N_p}} \quad \frac{\mathbf{M}_{N_p}(t)}{I_{N_p}} \right]^T$

โดยประยุกต์ใช้วิธีผลต่างกลาง (Central Differencing Scheme) กับสมการ (9) และพิจารณาบนช่วงเวลา

$$\Delta t = \left[t_{n-\frac{1}{2}}, t_{n+\frac{1}{2}} \right] \text{ จะได้ว่า } \frac{\phi^{n+\frac{1}{2}} - \phi^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \mathbf{P}^n$$

$$\text{ดังนั้น } \phi^{n+\frac{1}{2}} = \phi^{n-\frac{1}{2}} + \Delta t \mathbf{P}^n\tag{10}$$

โดยที่ $\phi^{n+\frac{1}{2}} = \phi\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ และ $\phi^{n-\frac{1}{2}} = \phi\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$ สำหรับบนช่วง $\Delta t = [t_n, t_{n+1}]$ เราใช้วิธีผลต่างกลางอีกครั้ง

$$\text{กับสมการ (8) ที่เวลา } t_{n+\frac{1}{2}} \text{ จะได้ว่า } \frac{\boldsymbol{\psi}^{n+1} - \boldsymbol{\psi}^n}{\Delta t} = \phi^{n+\frac{1}{2}}$$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \boldsymbol{\psi}^{n+1} = \boldsymbol{\psi}^n + \Delta t \phi^{n+\frac{1}{2}}\tag{11}$$

โดยการแทนสมการ (10) ลงในสมการ (11) จะได้ค่าของ $\mathbf{r}_i$ และ $\boldsymbol{\theta}_i$ ที่เวลา $t = n+1$ ดังนี้ 5

$$\boldsymbol{\psi}^{n+1} = \boldsymbol{\psi}^n + \Delta t \phi^{n-\frac{1}{2}} + (\Delta t)^2 \mathbf{P}^n \quad (12)$$

ดังนั้น เราสามารถคำนวณค่าเวกเตอร์ความเร็ว $\mathbf{v}_i$ และความเร็วเชิงมุม $\boldsymbol{\omega}_i$ ที่เวลา $t = n+1$ ได้จากสมการ

$$\frac{d}{dt}(\boldsymbol{\psi}^{n+1}) = \phi^{n+1} \quad (13)$$

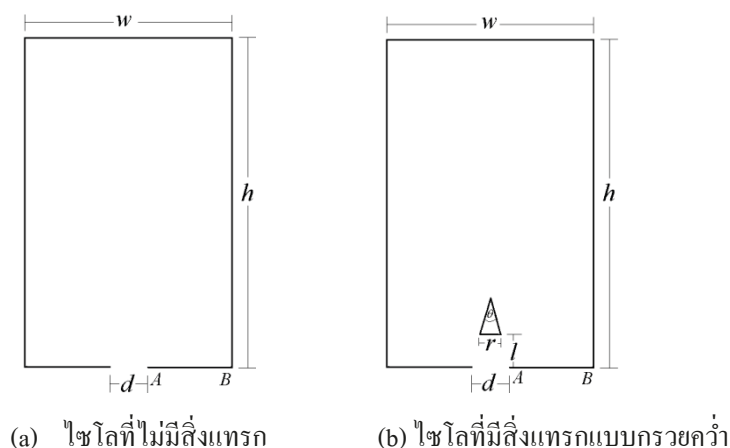
สำหรับแรงทั้งหมดที่กระทำบนผนังโซโลที่เวลา t สามารถคำนวณจากสูตร

$$\mathbf{F}_w(t) = -\frac{1}{L} \sum_{i=1}^N \mathbf{F}_{i,w}(t) \quad (14)$$

เมื่อ L คือความยาวของผนังโซโล และ N คือจำนวนของอนุภาคที่กระทำบนผนังที่เวลา t

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เราจำลองแบบเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบ 2 มิติ โดยออกแบบโครงสร้างโซโลเป็นรูปทรงกระบอกฐานเบนเรียบซึ่งทำจากแผ่นโลหะ มีความสูง (h) 100 เซนติเมตร กว้าง (w) 40 เซนติเมตรและขนาดช่องทางออก (d) มี 2 ขนาด คือ 8 และ 4 เซนติเมตร สิ่งแทรกมีรูปร่างเป็นกรวยคว่ำซึ่งมีขนาดมุมยอด (θ) ต่างกัน 2 ขนาด คือ 30 องศา และ 90 องศา และฐานกรวย (r) กว้าง 4 เซนติเมตร โดยสิ่งแทรกจะถูกวางที่ระดับความสูงจากฐานโซโลเป็นระยะ (l) ต่างกัน คือ 3 4 6 และ 8 เซนติเมตร เพื่อศึกษาค่าแรงดันที่กระทำบนฐานของโซโล ค่าแรงดันจะถูกบันทึกที่บริเวณ A ถึง B ดังภาพที่ 1 เราพิจารณาอนุภาคที่มีรูปร่างกลม โดยสมมติให้วัสดุเม็ดเป็นเมล็ดถั่วเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน สองขนาดคือ 0.6 และ 0.75 เซนติเมตร มีจำนวนเท่ากัน รวมทั้งสิ้น 4,000 เมล็ด มีความหนาแน่น (ρ) $1,033 \text{ kg/m}^3$ ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ช่วงเวลาการคำนวณ (Δt) เท่ากับ 5.271×10^{-6} วินาที และ คุณสมบัติของอนุภาคแสดงในตารางที่ 1



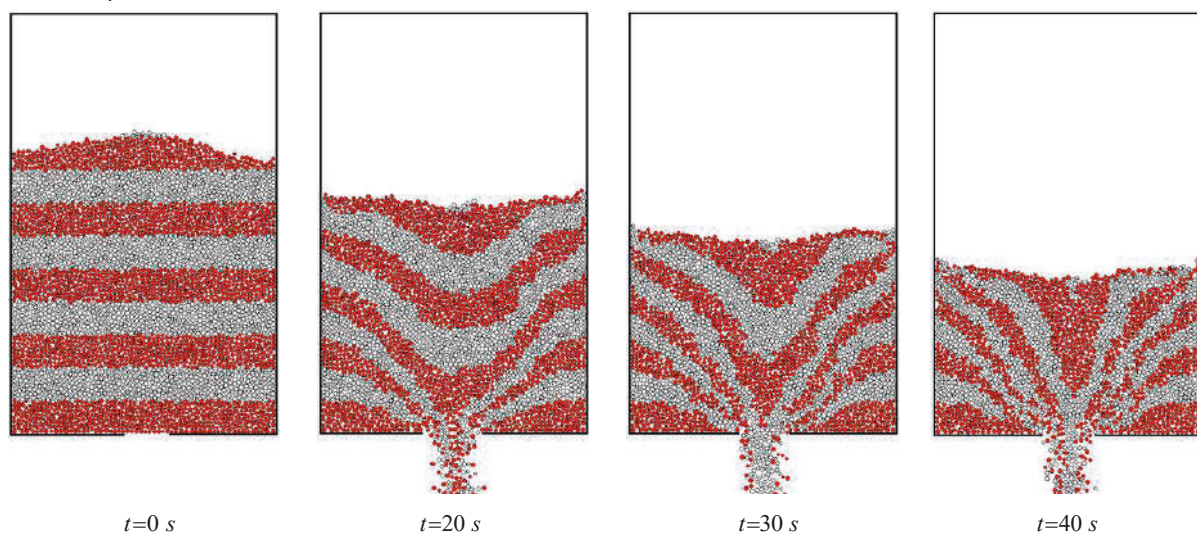
ภาพที่ 1 โครงสร้างโซโลฐานเบนเรียบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอนุภาค

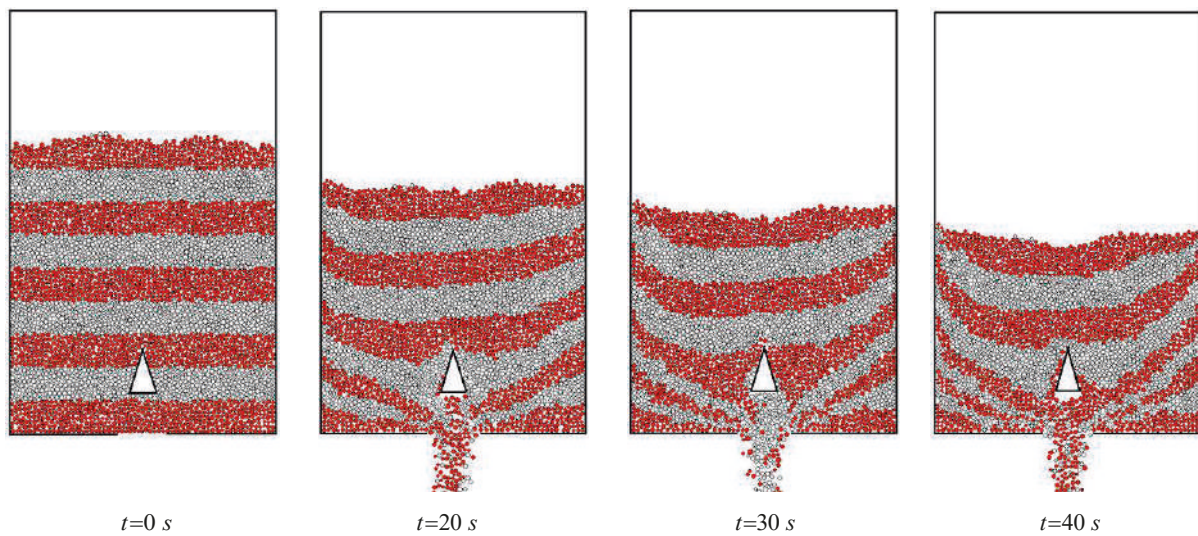
คุณสมบัติ	อนุภาค – อนุภาค	อนุภาค – ผนัง
Frictional coefficient, μ	0.33	0.35
Normal contact stiffness, k_n	$2.8322 \times 10^4 \text{ N/m}$	$5.6645 \times 10^4 \text{ N/m}$
Normal damping constant, η_n	$1.3048 \times 10^2 \text{ N/m}$	$1.3962 \times 10^2 \text{ N/m}$
Tangential contact stiffness, k_s	$2.5740 \times 10^4 \text{ N/m}$	$4.5314 \times 10^4 \text{ N/m}$

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม DEV-C++ เวอร์ชัน 4.9.9.2 สำหรับประมวลผลเฉลยเชิงตัวเลขของการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคในไซโล และใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7.8.0.347(R2009a) ในการวาดกราฟ การศึกษาการไหลของอนุภาคระหว่างกระบวนการปล่อยออก เมื่อเปิดช่องทางออกของไซโล เมล็ดถั่วเหลืองจะไหลออกจากไซโลภายใต้แรงดึงดูดของโลก ในงานวิจัยนี้เราทำการศึกษารูปแบบการไหลของอนุภาคในไซโล ดังนั้นจึงกำหนดให้อนุภาคในไซโลที่มีความสูงต่างกันมีสีแตกต่างกัน โดยใช้สีต่างกัน 2 สี คือ สีแดงและสีเทา การศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกต่อรูปแบบการไหล โดยพิจารณาไซโลมีช่องทางออกกว้าง 8 เซนติเมตร และสิ่งแทรกมีมุมยอดขนาด 30° ซึ่งวางสูงจากช่องทางออก (I) 6 เซนติเมตร ที่เวลาต่างๆ รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรก และไซโลที่มีสิ่งแทรกแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ตามลำดับ ผลการจำลองพบว่า การไหลแบบที่อธิบายเกิดขึ้นในไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรก และบริเวณมุมของไซโลจะมีอนุภาคบางส่วนไม่เคลื่อนที่ออกจากไซโล จึงทำให้เกิดบริเวณอนุภาคหยุดไหล สำหรับรูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดไซโลที่มีสิ่งแทรก พบว่า การเพิ่มสิ่งแทรกทำให้เกิดการกระจายแรงดันไปยังอนุภาคที่อยู่ใกล้ผนังไซโลมากขึ้น จึงทำให้ลดบริเวณที่เมล็ดถั่วเหลืองไม่เคลื่อนที่ในไซโลได้ ซึ่งจะนำไปสู่การไหลแบบทั้งหมด

นอกจากนี้ เรายังศึกษาผลกระทบของตำแหน่งสิ่งแทรกต่อรูปแบบการไหล โดยพิจารณาไซโลมีช่องทางออกกว้าง 4 เซนติเมตร และสิ่งแทรกมีมุมยอดขนาด 90° ซึ่งถูกวางในตำแหน่งที่สูงเหนือช่องทางออก (I) แตกต่างกัน 3 ตำแหน่ง คือ 3 4 และ 8 เซนติเมตร ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า การวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่ใกล้ช่องทางออก คือ ระยะสูง 3 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความกว้างช่องทางออกของไซโล ทำให้เกิดการอุดตันของอนุภาคในไซโลที่เวลา 65 วินาที และปิดกั้นการไหลของอนุภาคในไซโล ดังแสดงในภาพที่ 4(a) หรือการวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่สูงเป็นสองเท่าของความกว้างช่องทางออกของไซโลคือตำแหน่งสูง 8 เซนติเมตร ทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของอนุภาคในไซโลที่วินาทีที่ 5 ดังแสดงในภาพที่ 4(c) แต่การวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่ความสูงเท่ากับความกว้างช่องทางออกของไซโลคือตำแหน่งสูง 4 เซนติเมตร จะไม่เกิดการอุดตันของอนุภาคในไซโล ดังแสดงในภาพที่ 4(b)

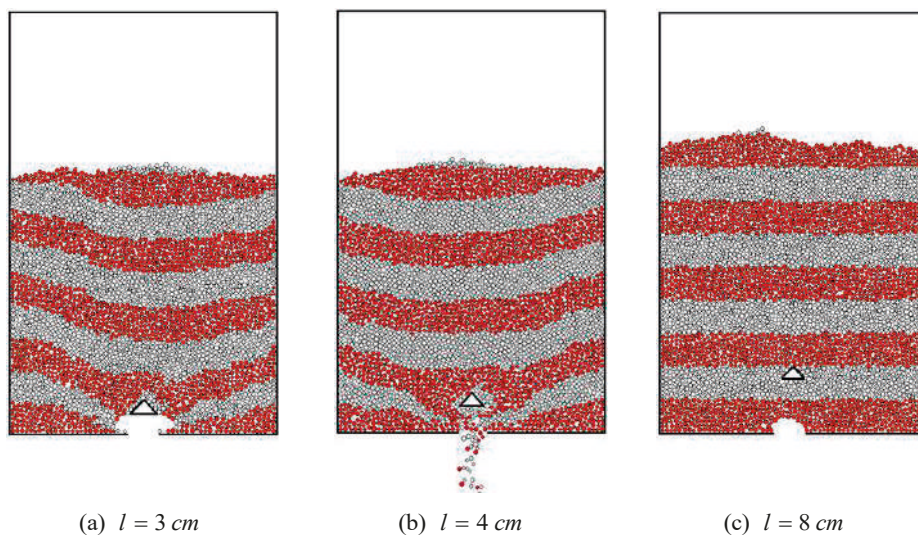


ภาพที่ 2 รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรก ($d = 8 \text{ cm}$)

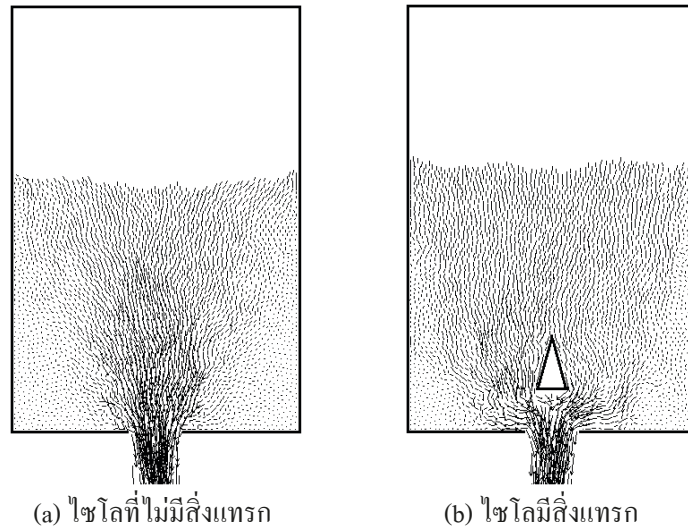


ภาพที่ 3 รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลที่มีสิ่งแทรก ($d = 8\text{ cm}$)

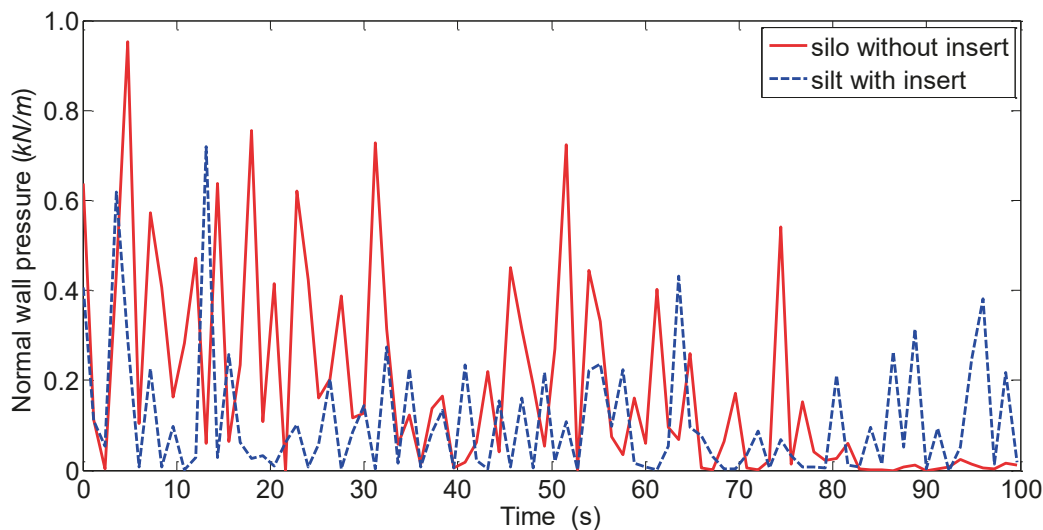
เวกเตอร์ความเร็วของวัสดุเม็ดในไซโลแสดงในภาพที่ 5 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกจะมีบริเวณที่มีเวกเตอร์ความเร็วต่ำซึ่งอยู่ใกล้บริเวณมุมของไซโลมากกว่าไซโลที่มีสิ่งแทรก ดังนั้น การเพิ่มสิ่งแทรกในไซโลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการไหลออกของวัสดุเม็ดจากไซโล ทำให้เมล็ดถั่วเหลืองเคลื่อนที่ออกจากไซโลได้ง่ายและสามารถลดบริเวณการหยุดนิ่งของเมล็ดถั่วเหลืองได้เป็นอย่างดี การคำนวณค่าแรงดันของวัสดุเม็ดที่กระทำบนผนังไซโลในบริเวณ A ถึง B แสดงในภาพที่ 6 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกจะมีค่าแรงดันสูงกว่าไซโลที่มีสิ่งแทรก ดังนั้น การเพิ่มสิ่งแทรกในไซโลสามารถลดแรงดันที่ผนังของไซโลได้



ภาพที่ 4 การอุดตันของอนุภาคในไซโลที่มีสิ่งแทรก ($d = 4\text{ cm}$, $\theta = 90^\circ$) ที่ระดับความสูง (l) ต่าง ๆ



ภาพที่ 5 เวกเตอร์ความเร็วของวัสดุเม็ดในไซโล ($d = 8 \text{ cm}$, $l = 6 \text{ cm}$, $\theta = 30^\circ$) ที่เวลา 20 วินาที



ภาพที่ 6 ค่าแรงดันบนผนังของไซโล ($d = 8 \text{ cm}$, $l = 6 \text{ cm}$, $\theta = 30^\circ$) ในช่วงเวลา 100 วินาที

การอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และการจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้วิธีดิสครีทอีลิเมนต์ การออกแบบไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกและมีสิ่งแทรกสำหรับเก็บเมล็ดถั่วเหลือง สามารถสรุปได้ว่า สิ่งแทรกมีอิทธิพลต่อรูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลและสามารถปรับปรุงรูปแบบการไหลจากการไหลแบบท่อระบายไปสู่การไหลแบบทั้งมวล สำหรับการศึกษผลกระทบของตำแหน่งของสิ่งแทรกในไซโล เราพบว่า การวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่เหมาะสมทำให้เกิดการกระจายแรงไปยังอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงของไซโล ทำให้ลดบริเวณที่อนุภาคหยุดเคลื่อนที่ได้ ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบไซโลและสิ่งแทรกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการวิจัยเงินรายได้ มหาวิทยาลัยทักษิณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัย ประเพณีทุนยุทธศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] H $\ddot{a}$ rtl, J., Ooi, J. Y., Rotter, J. M. and Wojcik, M. (2008). "The influence of a cone-in-cone insert on flow pattern and wall pressure in a full-scal silo", **Chemical engineering research and design**. 86, 370-378.
- [2] Enstad, G.G., Eiksaa, O.E. and Mosby, J. (1995). "Experimental investigations on the use of inserts in order to obtain mass flow in silos", **Rosemont Convention Center**. Chicago.
- [3] Yang, S.C. and Hsiau, S.S. (2001). "The simulation and experimental study of granular materials discharged from a silo with the placement of inserts", **Powder Technology**. 120, 244-255.
- [4] Chuayjan, W., Pothiphan, S., Wiwatanapataphee, B. and Wu, Y. H. (2010). "Numerical simulation of granular flow during filling and discharging of a silo", **International Journal of Pure and Applied Mathematics**. 63(2), 347-364.
- [5] Matuszek, D. and Tukiendorf, M. (2008). "Application of roof shaped and double cone inserts in mixing of granular elements in the flow process", **International Agro physics**. 22, 147-150.
- [6] Wojcik, M. and Tejchman, J. (2008). "Application of an Uncoupled ALE-formulation to Confined Granular Flow in Silos", **The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)**. 1-6 October, Goa, India.
- [7] Volpato, S., Artoni, R. and Santomaso, A. C. (2014). "Numerical study on the behavior of funnel flow silos with and without inserts through a continuum hydrodynamic approach", **Chemical Engineering Research and Design**. 92(2), 256-263.
- [8] Chou, C. S., Lee, A. F. and Yeh, C. K. (2009). "Placement of a non-isosceles-triangle insert in an asymmetrical two-dimensional bin-hopper", **Advanced Powder Technology**. 20, 80-88.
- [9] Cundall, P.A. and Strack, O.D.L. (1979). "Discrete numerical model for granular assemblies", **Geotechnique**. (29), 47-65.

การซ่อนข้อความ และการสกัดพร้อมการทวนสอบข้อความที่ได้ในภาพใบหน้าด้านหน้า

Concealing and Extracting with Verifying Text in Frontal Face Image

ไพจิตร กชกรจารุงพงศ์¹ และศิริพล ปัญญาธิโป²

Paijit Kochakornjarupong¹ and Siriphon Panyathipo²

บทคัดย่อ

การส่งผ่านข้อมูลผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์สาธารณะเป็นสิ่งที่จำเป็น แต่ข้อมูลอาจเกิดความเสียหายได้หากมีการเปลี่ยนหรือคัดแปลงข้อความโดยการเข้าถึงจากผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต ดังนั้นการซ่อนข้อความไว้ในภาพจะเป็นการป้องกันข้อมูลไว้ไม่ให้ข้อมูลเปิดเผยต่อบุคคลทั่วไปโดยตรง ในบทความนี้ได้อธิบายขั้นตอนวิธีการที่ใช้สำหรับซ่อนข้อความไว้ในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของรูปภาพที่ต้องการ โดยผลลัพธ์การซ่อนข้อความจะได้รูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ที่มีลักษณะเหมือนกับรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งขั้นตอนวิธีจะเริ่มจากการอ่านภาพใบหน้าด้านหน้าและอ่านข้อความที่ต้องการซ่อนแล้วนำมาคำนวณค่าแฮชของข้อความ จากนั้นข้อความและค่าแฮชจะนำมาเข้าสู่กระบวนการซ่อนข้อมูลลงในภาพที่ต้องการ เมื่อต้องการอ่านค่าข้อมูลจะนำภาพที่ซ่อนข้อมูลไว้มาเข้าสู่กระบวนการถอดข้อมูลโดยได้ผลลัพธ์เป็นค่าข้อความและค่าแฮชของข้อความ นอกจากนี้วิธีการนี้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ซ่อนไว้ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของข้อความที่ซ่อนไว้ต่างไปจากข้อความต้นฉบับหรือไม่จากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อความที่ได้กับค่าแฮชที่อยู่ในภาพ จึงทำให้ข้อมูลที่ซ่อนอยู่มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือสำหรับการป้องกันการเสียหายจากข้อมูลถูกปลอมแปลง จากการทดลองโดยใช้ภาพใบหน้าที่แตกต่างกันจำนวน 10 คนและข้อความเดียวกันพบว่าได้ผลลัพธ์รูปภาพที่ซ่อนข้อมูลไม่ต่างจากรูปภาพต้นฉบับและเมื่อถอดข้อมูลก็ได้ข้อความที่ถูกต้องครบถ้วนทั้งหมด โดยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่นๆ ต่อไปได้ เช่น การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่สำคัญ หรือการป้องกันทรัพย์สินทางปัญญา

คำสำคัญ: การซ่อนข้อความ การสกัดข้อความ การทวนสอบข้อความ ภาพใบหน้าด้านหน้า ค่าแฮช

Abstract

The transmission of data via public networks is often necessary, but such data may be easily compromised. One solution is to hide the true message in an innocent-looking image transmitted as the data. This paper describes an algorithm for concealing and extracting text in a frontal face image based around the hiding of the message. We can easily validate the hidden text by using the included hash. Our experiments use different facial images and the same hidden text to produce images that are exactly the same as the originals. This method can be easily applied to other areas, such as the protection of intellectual property.

Keywords: Concealing Text, Extracting Text, Verifying Text, Frontal Face Image, Hash Value

¹ อ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Lecturer, Dr., Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla, 90112

² Student, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla, 90112

* Corresponding author: Tel.: 074-287342. E-mail address: paijit@coe.psu.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตมีความครอบคลุมหลากหลายช่วยอำนวยความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น จึงเป็นวิธีการสื่อสารข้อมูลที่สำคัญที่บุคคลต่างๆ ใช้เป็นช่องทางหลักในการส่งข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกันที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ต เช่น อีเมล, การส่งข้อมูลทางเว็บไซต์, การสนทนาทางสื่อสังคมออนไลน์ เป็นต้น ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ง่าย สะดวกและ รวดเร็ว แต่ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต คือ การคุกคามความปลอดภัยของข้อมูลสำคัญ เช่น ข้อมูลส่วนบุคคลหรือข้อมูลที่เป็นความลับอาจจะถูกขโมย หรือโดนเปลี่ยนแปลงทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนเสียหายได้ ดังนั้นการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการป้องกันข้อมูลและการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลจึงได้มีการนำวิธีที่จะซ่อนข้อความในภาพ ซึ่งจะเป็วิธีที่ทำให้ไม่ต้องใช้การส่งข้อมูลที่มีการเข้ารหัสข้อมูลเป็นพิเศษทำให้ข้อมูลเปลี่ยนไปจากเดิมจนอาจทำให้เกิดความสงสัยให้ผู้ดักจับข้อมูลที่ส่งได้ โดยการใช้วิธีการอำพรางข้อมูล (Steganography) กับภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลมาใช้ในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การใช้และส่งภาพใบหน้าของบุคคลได้ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อเป็นการแนะนำบุคคลและเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้สำหรับระบุตัวตนของบุคคลในการใช้งานระดับนานาชาติอย่างแพร่หลาย [1] ภาพใบหน้าเป็นส่วนหนึ่งที่จะต้องมีการบันทึกไว้ในหนังสือเดินทาง หรือ บัตรประจำตัวของบุคคลทุกคน

วิธีการอำพรางข้อมูลสามารถที่จะซ่อนข้อความที่ต้องการให้เป็นความลับไว้ในรูปภาพได้โดยไม่ทำให้ภาพมองเห็นเปลี่ยนไปจากเดิม [2-4] ซึ่งจะช่วยให้ยากต่อการสังเกตเห็นได้ จึงทำให้ลดโอกาสสำหรับการถูกขโมย หรือเปลี่ยนแปลงข้อความ อันจะเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับข้อมูล

ในการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเหมือนกันระหว่างข้อมูลที่ได้รับกับต้นฉบับเป็นการยืนยันได้ว่าข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้อง วิธีที่จะตรวจสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความปลอดภัยสูงเป็นการใช้ค่าแฮช (Hash Value) ที่ได้จากขั้นตอนวิธีแฮช (Hash Algorithm) [6-7] ที่สามารถยืนยันความเหมือนกันของข้อมูลได้

วิธีการที่น่าสนใจนี้เป็นการศึกษาข้อมูลและทดลองพัฒนาจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีมาก่อนหน้านี้ ซึ่งได้มีการซ่อนข้อความในภาพและมีการเพิ่มเติมให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อความที่ซ่อนหลังจากได้รับว่ามีค่าถูกต้องตามขั้นตอนวิธีแฮช วิธีการซ่อนข้อความที่ทวนสอบได้ในภาพใบหน้าด้านหน้านี้เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ในการนำไปใช้ในหลายด้าน เช่น ใช้สำหรับการรักษาความปลอดภัยข้อมูลอื่น ๆ ต่อไป การใช้ประยุกต์สำหรับการป้องกันการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา เป็นต้น วิธีการที่น่าสนใจนี้จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจเพื่อที่จะนำไปใช้ในงานอื่น ๆ ที่ประยุกต์เกี่ยวข้องกับใช้การประมวลผลภาพเพื่อรักษาความปลอดภัยของข้อมูลต่อไป

งานที่เกี่ยวข้อง

มีผู้นำเสนอการซ่อนข้อมูลในภาพด้วยการซ่อนไว้ในจุดภาพ [2-5] ซึ่งผลที่ได้ทำให้สามารถซ่อนข้อความในภาพต้นฉบับได้โดยผู้ใช้ทั่วไปไม่ทราบว่ามีข้อมูลซ่อนอยู่ วิธีการ LSB (Least Significant Bit) เป็นการเลือกตำแหน่งที่จะใส่ข้อมูลลงในจุดภาพทำให้ภาพที่ซ่อนข้อมูลแล้วยังเหมือนกับภาพต้นฉบับ [2-5] ทั้งนี้เมื่อเทียบกับวิธีอื่นวิธีการ LSB มีจุดเด่นที่มีการประมวลผลที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งภาพผลลัพธ์มีขนาดเท่าเดิมและภาพที่ได้ไม่แตกต่างกับภาพต้นฉบับเมื่อมองด้วยตา [2, 5] อย่างไรก็ตามข้อความที่ซ่อนไว้ในภาพที่ได้รับอาจเกิดการผิดพลาดหรือเปลี่ยนแปลงจากข้อความเดิมเมื่อมีการส่งภาพไปยังบุคคลอื่นจากการสื่อสารหรือการถูกแก้ไข

สำหรับการใช้ภาพใบหน้าสำหรับการซ่อนข้อมูล มีผู้นำเสนอการใส่ค่าของกุญแจลับ (Secret Key) ที่ได้จากภาพใบหน้าใส่ลงในรหัส QR (Quick Response Code) ซึ่งจะต้องใช้ทั้งภาพใบหน้าและรหัส QR เพื่อส่งข้อมูล [7] ซึ่งไม่สามารถประมวลผลข้อมูลที่ต้องการภายในภาพเดียวได้

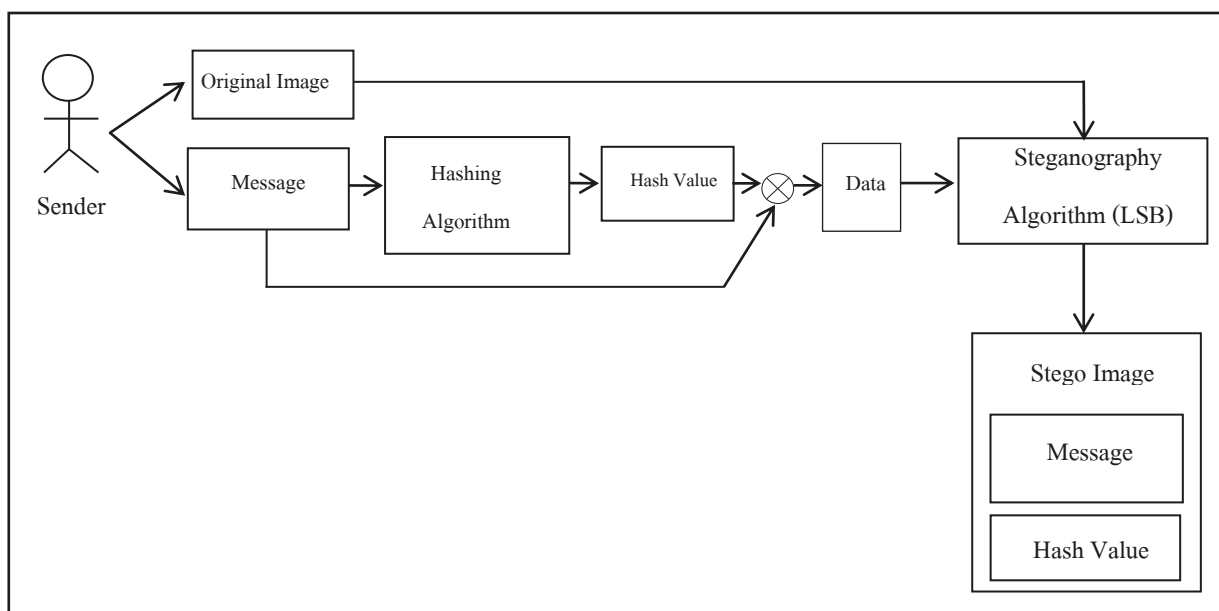
บทความนี้จะนำเสนอวิธีการซ่อนข้อความในภาพที่รูปภาพที่ซ่อนข้อมูลอยู่จะมีลักษณะเหมือนกับรูปภาพต้นฉบับ และสามารถยืนยันความถูกต้องของข้อความที่ซ่อนไว้ได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อความที่ซ่อนไว้หรือไม่โดยใช้เพียงการตรวจสอบจากภาพผลลัพธ์ที่ได้

วิธีการซ่อนและตรวจสอบข้อมูล

วิธีการซ่อนและตรวจสอบข้อมูลจะเป็นการซ่อนข้อความลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลแบบอัตโนมัติ โดยการนำข้อความที่ต้องการซ่อนลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคล ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะเป็รูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ (Stego Image) ที่มีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งวิธีการทำงานที่นำเสนอประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการซ่อนข้อมูล (Hiding Process) และขั้นตอนการถอดข้อมูล (Extraction Process)

1. ขั้นตอนการซ่อนข้อมูล

การซ่อนข้อมูลมีขั้นตอนขั้นตอนเฉพาะส่วนของการซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลแบบอัตโนมัติที่เสนอดังภาพที่ 1



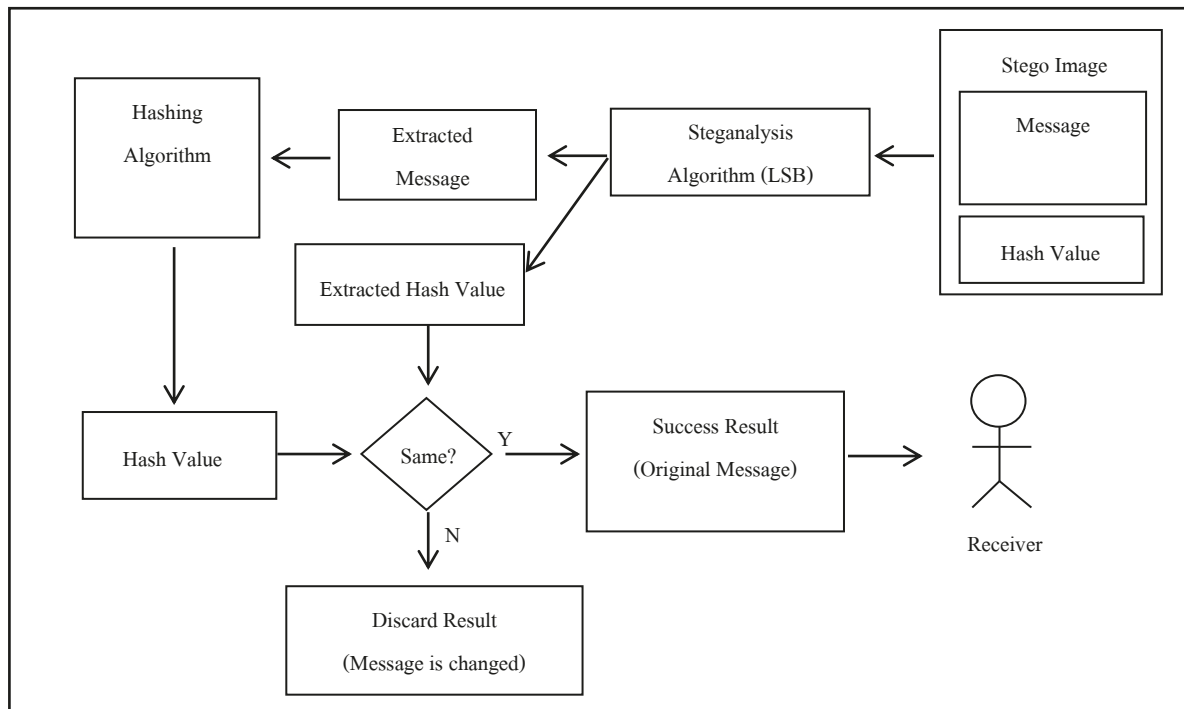
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการซ่อนข้อมูล

สรุปขั้นตอนการซ่อนข้อมูล

- เริ่มจากผู้เลือกรูปภาพใบหน้าที่ต้องการซ่อนข้อมูลและข้อความที่ต้องการซ่อน
- คำนวณค่าแฮช (Hash Value) ด้วยวิธีแฮช โดยวิธีแฮชแบบ SHA (Secure Hash Algorithm) เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยม และได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และเป็นวิธีที่มีความสามารถรับสายอักขระได้จำนวนมากที่มีขนาดต่างกันแต่ได้ผลลัพธ์ค่าแฮชที่มีความยาวเท่ากัน การใช้ SHA256 จะได้ค่าแฮชจำนวน 256 บิต และโอกาสที่เกิปัญหการซ้ำกันของค่าแฮชน้อยกว่าแบบ MD5 [8]
- รวมข้อความที่ต้องการซ่อนกับค่าแฮช
- ทำการซ่อนข้อความโดยการอำพรางข้อมูลด้วย วิธี LSB โดยการซ่อนข้อมูลไว้ที่บิตสุดท้ายของแต่ละจุดภาพในรูปภาพ โดยจะใส่ใน LSB (Least Significant Bit) ของค่า Pixel สีของรูปภาพ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าบิตสุดท้ายของจุดภาพจะไม่สามารถมองเห็นถึงความแตกต่างของภาพไปจากเดิม [2] จึงทำให้สามารถนำเอาข้อมูลมาใส่ไว้ในภาพโดยไม่เพิ่มขนาดของภาพซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นภาพที่มีการซ่อนข้อความและค่าแฮชไว้แล้ว

2. ขั้นตอนการถอดข้อมูล

การถอดข้อมูลจะนำภาพที่มีการซ่อนข้อมูลแล้วมาประมวลผลกับขั้นตอนเฉพาะส่วนของการถอดข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการถอดข้อมูล

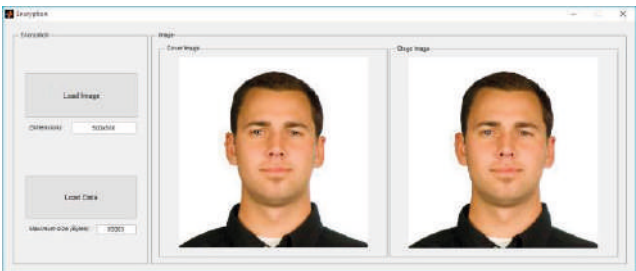
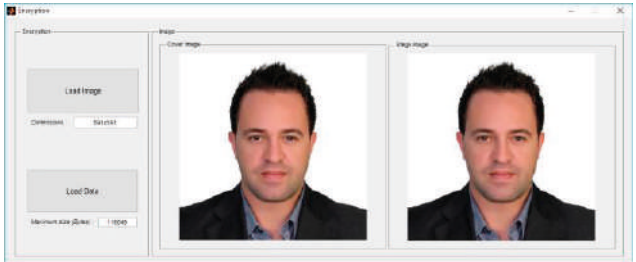
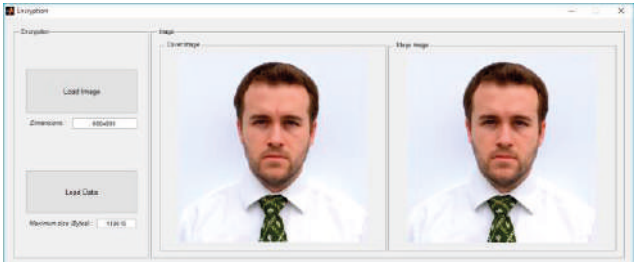
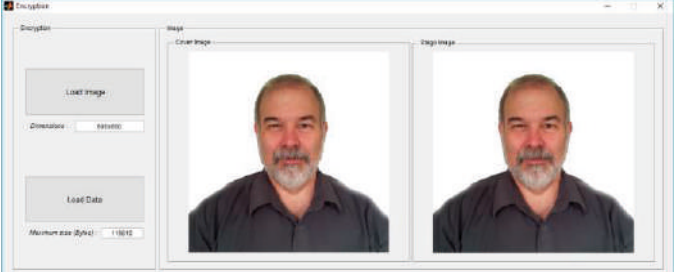
สรุปขั้นตอนการถอดข้อมูล

- เริ่มนำรูปภาพใบหน้าที่มีการซ่อนข้อมูลมาเข้าวิธีถอดข้อมูลที่อ้างไว้ด้วยวิธี LSB ที่นำข้อมูลบิตสุดท้ายของแต่ละจุดภาพในรูปภาพมาเป็นข้อความและค่าแฮช
- คำนวณค่าแฮช (Hash Value) ของข้อความที่ถอดข้อมูลออกมาด้วยวิธีแฮช โดยวิธีแฮชแบบ SHA256
- เปรียบเทียบค่าแฮชที่ได้จากการถอดข้อมูลกับค่าแฮชที่คำนวณจากข้อความที่ถอดข้อมูลออกมา
 - หากมีค่าเหมือนกันแสดงว่าข้อความถูกต้องตามต้นฉบับให้แสดงเพื่อนำไปใช้ต่อได้
 - หากมีค่าต่างกันแสดงว่าเกิดข้อผิดพลาดของข้อความที่ถอดได้กับข้อความต้นฉบับมีค่าแฮชต่างกันให้ยกเลิกการใช้งานข้อความที่ถอดข้อมูล

ผลการทดสอบ

ในการทดสอบวิธีการ ซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าที่ด้านหน้าของบุคคลแบบอัตโนมัติได้นำรูปภาพใบหน้าที่ด้านหน้าของบุคคลจำนวน 10 คน มาใช้ในการทดสอบซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพ ข้อมูลที่ซ่อนเป็นรูปแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Group) โดยข้อมูลเดียวกันที่ใช้ซ่อนจะประกอบไปด้วยตัวอักษรทั้งภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และตัวเลข ผลลัพธ์จะได้รูปภาพที่ไม่บีบอัดข้อมูลในรูปแบบ PNG (Portable Network Graphics) ที่เป็นที่ยอมรับสำหรับการประมวลผลภาพขั้นสูง [9] สำหรับการแสดงผล 4 ตัวอย่างรูปภาพต้นฉบับและรูปภาพผลลัพธ์จากการซ่อนข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

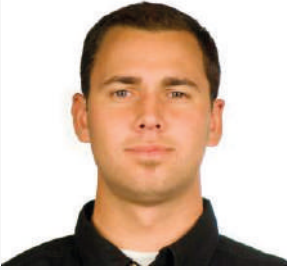
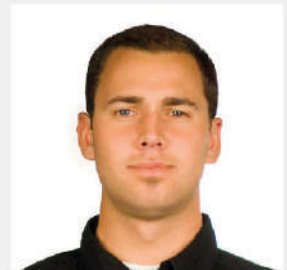
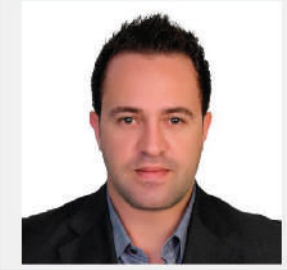
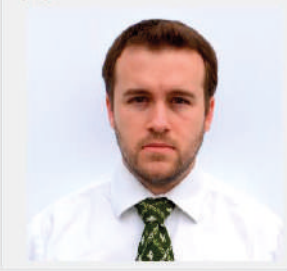
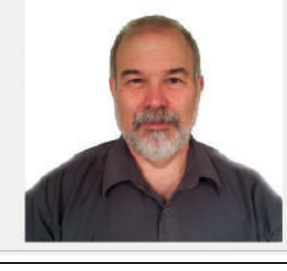
ตารางที่ 1 ผลการทดลองซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้า

รูปที่	รูปภาพต้นฉบับ	ผลลัพธ์ของการทดลอง
1		
2		
3		
4		

จากตารางที่ 1 แสดงว่าผลการทดลองสามารถซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลได้ โดยได้ผลลัพธ์เป็นรูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ มีลักษณะไม่ต่างไปจากรูปภาพต้นฉบับ หรือเปลี่ยนแปลงน้อยในลักษณะที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

สำหรับการทดลองถอดข้อมูลจากภาพที่มีการซ่อนข้อมูลของตัวอย่าง 4 ภาพแสดงได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองถอดข้อมูลจากรูปภาพใบหน้าด้านหน้าที่มีการซ่อนข้อมูล

รูปที่	รูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่	ผลลัพธ์ของการทดลอง
1		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890
2		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890
3		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890
4		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890

ผลการทดลองได้ผลลัพธ์ค่าแฮชเดียวกันทั้งหมด คือ 79bd6c691e51332d13904671f91883d7 ซึ่งจากตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ซ่อนอยู่เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด แสดงว่าวิธีการถอดข้อมูลสามารถถอดข้อมูลออกจากรูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ ได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน สมบูรณ์ และได้ภาพผลลัพธ์ที่ถูกต้องในทุกภาพ

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนการซ่อนข้อมูลที่ต้องการและข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องในภาพ โดยจะการอ่านภาพใบหน้าด้านหน้าที่ต้องการซ่อนข้อความและอ่านข้อความที่ต้องการซ่อนแล้วจะมีการคำนวณค่าแฮชของข้อความ จากนั้นข้อความและค่าแฮชจะนำมาเข้าสู่กระบวนการซ่อนข้อมูลลงในภาพที่ต้องการ ผลลัพธ์จะได้เป็นภาพที่ซ่อนข้อมูลที่มองเห็นไม่ต่างไปจากภาพต้นฉบับและสามารถนำไปใช้สำหรับใช้งานต่อไปได้ เมื่อต้องการจะอ่านข้อความก็จะนำภาพที่ซ่อนข้อมูลไว้มาเข้าสู่กระบวนการถอดข้อมูลโดยได้ผลลัพธ์เป็นข้อความและค่าแฮชของข้อความ จากการทดลองกับ

ภาพใบหน้าที่แตกต่างกันจำนวน 10 คนและใช้ข้อความที่ซ่อนเหมือนกันพบว่าได้ผลลัพธ์รูปภาพที่ซ่อนข้อมูลไม่ต่างจากรูปภาพต้นฉบับและเมื่อถอดข้อมูลก็ได้ข้อความที่ถูกต้องครบถ้วนและได้ค่าแฮชตรงกันกับข้อความที่ซ่อนกับค่าแฮชที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมด

ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถซ่อนข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ซ่อนถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อความที่ซ่อนไว้กับภาพหรือไม่ได้อย่างถูกต้อง จึงทำให้ข้อมูลที่ซ่อนอยู่มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือสำหรับการป้องกันการปลอมแปลงหรือคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่นๆ ต่อไปได้ เช่น การส่งข้อมูลที่สำคัญ หรือการตรวจสอบการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาเป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีที่นำเสนอนี้ไม่ได้รวมถึงการระบุความผิดปกติของข้อมูลว่ามีการผิดพลาดอย่างไร ดังนั้นการระบุความผิดปกติของข้อมูลจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มเติมวิธีการวิเคราะห์อื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hirzer, M., Urschler, M., Bishof, H., and Birchbauer, J. A. (2009). "An automatic hybrid segmentation approach for aligned face portrait images", In **Proceedings of the workshop of the Austrian association for pattern recognition**. 49-60.
- [2] K.Thangadurai and G.Sudha Devi. (2014). "An analysis of LSB Based Image Steganography Techniques", In **International Conference on Computer Communication and Informatics**. 1-4.
- [3] Chi-Kwong Chan and L.M. Cheng. (2004). "Hiding data in images by simple LSB substitution", **Pattern Recognition**. 37(3), 469-474.
- [4] M. S. Sutaone and M. V. Khandare. (2008). "Image based steganography using LSB insertion technique", In **2008 IET International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks**. 146-151.
- [5] G. Vanjare and S. Gharge. (2015). "Performance Evaluation of LSB Substitution and DWT Method for Steganography", **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**. 5(3), 699-705.
- [6] P. Vadhera and B. Lall. (2014). "Review Paper on Secure Hashing Algorithm and Its Variants", **International Journal of Science and Research**. 3(6), 629-632.
- [7] S. Aygün and M. Akçay. (2015). "Securing biometric face images via steganography for QR code", In **8th International Conference on Information Security and Cryptology**, 128-133.
- [8] S. Aggarwal, N. Goyal, and K. Aggarwal. (2014). "A review of Comparative Study of MD5 and SHA Security Algorithm", **International Journal of Computer Applications**. 104(14), 1-4.
- [9] H. Mao, Z. Hu, L. Zhu and H. Qin. (2012). "PNG File Decoding Optimization Based Embedded System", In **8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing**. 1-4.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

กชกร เพชรสุวรรณ	Kochakorn Petchsuwan	133
กนกกร สินมา	Kanokkorn Sinma	95
กนกวรรณ ชุมอินทร์	Kanokwan Chum-in	159
กมล ทัลวัลย์	Kamon Tanlawan	245
กมลชนก ขำแก้ว	Kamolchanok Khamkaew	308
กมลชนก ฤทธิเดช	Kamonchanok Rittidech	184
กิตติพงษ์ น้ำจันทร์	Kittipong Namjan	269
เกรียงไกร แสงไข่	Kriangkrai Saengkai	86
เกษม เปรมประยูร	Kasem Premprayool	245
จอมภพ แวศักดิ์	Jompob Waewsak	261
จารุณี เขียววาริสัจจะ	Jarunee Chiayvaresajja	43
จิตรรา จันโสด	Jitra Jansote	103, 109
จิรารัตน์ สองสี	Jirarat Songsri	169
จิราวรรณ คำธร	Jirawan Khamthorn	8
ฉัตร ผลนาค	Chat Pholnak	261
ชนิดา จันมณีย์	Chanida Junmanee	300
ชัชวาล วงศ์ชูสุข	Chatchawal Wongchoosuk	114
ชากรณ์ ขันแก้ว	Chakorn Kunkaew	70
โชคชัย เหมือนมาศ	Chokchai Mueanmas	201
ณัฐนันท์ เทียงธรรม	Nattanan Tiengtam	8
ดวงใจ พิสุทธิธาราชัย	Duangjai Pisuttharachai	1, 34
ดวงดาว อุปสิทธิ์	Duangdao Upasit	43
เดือนตา ร่าหมาน	Tueanta Ramarn	51
ถาวร จันทโชติ	Thavorn Juntachote	141
ทวี นิยมอ้อย	Tawee Chimoye	269
ธงชัย มาลา	Thongchai Mala	95

ธัญญา เสาวภาคย์	Thanunya Saowapark	193
ธนากร เหมะสกล	Tanakorn Haemasaton	1, 34
ธนาวุธ บุญลิปตานนท์	Thanawut Bunliptanon	308
ธนิกันต์ ไชยโห้ะ	Thanikarn Chaiho	184
ธัญรัตน์ มะเสน	Thanyarat Masen	17
นพมาศ ปักเข็ม	Noppamas Pukkhem	300
นพฤทธิ์ ช่างคิด	Nopparit Changkit	220
นริศรา จำปา	Naritsara Champa	95
นววรรณ บางโป่ง	Nawawan Bangpong	284
นันทน์กัศ เพชรมณี	Nannapas Pengmanee	254
น้ำผึ้ง ชมภูเขียว	Namphueng Chomphukhiao	77
นิคม ชูศิริ	Nikom Choosiri	211
นิรันดร์ กองเงิน	Nirundorn Kongngoen	70
นุจรี เกตุราช	Nudcharee Kadrat	124
นุรดินา จารง	Nurdina Charong	176
บุษกร อุตริชาติ	Bussakorn Utarapichat	133
เบญจกรณ์ ตุ่นภักดี	Benjaporn Thunpakdee	284
ปฐมา กนกนาค	Pattama Koknak	133
ปนัดดา พรหมจรรย์	Panadda Promjan	133
ประสงค์ เกษราธิคุณ	Prasong Kessaratikoon	211, 220
ปราณี หนูทองแก้ว	Pranee Nutongkaew	261
ปวีณา ตปนิยวรวงศ์	Paveena Tapaneeyaworawong	17
ปิยะวิทย์ อรชร	Piyawit Orachorn	168
เปลื้อง สุวรรณมณี	Plaung Suwanmanee	103, 109, 114
พรพิมล มะยะเขียว	Pornpimon Mayachiew	124
พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง	Pornpairin Rungcharoenthong	86
พรสุดา กรดสัน	Pornsuda Krodsan	236
พิไลวรรณ ประพฤติ	Pilaiwan Prapruit	159

พีรนาฏ คิด้ดี	Peeranart Kiddee	51
ไพจิตร กชกรจารุงพงศ์	Paijit Kochakornjarupong	336
ภัทรกร วัฒนกุล	Pattarakorn Watanakul	133
มนู เฟื่องฟู้ง	Manu Fuangfoong	269
มลธิรา พรหมกันท์	Moltira Promkan	176
มะลิวัลย์ คุตะโค	Maliwan Kutako	17
มารีนา มะหนิ	Marina Mani	254
มูรณี ดาโอะ	Murnee Daoh	211
รวมพร นิคม	Ruamporn Nikhom	201
รังสิตา หาญพันธุ์	Rangsita Hanphan	114
รัชฎาภรณ์ ทองจันทร์แก้ว	Ratchadaporn Thorngjankeaw	124
รุ่งทิwa กองเงิน	Rungtiwa Kongngoen	149
ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ	Ruthairat Boonkrongcheep	211, 220
วรพงษ์ นลินานนท์	Warrapong Nalinanon	25, 61
วารangkana ช้างลก	Warangkana Chunglok	176
วารภรณ์ ผาลี	Waraporn Phalee	8
วันชาติ สุวตธี	Wanchart Suwatthee	70
วันเพ็ญ จันทรังษิ	Wanpen Chantarangsi	317
วศพล สมใจ	Wassapon Somjai	245
วานิด รอดเนียม	Wanit Rotnium	103, 109
วาเรียม ช่วยจันทร์	Wariam Chuayjan	327
วิระภรณ์ ไหมทอง	Wiraporn Maithong	284
วิรัตน์ ช่วยชุมชาติ	Virat Charychumchat	103
ศักดิ์ เพชรสุข	Sak Pechsuk	103
ศิริพล ปัญญาธิโป	Siriphon Panyathipo	336
ศิริลักษณ์ ช่วยพ้ง	Sirilak Chuaypanang	51
สิวกร อุษุย	Sivakorn Ouisui	300
ศุภกร กตาทิการกุล	Supagone Katathikarnkul	254
ศุภชัย นิตินันท์	Supachai Nitipan	133

ศุภชัย อำคา	Suphachai Amkha	86, 95
สมพล ชีวมงคลกานต์	Somphol Cheewamongkolkarn	261
สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ	Sommaï Chiayvareesajja	43
สรวิศ เผ่าทองสุข	Sorawit Powtongsook	17
สรารุท คำพูน	Sarawut Khampush	8
สายชล เลิศสุวรรณ	Saichon Lerdsuwan	25, 61
สิทธิพงษ์ พลธรรม	Sitthipong Polthum	220
สิริรัตน์ พึ่งชมภู	Sirirat Pungchompoo	184
สุชิน อุดมสมพร	Suchin Udomsomporn	211
สุดา เจริญมนตรี	Suda Thernmontri	308
สุทธีวัฒน์ ทองนาค	Sutthiwat Thounak	327
สุพรรณิณี ลีโทชาลิต	Supanee Leethochavalit	17
สุมนชา กล้าคง	Sumonta Klakong	168
สุริยาพร หอมเขียน	Suriyaporn Homkeing	193
สุวนิตย์ วัฒนตั้งษ์	Suwanit Wutsang	284
สุวิทย์ คงภักดี	Suwit Khongpugdee	254
โสภณ อุไรชื่น	Sopon Uraichuen	77
วันดีศักดิ์ ปะดุกา	Wantaskeen Paduka	168
อดิเทพชัยการณ ภาชนะวรรณ	Adithepchaikarn Pachanawan	8
อนวัทย์ ชาติ	Anawat Phalee	8
อนรรักษ์ อุดมเวช	Anurak Udomvech	15, 228, 228, 236, 245
อนุสา แก้วสมทอง	Anusa Kaewsomtong	228
อภิชาติ สุขสำราญ	Apichart Suksamrarn	176
อรยา ปรีชาพานิช	Oraya Preechapanich	308
อรอนงค์ ชุมพล	Onanong Chumpon	275
อาจารย์ นาโค	Ajaree Naco	292
อาชีเย๊ะ หะมะ	Arseeyoh Ha-ma	168
อุดร ยังช่วย	Udorn Youngchauly	220

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
<i>Bacillus subtilis</i>	95
<i>bla</i> _{OXA-25}	168
DFTB	275
Fuse Deposition Manufacturing	245
M35	284
<i>Rhizoctonia solani</i>	95
<i>Sclerotium rolfsii</i>	95
SKBR-3	176
Unity3D	236
กรดไขมันอิสระ	201
กระจุกดาวเปิด	284
กล้วยไข่	141
กล้องดิจิทัล DSLR	284
กัมมันตภาพจำเพาะ	211, 220
กากกาแฟ	201
กากน้ำตาล	70, 193
การออก	86
การจำแนกประเภท	300
การเจริญเติบโตและผลผลิต	109
การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต	103
การช้อนข้อความ	336
การดูดกลืนแสง	275
การทดสอบโดยใช้ภาพ	317
การทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ	308
การทวนสอบข้อความ	336
การทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน	201
การบำบัดแอมโมเนีย	17
การฟัรฟิรทเมนต์	141
การพิมพ์สามมิติ	245
การรับมือ	159
การวัดความจุไฟฟ้า	254
การวัดระดับน้ำ	254

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงชั้น	184
การศึกษาที่สนุกสนาน	236
การศึกษาแบบ STEAM	245
การสกัดข้อความ	336
เกมสมรรถนะประจุไฟฟ้า	236
เกมมาสเปกโตรเมตรี	220
แกรฟีน	269
แกรฟีนนาโนฟิลลาร์	275
ไก่อเนื้อ	61
ขนมขบเคี้ยว	149
ข้าวเคมี	114
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	103
ข้าวสังข์หยด	109, 124
ข้าวสังข์หยดพัทลุง	114
ข้าวหอมนิล	124
ข้าวอินทรีย์	114
ครัวเรือนเกษตรกร	159
ความชุก	8
ความเปราะบาง	159
ความหนาแน่น	8
ค่าการหดตัว	141
ค่าแฮช	336
คุณภาพ	124, 133
คุณภาพซาก	25, 61
เครื่องพิมพ์สามมิติ	245
แคดเมียม	34
โคนมรุ่น	70
จมูกอิเล็กทรอนิกส์	114
จลนพลศาสตร์	17
จังหวัดนครพนม	8
จำนวนต้นกล้าต๋อ	106
จุลชีววิทยา	133
ช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้น	317

ชาลโคน	176
ชีววิทยาการสืบพันธุ์	43
ซิลิคอน	86
เซลล์แสงอาทิตย์	261, 275
โซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งไทย	184
โซ่อุปทานความร่วมมือ	184
ไซโล	327
ดินตะกอน	17
ต้นกล้าพริก	86
ด๊ับ	34
เต้าคว่ำ	133
ไทรโคเดอร์มา	82, 211
ทรายชายหาดผิวหน้า	211
เทคนิคการพับฟิง	141
เทคโนโลยีดิจิทัล	236
น้ำมันสกัดจากกากกาแฟ	201
นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น	211
เนื้อสัมผัส	141
บ่อเลี้ยงกุ้งขาว	17
บ้านโหล๊ะหาร	159
แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ	308
ใบกระถินป็น	61
ไบโอดีเซล	201
ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต	25
ประสิทธิภาพของระบบ	261
ปราชญ์ชาวบ้าน	292
ปลาจวด <i>Johnius carouna</i> (Cuvier, 1830)	43
ปลานิล	25, 34
ป่าชายเลน	51
ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า	95
ปุ๋ยอินทรีย์	103
ปุทะเล	1
ปูนา	8

แป้งขุบทอด	124
โปรแกรม Pvsyst	261
ผงคาร์บอน	193
ผลผลิต	1
แผนภาพความน่าจะเป็นปกติ	317
แผนภาพทางรังสี	211
พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก	8
พัทลุง	292
พื้นที่ต้นน้ำ	159
เพลงค์คอนสแตนต์	51
ฟิสิกส์ของประจุไฟฟ้า	236
ภาพใบหน้าด้านหน้า	336
ภูมิปัญญาท้องถิ่น	292, 300
มะเขือเทศ	95
มะเร็งเต้านม	176
มูลสุกรแห้ง	70
เมล็ดถั่วเหลือง	327
โมเมนต์ของแรง	228
ไมโครเวฟพลาสมา	269
ยางไนไตรล์	193
ซินเมทัลโลไซโอไนน์	34
ระบบฐานความรู้	292
ระบบแบบทดสอบออนไลน์	308
ระยะทาง	284
ระยะปลูก	103
รามานสเปกโตรสโคปี	269
วงจรรีดิจ์	254
วัสดุหลบซ่อน	1
วิธีดิสกรีทอิลิเมนต์	327
ศิลปะและวัฒนธรรม	292
เศษตกค้าง	317
สเคลอโรเทียม	86
สมรรถภาพการผลิต	61

สับปะรด	149
สารตัวเดิม	193
สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์	114
หนอนหัวด้ามะพร้าว	77
หม้ออบลมร้อน	149
หัวคั้วรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง	220
เหมืองข้อมูล	300
องค์ประกอบในกระเพาะอาหาร	51
อีอกซาซาลินีส	168
อะซีนีโดแบคเตอร์ บอแมนนิไอ	168
อัตราส่วนสมรรถนะ	261
อายุ	284
อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกริด	261
เอนไซม์ย่อยเยื่อใย	25
แอนดรอยด์	228
แอปพลิเคชัน	228

Keywords Index	Page
3D Printer	246
3D Printing	246
<i>Acinetobacter baumannii</i>	169
Adaptive Testing	309
Age	284
Ammonia Treatment	18
Amusement Educational Game	237
Android	229
Anthropogenic Radionuclide	212
Applications	229
Art and Culture	292
<i>Bacillus subtilis</i>	96
Banana	142
Biodiesel	201
Black Rice Crab	8

<i>bla</i> _{OXA-25}	169
<i>Bracon hebetor</i>	78
Breast Cancer	177
Bridge Circuit	254
Broilers	62
Cadmium	35
Capacitance Measurement	254
Carbon Powder	194
Carcass Quality	26, 62
Caroun Croaker	44
CFA	185
Chalcone	177
Chemical Rice	115
Classification	300
Concealing Text	336
Convection Oven	150
Coping Capacity	160
Copper	35
Crispy	150
Data Mining	300
DFTB	276
Discrete Element Method	327
Distance	284
Dried Pig Manure	70
DSLR Camera	284
Electronic Nose	115
Extracted Oil from Waste Coffee Grounds	201
Extracting Text	336
Farming Households	160
Fibrolytic Enzyme	26
Filler	194
Folk Philosophy	292
Free Fatty Acid	201

Fried Batter	125
Frontal Face Image	336
Fuse Deposition Manufacturing	246
Gamma Spectrometry	221
Geological Index	115
Germination	87
<i>Goniozus nephantidis</i>	78
Graphene	269
Graphene Nanopillars	276
Graphical Test	317
Grid-Connected Inverter	262
Grower Dairy Cattle	70
Growth and Yield	109
Growth and Yield Components	104
Growth Performance	26
Hash Value	336
High-Purity Germanium Detector (HPGe)	221
Homnil Rice	125
Intensity	9
<i>Johnius carouna</i> (Cuvier, 1830)	44
Kinetics	18
Knowledge Based System	292
Leucaena Leaf Meal	62
Liver	35
Lo Han Village	160
Local Wisdom	292
M35	284
Mangrove	52
Metallothionein	35
Microbiology	134
<i>Microphaloides</i> spp.	9
Microwave Plasma	229
Molasses	70, 194

Moment of Force	229
Mud Crab	1
Nakhon Phanom Province	9
Nile Tilapia	26
Nitrile Rubber	194
Normal Probability Plot	317
Numbers of Seedlings per Hill	109
Online Testing System	309
Open Cluster	284
<i>Opisina arenosella</i>	78
Optical Absorption	276
<i>Oreochromis niloticus</i>	35
Organic Fertilizer	104
Organic Rice	115
Oxacillinase	169
Pepper Seedling	87
Performance Ratio	262
Phatthalung	292
Photovoltaic Cells	276
Physics Education	237
Physics of Electric Charges	237
Pineapple	150
Pretreatment	142
Prevalence	9
Productivity	1
Prouction Performance	62
Puffing	142
PVsyst Program	262
Quality	125, 134
Radioactive Contour Map	212
Raman Spectroscopy	269
Reproductive Biology	44
Residuals	317

<i>Rhizoctonia solani</i>	96
Riceberry	104
Sangyod Rice	109, 125
Sangyod Rice of Phattalung	115
<i>Sclerotium</i>	87
<i>Sclerotium rolfsii</i>	96
Sediment	18
Sequential Probability Ratio Test Model	309
Shelter	1
Shrinkage	142
Silicon	87
Silo	327
Simultaneous Probability Interval	317
SKBR-3	177
Slow-released Fertilizer	96
Snack	150
Solar Cell	262
<i>Somaniathelphusa</i> sp.	9
Soybeans	327
Specific Activity	212, 221
STEAM Study	246
Stomach Content	52
Supply Collaboration	185
Surface Beach Sand	212, 221
System Efficiency	262
Tao-Kua	134
Technology Digital	237
Texture	142
Thai Folk Wisdom	300
Thai Frozen Shrimp Supply Chain	185
Tomato	96
Transplanted Spacing	104
<i>Trichoderma</i>	87

Two-Step Reaction	201
Unity3D	237
Verifying Text	336
Vulnerability	160
Waste Coffee Grounds	201
Water Level Measurement	254
Watershed Area	160
White Shrimp Pond	18
Zooplankton	52

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ต้นฉบับบทความวิจัย บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 20 ฉบับที่ 3 (สืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2560 และงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ ครั้งที่ 3) ได้รับการตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิ มีรายนามดังต่อไปนี้

1. ศ.ดร.เนลิยา ศาลากิจ	คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ	คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. ศ.ดร.สมบูรณ์ ธนาสุวัฒน์	คณะเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. ศ.ดร.เสาวภา อังสุภานิช	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
7. รศ.ดร.จิตติมา กันตนามัลลกุล	สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
8. รศ.ดร.ณสรณ์ ผลโลก	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
9. รศ.ดร.ณัฏฐา จินดาเพชร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
10. รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11. รศ.ดร.ธนัญญา ทรพน์นันทน์	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12. รศ.ดร.นันทวัน เทอดไทย	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
13. รศ.ดร.ประสพชัย พสุนนท์	คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร
14. รศ.ดร.มานพ เจริญไชยตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
15. รศ.ดร.ยุพธนา ภิระวณิชกุล	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
16. รศ.ดร.วัชรินทร์ ชื่นสุวรรณ	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
17. รศ.ดร.วัฒนพงศ์ เกิดทองมี	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
18. รศ.ดร.วันชัย จันทรประเสริฐ	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

19.	รศ.ดร.วาริน อินทนา	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
20.	รศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
21.	รศ.ดร.วินัย พุทธิกุล	คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
22.	รศ.ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
23.	รศ.ดร.ศิริชัย เทพา	คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
24.	รศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภักตะกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
25.	รศ.ดร.สงวนศรี เจริญเหรียญ	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
26.	รศ.ดร.สมเกียรติ ปรัชญาวารากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
27.	รศ.ดร.สมจิตร อาจอินทร์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
28.	รศ.ดร.สมบัติ ชนะวันต์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
29.	รศ.ดร.สมหมาย เขียววารีสังจะ	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
30.	รศ.ดร.สหพัฒน์ บรรีรักษ์	คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
31.	รศ.ดร.สิรินดา ยุ่นฉลาด	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
32.	รศ.ดร.สุบัณฑิต นิมรัตน์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
33.	รศ.ดร.สุภาวดี พุ่มพวง	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
34.	รศ.ดร.เสาวณิต สุขภำรงยี	คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
35.	รศ.ดร.ไสว บุรณพานิชพันธุ์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
36.	รศ.ดร.อวรรณ โอภาสพัฒนกิจ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
37.	รศ.นพ.จิตติ หาญประเสริฐพงษ์	คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
38.	รศ.จินตนา เหล่าไพบุลย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
39.	รศ.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
40.	รศ.มนู เพื่องฟู	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
41.	รศ.อุทัย คัน โธ	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
42.	ผศ.ดร.กษมา ศิริสมบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

43.	ผศ.ดร.กานต์ ปาทานคม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
44.	ผศ.ดร.กิจจา จิตรกริมย์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
45.	ผศ.ดร.จารุโลจน์ จงสถิตย์วัฒนา	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
46.	ผศ.ดร.ชลธิ์ ชีวะเศรษฐธรรม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
47.	ผศ.ดร.ชเนศ ไชยชนะ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
48.	ผศ.ดร.ธารทิพย์ บุญส่ง	คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
49.	ผศ.ดร.ธีระศักดิ์ วีระภาสพงษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50.	ผศ.ดร.นริศ ท้าวจันทร์	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
51.	ผศ.ดร.นิวัติ เมืองแก้ว	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
52.	ผศ.ดร.นุกูล อินทระสังขา	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
53.	ผศ.ดร.ภัทรสินี ภัทรโกศล	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
54.	ผศ.ดร.มานัดถ์ คำกอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
55.	ผศ.ดร.เมธิ แก้วเนิน	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
56.	ผศ.ดร.ระพีพร เรืองช่วย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
57.	ผศ.ดร.วาริน เชาวทัต	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
58.	ผศ.ดร.ศิริระ สายสร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
59.	ผศ.ดร.สุปราณี มนุรักษ์ชินากร	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
60.	ผศ.ดร.สุกญา ศิริรัฐนิคม	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
61.	ผศ.ดร.สุภาภรณ์ กานต์สมเกียรติ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
62.	ผศ.ดร.สุวิทย์ คงภักดี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
63.	ผศ.ดร.เสกสม อาตมางกูร	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
64.	ผศ.ดร.อาแว มะแส	คณะพัฒนสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
65.	ผศ.ดร.อำนาจ เปาะทอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
66.	ผศ.ดร.อุดม ทิพราร	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
67.	ผศ.ดร.เอธส์วัฒน์ คำมณี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ข้อมูลทั่วไปของวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ลักษณะของวารสาร

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นวารสารผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ และผลงานวิชาการรับใช้สังคม สาขาวิชาสหวิทยาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่าง ๆ

ข้อแนะนำทั่วไป

1. เรื่องที่รับพิมพ์ในวารสารวิจัยนี้ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสาร รายงานหรือสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน
2. ผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณเท่านั้น ยกเว้นบทความพิเศษที่กองบรรณาธิการพิจารณาให้ได้รับการยกเว้น
3. ต้นฉบับจะเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
4. เนื้อหา บทความ หรือข้อคิดเห็นที่พิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
5. ต้นฉบับจะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์

ประเภทของผลงานที่จะรับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Articles)
2. บทความวิชาการ (Academic Articles)
3. บทความรับใช้สังคม (Socially-Engaged Articles)
4. จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letter to Editor) เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุนหรือโต้แย้งความเห็นของนักวิจัยอื่น ๆ ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่น่าสนใจ

รูปแบบการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์บนกระดาษขาว ขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียว ใส่เลขหน้ากำกับหน้าทุกหน้า โดยใช้แบบอักษร Angsana New ขนาดตัวอักษร 14 ความยาวของเนื้อหา รวมภาพ ตาราง ไม่ควรเกิน 8 หน้า
2. การตั้งค่าหน้ากระดาษ
 - ระยะขอบบน (Top margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
 - ระยะขอบล่าง (Bottom margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
 - ระยะขอบซ้าย (Left margin) ขนาด 1.5" หรือ 3.00 เซนติเมตร
 - ระยะขอบขวา (Right margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
3. การส่งต้นฉบับ ดังนี้

ส่งทางระบบวารสารออนไลน์ Thai Journals Online (ThaiJO) สามารถเข้าไปได้ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>

4. การสมัครสมาชิก มี 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 บุคคลทั่วไป ที่ไม่ประสงค์ส่งบทความ สามารถสมัครสมาชิกได้เลย

กรณีที่ 2 บุคคลที่ต้องการส่งบทความ เพื่อขอรับการพิจารณาบทความ เมื่อบทความได้รับการ

พิจารณาแล้วจะต้องสมัครสมาชิกพร้อมชำระเงิน จำนวน 200 บาท **ผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์**

ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัย

ทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ทางระบบ

ออนไลน์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> หรือติดต่อกองจัดการวารสารฯ สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 074-609600

ดอ 7242 หรือ 081-5407304 โทรสาร 074-609654-5 อีเมล tsujournal@gmail.com

5. การยกเลิกบทความ หรือ การถอนบทความ มีรายละเอียดดังนี้

การยกเลิกบทความ คือ การเพิกถอนบทความก่อนที่จะมีการตีพิมพ์เผยแพร่

การถอนบทความ คือ การถอนบทความที่ดำเนินการตีพิมพ์และเผยแพร่เรียบร้อยแล้ว

ในกรณี การยกเลิกหรือการถอนบทความ สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ใน [https://www.tci-](https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal)

[thaijo.org/index.php/tsujournal](https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal) และ **หากมีการส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความแล้วเจ้าของ**

บทความต้องเป็นผู้รับผิดชอบคำตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ

รายละเอียดการเตรียมต้นฉบับ

บทความวิจัยให้เรียงลำดับตามองค์ประกอบดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ต้องมีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษ อักษรตัวแรกของทุกคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 20 ตัวหนา
2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ครบทุกคน และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดอยู่กึ่งกลางของ หน้ากระดาษ โดยให้กำกับหมายเลขยกกำลังไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อตำแหน่งหรือตำแหน่งวิชาการและ หน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนของเชิงอรรถ (หน้าที่ 1) โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดระดับภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย หรือจากงานย่อย ถึงระดับสูงให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกัน ทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ
3. **บทคัดย่อ และ Abstract** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกิน 200 คำ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ
4. **คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้เลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความไม่เกิน 5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อ และ Abstract ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดชิดซ้าย ของหน้ากระดาษ Keywords ให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ
5. **เนื้อเรื่อง (Main Body)** ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1) บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและอาวรวมการ

สำรวจเอกสาร (Review of Related Literature)

2) วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

3) ผลการวิจัย (Results)

4) อภิปรายผล (Discussion)

5) สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

* 4) และ 5) อาจเขียนรวมกันได้

6) เอกสารอ้างอิง (References) **ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข (Numeric) และต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น**

6. **แบบเอกสาร** แสดงการได้รับอนุญาตให้ทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ จรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลอง หรือจริยธรรมของการทดลองในมนุษย์มาพร้อมกับบทความวิจัย

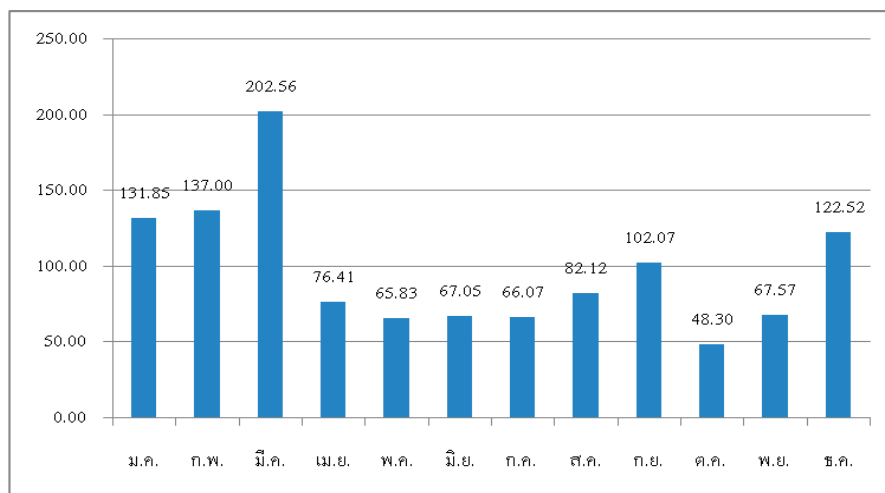
7. **การใช้คำย่อ สัญลักษณ์** คำย่อที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำเต็มเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นสามารถใช้คำย่อเหล่านั้นได้ตามปกติ ควรใช้ให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการใช้คำย่อที่ชื่อเรื่องและในบทคัดย่อ ไม่แนะนำให้ใช้คำย่อที่ใช้ไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 บทความ สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบายเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบาย

8. **รูปภาพ** จัดกึ่งกลาง คำบรรยายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี คำบรรยายใต้ภาพ ใช้คำว่า **ภาพที่** เป็นตัวหนา และคำบรรยายเป็นตัวอักษรปกติ และจัดกลางหน้ากระดาษ

ถ้ามีภาพประกอบ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี และถ้ามีภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาว โดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

ตัวอย่างเช่น

กิโกลรัม/ไร่



ภาพที่ 1 การร่วงหล่นของซากส่วนใบในแต่ละเดือน

9. ตาราง จัดชิดซ้ายของคอลัมน์ คำบรรยายตารางพิมพ์ไว้ด้านบนของหัวข้อตาราง และใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ถ้ามีตารางใช้คำบรรยายบนตารางคำว่า ตารางที่ เป็นตัวหนา และจัดชิดขอบซ้าย

ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 เปรอ์เซ็นต์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมในซากพืชส่วนใบที่เหลือจากการย่อยสลาย ในระยะต่าง ๆ

สัปดาห์ที่	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

ถ้าเป็นภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาวโดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

การอ้างอิง (References) แบบตัวเลข (Numeric) **ต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น**

การอ้างอิงแบบตัวเลข ใช้วิธีการดังนี้

- ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในเครื่องหมาย [] ท้ายข้อความหรือชื่อบุคคลที่อ้างอิง โดยให้ตัวเลขอยู่ในระดับบรรทัดเดียวกันกับเนื้อหา เช่น [1]
- ให้ใส่ตัวเลขอ้างอิงเรียงลำดับตั้งแต่เลข 1 เป็นต้นไป ต่อเนื่องกัน และในกรณีที่มี การอ้างอิงซ้ำให้ใช้ตัวเลขเดิมที่เคยใช้อ้างมาก่อนแล้ว
- แหล่งที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดในบทความจะไปปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิง (references) ทำบทความ โดยการเรียงลำดับตามหมายเลข และพิมพ์หมายเลขอยู่ในเครื่องหมาย []
- กรณีที่อ้างอิงเอกสารหลายรายการในคราวเดียวกัน
 - อ้างอิงไม่เกิน 2 รายการให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างอิงเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น [1, 5]
 - อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการที่ต่อเนื่องกันให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างอิงเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่น เช่น [1-3] หรือ [1-5]

4.3 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นในกรณีไม่ต่อเนื่อง และเครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นในกรณีต่อเนื่อง เช่น [1, 4-5]

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ใช้ระบบตัวเลขอยู่ในวงเล็บ “[]” หลังข้อความที่อ้างถึง โดยตัวเลขดังกล่าวเรียงตามลำดับการอ้างอิง

ตัวอย่าง

1. การใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยเชิงเคียบบางชนิดนานและมากเกินไปมีผลทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลน [1]...
2. Scherer [2] รายงานว่า...
3. และยังทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชในดินเสียไปด้วย [3-4]...

การอ้างอิงเอกสารอ้างอิง

ภาษาต่างประเทศ คนแรกให้ขึ้นด้วยนามสกุล, ตามด้วยอักษรย่อของชื่อน้ำ ชื่อกลาง (ถ้ามี) คนถัดไปจะเขียนระบบเดียวกับคนแรก และต้องเหมือนกันทุกรายการ เช่น

ประสงค์ เกษราธิคุณ นิคม ชูศิริ และฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ

Kessaratikoon, P., Choosiri, N. and Boonkrongcheep, R.

1) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ./ค.ศ.)// ชื่อหนังสือ.// สถานที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [1] Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. (2005). **Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management**. New Jersey. Pearson Education, Inc.,

ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อหนังสือ.// (ครั้งที่พิมพ์).// เมืองที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [2] Satirajinda, M. (2000). **Iron & Steel Heat Treatment Engineering** (7th ed) . Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage.

2) บทความในวารสาร

ชื่อผู้เขียน.// (ปี พ.ศ./ค.ศ.)// “ชื่อบทความ”, ชื่อวารสาร.// ปีที่/ (ฉบับ)/ หน้า.

ตัวอย่าง

- [3] Ukonmaanaho, L., Merila, P., Nojd, P. and Nieminen, T.M. (2008). “Litterfall Production and Nutrient Return to the Forest Floor in Scots Pine and Norway Spruce Stands in Finland”, **Boreal Environment Research**. 13, 67-91.

3) บทความในรายงานการประชุมวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีที่พิมพ์)/ “ชื่อเรื่อง”, ใน/ชื่อการประชุม./ เลขหน้า./ วันที่/เดือน/ปี./ สถานที่ประชุม./ เมืองที่พิมพ์./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [4] Boonkrongcheep, R., Maeha, A. and Kessaratikoon, P. (2016). “Measurement and Analysis of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Thai Rice Bag Samples”, In **The 24th Thaksin University National Academic Conference**. 18. May 21-24, 2016, The 60th Anniversary of His Majesty the King’s Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla : Thaksin University.

4) บทความในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีที่พิมพ์)/ “ชื่อบทหรือบทความในหนังสือ”, ใน/ชื่อผู้แต่งหรือผู้รวบรวมหรือบรรณาธิการ(ถ้ามี)/ ชื่อหนังสือ./ เลขหน้า./ เมืองที่พิมพ์./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [5] Lawrence, J. A. and Dodds, A. E. (2003). “Goal-directed activities and life-span development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.)”, **Handbook of developmental psychology**. 517-533. London, England: Sage Publications.

5) บทความในหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีที่พิมพ์, วันที่/เดือน)/ “ชื่อบทความ”, ชื่อหนังสือพิมพ์./ เลขหน้า.

ตัวอย่าง

- [6] Schultz, S. (2005, December 28). “Calls made to strengthen state energy policies”, **The Country Today**. 1A, 2A.

6) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์./ (ปีที่พิมพ์)/ ชื่อวิทยานิพนธ์./ ระดับของวิทยานิพนธ์/ชื่อปริญญา./ เมืองที่พิมพ์./ ชื่อสถานการศึกษา.

ตัวอย่าง

- [7] Paungfoo, C. (2003). **Use of Molecular Biology Techniques in Studying the Nitrifying Bacteria Community from Shrimp Farming System**. Doctoral Dissertation, Prince of Songkla University.

7) เอกสารที่ค้นได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้รูปแบบเดียวกับบรรณานุกรมของสื่อสิ่งพิมพ์โดยทั่วไปก่อนที่จะนำมาใส่ในเว็บไซด์ต่าง ๆ เช่น เมื่อนำข้อมูลมาจากหนังสือ สามารถเขียนเอกสารอ้างอิงโดยประกอบด้วย ชื่อผู้แต่ง ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่อง และสถานที่พิมพ์ และเพิ่มข้อมูลที่อาจช่วยในการสืบค้น คือ วันที่สืบค้น และ URL โดยภาษาอังกฤษใช้ว่า Retrieved...from... หรือถ้านำข้อมูลมาจากบทความที่เขียนเอกสารอ้างอิงของบทความก่อน

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อเรื่อง (ออนไลน์)./เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./สืบค้นเมื่อ...../
จาก <http://www.....>

ตัวอย่าง

- [8] Department of Foreign Trade. (2012). **The Situation of Sawn Rubber Wood Thailand** (Online). Retrieved 3 August 2016, from <http://www.dft.go.th/en-us/Information-Service/PR-Materials/ctl/DetailUserContent/mid/660/conternted/4252>.

8) รูปแบบการเขียนบุคคลานุกรม

ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ตำแหน่ง./สถานที่สัมภาษณ์./วันเดือนปีที่สัมภาษณ์./สัมภาษณ์.

ตัวอย่าง

- [9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.



ใบสมัครสมาชิก
วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ
THAKSIN UNIVERSITY JOURNAL

วันรับสมัคร.....

หมายเลขสมาชิก.....

(สำหรับเจ้าหน้าที่)

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ทางไปรษณีย์ที่ต้องการให้จัดส่ง.....ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

มีความประสงค์เป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ จำนวน.....ปี (ปีละ 200 บาท)

พร้อมนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน.....บาท (.....)

โดย ชำระเงินผ่านทาง ธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9
สาขา มหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารฯ
ทางระบบออนไลน์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>

(ลงชื่อ).....

(.....)

...../...../.....

สำนักงานวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242, 081-5407304 โทรสาร 0-7460-9654-5

E-mail Address: tsujournal@gmail.com หรือ research.tsu@gmail.com



ปัญญา จริยธรรม นำการพัฒนา

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ
222 หมู่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210
โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242 โทรศัพท์/โทรสาร 0-7460-9655
E-mail Address : tsujournal@gmail.com, research.tsu@gmail.com



รูปแบบวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ชื่อวารสาร	วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal)	
เจ้าของ	มหาวิทยาลัยทักษิณ	
ที่ปรึกษา	อธิการบดี	(รศ.ดร.วิชัย ชำนิ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รองอธิการบดี	(รศ.เกษม อัสวดีรัตน์กุล) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	(อ.ดร.วันลก ดิษฐ์วรรณ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.นิคม ชูศิริ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองบรรณาธิการ	ศ.ดร.จรัญ จันทลักษณ์	(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
	ศ.ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน	(มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)
	ศ.ดร.วัชรินทร์ รุกขไชยศิริกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุทนต์ เบญจกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุรินทร์ เศรษฐมานิต	(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
	ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์	(เลขที่ 422 ถ.เทศบาลรังรักษ์เหนือ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร)
	รศ.ดร.ครรชิต มาลัยวงศ์	(สกววิจัยแห่งชาติ)
	รศ.ดร.หิรัญ เพชรมั่ง	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.สรพลสิทธิ์ กล่อมเกล้า	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.บุญญพัฒน์ ไชยเมล์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.กรวิกา ก้องกุล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.พญ.ภัทรวลัย ดลิ่งจิตร	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ผศ.ดร.เกร็ดทราย วุฒิพงษ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองจัดการ	นางสาวอรกมล ไกรวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวพิมพ์ผดาม ฌีวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางรานี อาษาชำนาญ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวกัญญณัชช์ เลียดรักษ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
วัตถุประสงค์	1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความทางด้านสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่างๆ	
	2. เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	
	3. เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	
กำหนดการออก	ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)	
จำนวนพิมพ์	300 ฉบับ	
รูปแบบเล่ม	ขนาด B5 (18x25.5 ซม.)	
	ปกอาร์คมัน 250 แกรม พิมพ์ 4 สี เคลือบ มั่น (UV)	
	เนื้อใน กระดาษปอนด์ 80 แกรม พิมพ์ 1 สี 112 หน้า	

การเผยแพร่	จัดจำหน่ายและสมัครสมาชิก
การบอกรับเป็นสมาชิก	มอบเป็นอภินันทนาการแก่ห้องสมุดของหน่วยงานรัฐและเอกชน สถาบันการศึกษา ค่าสมาชิก ปีละ 200 บาท โดย ชำระเงินผ่านทาง ธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายัง กองบรรณาธิการวารสารฯ ทางระบบออนไลน์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal
การติดต่อ	กองจัดการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242 E-mail address: tsujournal@gmail.com หรือ research.tsu@gmail.com
โรงพิมพ์	อาร์ต เวิร์ค แอนด์ มีเดีย โทรศัพท์ 074 230854, 085-440-5398

บรรณาธิการแถลง

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal) ฉบับนี้ เป็นวารสารฉบับพิเศษ ที่ออกโดยมหาวิทยาลัยทักษิณเป็นปีที่ 20 ฉบับที่ 3 วารสารฉบับนี้มีเนื้อหาสาระภายในเล่มที่น่าสนใจ ประกอบด้วยบทความวิจัยทั้งหมด 41 เรื่อง โดยที่บทความทั้งหมดนี้ได้รับการพิจารณาคัดเลือก จากบทความวิจัยที่ส่งเข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิชาการในที่ประชุมวิชาการระดับชาติของมหาวิทยาลัย ทักษิณ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2560 และการประชุมวิชาการระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ ครั้งที่ 3 ซึ่งบทความวิจัยทั้งหมดนี้เป็นบทความวิจัยทางด้านสหวิทยาาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น และสามารถ จัดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังต่อไปนี้ 1) บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพและเกษตรศาสตร์ จำนวน 14 เรื่อง 2) บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์อาหารและสุขภาพ จำนวน 6 เรื่อง 3) บทความวิจัย ทางด้านวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช จำนวน 2 เรื่อง 4) บทความวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษา ฟิสิกส์ประยุกต์ และวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 13 เรื่อง และ 5) บทความวิจัยทางด้านคณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์ จำนวน 6 เรื่อง บทความวิจัยทั้งหมดนี้มีความน่าสนใจในระดับดีที่ควรค่าแก่การติดตามอ่านและสามารถ นำไปใช้เป็นข้อมูลและเอกสารอ้างอิงได้ในอนาคต ข้าพเจ้าและคณะทำงานประจำกองบรรณาธิการ ขอขอบคุณเจ้าของบทความทุกท่านที่ได้ส่งผลงานทางวิชาการเหล่านี้มาเข้าร่วมนำเสนอผลงานวิชาการ ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติของมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2560 และได้แสดงความจำนง ที่จะส่งบทความวิจัยเข้าพิจารณาคัดเลือกเพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้ ข้าพเจ้าถือว่าทุกท่านได้ มีส่วนร่วมในการพัฒนาวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้เกียรติและเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการกลั่นกรองพิจารณาแก้ไข และให้ ข้อเสนอแนะต่างๆ ต่อผลงานเขียนดังกล่าวข้างต้นเพื่อประโยชน์สูงสุดทางวิชาการที่ได้นำเสนอ ในวารสารฉบับดังกล่าวนี้

หากท่านผู้อ่านมีคำแนะนำเกี่ยวกับวารสารฉบับดังกล่าวนี้ กรุณาส่งคำแนะนำของท่านมายัง กองบรรณาธิการเพื่อจะได้นำสิ่งที่ท่านแนะนำนี้ไปพิจารณาแก้ไขและปรับปรุงในฉบับต่อไป นอกจากนี้ยังขอเชิญชวนท่านผู้อ่านส่งบทความวิชาการและบทความวิจัยที่ยังไม่เคยเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน ไปให้ทางกองบรรณาธิการพิจารณาตีพิมพ์ โดยที่ท่านผู้อ่านสามารถดูรูปแบบการพิมพ์บทความได้ที่ website <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> หรือดูได้ในรายละเอียดตอนท้ายของวารสารนี้ ได้อีกด้วย พบกันใหม่ฉบับต่อไปครับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ เกษราธิคุณ
บรรณาธิการประจำฉบับ

สารบัญ

1. แนวทางการเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ่อนต่างกัน
Productivity Improvement of Mud Crabs *Scylla sarrata* (Forsk.) in Cage-Pond Using Different Sheltering Materials
ชนากร เหมะสัดถ Tanakorn Haemasaton, ดวงใจ พิสุทธิธรราชชัย Duangjai Pisuttharachai.....1
2. ความชุกและความหนาแน่นของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา (*Somanniathelphusa* sp.) จากจังหวัดนครพนม ปี 2559
Prevalence and Intensity of *Microphaloides* spp. in Black Rice Crab, *Somanniathelphusa* sp. from Nakhon Phanom Province, Year 2016
อดิเทพชัยการณัฏ ภาชนะวรรณ Adithepchaikarn Pachanawan, อนวัทย์ ฝาดี Anawat Phalee.....8
3. จลนพลศาสตร์และการบำบัดแอมโมเนียของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว
Kinetics and Ammonia Treatment of Sediment from White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Pond
ธัญรัตน์ มะเสน Thanyarat Masen, ศุภรณิณี ติโทชาวลิต Supanee Leethochavalit, ปวีณา ตปนียวรวงค์ Paveena Tapaneyaworawong, สรวิต เผ่าทองสุข Sorawit Powtongsook, มะลิวัลย์ คุตะโก Maliwan Kutako.....17
4. ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและค่าคุณภาพซากของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมใบกระถินเทพาป่นและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างๆ
Growth Performance and Carcass Quality in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Supplemented *Acacia mangium* Meal and Fibrolytic Enzyme in Diets
วรพงษ์ นลินานนท์ Warrapong Nalinanon, สายชล เลิศสุวรรณ Saichon Lerdsuwan.....25
5. ผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน Metallothionein ในปลานิล
Effects of Cadmium and Copper on Metallothionein Gene Expression in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)
ดวงใจ พิสุทธิธรราชชัย Duangjai Pisuttharachai, ชนากร เหมะสัดถ Tanakorn Haemasaton.....34
6. ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาจวด *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา
Reproductive Biology of *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) off the Coast of Songkhla Province
ดวงดาว อุปธิธิ Duangdao Upasit, จารุณี เชื้อวารีสังจะ Jarunee Chiayvareesajja, สมหมาย เชื้อวารีสังจะ Sommai Chiayvareesajja.....43
7. ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์และองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาจากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง
Biodiversity of Zooplankton and Stomach Content of Fishes from Palian River, Trang Province
เดือนตา ร้าหมาน Tueanta Ramarn, ศิริลักษณ์ ช่วยพั่ง Sirilak Chuaypanang, พีรนาฏ คิทธิ Peeranart Kiddee.....51
8. การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่กระทาง
Use of Dietary *Leucaena leucocephala* Leaf Meal in Pellet Form on Production Performance and Carcass Quality of Broiler Chickens
สายชล เลิศสุวรรณ Saichon Lerdsuwan, วรพงษ์ นลินานนท์ Warrapong Nalinanon.....61
9. การใช้มูลสุกรแห้งและกากน้ำตาลเป็นอาหารเสริมในโคนมรุ่น
The Utilization of Dried Pig Manure and Molasses as Feed Supplement in Grower Dairy Cattle
นิรันดร์ กองเงิน Nirundorn Kongngoen, วันชาติ สุวัทธิ Wachart Suwatthee, ชากรณ์ ชันแก้ว Chakorn Kunkaew.....70

10. หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae): พืชอาหาร ชีววิทยา และแมลงศัตรูธรรมชาติ
 Coconut Black-Headed Caterpillar, *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae): Host Plant, Biology and its Natural Enemies
 น้ำผึ้ง ชมภูเขียว Namphueng Chomphukhiao, โสภณ อุไรชื่น Sapon Uraichuen 77
11. ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 และ แคลเซียมซิลิเกตต่อการงอกและควบคุมโรคโคนเน่าจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* ในพริกมันบางช้าง
 Efficacy *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 and Calcium Silicate to Seed Germination and Control Stem Rot Caused by *Sclerotium rolfsii* in *Capsicum annuum* cv. 'Bangchang'
 เกียรติกร แสงไข Kriangkrai Saengkai, ศุภชัย อำคา Suphachai Amkha, พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง Pornpairin Rungcharoenthong.....86
12. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับเชื้อ *Bacillus subtilis* ต่อการเจริญเติบโต และการยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ
 The Effect of Slow - Release Nitrogen Fertilizer with *Bacillus subtilis* on Growth and Inhibition of Soil Borne Disease in Tomato Seedling
 นริศรา จำปา Naritsara Champa, ธงชัย มาลา Thongchai Mala, ศุภชัย อำคา Suphachai Amkha, กนกกร สีนมา Kanokkorn Sinma....95
13. ผลของระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไร่ชะบอร์รี่ อ.ตะโหมด จ.พัทลุง
 Effect of Plant Spacings and Organic Fertilizer Quality on Growth and Yield Components of Riceberry in Tamod District, Phatthalung Province
 จิตรา จันโสด Jitra Jansote, วานิด รอดเนียม Wanit Rotnium, เป็ลื่อง สุวรรณมณี Plaung Suwanmanee, วิรัตน์ ช่วยชุมชาติ Virat Charychumchat, ศักดิ์ เพชรสุข Sak Pechsuk.....103
14. ผลของจำนวนต้นกล้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด
 Effect of Numbers of Seedlings per Hill on Growth and Yield of Sangyod Rice
 จิตรา จันโสด Jitra Jansote, วานิด รอดเนียม Wanit Rotnium, เป็ลื่อง สุวรรณมณี Plaung Suwanmanee.....109
15. การตรวจวัดสมบัติเชิงกลิ่นของข้าวสังข์หยดพัทลุงโดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์
 The Aroma Properties Measurements of the Sangyod Rice of Phattalung by The Machine Olfaction
 รังสิตา หาญพันธุ์ Rangsit Hanphan, จิตรา จันโสด Jitra Jansote, เป็ลื่อง สุวรรณมณี Plaung Suwanmanee, ชัชวาล วงศ์สุข Chatchawal Wongchoosuk, อนุรักษ อุคมเวช Pornpimon Mayachiew.....114
16. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์มีสี
 Development of Coating Batter from Colored Rice Flour
 พรพิมล มะขะเจียว Pornpimon Mayachiew, นุจิเรศ เกตุราช Nudcharee Kadrat, รัชฎาภรณ์ ทองจันทร์แก้ว Ratchadaporn Thorngjankeaw.....124
17. คุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่วที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และเมือง จังหวัดพัทลุง ประเทศไทย
 Microbiological Quality of Tao-Kua Sold in Paphayom and Mueang Districts, Phatthalung Province, Thailand
 บุญกร อุตรกิจชาติ Bussakorn Utarapichat, ศุภชัย นิตินันท์ Supachai Nitipan, ปนัดดา พรหมจรรย์ Panadda Promjan, กชกร เพชรสุวรรณ Kochakorn Petchsuwan, ปฐมา กนกนาค Pattama Koknak, ภัทรกร วัฒนกุล Pattarakorn Watanakul.....133

สารบัญ

18. ผลของสภาวะการพuffingต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบ	
Effect of Puffing Conditions on Quality of Crispy Banana	
ถาวร จันทโชติ Thavorn Juntachote.....	141
19. คุณภาพของขนมสับปะรดแผ่นกรอบโดยใช้หม้ออบลมร้อน	
The Quality of Crispy Pineapple Snack by Using Convection Oven	
รุ่งทิวา กองเงิน Rungtiwa Kongngoen.....	149
20. ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหละหาร อ.ป่าบอน จ.พัทลุง	
The Vulnerability of Farming Households in a Watershed Area of Ban Lo Han, Pa Bon District, Phatthalung Province	
กนกวรรณ ชุมอินทร์ Kanokwan Chum-in, พิไลวรรณ ประพฤติ Pilaiwan Prapruit.....	159
21. การตรวจหาเชื้อยาสกัดออกซาลิเนสในอะซิเนโตแบคเตอร์ บอแมนนิโอ ที่แยกได้จากโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครศรีธรรมราช	
Detection of Oxacillinase Genes in Acinetobacter baumannii Isolated from the Maharaj Nakhon Si Thammarat Hospital	
จิรารัตน์ ส่องสี Jirarat Songsri, สุมนทา กล้าคง Sumonta Klakong, หวันต์สกิน ปะดุกา Wantaskeen Paduka, อาชีเยาะ หะมะ Arseeyoh Ha-ma ปิยะวิทย์ อรชร Piyawit Orachorn.....	168
22. ฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3	
Effect of Synthetic Chalcone Derivatives on Growth Inhibition and Apoptosis Induction in Breast Cancer Cell Line (SKBR-3)	
นุรดีนา จารง Nurdina Charong, วรางคณา ช้างลก Warangkana Chunglok, มลธิรา พรหมกันท์ Moltira Promkan, อภิชาติ สุขสำราญ Apichart Suksamrarn.....	176
23. การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งในภาคใต้	
A Confirmatory Analysis of Affected Factors to Supply Chain Collaboration: A Case Study of the Frozen Shrimp Industries in Southern Thailand	
สิริรัตน์ พึ่งชมภู Sirirat Pungchompoo, กมลชนก ฤทธิเดช Kamonchanok Rittidech, ธนิกานต์ ไชยโห้ Thanikarn Chaiho.....	184
24. การเตรียมและสมบัติของยางไนไตรล์ผสมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล	
Preparation and Properties of Nitrile Rubber Mixed with Carbon Filler from Molasses	
สุริยาพร หอมเจียน Suriyaporn Homkeing, ธัญญา เสาวภาคี Thanunya Saowapark.....	193
25. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ	
Feasibility Study of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds Oil	
โชคชัย เหมือนมาศ Chokchai Mueanmas, รวมนพร นิคม Ruamporn Nikhom.....	201
26. การศึกษาผลกระทบทางรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย ภายหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น	
A Study on Radiation Impact in Surface Beach Sand Samples in Songkhla Province, Thailand after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan	
ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon, นิคม ชูศิริ Nikom Choosiri, ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ Ruthairat Boonkrongcheep, มูร์ณี ดาโอะ Murnee Daoh, สุชิน อุดมสมพร Suchin Udomsomporn.....	211

27. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพเฉพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาด ผิวหน้าบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Beach Sand Samples Collected from Bangsaen Beach in Chonburi Province, Thailand นพฤทธิ์ ช่างคิด Nopparit Changkit, ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ Ruthairat Boonkrongcheep, อุคร ชัยช่วย Udom Youngchaay, สิทธิพงษ์ พลธรรม Sitthipong Polthum, ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon.....	220
28. การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรง สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น The Development of Android Application for Learning of the Moment of Force for Secondary Students อนุสา แก้วสมทอง Anusa Kaewsomtong, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	228
29. “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า”: เกมสำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมบ์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ The “ELECTRIC CHARGE ARENA GAME”: A Gamification for Learning in an Electric Charges and the Coulomb Force on Smart Devices พรสุดา กรดสัน Pornsuda Krodsan, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	236
30. การสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อการเรียนรู้แบบ STEAM The Construction of 3D Printing Machine for STEAM Learning กมล ทัดวัลดี Kamon Tanlawan, วัศพล สมใจ Wassapon Somjai, เกษม เปรมประชูร Kasem Premprayool, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	245
31. การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า Water Level Measurement using Capacitance Measurement Technique ศุภกร กตาทิการกุล Supagone Katathikarnkul, มาริษา มะหะนิ Marina Mani, สุวิทย์ คงภักดี Suwit Khongpugdee, นันท์นภัส เพชรรมณี Nannapas Pengmanee.....	254
32. การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด กำลัง 3 กิโลวัตต์ โดยอาศัยการจำลองแบบ ด้วยโปรแกรม PVsyst Efficiency Evaluation of 3 kW Photovoltaic Rooftop and Grid Connected System by Using PVsyst Programmed Modeling Simulation ฉัตร ฝนาค Chat Pholnak, จอมภพ แววศักดิ์ Jompob Waewsak, สมพล ชีวมงคลกานต์ Somphol Cheewamongkolkarn, ปราณี หนูทองแก้ว Pranee Nutongkaew.....	261
33. การสังเคราะห์แกรฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD Graphene Synthesis on Copper Plate by Microwave Plasma CVD กิตติพงษ์ น้ำจันทร์ Kittipong Namjan, ทวี ฉิมอ้อย Tawee Chimoye, มนุ เฟื่องฟู่ง Manu Fuangfoong	269
34. การศึกษาด้วยวิธีควอนตัมเชิงคำนวณเพื่อแสดงสมบัติการดูดกลืนแสงอาทิตย์ ของวัสดุแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ The Computational Quantum Study in Performing the Feasibility Properties as a Solar Absorption of the Graphene Nanopillars อรอนงค์ ชุมพล Onanong Chumpon, อนุรักษ์ อุดมเวช Anurak Udomvech.....	275
35. การศึกษากระจุกดาวเปิดด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก The Study of Open Cluster by Small Telescope วิระภรณ์ ไหมทอง Wiraporn Maithong, นววรรณ บางโป่ง Nawawan Bangpong, เบญจภรณ์ ดุ่นภักดี Benjaporn Thunpakdee สุวนิตย์ วุฒิสังข์ Suwanit Wutsang.....	284

สารบัญ

36. ระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมในบริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่น กรณีศึกษา: จังหวัดพัทลุง Knowledge-based System of Art and Culture in the Context of Folk Wisdom Case Study: Phatthalung Province อาจาวี นาโค Ajaree Naco.....	292
37. การจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยแบบอัตโนมัติโดยวิธีการทางเหมืองข้อมูล Automatic Thai Folk Wisdom Classification using Data Mining Approach นพมาศ ปักเข็ม Noppamas Pukkhem, ชนิดา จันมณีชัย Chanida Junmanee, ศิวกร อุยสุย Sivakorn Ouisui.....	300
38. โปรแกรมต้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ โดยใช้แบบจำลอง การทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน A Prototype of Online Adaptive Testing System Using Sequential Probability Ratio Test Model Case Study: Basic English ธนาวุธ บุญลิปตานนท์ Thanawut Bunliptanon, กมลชนก ขำแก้ว Kamolchanok Khamkaew, อรยา ปรีชาพานิช Oraya Preechapanich, สุดา ธีรมนตรี Suda Thernmontri.....	308
39. การทดสอบการแจกแจงปกติโดยแผนภาพของเศษตกค้างในการถดถอยเชิงเส้น Graphical Normality Tests on Residuals in Linear Regression วันเพ็ญ จันทรังษี Wanpen Chantarangsi	317
40. การศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกในไซโลฐานแบนเรียบ The Study of the Impact of Displacing Insert in Flat-Bottomed Silo วาเรียม ช่วยจันทร์ Wariam Chuayjan, สุทธิวัฒน์ ทองนาค Sutthiwat Thongnak.....	327
41. การซ่อนข้อความ และการสกัดพร้อมการทวนสอบข้อความที่ได้ในภาพใบหน้าด้านหน้า Concealing and Extracting with Verifying Text in Frontal Face Image ไพจิตร กชกรจารุงศ์ Paijit Kochakornjarupong, ศิริพล ปัญญาธิโป Siriphon Panyathipo.....	336

แนวทางการเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ่อนต่างกัน

Productivity Improvement of Mud Crabs *Scylla serrata* (Forsk.) in Cage-Pond Using Different Sheltering Materials

ธนกร เหมะสกล^{1*} และดวงใจ พิสุทธิธาราชัย²

Tanakorn Haemasaton^{1*} and Duangjai Pisuttharachai²

บทคัดย่อ

ปูทะเล *Scylla serrata* (Forsk.) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญ มีความต้องการของผู้บริโภคสูง แต่ปัญหาที่พบและมีผลกระทบต่อการผลิต คือ ปูกินกันเองช่วงลอกคราบ การศึกษาเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ่อนต่างกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย และเปรียบเทียบผลผลิตของปูทะเลในบ่อดิน แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 6 ซ้ำ ประกอบด้วย 1) ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดควบคุม) 2) ใช้ไม้ไผ่ และ 3) ใช้ยางรถยนต์เก่า น้ำหนักปูทะเลเริ่มต้น 166-188 กรัม เลี้ยงในกระชังขนาด 6x4x2 เมตร ในบ่อดิน ปล่อย 120 ตัวต่อกระชัง เลี้ยง 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้น (194.94 กรัม) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (5.44) ดีที่สุด และอัตรารอดตายสูงสุด (69.83 เปอร์เซ็นต์) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณผลผลิต พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 77.74 126.17 และ 103.29 กิโลกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผลผลิต ปูทะเล วัสดุหลบซ่อน

Abstract

Mud Crab, *Scylla serrata* (Forsk.) are important economic aquatic animals. The demand of consumers has increased. The problems with impact production are crab eating during the molting. Study on productivity improvement of Mud Crabs in cage-pond using different sheltering materials was carried out. It aims to study on growth rate, survival rate and compare the productivity of Mud Crab in earthen ponds. The experiment was divided into three treatments of six replications; 1) no sheltered materials used (control), 2) use sheltered materials from bamboo and 3) use sheltered materials from old tires. The Mud Crab's weight was 166-188 grams cultured in ponds using floating net cages of 6x4x2 meters. The deployment rate was 120 crabs per cages within 4 months. The result showed that the Mud Crabs of treatment 2 gained the highest average weight of 194.94 grams and FCR of 5.44. Moreover, the Mud Crabs in treatment 2 gained the highest survival rate of 69.83 percent with statistically significant difference ($p < 0.05$). The productivity quantity of treatment 1, 2 and 3 was equivalent to 77.74, 126.17 and 103.29 kilogram, respectively.

Keywords: Productivity, Mud Crab, Shelter

¹ อ., หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตการประมงและทรัพยากรทางน้ำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชุมพร 86160

² อ.ดร., หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตการประมงและทรัพยากรทางน้ำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Fishery Science and Aquatic Resources, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon, 86160

² Lecturer, Dr., Fishery Science and Aquatic Resources, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon, 86160

* Corresponding author: Tel: 089-422-6022. E-mail address: Tanakorn.ha@kmitl.ac.th

บทนำ

ปูทะเล *Scylla serrata* (Forsk.) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย ที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากได้รับความนิยมในการบริโภคสูงมาก ทั้งคุณค่าทางอาหาร และรสชาติของเนื้อปู ทนต่อสภาพแวดล้อม มีอัตราการเจริญเติบโตดี ปูทะเลพบกระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำกร่อย ป่าชายเลน และปากแม่น้ำที่มี น้ำทะเลท่วมถึง โดยขุดรูอยู่ตามไคร้รากไม้หรือเนินดินบริเวณชายฝั่งทะเลทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน โดยเฉพาะที่ชุกชุมใน บริเวณที่เป็นหาดโคลน หรือเลนที่มีป่าแสม และโกงกาง ตั้งแต่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด ชลบุรี บริเวณอ่าวไทยตอนใน ได้แก่ สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และอ่าวไทยฝั่งตะวันตกมีชุกชุมที่จังหวัด ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ส่วนที่ฝั่งอันดามันมีชุกชุมที่จังหวัดระนอง กระบี่ พังงา ตรัง และสตูล เป็นต้น [1-2]

ปัจจุบัน พบว่าปูทะเลในธรรมชาติมีปริมาณลดลงมาก เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เป็นแหล่งอาศัย วางไข่ ถูกทำลาย แต่ความต้องการของผู้บริโภคมีเพิ่มมากขึ้น เกษตรกรจึงหันมาเลี้ยงปูทะเลในบ่อดินมากขึ้นเพื่อสร้างรายได้แก่ครอบครัว เนื่องจากปูทะเลมีราคาแพง ประมาณกิโลกรัมละ 250-300 ส่วนราคาน้ำฟ้ามีอยู่ระหว่างกิโลกรัมละ 170-200 บาท [3] รูปแบบในการเลี้ยงปูทะเล ได้แก่ เลี้ยงเป็นปูนิ่ง ปูขุน และปูไข่ จังหวัดชุมพรเป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่มีพื้นที่ติดชายทะเลและมี การเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งกันมาก รวมถึงปูทะเลด้วย แต่ปัญหาที่เกษตรกรพบและมีผลกระทบต่อการผลิต คือ ปูกินกันเองเวลา ลอกคราบ

ดังนั้นแนวทางการเลี้ยงปูทะเลโดยใช้วัสดุหลบซ่อนที่มีในท้องถิ่น หรือวัสดุที่ทิ้งไป นำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยใช้เป็นแหล่งหลบซ่อนของปูที่เลี้ยงในบ่อดิน น่าจะเป็นแนวทางในการลดปัญหาปูกินกันเองได้ระดับหนึ่ง และเป็นวิธีการ เลี้ยงที่เลียนแบบธรรมชาติ เพื่อการเพิ่มผลผลิตของปูทะเล อีกทั้งบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปูทะเลนั้น ใช้บ่อดินที่เกษตรกรทิ้งวางเปล่า เลิก จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งเป็นการนำพื้นที่กลับมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าอีกทางหนึ่งด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง โดยทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งการ ทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 6 ซ้ำ ดังนี้ คือ

ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ใช้วัสดุหลบซ่อนในบ่อ (ชุดควบคุม)

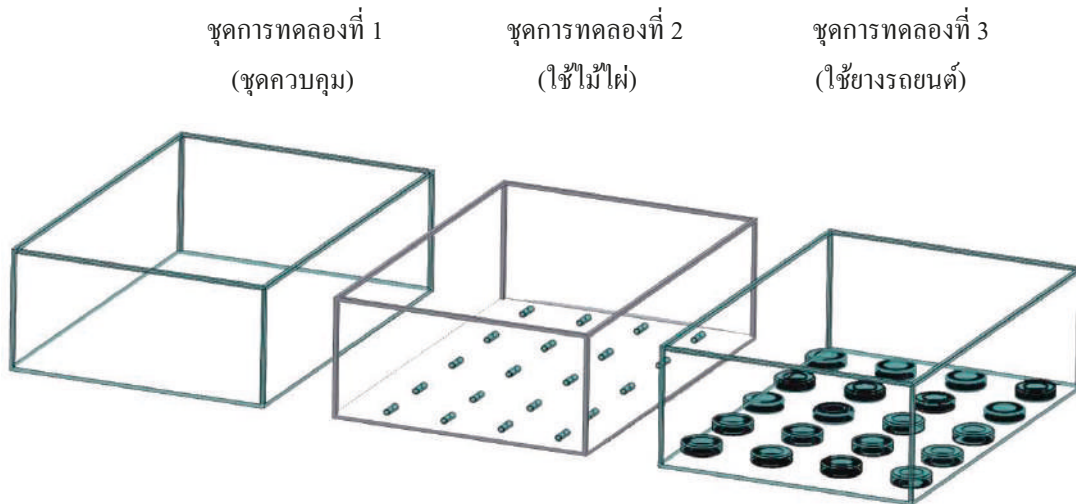
ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน

ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน

การเตรียมการทดลอง

การเตรียมบ่อทดลอง

- การเตรียมบ่อทดลอง โดยใช้บ่อดิน (บ่อกึ่งร้างที่เลิกใช้งาน) จำนวน 1 บ่อ
- ใช้อวนกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมในบ่อดิน ขนาด 6x4x2 เมตร จำนวน 18 ชุดการทดลอง (ภาพที่ 1)
- หวานปูนขาว ในอัตรา 60 กิโลกรัม/ไร่ เพื่อปรับสภาพดิน และฆ่าเชื้อโรคหลังจากนั้นตากบ่อทิ้งไว้ 5 วัน และปล่อยน้ำเข้าบ่อสูง ประมาณ 1 เมตร



ภาพที่ 1 ภาพจำลองแสดงการวางวัสดุหลบซ่อนในกระชัง

การเตรียมพันธุ์ปู

การเตรียมปูทดลอง โดยใช้ปูขนาด 166-188 กรัม มาทำการปล่อยเลี้ยงในบ่อดิน ในอัตรา 5 ตัว/ตารางเมตร (1 ชุดการทดลอง ปล่อย 120 ตัว) ให้อาหารปลาสด 10 เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว วันละครั้ง เวลา 17.00-18.00 น. โดยการให้ปลาสดสับเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 1-2 นิ้ว

การเตรียมวัสดุหลบซ่อน

- ไม้ไผ่ ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตรขึ้นไป มาตัดเป็นท่อน ไม่มีข้อ โดยมีความยาวท่อนละ 30 เซนติเมตร และนำวางลงในแนวราบ (ระยะห่าง 1 เมตร) ลงในบ่อดิน จำนวน 30 ท่อนต่อกระชัง
- ยางรถยนต์ โดยนำยางรถยนต์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร) วางที่พื้นบ่อทั้งวงในแนวราบ (ระยะห่าง 1 เมตร) จำนวน 20 เส้นต่อกระชัง

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ตรวจสอบคุณภาพน้ำทุก 7 วัน ได้แก่ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ค่าความเป็นค่าแอมโมเนีย และค่าไนไตรท์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และผลผลิตเมื่อสิ้นสุดการทดลองตามวิธีของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลลึก [4] ดังนี้ คือ

การเจริญเติบโต (Growth Rate)

$$\text{น้ำหนักเพิ่ม (กรัม)} = \text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}$$

$$\text{ความกว้างกระดองเพิ่ม (ซม.)} = \text{ความกว้างกระดองสุดท้าย} - \text{ความกว้างกระดองเริ่มต้น}$$

$$\text{น้ำหนักเพิ่มต่อวัน} = \frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดน้ำหนักรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{เวลา (วัน)}}$$

$$\text{อัตราการรอดตาย (Survival Rate)} = \frac{\text{จำนวนปูเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปูเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

$$\text{อัตราการผลิตอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กินทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}$$

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดลองเลี้ยงปูทะเลในระยะเวลา 4 เดือน น้ำมีระดับความเค็มเฉลี่ย 22 ส่วนในพัน โดยทำการเลี้ยงปูทะเลในบ่อดินที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง (Treatments) ชุดการทดลองฯ ละ 6 ซ้ำ (Replications) คือ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน ได้ผลการทดลองดังนี้

น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (Average Weight Gain)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ่อนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ยของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 194.94 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 189.94 และ 182.21 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เช่นเดียวกับอัมพรและคณะ [5] ทำการทดลองเลี้ยงปูม้าในบ่อดิน โดยใช้ท่อพีวีซี กล่องพลาสติก เป็นวัสดุหลบซ่อน และชุดควบคุม (ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน) เลี้ยงเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าปูม้า มีการเจริญเติบโตเฉลี่ย เท่ากับ 98.59 98.00 และ 94.37 กรัม/ตัว ตามลำดับ

ตารางที่ 1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม) ^{ns}	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม) ^{ns}
1	172.78 ± 6.70	182.21 ± 9.46
2	182.31 ± 5.68	194.33 ± 4.58
3	180.29 ± 4.34	189.94 ± 5.97

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความกว้างกระดองเพิ่มเฉลี่ย (Average Internal Carapace Width) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ่อนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความกว้างกระดองเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีความกว้างกระดองเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 2.74 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีความกว้างกระดองเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.73 และ 2.70 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) และสุภาพ และทวีศักดิ์ [6] ได้ทำการทดลองเลี้ยงปูทะเลในบ่อดินรายงานว่าการปล่อยปูที่มีขนาดเล็กลงเลี้ยงจะใช้ระยะเวลาการเลี้ยงนาน ควรปล่อยปูที่มีขนาด 120-200 กรัมเพื่อให้ผลผลิตปูขนาดใหญ่มากขึ้น เมื่อดูค่าความกว้างของกระดองในการทดลองครั้งนี้ พบว่าความกว้างของกระดองเฉลี่ยอยู่ ระหว่าง 11.55-11.81 เซนติเมตร (เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.70 -2.74 เซนติเมตร) ซึ่งสอดคล้องกับบรรจง และบุญรัตน์ [7] รายงานว่า ความกว้างของกระดอง ที่ 9.00-11.90 เซนติเมตร ปูจะมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 140-450 กรัม/ตัว

ตารางที่ 2 ความกว้างกระดองเพิ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร/ตัว) ของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน

ชุดการทดลอง	ความกว้างกระดองเริ่มต้นเฉลี่ย	ความกว้างกระดองเพิ่มขึ้นเฉลี่ย
	(เซนติเมตร) ^{ns}	(เซนติเมตร) ^{ns}
1	8.81 ± 0.32	2.74 ± 0.61
2	9.11 ± 0.43	2.70 ± 0.25
3	9.03 ± 0.76	2.73 ± 0.53

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p > 0.05)

น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (Daily Weight Gain) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ่อนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเพิ่มต่อวันของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีน้ำหนักเพิ่มต่อวันสูงสุดเท่ากับ 1.61 กรัม/ตัว ซึ่งไม่แตกต่าง (p > 0.05) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีน้ำหนักเพิ่มต่อวัน เท่ากับ 1.57 และ 1.51 กรัม/ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 น้ำหนักเพิ่มต่อวันของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ่อนต่างกันระยะเวลาการเลี้ยง 4 เดือน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเพิ่มต่อวัน(กรัม/ตัว) ^{ns}
1	1.51 ± 0.04
2	1.61 ± 0.16
3	1.57 ± 0.09

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p > 0.05)

อัตราการรอดตาย (Survival Rate) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าวัสดุหลบซ่อนมีผลต่ออัตราการรอดตายของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน มีอัตราการรอดตายสูงสุด เท่ากับ 69.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีอัตราการรอดตาย เท่ากับ 58.33 และ 45.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของอัมพร และคณะ [5] เลี้ยงปูม้าในบ่อดินพบว่า อัตราการรอดตายของปูม้าที่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ท่อพีวีซี กล่องพลาสติก) สูงกว่าอัตราการรอดตายของปู ที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดควบคุม) ซึ่งมีอัตราการรอดตาย เท่ากับ 70.03 68.73 และ 42.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการรอดตายต่ำในชุดการทดลองที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน เนื่องจากระหว่างการเลี้ยงปูมีการกินกันเองช่วงลอกคราบ เช่นเดียวกับ Beck [8] กล่าวว่า การใส่วัสดุหลบซ่อนในบ่อมีผลทำให้ปูมีความปลอดภัยจากการถูกกิน และยังเป็นการดึงดูดให้ปูเข้ามาหลบโดยเฉพาะปูตัวเมียในช่วงที่จะวางไข่ เช่นเดียวกับ อัมพร และคณะ [5] ได้รายงานว่าการใช้ท่อพีวีซี และกล่องพลาสติกที่วางบนพื้นบ่อให้เป็นวัสดุหลบซ่อนของปู อาจมีการสะสมของแก๊สไข่เน่าทำให้ปูออกมาอาศัยข้างนอกและลอกคราบข้างนอกวัสดุ และอาจถูกตัวอื่นกัดกินเป็นสาเหตุให้อัตราการรอดตายลดลง แต่ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า การใช้ท่อพีวีซี เป็นวัสดุหลบซ่อนที่ตัดเป็นท่อนยาวน้อยกว่า 50 เซนติเมตร ช่วยในการหมุนเวียนของน้ำที่พื้นบ่อ ลดการสะสมของแก๊สไข่เน่า ทำให้ปูมีอัตราการรอดตายที่สูงกว่า และจากการทดลองนี้การใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ่อน (ตัดท่อนละ 30 เซนติเมตร) ซึ่งไม้ไผ่มีลักษณะรูปทรงคล้ายท่อพีวีซี มีความเป็นไปได้อาจมีการหมุนเวียนน้ำที่พื้นบ่อได้ดีกว่า การใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน การสะสมของแอมโมเนีย และของแก๊สไข่เน่าที่พื้นบ่อน้อยกว่า ทำให้อัตราการรอดตายของปูสูงกว่าการใช้ยางรถยนต์ (เก่า) เป็นวัสดุหลบซ่อน และที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน(ชุดควบคุม) ซึ่งทำให้ปูกินกันช่วงลอกคราบได้ง่าย

ตารางที่ 4 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์) ของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ้อนต่างกัน

ชุดการทดลอง	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
1	45.66 ± 5.08 ^c
2	69.83 ± 8.33 ^a
3	58.33 ± 9.61 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a b c กำกับต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

อัตราการผลิตอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหลบซ้อนไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปูทะเล โดยการเลี้ยงปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ้อน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดเท่ากับ 5.44 ซึ่งไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 3 และ 1 ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 5.51 และ 5.50 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งในการปล่อยปูลงเลี้ยงในบ่อ ใช้ปูที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน และให้อาหารวันละครั้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของปูที่เลี้ยงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งวัสดุหลบซ้อนไม่มีผลต่อการกินอาหารของปู ซึ่งปกติปูจะกินอาหารช่วงพระอาทิตย์ตกดิน [9] จึงไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปูที่เลี้ยง

ตารางที่ 5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปูทะเลในการเลี้ยงที่มีวัสดุหลบซ้อนต่างกัน

ชุดการทดลอง	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ^{ns}
1	5.50 ± 0.57
2	5.44 ± 0.55
3	5.51 ± 0.48

หมายเหตุ ns คือ non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คุณสมบัติของน้ำ พบว่า คุณสมบัติของน้ำที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ มีบางช่วงที่คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ โดยพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 5.05-7.18 มิลลิกรัม/ลิตร ความเค็มเฉลี่ยอยู่ที่ 22 ส่วนในพัน ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.66-8.40 อุณหภูมิ มีค่าอยู่ระหว่าง 28.9-29.2 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการกินอาหารของสัตว์น้ำ ค่าความเป็นด่าง, ค่าแอมโมเนีย และค่าไนไตรท์ ก็อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสัตว์น้ำ คือมีค่า 117.00-148.00 0.001-0.042 และ 0.001-0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณผลผลิต ผลผลิต (น้ำหนักรวม) ของปูที่เลี้ยงเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปูที่เลี้ยงโดยไม่ใช้วัสดุหลบซ้อน (ชุดควบคุม) ได้ผลผลิตทั้งหมด 77.74 กิโลกรัม ปูทะเลที่มีการใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลบซ้อน (ชุดการทดลองที่ 2) ผลผลิตทั้งหมด 126.17 กิโลกรัม และปูทะเลที่เลี้ยงโดยใช้ยางรถยนต์(เก่า)เป็นวัสดุหลบซ้อน (ชุดการทดลองที่ 3) ผลผลิตทั้งหมด 103.29 กิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับอัตราการรอดของปู และน้ำหนักของปูที่ปล่อยเลี้ยงลงในบ่อ ดังที่ สุภาพ และทวีศักดิ์ [6] ได้ให้ความคิดเห็นว่าการเลี้ยงปูในบ่อดินควรใช้ปูที่มีขนาดตั้งแต่ 120-200 กรัม เพื่อได้ผลผลิตปูขนาดใหญ่มากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การจากทดลองแนวทางการเพิ่มผลผลิตปูทะเลในกระชังบ่อดินโดยใช้วัสดุหลบซ้อนต่างกัน สรุปดังนี้

การใช้วัสดุหลบซ้อนมีผลต่ออัตราการรอดตายของปูที่เลี้ยงในกระชังบ่อดิน เนื่องจากปูมีการกินเองช่วงที่มีการลอกคราบ ส่วนผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่ามีแนวโน้มในทางที่ดี และไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำของปูที่เลี้ยง ส่วนด้านผลผลิตพบว่าปริมาณผลผลิตจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับอัตราการรอดตายของปูเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำความสะอาดวัสดุหลบซ่อน และนำไปตากแดดให้แห้งสนิทก่อนนำมาใช้เพื่อป้องกันเชื้อรา
2. ควรมีการทำความสะอาดวัสดุหลบซ่อนหลังจากเลี้ยงไปได้ 1 เดือน เพราะอาจเกิดการหมักของเศษอาหาร และปูที่เลี้ยงติดเชื้อได้
3. ยางรถยนต์ไม่ควรวางทิ้งวางที่พื้นบ่อ ควรมีการตัดเป็นท่อนๆ เพื่อปูเข้ามาหลบซ่อนได้ง่ายขึ้นช่วงลอกคราบ และนำช่วยในการหมุนเวียนน้ำที่พื้นบ่อได้ดีขึ้น ลดการสะสมของแอมโมเนีย แก๊สไข่เน่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภชัย นิลวานิช. (2538). “เพาะปูทะเล งานวิจัยเพื่อมวลชน”, วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน. 38(133), 62-63.
- [2] รัชฎา ขาวหนูนา และสำรวย ชุมวรฐายี. (2540). “การเลี้ยงปูทะเล(*Scylla serrata*) ให้มีไข่นอกกระดองในบ่อดิน”, วารสารการประมง. 50(5), 375-382.
- [3] โสภ สมบูรณ์. (2551). ความชุกชุมและการเจริญพันธุ์ของปูทะเลเพศเมีย *Scylla paramamosain* และ *S. olivacea* บริเวณอ่าวทุ่งมหา จังหวัดชุมพร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเลเล็ก. (2554). สำนักงานฝ่ายฝึกอบรม ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กรมประมง.
- [5] อัมพร บัวที ลิขิต ชูจิต และเทพบุตร เวชกามา. (2550). ผลของการใช้ท่อพีวีซีและกล่องพลาสติกเป็นวัสดุหลบซ่อนต่ออัตราการรอดตายอัตราการเติบโตของปูม้า (*Portunus pelagicus*) ที่เลี้ยงในบ่อดิน. สถาบันวิจัยประมงคลองวาฬ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] สุภาพ ไพโรพนาพงศ์ และทวีศักดิ์ ชังวนิชเศรษฐ. (2534). “การทดลองเลี้ยงปูทะเล”, วารสารการประมง. 44(3), 229-332.
- [7] บรรจง เทียนส่งรัมย์ และบุญรัตน์ ประทุมชาติ. (2545). ปูทะเล : ชีววิทยาการอนุรักษทรัพยากรและการเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์แบบยั่งยืน. ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.
- [8] Beck, M. W. (1995). “Size – Specific Shelter Limitation in Stone Crabs: A Test of The Demographic Bottleneck”, *Journal of Ecology*. 76(1), 968-980.
- [9] บรรจง เทียนส่งรัมย์. (2551). *ถอดรหัสปูม้า*. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

ความชุกและความหนาแน่นของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา
(*Somanniathelphusa* sp.) จากจังหวัดนครพนม ปี 2559

Prevalence and Intensity of *Microphaloides* spp. in Black Rice Crab,
Somanniathelphusa sp. from Nakhon Phanom Province, Year 2016

อดิเทพชัยการณั ภาชนะวรรณ^{1*} อนวัทย์ ภาลี² ณัฐนันท์ เทียงธรรม² วราภรณ์ ภาลี³

จิราวรรณ คำธร⁴ และสรายุทธ คำพุช⁴

Adithepchaikarn Pachanawan^{1*}, Anawat Phalee², Nattanan Tiengtam², Waraporn Phalee³,

Jirawan Khamthorn⁴ and Sarawut Khampush⁴

บทคัดย่อ

พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. เป็นปรสิตที่สามารถติดต่อถึงคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้ โดยมีปูนาเป็นโฮสต์กึ่งกลางที่สำคัญ ซึ่งสามารถส่งผ่านพยาธิโดยกินปูนาดิบ คนส่วนใหญ่นิยมนำปูดิบมาใช้เป็นส่วนประกอบในส้มตำ จึงทำให้มีความเสี่ยงการติดพยาธินี้สู่คนได้ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา (*Somanniathelphusa* sp.) ในจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ ทำการเก็บตัวอย่างปูนาอย่างสุ่ม โดยวิธีเก็บด้วยมือ จากการเก็บตัวอย่างปูทั้งหมด 434 ตัว พบความชุกรวมของการติดปรสิตในปูนาเท่ากับ 50.46% โดยอำเภอเมือง มีความชุกสูงที่สุด เท่ากับ 87.09% รองลงมาคืออำเภอเรณูนคร อำเภอโพธิ์สวรรค์ และอำเภอนาหว้า มีความชุกเท่ากับ 83.33%, 80.00% และ 77.27% ตามลำดับ ขณะที่อำเภอบ้านแพง มีความชุกน้อยที่สุด เท่ากับ 6.97% เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความหนาแน่น (Intensity) ของพยาธิ พบว่าอำเภอโพธิ์สวรรค์ มีความหนาแน่นมากที่สุด เท่ากับ 200.38 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว รองลงมาคือ อำเภอนาแก อำเภอธาตุพนม และอำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 197.42 178.20 และ 129.44 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ตามลำดับ ขณะที่อำเภอศรีสงคราม มีความหนาแน่นน้อยที่สุด เท่ากับ 10.60 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. มีอัตราการระบาดที่สูงในพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยเฉพาะอำเภอเมืองทำให้ประชาชนในพื้นที่ที่มีอัตราเสี่ยงที่ติดปรสิตชนิดนี้สูงตามไปด้วย

คำสำคัญ: ความชุก ความหนาแน่น พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก ปูนา จังหวัดนครพนม

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

² อ.ดร., สาขาวิชาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

³ อ.ดร., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

⁴ อ., สาขาวิชาประมง คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Fisheries Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

² Dr., Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

³ Dr., Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

⁴ Lecturer, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000

*Corresponding author: Tel.: 042532471. E-mail address: kaipachanawan@gmail.com

Abstract

The minute Intestinal fluke, *Microphaloides* spp. are the important parasites, which can infect to humans and mammal. The importantly intermediate hosts are black rice crab (*Somanniathelphusa* sp.). They can infect to human or mammal by eating raw crab. The most people used raw crabs are important ingredient in spicy papaya salads, also affect the high risk of infection in humans. This research aims to investigate the distribution of *Microphaloides* spp. in 12 districts of Nakhon Phanom Province. The 434 black rice crabs are determined by randomly hand samplings. The result showed that total prevalence was 50.46%. The highest prevalence of infection was Mueang district (87.09%) and followed by Renu Nakhon, Phon Sawan and Na-Wa districts, equal to 83.33%, 80.00% and 77.27%, respectively. The lowest prevalence was shown in Ban Phaeng district (6.97%). The intensity of parasites found highest in Phon Sawan district (200.38 per crab), and followed by Na Kae, ThatPhanom and Mueang district equal to 197.42, 178.20 and 129.44 per crab, respectively. The lowest intensity found in Sri Songkram district as 10.60 per crab. From the results the *Microphaloides* spp. are highly distribution in Nakhon Phanom province, especially Mueang district which human in this area are highly risk of infection as well.

Keywords: Prevalence, Intensity, *Microphaloides* spp., *Somanniathelphusa* sp., Nakhon Phanom Province

บทนำ

พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. (Heterophyidae) จัดเป็นปรสิตที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านการแพทย์ และทางด้านสัตวแพทย์ โดยพยาธิชนิดนี้ระยะตัวเต็มวัยจะพบในลำไส้ของโฮสต์เฉพาะ ซึ่งได้แก่ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมถึงคน ซึ่งตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรีย (ระยะติดต่อ) [1] จะพบได้ในปูนา เมื่อโฮสต์เฉพาะมากินปูนาจะทำให้ตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียเข้าไปพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัยอาศัยอยู่ในลำไส้ของโฮสต์เฉพาะ จากการศึกษาที่ผ่านมามุ่งเน้นศึกษาการระบาดของพยาธิหลายชนิด เช่น *Haplorchis taichui*, *Stellantchasmus* sp., *Haplorchoides* sp., *Fasciola gigantica* และ *Opisthorchis viverrini* แต่สำหรับพยาธิ *Microphaloides* spp. กลับถูกมองข้ามที่จะศึกษาทั้งที่เป็นพยาธิที่สามารถติดเชื่อทั้งในคน และสัตว์เลี้ยงชนิดต่าง ๆ ได้ จัดได้ว่าปรสิตชนิดนี้เป็นพยาธิที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเฉพาะคนในภาคอีสานส่วนใหญ่นิยมรับประทานปูดิบโดยส่วนมากใช้เป็นส่วนประกอบในส้มตำ การขาดความรู้ความเข้าใจที่มากพอทำให้เกิดการระบาดของพยาธิชนิดนี้ในพื้นที่ภาคอีสานตอนบนเป็นอย่างมาก [2] การศึกษาเกี่ยวกับพยาธิ *Microphaloides* spp. นั้นยังมีข้อมูลการศึกษาน้อยทั้งในแง่ระบาดวิทยา และการจำแนกชนิดของพยาธิยังไม่ชัดเจน การติดเชื้อพยาธิใบไม้ดังกล่าวนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่แล้ว ยังก่อให้เกิดการสูญเสียงบประมาณทางด้านสาธารณสุข ในเขตจังหวัดนครพนม มีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำโขง และแม่น้ำสงคราม ทำให้เกิดเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ และมีเขตพื้นที่ชลประทานครอบคลุมอย่างทั่วถึง เกิดการทำกรเกษตรตลอดทั้งปีทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำ และมีน้ำขังตลอดเวลา มีน้ำหล่อเลี้ยงตลอดเวลา ปัจจัยเหล่านี้ทำให้นาซึ่งเป็นโฮสต์กึ่งกลางของพยาธิชนิดนี้สามารถเจริญเติบโต และแพร่กระจายเป็นจำนวนมาก การเข้าถึงข้อมูลการระบาดของพยาธิชนิดนี้ในปูนา รวมทั้งการระบุชนิดที่แท้จริงมีความสำคัญอย่างมากต่อการวางแผนการควบคุม และป้องกันพยาธิ [3] การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบาดวิทยา ของตัวอ่อนพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา มาจัดจำแนกตัวอ่อนของพยาธิชนิดนี้ที่พบในโฮสต์กึ่งกลางชนิดต่างๆ เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้แก้ไขปัญหการระบาดของปรสิตในพื้นที่ในเขตจังหวัดนครพนม และองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปรสิตชนิดอื่นๆ ที่พบการระบาดในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป [3]

การระบาดของปรสิตในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนส่วนใหญ่เป็นพยาธิใบไม้วงศ์ Heterophyidae ซึ่งประกอบด้วย *H. taichui*, *Stellantchasmus* sp., *Haplorchoides* sp. และ *Centrocestus* spp. โดยการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะปรสิตบางชนิดเท่านั้น เช่น *H. taichui*, *Haplorchoides* sp. *Stellantchasmus* sp. และ *Centrocestus* spp. [4-6] แต่สำหรับพยาธิ *Microphaloides* spp. ยังพบว่ามีการศึกษาน้อย ทั้งที่เป็นปรสิตที่สามารถติดเชื้อทั้งในคน และสัตว์เลี้ยงชนิดต่างๆ ได้ จัดได้ว่าปรสิตชนิดนี้เป็นปรสิตที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง การขาดความรู้ความเข้าใจที่มากพอทำให้เกิดการระบาดของปรสิตชนิดนี้ในพื้นที่ในเขตจังหวัดนครพนมเป็นอย่างมาก ความเข้าใจเกี่ยวกับการส่งผ่านของปรสิตไปยังโฮสต์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งการระบุชนิดที่แท้จริงของพยาธิ ส่วนแต่เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญที่จะนำไปสู่การแก้ไข และป้องกันการระบาดของปรสิตชนิดนี้ต่อไปในอนาคต

ปูนาเป็นที่อาศัยชั่วคราว ของพยาธิใบไม้ในปอด 4 ชนิด ได้แก่ *Paragonimus siamensis* (Miyazaki and Wykoff), *P. harinasutai* (Miyazaki and Vajrasthira) ซึ่งสามารถติดต่อถึงสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมพวก แมว สุนัข และหนู ส่วน *P. westermani* (Kerbert) และ *P. heterotremus* (Chen et Hsia) เป็นพยาธิใบไม้ในปอดที่เข้าสู่คน พยาธิที่พบในตัวยังเป็นตัวอ่อนของ พาราโกนิมัส (*Paragonimus* spp.) ระยะเมตาเซอร์คาเรีย (Metacercaria) เมื่อคนบริโภคปูนาดิบ ๆ เข้าไป เมตาเซอร์คาเรียจะฟักตัวในลำไส้ และตัวอ่อนพยาธิจะไชผ่านผนังลำไส้ ผ่านกระบังลม เข้าสู่ช่องปอดและเข้าเนื้อปอด ต่อจากนั้นเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย และปล่อยไข่ออกมากับเสมหะหรืออุจจาระ รวมวงจรชีวิตประมาณ 5-6 สัปดาห์ [7]

ดังนั้นหากมีการศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียเป็นระยะติดต่อกัน ที่พบในปูนา บริเวณแหล่งน้ำในเขตจังหวัดนครพนม จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผู้บริโภค เพื่อทราบถึงการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียที่อยู่ในปูนา เพื่อเป็นแนวทางในการนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางการป้องกันและแก้ไขโรคที่เกิดจากปรสิต ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้บริโภครวมทั้งปริมาณ และคุณภาพของปูนาอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ในปลาขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา (*Somanniathelphusa* sp.) ในจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ
2. เพื่อศึกษาสถานวิทยาของพยาธิใบไม้ในปลา *Microphaloides* spp. ในปูนาจากจังหวัดนครพนม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

เก็บตัวอย่างปูนาจาก 12 อำเภอ ของจังหวัดนครพนม ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอปลาปาก อำเภอธาตุพนม อำเภอเรณูนคร อำเภอนาแก อำเภอวังยาง อำเภอนาหว้า อำเภอท่าอุเทน อำเภอบ้านแพง อำเภอนาทม อำเภอศรีสงคราม และอำเภอโพนสวรรค์ (ภาพ 1) [8] และดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้



ภาพ 1 พื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง [8]

1. นำตัวอย่างปูนา ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มาตรวจสอบการติดพยาธิ *Microphaloides* sp. ระยะเมตาเซอร์คาเรีย โดยการนำปูมาทำให้ตายด้วยการแช่น้ำแข็ง จากนั้นแกะกระดองปูออก นำอวัยวะภายในปู และมันปู ใส่ในลงไปในงานเพาะเชื้อ เติมน้ำกลั่น และนำมาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบกำลังขยายต่ำ (Stereo Microscope) หรือทำการแกะมันปูมาใส่แผ่นสไลด์แล้วนำแผ่นสไลด์อีกแผ่นมาประกบ (ภาพ 2) แล้วยกส่องดูผ่านแสงและทำการนับจำนวนพยาธิ *Microphaloides* sp. ระยะเมตาเซอร์คาเรีย แล้วบันทึก

2. นับจำนวนเมตาเซอร์คาเรียที่พบในปูแต่ละตัว เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความชุก (% Prevalence) และความหนาแน่น (Intensity) ทำการถ่ายภาพ และวาดภาพ

3. ทำการบิบ ทิ่มแทงเมตาเซอร์คาเรีย ให้แตกจนเห็นตัวอ่อน หรือนำเมตาเซอร์คาเรียจากปูนำมาบ้อนในไก่เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นผ่าตัดเปิดลำไส้ไก่ เพื่อนำพยาธิระยะตัวเต็มวัยมาทำสไลด์ถาวรเพื่อใช้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา



ภาพ 2 วิธีการตรวจหาพยาธิ *Microphaloides* sp. ระยะเมตาเซอร์คาเรียในปูนา

4. นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ [9]

การคำนวณค่าความชุกชุม (Prevalence)

Prevalence หมายถึง เปอร์เซนต์ของประชากรของโฮสต์ที่พบพยาธิชนิดที่กำลังศึกษาเป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างโฮสต์

วิธีการคำนวณหา เปอร์เซนต์ Prevalence

$$\% \text{ Prevalence} = \frac{\text{จำนวนสัตว์น้ำที่ตรวจพบพยาธิ} \times 100}{\text{จำนวนสัตว์น้ำทั้งหมดที่ตรวจ}}$$

การคำนวณความหนาแน่น (Mean Intensity)

Mean Intensity คือ ค่าความหนาแน่นของปรสิตที่พบในโฮสต์สื่อกลาง 1 ตัว

วิธีการคำนวณหา Mean Intensity

$$\text{Mean Intensity} = \frac{\text{ปรสิตที่พบ}}{\text{จำนวนสัตว์น้ำทั้งหมดที่พบปรสิต}}$$

ผลการวิจัย

1. การศึกษาการระบาดของพยาธิใบไม้ลำไส้ *Microphaloides* spp. ในจังหวัดนครพนม

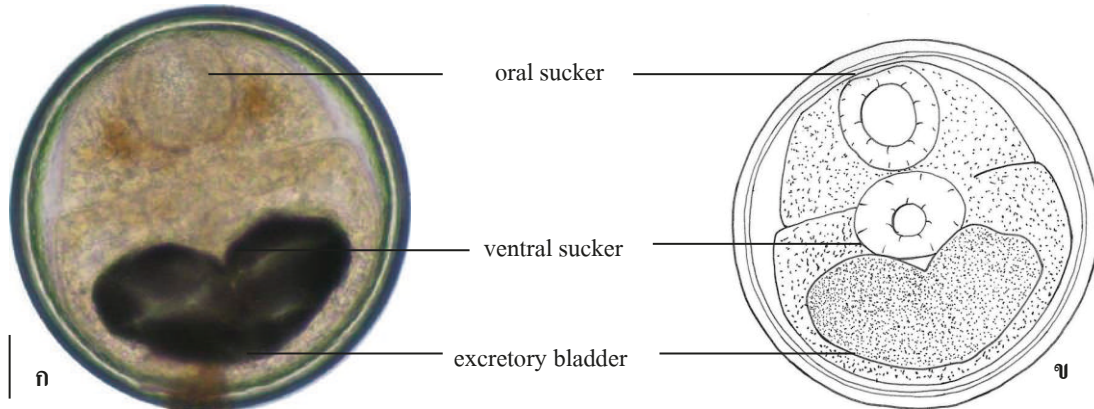
จากการศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. ในปูนา ในจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ ทำการเก็บตัวอย่างปูนา โดยวิธีสุ่มเก็บด้วยมือ จากการเก็บตัวอย่างปูทั้งหมด 434 ตัว พบความชุกรวมของการติดพยาธิในปูนา เท่ากับ 50.46% โดยอำเภอเมือง มีความชุกสูงสุด เท่ากับ 87.09% รองลงมาคืออำเภอเรณูนคร อำเภอโพนสวรรค์ และอำเภอนาหว้า มีความชุกเท่ากับ 83.33% 80.00% และ 77.27% ตามลำดับ ขณะที่อำเภอบ้านแพง มีความชุกน้อยที่สุด เท่ากับ 6.9 % เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความหนาแน่น (Intensity) ของพยาธิ พบว่าอำเภอโพนสวรรค์ มีความหนาแน่นมากที่สุด เท่ากับ 200.38 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว รองลงมาคือ อำเภอนาแก อำเภอธาตุพนม และอำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 197.42 178.20 และ 129.44 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ตามลำดับ ขณะที่อำเภอศรีสงคราม มีความหนาแน่นน้อยที่สุด เท่ากับ 10.60 เมตาเซอร์คาเรียต่อปู 1 ตัว ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. มีอัตราการระบาดที่สูงในพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยเฉพาะอำเภอเมืองทำให้ประชาชนในพื้นที่มีอัตราเสี่ยงที่ติดพยาธิชนิดนี้สูงตามไปด้วย เพื่อให้เห็นผลการศึกษาที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแพร่กระจายของหนอนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียในปูนาจากจังหวัดนครพนม

จุดเก็บ ตัวอย่าง (อำเภอ)	จำนวน ปูนาที่ตรวจ (ตัว)	จำนวนปูนาที่ตรวจพบ metacercaria (ตัว)	จำนวน metacercaria (เม็ด)	% prevalence	intensity
ท่าอุเทน	29	9	281	31.03	31.22
ธาตุพนม	38	15	2,673	39.47	178.20
นาแก	32	19	3,751	59.37	197.42
นาทม	30	12	83	40.00	6.91
นาหว้า	44	34	3,614	77.27	106.29
บ้านแพง	43	3	372	6.97	124.00
ปลาปาก	56	32	3,159	57.14	98.71
โพนสวรรค์	20	16	3,206	80.00	200.38
เมือง	31	27	3,495	87.09	129.44
เรณูนคร	36	30	700	83.33	23.33
วังยาง	38	12	350	31.57	29.16
ศรีสงคราม	37	10	106	27.02	10.60

2. การศึกษาสัณฐานวิทยาของพยาธิใบไม้ลำไส้ *Microphaloides* spp. ในปูนาจากจังหวัดนครพนม

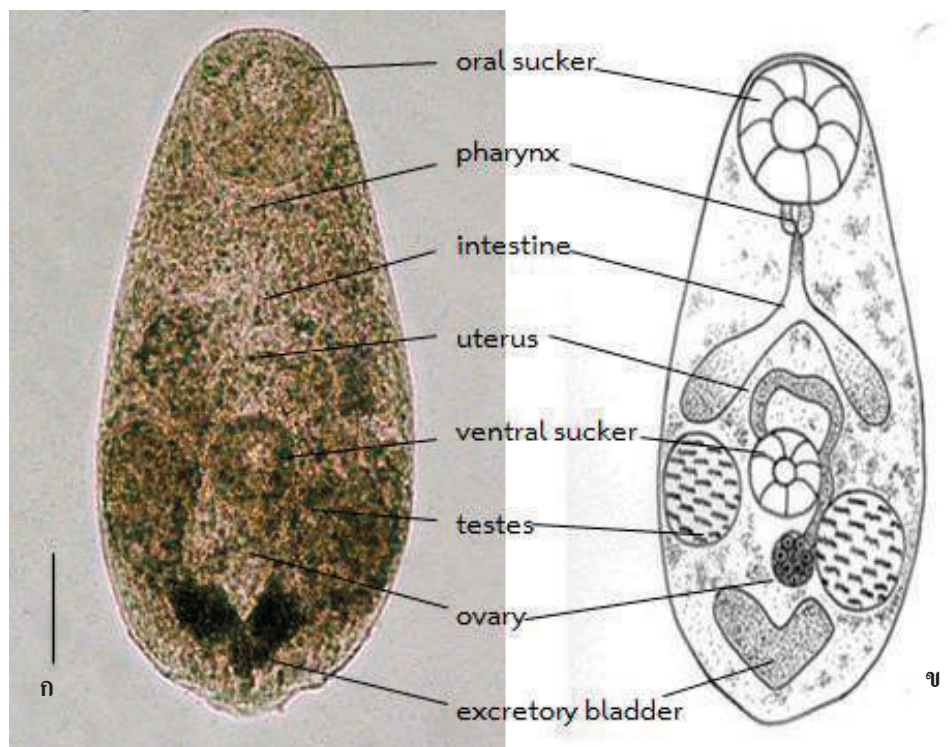
ลักษณะทั่วไป metacercaria (*Microphaloides* spp.) เป็นมีดกลมลักษณะสีน้ำตาลเหมือนเม็ดสาธู มี oral sucker และ ventral sucker มี excretory bladder สีดำเข้ม (ภาพที่ 3) พบในปูนา บริเวณตับอ่อน และมีการกระจายโดยทั่ว



ภาพที่ 3 ตัวอ่อนระยะ metacercaria ของพยาธิใบไม้ *Microphaloides* spp.

(ก) ภาพถ่าย (ข) ภาพวาด scale bar = 0.01 mm

เมื่อทำการบีบหรือทิ่มแทงเมือของ Metacercaria ให้แตก (Excyst) พบว่า ตัวอ่อนจะมีลักษณะคล้ายตัวเต็มวัย ลักษณะทั่วไป ลำตัวรูปไข่ มี oral sucker อยู่ด้านหน้าลำตัว มี intestine สั้น ๆ ต่อจาก pharynx คั่นระหว่าง oral sucker กับ ventral sucker มี testes 1 คู่ และ ovary 1 อัน มีที่เก็บของเสียเรียกว่า bladder (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 Excyst Metacercaria พยาธิใบไม้ *Microphaloides* spp. ที่พบในปูนา

(ก) ภาพถ่าย (ข) ภาพวาด scale bar = 0.01 mm

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียในปลาน้ำจืดในเขตจังหวัดนครพนม จำนวน 12 อำเภอ มีความชุกรวมของการติดพยาธิ เท่ากับ 50.46% ซึ่งพบว่าอำเภอเมือง มีค่าความชุกสูงที่สุด เท่ากับ 87.09% รองลงมาคือ อำเภอเรณูนคร มีค่าความชุกเท่ากับ 83.33% ส่วนอำเภอบ้านแพง มีค่าความชุกน้อยที่สุด เท่ากับ 6.97% เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น (Intensity) ของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย พบว่าอำเภอโพนสวรรค์ มีความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาคือ อำเภอนาแก และอำเภอเมือง มีค่าเท่ากับ 160.30 117.21 และ 112.74 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าความชุกของพยาธิมากที่สุดส่วนใหญ่เป็นระบบนิเวศน้ำนิ่ง ซึ่งการแพร่กระจายพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรีย มีการแพร่กระจายในวงกว้าง ถ้าประชาชนมีการบริโภคปลาน้ำจืดที่ดิบหรือบริโภคไม่ถูกวิธี อาจได้รับพยาธิใบไม้ระยะติดต่อเข้าสู่ร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคพยาธิใบไม้ในระบบต่างๆ ของร่างกายได้ สอดคล้องกับนักวิจัยอื่นที่ได้ศึกษาการแพร่กระจายของตัวอ่อนหนอนพยาธิในสัตว์น้ำบริเวณแหล่งน้ำในเขตบ้านกุดข้าวปุ้น และบ้านขามเต่า อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ทำการสุ่มตรวจหนอนพยาธิในสัตว์น้ำ ได้แก่ หอยขม หอยคัน ปลาน้ำจืด และกุ้งฝอย จำนวน 442 ตัว ตรวจพบสัตว์น้ำติดเชื้อ จำนวน 61 ตัว คิดเป็นร้อยละ 1.38% จัดจำแนกได้ 3 รูปแบบ คือ Amphistome cercaria, Xiphidio cercaria และ matacercaria (*Microphaloides* sp.) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความชุกของตัวอ่อนหนอนพยาธิ พบว่า matacercaria (*Microphaloides* sp.) มีค่าความชุกมากที่สุดรองลงมาคือ Amphistome cercaria และ Xiphidio cercaria ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.98% 1.66% และ 0.91% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายของตัวอ่อนของหนอนพยาธิ มีการแพร่กระจายเป็นวงกว้าง หากประชาชนมีการบริโภคสัตว์น้ำที่ดิบหรือมีการบริโภคที่ไม่ถูกวิธี อาจได้รับการติดหนอนพยาธิเข้าสู่ร่างกายได้ ส่งผลทำให้เกิดโรคในระบบต่างๆ ของร่างกาย [10]

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอัตราการติดพยาธิในสัตว์น้ำอื่นๆ เช่น สัตว์ประติณในปลาน้ำจืดจากภาคตะวันออก เฉียงเหนือ 4 แหล่งน้ำ 3 จังหวัด ได้แก่ เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา เขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เขื่อนน้ำอูน และบึงหนองหาน จังหวัดสกลนคร พบว่าปลาในแหล่งน้ำดังกล่าวหลายชนิดเป็นโฮสต์กึ่งกลางชนิดที่สองของพยาธิใบไม้ลำไส้และพยาธิใบไม้ตับ พบตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียในปลา 304 ตัว จาก 870 ตัว คิดเป็นร้อยละ 34.9% โดยปลาที่พบว่ามีเมตาเซอร์คาเรีย 10 ชนิด 274 ตัวอย่าง (90.13%) เป็นปลาในวงศ์ Cyprinidae ปลาในวงศ์นี้มีรายงานว่า เป็นโฮสต์กึ่งกลางชนิดที่สองที่สำคัญของปรสิตหลายชนิดที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ ได้แก่ พยาธิใบไม้ตับ และพยาธิใบไม้ลำไส้ เช่น *Haplorchis taichui*, *Haplorchoides* sp. [11] ขณะที่ ทางภาคเหนือได้มีการศึกษาการระบาดของพยาธิในปลา พบตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียของพยาธิใบไม้ จำนวน 5 ชนิด แบ่งเป็นพยาธิใบไม้วงศ์ Heterophyidae 4 ชนิด ได้แก่ *Haplorchis taichui*, *Haplorchoides* sp., *Stellantchasmus falcatus* และ *Centrocestus caninus*. และพยาธิใบไม้วงศ์ Diplostomatidae 1 ชนิด ได้แก่ *Posthodiplostomum* sp. โดยพบว่าจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอแม่แตง มีค่าความชุกรวมของพยาธิสูงที่สุด เท่ากับ 68.00% และจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอดอยเต่า มีค่าความชุกรวมน้อยที่สุด เท่ากับ 33.96% สำหรับพยาธิที่มีการระบาดในอัตราที่สูง และ พบทุกจุดเก็บตัวอย่าง คือ *Haplorchoides* sp. และ *H. taichui* การศึกษาการระบาดของ พยาธิในหอย พบตัวอ่อนระยะเซอร์คาเรียของพยาธิใบไม้ ทั้งหมด 8 รูปแบบ คือ xiphidio cercaria, monostome cercaria, distome cercaria, pleurolophocercous cercaria, parapleurolophocercous cercaria, echinostome cercaria, furcocercous cercaria และ transversotrema cercaria สำหรับค่าความชุกรวมของเซอร์คาเรียที่พบในหอยแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง พบว่าจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอแม่แตง มีค่าความชุกรวมมากที่สุด เท่ากับ 38.16% รองลงมาคือ จุดเก็บตัวอย่างในอำเภอป่าซาง เท่ากับ 30.65% และจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าความชุกรวมน้อยที่สุด คือ อำเภอพร้าว มีค่าเท่ากับ 11.76% [3, 12]

จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าพยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก *Microphaloides* spp. มีอัตราการระบาดที่สูงในพื้นที่จังหวัดนครพนม โดยเฉพาะอำเภอเมือง ดังนั้นผลการศึกษาชิ้นนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้บริโภคน้ำจืดซึ่งจะได้เป็น

ข้อมูลพื้นฐานเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขโรคที่เกิดจากปรสิตนี้ ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรง ลำดับต่อไปจะได้มีการเผยแพร่ข้อมูลแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีการตระหนักในการบริโภคให้มากขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณขันติ จันทร์สดี เจ้าหน้าที่ประจำสาขาประมง ขอขอบคุณผู้ปกครองนักศึกษา นิสิตฝึกสอน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ช่วยอนุเคราะห์ช่วยเหลือเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ประไพศิริ สิริกาญจน รองศาสตราจารย์ ดร.ชโลบล วงศ์สวัสดิ์ อ.ดร.อนวัทย์ ชาติ อ.ดร.วรภรณ์ น้อยโง้ง ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบ แก้ไขให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ได้ช่วยเหลือรวบรวมตัวอย่างปูที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี “การดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรงบประมาณจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนครพนม ประจำปีงบประมาณ 2559” และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนครพนมที่ให้การสนับสนุนการวิจัยด้วยดีตลอดมา คณะผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย อนึ่ง ถ้าหากรายงานการวิจัยนี้มีความบกพร่องประการใด ในนามคณะผู้จัดทำ กราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Morakhott, N. and Suksawat, K. (2003). **Medical Parasitology, Protozoa and Helminths**. Department of Parasitology, Faculty of Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai.
- [2] Radomyos B, Wongsaroj T. and Wilairatana P, (1998). “Opisthorchiasis and intestinal fluke infection in northern Thailand”, **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 29, 123-127.
- [3] Wongsawad, C., Wongsawad, P. and Sukontun, S. (2012). **Molecular biology and geographic distribution of trematodes, Heterophyidae in the Upper Ping River Basin** (Online). Retrieved 24 February 2016, from [http://www. file:///C:/Users/surachai/Downloads/Fulltext%2313_49699.pdf](http://www.file:///C:/Users/surachai/Downloads/Fulltext%2313_49699.pdf).
- [4] Sithithaworn, P., Tesana, S., Pipitgool, V., Kaewkes, S., Paironggul, C., Sripa, B., Paupairoj, A. and Thaiklar, P. (1991). “Relationship between faecal egg count and worm burden of *Opisthorchis viverrini* in human autopsy cases”, **Journal of Parasitology**. 102, 277-281.
- [5] Wongsawad, C., Rojanapaibul, A. and Mhad-arehin. (2000). “Metacercariae from fresh water fish of Mae Sa stream, Chiang Mai, Thailand”, **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 31, 54-57.
- [6] Kumchoo, K., Wongsawad, C., Chai, J. Y., Vanittanakom, P., Rojanapaibul, A. (2005). “High prevalence of *Haplorchis taichui* metacercariae in cyprinoid fish from Chaing Mai province, Thailand”, **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 36(2), 451-455.
- [7] Janyapeth, C. (Does not appear print year). **Black Rice Crab** (Online). Retrieved 13 December 2016, from [http://www. www.brrd.in.th/main/document/new/ricefield%20crabs_01.pdf](http://www.brrd.in.th/main/document/new/ricefield%20crabs_01.pdf).
- [8] Information and Communication Group Nakhon Phanom province office. (2016). **Information in Nakhon Phanom province** (Online). Retrieved 1 December 2016, from <http://www.nakhonphanom.go.th/nakhonphanom/nakhonphanom53.pdf>.

- [9] Pachanawan, A., Phalee, A. and Phalee, W. (2016). “Distribution and identification of molecular of small intestinal fluke species in black rice crabs”, **Full Research Report**. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. (In Thai)
- [10] Sripet, T. (2012). “Distribution of helminthes intermediate host at Kut Khao Bhoon and Ban Kham Tao, Kham Tao subdistrict, Muang district, Nakhon Phanom”, **Special Problems**. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. (In Thai)
- [11] Phurivirojkul, V. (2011). “**Survey of fish species infected with metacercaria from some localities in northeastern Thailand** (Online). Retrieved 20 March 2016, from http://www.fishtech.mju.ac.th/fishnew1/journal_ft/AbstractFile/P75-86%20-V5-Y2554.pdf.
- [12] Chantima, K. (2009). “Epidemiology and Distribution of Metacercariae in Cyprinidae Fish from Mae Ngand Somboonchon Dam Chiang Mai Province”, **Project of Bachelor of Science**. Department of Zoology, Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University. (In Thai)

จลนพลศาสตร์และการบำบัดแอมโมเนียของดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

Kinetics and Ammonia Treatment of Sediment from White Shrimp

(*Litopenaeus vannamei*) Pond

ธัญรัตน์ มะเสน¹ สุพรรณณี ลิโทชาลิต² ปวีณา ตปนิยวรวงษ์³ สรวิต เผ่าทองสุข⁴ และมะลิวัลย์ คุตะโค^{5*}

Thanyarat Masen¹, Supanee Leethochavalit², Paveena Tapaneeyaworawong³,

Sorawit Powtongsook⁴ and Maliwan Kutako^{5*}

บทคัดย่อ

แหล่งไนโตรเจนหลักที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งมาจากอาหารที่เหลือจากการกินและของเสียอินทรีย์ที่กุ้งปลดปล่อยออกของเสียจะสะสมบริเวณดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง และจุลินทรีย์บริเวณดินพื้นบ่อทำหน้าที่ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของดินตะกอนบ่อเลี้ยงกุ้งในการบำบัดแอมโมเนีย บ่อเลี้ยงกุ้งอยู่ในอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ขนาด 7 ไร่ ให้ผลผลิต 12 ตัน ได้เก็บดินจากบ่อทันทีหลังจากเก็บผลผลิตกุ้ง นำดินมาบรรจุในถัง 10 ซม. (0.37 ตร.ม.) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 30 ลิตร ปริมาตร 20 ล. และเติมอากาศตลอด 40 วัน ทดลองบำบัดแอมโมเนียความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0 10 20 30 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. พบว่าการเติมแอมโมเนีย 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด 8.75 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ($P \leq 0.05$) และกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดภายใน 28 วัน ทุกชุดทดลอง โดยแอมโมเนียและไนไตรต์ถูกบำบัดเกือบหมด ส่วนไนเตรตต่ำกว่า 7.97 มก.-ไนโตรเจน/ล. อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด (V_{max}) ที่คำนวณได้เท่ากับ 18.18 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน และ K_s เท่ากับ 92.41 มก.-ไนโตรเจน/ล. อัตราการบำบัดแอมโมเนียนี้สามารถใช้ประเมินความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวได้

คำสำคัญ: จลนพลศาสตร์ การบำบัดแอมโมเนีย ดินตะกอน บ่อเลี้ยงกุ้งขาว

¹ นิสิตปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จันทบุรี 22170

² นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

³ ผู้ช่วยนักวิจัยอาวุโส ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120

⁴ นักวิจัยอาวุโส ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120

⁵ ผศ.ดร., คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จันทบุรี 22170

¹ Undergraduate Student, Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi, 22170

² Scientist, Professional Level, Institute of Marine Science, Burapha University, Chonburi, 20131

³ Senior Research Assistant, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani, 12120

⁴ Principal Researcher, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani, 12120

⁵ Asst. Prof. Dr., Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi, 22170

* Corresponding author: Tel.: 081-6418444. E-mail address: maliwan@buu.ac.th

Abstract

The major sources of nitrogen input to shrimp pond are leftovers and organic waste excreted from shrimp. The wastes are accumulated at the pond bottom. Microorganisms at the surface of pond bottom soil play an important role in nitrogen conversion processes. The purpose of this research was to evaluate the efficiency of ammonia treatment using sediment from shrimp pond located in Thamai, Chanthaburi Province, Thailand. This pond (approximately 7 Rai or 1.12 Ha) had the shrimp production of 12 tons of shrimp per crop. Sediment was immediately collected after shrimp harvesting. Then, sediment was packed into the experimental tanks with 10 cm depth (0.37 m^2), gradually filled with 20 L synthetic wastewater (30 ppt) and continuously aerated for 40 days. Experiment on ammonia treatment was conducted using various ammonia concentrations i.e. 0, 10, 20, 30, 40 and 50 mg-N/L. With 50 mg-N/L ammonia addition, the highest ammonia treatment rate at 8.75 mg-N/L/day was detected which was significantly higher than other treatment tanks ($P \leq 0.05$). For all treatment tanks, the complete nitrification of the sediment occurred in 28 days incubation as the ammonia and nitrite were nearly eliminated while nitrate was remained at low concentration ($< 7.97 \text{ mg-N/L}$). The calculation of the maximum ammonia removal rate ($V_{\max}$) was 18.18 mg-N/L/day and K_s was 92.41 mg-N/L. Ammonia removal kinetics of sediment can be further used to evaluate the carrying capacity of shrimp pond.

Keywords: Kinetics, Ammonia Treatment, Sediment, White Shrimp Pond

บทนำ

การเลี้ยงกุ้งทะเลในบ่อดินมักพบของเสียสะสมที่บริเวณดินก้นบ่อ ซึ่งอาหารที่เหลือจากการกินของสัตว์น้ำถือเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ไนโตรเจน โดยไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารที่สัตว์น้ำกินมีเพียงร้อยละ 20-30 ที่สามารถสะสมในตัวสัตว์น้ำ ส่วนไนโตรเจนมากถึงร้อยละ 70-80 จะถูกขับถ่ายออกและสะสมอยู่ทั้งในมวลน้ำและดินพื้นบ่อ [1] แต่ในดินพื้นบ่อจะมีกระบวนการทางชีวธรณีเคมี (Biogeochemical Processes) ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนและกำจัดไนโตรเจนออกจากบ่อได้ ของเสียอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแหล่งปลดปล่อยแอมโมเนียเพราะจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (Heterotroph Microorganisms) ที่อาศัยในดินจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนและผลิตแอมโมเนียออกมาสู่มวลน้ำ แอมโมเนียในช่วง 0.2-2 มก.-ไนโตรเจน/ล. อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้ [1] แต่แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อดินจะถูกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) เปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์และไนเตรต ตามลำดับ ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification Process) อีกทั้งในชั้นของดินตะกอนมีจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดไนเตรตออกจากบ่อได้ด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification Process) [2] โดยทั่วไปเมื่อเกษตรกรจบการเลี้ยงกุ้งในแต่ละรอบแล้วเกษตรกรจะมีการจัดการของเสียที่สะสมที่พื้นบ่อโดยการฉีดเลนเพื่อกำจัดของเสียที่สะสมบริเวณพื้นบ่อ จากนั้นตากบ่อให้แห้งซึ่งวิธีนี้ทำได้ง่าย การผึ่งและตากบ่อด้วยแสงแดดจะช่วยเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์และลดจำนวนแบคทีเรียก่อโรคที่อยู่ในดินตะกอน แต่การตากบ่อก็จะส่งผลในการลดจำนวนแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น ไนตริไฟอิงแบคทีเรียและดีไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Denitrifying Bacteria) ซึ่งมีบทบาทสำคัญมากในวัฏจักรไนโตรเจนของระบบบ่อดิน แบคทีเรียดังกล่าวจะสามารถคืนสภาพขึ้นมาได้อีกครั้งหลังจากการเติมน้ำลงในบ่อและจัดให้มีระยะเวลาบ่มเชื้อที่เพียงพอ [3-4] โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มแอมโมเนียออกซิไดซิง (Ammonia Oxidizing Bacteria) ซึ่งต้องการระยะเวลาบ่มเชื้อนานหลายสัปดาห์เพื่อคืนสภาพกลับมาทำหน้าที่บำบัดแอมโมเนีย ในบ่อเลี้ยงปริมาณแอมโมเนียจะแปรผันตามความหนาแน่นของการเลี้ยงสัตว์น้ำ [1] โดยบ่อที่เลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นสูงก็จะต้องมีกิจกรรมของแอมโมเนียออกซิไดซิงที่เพียงพอ ไม่งั้นนั้นจะเกิดการสะสมของแอมโมเนียในน้ำส่งผลความเป็นพิษต่อกุ้งที่เลี้ยง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่ทำการเก็บ

เกี่ยวกันแล้ว และยังไม่ได้นำมาดำเนินการฝังบ่อมาทดสอบการบำบัดของเสียในโตรเจนในรูปแบบของแอมโมเนีย โดยทดลองเดิมแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อทราบถึงจลนพลศาสตร์ของอัตราการบำบัดแอมโมเนียของจุลินทรีย์ในดินพื้นบ่อทิ้ง สำหรับเป็นข้อมูลเพื่อประเมินศักยภาพการรองรับ (Carrying Capacity) ของแอมโมเนียในระบบบ่อเลี้ยงกุ้งต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

ดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาวที่ใช้ทดลอง

ดินที่ใช้ทดลองเป็นดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ตั้งอยู่ที่ตำบลตะกอนเจ้า อำเภอบางใหญ่ จังหวัดจันทบุรี (พิกัด 12°34'36"N, 101°59'56"E) ที่เลี้ยงกุ้งนาน 4 เดือน และเก็บเกี่ยวผลผลิตกุ้งขนาด 68 ตัว/กก. ได้ประมาณ 12 ตัน ขนาดบ่อประมาณ 7 ไร่ คิดเป็นผลผลิตกุ้ง 1.07 กก./ตร.ม. หรือประมาณ 73 ตัว/ตร.ม. ทำการเก็บดินตะกอนพื้นบ่อทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตเสร็จ สุ่มเก็บดินตะกอนให้ทั่วบ่อโดยชุดเก็บดินให้มีความลึก 10 ซม. ผสมดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน และวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ [5] และอนุภาคดิน (Soil Texture) โดยใช้ Hydrometer [6]

อัตราการบำบัดแอมโมเนียและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชันในถังบรรจุดินพื้นบ่อ

บรรจุดินลงในถังพลาสติกทึบแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 68.5 ซม. จำนวน 18 ถัง ให้ดินมีความหนา 10 ซม. (พื้นที่ผิวดิน 0.37 ตร.ม.) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณลักษณะคล้ายน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ [7] ที่เตรียมจากน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที จากนั้นเติมน้ำเสียถึงละ 20 ล. และแบ่งการทดลองเป็นชุดควบคุม เติมน้ำเสียที่ไม่มีแอมโมเนียมกลอไรด์ (0 มก.-ไนโตรเจน/ล.) และชุดทดลองเติมน้ำเสียที่มีสารละลายแอมโมเนียมกลอไรด์เข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. แต่ละชุดทำ 3 ซ้ำ ระหว่างทดลอง 40 วัน ได้เติมอากาศตลอดเวลาและเก็บน้ำเพื่อวัดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ด้วยวิธี Phenate และ Griess-Ilosvay Diazotization ตามลำดับ [8] และวิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธี UV-Visible Screening [9] ตรวจวัดอุณหภูมิและ pH ในน้ำด้วย pH Meter (รุ่น CONSORT C532x) วัดปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยใช้ DO Meter (รุ่น DO 200, YSI INC) และค่าโออาร์พี (Oxidation-Reduction Potential, ORP) ด้วย ORP Meter (รุ่น HI98240, Hanna) วัดค่าอัลคาไลน์ิตีด้วย PARA Alkalinity Test และวัดความเค็มด้วย Refractometer (Atago S-8, Japan) ในวันสุดท้ายของการทดลองได้ตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ในดิน [5] จากนั้นนำข้อมูลปริมาณแอมโมเนียในแต่ละชุดการทดลองมาคำนวณหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียได้จากสมการที่ (1) ดังนี้ [10]

$$V = \frac{(S_0 - S_t)}{(T_0 - T_t)} \quad (1)$$

เมื่อ V คือ อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน หรือ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน) และ S_0 คือ ปริมาณแอมโมเนีย ณ เวลา T_0 (มก.-ไนโตรเจน/ล. หรือ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม.) ส่วน S_t คือ ปริมาณแอมโมเนีย ณ เวลา T_t (มก.-ไนโตรเจน/ล. หรือ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม.) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนและความแตกต่างของอัตราการบำบัดแอมโมเนียในถังดินที่เติมแอมโมเนียความเข้มข้นแตกต่างกัน ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามลำดับ หลังจากได้ค่าอัตราการบำบัดแอมโมเนีย (V) นำค่าดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (S) และสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) [10]

$$V = \frac{(V_{\max} \times S)}{(K_s + S)} \quad (2)$$

โดยที่ $V_{\max}$ คือ อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด (มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน หรือ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน) และ S คือ ปริมาณแอมโมเนีย (มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน หรือ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม.) และ K_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์กึ่งที่ (มก.-ไนโตรเจน/ล./

วัน หรือ มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม.) ทั้งนี้การคำนวณ $V_{\max}$ และ K_s นั้น ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง S และ S/V โดยที่ $V_{\max} = 1/\text{slope}$ และ $K_s = \text{จุดตัดแกน X}$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ลักษณะของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาว

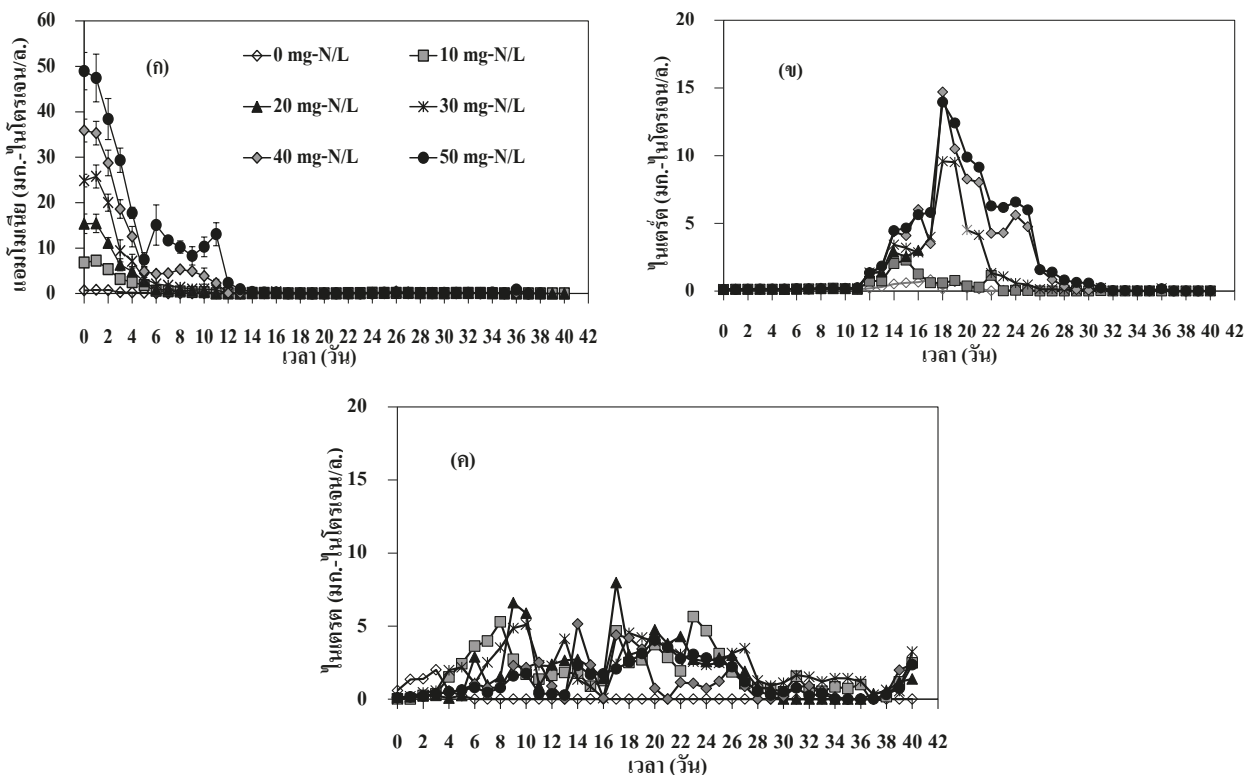
บริเวณผิวหน้าดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ความลึกของดิน 2-3 ซม. เป็นดินตะกอนสีดำ แสดงให้เห็นว่าเป็นบริเวณที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic Zone) ซึ่งมักจะอุดมไปด้วยสารอินทรีย์และเฟอร์รัส (Fe^{2+}) [11] และดินชั้นที่ลึกลงไปมีสีเทาแกมเหลือง ดินมีอนุภาคดินทราย (Sand) ดินทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay) ร้อยละ 53.37 5.66 และ 40.98 ตามลำดับ จัดเป็นดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) ดินพื้นบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีอนุภาคดินเหนียวอย่างน้อยร้อยละ 20-30 [12] แต่บ่อเลี้ยงกุ้งที่ได้นำดินมาใช้ทดลองครั้งนี้มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูง ซึ่งอาจยากต่อการพลิกหน้าดินเพื่อผึ่งและทำให้แห้ง หลังจากเก็บผลผลิตกุ้งขาวและถ่ายน้ำออกจากบ่อแล้วเกษตรกรจึงตากบ่อโดยให้พื้นบ่อรับแสงแดดนาน 1 สัปดาห์ โดยไม่ฉีดเลนออกจากบ่อ แล้วจึงเติมน้ำเข้าสู่บ่อพร้อมทั้งเตรียมสื่อน้ำก่อนที่จะปล่อยกุ้งในรอบต่อไป

การเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในถังบรรจุดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้ง

ถึงแม้ว่าไม่มีการเติมแอมโมเนียลงในถังควบคุม แต่พบแอมโมเนียสูงสุด 0.81 มก.-ไนโตรเจน/ล. (ภาพที่ 1ก) ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ต้องระวังเพราะอาจส่งผลกระทบต่อกุ้งได้ ทั้งนี้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีแอมโมเนียต่ำกว่า 0.2-2 มก.-ไนโตรเจน/ล. ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ ขนาดสัตว์น้ำและปัจจัยสิ่งแวดล้อม [1] สาเหตุที่พบแอมโมเนียในถังที่ไม่เติมแอมโมเนียเพราะดินพื้นบ่อเป็นแหล่งสะสมของเสียสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งดินที่นำมาทดลองมีสารอินทรีย์ร้อยละ 9.96 ± 0.83 และจุลินทรีย์ธรรมชาติที่อาศัยในดินสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนและเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย เรียกกระบวนการนี้ว่าแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) [13] ในวันที่สิ้นสุดการทดลองจึงพบปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในถังทดลองมีค่าลดลง (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ทั้งนี้ในแหล่งน้ำธรรมชาติและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีอัตราการเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันในช่วง 0.001–59 มก.-ไนโตรเจน/ลบ.ม/วัน [14-15] อย่างไรก็ตามภายใน 5 วัน ปริมาณแอมโมเนียก็อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ

เมื่อเติมแอมโมเนียให้มีความเข้มข้น 10-50 มก.-ไนโตรเจน/ล. เพื่อเป็นตัวแทนของเสียไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ พบว่าแอมโมเนียลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในทุกชุดการทดลอง และการเติมแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 10 20 และ 30 มก.-ไนโตรเจน/ล. พบแอมโมเนียลดลงต่ำกว่า 0.2 มก.-ไนโตรเจน/ล. ในวันที่ 11 12 และ 13 แต่แอมโมเนียความเข้มข้นสูง 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. ต้องใช้เวลาบำบัดแอมโมเนียให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำนานกว่า โดยใช้เวลา 13 และ 15 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 2ก) ซึ่งให้เห็นว่าหากมีปริมาณแอมโมเนียสูงก็จะใช้ระยะเวลาบำบัดนานกว่าความเข้มข้นต่ำ การที่แอมโมเนียลดลงอาจเป็นเพราะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น ซึ่งในการทดลองได้เติมอากาศอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณออกซิเจนในน้ำ ORP และอัลคาไลน์ดีไม่ต่ำกว่า 5 มก./ล. 70 มิลลิโวลต์ และ 100 มก. CaCO_3 /ล. ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย [16] ดังนั้นขั้นตอนแรกของไนตริฟิเคชันจะส่งผลให้แอมโมเนียลดลง เพราะเกิดปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชัน (Ammonia Oxidation) เปลี่ยนแอมโมเนียให้สะสมอยู่ในรูปของไนไตรต์ [16] หลังจากแอมโมเนียลดลงจะพบไนไตรต์สะสมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1ข) จนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงกว่า 0.3 มก.-ไนโตรเจน/ล. ซึ่งเป็นระดับที่อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ [1] การเติมแอมโมเนีย 10 20 30 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. พบว่าไนไตรต์สูงกว่า 0.3 มก.-ไนโตรเจน/ล. ในวันที่ 13 และลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำในวันที่ 20 21 25 28 และ 30 ของการทดลอง ตามลำดับ ไนไตรต์สะสมสูงมากกว่า 10 มก.-ไนโตรเจน/ล. เมื่อเติมแอมโมเนีย 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. จึงเห็นได้ว่าหากเติมแอมโมเนียความเข้มข้นสูงต้องใช้เวลาบำบัดไนไตรต์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำนานกว่า

ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า และการที่ไนไตรต์ลดลงอาจเป็นเพราะปฏิกิริยาไนไตรต์ออกซิเดชัน (Nitrite Oxidation) ที่เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถเปลี่ยนไนไตรต์ให้เป็นไนเตรต (Nitrite Oxidizing Bacteria) [16] ตามทฤษฎีเมื่อเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์ (Complete Nitrification) จะไม่พบแอมโมเนียและไนไตรต์ แต่พบการสะสมของไนเตรต [16] เพราะกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนจากรูปของแอมโมเนียและไนไตรต์ที่มีความเป็นพิษสูงกลายเป็นไนเตรตที่มีความเป็นพิษต่ำแต่ผลการทดลองนี้พบไนเตรตสะสมต่ำกว่า 7.97 มก.-ไนโตรเจน/ล. ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 1ค) ซึ่งการที่ไม่พบแอมโมเนียและไนไตรต์อาจเนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน เพราะสภาพที่ใส่ทดลองมีความเหมาะสมต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน [16-17] ส่วนไนเตรตที่พบสะสมในปริมาณน้อยตลอดการทดลองอาจเนื่องจากมีกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในชั้นดินที่ลึกลงไปโดยเกิดควบคู่กับกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในมวลน้ำหรือหน้าดินที่ได้รับออกซิเจน ทั้งนี้ดินบริเวณที่ไร้ออกซิเจนจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้โดยบำบัดไนเตรตและไนไตรต์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน จึงถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างสมบูรณ์ [15]



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนปริมาณแอมโมเนีย (ก) ไนไตรต์ (ข) และไนเตรต (ค) ในถังบรรจุดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่เติมแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0-50 มก.ไนโตรเจน/ล.

อัตราการบำบัดแอมโมเนียและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชัน

ถังดินพื้นบ่อหลังการเลี้ยงกุ้งที่บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่เติมแอมโมเนีย และเติมแอมโมเนียเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 0.12 1.02 2.49 3.47 6.17 และ 8.75 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน หรือ คิดเป็น 6.63 54.76 134.49 187.25 332.68 และ 471.60 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งอัตราการบำบัดจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น โดยถังดินที่เติมแอมโมเนีย 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดสูงกว่าการเติมแอมโมเนียที่ความเข้มข้นอื่น ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ดินที่นำมาทดลองได้มาจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีผลผลิต 1.07 กก./ตร.ม. หรือ ประมาณ 73 ตัว/ตร.ม. คิดเป็น 116,800 ตัว/ไร่ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นเหมาะสมตามที่กรมประมงได้

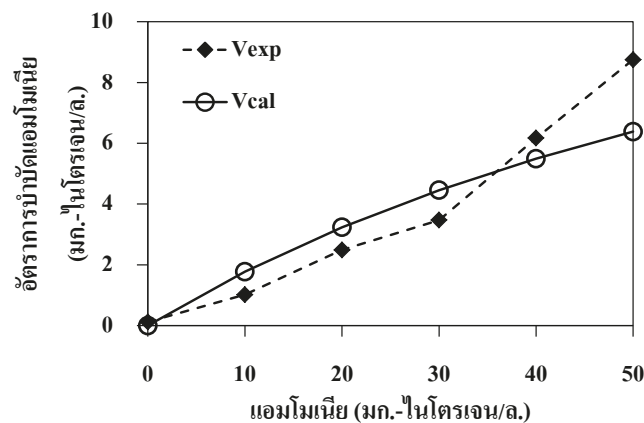
แนะนำไว้ การเลี้ยงกุ้งที่มีความหนาแน่น 1 กก./ตร.ม. ในบ่อที่มีความลึก 1 ม. จะทำให้เกิดแอมโมเนียขึ้นในน้ำได้ประมาณ 2.28 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน ซึ่งอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อยังมีความสามารถในการรองรับของเสียจากการเลี้ยงกุ้งนี้ได้ ทั้งนี้แอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียรวมทั้งจุลินทรีย์ในกลุ่มแอมโมเนียออกซิไดซิงอาร์เคีย (Ammonia Oxidizing Archaea) จะมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความหลากหลายและชนิดของจุลินทรีย์ รวมถึงปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของดินด้วย เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ ความชื้น ค่าอัตราแลกเปลี่ยน ความเค็มและอุณหภูมิของดิน [2-3, 14, 17] บ่อเลี้ยงกุ้งที่นำดินมาใช้ทดลองครั้งนี้ เกษตรกรได้เตรียมบ่อเพื่อเลี้ยงกุ้งในรอบต่อไปด้วยวิธีฝังบ่อนาน 1 สัปดาห์ จากนั้นเติมน้ำให้มีความลึกครึ่งบ่อ พักน้ำไว้เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน และใส่กากขี้เพื่อกำจัดหอย ปูและปลา ส่วนสาเหตุที่เกษตรกรเตรียมบ่อด้วยวิธีนี้เพราะเป็นช่วงฤดูฝนจึงไม่สามารถตากบ่อได้นานและพื้นบ่อเป็นดินเหนียวซึ่งยากต่อการพลิกหน้าดิน ดินตะกอนจึงอาจจะมีค่าความชื้นสูงและส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดี ส่วนการตากแดดดินสามารถฆ่าจุลินทรีย์และทำให้กิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ลดลง โดย [18] พบว่าดินเปียกมีอัตราการบำบัดแอมโมเนีย 2.22 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ก.ดิน/วัน ซึ่งสูงกว่าดินแห้งที่มีค่า 1.70 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ก.ดิน/วัน นอกจากนี้ปริมาณของเสียไนโตรเจนก็มีผลต่ออัตราการบำบัดแอมโมเนียด้วยเช่นกัน ในการทดลองครั้งนี้ ดินพื้นบ่อที่เติมแอมโมเนียเข้มข้นสูงถึง 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม หากปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไป โดยอยู่ในช่วง 1,050-2,800 มก.-ไนโตรเจน/ล. จะยับยั้งการทำงานของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียได้ [19]

ตารางที่ 1 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณแอมโมเนียแตกต่างกัน โดยที่อักษรที่แตกต่างกันของข้อมูลในแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Ammonia Concentration (mg-N/L)	Ammonia Removal Rate	
	(mg-N/L/day)	(mg-N/m ² /day)
0	0.12 ± 0.00 ^f	6.63 ± 0.07 ^f
10	1.02 ± 0.18 ^e	54.76 ± 9.60 ^e
20	2.49 ± 0.18 ^d	134.49 ± 9.89 ^d
30	3.47 ± 0.10 ^c	187.25 ± 5.26 ^c
40	6.17 ± 0.38 ^b	332.68 ± 20.56 ^b
50	8.75 ± 0.50 ^a	471.60 ± 26.77 ^a

หมายเหตุ ^{a-f} แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชันที่เกิดจากจุลินทรีย์ในดินพื้นบ่อ พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียแปรผันตามปริมาณแอมโมเนีย (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในน้ำเสียและดิน [18] โดยอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่ได้จากการทดลอง (V_{exp}) และจากการคำนวณ (V_{cal}) จากสมการข้างต้น [10] พบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำเสียมียปริมาณแอมโมเนียสูง โดย V_{max} ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 18.18 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน คิดเป็น 980.15 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และ K_s มีค่าเท่ากับ 92.41 มก.-ไนโตรเจน/ล. ทั้งนี้ค่า V_{max} แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำงานของแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรียได้ ส่วนค่า K_s เป็นค่าความเข้มข้นของซับสเตรต (Substrate) ที่ให้อัตราความเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด ทั้งนี้ค่า K_s จากการทำงานของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในทะเลและน้ำเสียอาจพบได้ในช่วง 0.14 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ล. ถึง 14 มก.-ไนโตรเจน/ล. [18-19]



ภาพที่ 2 อัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินพื้นบ่อหลังจากเก็บเกี่ยวกุ้งขาว โดยทดลองเติมแอมโมเนียความเข้มข้นแตกต่างกัน
ทั้งนี้ V_{exp} และ V_{cal} คือ อัตราการบำบัดแอมโมเนียที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การเติมแอมโมเนีย 50 มก.-ไนโตรเจน/ล. ส่งผลให้ดินบำบัดแอมโมเนียได้สูงสุดถึง 8.75 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน หรือ 471.60 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และใช้เวลาบำบัดแอมโมเนียและไนไตรต์ได้ภายในเวลา 30 วัน ส่วนไนเตรตสะสมในปริมาณต่ำกว่า 7.97 มก.-ไนโตรเจน/ล. และจากการคำนวณหาตัวแปรทางจลนพลศาสตร์พบว่า ดินมีค่า V_{max} เท่ากับ 18.18 มก.-ไนโตรเจน/ล./วัน คิดเป็น 980.15 มก.-ไนโตรเจน/ตร.ม./วัน และ K_s มีค่าเท่ากับ 92.41 มก.-ไนโตรเจน/ล. จึงเห็นได้ว่าดินพื้นบ่อหลังจากเก็บเกี่ยวกุ้งขาวสามารถบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันควบคู่กับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้น เมื่อเกษตรกรจบการเลี้ยงกุ้งและฝังบ่อนานประมาณ 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นควรเติมน้ำเข้าบ่อ โดยรักษาค่าออกซิไดซ์และออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้สูงกว่า 100 มก. $CaCO_3$ /ล. และ 5 มก./ล. ตามลำดับ นาน 1 เดือน เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อกุ้งที่จะเลี้ยงในรอบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Weaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. (2002). **Recirculating Aquaculture systems**. 2nd edition, Cayuga Aqua Ventures, USA.
- [2] Kutako, M., Limpiyakorn, T., Luepromchai, E., Powtongsook, S. and Menasveta, P. (2009). "Inorganic nitrogen conversion and changes of bacterial community in sediment from shrimp pond after methanol addition", **Journal of Applied Sciences**. 9(16), 2907-2915.
- [3] Fiere, N. and Schimel, J.P. (2002). "Effect of drying-rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations", **Soil Biology & Biochemistry**. 34, 777-787.
- [4] Franzluebbers, K., Weaver, R.W., Juo, S.R. and Franzluebbers, A.J. (1994). "Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil", **Soil Biology & Biochemistry**. 26, 1376-1387.
- [5] APHA. (1992). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18th edition, Maryland, USA: American Public Health Association.

- [6] Web, J.B. (1977). **Soil Properties, Herbicide Sorption and Model Soil Systems**. In: Research Methods in Weed Science, 2nd edition (ed. B. Truelove), Southern Weed Science Society, Auburn.
- [7] Visvanathan, C., Hung, N.Q. and Jegatheesan, V. (2008). "Hydrogenotrophic denitrification of synthetic aquaculture wastewater using membrane bioreactor", **Process Biochemistry**. 43, 673-682.
- [8] Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972). **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. Fishery Research Board of Canada. Ottawa.
- [9] AOAC. (2000). **Nitrogen (Nitrate and Nitrite) in Animal Feed**. In: Horowitz, W (ed). Official methods of analysis of the AOAC, 17th edition, Washington.
- [10] Aslan, S. and Kapdan, I.K. (2006). "Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae", **Ecological Engineering**. 28, 64-70.
- [11] Sonnenholzner, S. and Boyd, C.E. (2000). "Chemical and Physical Properties of Shrimp Pond Bottom Soils in Ecuador", **Journal of the World Aquaculture Society**. 31(3), 358-375.
- [12] Boyd, C.E. and Bowman, J.R. (1997). **Pond Bottom Soils**. In: H.S. Egna and C.E. Boyd (Editors), Dynamics of Pond Aquaculture. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [13] Steeby, J.A., Hargreaves, J.A. Tucker, C.S. and Kingsbury, S. (2004). "Accumulation, organic carbon and dry matter concentration of sediment in commercial channel catfish ponds", **Aquacultural Engineering**. 30, 115-126.
- [14] Kroom, M.D. (1991). "Importance of benthic productivity in controlling the flux of dissolved inorganic nitrogen through the sediment-water interface in a hypertrophic marine ecosystem", **Marine Ecology Progress Series**. 78, 163-172.
- [15] Gross, A., Boyd, C.E. and Wood, C.W. (2000). "Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds", **Aquacultural Engineering**. 24, 1-14.
- [16] McCarty, G.W. (1999). "Modes of action of nitrification inhibitors", **Biology and Fertility of Soils**. 29, 1-9.
- [17] Bodelier, P. E., Libochant, J. A., Blom, C.W. P. M. and Laanbroek, H. J. (1966). "Dynamics of nitrification and denitrification in root oxygenated sediments and adaptation of ammonia-oxidizing bacteria to low-oxygen or anoxic habitats", **Applied and Environmental Microbiology**. 62(11), 4100-4107.
- [18] Novem Auyeung, D. S., Martiny, J.B. H. and Dukes, J. S. (2015). "Nitrification kinetics and ammonia oxidizing community respond to warming and altered precipitation", **Ecosphere**. 6(5), 1-17.
- [19] Princic, A., Mahne, I., Megusar, F., Paul, E. A. and Tiedje, J. M. (1998). "Effects of pH and oxygen and ammonium concentrations on the community structure of nitrifying bacteria from wastewater", **Applied and Environmental Microbiology**. 64(10), 3584-3590.

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และค่าคุณภาพซากของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริม ใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างๆ

Growth Performance and Carcass Quality in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Supplemented *Acacia mangium* Meal and Fibrolytic Enzyme in Diets

วรพงษ์ นลินานนท์^{1*} และสาชล เลิศสุวรรณ¹

Warrapong Nalinanon^{1*} and Saichon Lerdsuwan¹

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการใช้อาหารเสริมใบกระถินเทพาปน (AM) และเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพซากในปลานิลวัยอ่อน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ที่มี 6 กลุ่มๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 20 ตัว โดยอาหารทดลองประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 อาหารสูตรควบคุม (ไม่ผสม AM) ส่วนกลุ่มที่ 2 ถึง 6 (ผสม AM 20% ในสูตรอาหาร) ผสมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่ระดับ 0 3 9 15 และ 21 กรัม/กก. อาหาร ตามลำดับ ใช้ปลาน้ำหนักเริ่มต้น 0.25 กรัม เลี้ยงในถังขนาด 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ปลาชุดควบคุม มีค่าน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักเพิ่ม ADG ความยาวสุดท้าย ความยาวเพิ่ม SGR FCR FER และ PER ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ในขณะที่ อัตรารอดตาย และปริมาณอาหารที่กิน ไม่ต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนค่าคุณภาพซากพบว่า ค่า % carcass % yield, HSI, IFR, น้ำหนักกระเพาะ ความกว้าง และความหนาของปลา มีค่าไม่ต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่พบว่าการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเยื่อใย มีผลให้ค่าความยาวลำไส้ลดลง ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก ปลานิล เอนไซม์ย่อยเยื่อใย

Abstract

The experiment was conducted to investigate the effect of supplemental *Acacia mangium* Leaf meal (AM) and fibrolytic enzyme in diets on growth performance and carcass quality of juvenile Nile Tilapia. The experimental design was CRD with 6 treatments and 3 replicates of 20 fishes. Treatment 1 was a control unit (containing 0% AM). Treatments 2 to 6 (containing 20% AM) were included with different level of fibolytic enzyme at 0, 3, 9, 15 and 21 g/kg of diets respectively. The fish (with the initial average weight 0.25 g) were raised in plastic tanks (500 liters) for 14 weeks. Results indicated that final weight, final length, weight gain, length gain, ADG, SGR, FCR, FER and PER were the best in treatment 1 (control) significant different ($p < 0.05$) with other treatment. While survival rate and feed intake were not significant differences ($p > 0.05$) in all treatment. The carcass quality in parameters % carcass, % yield, HSI, IFR, stomach weight, body depth and

¹ อ., ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon Province, 86160

* Corresponding author: Tel.: 084-7038748, E-mail address: warrapong.na@kmitl.ac.th

body width were not significant differences ($p > 0.05$) in all treatment. But the result of average intestine length was decreasing trend significant difference ($p < 0.05$) in higher levels of fibolytic enzymes in diets.

Keywords: Growth Performance, Carcass Quality, Nile Tilapia, Fibrolytic Enzyme

บทนำ

ใบกระถินเทพา (*Acacia mangium* Willd.) ถือเป็นผลพลอยได้จากการปลูกต้นกระถินเทพา จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี [1] พบว่ามีโปรตีน ไซมัน์ เยื่อใย เถ้า Acid Detergent Fibre (ADF) Neutral Detergent Fibre (NDF) ลิกนิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และ ยอดโภชนะย่อยได้ (Total Digestible Nutrient, TDN) เท่ากับ 14.83 3.24 25.08 4.72 38.59 50.63 22.00 0.49 0.11 และ 58.47% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากการใช้ประโยชน์ในโภชนะของใบกระถินเทพาพบว่ากระถินเทพามีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง 23.33% ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน 26.66% และค่ายอดโภชนะรวม 30.11% [2] ซึ่งมีความเหมาะสมกับการใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมในสัตว์กระเพาะรวม เช่น โค กระบือ และแพะ มากกว่าในสัตว์กระเพาะเดี่ยวหรือ ในสัตว์น้ำ [3] พบว่าใบกระถินเทพาปนสามารถใช้อาหารปลานิลวัยอ่อนได้เพียง 2.5% ในสูตรอาหาร ซึ่งถือว่าเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอาหารสัตว์น้ำได้ในปริมาณต่ำมาก จนอาจไม่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกเพื่อลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในปลานิลที่เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจปีละกว่า 9,000 ล้านบาท คิดเป็นประมาณ 42% ของมูลค่าปลาน้ำจืดทั้งหมดของไทย [4]

ดังนั้นการเพิ่มเอนไซม์ย่อยเยื่อใยทางการค้า (Ronozyyme VP) ลงในสูตรอาหารผสมที่มีเยื่อใยสูงจากใบกระถินเทพาปนจึงเป็นทางเลือกสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อการลดต้นทุนค่าอาหารจากการเพิ่มปริมาณการใช้วัตถุดิบจากใบกระถินเทพาปนในสูตรอาหารและเพิ่มทางเลือกในการใช้วัตถุดิบจากใบกระถินเทพาที่เป็นเศษเหลือมีทั่วไปในท้องถิ่น

วัตถุประสงค์ และวิธีดำเนินการ

1. แผนการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมใบกระถินเทพาปน และเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างกัน ปลานิลสำหรับทดลองเป็นปลาวัยอ่อนอายุ 7 วันที่มีขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 0.25 กรัม ได้จากการเพาะพันธุ์ของศูนย์ปรับปรุงพันธุกรรมสัตว์น้ำชุมพร วางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง (Completely Randomized Design, CRD) กำหนดให้อาหารทดลองเสริมใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับต่างกัน 6 ระดับ (ชุดทดลอง Treatments) ระดับละ 3 ซ้ำ (Replications) รวม 18 หน่วยทดลอง (Experimental Unit) ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 (T1) อาหารผสมที่ไม่เสริมใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 (T2) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 0 กรัม (AM+FE 0)
- ชุดการทดลองที่ 3 (T3) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 3 กรัม (AM+FE 3)
- ชุดการทดลองที่ 4 (T4) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 9 กรัม (AM+FE 9)
- ชุดการทดลองที่ 5 (T5) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20% + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 15 กรัม (AM+FE 15)
- ชุดการทดลองที่ 6 (T6) อาหารผสมที่เสริมใบกระถินเทพาปน 20 % + เอนไซม์ย่อยเยื่อใย 21 กรัม (AM+FE 21)

2. ขั้นตอนการวิจัย

2.1 การเตรียมอาหารทดลอง

คัดเลือกใบกระถินเทพาใบที่ 3 นับจากยอดมาตากแดดเป็นเวลา 7 วัน ให้ใบแห้ง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดวัตถุดิบแบบ Hammer mill ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดให้มิดชิดเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่ใช้เป็นเอนไซม์สังเคราะห์ทางการค้าที่ชื่อว่า Ronozyme VP ใช้ปริมาณตามสูตร

นำวัตถุดิบที่ประกอบอาหาร เช่น ข้าวโพดป่น รำละเอียด กากถั่วเหลือง ปลาช่อนป่น และใบกระถินเทพาป่น มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยใช้วิธีมาตรฐาน AOAC นำข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณสูตรอาหาร ดังตารางที่ 1 การผลิตอาหารทดลองเริ่มจากชั่งน้ำหนักวัตถุดิบตามสูตรที่คำนวณได้ผสมด้วยเครื่องผสมอาหารให้วัตถุดิบต่างๆเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 15 นาที และปรับให้มีความชื้น 30% ด้วยน้ำ นำมาอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดแบบ mincer ผ่านหน้าแวนที่มีรูขนาด 2.0 มิลลิเมตร ผึ่งลมอาหารผสมเพื่อระบายความร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วบรรจุในถุงพลาสติก 2 ชั้น เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ทดลองแล้วสับตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น ตามวิธีของ AOAC คำนวณคาร์โบไฮเดรต (NFE: Nitrogen Free Extract) และพลังงานที่ย่อยได้ (DE: Digestible Energy) ดังนี้

$$NFE = 100 - (\%protein + \%fat + \%fiber + \%ash + \%moisture)$$

$$DE (Kcal/100g) = (\%protein \times 3.5) + (\%fat \times 8.0) + (\%NFE \times 2.5)$$

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ (% วัตถุแห้ง) และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

วัตถุดิบอาหาร (%)	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
ข้าวโพด	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
ปลาช่อน	17.2	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
รำละเอียด	29.50	24.50	24.50	24.50	24.50	24.50
ปลาป่น (60%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
กากถั่วเหลือง (45%)	26.30	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
ใบกระถินเทพา	0.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
DPC (P17)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
พรีมิกซ์ (premix) ¹	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
สารเหนียว	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
น้ำมันปาล์ม	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
รวม (kg)	100	100	100	100	100	100

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ (% วัตถุแห้ง) และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (ต่อ)

วัตถุดิบอาหาร (%)	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
เอนไซม์ย่อยเยื่อใย (g/kg diet)	0	0	3	9	15	21
องค์ประกอบเคมี						
ความชื้น (%)	5.06	5.80	5.89	5.82	5.76	5.80
เถ้า (%)	11.67	12.12	12.07	12.23	12.15	12.34
โปรตีน (%)	29.95	29.61	29.68	29.69	29.48	29.58
ไขมัน (%)	10.18	7.68	7.64	7.56	7.61	7.34
เยื่อใย (%)	2.14	3.56	3.02	3.74	3.61	3.30
พลังงานรวม (Kcal/Kg)	4,509.78	4,378.32	4,408.62	4,412.06	4,395.11	4,389.37

หมายเหตุ¹ Vitamin-mineral premix provides per kg of diet : vit A 15,000 IU; vit D₃ 3,000 IU; vit E 25 IU ; vit K₃ 0.5 g; vit B₁ 2.5 mg; vit B₂ 7 mg; vit B₆ 4.5 mg; vit B₁₂ 0.025 mg; pantothenic acid 35 mg; nicotinic acid 35 mg; choline chloride 0.25 g; biotin 0.025 mg; Cu 1.6 mg; folic acid 0.5 mg; Mn 0.06 g; Se 0.15 mg; Fe 0.08 g; I 0.4 mg และ Zn 0.045 g.

2.2 การจัดการทดลอง

ใช้ปลานิลทดลองเป็นปลาวัยอ่อนอายุ 7 วัน เนื่องจากสามารถตอบสนองต่ออาหารทดลองได้ดีโดยซื้อจากฟาร์มเพาะพันธุ์สัตว์น้ำเอกชน ในจังหวัดชุมพร จำนวน 1,000 ตัว มาเลี้ยงในถังขนาดความจุ 500 ลิตร จำนวน 4 ถัง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ปลาได้ปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และหัดให้ปลากินอาหารทดลองสูตร ที่ 1 (ควบคุม) วันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 07.00 น. และ 16.00 น. เป็นเวลา 7 วันก่อนเริ่มทำการทดลอง ซึ่งน้ำหนักปลาเริ่มต้นทดลองเฉลี่ย 0.25 กรัม จำนวน 360 ตัว แล้วนำไปปล่อยในถังทดลองขนาด 500 ลิตร (หน่วยทดลอง) ถึงละ 20 ตัว ที่ติดตั้งหัวทรายให้อากาศจำนวน 2 หัว พร้อมปิดปากถังด้านบนด้วยตาข่ายพรางแสง 50% เพื่อลดสิ่งรบกวนจากภายนอก และป้องกันปลากระโดดหนีจากถังทดลอง จำนวน 18 ถัง โดยมีการให้อาหารแบบให้กินจนอิ่ม (Satiation) บันทึกปริมาณการกินอาหารในแต่ละวัน ทำการชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวของปลาเพื่อบันทึกการเติบโตทุก 2 สัปดาห์ ทำการคัดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 20% ของถังทุก 3 วัน ใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน 14 สัปดาห์

3. การเก็บรวบรวม และการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 14 เก็บรวบรวมข้อมูล ความยาว น้ำหนัก น้ำหนักอาหารที่ปลากิน จำนวนปลาทดลอง มาคำนวณค่า ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการตายของปลานิลทดลอง พร้อมทั้งสุ่มตัวอย่างปลาชุดการทดลองละ 3 ตัวมาตรวจวิเคราะห์ค่าคุณภาพซากตามพารามิเตอร์ที่กำหนดและนำข้อมูลทั้งหมด มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

ผลการทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมไบโกระดินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเยื่อใยระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ ได้ค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการตายดังตารางที่ 2 พบว่าปลานิลในชุดควบคุมมีค่าน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักเพิ่ม น้ำหนักเพิ่มต่อวัน ความยาวสุดท้าย ความยาวเพิ่ม อัตราเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าอัตราแลกเนื้อ มีค่าต่ำที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.36 ± 0.13 ในขณะที่ค่าอัตราการตาย และปริมาณอาหารที่กินทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทาง

สถิติ ($p > 0.05$) ส่วนในชุดการทดลองที่ 5 (AM+FE 15) และชุดการทดลองที่ 6 (AM+FE 21) ค่าประสิทธิภาพการเติบโตในทุกพารามิเตอร์มีแนวโน้มค่อยลงกว่าชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย แต่มีค่าดีกว่าชุดการทดลองที่ 2 (AM+FE 0) ชุดการทดลองที่ 3 (AM+FE 3) และชุดการทดลองที่ 4 (AM+FE 9) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าการใช้เอนไซม์ย่อยเชื้อใยระดับที่สูงขึ้นในอาหารผสมที่มีใบกระถินเทพาปนระดับ 20% จะมีผลให้ค่าประสิทธิภาพการเติบโตของปลานิลในระยะวัยอ่อนดีขึ้น โดยเฉพาะในพารามิเตอร์ อัตราเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.26 ± 0.05 %/วัน 1.48 ± 0.16 และ 67.56 ± 5.65 % ตามลำดับ

คุณภาพซากของปลานิลทดลองพบว่า ค่าสัดส่วนร้อยละของซาก ค่าสัดส่วนร้อยละของเนื้อ ค่าดัชนีตับ ค่าสัดส่วนไขมันในช่องท้อง น้ำหนักกระเพาะ ความกว้างของ และความหนาของปลา มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความยาวลำไส้ ในชุดการทดลองที่ 2 3 4 5 และ 6 ที่มีส่วนผสมของใบกระถินเทพาปน 20 % มีค่าความยาวลำไส้มากกว่าชุดควบคุม ($p < 0.05$) โดยในชุดการทดลองที่ 2 (AM+FE 0) มีค่าความยาวลำไส้เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 39.24 ซม. ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 3 (AM+FE 3) และ 4 (AM+FE 9) ($p > 0.05$) แต่แตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 5 (AM+FE 15) และ 6 (AM+FE 21) แสดงให้เห็นว่าค่าความยาวลำไส้มีแนวโน้มลดลง แปรผกผันกับระดับของเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าน้ำหนักปลาทั้งหมด กับน้ำหนักอวัยวะภายใน ชุดการทดลองควบคุม มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 60.64 และ 5.67 กรัม แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ส่วนค่าความยาวมาตรฐาน และความยาวทั้งหมด ชุดควบคุม ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.83 และ 16.10 ซม. แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 2 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในสูตรอาหารไม่ส่งผลต่อค่าความยาวของปลานิลทดลอง ดังตารางที่ 3

อภิปรายผลการวิจัย

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมใบกระถินเทพาปน และเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์พบว่าปลานิลในชุดการทดลองที่ 1 (0% ใบกระถินเทพาปน และ 0 กรัม เอนไซม์ย่อยเชื้อใย) มีค่าประสิทธิภาพการเติบโตดีที่สุดในทุกพารามิเตอร์ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 5 (20% ใบกระถินเทพาปน และ 15 กรัม เอนไซม์ย่อยเชื้อใย) และชุดการทดลองที่ 6 (20% ใบกระถินเทพาปน และ 21 กรัมเอนไซม์ย่อยเชื้อใย) มีค่าประสิทธิภาพการเติบโตในดีที่สุดในกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองที่มีการเสริมใบกระถินเทพาปน 20 % และค่าประสิทธิภาพการเติบโตมีแนวโน้มค่อยลงกว่าชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ย่อยเชื้อใยในระดับ 15-21 กรัมมีผลให้ปลานิลสามารถใช้ประโยชน์จากใบกระถินเทพาปนที่เสริมในสูตรอาหารได้ดีขึ้นจนใกล้เคียงกับอาหารสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Boonyaratpalin *et al.*, [5] ที่ทำการหมักกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันด้วยโรโนไทม์ วิพี นำไปใช้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศขนาด 1.5 กรัม พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองเสริมกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันหมักเอนไซม์ทำให้การเจริญเติบโตของปลาดีกว่าที่ไม่ได้หมักเอนไซม์ และรายงานการวิจัยของนิรุทธิ์ [6] ที่ศึกษาระดับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของปลานิล แล้วพบว่าปลานิลสามารถใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้สูงสุดถึง 30% โดยสาเหตุน่าจะเกิดจากสัตว์ทดลองที่ใช้ คือปลานิล ที่จัดอยู่ในกลุ่มปลากินพืช (Herbivorous) ซึ่งมีความสามารถในการใช้ประโยชน์อาหารที่มีเชื้อใยสูงได้ดีทำงานร่วมกับเอนไซม์ย่อยเชื้อใยที่เสริมลงในสูตรอาหารในระดับที่เหมาะสม แต่ที่พบรายงานการวิจัยที่ขัดแย้งกันของวุฒิพรและคณะ [7] ที่พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับ 40% ที่เสริมเอนไซม์ Allzyme Vegpro มีค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารลดลง และรายงานของวิชัยและคณะ [8] ที่พบว่าลูกปลากะรัง (*Epinephelus coioides*) วัยอ่อนที่ได้รับอาหารที่มีเชื้อใยสูงมีค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่ลดลง เนื่องจากการพัฒนาของระบบน้ำย่อยในลูกปลากะรังวัยอ่อนมีการพัฒนาของระบบน้ำย่อยที่ต่ำ แต่เมื่อปลาอายุมากขึ้นระบบย่อยอาหารจะพัฒนาขึ้นตามการเจริญเติบโต

ค่าคุณภาพซาก พบว่าค่าคุณภาพซากในทุกพารามิเตอร์ยกเว้น ค่าความยาวลำไส้ มีค่าไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) ในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากระยะเวลาทดลองที่ 14 สัปดาห์ ยังไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพซากในพารามิเตอร์ดังกล่าวมากนัก ในปลานิลที่ยังเติบโตอยู่ในระยะวัยรุ่น (น้ำหนักระหว่าง 40 – 60 กรัม) ส่วนค่าความยาวลำไส้พบว่าในปลาที่ได้รับใบกระถินเทพาปน 20% ในสูตรอาหารจะมีค่าความยาวลำไส้เพิ่มขึ้นแตกต่างจากชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเกิดจากปลาต้องการพื้นที่ในการย่อย และดูดซึมสารอาหารเพิ่มมากขึ้น และชุดการทดลองที่ได้รับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในระดับที่สูงขึ้นจะมีแนวโน้มที่ค่าความยาวลำไส้ลดลงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลาได้รับใบกระถินเทพาปน 20% เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [8] ที่พบว่าลูกปลากระรัง (*Epinephelus coioides*) มีระบบการพัฒนาน้ำย่อยที่ต่ำ เมื่อปลา มีอายุมากขึ้นระบบย่อยอาหารจะพัฒนามากขึ้นตามการเจริญเติบโต และค่าความยาวลำไส้จะเพิ่มขึ้นตามความยาวลำตัว [9] พบว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเยื่อใยสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารลดลง และปลาจะมีความยาวลำไส้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ González *et al.*, [10] กล่าวว่าอาหารที่มีเยื่อใยสูงจะส่งผลกระทบต่อการย่อย และการดูดซึม โดยระดับเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นจะลดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และซับสเตรททำให้การย่อยและการดูดซึมลดลง ปลาจึงจำเป็นต้องปรับตัวด้วยการเพิ่มความยาวลำไส้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยและการดูดซึมจากปฏิกิริยาดังกล่าว

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการตาย ของปลานิลที่^{ns}ได้รับอาหารทดลองเสริมใบกระถินเทพาปนและเอนไซม์ย่อยเชื้อรา เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์

ค่าประสิทธิภาพการเติบโต	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
น้ำหนักกรัมต้น (กรัม/ตัว) ^{ns}	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.04	0.25 ± 0.03	0.25 ± 0.03
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	61.64 ± 4.15 ^a	41.42 ± 3.29 ^d	40.69 ± 2.91 ^d	43.92 ± 1.35 ^c	59.18 ± 2.21 ^b	58.85 ± 2.87 ^b
น้ำหนักเพิ่ม (กรัม/ตัว)	61.39 ± 4.12 ^a	41.17 ± 3.15 ^d	40.44 ± 2.23 ^d	43.67 ± 1.28 ^c	58.93 ± 2.18 ^b	58.60 ± 2.18 ^b
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	0.63 ± 0.07 ^a	0.42 ± 0.06 ^d	0.41 ± 0.08 ^d	0.45 ± 0.02 ^c	0.60 ± 0.03 ^b	0.60 ± 0.03 ^b
ความยาวเริ่มต้น (ซม.) ^{ns}	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.20 ± 0.10
ความยาวสุดท้าย (ซม.)	15.50 ± 1.02 ^a	10.94 ± 0.72 ^d	10.75 ± 0.84 ^d	12.74 ± 1.06 ^c	14.36 ± 0.79 ^b	14.25 ± 0.39 ^b
ความยาวเพิ่ม (ซม.)	14.30 ± 0.83 ^a	9.74 ± 0.71 ^d	9.55 ± 0.88 ^d	11.54 ± 0.37 ^c	13.16 ± 0.59 ^b	13.05 ± 0.62 ^b
อัตราเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	5.55 ± 0.26 ^a	5.04 ± 0.04 ^d	5.02 ± 0.03 ^d	5.12 ± 0.01 ^c	5.26 ± 0.05 ^b	5.22 ± 0.05 ^b
อัตราการตาย (%) ^{ns}	98.33 ± 2.63	100 ± 0.00	98.33 ± 2.63	100 ± 0.00	98.33 ± 2.63	98.33 ± 2.63
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) ^{ns}	83.49 ± 5.25	87.69 ± 4.98	95.84 ± 5.36	88.21 ± 5.04	87.22 ± 5.84	90.24 ± 4.54
อัตราการแลกเนื้อ	1.36 ± 0.13 ^d	2.13 ± 0.12 ^{ab}	2.37 ± 0.11 ^a	2.02 ± 0.16 ^b	1.48 ± 0.16 ^c	1.54 ± 0.14 ^c
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (%)	73.53 ± 2.67 ^a	46.95 ± 2.04 ^{cd}	42.20 ± 2.84 ^d	49.51 ± 5.31 ^c	67.56 ± 5.65 ^b	64.94 ± 6.65 ^b
ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	1.30 ± 0.11 ^a	0.78 ± 0.13 ^d	0.77 ± 0.19 ^d	0.92 ± 0.04 ^c	1.13 ± 0.11 ^b	1.09 ± 0.08 ^b

หมายเหตุ ! ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ด้วย 3 ซ้ำ)

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรแตกต่างกันก็แสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

^{ns} ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าคุณภาพซากของปลาไนที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองที่เสริมใบกระถินเทพาป่นและเอนไซม์เป็นเวลา 14 สัปดาห์

ค่าคุณภาพซาก	ชุดการทดลอง (Treatment)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
ค่าสัดส่วนร้อยละของซาก (%) ^{ns}	53.20 ± 5.26	56.24 ± 2.52	55.61 ± 5.72	55.21 ± 4.95	58.88 ± 5.03	58.68 ± 4.97
ค่าสัดส่วนร้อยละของเนื้อ (%) ^{ns}	46.80 ± 4.15	43.76 ± 3.29	44.39 ± 2.91	44.79 ± 2.35	41.12 ± 3.21	41.32 ± 3.87
ค่าดัชนีดิบ (%) ^{ns}	1.13 ± 0.10	1.42 ± 0.17	1.30 ± 0.08	1.29 ± 0.13	1.19 ± 0.18	1.21 ± 0.11
ค่าสัดส่วนไขมันในช่องท้อง (%) ^{ns}	0.83 ± 0.07	0.82 ± 0.06	0.84 ± 0.08	0.97 ± 0.02	0.88 ± 0.03	0.79 ± 0.03
ค่าความยาวลำไส้ (ซม.)	28.20 ± 2.18 ^c	39.24 ± 3.21 ^a	37.20 ± 4.10 ^a	38.36 ± 3.13 ^a	31.14 ± 2.34 ^b	32.25 ± 2.30 ^b
น้ำหนักปลาทั้งหมด (กรัม)	60.64 ± 1.15 ^a	40.12 ± 1.29 ^d	40.23 ± 1.91 ^d	42.22 ± 1.15 ^c	58.16 ± 1.41 ^b	58.05 ± 1.37 ^b
น้ำหนักอวัยวะภายใน (กรัม)	5.67 ± 0.31 ^a	3.74 ± 0.21 ^d	3.85 ± 0.28 ^d	4.14 ± 0.17 ^c	5.08 ± 0.19 ^b	4.98 ± 0.22 ^b
น้ำหนักกระเพาะ (กรัม) ^{ns}	1.23 ± 0.26	1.04 ± 0.13	1.02 ± 0.15	1.12 ± 0.11	1.16 ± 0.15	1.13 ± 0.18
ความยาวมาตรฐาน (ซม.)	14.83 ± 1.63 ^a	10.21 ± 1.06 ^c	10.33 ± 1.63 ^c	12.54 ± 1.50 ^b	14.53 ± 1.63 ^a	14.73 ± 1.41 ^a
ความยาวทั้งหมด (ซม.)	16.10 ± 1.13 ^a	11.34 ± 1.52 ^c	11.25 ± 1.44 ^c	13.84 ± 1.36 ^b	15.86 ± 1.29 ^a	15.95 ± 1.24 ^a
ความกว้างของปลา (ซม.) ^{ns}	4.13 ± 0.11	4.20 ± 0.26	4.20 ± 0.72	4.00 ± 0.00	4.33 ± 0.57	4.10 ± 0.17
ความหนาของปลา (ซม.) ^{ns}	1.90 ± 0.17	1.80 ± 0.26	1.80 ± 0.20	1.85 ± 0.31	1.83 ± 0.15	1.84 ± 0.25

หมายเหตุ ¹ ตัวเลขที่นำเสนอนี้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

^{a-c} ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรแตกต่างกันก็แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$)

^{ns} ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

สามารถใช้ใบกระถินเทพาปนในระดับ 20% เป็นวัตถุดิบผลิตอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลานิลวัยอ่อน โดยเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยปริมาณ 15 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม จะทำให้ปลานิลวัยอ่อนมีค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และค่าคุณภาพซากใกล้เคียงกับปลานิลที่ได้รับอาหารสูตรมาตรฐาน (ชุดควบคุม) และการเพิ่มระดับของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารทดลองจะมีผลให้ค่าความยาวลำไส้ของปลานิลทดลองมีแนวโน้มลดลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณา อ่างทอง สดุดี พงษ์เพียจันทร์ และวารุณี พานิชผล. (2547). “ตารางคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์”, วัตถุดิบอาหารสัตว์. 38 กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [2] พิสุทธิ สุขเกษม สุพิลาวัฒนาวิน และมณฑล อ่อนโพธิ์เตี้ย. (2541). “โภชนะที่ย่อยได้ในใบกระถินเทพา (*Acacia mangium*)”, รายงานผลการปฏิบัติงาน ปี 2540. 63-68. นราธิวาส: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [3] วรพงษ์ นลินานนท์ และสายชล เลิศสุวรรณ. (2560). “ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย และค่าคุณภาพซากของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมใบกระถินเทพาปน”, ใน การประชุมวิชาการพะเยา ครั้งที่ 6 ศิลปวัฒนธรรมวิจัยเพื่อประเทศไทย 4.0 ประจำปี 2560. วันที่ 26-27 มกราคม 2560 ณ หอประชุมพญาเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา.
- [4] กองวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. (2556). สถิติการประมง. สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2556, จาก <http://www.fisheries.go.th/it-stat/yearbook>.
- [5] Boonyaratpalin, M. and Phromkunthong, W. (2000). “Effects of Ronozyme VP treated rice bran and oil palm meal on growth of sex reversed *Tilapia niloticus*”, In **The 6th Roche Aquaculture Conference**. 50. September 29, 2000, Asia Pacific. Bangkok.
- [6] นิรุทธิ์ สุขเกษม. (2547). รายงานวิจัยเรื่องผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศขนาดใหญ่ในกระชัง. ภูเก็ต. มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.
- [7] วุฒิพร พรหมขุนทอง วรณชัย พรหมเกิด กิจการ สุขมาตย์ วุฒิกรณ์ จิตติวรรณ และศุภิต นาคะชาต. (2547). “การแทนที่ปลาปนในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน”, วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 26, 167-179.
- [8] วิชัย วัฒนกุล สุนิตย์ โรจนพิทยากุล และพูนสิน พานิชสุข. (2540). การศึกษาความว่องไวของ Digestive enzyme ในระหว่างการพัฒนาของลูกปลากะรัง *Epinephelus coioides*. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา. กรมประมง.
- [9] De Silva.K.H.G.M, De Silva.P.K. (1991). “The role of tilapia species (Family cichlidae) in the fishery of three upland, deep reservoir of Sri Lanka”, **Vidyodaya Journal of Science**. 3, 91-98.
- [10] González-Peña, Santo Z. Gomes, Gloria S. Moreira. (2002). “Effects of Dietary Fiber on Growth and Gastric Emptying Time of the Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879)”, **Journal World Aquaculture Society**. 33, 441-447.

ผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน Metallothionein ในปลานิล

Effects of Cadmium and Copper on Metallothionein Gene Expression in

Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

ดวงใจ พิสุทธิธาราชัย^{1*} และธนกร เหมะสกล²

Duangjai Pisuttharachai^{1*} and Tanakorn Haemasaton²

บทคัดย่อ

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการเลี้ยงทุกภาคของประเทศไทย ดังนั้นปลานิลจึงเป็นตัวอย่างที่ดีในการศึกษาสารตกค้างโลหะหนักในแหล่งน้ำ Metallothionein (MT) เป็นโปรตีนที่สามารถจับกับโลหะหนักได้หลายชนิด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในปลานิล โดยแช่ปลาในน้ำผสมแคดเมียม (0.25 และ 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตร) และคอปเปอร์ (25 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร) นาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง เก็บเนื้อเยื่อตับ สกัด Total RNA แล้วสังเคราะห์ First strand cDNA เพื่อศึกษาการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค RT-PCR พบว่าแคดเมียม 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตรสามารถกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีนภายใน 1 ชั่วโมง ขณะที่คอปเปอร์ 25 ไมโครกรัมต่อลิตร จะมีการแสดงออกของยีนเมื่อได้รับนาน 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ายีน MT สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีววิทยาเพื่อประเมินการปนเปื้อนของแคดเมียมและคอปเปอร์ในแหล่งน้ำได้ โดยการแสดงออกของยีน MT มีความไวต่อแคดเมียมมากกว่าคอปเปอร์

คำสำคัญ: ยีนเมทัลโลไธโอนีน แคดเมียม คอปเปอร์ ตับ ปลานิล

¹ อ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ชุมพร 86160

² อ., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Dr., Fishery Science and Aquatic Resources, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, 86160

² Lecturer, Fishery Science and Aquatic Resources, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, 86160

* Corresponding author: E-mail address: duangjai.pisut06@gmail.com

Abstract

Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) is the economic aquaculture which is widely cultured in Thailand. Therefore, it is suitable as a test animal for detecting heavy metal contamination in natural waters. Metallothionein (MT) is a metal-binding protein and its expression is stimulated by essential metal as well as toxic metals. The purpose of this study was to compare cadmium and copper exposure at different concentrations and time periods on expression of MT gene in tilapia. Fish were exposed to cadmium (0.25 and 2.50 µg/L) and copper (25 and 250 µg/L) for 1, 2, 4 and 8 hrs. Liver tissues were collected at each time point for total RNA extraction. Subsequently, first strand cDNA was synthesized and used as template in the PCR reaction. Expression of MT gene was detected using RT-PCR technique. Results indicated that gene expression was induced within 1 hour of exposure to cadmium (0.25 µg/L), while that for copper exposure (25 µg/L) was 2 hrs. In conclusion, MT gene can be used as biomarker for detecting cadmium and copper contamination in natural waters. MT expression is more sensitive to cadmium than copper exposure.

Keywords: Metallothionein, Cadmium, Copper, Liver, *Oreochromis niloticus*

บทนำ

ปัจจุบันโลหะหนักมีการปนเปื้อนลงสู่ธรรมชาติสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ วัน จากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศ แคดเมียมและคอปเปอร์จัดเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง และมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำหลายพื้นที่ทั่วโลก [1] ในประเทศไทยพบว่าตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบนมีการปนเปื้อนของโลหะหนักแคดเมียมและคอปเปอร์เกินค่ามาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย 2.05 และ 16.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยแคดเมียมพบมากบริเวณปากน้ำท่าจีน และคอปเปอร์พบมากบริเวณปากน้ำเจ้าพระยา [2] แคดเมียมและคอปเปอร์สามารถสะสมอยู่ในสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งสองชนิดได้ ซึ่งปลาเป็นสัตว์น้ำที่มีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแคดเมียมและคอปเปอร์ในน้ำ โดยโลหะหนักเหล่านี้มีผลกระทบทำให้ปลาเกิดการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ อัตราการสืบพันธุ์ลดลง เกิดโรคได้ง่าย มีผลต่อพฤติกรรม และอัตราเมตาบอลิซึม [3-6] ในประเทศไทยปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการเลี้ยงอย่างกว้างขวางในแหล่งน้ำทั่วทุกภูมิภาค ดังนั้นปลานิลจึงนับเป็นตัวอย่างที่ดีในการใช้เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำ

ปัจจุบันการศึกษาทางด้านการแสดงออกของยีน (Gene Expression) ที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการปนเปื้อนได้ ซึ่งให้ผลรวดเร็วและใช้ตัวอย่างปริมาณไม่มากในการตรวจสอบ ในสิ่งมีชีวิตที่มีการแสดงออกเมื่อถูกกระตุ้นด้วยโลหะหนักคือ ยีน Metallothionein (MT) ซึ่งเป็นโปรตีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ 6 – 7 kDa มีหมู่ thiol (-SH) อยู่ใน cysteine ทำให้สามารถจับกับโลหะหนักได้ [7] ดังนั้นจึงเกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของโลหะหนักที่มีความจำเป็นต่อเซลล์ (Essential Metals) กำจัดโลหะที่เป็นพิษ (Toxic metals) ป้องกันการเกิดความเครียด และปกป้องเซลล์ประสาท [8] ในสัตว์น้ำยีน MT ถูกค้นพบครั้งแรกในปลา *Sebastes seboides* [9] สำหรับปลาในสกุล *Oreochromis* มีรายงานแล้วว่า คอปเปอร์ แคดเมียม ปรอท นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี เหล็ก แมงกานีส และ โครเมียม สามารถกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในตับของปลาได้ [10-12] และมีการแสดงออกของยีนมากกว่าในกล้ามเนื้อ [13-14] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ตับเป็นอวัยวะที่มีความไวต่อโลหะหนักมากกว่าไตและเหงือก [15] ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกเนื้อเยื่อตับในการตรวจสอบการแสดงออกของยีน MT และจากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาโดยมากแล้วจะศึกษาถึงชนิดของโลหะหนักที่มีผลต่อการแสดงออกของยีน MT แต่ยังไม่มียานการศึกษาเปรียบเทียบผลของแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในตับปลานิล

วิธีการวิจัย

1. การทดสอบสัตว์ทดลองด้วยแคดเมียมและคอปเปอร์

ปลานิลที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักลำตัวเฉลี่ย 115.50 ± 0.31 กรัม นำมาเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 40 x 90 x 45 เซนติเมตร จำนวน 4 ตู้ ๆ ละ 8 ตัว แต่ละตู้บรรจุน้ำ 90 ลิตร พร้อมให้อากาศอย่างเพียงพอ จากนั้นเติมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 และ 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตร และ คอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นละ 1 ตู้

2. การเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อตับและการสกัด Total RNA

เก็บเนื้อเยื่อตับโดยสุ่มปลานิลที่แช่ในน้ำผสมแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง ช่วงเวลาละ 2 ตัว (1 ตัว คือ 1 ซ้ำ) ใส่หลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติม Trizol reagent 500 ไมโครลิตร แล้วบดเนื้อเยื่อด้วย Homogenizer เมื่อบดละเอียดแล้วจึงดูดเอาสารละลายดังกล่าวใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติม Trizol reagent อีก 500 ไมโครลิตร จากนั้นสกัด Total RNA ตามวิธีของบริษัท Molecular center, Inc โดยมีรายละเอียดดังนี้ ใช้เข็มฉีดยาขนาด 24G และกระบอกฉีดยาขนาด 3 มิลลิลิตร ดูดสารละลายของตัวอย่างทั้งหมดขึ้นลง 3 - 5 นาที เพื่อให้เซลล์แตก จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที เติม Chloroform 200 ไมโครลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องอีก 3 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ดูดส่วนใสซึ่งเป็นชั้นของ Total RNA ใส่ในหลอด Microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร หลอดใหม่ แล้วเติม Isopropyl alcohol 500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ดูดสารละลายด้านบนทิ้งแล้วเติม 75% Ethanol 1 มิลลิลิตร เพื่อเก็บรักษาตะกอน Total RNA ให้ได้นาน ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียสจนกระทั่งใช้

นำ Total RNA ที่เก็บใน 75% Ethanol ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 7,500 รอบต่อนาที 4 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากนั้นดูดเอาส่วน 75% Ethanol ออก เหลือเฉพาะตะกอนสีขาว ตกให้แห้งแล้วเติม DEPC water เพื่อละลาย Total RNA ที่ได้ โดยปริมาณ DEPC water ที่ใส่แต่ละตัวอย่างจะแตกต่างกันตามปริมาณ Total RNA ที่สกัดได้ วัดปริมาณความเข้มข้นของ Total RNA ด้วยเครื่อง NanoDrop™ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร

3. การสังเคราะห์ first strand cDNA (Complementary DNA)

การสังเคราะห์ First strand cDNA ใช้ชุดสำเร็จรูป Revert Aid M-MuLV Reverse Transcriptase kit (Fermentas) โดยมีขั้นตอนดังนี้ เติม Oligo (dt)₂₀ primer 0.5 ไมโครลิตร ลงในหลอด PCR จากนั้นเติมตัวอย่าง Total RNA และ Nuclease-free water ที่แปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของ Total RNA โดยปริมาณ Total RNA กำหนดให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 ไมโครกรัม จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วจึงแช่ในน้ำแข็งนาน 1 นาที เติม iScript select reaction mix 2 ไมโครลิตร และ iScript reverse transcriptase 0.5 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และบ่มต่อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เก็บ First strand cDNA ที่ได้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสจนกว่านำมาใช้

4. การทำ Reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR)

โดยใช้ First strand cDNA ของแต่ละตัวอย่างเป็นต้นแบบ (Template) และใช้ไพรเมอร์ (primer) ที่มีความจำเพาะต่อยีน MT และ β -actin (ตารางที่ 1) ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประกอบด้วย First strand cDNA 1.0 ไมโครลิตร 10 μ M Forward Primer 1.0 ไมโครลิตร 10 μ M Reverse Primer 1.0 ไมโครลิตร 10X Taq Buffer 2.5 ไมโครลิตร 2.5 mM MgCl₂ 0.8 ไมโครลิตร 2.5 mM dNTP 2.5 ไมโครลิตร 5 unit Taq DNA Polymerase 0.1 ไมโครลิตร (Fermentas) และ Distilled water 17.0 ไมโครลิตร ปริมาตรรวม 25.9 ไมโครลิตร จากนั้นเพิ่มปริมาณ DNA เป้าหมายด้วยเครื่อง Thermal cycler machine

โดยกำหนดให้สภาวะการทำงานดังนี้ ช่วงแรก (Denaturing) ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที 1 รอบ ช่วงที่สอง (Annealing) ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที 55 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที และ 72 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที 30 วินาที 25 รอบ และช่วงที่สาม (Extension) ใช้อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที 1 รอบ

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์และขนาดไพรเมอร์ของยีน MT และ β -actin

ไพรเมอร์	ลำดับนิวคลีโอไทด์ 5'-----> 3'	ขนาดผลิตภัณฑ์ (PCR product) (bp)	อ้างอิง (Accession Number)
MT-Forward	GCCAAGACTGGAACCTGC	129	EU005543
MT-Reverse	GCACACGCAGCCAGAGGC		
β -actin-Forward	ACCACCACAGCCGAGAGGGA	500	EF206801
β -actin-Reverse	CCCAACCAAACGCCCAACAA		

5. การตรวจยืนยันขนาดผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี Agarose gel electrophoresis

ตรวจสอบผลการแสดงออกของยีน MT และ β -actin ด้วยวิธี Agarose gel electrophoresis โดยใช้ Agarose gel ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในบัฟเฟอร์ 1X TBE และใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ จากนั้นจึงตรวจสอบแถบผลิตภัณฑ์ด้วยการย้อมใน Ethidium bromide ที่ความเข้มข้น 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และถ่ายภาพภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต ประเมินและวิเคราะห์ความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J (National Institutes of Health) และใช้ β -actin ในการ normalize การแสดงออกของยีนเป้าหมาย นำข้อมูลการแสดงออกของยีนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแคดเมียมหรือคอปเปอร์ที่ช่วงโมเมนต์เดียวกันแต่ต่างระดับความเข้มข้นมาวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย *t*-test และทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มที่แช่แคดเมียมหรือคอปเปอร์ที่ช่วงโมเมนต์ต่างกัน โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาด้วยวิธี DMRT โดยโปรแกรม The SAS system for window version 6.12 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

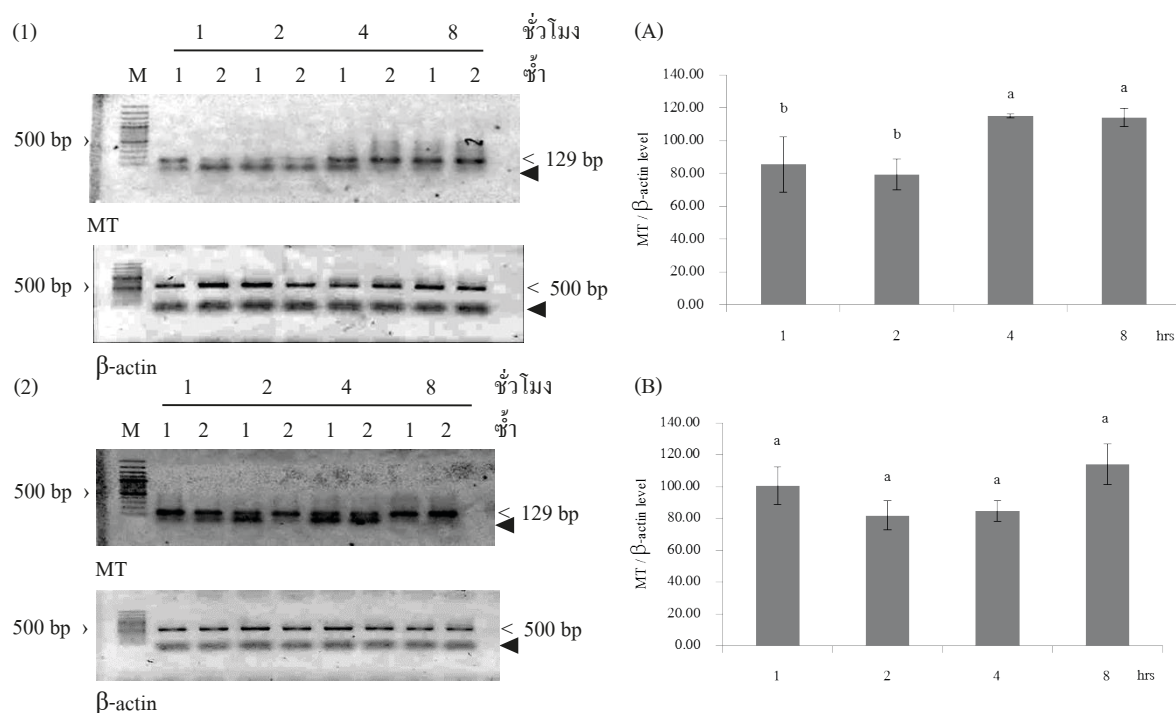
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบไพรเมอร์เพื่อการยืนยันขนาดผลิตภัณฑ์

จากการสกัด Total RNA แล้วสังเคราะห์ First strand cDNA จากเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ได้รับโลหะหนักแคดเมียมและคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกัน แล้วใช้ไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อยีน MT ในการเพิ่มปริมาณ DNA เป้าหมายด้วยเครื่อง Thermal cycler machine พบว่า มีการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ ตามการทดลองของ Cheung *et al.* [10] และ Cheung *et al.* [11] ที่รายงานว่า แคดเมียมและคอปเปอร์สามารถกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในตับของปลาสกุล *Oreochromis* ได้ โดยแถบผลิตภัณฑ์ของยีน MT ในทุกตัวอย่างของการทดลองมีขนาด 129 bp ส่วนยีน β -actin ซึ่งเป็น Housekeeping gene ที่ใช้เป็นกลุ่มควบคุมภายใน (Internal Control) ของการทดลองนี้มีขนาด 500 bp ตรงตามที่ได้ออกแบบตำแหน่งไพรเมอร์ไว้ สำหรับการทำปฏิกิริยา RT-PCR พบว่า เกิดแถบ DNA บริเวณด้านล่างของเจล ซึ่งอาจเกิดจากการจับกันเองของไพรเมอร์ (Primer Dimer) อันเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ช่วงที่สอง (Annealing) อาจไม่เหมาะสม ทำให้การทำงานของไพรเมอร์เกิดความไม่จำเพาะเจาะจงได้ หรืออาจเกิดจากความเข้มข้นของไพรเมอร์ในปฏิกิริยามากเกินไปทำให้เกิดการจับกันเองของไพรเมอร์ได้

2. ผลของแคดเมียมต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลด้วยเทคนิค RT-PCR

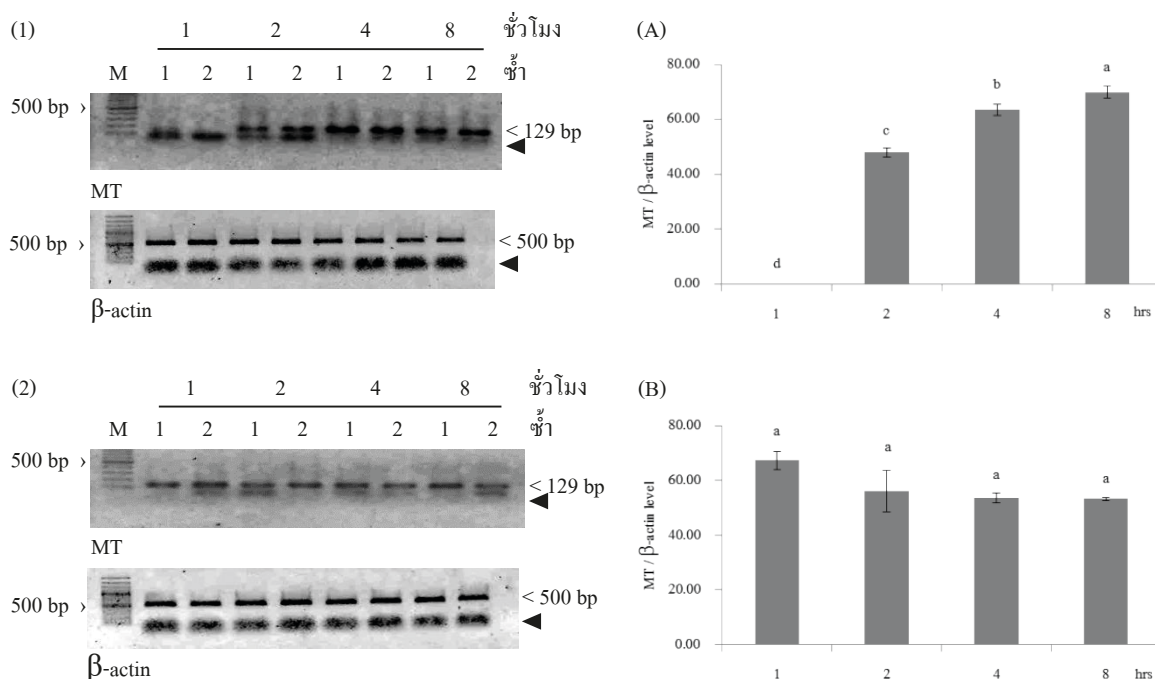
ผลของแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล พบว่า มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการได้รับแคดเมียมที่นานขึ้น โดยการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับที่ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง จะมีการแสดงออกของยีน MT น้อยกว่าที่ระยะเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Utampongsa [16] รายงานว่าการแสดงออกของ MT mRNA ในตับปลาดุกเพ็ญขาวมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการได้รับแคดเมียมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการยับยั้งของเซลล์กับแคดเมียมที่สะสมมากขึ้นในเซลล์ตับ สำหรับเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณมากขึ้น 10 เท่า พบว่า การแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับที่ระยะเวลาต่างกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 1) ซึ่งอาจเกิดจากภาวะอิ่มตัวของเนื้อเยื่อในการสะสมแคดเมียมหรือเกิดกลไกการขับสารพิษที่มากเกินไปของตัวปลาจึงทำให้การแสดงออกของยีน MT ไม่แตกต่างกัน [17-18] และเมื่อเปรียบเทียบการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ได้รับแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 และ 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตรที่ชั่วโมงเดียวกัน พบว่าทุกช่วงเวลาของการได้รับแคดเมียมมีการแสดงออกของยีน MT ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 3)



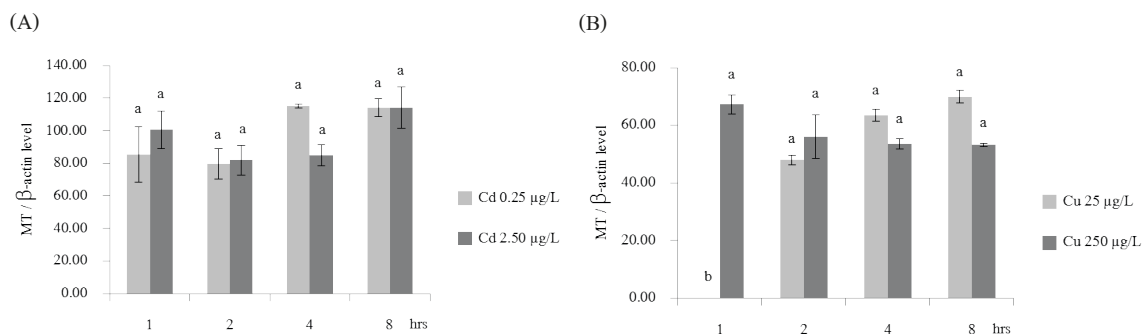
ภาพที่ 1 การแสดงออกของยีน MT และ β -actin ด้วยเทคนิค RT-PCR ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 (1) และ 2.50 (2) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง (M = Marker, $\blacktriangleleft$ = Primer dimer) และ กราฟการแสดงออกของยีน MT (จากการวัดความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J) ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.25 (A) และ 2.50 (B) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3. ผลของคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลด้วยเทคนิค RT-PCR

ผลของคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาแตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล พบว่า การแสดงออกของยีน MT มีความสัมพันธ์กับทั้งระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับคอปเปอร์ โดยปลานิลที่ได้รับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 1 ชั่วโมง ไม่พบการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ แต่จะเริ่มมีการแสดงออกของยีนเมื่อได้รับคอปเปอร์นาน 2 4 และ 8 ชั่วโมง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 2) สำหรับความสัมพันธ์ของการแสดงออกของยีน MT กับระดับความเข้มข้นที่ได้รับคอปเปอร์ พบว่าปลานิลที่ได้รับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 1 ชั่วโมง ไม่มีการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ แต่ปลานิลที่ได้รับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อลิตร มีการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ที่ได้รับคอปเปอร์ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Pederson *et al.* [19] รายงานว่าการแสดงออกของยีน MT ในเหงือกปู *Carcinus maenas* จะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ที่ได้รับ สำหรับที่ระยะเวลา 2 4 และ 8 ชั่วโมง พบว่าการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่ถูกกระตุ้นด้วยคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 3) อาจเนื่องจากระยะเวลาการได้รับคอปเปอร์ที่นานขึ้นทำให้เกิดภาวะอัมตของโลหะหนักในเนื้อเยื่อหรือเกิดกลไกการขับสารพิษที่มากเกินไปเช่นเดียวกับแคดเมียม



ภาพที่ 2 การแสดงออกของยีน MT และ β -actin ด้วยเทคนิค RT-PCR ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 (1) และ 250 (2) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง (M = Marker, $\blacktriangleleft$ = Primer dimer) และกราฟการแสดงออกของยีน MT (จากการวัดความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J) ในเนื้อเยื่อตับปลานิลที่แช่ในน้ำผสมคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 (A) และ 250 (B) ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นเวลานาน 1 2 4 และ 8 ชั่วโมง ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบการแสดงออกของยีน MT (จากการวัดความเข้มของแถบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ densitometry analysis โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย image J) ในเนื้อเยื่อตับปลานิล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแคดเมียม (A) หรือ คอปเปอร์ (B) ต่างระดับความเข้มข้นที่ชั่วโมงเดียวกัน ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบความไวของแคดเมียมและคอปเปอร์ต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล พบว่าแคดเมียมมีความไวในการกระตุ้นการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล ได้ดีกว่าคอปเปอร์ เนื่องจากระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT น้อยกว่าระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ โดยระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการได้รับแคดเมียมต่ำสุดที่กระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับ คือ 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตร นานเพียง 1 ชั่วโมง สำหรับคอปเปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตร จะมีการแสดงออกของยีน MT เมื่อได้รับนาน 2 ชั่วโมงขึ้นไป สอดคล้องกับการทดลองของ Cho *et al.* [15] รายงานว่า แคดเมียมมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน MT ในปลา *Hemibarbus mylodon* ดีกว่าคอปเปอร์และสังกะสี

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับคอปเปอร์มีผลต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล สำหรับแคดเมียมการแสดงออกของยีน MT จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ได้รับแคดเมียมเท่านั้น การได้รับแคดเมียมหรือคอปเปอร์ในระดับความเข้มข้นที่สูงหรือระยะเวลานานเกินไปจะมีผลต่อการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับไม่แตกต่างกัน อาจเกิดจากภาวะอิ่มตัวของโลหะหนักในเนื้อเยื่อหรือเกิดกลไกการขับสารพิษที่มากเกินไปของตัวปลา นอกจากนี้ยังพบว่าแคดเมียมมีความไวในการกระตุ้นการแสดงออกของยีน MT ในเนื้อเยื่อตับปลานิล ได้ดีกว่าคอปเปอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Reiley, M.C. (2007). "Science, policy, and trends of metals risk assessment at EPA: How understanding metals bioavailability has changed metals risk assessment at US EPA", *Aquatic Toxicology*. 84(2), 292-298.
- [2] Rermduang, S., Kareas, S. and Wongsontam, K. (2009). "Heavy metals contamination in seawater and sediment in the upper gulf of Thailand", In *Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Natural Resources and Environment*. Bangkok. 221-228.

- [3] Handya, R.D., Sims, D.W., Giles, A., Campbella, H.A. and Musondaa, M.M. (1999). "Metabolic trade-off between locomotion and detoxification for maintenance of blood chemistry and growth parameters by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chronic dietary exposure to copper", **Aquatic Toxicology**. 47(1), 23-41.
- [4] Wu, S.M., Lin, H.C. and Yanga, W.L. (2008). "The effects of maternal Cd on the metallothionein expression in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) embryos and larvae", **Aquatic Toxicology**. 87(4), 296-302.
- [5] Wang, L.L., Song, L.S., Ni, D.J., Zhang, H. and Liu, W.Q. (2009). "Alteration of metallothionein mRNA in bay scallop *Argopecten irradians* under cadmium exposure and bacteria challenge", **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**. 149(1), 50-57.
- [6] Hollis, L., McGeer, J.C., McDonald, D.G. and Wood, C.M. (1999). "Cadmium accumulation, gill Cd binding, acclimation, and physiological effects during long term sublethal Cd exposure in rainbow trout", **Aquatic Toxicology**. 46(2), 101-119.
- [7] Hylland, K., Haux, C., Hogstrand, C., Sletten, K. and Andersen, R.A. (1994). "Properties of cod metallothionein, its presence in different tissues and effects of Cd and Zn treatment", **Fish Physiology and Biochemistry**. 13(1), 81-91.
- [8] Wang, W.C., Mao, H., Ma, D.D. and Yang, W.X. (2014). "Characteristics, functions, and applications of metallothionein in aquatic vertebrates", **Frontiers in Marine Science**. 34(1), 1-12.
- [9] Olafson, R.W. and Thompson, J.A.J. (1974). "Isolation of heavy metal binding proteins from marine vertebrates", **Marine Biology**. 28(2), 83-86.
- [10] Cheung, A.P.L., Lam, T.H.J. and Chan, K.M. (2004). "Regulation of Tilapia metallothionein gene expression by heavy metal ions", **Marine Environmental Research**. 58(2-5), 389-394.
- [11] Cheung, P.L.A., Kwok, L.L.V. and Chan, K.M. (2005). "Tilapia metallothionein genes: PCR-cloning and gene expression studies", **Biochimica et Biophysica Acta**. 1731(3), 191-201.
- [12] Chatterjee, S., Datta, S., Das, T.K., Veer, V., Mishra, D., Chakraborty, A., Chattopadhyay, B., Datta, S., Mukhopadhyay, S.K. and Gupta, D.K. (2016). "Metal accumulation and metallothionein induction in *Oreochromis niloticus* grown in wastewater fed fishponds", **Ecological Engineering**. 90, 405-416.
- [13] Chan, P.C., Shiu, C.K.M., Wong, F.W.Y., Wong, J.K.Y., Lam, K.L. and Chan, K.M. (2004). "Common carp metallothionein-1 gene: cDNA cloning, gene structure and expression studies", **Biochimica et Biophysica Acta**. 1676, 162-171.
- [14] Lin, C.H., John, J.A., Ou, L.W., Chen, J.C., Lin, C.H. and Chang, C.Y. (2004). "Cloning and characterization of metallothionein gene in ayu *Plecoglossus altivelis*", **Aquatic Toxicology**. 66, 111-124.
- [15] Cho, Y.S., Lee, S.Y., Kim, K.Y., Bang, I.C., Kim, D.S. and Nam, Y.K. (2008). "Gene structure and expression of metallothionein during metal exposures in *Hemibarbus mylodon*", **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 71(1), 125-137.
- [16] Utarnpongsa, S. (2003). **Effect of Cadmium on Metallothionein mRNA in Silver Carp, *Puntius gonionotus***. Master of Science Degree. Mahidol University.

- [17] Langston, W.J., Chesman, B.S., Burt, G.R., Pope, N.D. and McEvoy, J. (2002). “Metallothionein in liver of eels *Anguilla anguilla* from the Thames Estuary: an indicator of environmental quality?”, **Marine Environmental Research**. 53, 263-293.
- [18] Basha, P.S. and Rani, A.U. (2003). “Cadmium-induced antioxidant defense mechanism in freshwater teleost *Oreochromis mossambicus* (Tilapia)”, **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 56, 218-221.
- [19] Pedersen, S.N., Lundebye, A.K. and Depledge, M.H. (1997). “Field application of metallothionein and stress protein biomarkers in the shore crab (*Carcinus maenas*) exposed to trace metals”, **Aquatic Toxicology**. 37(2-3), 183-200.

ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาจวด *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา

Reproductive Biology of *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

off the Coast of Songkhla Province

ดวงดาว อุปสิทธิ^{1*} จารุณี เชี่ยววารีสังจะ² และสมหมาย เชี่ยววารีสังจะ³

Duangdao Upasit^{1*}, Jarunee Chiayvareesajja² and Sommai Chiayvareesajja³

บทคัดย่อ

การศึกษาชีววิทยาการสืบพันธุ์ของ *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) ทำในชายฝั่ง จังหวัดสงขลา ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 โดยใช้เครื่องมือพื้นบ้านจำนวน 4 ชนิด คือ อวนปลาจวด อวนปลาทุ อวนกุ้ง หัวแข็ง และอวนกุ้งแห้วย ซึ่งรวบรวมตัวอย่างได้จำนวน 3,386 ตัว พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัว เพศเมียและไม่แยกเพศเป็นแบบ Allometric growth แต่เพศผู้เป็นแบบ Isometric growth สำหรับการทดสอบความแตกต่างของ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวของปลาจวดระหว่างเพศเมีย และเพศผู้ไม่มีความต่างกัน ($P = 0.121$) มีการวางไข่ในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนมกราคม มีความคักไข่อยู่ในช่วง 4,750 - 111,917 ฟอง ($27,693 \pm 18,114$ ฟอง) และมี อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1 : 3.3

คำสำคัญ: ชีววิทยาการสืบพันธุ์ ปลาจวด *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

Abstract

A study on reproductive biology of *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) in the coast of Songkhla Province was undertaken from February 2012 to April 2013. samples of 3,386 fish were collected by using 4 artisanal fishing gears (croaker gillnet, *Rastrelliger* gillnet, *Metapenaeus affinis* trammel net and *Penaeus merguensis* trammel net). It was found that the relationship between total length and weight for female and both sex (male and female) were allometric growth. However, it indicated isometric growth for male. Moreover, the length- weight relationship was not significantly different ($P=0.121$) between male and

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² ผศ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

³ รศ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ M.Sc. (Aquatic Science) student, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

² Asst. Prof., Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

³ Assoc. Prof, Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

* Corresponding author: Tel: 084-1960741. E-mail address: doundowupasit@gmail.com

female *Johnius carouna*. The spawning season is during September and January. Fecundity ranged from 4,750-111,917 ($27,693 \pm 18,114$). Sex ratio was 1: 3.3.

Keywords: Reproductive Biology, Caroun Croaker, *Johnius carouna* (Cuvier, 1830)

บทนำ

ปลาลาวด *Johnius carouna* (Cuvier, 1830) ชื่อสามัญว่า Caroun croaker อยู่ในครอบครัว Sciaenidae เป็นกลุ่มปลากระดูกแข็งมีกระเพาะขนาดใหญ่ และมีกล้ามเนื้อพิเศษรอบอุ้งลมเรียกว่า sonarific muscle สามารถทำให้เกิดเสียงได้แพร่กระจายอยู่บริเวณเขตร้อน และกึ่งเขตร้อนบริเวณอ่าวไทย เกาะสุมาตรา และเกาะบอร์เนียว ตอนเหนือของทะเลจีนใต้ และทางตะวันตกของประเทศอินเดีย อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ท้องทะเลบริเวณชายฝั่ง บริเวณน้ำกร่อย และป่าชายเลน [1] ประเทศไทยนิยมทำประมงปลาลาวดโดยใช้ อวนปลาลาวด อวนปลาหู เป็นต้น [2]

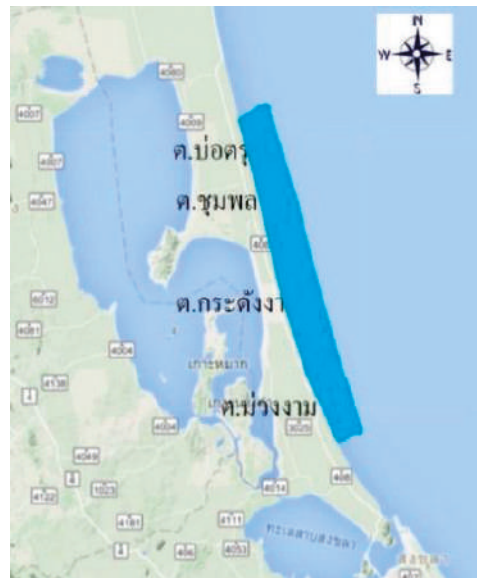
ปลาลาวดมีชื่อที่เรียกในกลุ่มชาวประมงจังหวัดสงขลา ต.ม่วงงาม ต.กระดังงา ต.ชุมพล และ ต.บ่อตรูว่าปลาลาวดจีแตก บริเวณ อ.ท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช เรียกว่าปลาลาวดหน้านวล แต่ละพื้นที่เรียกชื่อปลาลาวดแต่ละชนิดต่างกัน ซึ่งเป็นสัตว์น้ำหลักที่จับได้จากเครื่องมืออวนปลาลาวด และเป็นสัตว์น้ำที่ติดมากับเครื่องมือประมงหลายชนิด เช่น อวนปลาหู อวนกุ้งแชบ๊วย และ อวนกุ้งหัวแข็ง ชาวประมงนิยมนำปลาลาวดมาขายสด หรือทำปลาแดดเดียว

การศึกษาชีววิทยาประชากรของปลาลาวด โดยเน้นศึกษาความคงเ้าตามขนาดความยาวเพื่อประเมินว่าแม่พันธุ์แต่ละขนาดความยาวสามารถผลิตลูกพันธุ์ได้ไปปริมาณเท่าใด การศึกษาฤดูวางไข่ของปลาลาวด เพื่อให้ทราบว่ามี การวางไข่ในช่วงใดเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และแนวทางในการจัดการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำชนิดนี้ ให้มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด และสมดุลกับการทดแทนทรัพยากรในอนาคต การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะทำการศึกษาบริเวณชายฝั่ง อ.ระโนด อ.สิงหนคร และ อ.สทิงพระ จ.สงขลา

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. การเก็บตัวอย่างในพื้นที่

เก็บตัวอย่างปลาลาวด ($n=3,386$) โดยการรวบรวมจากเครื่องมือประมงพื้นบ้านในพื้นที่ศึกษาที่จับปลาลาวดได้จำนวนมาก คือ อวนปลาลาวด อวนปลาหู อวนกุ้งหัวแข็ง และอวนกุ้งแชบ๊วย ตัวอย่างที่ได้จากอวนกุ้งหัวแข็งที่มีขนาดตาอวน 3.2 เซนติเมตร เป็นปลาลาวดที่มีขนาดเล็ก อวนปลาหู และอวนปลาลาวดมีขนาดตาอวน 4.3 และ 4.5 เซนติเมตร ได้ตัวอย่างที่มีขนาดกลาง และอวนกุ้งแชบ๊วยมีขนาดตาอวน 4.5 เซนติเมตร ได้ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ เก็บตัวอย่าง 4 พื้นที่ คือ ต.ม่วงงาม ต.กระดังงา ต.ชุมพล และ ต.บ่อตรู (ภาพที่ 1) โดยรวบรวมจากเครื่องมือประมง 4 ชนิด ทุกเดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึงตุลาคม 2555 และเดือนมกราคม ถึงเมษายน 2556 โดยเดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคมเป็นช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีคลื่นลมแรงเรือประมงพื้นบ้านไม่สามารถออกทำการประมงได้



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งลุ่มตัวอย่างบริเวณชายฝั่งสงขลา [3]

2. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

เก็บตัวอย่างปลาวงคที่ได้จากอวนทั้ง 4 ชนิด โดยการแช่น้ำแข็งเพื่อนำไปศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเก็บข้อมูลดังนี้

2.1 วัดความยาวเหยียด (Total Length) โดยใช้กระดานวัดความยาวที่มีความละเอียด 0.1 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 กรัม เป็นรายตัว เพื่อใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเหยียดกับน้ำหนัก

2.2 คำนวณเพศของปลาแต่ละตัว นับจำนวนเพศผู้และเพศเมีย และทำการแยกระยะการพัฒนารังไข่และอวัยวะในปลาเพศเมียและเพศผู้แบ่งออกเป็น 5 ระยะ (ตารางที่ 1) เพื่อศึกษาอัตราส่วนเพศ และฤดูกาลวางไข่

2.3 เก็บตัวอย่างรังไข่ของปลาเพศเมียที่ระยะการเจริญพันธุ์ที่ 3-4 (ระยะสมบูรณ์เพศ) มาชั่งและนับจำนวนไข่ปลา โดยเก็บรักษาตัวอย่างรังไข่ในน้ำยาเกล็ดสัน (Gilson's Fluid) เพื่อศึกษาความคืบหน้าโดยวิธีการตวงปริมาตร (Volumetric Method) [4]

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับน้ำหนัก

นำข้อมูลความยาวและน้ำหนักของปลาวงค มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทั้งเพศผู้และเพศเมียตามสมการความสัมพันธ์ของ Sparre and Venema [5] ดังนี้

$$\begin{aligned}
 W &= aL^b \\
 \text{เมื่อ} \quad W &= \text{น้ำหนักตัว} \\
 L &= \text{ความยาว} \\
 a, b &= \text{ค่าคงที่หาได้โดยใช้การวิเคราะห์เส้นถดถอย}
 \end{aligned}$$

แล้วทดสอบค่า $b = 3$ หรือไม่ และความแตกต่างของค่า b ระหว่างเพศผู้และเพศเมีย โดยใช้ t-test

ตารางที่ 1 การพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์ของปลา [6]

ระยะที่	ลักษณะของอวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์	
	อัณฑะ (Sperm sac)	รังไข่ (Ovary)
1. Virgin	มีขนาดเล็ก ใส อยู่ใกล้หรือแนบติดกับกระดูกสันหลัง	มีขนาดเล็ก ใส อยู่ใกล้หรือแนบติดกับกระดูกสันหลัง
2. Developing	มีสีขาวปนแดง มีความยาวครึ่งหนึ่งของช่องท้อง หรือมากกว่าเล็กน้อย	มีสีแดงอ่อนข้างใส มีความยาวครึ่งหนึ่งของช่องท้อง หรือมากกว่าเล็กน้อย
3. Gravid	มีสีขาว การขยายสองในสามของช่องท้อง	มีสีเหลืองหรือสีส้ม การขยายสองในสามของช่องท้อง ไข่มีลักษณะกลม มีเยื่อหุ้มติดกัน
4. Spawning (Ripe)	มีสีขาวครีมขยายเต็มช่องท้อง	มีสีเหลืองหรือสีส้มขยายเต็มช่องท้อง ไข่สามารถแยกเป็นเม็ดได้ ผนังรังไข่ค่อนข้างบาง
5. Spent	ถุงน้ำเชื้อมีลักษณะเหี่ยวแฟบ	เป็นระยะที่ปลาวางไข่ไปแล้ว รังไข่จะเหี่ยวแฟบ มีสีแดง อาจมีไข่สีเหลืองปนแดงเหลืออยู่ในรังไข่

3.2 ความดกไข่

นำตัวอย่างไข่ปลาจวดที่ดองในน้ำยาเกล็ดสี มาหาค่าความดกไข่ด้วยวิธีการตวงปริมาตร โดยนำรังไข่ที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาใส่ในที่ตวงปรับปริมาตรน้ำให้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร และทำการตวงตวงปริมาตรตัวอย่างไข่ปลาจวดที่ละลายแล้ว 5 มิลลิลิตร มานับจำนวน โดยนับไข่ 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการคำนวณหาจำนวนของไข่ทั้งหมดตามสมการ ดังนี้

$$E = e \left(\frac{V}{v} \right)$$

เมื่อ

E = จำนวนไข่ทั้งหมดที่คำนวณได้

e = จำนวนไข่ในตัวอย่าง

V = ปริมาตรของไข่ทั้งหมด

v = ปริมาตรของตัวอย่างไข่

นำข้อมูลความดกไข่มาคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความดกไข่ (ฟอง) กับขนาดความยาว (เซนติเมตร) [4] ตามสมการ ดังนี้

$$F_c = aL^b$$

จะได้

$$\ln F_c = \ln a + b \ln L$$

เมื่อ

Fc = ความดกไข่

a และ b = ค่าคงที่หาโดยใช้การวิเคราะห์เส้นถดถอย

L = ความยาวปลายหาง

ทำการทดสอบค่าความสัมพันธ์โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยใช้ t-test

3.3 ฤดูวางไข่

ศึกษาจาก%ของปลาเพศเมียและเพศผู้ที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์ควบคู่กับค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศเฉลี่ย (Mean Gonadosomatic Index, MGSI) ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน หากเดือนใดมี%ของระยะเจริญพันธุ์ และค่า MGSI สูง จัดเป็นช่วงฤดูวางไข่ ค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศ (Gonadosomatic Index, G.S.I.) หมายถึงสัดส่วนระหว่างน้ำหนักของรังไข่เพศเมีย กับน้ำหนักตัวปลา [4] ตามสมการ

$$G.S.I. = \left(\frac{GW}{BW} \right) \times 100$$

เมื่อ

G.S.I. = ค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศ

GW = น้ำหนักของรังไข่ (กรัม)

BW = น้ำหนักตัวรวมของปลาที่มีรังไข่รวมอยู่ด้วย (กรัม)

3.4 อัตราส่วนเพศ (Sex Ratio)

อัตราส่วนเพศ จำแนกตามขนาดความยาวปลา โดยคำนวณสัดส่วนปลาเพศผู้และเพศเมีย และนำมาทดสอบสมมุติฐาน “อัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียเป็น 1 : 1 [7] โดยใช้ Chi-Square test

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Observed} - \text{Expected})^2}{\text{Expected}}$$

เมื่อ

Observed = จำนวนตัวของปลาจวดแต่ละเพศที่เก็บตัวอย่างได้

Expected = จำนวนปลาจวดที่ควรเป็นไปตามสมมุติฐาน
 (อัตราส่วนเพศผู้ : เพศเมีย = 1 : 1)

ผลการวิจัย

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัว

ตัวอย่างของปลาจวดที่รวบรวมได้ รวมจำนวน 3,386 ตัว จำแนกเป็นเพศเมีย จำนวน 2,249 ตัว เพศผู้ จำนวน 688 ตัว และไม่สามารถแยกเพศได้ จำนวน 449 ตัว ปลาแต่ละกลุ่มมีขนาดความยาวตั้งแต่ 08.00-20.00 เซนติเมตร 08.40 – 20.00 เซนติเมตร และ 09.00-19.70 เซนติเมตร ตามลำดับ นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวของปลาจวดได้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{รวมทั้งหมด (n = 3,386)} \quad \ln W = -4.6016 + 3.0738 \ln L$$

$$W = 0.010036L^{3.0738}$$

$$\text{เพศเมีย (n = 2,249)} \quad \ln W = -4.7674 + 3.1374 \ln L$$

$$W = 0.008502L^{3.1374}$$

$$\begin{aligned}\ln W &= -4.6258 + 3.0771 \ln L \\ W &= 0.009796L^{3.0771}\end{aligned}$$

เมื่อนำค่า b ที่ได้มาทำการทดสอบความแตกต่างจากกฎกำลังสาม โดย t -test ของปลาวจวด เพศผู้เป็นไปตามกฎกำลังสาม ส่วนของปลาวจวด เพศเมียและไม่แยกเพศ ไม่เป็นไปตามกฎกำลังสาม สำหรับการทดสอบความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวระหว่างเพศเมีย และ เพศผู้ ค่า b ของเพศเมีย และเพศผู้ไม่ต่างกัน ($P=0.121$)

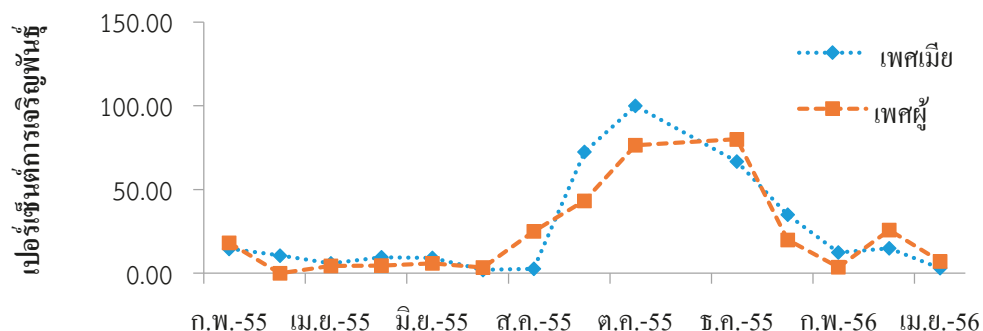
2. ความดกไข่

ผลการศึกษาความดกไข่ของปลาวจวดจำนวน 228 ตัว มีขนาดความยาวตั้งแต่ 12.25–19.3 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 15.4 เซนติเมตร พบว่ามีความดกไข่อยู่ในช่วง 4,750–111,917 ฟอง ($27,693 \pm 18,114$ ฟอง) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดกไข่กับความยาวปลายหาง โดยการวิเคราะห์เส้นถดถอยได้ค่า slope (b) เท่ากับ 2.109 ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.253 เมื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยใช้ t -test ได้ค่า t เท่ากับ 3.953 ซึ่งมีความมากกว่าค่า t ตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ได้สมการ คือ

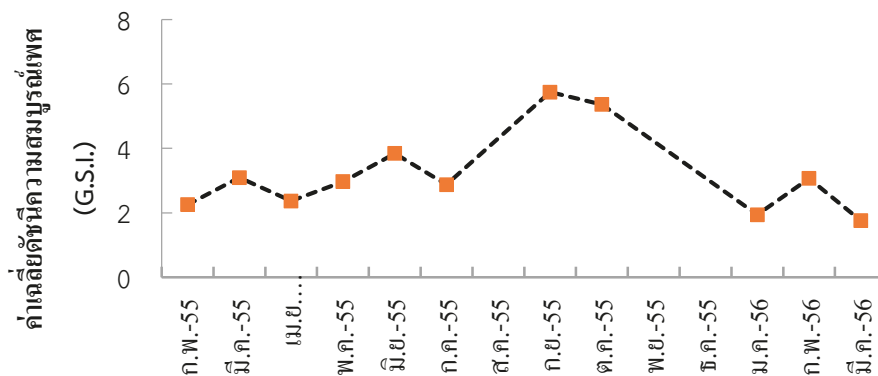
$$\begin{aligned}F_c &= 70.60L^{2.109} \\ \ln F_c &= 4.257 + 2.109 \ln L\end{aligned}$$

3. ฤดูวางไข่

เมื่อทำการศึกษา % ของปลาวจวดเพศเมียและเพศผู้ที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 พบปลาวจวดเพศเมียมีการเจริญพันธุ์มากกว่า 50% คือ เดือนกันยายน พ.ศ. 2555 และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 (72.45–100.00%) และมีสัดส่วนสูงสุดคือเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 (100%) ส่วนเพศผู้ที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์มีสัดส่วนสูงอยู่ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2555 เช่นกัน (76.47–80.00%) และเดือนที่มีสัดส่วนสูงสุดคือเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 (80.00%) (ภาพที่ 2) เมื่อนำข้อมูลปลาวจวดเพศเมียที่อยู่ในระยะเจริญพันธุ์ มาคำนวณหาค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศเฉลี่ย (Gonadosomatic Index ; G.S.I.) พบว่า G.S.I. มีค่าสูงในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าสูงสุดในกันยายน พ.ศ. 2555 (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 % การเจริญพันธุ์ของปลาวจวดเพศเมียและเพศผู้บริเวณชายฝั่งสงขลา
ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยดัชนีความสมบูรณ์เพศ (G.S.I.) ของปลาวงศ์เพชเมียว บริเวณชายฝั่งสงขลา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556

4. สัดส่วนเพศจำแนกตามขนาดความยาวและอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย

ข้อมูลจากตัวอย่างของปลาวงศ์เพชเมียว 2,249 ตัว และเพศผู้ 688 ตัว มีขนาดความยาวปลายหาง 08.00 – 20.00 เซนติเมตร โดยมีค่าสัดส่วนเพศเมียสูงสุดที่ความยาว 08.00-09.00 เซนติเมตร และ 19.00-19.50 เซนติเมตร เนื่องจากไม่พบเพศผู้ในช่วงขนาดความยาวดังกล่าว แต่ในช่วงความยาวปลายหางที่มีทั้งเพศผู้และเพศเมีย ค่าสัดส่วนเพศเมียสูงสุดที่ความยาว 18.50-19.00 เซนติเมตร เมื่อทดสอบอัตราส่วนระหว่างเพศผู้ต่อเพศเมียในแต่ละเดือนว่ามีอัตราส่วนเป็น 1 : 1 หรือไม่ ซึ่งอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 2.2e-16$) มีค่าเท่ากับ 1 : 3.3 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 อัตราส่วนเพศของปลาวงศ์เพชเมียวบริเวณชายฝั่งสงขลา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556

เดือน	เพศเมีย (ตัว)	เพศผู้ (ตัว)	รวม (ตัว)	Ratio เพศผู้ : เพศเมีย	χ^2
ก.พ.-55	89	33	122	1 : 2.7	25.7
มี.ค.-55	85	5	90	1 : 17.0	71.1
เม.ย.-55	252	46	298	1 : 5.5	142.4
พ.ค.-55	115	22	137	1 : 5.2	63.1
มิ.ย.-55	306	170	476	1 : 1.8	38.9
ก.ค.-55	249	88	337	1 : 2.8	76.9
ส.ค.-55	150	28	178	1 : 5.4	83.6
ก.ย.-55	236	148	384	1 : 1.6	20.2
ต.ค.-55	80	51	131	1 : 1.6	6.4
ธ.ค.-55	18	5	23	1 : 3.6	7.3
ม.ค.-56	20	5	25	1 : 4.0	9.0
ก.พ.-56	161	28	189	1 : 5.8	93.6
มี.ค.-56	195	31	226	1 : 6.3	119.0
เม.ย.-56	293	28	321	1 : 10.5	218.8
รวม	2,249	688	2,937	1 : 3.3	829.7

การอภิปรายผล

การศึกษาชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาลอด บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวปลายหางกับน้ำหนักตัวของปลาลอดทั้งหมด เพศเมีย และ เพศผู้ $W = 0.010036 L^{3.0738}$, $W = 0.008502 L^{3.1374}$ และ $W = 0.009796 L^{3.0771}$ ตามลำดับ ปลาลอดเพศผู้มีการเติบโตแบบไอโซเมตริกส่วนเพศเมียและไม่แยกเพศ มีรูปแบบการเติบโตแบบอัลโลเมตริก ปลาลอดมีความคึกไข่อยู่ในช่วง 4,750-111,917 ฟอง ($27,693 \pm 18,114$ ฟอง) มีความสัมพันธ์ระหว่างความคึกไข่กับความยาวปลายหางมีค่าต่ำ ($r=0.253$) อยู่ในรูป $F_c = 70.60 L^{2.109}$ ฤดูวางไข่ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าสูงสุดในการวางไข่ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 และมีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1 : 3.3 ดังนั้นแนวทางในการจัดการทรัพยากรปลาลอด บริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา ควรกำหนดให้มีการห้ามทำการประมงในช่วงฤดูวางไข่ คือในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนมกราคม ของทุกปี

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประจำปีงบประมาณ 2555 และได้รับการอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์และสถานที่จากภาควิชาชีววิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sasaki, K. (2001). Sciaenidae Croakers (drums). *In: FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Pacific, vol. 5. Bony Fishes: Part 3 (Menidae to Pomacentridae)* (eds. Carpenter, K.E., Niem, V.H). Rome: FAO.
- [2] อำนาจ ศิริเพชร และนพรัตน์ เรืองปฏิกรณ์. (2549). เครื่องมือและแหล่งประมงพื้นบ้านบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2549 ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง (สงขลา) : สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [3] Google Maps. (2558). อำเภอรโนด จังหวัดสงขลา. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2559, จาก <https://www.google.co.th/maps/place/%E0%B8%AD%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%A0%E0%B8%AD+%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B8%94+%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%82%E0%B8%A5%E0%B8%B2/@7.7772428,100.1511566,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x3052a2451b5c7bf3:0x30223bc2c368300!8m2!3d7.7896079!4d100.3048897>.
- [4] Bagenal, T. B. (1978). *Aspects of Fish Fecundity. In Ecology of Freshwater Fish Production* (ed. S.D. Gerking). London: Blackwell Scientific Publication.
- [5] Sparre, P. and Venema, S. C. (1998). *Introduction to Tropical Fish Stock Assessment Part 1 – Manual. FAO Fish. Tech. Pap. 306/1*. Rome: FAO.
- [6] Holden, M. J. and Raitt, D. F. S. (1974). *Manual of Fisheries Science. Part 2-Methods of Resource Investigation and Their Application. FAO Fisheries Technical Report No. 115, Rev. 1*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation.
- [7] Fisher, R. A. (1930). *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: The Clarendon Press.

ความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์และองค์ประกอบในกระเพาะอาหาร ของปลาจากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง

Biodiversity of Zooplankton and Stomach Content of Fishes from Palian River, Trang Province

เดือนตา ร่าหมาน^{1*} ศิริลักษณ์ ช่วยพจน์² และพีรนาฏ กิดดี³
Tueanta Ramarn^{1*}, Sirilak Chuaypanang² and Peeranart Kiddee³

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์และองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาบริเวณแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์และปลาในเดือนสิงหาคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ 2558 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ใช้วิธีการลากในแนวระนาบที่ผิวน้ำด้วยถุงเก็บแพลงก์ตอนขนาด 65 ไมโครเมตร และเก็บตัวอย่างปลาโดยใช้ลอบ ผลการศึกษาพบแพลงก์ตอนสัตว์ 6 ไฟลัม 17 taxa โดยแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Arthropoda มีความชุกชุมมากที่สุด รองลงมาเป็น Phylum Mollusca และ Phylum Chordata ตามลำดับ แพลงก์ตอนสัตว์มีการกระจายที่แตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา และการจำแนกชนิดของปลา พบปลา 5 อันดับ 20 ชนิด ผลการศึกษายังประกอบในกระเพาะปลา 8 ชนิด พบว่า ปลาทุกชนิดเป็นปลาพวกที่กินอาหารทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) แต่ชนิดของอาหารที่กินจะมีความแตกต่างกันออกไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารหลักได้แก่ ปลากระบอก (*Liza vaigiensis*) และกลุ่มที่กินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหารหลัก ได้แก่ ปลาที่เหลือทั้งหมด ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าแพลงก์ตอนสัตว์พบมีความหลากหลายของค่อนข้างสูงในบริเวณนี้และมีบทบาทในการเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของปลาในระบบนิเวศป่าชายเลนปะเหลียนจังหวัดตรัง นอกจากนี้จากการพบตัวอ่อนของกุ้ง ปู และปลาในตัวอย่างแพลงก์ตอนแสดงให้เห็นว่า ป่าชายเลนปะเหลียนเป็นแหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำที่สำคัญ

คำสำคัญ: ป่าชายเลน แพลงก์ตอนสัตว์ องค์ประกอบในกระเพาะอาหาร

¹ อ.ดร., สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ อ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Dr., Biology Department, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210

² Asst. Prof., Biology and Environmental Science, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210

³ Dr., Biology and Environmental Science, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: tuantar@yahoo.com

Abstract

Zooplanktons diversity and stomach content of fishes were studied in Palian River, Tang Province. Zooplanktons and fishes were collected during August 2014 and February 2015 using plankton net (65 um) and fish trap, respectively. The results showed that zooplanktons in Palian River consist of 17 taxa from 6 Phyla. Phylum Arthropoda was the most abundance followed by Phylum Mollusca and Phylum Chordata, respectively. Zooplanktons distribution showed great spatial and temporal variation. Moreover, 5 order and 20 species of fishes were found. Among them, only 8 common species were analyzed for stomach content. The results revealed that feeding habit of fishes were varied among them. In general, all fish species were omnivorous. However, they could be separated into 2 groups; Mullet (*Liza vaigiensis*) which was phytoplankton feeder and the remaining fishes which were zooplanktons feeders. It may be concluded that; zooplankton is likely high in diversity served as the importance food source for fishes in Palian River. In addition, high abundance of shrimps, crab and fish larvae suggest that this ecosystem play an important role as a nursery ground for importance aquatic animals.

Keywords: Mangroves, Zooplankton, Stomach Content

บทนำ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่สำคัญและมีลักษณะเฉพาะตัวระบบนิเวศหนึ่ง มีลักษณะผสมผสานระหว่างระบบนิเวศบกและระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากเป็นบริเวณที่เป็นรอยต่อของระบบนิเวศทั้งสองที่กล่าวมา ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีประโยชน์หลายประการ เช่น เป็นแหล่งที่อยู่ของสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจาก เป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยเฉพาะมีแพลงก์ตอนซึ่งเป็นแหล่งอาหารของปลาเป็นจำนวนมาก [1] จึงส่งผลให้มีปลาและสัตว์เศรษฐกิจจำนวนมากในบริเวณป่าชายเลน [2] แพลงก์ตอนสัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ดำรงชีวิตด้วยการลอยลอยอยู่ในน้ำ ไม่สามารถบังคับทิศทาง การเคลื่อนที่ได้ มีขนาดแตกต่างกันไป สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในน้ำจืด น้ำเค็มและน้ำกร่อย การกระจายของแพลงก์ตอนสัตว์จะถูกควบคุมโดยทั้งปัจจัยทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ความสำคัญของแพลงก์ตอนสัตว์ในระบบนิเวศคือเป็นสิ่งมีชีวิตที่ กินได้ทั้งตะกอน แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ [3] ในขณะเดียวกัน แพลงก์ตอนสัตว์เองเป็นอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด ดังนั้น แพลงก์ตอนสัตว์จึงเป็นผู้เชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคลำดับสูงขึ้นไป [4]

แม่น้ำปะเหลียนมีความยาวประมาณ 58 กิโลเมตร ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของแม่น้ำตรัง มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมดอยู่ในเขตจังหวัดตรัง ป่าชายเลนบริเวณแม่น้ำปะเหลียนมีพื้นที่มากกว่า 260,000 ไร่ โดยสามารถพบป่าชายเลนได้ตลอดสองข้างของฝั่งแม่น้ำปะเหลียนที่มีน้ำทะเลท่วมถึง ป่าชายเลนบริเวณแม่น้ำปะเหลียนอยู่ในเขตพื้นที่ของ 4 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอกันตัง ย่านตาขาว ปะเหลียนและหาดสำราญ เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง [5] พื้นที่นี้เป็นแหล่งประมงที่สำคัญของชุมชนที่อยู่อาศัยโดยรอบถึงแม้ว่าป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ ปะเหลียนจะยังคงเป็นป่าชายเลนที่อุดมสมบูรณ์ แต่เนื่องจาก ช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่และทรัพยากรในพื้นที่ทั้งจากการทำการประมง การเลี้ยงหอย การเลี้ยงปลา นอกจากนี้ ยังมีการปล่อยน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ลงในบริเวณแม่น้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยตรง ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนสัตว์และองค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาในระบบนิเวศป่าชายเลนบริเวณแม่น้ำปะเหลียน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการจัดการป่าชายเลนต่อไป

วิธีการวิจัย

พื้นที่

กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด คือ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 (S1 และ S2) เป็นแม่น้ำตอนบน จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 (S3) บริเวณแม่น้ำตอนกลาง และจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 บริเวณปากแม่น้ำ (S4) (ภาพที่ 1)

การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนสัตว์

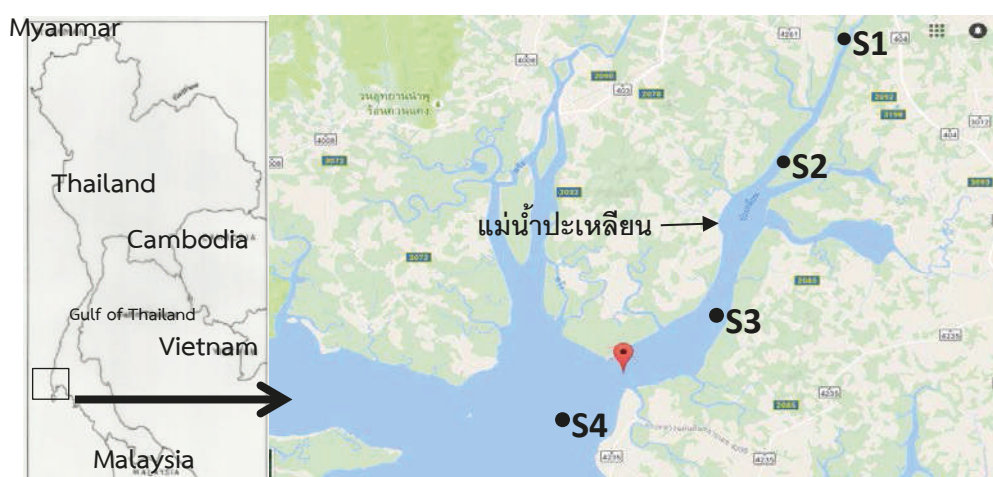
ศึกษาคุณภาพน้ำและความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ 2 ครั้ง ในเดือนสิงหาคม 2557 และกุมภาพันธ์ 2558 ทำการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์และตรวจวัดคุณภาพน้ำที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด โดยแต่ละจุดจะเก็บตัวอย่างจุดเก็บตัวอย่างละ 3 ขั้ว ตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์จะใช้ถุงลากแพลงก์ตอนขนาด 65 ไมโครเมตร ลากในแนวขนานกับระดับน้ำ หลังจากนั้น ทำการเก็บรักษาตัวอย่างด้วยฟอร์มาลินเข้มข้นสุดท้าย 4% [6] ในการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ทุกครั้งจะทำการวัดปริมาตรของน้ำที่ผ่านถุงกรองด้วยการคิดเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Flow Meter รุ่น GO 2030R) ที่ปากถุงเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอน จดบันทึกค่าก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างในทุกครั้งของการเก็บตัวอย่างจะเก็บ ข้อมูลคุณภาพน้ำ ปัจจัยที่ตรวจวัดคือ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) โดยใช้ Multi Probe (YSI รุ่น 556-01)

การเก็บตัวอย่างปลา

ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างปลาที่พบในบริเวณแม่น้ำปะเหลียน โดยการเก็บรวบรวมจากชาวประมงจากการใช้ลอบ ในการเก็บตัวอย่าง หลังจากได้ตัวอย่างปลามาแล้วจะแช่ตัวอย่างในน้ำแข็งทันทีและขนส่งกลับไปยังห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ชนิดและความชุกชุมแพลงก์ตอนสัตว์

ทำการวิเคราะห์ชนิดแพลงก์ตอนสัตว์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้สไลด์นับแพลงก์ตอน (Sedgwick-Rafter Counting Chamber) ขนาดความจุ 1 มล. [7] จัดจำแนกแพลงก์ตอนสัตว์ออกเป็นกลุ่มตามวิธีของ ลัดดา [8] นับจำนวน คำนวณความชุกชุม (Density) คำนวณความหลากหลาย (Shannon-Weiner Diversity Index) ตามสูตรของ Clarke and Warwick [9] คำนวณความมากมายชนิด (Species Richness) คำนวณตามสูตร Margalef's Index [9] และดัชนีความเท่าเทียม (Evenness Index) คำนวณตามสูตรของ Pielou's Evenness Index [9]



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง (S1 และ S2 = แม่น้ำตอนต้น S3 = แม่น้ำตอนกลาง และ S4 = ปากแม่น้ำปะเหลียน)

ที่มา: <https://www.google.co.th/maps/place/แม่น้ำปะเหลียน/>

การวิเคราะห์องค์ประกอบอาหารในกระเพาะอาหารปลา

วิเคราะห์องค์ประกอบกระเพาะอาหารของปลาชนิดละ 30 ตัว ปลาที่วิเคราะห์องค์ประกอบในกระเพาะอาหารมี 8 ชนิด และมีขนาดความยาวมาตรฐาน (Standard Length, $x \pm SE$) ดังนี้ ปลาจวดเทา (*Nibea saldato*) ความยาวเฉลี่ย 16.28 ± 0.58 ซม. ปลาจวด (*Asperivarvina jubata*) ความยาวเฉลี่ย 10.38 ± 0.46 ซม. ปลาจวดเตียนเขียว (*Otolith ruber*) ความยาวเฉลี่ย 8.66 ± 0.86 ซม. ปลาเห็ดโคน (*Sillago sihama*) ความยาวเฉลี่ย 14.19 ± 0.67 ซม. ปลาเสือพ่นน้ำ (*Toxotes chatareus*) ความยาวเฉลี่ย 9.50 ± 0.74 ซม. ปลาตุ๊กทะเล (*Plustosus anguillaris*) ความยาวเฉลี่ย 11.84 ± 2.14 ซม. ปลากระบอก (*Liza vaigiensis*) ความยาวเฉลี่ย 9.57 ± 1.41 ซม. และปลาลิ้นหมา (*Cynoglossus macrolepidotus*) ความยาวเฉลี่ย 11.85 ± 0.21 ซม.

การวิเคราะห์องค์ประกอบในกระเพาะอาหาร ทำโดยผ่าตัดเปิดช่องท้องของปลา นำทางเดินอาหารออกมาผ่ากระเพาะอาหารและเขี่ยอาหารที่อยู่ในกระเพาะทั้งหมดใส่ลงในจานเพาะเชื้อ เขี่ยให้อาหารกระจายออกจากกัน จำแนกชนิดอาหารด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ กระเพาะที่ไม่มีอาหารบันทึกผลเป็นกระเพาะว่าง แยกอาหารกลุ่มต่างๆ ใส่ลงในอะลูมิเนียมฟอยด์ นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 วัน และนำไปชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง [10] คำนวณความสัดส่วนของอาหารแต่ละชนิดโดยใช้สูตรของมารินท์ [11] ดังนี้

$$\text{สัดส่วนของอาหารแต่ละชนิด} = \frac{\text{น้ำหนักของอาหารชนิดนั้น} \times 100}{\text{น้ำหนักของอาหารทั้งหมด}}$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยคุณภาพน้ำ ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนและดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ที่ค่าระดับความเชื่อมั่น 95% และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Kruskal-Wallis test [12]

ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งสองครั้งของการเก็บตัวอย่าง ระดับอุณหภูมิของบริเวณต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการศึกษา โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26.99 ± 0.11 – $30.91 \pm 0.57^{\circ}\text{C}$ ส่วนปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างชัดเจนในการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ คือ ระดับความเค็มจะมีค่าต่ำสุดอยู่ที่บริเวณแม่น้ำดอนบนในสถานี S1 และ S2 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14.23 ± 0.16 – 15.50 ± 0.67 ppt ในทำนองเดียวกัน ระดับออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำสุดที่บริเวณแม่น้ำดอนบน โดยมีค่าเฉลี่ย 2.98 ± 0.24 และ 1.62 ± 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงเดือนสิงหาคม 2557 และเดือนกุมภาพันธ์ 2558 ตามลำดับ ในขณะที่บริเวณอื่นๆ จะมีค่าออกซิเจนละลายน้ำใกล้เคียงกัน (4.82 ± 0.05 – 6.72 ± 0.63 มิลลิกรัม/ลิตร) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 6.08 ± 0.02 – 7.58 ± 0.15

ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์

จากการศึกษา พบ แพลงก์ตอนสัตว์ 6 ไฟลัม 17 Taxa คือ Phylum Annelida Phylum Mollusca Phylum Arthropoda Phylum Rotifera Phylum Chaetognatha และ Phylum Chordata (ตารางที่ 1) โดยมีแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Arthropoda เป็นองค์ประกอบหลักของสังคมแพลงก์ตอนสัตว์ในปากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง โดยมีสัดส่วนสูงถึง 69.28% รองลงมาได้แก่ Phylum Mollusca (25.61%) และ Phylum Chordata (4.13%) ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มอื่นจะพบเป็นจำนวนน้อย (<1%) นอกจากนี้ ความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์แตกต่างกันไปในเชิงพื้นที่ โดยแพลงก์ตอนสัตว์จะมีความชุกชุมมากที่สุดที่บริเวณ S4 และความชุกชุมจะลดลงในสถานี S3 S2 และ S1 ตามลำดับ

การแพร่กระจายของแพลงก์ตอนสัตว์ในเชิงพื้นที่

ชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์มีการกระจายแตกต่างกันไปในเชิงสถานี โดยแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบได้ทุกสถานีได้แก่ กลุ่ม Cyclopoid copepod, Calanoid copepod, Shrimps post larva, Crustacean nauplius, Barnacle nauplius และ Fish larva ในทางตรงกันข้าม มีแพลงก์ตอนบางชนิดสามารถพบได้ในบางสถานีเท่านั้น คือ แพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Polychaete และ หนอนธนู *Sagitta* sp. จะพบในบริเวณ S3 และ S4 เท่านั้น ส่วน Mysis larva พบกระจายเกือบทุกสถานี (ยกเว้น S1) ในขณะที่ Cypris larva จะพบในสถานี S4 ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Rotifers จะพบเฉพาะสถานี S1 และ S2 (ตารางที่ 1)

ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพทั้ง 3 ค่าที่ศึกษามีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ ($p < 0.05$) โดยค่าดัชนีความหลากหลาย Shannon-Weiner's index มีค่าน้อยที่สุดที่ S1 และ S2 (0.28 ± 0.06 และ 0.28 ± 0.07 ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพจะสูงขึ้นในบริเวณตอนกลางของแม่น้ำ (0.44 ± 0.11) และสูงที่สุดในบริเวณปากแม่น้ำ (0.77 ± 0.02) ส่วนค่าดัชนีความมกชนิดมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณของการเก็บตัวอย่างเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความมกชนิดและความเท่าเทียมกัน ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) ในเชิงพื้นที่

ตารางที่ 1 การกระจายของแพลงก์ตอนสัตว์ในเชิงพื้นที่ในเดือนสิงหาคม 2557 และกุมภาพันธ์ 2558 ในแม่น้ำปะเหลียน

Phylum	Taxa	เดือนสิงหาคม				เดือน กุมภาพันธ์			
		S1.	S2.	S3.	S4.	S1.	S2.	S3.	S4.
Annelida	Polychaete	-	-	/	/	-	-	-	/
Mollusca	Gastropod larva	/	/	/	/	-	-	/	/
	Bivalve larva	/	/	/	/	-	/	/	-
Arthropoda	Cyclopoid copepod	/	/	/	/	/	/	/	/
	Calanoid copepod	/	/	/	/	/	/	/	/
	Isopod	-	-	/	/	-	-	/	/
	Mysis larva	-	/	/	/	-	/	/	/
	Lucifer	-	-	/	/	/	/	/	/
	Shrimp post larva	/	/	/	/	-	-	/	/
	Crustacean nauplius	/	/	/	/	/	/	/	/
	Barnacle nauplius	/	/	/	/	-	-	/	/
	Crab larva	-	-	-	-	/	/	/	/
	Cladocera	/	/	-	-	-	-	-	-
Rotifera	Rotifer	/	/	-	-	-	-	-	-
Chaetognatha	<i>Sagitta</i> sp.	-	-	/	/	-	-	/	/
Chrodata	<i>Oikopleura</i> sp.	/	/	/	/	/	/	/	/
	Fish larva	-	-	-	-	/	/	/	/

การศึกษาองค์ประกอบของอาหารในกระเพาะอาหารของปลา

ในการศึกษาครั้งนี้ พบปลาทั้งหมด 20 ชนิด จัดอยู่ใน Class Actinopterygii Division Teleostei และมี 5 อันดับ ด้วยกันคือ Order Clupeiformes, Order Mugiliformes, Order Perciformes, Order Pleuronectiformes และ Order Siluriformes

จากปลาทั้งหมดที่พบเลือกทำการศึกษาองค์ประกอบในกระเพาะอาหารเพียง 8 ชนิด โดยเลือกปลาที่เป็นปลาเศรษฐกิจและสามารถพบได้สม่ำเสมอ อาหารที่พบในกระเพาะของปลามีหลายกลุ่ม คือ แพลงก์ตอนพืช ซากพืชหอย หมึก กลุ่มไส้เดือนทะเล แมงมุม มด แมลง กุ้ง ปู กุ้งเคย ปลา และอาหารที่ย่อยแล้ว (ภาพที่ 2) โดยปลาแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบในกระเพาะอาหารที่แตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตาม ปลาทั้ง 8 ชนิดเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (Omnivorous fishes) โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ปลาที่กินพืชเป็นหลัก ได้แก่ ปลากระบอก ส่วนปลาที่เหลือทั้งหมดเป็นปลาที่กินสัตว์เป็นหลัก ปลาจวดเคียนเขียวพบกุ้งเคยในกระเพาะอาหารเป็นสัดส่วนมากที่สุด (93.45%) ในขณะที่ลูกปลาคือ ปลากระบอกหลักในกระเพาะอาหารของปลาจวดเคียน (49.46%) และกุ้งเป็นองค์ประกอบหลักในกระเพาะของปลาจวด *Aspericavina jubata* (49.97%) ส่วนปลาเห็ดโคนจะกินอาหารสองกลุ่มในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ กุ้งและไส้เดือนทะเล ปลาเสือพ่นน้ำจะกินปูเป็นอาหารหลัก ส่วนปลากระบอกพบซากพืชในกระเพาะอาหารสูงถึง 87.13% รองลงมาเป็นแพลงก์ตอนพืช ในขณะที่ ปลาลิ้นหมากินอาหารหลากหลายชนิดในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ ซากพืช ไส้เดือนทะเลและโคฟีพอด (33.30 24.80 และ 20.40% ตามลำดับ)

อภิปรายผลการวิจัย

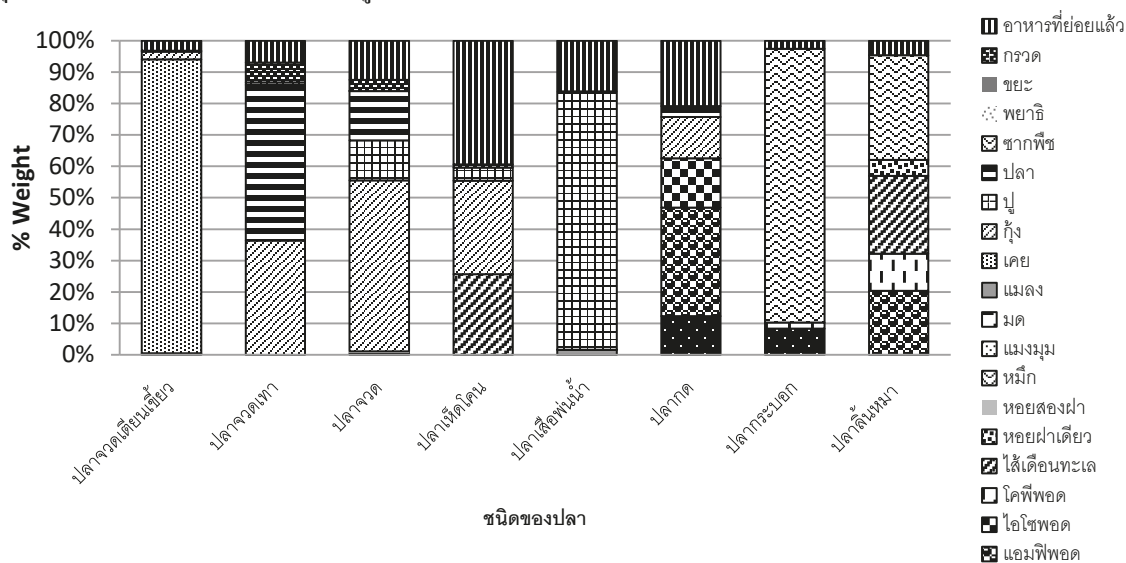
ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์

แพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Arthropoda เป็นไฟลัมที่มีความชุกชุมมากที่สุดบริเวณปากแม่น้ำปะเหลียนในช่วงที่ทำการศึกษา โดยเฉพาะกลุ่มโคฟีพอด แพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มนี้เป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบได้ทั่วไป โดยพบเป็นองค์ประกอบหลักของสังคมแพลงก์ตอนบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งได้มีรายงานจากหลายบริเวณ เช่น ปากแม่น้ำท่าจีน [13] ปากแม่น้ำบางปะกง [14] แพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโคฟีพอดมีความสำคัญในระบบนิเวศในบทบาทที่เป็นผู้บริโภคแพลงก์ตอนพืชที่สำคัญ นอกจากนี้โคฟีพอดยังเป็นอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำวัยอ่อนหลายชนิด เช่น ลูกปลาวัยอ่อนและกุ้ง เป็นต้น [15] ดังนั้น จากการศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า ปากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรังเป็นแหล่งน้ำที่มีระบบนิเวศที่มีความอุดมสมบูรณ์และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำรวมทั้ง เป็นที่อยู่อาศัยที่สำคัญของสัตว์น้ำวัยอ่อนที่เป็นสัตว์สำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ลูกกุ้ง ลูกปู ลูกปลา และหอยสองฝา

จากการศึกษาการแพร่กระจายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ในบริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน พบว่าแพลงก์ตอนสัตว์มีความหนาแน่นมากที่สุดที่บริเวณปากแม่น้ำและความชุกชุมลดลงในบริเวณตอนกลางของแม่น้ำและแพลงก์ตอนสัตว์มีความชุกชุมน้อยที่สุดที่บริเวณตอนต้นของแม่น้ำปะเหลียน นอกจากนี้ การกระจายของแพลงก์ตอนชนิดต่างๆ ยังมีความแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณที่ศึกษา กล่าวคือ แพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่ม Calanoid copepod, Cyclopoid copepod, Shrimps larvae, Crustacean nauplius และตัวอ่อนของเพรียงหิน (Barnacle nauplius) เป็นกลุ่มแพลงก์ตอนที่พบได้เกือบทุกสถานีแต่พบชุกชุมมากที่สุดที่บริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน ทั้งนี้ อาจจะเนื่องมาจากการเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่มีรูปแบบการดำรงชีวิตที่หลากหลาย [14] ในทางตรงกันข้าม แพลงก์ตอนสัตว์บางกลุ่มสามารถพบได้ในบางบริเวณที่ทำการศึกษานั้น เช่น โรติเฟอร์ พบได้ในบริเวณต้นน้ำของแม่น้ำปะเหลียน ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนสัตว์ในเชิงพื้นที่ดังกล่าว อาจเป็นคุณสมบัติของน้ำในแต่ละสถานีที่แตกต่างกันไป จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการศึกษ พบว่าความเค็มและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ กล่าวคือ บริเวณปากแม่น้ำปะเหลียนจะมีค่าความเค็มและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าสถานีอื่นๆ ดังนั้น ปัจจัยคุณภาพน้ำทั้งสองปัจจัยนี้อาจเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ในบริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ [16] ที่ทำการศึกษแพลงก์ตอนสัตว์ในบริเวณปากแม่น้ำ Seine Estuary พบแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโคฟีพอดเป็นกลุ่มเด่นและพบว่าแพลงก์ตอนสัตว์จะมีความชุกชุมสูงในบริเวณที่มีความเค็มระหว่าง 18-30 ppt นอกจากนี้ หัตถา [17] ได้รายงานไว้ว่า ปริมาณโคฟีพอด

และตัวอ่อนของครัสเตเชียในบริเวณป่าชายเลนปะเหลียนจะมีปริมาณมากในช่วงที่น้ำมีความเค็มสูง การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์มักจะเกี่ยวข้องอย่างเห็นได้ชัดกับการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำตามฤดูกาล [14]

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถแบ่งอุปนิสัยการกินอาหารของปลาออกเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ โดยปลากระบอกเป็นปลาที่กินพืชเป็นอาหารเด่น พบซากพืชและแพลงก์ตอนพืชในกระเพาะอาหารมากกว่าอาหารชนิดอื่น สอดคล้องกับการศึกษาของคัประกอบกระเพาะอาหารของปลากระบอกที่ทำการเก็บตัวอย่างจากป่าชายเลน Merbok ประเทศมาเลเซีย พบว่า ปลากระบอกกินสาหร่าย ไดอะตอม ซากพืช ไข่เดือนทะเล ครัสเตเชีย ปลา และกรวด โดยพบซากพืชมากที่สุด [18] ส่วนปลาชนิดอื่นที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ แต่จะกินอาหารที่เป็นสัตว์เป็นอาหารเด่น และส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมในการกินอาหารแบบเป็นผู้ล่า ธรรมชาติ และคณะ [10] กล่าวว่า ปลาที่กินอาหารในกลุ่มกุ้งและปลาเป็นสัตว์ที่มีอุปนิสัยในการกินอาหารโดยการเป็นผู้ล่าในระบบนิเวศ



ภาพที่ 2 องค์ประกอบในกระเพาะอาหารของปลาจากแม่น้ำปะเหลียน จ.ตรัง

ปลาทุกชนิดที่ศึกษามีแหล่งหากินที่แตกต่างกันไป ปลาดุกคันทวย ปลาดุกคันทวยและปลาดุกคันทวยเป็นปลาที่หากินตามพื้นท้องน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากพบไข่เดือนทะเลและกุ้งเป็นองค์ประกอบในกระเพาะอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานผลของ Tongnunui *et al.* [19] ที่กล่าวว่าปลาดุกคันทวยเป็นปลาหน้าดินกินอาหารหลักได้แก่ Phylum Arthropoda และ Phylum Annelida นั่นคือ กุ้งและไข่เดือนทะเลเป็นอาหารหลักเช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่สัตว์ในกลุ่มนี้จะอาศัยตาม หน้าดินหรือพื้นน้ำ ทำให้สันนิษฐานได้ว่าปลาดุกคันทวยที่ศึกษาในครั้งนี้อาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน ถึงแม้ว่า ปลาชนิดเดียวกันจะมีความแตกต่างกันในการกินอาหารเมื่ออยู่ในระบบนิเวศที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม จากการรายงานการศึกษาก่อนประกอบอาหารของปลาดุกคันทวยจากหลายพื้นที่ เช่น อ่าวสีเกา อ่าวไทยตอนล่างและในอ่าวเปอร์เซียการรายงานผลในทำนองเดียวกัน นั่น คือ ปลาดุกคันทวยจะเป็นสัตว์หน้าดินและกินไข่เดือนทะเล กุ้ง ปู [20] ส่วนปลาดุกคันทวยเป็นปลาที่อาศัยอยู่ตามพื้นท้องน้ำ เช่นเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Link *et al.* [21] รายงานว่าปลาดุกคันทวยกินอาหารที่เป็นสัตว์หน้าดินโดยเฉพาะไข่เดือนทะเลและ Gammarids สอดคล้องกับถิ่นที่อยู่อาศัยที่เป็นปลาที่อยู่ตามพื้นท้องน้ำ [22] ถึงแม้ว่า ปลาชนิดเดียวกันที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่แตกต่างกันจะกินอาหารที่คล้ายกัน แต่อาจจะมีส่วนที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ อาจจะเนื่องจากการกินอาหารของปลาที่มีการแปรผันไปตามถิ่นที่อยู่อาศัย ฤดูกาลและปริมาณอาหารในระบบนิเวศ [23] ส่วนองค์ประกอบในกระเพาะของปลาดุกคันทวยจะสอดคล้องกับการศึกษาปลาดุกคันทวยที่เก็บตัวอย่างจากป่าชายเลนในประเทศมาเลเซีย กล่าวคือ พบปูเป็นองค์ประกอบหลัก (72.55%) นอกจากนี้ ยังพบแมลงกลุ่มมด ค้าง และแมงมุม เป็นอาหารกลุ่มรองลงมา [24] จากการศึกษา

ครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า ปลาในแม่น้ำปะเหลียนมีการกินอาหารที่หลากหลาย ซึ่งเป็นกลไกทางธรรมชาติในการลดการแก่งแย่งแข่งขันในกลุ่มปลาที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศเดียวกัน

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบขยะ เช่น พลาสติกและชิ้นส่วนของกล่องโฟม ในกระเพาะอาหารของปลาบางชนิด คือ ปลาเสือพ่นน้ำ สิ่งเหล่านี้ที่พบในกระเพาะปลาไม่ใช่อาหารของปลา แต่อาจจะเข้าสู่กระเพาะปลาในขณะที่ปลากินอาหาร แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการทิ้งขยะของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศและเป็นอันตรายต่อปลา เพราะปลาไม่สามารถย่อยขยะเหล่านี้ได้ ทั้งนี้ มีการรายงานก่อนหน้านี้ว่ามีการพบขยะหรือพลาสติกในกระเพาะปลาหลายชนิด เช่น Romeo *et al.* [25] รายงานการพบพลาสติกในกระเพาะของปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เช่น ปลากระโทงแทง โดยพบพลาสติกในกระเพาะของปลาตัวอย่างในสัดส่วนที่สูงถึง 18.2% รวมทั้ง Cannon *et al.* [26] รายงานการพบพลาสติกในกระเพาะปลา Antarctic Tooth Fish (*Dissostichu smawsoni*) จากปลาในทะเลทางซีกโลกใต้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา พบแพลงก์ตอนสัตว์จำนวน 6 ไฟลัม 17 taxa โดย Phylum Arthropoda เป็นไฟลัมที่เป็นองค์ประกอบหลักของแพลงก์ตอนในปากแม่น้ำปะเหลียน ความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์จะสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำ และน้อยที่สุดบริเวณตอนต้นของแม่น้ำปะเหลียน ปริมาณออกซิเจนและความเค็มของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อรูปแบบการกระจายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ป่าชายเลนปะเหลียนเป็นป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เป็นแหล่งอนุบาลตัวอ่อนและแหล่งอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น กุ้ง ปู และปลา และแพลงก์ตอนสัตว์มีความสำคัญในระบบนิเวศของป่าชายเลนปะเหลียนในฐานะเป็นอาหารที่สำคัญของปลาในระบบนิเวศป่าชายเลนปะเหลียน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ (สวพ. ม.ทักษิณ) ในการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ในการอำนวยความสะดวกเครื่องมือและสถานที่ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chew, L.L. and V.C. Chong. (2011). "Copepod community structure and abundance in atropical mangrove estuary, with comparisons to coastal waters", **Hydrobiologia**. 666, 127-143.
- [2] Jacoby, C.A. and Greenwood, J.G. (1989). "Emergent zooplankton in Moreton Bay, Queensland, Australia: seasonal, lunar and diel patterns in emergence and distribution with respect to substrata", **Marine Ecology Progress Series**. 51, 131-154.
- [3] Vilas, C., Drake, P. and Fockedey, N. (2008). "Feeding preferences of estuarine mysids *Neomysisinteger* and *Rhopalophthalmustartessicus* in a temperate estuary (Guadalquivir Estuary, SW Spain)", **Estuarine Coastal and Shelf Science**. 77, 345-356.
- [4] Turner, J. T. (2004). "The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs", **Zoological Studies**. 43(2), 255-266.
- [5] หนังสือพิมพ์แนวหน้า. (2554). มหัตถรย์ป่าชายเลน บ้านวังวน แห่งลุ่มน้ำปะเหลียน จ.ตรัง กับการเรียนรู้การจัดการของชาวบ้านสู่ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ (สฤ์ปพิเศษ). สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2560, จาก <http://www.ryt9.com/s/nnd/1306995>.

- [6] Grabe, S.A., Price, W.W., Abdulqader, E.A.A. and Heard, R.W. (2004). "Shallow-water mysida (Crustacea: Mysidacea) of Bahrain (Arabian Gulf): species composition, abundance and life history characteristics of selected species", **Journal of Natural History**. 38, 2315-2329.
- [7] ลัดดาวรัตน์ และ โสภณบุญญาภินันท์. (2546). **คู่มือวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างแพลงก์ตอน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มก.
- [8] ลัดดาวรัตน์. (2543). **แพลงก์ตอนสัตว์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มก.
- [9] Clarke K.R. and Warwick, R.M. (2001). **Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation**. Plymouth, UK: PRIMER-E Ltd.
- [10] ธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์ เอกราช รุ่งรังสี และมานพ เหล็กปาน. (2557). **การวิเคราะห์การกินอาหารของปลา**. กรุงเทพฯ : กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [11] มารินทร์ สว่างศรี. (2550). **อาหารและนิสัยการกินอาหารของปลากระบอก Tade mullet, *Liza tade* (Forsskal, 1775) บริเวณปากแม่น้ำแม่กลองจังหวัดสมุทรสงคราม**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [12] Sokal, R.R. and Rolf, F.J. (1995). **Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. 3rd ed. New York: W.H. Freeman.
- [13] ไพรินทร์ เพ็ญประไพ และวิญญู นิยมไทย. (2556). **ประชาคมแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน**. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งและป่าชายเลน กรมประมง.
- [14] หัตถยา ธงรบ. (2530). **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [15] Medeiros, E.S.F. and Arthington, A.H. (2008). "The importance of zooplankton in the diets of three nativefish species in floodplain waterholes of a dryland river, the Macintyre River, Australia", **Hydrobiologia**. 614, 19-31
- [16] Mouny, P. and Dauvin, J.C. (2002). "Environmental control of esozooplankton community in the Seine estuary (English Channel)", **Oceanologica Acta**. 25, 13-22.
- [17] หัทยาเพชรอาวุธ. (2556). **ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณปากแม่น้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง**. โครงการงานวิจัยทางชีววิทยาระดับปริญญาตรี. พัทลุง : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [18] Fatema, K., Omar, W. M. W. and Isa, M. M. (2013). "Identification of food and feeding habits of Mullet fish, *Liza subviridis* (Valenciennes, 1836), *Valamugilbucharani* (Bleeker, 1853) from Merbok estuary, Kedah, Malaysia", **Journal of Life Science and Technology**. 1, 47-50.
- [19] Tongnunui, P., Sano, M. and Kurokura, H. (2005). "Feeding habits of two sillaginid fishes, *Sillagosihama* and *S. aeolus*, at the Sikao Bay, Trang Province, Thailand", **La mer**. 43, 9-17.
- [20] Hajisamae, S., Yeasin, P. and Ibrahim, S. (2006). "Feeding ecology of two Sillaginid fishes and trophic interrelations with other co-existing specie in the southern part of South China Sea", **Environmental Biology and Fisheries**. 76, 167-176.
- [21] Link, J.S., Bolles, K. and Milliken, C.G. (2002). "The feeding of flatfish in the Northwest Atlantic", **Journal of Northwest Atlantic Fisheries Science**. 30, 1-17.
- [22] Jayaprakash, A.A. (2000). "Food and Feeding habits of Malabar sole *Cynoglossus macrostomus* Norman", **Journal marine biology Association India**. 42, 124-134

- [23] Schafer, L.N., M.E. Platell, F. J. Valesiniand I. C. Potter. (2002). “Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on dietary compositions of fish species in nearshore marine waters”, **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 278, 67–92.
- [24] Simon, K.D. and Mazlan, A.G. (2010). “Trophic position of archerfish species (*Toxotes chatareus* and *Toxotes jaculatrix*) in the Malaysian estuaries, **Applied Ichthyology**. 26: 84-88.
- [25] Romeo, T., Pietro, B., Peda, C., Consoli, P., Andaloro, F. and Fossi, M. C. (2015). “First evidence of present of plastic debris in the stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea”, **Marine Pollution Bulletin**. (95), 358-361
- [36] Cannon, S. M. E., Lavers, J. L. and Figueiredo, B. (2016). “Plastic ingestion by fish in the Southern Hemisphere: A baseline study and review of methods”, **Marine Pollution Bulletin**. (Article in press).

การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของไก่กระถาง

Use of Dietary *Leucaena leucocephala* Leaf Meal in Pellet Form on Production Performance and Carcass Quality of Broiler Chickens

สาิชล เลิศสุวรรณ^{1*} และวรพงษ์ นลินานนท์¹

Saichon Lerdsuwan^{1*} and Warrapong Nalinanon¹

บทคัดย่อ

การใช้ใบกระถินป่น (*Leucaena leucocephala* leaf meal, LLM) ที่ระดับ 0.5 และ 10% ในสูตรอาหารในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่กระถาง โดยใช้ลูกไก่สายพันธุ์ Ross 308 อายุ 1 วัน จำนวน 120 ตัว แบ่งออกเป็น 3 ทรีทเมนต์ๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 10 ตัว (เพศผู้ 5 ตัว และเพศเมีย 5 ตัว) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) เลี้ยงเป็นระยะเวลา 42 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มไก่ตัวๆ ละ 1 ตัว (เพศผู้จากซ้ำที่ 1 และ 2 และเพศเมียจากซ้ำที่ 3 และ 4) นำมาชำแหละเพื่อศึกษาคุณภาพซาก พบว่า ในช่วงระยะไข่เล็ก (อายุ 1-21 วัน) กลุ่มที่ใช้ 5 และ 10% LLM มี BWG, ADG และ FI สูงกว่ากลุ่มควบคุม (0% LLM) ($p < 0.05$) ส่วนในระยะขุน (ช่วงอายุ 22-42 วัน) และตลอดระยะเวลาการทดลอง (อายุไก่ 1-42 วัน) กลุ่มที่ใช้ 10% LLM มีสมรรถภาพการผลิตสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ 0 และ 5% LLM ($p < 0.05$) ยกเว้น FCR และอัตราการตายในทุกช่วงการทดลองให้ผลไม่ต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่การใช้ 5 และ 10% LLM ในสูตรอาหาร มีผลทำให้ FCG มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม 1.45-4.08 บาท ค่าคุณภาพซาก พบว่า ให้ผลไม่แตกต่างกัน ยกเว้นเนื้อสะโพกในไก่กลุ่มที่ใช้ 10% LLM มีสัดส่วนสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่ม 5% LLM ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: ใบกระถินป่น, ไข่เนื้อ, สมรรถภาพการผลิต, คุณภาพซาก

Abstract

This study was to investigate the production performance and carcass quality of broilers supplemented with LLM in form of dietary pellet, at the levels of 0% (control), 5% and 10%. The total of 120, one-day old Ross 308 broiler chicks, were randomly assigned to 3 groups with 4 replicates of 10 chicks (5 males, 5 females) in CRD. The study was conducted for 42 days. At the end of the study, 4 chicks were randomly selected from each group (male chicks from rep No. 1 and 2, females from rep No. 3 and 4). The result revealed that during starter period (chicks age 1-21 days old), groups fed with 5% and 10% LLM showed significantly higher BWG, ADG and FI than the control group ($p < 0.05$). In the finisher period (during 22-42 days old) and throughout the experiment (during 1-42 days old), the group that was fed with 10% LLM showed higher production performance than other groups, except for FCR and mortality rate in all stages. However, 5%

¹ อ., ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ชุมพร 86160

¹ Lecturer, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon Province, 86160

* Corresponding author: Tel: 081-100-8248. E-mail address: saichon.le@kmitl.ac.th

and 10% LLM in diet caused higher FCG (1.45-4.08 Baht/kg weight gain) than the control group. There was no significant difference in carcass quality, except for thigh meat which was significantly higher in the group that fed with 10% LLM than the control and 5% LLM groups ($p < 0.05$)

Keywords: Leucaena Leaf Meal, Broilers, Prouction Performance, Carcass Quality

บทนำ

ในประเทศไทยมีการปลูกกระถิน เพื่อทำใบกระถินแห้งและผลิตใบกระถินป่น ปีละประมาณ 60,000 ตัน [1] เนื่องจาก ใบกระถินป่น มีโปรตีนค่อนข้างสูงและมีโภชนาที่เหมาะสมในการนำไปผลิตอาหารสัตว์ได้ เช่น โปรตีน 23.44% ไขมัน 6.40% [2] แคลเซียม 1.62% ฟอสฟอรัส 0.18% และพลังงานรวม 19.79 เมกะจูล/กก. [3] ใบกระถินใช้เลี้ยงสัตว์ได้ทุกชนิด ในสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่น โค กระบือ แพะ และ แกะ สามารถใช้ได้โดยไม่มีข้อจำกัด [1] แต่การใช้ใบกระถินในสัตว์ปีกนั้นยังมีข้อจำกัด เนื่องจากใบกระถินมีสารพิษไมโมซิน (Mimosine) [4] ซึ่งมีผลไปขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ทำให้สัตว์ชะงักการเจริญเติบโต [5] แต่การนำใบกระถินไปตากแห้งประมาณ 1-3 วัน สามารถลดปริมาณสารไมโมซินได้ประมาณ 40% นอกจากนี้ในใบกระถินแห้งยังมีปริมาณเยื่อใยค่อนข้างสูงถึง 14.30% [2] ทำให้อาหารผสมที่ได้มีลักษณะฟาม ดังนั้นการอัดเม็ดจะช่วยลดความฟามของอาหาร ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น อาหารไม่เป็นฝุ่น วัตถุดิบในอาหารผสมไม่แยกตัวกัน ลดการเลือกกินอาหารของสัตว์ และอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดจะผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อน ทำให้ลดสารพิษและเชื้อราที่อาจปนเปื้อนในอาหาร รวมถึงความร้อนจากการบีบอัดทำให้วัตถุดิบจำพวกแป้งในอาหารสุก สัตว์สามารถย่อย และนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น [6] จากงานวิจัยของ Zamu *et al.* [2] ที่ได้ศึกษาการใช้ใบกระถินป่น (LLM) ในไก่กระທ ในรูปแบบอาหารผง พบว่าเมื่อใช้ LLM ในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม และอัตราแลกน้ำหนักด้อยลง ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการศึกษาการใช้ LLM ในไก่กระທ ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาระดับการใช้ LLM ที่เหมาะสมในรูปแบบอาหารอัดเม็ดสำหรับการเลี้ยงไก่กระທ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยเผยแพร่สู่เกษตรกรผู้ผลิตไก่กระທ

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมใบกระถินป่น

นำใบกระถินสดที่เก็บได้จากในพื้นที่ใน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ อ.ปะทิว จ.ชุมพร มาตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3-4 วัน จนมีลักษณะแห้งกรอบ จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิลล์ (Hammer Mill) ให้มีขนาดอนุภาค 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปใช้ผสมอาหารทดลอง ในที่นี้กำหนดราคาจำหน่ายใบกระถินป่นในท้องตลาด 7 บาท/กิโลกรัม

2. สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

ใช้ลูกไก่กระທ (Ross308) อายุ 1 วัน จำนวน 120 ตัว เป็นเพศผู้ 60 ตัว และเมีย 60 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 40 กรัม จัดเข้าเลี้ยงในคอกทดลองขนาด 1.2 x 1.2 เมตรจำนวน 12 คอกๆ ละ 10 ตัว มีเพศผู้และเพศเมียอย่างละ 5 ตัว ในโรงเรือนแบบเปิด โดยในช่วงระหว่างการทดลอง โรงเรือนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82 %

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งกลุ่มทดลอง (Treatment) ออกเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับการใช้ LLM ในสูตรอาหาร กลุ่มละ 4 ซ้ำๆ ละ 10 ตัว กลุ่มทดลองได้แก่ กลุ่มควบคุมซึ่งไม่มีการใช้ LLM, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด (ตารางที่ 1) โดยอาหารทดลองทุกสูตรคำนวณให้มีส่วนประกอบโภชนาตามความต้องการของสัตว์ ในระยะไก่เล็ก (อายุ 1-21 วัน) มีระดับโปรตีน 23% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME)

3,100 Kcal/kg และระยะไถ่ขุน (อายุ 22-42 วัน) มีระดับโปรตีน 20% และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) 3,150 Kcal/kg ตามคำแนะนำของ NRC [7] ในระหว่างการทดลองไก่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบวัตถุดิบอาหารทดลอง

ช่วงอายุไก่ (วัน)	1-21 (ระยะไถ่เล็ก)			22-42 (ระยะไถ่ขุน)		
ระดับ LLM ในสูตรอาหาร (%)	0	5%	10%	0	5%	10%
ข้าวโพด	33.95	32.00	22.50	46.50	27.72	23.03
มันสำปะหลัง	17.00	13.86	18.68	16.30	22.00	25.70
กากถั่วเหลือง (45% CP)	31.00	29.30	29.12	21.79	26.84	22.16
ปลาป่น (58% CP)	9.55	10.00	10.00	10.00	9.00	10.00
ใบกระถินป่น	-	5.00	10.00	-	5.00	10.00
เกลือ	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
ฟอสฟอรัส ^{1/}	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ไคแคลเซียมฟอสเฟต (18% P)	1.85	1.66	1.52	1.40	1.85	1.10
น้ำมันปาล์ม	5.47	7.00	7.00	3.02	6.58	7.00
ดีแอล - เมทไทโอนีน	0.53	0.53	0.53	0.34	0.36	0.36
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ราคาอาหาร (บาท/กก.)	18.50	18.33	17.65	16.97	16.79	16.55
องค์ประกอบทางเคมี โดยการคำนวณ (% air dry basis)						
โปรตีน	23.00	23.00	23.00	20.00	20.00	20.00
ME (kcal/kg)	3,182	3,153	3,042	3,180	3,180	3,147
เยื่อใย	3.43	4.06	4.74	3.14	4.14	4.71
แคลเซียม	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัส	0.71	0.69	0.68	0.64	0.63	0.60
ไลซีน	1.38	1.40	1.44	1.18	1.20	1.25
เมทไทโอนีน	0.93	0.93	0.93	0.72	0.72	0.72

^{1/} ส่วนประกอบต่อ 100 กิโลกรัมอาหาร: vit A 4,500,000 IU; vit D 750,000 IU; vit E 10 mg; vit K3 0.75 mg; vit B1 1.1 mg; vit B2 3.0 mg; vit B3 10.0 mg; vit B6 2.0 mg; vit B12 12.5 µg; pantothenic 7.0 mg; folic 425.0 µg; biotin 0.1 mg; Cu 5.0 mg; Fe 48.0 mg; I 0.5 mg; Mn 30 mg; Se 0.1 mg และ Zn 50 mg.

การอัดเม็ดอาหารทดลอง นำส่วนผสมของวัตถุดิบตามสูตรอาหารทดลอง ดังตารางที่ 1 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปรับความชื้นโดยการเติมน้ำให้ส่วนผสมมีความชื้นเพิ่มขึ้น 30 % นำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องบดอัดแบบ mincer (เครื่องบดเนื้อ) ผ่านหน้าแวนที่มีรูขนาด 2.0 มม. โดยในขณะอัดเม็ดอาหารผสมจะเกิดความร้อนขึ้น (ประมาณ 80 °C) วัตถุดิบจากพืชที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบจะเปลี่ยนสภาพเป็นสารเหนียวทำให้วัตถุดิบเกาะตัวกัน อาหารผสมที่อัดเม็ดแล้วจะมีลักษณะเป็นเส้นมีความร้อนและความชื้นสูง ต้องนำไปผึ่งลมเพื่อระบายความร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C อีกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนอาหารผสมจะแห้ง (มีความชื้นต่ำกว่า 12%) จึงบรรจุในกระสอบเพื่อเก็บไว้ใช้สำหรับการทดลองต่อไป

3. การเก็บและบันทึกข้อมูล

สมรรถภาพการเจริญเติบโต

บันทึกผลการทดลองตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ น้ำหนักตัวไก่ที่อายุ 1 21 และ 42 วัน และปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุ นำข้อมูลที่บันทึกได้มาคำนวณค่า น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (BWG) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) ปริมาณการกินอาหาร (FI) อัตราแลกน้ำหนัก (FCR) อัตราการตาย (Mortality Rate) ต้นทุนค่าอาหาร (Feed Cost) และต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (Feed Cost per Gain, FCG)

คุณภาพซาก

เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองสุ่มไก่จากทุกซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัว โดยซ้ำที่ 1 และ 2 สุ่มเลือกจากไก่เพศผู้ ส่วนซ้ำที่ 3 และ 4 เป็นไก่เพศเมีย รวมทั้งหมด 12 ตัว นำมาคออาหารเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการฆ่าและชำแหละเพื่อตรวจสอบคุณภาพซาก ตามวิธีการเช่นเดียวกับรายงาน Abou-Elezz *et al.* [3] ได้แก่ น้ำหนักไก่มีชีวิต (Live Weight) ซากไก่ถอนขน (Dressed Carcass) ซากไก่ล้างเครื่องในออก (Eviscerated Carcass) คอและหัว (Head and Neck) แฉ่ง (Shank) ไขมันช่องท้อง (Abdominal Fat) เครื่องในรวม (Visceral Organs) และเครื่องในที่กินได้ (Giblets) ได้แก่ ตับ (Liver) กิ้น (Gizzard) และหัวใจ (Heart) บันทึกน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไก่มีชีวิต (% LW)

นำซากไก่ที่ล้างเอาเครื่องในและผ่านการแช่เย็น (Cooling) นาน 24 ชั่วโมง นำมาชำแหละเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ตามวิธีการเช่นเดียวกับรายงาน Lin *et al.* [4] ได้แก่ ซากเย็น (Chilled Carcass) (ไม่รวมน้ำหนักคอ หัว และแฉ่ง) เนื้อหน้าอก (Breast) สะโพกติดกระดูก (Thighs) น่อง (Drumsticks) ปีก (Wings) และน้ำหนักโครงกระดูก (Skeleton Frame) ซึ่งรวมทั้งอวัยวะ ปอด และไตที่ยังคงค้างอยู่ภายใน บันทึกน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ คำนวณเป็นค่าผลผลิตซาก (Carcass Yield) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซากเย็น (Chilled Carcass Weight)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

5. สถานที่ทำการทดลอง

ทำที่อาคารปฏิบัติการสัตว์ปีก ศูนย์เกษตรอาหารและพลังงานทางเลือก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ อ.ปะทิว จ.ชุมพร

ผลการวิจัย

การใช้ LLM ในระดับต่างๆ คือ 0 (ควบคุม) 5 และ 10% ในสูตรอาหารในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของไก่กระທ โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะตามการเจริญเติบโตคือ ระยะไก่เล็ก (อายุ 1-21 วัน) และระยะไก่ขุน (อายุ 22-42 วัน) ได้ผลการทดลองดังนี้

สมรรถภาพการผลิต

ระยะไก่เล็ก ช่วงอายุ 1-21 วัน

ผลแสดงไว้ในตารางที่ 2 น้ำหนักตัวที่อายุ 21 วัน BWG, ADG, FI และต้นทุนค่าอาหารต่อตัวของไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5 และ 10% มีค่าสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่อัตราแลกน้ำหนัก และอัตราการตาย ของไก่ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 การใช้กระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตไก่กระທ

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับใบกระถินป่นในสูตรอาหาร (%)			P - Value
	0	5%	10%	
ไก่เล็ก ช่วงอายุ 1-22 วัน				
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กรัม)	40.00 ± 0.11	40.00 ± 0.02	40.00 ± 0.15	0.99
น้ำหนักตัวที่อายุ 21 วัน (กรัม)	429.86 ± 67.90 ^b	578.61 ± 54.91 ^a	584.92 ± 65.18 ^a	0.01
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	389.86 ± 67.91 ^b	539.52 ± 56.37 ^a	545.83 ± 65.49 ^a	0.01
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	18.56 ± 3.23 ^b	25.69 ± 2.68 ^a	25.99 ± 3.12 ^a	0.01
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	26.63 ± 1.20 ^b	38.66 ± 4.75 ^a	41.56 ± 4.39 ^a	0.00
อัตราแลกน้ำหนัก	1.62 ± 0.23	1.52 ± 0.24	1.60 ± 0.04	0.71
อัตราการตาย (%)	7.50 ± 9.57	9.55 ± 11.05	17.05 ± 9.46	0.40
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)	11.51 ± 0.46 ^b	14.88 ± 1.83 ^a	15.40 ± 1.63 ^a	0.00
ไก่ขุน ช่วงอายุ 22-42 วัน				
น้ำหนักตัวที่อายุ 42 วัน (กรัม)	1,298.75 ± 155.81 ^b	1,236.70 ± 181.92 ^b	1,722.57 ± 118.48 ^a	0.00
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	868.89 ± 101.40 ^b	658.09 ± 210.63 ^b	1,137.65 ± 115.72 ^a	0.00
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	41.38 ± 4.83 ^b	31.34 ± 10.03 ^b	54.17 ± 5.51 ^a	0.00
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	77.40 ± 8.24 ^b	75.58 ± 8.41 ^b	113.54 ± 9.84 ^a	0.00
อัตราแลกน้ำหนัก	1.87 ± 0.08	2.54 ± 0.55	2.10 ± 0.18	0.05
อัตราการตาย (%)	7.78 ± 9.69	13.40 ± 12.40	6.35 ± 7.45	0.59
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)	27.58 ± 2.94 ^b	26.65 ± 2.97 ^b	39.46 ± 3.42 ^a	0.00
ตลอดระยะการทดลอง (อายุไก่ 1-42 วัน)				
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	1,258.75 ± 155.81 ^b	1,197.61 ± 181.44 ^b	1,683.48 ± 119.17 ^a	0.00
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	29.97 ± 3.71 ^b	28.51 ± 4.32 ^b	40.08 ± 2.84 ^a	0.00
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/วัน)	53.52 ± 4.71 ^b	57.12 ± 4.72 ^b	77.55 ± 6.19 ^a	0.00
อัตราแลกน้ำหนัก	1.79 ± 0.06	2.03 ± 0.33	1.94 ± 0.10	0.29
อัตราการตาย (%)	15.00 ± 10.00	21.82 ± 14.60	22.05 ± 12.74	0.68
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/ตัว)	39.10 ± 3.40 ^b	41.53 ± 3.40 ^b	54.86 ± 4.37 ^a	0.00
ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัว 1 กก.	31.16 ± 1.15	35.24 ± 5.85	32.61 ± 1.74	0.31

^{a, b} ตัวอักษรกำกับค่าเฉลี่ย ± SD ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ระยะไก่ขุน ช่วงอายุ 22-42 วัน

พบว่า สมรรถภาพการผลิต (BWG, ADG และ FI) รวมถึงต้นทุนค่าอาหารต่อตัว ของไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 10 % มีค่าสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมและไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5 % ($p < 0.05$) ในขณะที่อัตราแลกน้ำหนัก และอัตราการตายของไก่ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2)

ผลตลอดระยะเวลาการทดลอง (ไก่อายุ 1-42 วัน)

เมื่อพิจารณาผลตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต พบว่า การใช้ LLM ที่ระดับ 10% มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิต (BWG, ADG, FI และต้นทุนค่าอาหารต่อตัว) มีค่าสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมและไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5% ($p < 0.05$) ส่วนอัตราแลกน้ำหนักและอัตราการตายของไก่ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

คุณภาพซาก

ผลแสดงไว้ในตารางที่ 3 ปรากฏว่า การใช้ LLM ทุกระดับ 5 และ 10% ไม่มีผลทำให้คุณภาพซาก ซึ่งได้แก่ เปอร์เซ็นต์ซาก สัดส่วนของเลือดและขน อวัยวะภายใน และไขมันช่องท้อง รวมถึงส่วนองค์ประกอบซาก ได้แก่ สัดส่วนของปีก เนื้อทั้งหมด เนื้อหน้าอก เนื้อน่อง และโครงกระดูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารอัดเม็ดต่อคุณภาพซากและองค์ประกอบซากของไก่กระทงที่อายุ 42 วัน

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับใบกระถินป่นในสูตรอาหาร (%)			P-value
	0	5%	10%	
คุณภาพซาก (% LW)				
น้ำหนักไก่มีชีวิต (กิโลกรัม)	1,525.00 ± 250.00 ^{ab}	1,375.00 ± 50.00 ^b	1,775.00 ± 206.16 ^a	0.04
เปอร์เซ็นต์ซากถอนขน	93.30 ± 1.18	92.72 ± 0.27	94.31 ± 0.65	0.05
เปอร์เซ็นต์ซากไม่รวมเครื่องใน	82.15 ± 4.23	85.44 ± 0.55	80.36 ± 1.11	0.05
เลือดและขน	6.70 ± 1.18	7.28 ± 0.27	5.69 ± 0.65	0.05
ไขมันช่องท้อง	0.87 ± 0.05	0.89 ± 0.05	0.81 ± 0.07	0.32
หัวและคอ	9.02 ± 0.96	8.95 ± 0.45	7.85 ± 1.16	0.18
แข้ง	4.59 ± 0.55	4.43 ± 0.48	3.87 ± 0.40	0.14
เครื่องในที่กินได้				
กึ้น	2.27 ± 0.32	2.20 ± 0.59	1.95 ± 0.12	0.50
ตับ	1.94 ± 0.20	2.46 ± 0.06	2.18 ± 0.07	0.06
หัวใจ	0.53 ± 0.17	0.67 ± 0.09	0.78 ± 0.27	0.23
องค์ประกอบซาก (% chilled carcass weight)				
น้ำหนักซากเย็น (กิโลกรัม) ^{1/}	1,041.75 ± 153.91 ^{ab}	991.00 ± 44.97 ^b	1,215.75 ± 113.92 ^a	0.05
ปีก	13.58 ± 0.56	12.53 ± 1.80	13.30 ± 2.06	0.65
เนื้อทั้งหมด	56.83 ± 4.85	54.54 ± 7.25	60.05 ± 2.04	0.36
เนื้อสะโพก	17.26 ± 0.53 ^b	17.09 ± 1.19 ^b	19.83 ± 0.78 ^a	0.00
เนื้อหน้าอก	22.95 ± 4.00	22.55 ± 5.16	24.54 ± 1.08	0.75
เนื้อน่อง	16.55 ± 1.15	14.90 ± 1.34	15.68 ± 0.27	0.13
โครงกระดูก	23.80 ± 5.36	23.01 ± 6.35	27.09 ± 3.73	0.53

^{1/} ไม่รวมส่วนหัว คอ และแข้งของไก่

^{a, b} ตัวอักษรกำกับค่าเฉลี่ย ± SD ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อภิปรายผลการวิจัย

สมรรถภาพการผลิต

จากผลการทดลองการใช้ LLM ที่ระดับ 10% ในรูปแบบอาหารอัดเม็ดมีผลทำให้สมรรถภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักที่อายุ 21 วัน อายุ 42 วัน BWG ADG FI และ ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือการใช้ LLM ระดับ 5% และ ไม่กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) ส่วนอัตราการตายของไก่ทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกับทางสถิติ ทั้งในระยะไข่เล็กและระยะไข่ใหญ่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากงานวิจัยผ่านมาที่ศึกษาการใช้ LLM ในอาหารไก่กระถินในรูปแบบอาหารผงพบว่าการใช้ LLM ในปริมาณที่สูงขึ้น ในระยะไข่เล็ก (อายุ 0-28 วัน) มีผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่ลดลง ($p < 0.05$) [8] และการใช้ LLM ในระดับสูง (10%) ในสูตรอาหารไก่ระยะเล็กมีผลทำให้น้ำหนักตัวที่อายุ 21 วัน และอัตราการเจริญเติบโตลดลง ($p < 0.05$) แต่ในระยะไข่ใหญ่ให้ผลการใช้ LLM (0.5 และ 10%) ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่มีค่าไม่ต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) [9] เช่นเดียวกับการใช้ LLM ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารที่ระดับ 5% ในไก่กระถินระยะอายุ 1-7 สัปดาห์ มีผลทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม [10] และการทดลองของ Eichie *et al.* [8] ใช้ LLM ทดแทนกากถั่วเหลือง ที่ระดับ 0 25 50 75 และ 100% (ใช้ LLM ทดแทนในสูตรอาหารที่ระดับ 6.08 12.16 18.24 และ 24.32%) ในไก่กระถินระยะอายุ 29-56 วัน มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กิน ($P=0.06$) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ($P=0.09$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ($P=0.09$) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การใช้ LLM ทดแทนกากถั่วเหลือง ในปริมาณที่สูงเกินกว่า 25% ขึ้นไปมีแนวโน้มทำให้สมรรถภาพการผลิตลดลง

ทั้งนี้เนื่องจาก LLM มีปริมาณเชื้อไขสูง ถ้าใช้ในปริมาณที่สูงขึ้นจะมีผลในการขัดขวางการใช้ประโยชน์ของ โภชนะ ทำให้ไก่ใช้ประโยชน์จากอาหารได้ลดลง [11-12] องค์ประกอบทางเคมีของใบกระถินที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ มีโปรตีน 20.20% และเชื้อไข 18% การอัดเม็ดอาหารซึ่งเป็นกระบวนการผลิตอาหารแบบร้อนชื้น (Hydrothermal Process) โดยการให้ความร้อน ความชื้น และความดัน กับวัตถุดิบ [13] ช่วยเพิ่มความหนาแน่นและปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร [13-14] โดยเฉพาะสูตรอาหารที่มีส่วนผสมของ LLM ถ้าใช้ปริมาณมากจะมีความฟามสูง ซึ่งจากผลการทดลองการอัดเม็ดอาหารมีผลช่วยปรับปรุงทำให้สูตรอาหารที่มี LLM ที่ระดับ 10 % มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่ดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานผลการทดลองการใช้เปลือกข้าวโอ๊ต (เชื้อไข 28.3%) เปลือกข้าว (เชื้อไข 54.2%) และเปลือกเมล็ดทานตะวัน (เชื้อไข 48.7%) ที่ระดับ 2.5 และ 5% เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ไม่มีการใช้) ในสูตรอาหารไก่กระถิน ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด พบว่าในระยะไข่เล็ก (อายุ 0-8 วัน) ไก่กลุ่มที่มีการใช้อาหารเชื้อไขสูงมีแนวโน้มว่ามีอัตราการเจริญเติบโต ($P=0.06$) ปริมาณการกินอาหาร ($P=0.17$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ($P=0.16$) ต่ำกว่าไม่กลุ่มควบคุม และการใช้อาหารเชื้อไขสูง (5 เปอร์เซ็นต์) มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด ($p < 0.05$) และในระยะไข่ใหญ่ (อายุ 14-21 วัน) ไก่กลุ่มที่มีการใช้อาหารเชื้อไขสูงมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า ($P < 0.05$) ไม่กลุ่มควบคุม และมีแนวโน้มว่าปริมาณการกินอาหาร ($P=0.07$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีขึ้น ($P=0.09$) [15] ดังนั้นการใช้อาหารเชื้อไขสูง (5%) ในสูตรอาหารไก่กระถินไม่ได้ยับยั้งการใช้ประโยชน์ของอาหาร (Anti-Nutritional Factor) แต่ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโตเมื่อให้อาหารในรูปแบบอาหารอัดเม็ด [15-17] และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากลุ่มควบคุมมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตค่อนข้างด้อยกว่ากลุ่มที่ใช้ LLM ทั้งนี้เนื่องสูตรอาหารกลุ่มควบคุมเมื่อนำไปอัดเม็ดอาหารและตากแห้งแล้วจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดอาหารแข็งกว่าสูตรที่ใช้ LLM (จากการสังเกต) จึงส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารของกลุ่มควบคุมต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ LLM อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในระยะไข่เล็ก มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มที่ใช้ LLM

คุณภาพซาก

ไก่ที่ใช้ LLM ระดับ 10% มีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากเย็น และ % เนื้อสะโพกสูงกว่า ($p < 0.05$) ไก่กลุ่มควบคุม และไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 5% เป็นผลเนื่องมาจากไก่กลุ่มที่ใช้ LLM ระดับ 10% มีปริมาณการกินอาหารและมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าไก่ทั้ง 2 กลุ่มนี้ แต่การใช้ LLM ทั้ง 2 ระดับ (5 และ 10%) ในสูตรอาหาร ไม่มีผลทำให้คุณภาพซาก (ซากถอนขน ซากไม่รวมเครื่องใน เลือดและขน ไขมันช่องท้อง หัวและคอ แข้ง และเครื่องในที่กินได้) ได้แก่กิน ดับ และ หัวใจ เมื่อคิดเทียบเป็น % ของน้ำหนักไก่มีชีวิต) และค่าผลผลิตซาก (ปีก เนื้อทั้งหมด เนื้อหน้าอก เนื้อน่อง และ ไตรงกระดูก เมื่อคิดเทียบเป็น % ของน้ำหนักซากเย็น) มีค่าแตกต่างทางสถิติกับไก่กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองการใช้ LLM (5 และ 10%) ในอาหารไก่กระทุงในรูปแบบอาหารผง มีค่าคุณภาพซากและผลผลิตซากไม่แตกต่างจากไก่กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) [18] และ Khan [10] รายงานว่าการใช้ LLM ระดับ 5% ไม่มีผลทำให้ เปอร์เซ็นต์ซาก และน้ำหนักชิ้นส่วน ดับ หัว คอ กิ่ง แข้ง ขน ปีกและเนื้ออก มีค่าแตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($p > 0.05$) ส่วน Onibi [19] รายงานว่าการใช้ LLM ในสูตรอาหารในปริมาณที่สูงขึ้น (ระดับ 30 และ 60%) ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพซากของไก่กระทุง ($p < 0.05$) ยกเว้นการใช้ในปริมาณที่สูงมีผลทำให้น้ำหนักตับและกึ้นมากขึ้น ($p < 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

ในสูตรอาหารไก่กระทุงระยะเล็ก (อายุ 0-21 วัน) และระยะไก่ใหญ่ (อายุ 22-42 วัน) สามารถใช้ LLM ในสูตรอาหารได้ทั้งระดับ 10% ในรูปแบบอาหารอัดเม็ด ได้โดยทำให้ไก่กระทุงมีสมรรถภาพการผลิตที่ดี และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพซากและผลผลิตซาก แต่จะมีค่า FCR และต้นทุนการผลิตเมื่อคำนวณเฉพาะค่าอาหารสูงกว่ากลุ่มควบคุม 1.45 บาทต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กก. กล่าวคือ มีค่า FCR และ FCG เท่ากับ 1.94 vs. 1.79 และ 32.61 vs. 31.16 บาทต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กก. ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] จรูญโรจน์ จันทรศิริ เทวา จวิรัมย์ สุชุม สุขเกษม วีระพงษ์ อุดรไสว และชัยक्रमล คำเมือง. (2552). การผลิตกระถินป่นส่งจำหน่ายโรงงานอาหารสัตว์สำหรับเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2559, จาก <https://www.gotoknow.org/posts/243003>.
- [2] Zanu H.K., Mustapha, M. and Addo Nartey, M. (2011). Response of broiler chickens to diets containing varying levels of *Luecaena* (*Leucaena leucocephala*) leaf meal. **Journal of Animal and Feed Research**. 2(2), 108-112.
- [3] Abou-Elezz F.M.K., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R. and Solorio-Sanchez, F. (2011). "Nutritional effects of dietary inclusion of *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* leaf meal on Rhode Island Red hens' performance", **Cuban Journal of Agricultural Science**. 45(2), 163-169.
- [4] Lin H.Y., Huang, T.C.C. and Huang, C. (1985). "Detoxification of leucaena leaves as feed by ensilage", **Botanical Bulletin of Academia Sinica**. 26, 67-81.
- [5] อุทัย คันโธ และบุพผิณี ศรีวัฒนารชัย. (2532). การใช้ใบกระถินแห้งร่วมกับข้าวฟ่างหรือมันเส้นเป็นอาหารไก่กระทุง. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สาขาสัตว สัตวแพทย์ ประมง) ครั้งที่ 27 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 41-47. วันที่ 30 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2532 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- [6] Zohair, G.A.M., AI-Maktari, G.A. and Amer, M.M. (2012). "A comparative effect of mash and pellet feed on broiler performance and as cites at high altitude (Field study)", **Global Veterinaria**. 9(2), 154-159.

- [7] NRC (National Research Council). (1994). **Nutrition Requirements of Poultry**. 9th ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- [8] Eichie, F.O., Akinyemi, D.E. and Adegbenro, M. (2015). "Effect of replacement of soybean meal with *Leucaena leucocephala* leaf meal on performance, haematology, carcass measures and organ weight in broiler chickens", **American Journal of Experimental Agriculture**. 8(5), 327-334.
- [9] สายชล เลิศสุวรรณ และวรพงษ์ นลินานนท์. (2560). "การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารผงต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่กระທ", ใน การประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัครั้งที่ 6 ประจำปี 2560. 588-595. วันที่ 26-27 มกราคม 2560 ณ หอประชุมพญาเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา.
- [10] Khan, M.K.A, Akbar, M.A., Khaleduzzaman, A.B.M. and Rahman, M.M. (2009). "Utilization of leucaena and sesbania leaf meals as protein supplements in broiler ration", **Bangladesh Journal of Animal Science**. 38(1&2), 123-131.
- [11] สุมณ โพธิ์จันทร์ ประเสริฐ โพธิ์จันทร์ และนพวรรณ ชมชัย. (2536). "การใช้ใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมันเส้นสำหรับเลี้ยงไก่พื้นเมือง", **สาธน์ไกและการเกษตร**. 41(5), 50 - 56.
- [12] Laswai, G.H., Ocran, J.N., Lekule, F.P. and Sundstol, F. (1997). "Effects of dietary inclusion of leucaena leaf meal with and without ferrous sulphate on the digestibility of dietary components and growth of pigs over the weight range 20-60 kg", **Animal Feed Science Technology**. 65, 45-57.
- [13] Robinson, R. (1976). Pelleting- Introduction and general definitions, pp. 103-110. In H.B. Pfof, ed. **Feed Manufacturing Technology**. American Feed Manufacturers Association. Inc., Virginia.
- [14] Tait, R.M. and Beames, R.M. (1988). Processing and preservation of cereals and protein concentrates. 151-175. In Orskov, E. R., ed. **Feed Science**. Elsevier Science Publishers B.V., New York.
- [15] Jimnez-Moreno, E., A. de Coca-Sinova, J. M. González-Alvarado, and G. G. Mateos. (2016). "Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake", **Poultry Science**. 95, 41-52.
- [16] Svihus, B., Klovstad, K.H., Perez, V., Zimonja, O., Sahlstrom, S., Schuller, R.B., Jeksrud, W.K. and Prestokken, E. (2004). "Physical and nutrition effect of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill", **Animal Feed Science Technology**. 117, 281 - 293.
- [17] Stark, C.R. (1994). **Pellet Quality I. Pellet Quality and Its Effect on Swine Performance II. Functional Characteristics of Ingredients in the Formation of Quality Pellets**. Ph.D. Dissertation. Kansas State University, Manhattan.
- [18] สายชล เลิศสุวรรณ และวรพงษ์ นลินานนท์. (2560). "การใช้ใบกระถินป่นในรูปแบบอาหารผงต่อคุณภาพซากของไก่กระທ", ใน การประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัครั้งที่ 6 ประจำปี 2560. 596-602. วันที่ 26-27 มกราคม 2560 ณ หอประชุมพญาเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา.
- [19] Onibi, G.E., Folorunso, O.R. and Elumelu, C. (2008). "Assessment of partial equi-protein replacement of soyabean meal with cassava and leucaena leaf meals in the diets of broiler chicken finishers", **International Journal of Poultry Science**. 7(4), 408-413.

การใช้มูลสุกรแห้งและกากน้ำตาลเป็นอาหารเสริมในโคนมรุ่น

The Utilization of Dried Pig Manure and Molasses as Feed Supplement in Grower Dairy Cattle

นิรันดร์ กองเงิน^{1*}, วันชาติ สุวตธี¹ และชากรณ์ ขันแก้ว¹

Nirundorn Kongngoen^{1*}, Wanchart Suwatthee¹ and Chakorn Kunkaew¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาผลของการเสริมอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 2 สูตร ที่มีต่อสมรรถภาพการผลิต และต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมีย จำนวน 12 ตัว สุ่มแบ่งโคทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม (Group Comparison) โคทั้งสองกลุ่มได้รับหญ้าแพงโกล่าแห้งกินอย่างเต็มที่ โคกลุ่มที่ 1 เสริมอาหารข้น (16% โปรตีน) ในปริมาณ 1.5% น้ำหนักตัว เปรียบเทียบกับโคกลุ่มที่ 2 เสริมอาหารผสม (มูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล : อาหารข้น เท่ากับ 30 : 30 : 40 ส่วนโดยน้ำหนัก) ให้กินในปริมาณ 1.5% น้ำหนักตัว ทำการวิจัยนาน 90 วัน นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี t-test พบว่าโคกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโต (ADG) ต่ำกว่า ($p < 0.01$) โคกลุ่มที่ 1 และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) สูงกว่า ($p < 0.01$) โคกลุ่มที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนค่าอาหารแล้ว พบว่าโคกลุ่มที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารแห้งทั้งหมดในการทำให้น้ำหนักตัวโคเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ถูกกว่า ($p > 0.05$) โคกลุ่มที่ 1 ถึง 5.40 บาท ดังนั้นการใช้มูลสุกรตากแห้งและกากน้ำตาลสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้อย่างมาก

คำสำคัญ: มูลสุกรแห้ง, กากน้ำตาล, โคนมรุ่น

Abstract

The research was conducted to study the effects of 2 different supplement feed on the performance and feed cost of grower dairy cattle. The 12 grower dairy cattle were randomly allocated into 2 groups (Group Comparison) of different dietary treatments. Dried pangolagrass was used as a basal roughage (ad libitum). The dairy cattle in group 1 were supplemented with concentrated feed (16% cp) at 1.5% bodyweight (BW) while the others were supplemented with mixed feed (Dried Pig Manure: Molasses: Concentrated Feed = 30: 30: 40 by Fresh Weight) at 1.5% BW. The experimental period was 90 days. The result from analysis of variance using t-test were considered that the dairy cattle feeding with mixed feed (Group 2) had lower ($p < 0.01$) average daily gain (ADG) and had higher ($p < 0.01$) feed conversion ratio (FCR). The consideration in feed cost resulting in the grower dairy cattle in group 2 were cheaper ($p > 0.05$) total feed cost/kg gain. The result indicated that the supplement of dried pig manure and molasses can reduce feed cost so much.

Keywords: Dried Pig Manure, Molasses, Grower Dairy Cattle

¹ ผศ., สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

² Asst. Prof., Department of Animal Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

* Corresponding author: Tel. 0819988779. E-mail address: tukkatafay@yahoo.com

บทนำ

ภาวะปัจจุบันที่วัตถุดิบอาหารสัตว์ต่าง ๆ เช่นปลายข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และปลาป่น เป็นต้น ที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผสมในสูตรอาหารชั้นเลี้ยง โคมีราคาแพง ผู้เลี้ยงสัตว์จึงจำเป็นต้องหาวิธีการลดต้นทุนค่าอาหาร ซึ่งแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนค่าอาหารคือ การนำสิ่งเหลือทิ้งจากการเกษตรกลับมาใช้เป็นอาหารสัตว์อีกครั้ง สำหรับมูลสุกรเป็นของเสียเหลือทิ้งจากการเลี้ยงสุกรที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม แต่มูลสุกรก็ยังมีคุณค่าทางโภชนาการพอสมควร มีโปรตีนอยู่สูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่าง ๆ อยู่ในระดับสูง จึงเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารเลี้ยงโคได้ เนื่องจากในกระเพาะรูเมนของโคมีจุลินทรีย์ที่สามารถหมักย่อยสารประกอบไนโตรเจนที่มีคุณค่าทางอาหารต่ำ เช่น ยูเรีย มูลไก่ และ มูลสุกร เป็นต้น เปลี่ยนไปเป็นโปรตีนในตัวของจุลินทรีย์ (Microbial Protein) ที่มีคุณภาพสูงประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นจำนวนมาก ซึ่งโปรตีนในตัวของจุลินทรีย์ สามารถถูกย่อยต่อไปในกระเพาะจริง และลำไส้เล็ก ได้กรดอะมิโนถูกดูดซึมให้ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตที่ดีขึ้น [1] อาหารชั้นหรืออาหารสำเร็จรูปจากบริษัทที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทุกชนิดมีราคาค่อนข้างแพง และนับวันราคามีแต่จะแพงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะคิดหาเศษเหลือที่เป็นผลพลอยได้จากการปลูกพืช และเลี้ยงสัตว์หรืออุตสาหกรรมการเกษตร มาใช้ทดแทนอาหารสำเร็จรูปของบริษัทในปริมาณบางส่วนหรือทั้งหมด โดยที่สมรรถภาพการผลิตของสัตว์ยังคงอยู่หรือดีขึ้น แต่ทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง นั่นก็คือ ทำให้ต้นทุนการผลิตทั้งหมดลดลงด้วย ทั้งนี้ต้นทุนค่าอาหารจัดได้ว่าเป็นต้นทุนการผลิตที่มีสัดส่วนมากที่สุดของต้นทุนการผลิตทั้งหมด

มูลสุกรแห้ง และกากน้ำตาล จัดได้ว่าเป็นผลพลอยได้จากการเลี้ยงสัตว์และอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างหนึ่งที่ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการพอสมควร โดยที่มูลสุกรมีโปรตีนรวม (Crude Protein ; CP) อยู่สูง ส่วนกากน้ำตาลมีแป้งและน้ำตาลมาก สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้งสองชนิดนี้ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะนำมูลสุกรแห้งและกากน้ำตาลมาทำการทดลองเลี้ยงโคนมรุ่นในวิทยาเขตลำปาง เพื่อศึกษาว่าเศษเหลือผลพลอยได้ทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้ทดแทนอาหารเม็ดสำเร็จรูปของบริษัทได้ในปริมาณมากน้อยเพียงใด โดยที่สมรรถภาพการผลิตเช่น อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารจะดีขึ้นหรือด้อยลงอย่างไร และสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้หรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารควบคุมที่เสริมด้วยอาหารสำเร็จรูปแต่เพียงอย่างเดียวในการเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมีย เนื่องจากมูลสุกรตากแห้งมีกลิ่นเหม็นแรง และรสชาติไม่ดี การผสมคลุกเคล้าร่วมกับอาหารสำเร็จรูปจากบริษัทและกากน้ำตาล จะทำให้กลบกลิ่นและเพิ่มรสชาติให้โคสามารถกินมูลสุกรตากแห้งได้มากขึ้น จากแนวคิดดังกล่าวจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษาเพื่อช่วยลดต้นทุนค่าอาหารชั้น โดยไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของโคนมรุ่นเพศเมีย เป็นการนำเอาโภชนาการในมูลสุกรไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น มูลสุกรตากแห้งเป็นผลพลอยได้ที่มีความถูก (ค่าจ้างเก็บ) เมื่อนำมาทดแทนอาหารชั้นสำเร็จรูปบางส่วน จึงเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหารให้ต่ำลงได้ทางหนึ่ง โดยที่โคยังมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ และยังสามารถช่วยลดมลภาวะอันเกิดจากการระบายมูลสุกรสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง สมรรถภาพการผลิต และต้นทุนค่าอาหารของโคนมรุ่นเพศเมีย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการ

วัสดุอุปกรณ์

1. โคนมรุ่นเพศเมีย พันธุ์ลูกผสมไฮสไตน์ ฟรีเซียน มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์จำนวน 12 ตัว
2. อาหารชั้นสูตรสำหรับโคนมรุ่น (อาหารเม็ดสำเร็จรูปจากบริษัท จำนวน 2,000 กิโลกรัม

3. อาหารหยาบ คือ หญ้าแพงโกล่าตากแห้ง จำนวน 7,500 กิโลกรัม
4. มูลสุกรตากแห้ง จำนวน 300 กิโลกรัม
5. กากน้ำตาล จำนวน 300 กิโลกรัม
6. คาซังน้ำหนักตัวสัตว์ขนาดซังได้สูงสุด 1,200 กิโลกรัม จำนวน 1 เครื่อง
7. เครื่องมือวิเคราะห์แบบ Proximate Analysis จำนวน 1 ชุด

วิธีการดำเนินการ

1. วิเคราะห์หองค์ประกอบทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด คือ อาหารสำเร็จรูปจากบริษัท กากน้ำตาล มูลสุกรตากแห้ง และหญ้าแพงโกล่าแห้ง ที่จะใช้เลี้ยงโค โดยวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้ง (Dr Matter; DM) โปรตีน (Crude Protein; CP) ไขมัน (Ether Extract; EE) เชื้อใย (Crude Fiber; CF) เถ้า (Ash) และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (Nitrogen Free Extract; NFE) ด้วยวิธี Proximate Analysis [2]

2. ทำการทดลองเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมียถูกผสมพันธุ์ไฮสโตน์ ฟรีเชียน มากกว่า 50 เปอร์เซนต์ จำนวน 12 ตัว ในฟาร์มแผนกสัตว์ใหญ่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง โดยก่อนทำการทดลองมีการถ่ายพยาธิโคทดลองทุกตัวมีระยะเลี้ยงก่อนการทดลอง (Preliminary Period) นาน 14 วัน เพื่อจัดอิทธิพลเนื่องจากอาหารเดิมในท้องทางเดินอาหารโค และมีระยะการทดลองจริงนาน 90 วัน การทดลองต้องการทดสอบผลของการใช้อาหารทดลองที่แตกต่างกัน 2 สูตร (ทรีตเมนต์ ; Treatment) ที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต ดันทุนค่าอาหารของโคทดลอง โดยทำการสุ่มแบ่งโคทดลองเป็น 2 กลุ่ม (Group Comparison) โคกลุ่มทดลองที่ 1 (ทรีตเมนต์ควบคุม) มีการเสริมด้วยอาหารชั้นที่เป็นอาหารสำเร็จรูปของบริษัทแต่เพียงอย่างเดียวปริมาณ 1.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักตัว (น้ำหนักสด) ได้รับอาหารหยาบที่เป็นหญ้าแพงโกล่าแห้งกินอย่างเต็มที่ (Ad-Libitum) ส่วนโคกลุ่มทดลองที่ 2 ได้รับอาหารเสริมคือการทดแทนอาหารสำเร็จรูปในปริมาณ 60 เปอร์เซนต์ด้วยมูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสดเท่ากับ 1 : 1 หรือมีอัตราส่วนของมูลสุกร : กากน้ำตาล : อาหารสำเร็จรูป เท่ากับ 30 : 30 : 40 เปอร์เซนต์น้ำหนักสด โดยให้กินอาหารผสมดังกล่าวในปริมาณ 1.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักตัว (น้ำหนักสด) ส่วนอาหารหยาบให้กินหญ้าแพงโกล่าแห้งอย่างเต็มที่เช่นเดียวกับทรีตเมนต์แรก โคนมรุ่นเพศเมียที่ใช้ในการทดลองทั้ง 12 ตัว ถูกให้อาหารเสริมกินวันละ 2 มื้อต่อวัน (เวลา 7.30 น. และ 16.00 น.) มื้อละเท่าๆ กัน โคแต่ละตัวเลี้ยงแบบขังเดี่ยว (Individual Stall) ในคอกขนาด 1.5 x 4 ตารางเมตร มีที่ให้น้ำและอาหารเฉพาะเป็นรายตัว ทำการชั่งน้ำหนักโคทดลองทุกตัวทุก ๆ 15 วัน แล้วปรับปริมาณการให้อาหารเสริม (สภาพสด) เป็น 1.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักตัวตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

3. เก็บข้อมูลการชั่งน้ำหนักตัว ปริมาณการกินอาหารทดลอง (ทุกวัน) นำมาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต (ADG) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR) และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

4. นำข้อมูลที่ได้ใน ข้อ 3. มาวิเคราะห์ความแปรปรวนหาความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ โดยวิธี t-test (ANOVA with Two Samples) [3] ด้วยโปรแกรม Excel

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของหญ้าแพงโกล่าแห้ง อาหารเม็ดสำเร็จรูป มูลสุกรตากแห้ง กากน้ำตาล และอาหารผสมที่ใช้เลี้ยงโคทดลอง ได้ผลแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคทดลอง

องค์ประกอบทางโภชนา (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	มูลสุกรตากแห้ง	อาหารเม็ด สำเร็จรูป	หญ้าแพงโกล่าแห้ง	กากน้ำตาล	อาหารผสม ^{1/}
วัตถุแห้ง (%DM)	84.71	90.73	87.85	75.86	84.46
โปรตีน (%CP)	18.03	15.91	5.85	6.76	14.08
เยื่อใย (%CF)	11.85	9.61	32.42	-	7.69
คาร์โบไฮเดรตย่อยง่าย (%NFE)	46.52	64.91	43.80	82.95	64.24
ไขมัน (%EE)	2.10	3.19	0.65	-	2.00
เถ้า (%Ash)	21.50	6.83	17.28	10.29	12.18
แคลเซียม (%Ca)	4.22	0.79	0.36	0.97	1.87
ฟอสฟอรัส (%P)	3.25	0.76	0.12	0.05	1.32
ผนังเซลล์ (%NDF)	-	-	69.57	-	-
ลิกโน-เซลลูโลส (%ADF)	-	-	39.80	-	-

หมายเหตุ ^{1/} = อาหารผสมคืออาหารที่มีส่วนผสมของมูลสุกรตากแห้ง+กากน้ำตาล +อาหารเม็ดสำเร็จรูป ในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับโดยคิดเป็นน้ำหนักสด

จากตารางที่ 1 พบว่า มูลสุกรตากแห้งมีปริมาณโปรตีน (CP) อยู่สูงถึง 18.03 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับรายงานของ กองอาหารสัตว์ ที่รายงานว่า มูลสุกรตากแห้งมีโปรตีนอยู่ประมาณ 19.26-19.59 เปอร์เซ็นต์ มูลสุกรรุ่นจะมีปริมาณโปรตีน มากกว่ามูลสุกรระยะขุน [4] ในการทดลองนี้ส่วนใหญ่เป็นมูลสุกรระยะขุนอยู่ปริมาณมาก จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีน ต่ำลงมาเล็กน้อย อาหารเม็ดสำเร็จรูป (จากบริษัทฯ) สูตรสำหรับเลี้ยงโคนมรุ่น มีปริมาณโปรตีน ต่ำกว่าที่แจ้งไว้ที่ข้างถุง เล็กน้อย (15.91 เทียบกับ 16.00 เปอร์เซ็นต์) ส่วนอาหารผสม ที่ประกอบด้วย มูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล : อาหารเม็ด สำเร็จรูป ในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดตามลำดับ พบว่า มีปริมาณโปรตีน 14.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณ ต่ำกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปเล็กน้อย กากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 6.76 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณวัตถุแห้ง เท่ากับ 75.86 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับ NRC ที่รายงานว่า กากน้ำตาลเป็นของเหลวเหนียวข้น มีน้ำอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 0.97 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.05 เปอร์เซ็นต์ [5]

ผลวิจัยเลี้ยงโคนมรุ่นในฟาร์ม

ผลการทดลองเลี้ยงโคนมรุ่นเพศเมียในฟาร์มพบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโต และปริมาณ การกินอาหารของโคทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหารของโคทดลอง

รายการ	โคกลุ่มที่ 1	โคกลุ่มที่ 2
น้ำหนักเริ่มต้นการทดลองเฉลี่ย (กก./ตัว)	152.89 ± 10.97	150.67 ± 13.69
น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย (กก./ตัว)	196.72 ± 12.45	184.72 ± 13.80
จำนวนโคทดลอง (ตัว)	6	6
ระยะเวลาในการทดลอง (วัน)	90	90
น้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กก. / ตัว)	43.83 ± 2.52 ^a	34.06 ± 2.09 ^b
อัตราการเจริญเติบโต (กก./ตัว/วัน) ; ADG	0.49 ± 0.03 ^a	0.38 ± 0.02 ^b
ปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด (กก./ตัว/วัน)	5.45 ± 0.29	5.09 ± 0.32
- ปริมาณการกินหญ้าแห้ง	3.11	3.03
- ปริมาณการกินอาหารเม็ดสำเร็จรูป	2.34	0.89
- ปริมาณการกินมูลสุกรตากแห้ง	-	0.62
- ปริมาณการกินกากน้ำตาล	-	0.56
ปริมาณอาหารแห้งทั้งหมดที่กินได้ (% น้ำหนักตัว/วัน)	3.12 ± 0.11	3.04 ± 0.13
- ปริมาณการกินหญ้าแห้ง	1.78	1.81
- ปริมาณการกินอาหารเม็ดสำเร็จรูป	1.34	0.53
- ปริมาณการกินมูลสุกรตากแห้ง	-	0.37
- ปริมาณการกินกากน้ำตาล	-	0.33
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR)	11.22 ± 0.68 ^a	13.48 ± 0.82 ^b
ปริมาณโปรตีนในอาหารแห้งที่กินได้ทั้งหมด (กรัม/ตัว/วัน)	554.47 ± 33.58 ^a	467.94 ± 33.50 ^b
- ปริมาณโปรตีนจากหญ้าแห้ง	182.24	177.04
- ปริมาณโปรตีนจากอาหารเม็ดสำเร็จรูป	372.23	140.50
- ปริมาณโปรตีนจากมูลสุกรตากแห้ง	-	112.07
- ปริมาณโปรตีนจากกากน้ำตาล	-	38.33
เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารที่กินได้ทั้งหมด	10.16 ± 0.14 ^a	9.19 ± 0.16 ^b

หมายเหตุ : โคทดลองกลุ่มที่ 1 ได้รับอาหารเสริมคืออาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่เพียงอย่างเดียว 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (สภาพสด) ส่วนโคทดลองกลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารเสริมคือ อาหารผสมที่ประกอบด้วย มูลสุกรตากแห้ง + กากน้ำตาล + อาหารเม็ดสำเร็จรูป ในอัตราส่วนเท่ากับ 30 : 30 : 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับให้กิน 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (สภาพสด)

^{a,b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในบรรทัดเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.01)

ปริมาณการกินอาหารแห้ง (Dry Matter Intake; DMI)

โคทดลองทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเริ่มต้นทดลองกับน้ำหนักสิ้นสุดการทดลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 171 กิโลกรัม โคกลุ่มที่ 1 และ 2 มีปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด (DMI) ได้เท่ากับ 5.45 และ 5.09 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ (p > 0.05) หรือคิดเป็น 3.12 และ 3.04 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวตามลำดับ (p > 0.05) ซึ่งสูงกว่าที่กำหนดโดย NRC ที่แนะนำว่าโคนมรุ่นเพศเมียน้ำหนักประมาณ 169 กิโลกรัม ถ้าต้องการให้โตวันละ 0.5 กิโลกรัม ควรกินอาหารแห้งได้ 4.48 กิโลกรัมต่อวัน (หรือคิดเป็น 2.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว) ควรได้รับโปรตีนประมาณ 551.04 กรัมต่อวัน ซึ่งมีใกล้เคียงมากกับ

ค่าที่โคกลุ่มที่ 1 กินได้ คือ 554.47 กรัมต่อวัน การที่โคทดลองทั้งสองกลุ่มกินอาหารแห้งทั้งหมดได้มากกว่าที่ NRC แนะนำไว้มาก อาจเป็นเพราะว่า สภาพคุณภาพของอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ โคทั้งสองกลุ่มจึงจำเป็นต้องกินอาหารหยาบให้มากขึ้น เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนได้ตามความต้องการของร่างกาย ปริมาณโปรตีนในอาหารแห้งที่กินได้ทั้งหมดของโคกลุ่มที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 10.16 และ 9.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งโคทดลองทั้งสองกลุ่มมีปริมาณโปรตีนที่กินได้ต่ำกว่าที่แนะนำโดย NRC ที่แนะนำว่าโคระยะนี้ในแต่ละวันควรกินโปรตีนได้ 12.3 เปอร์เซ็นต์ในอาหารแห้งทั้งหมด [6]

อัตราการเจริญเติบโต (Average Daily Gain; ADG)

น้ำหนักที่เพิ่มตลอดการทดลองของโคกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.83 และ 34.06 กิโลกรัม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อคิดอัตราการเจริญเติบโต (ADG) พบว่าโคทดลองกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 0.49 และ 0.38 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โคทดลองกลุ่มที่ 1 มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าโคทดลองกลุ่มที่ 2 เท่ากับ 0.11 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าโคทดลองกลุ่มที่ 1 มีปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด และปริมาณการกินโปรตีนสูงมากกว่าโคกลุ่มที่ 2

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed Conversion Ratio; FCR)

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 2) พบว่า โคกลุ่มที่ 1 และ โคกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว เท่ากับ 11.22 และ 13.48 ตามลำดับ โคกลุ่มที่ 1 (เสริมอาหารข้นอย่างเดียว) มีค่า FCR ดีกว่าโคกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยที่โคกลุ่มที่ 1 สามารถกินอาหารแห้ง 11.22 กิโลกรัม ทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ในขณะที่โคกลุ่มที่ 2 ต้องกินอาหารแห้ง 13.48 กิโลกรัม ทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณการกินอาหารแห้งทั้งหมด และปริมาณการกินโปรตีนเฉลี่ยในแต่ละวันของโคกลุ่มที่ 1 มีมากกว่าโคกลุ่มที่ 2

ต้นทุนค่าอาหาร (Feed Cost)

ต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงโคทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมที่แตกต่างกันแสดงไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงโคทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมที่แตกต่างกัน

รายการ	โคกลุ่มที่ 1	โคกลุ่มที่ 2
	(เสริมแต่อาหารเม็ด)	(เสริมอาหารเม็ด + มูลสุกรแห้ง + กากน้ำตาล)
ต้นทุนค่าอาหารทั้งหมด (บาท/ตัว/วัน)	39.64 ± 2.37 ^a	28.75 ± 1.94 ^b
- ต้นทุนค่าหญ้าแพงโกล่าแห้ง ^{1/}	13.84	13.48
- ต้นทุนค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูป ^{1/}	25.79	9.81
- ต้นทุนค่ามูลสุกรตากแห้ง ^{1/}	-	0.73
- ต้นทุนค่ากากน้ำตาล ^{1/}	-	4.80
ต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กก.	81.52 ± 4.88	76.12 ± 5.37

หมายเหตุ : ^{1/}หญ้าแพงโกล่าแห้ง กิโลกรัมละ 4 บาท (หรือเท่ากับ 4.45 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพน้ำหนักแห้ง) อาหารเม็ดสำเร็จรูป กิโลกรัมละ 10 บาท (หรือเท่ากับ 11.02 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพน้ำหนักแห้ง) มูลสุกรตากแห้ง กิโลกรัมละ 1 บาท (หรือ 1.18 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพน้ำหนักแห้ง) กากน้ำตาล กิโลกรัมละ 6.5 บาท (หรือเท่ากับ 8.57 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นสภาพแห้ง)

^{a, b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในบรรทัดเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

โคทดลองกลุ่มที่ 1 มีต้นทุนในการกินอาหารแห้งทั้งหมดได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 39.64 บาทต่อตัวต่อวัน มีค่ามากกว่าโคกลุ่มที่ 2 ที่มีต้นทุนเพียง 28.75 บาทต่อตัวต่อวัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังนั้น โคกลุ่มที่ 2

มีต้นทุนค่าอาหารแห้งทั้งหมดต่ำกว่าโคกลุ่มที่ 1 ถึง 10.89 บาทต่อตัวต่อวัน เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนค่าอาหารแห้งทั้งหมดในการทำให้น้ำหนักตัวโคเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม พบว่าโคทดลองกลุ่มที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 76.12 บาทต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กิโลกรัม ในขณะที่โคกลุ่มที่ 1 มีต้นทุนค่าอาหารเท่ากับ 81.52 บาทต่อตัวต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นโคกลุ่มที่ 2 จะมีต้นทุนค่าอาหารถูกกว่าโคกลุ่มที่ 1 ถึง 5.40 บาทในการทำให้น้ำหนักตัวโคเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม การที่โคกลุ่มที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่าโคกลุ่มที่ 1 เป็นเพราะว่ามูลสุกรตากแห้งและมีราคาต่ำกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปจากบริษัทมาก การใช้มูลสุกรตากแห้งผสมรวมกับกากน้ำตาลในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปทดแทนอาหารเม็ดสำเร็จรูปในปริมาณที่สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักสด) หรืออาหารผสมที่เสริมให้กับโคกลุ่มที่ 2 มีส่วนผสมของ มูลสุกรตากแห้ง : กากน้ำตาล : อาหารเม็ดสำเร็จรูป ในอัตราเท่ากับ 30 : 30 : 40 ส่วนโดยน้ำหนักสด จะเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปลงได้อย่างมาก ซึ่งนับว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปจากบริษัทมีแต่ราคาจะแพง เพิ่มสูงขึ้นๆ เป็นปัญหาต่อการเลี้ยงสัตว์ทุกชนิดตลอดมา

สรุปผลการทดลอง

มูลสุกรตากแห้ง มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยพบว่ามีโปรตีนอยู่สูงถึง 18.03 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อาหารเม็ดสำเร็จรูป (อาหารข้น) มีโปรตีนอยู่เพียง 15.91 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากน้ำตาลมีโปรตีนอยู่ 6.76 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการใช้มูลสุกรตากแห้ง กากน้ำตาล และอาหารเม็ดสำเร็จรูปในรูปอาหารผสมตามอัตราส่วน 30 : 30 : 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ นำไปให้โคนมรุ่นกินในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว สามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงได้อย่างมาก ค่าสมรรถภาพการผลิตของโคจะต่ำลงไปบ้างเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การเสริมอาหารข้นเพียงอย่างเดียวในปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะกรรมการบริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การอนุมัติทุนสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณแผนกฟาร์มโคนม และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ สาขาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้สัตว์ทดลอง เครื่องมือ และอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้านทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2532). **โภชนศาสตร์สัตว์**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] AOAC. (1970). Official Methods of Analysis Association of Official Agricultural Chemists. *Cited by* บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และบุญเสริม ชีวะอิสระกุล. **วิธีการวิเคราะห์และทดลองทาง โภชนศาสตร์**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] Little, T.M. and Hills, F.J. (1978). **Agricultural Experimentation**. Design and Analysis. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- [4] กองอาหารสัตว์. (2549). **การใช้มูลสุกรแห้งในอาหารเลี้ยงสุกร**. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2557, จาก http://www.nutrition.dld.go.th/Nutrition_Knowledge/ARTICLE/ArticleM.html.
- [5] National Research Council (NRC). (1976). **Urea and Other Non-Protein Nitrogen Compounds in Animal Nutrition**. National Academy of Science, Washington, D.C.
- [6] National Research Council (NRC). (2001). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7thed. National Academy of Science, Washington, D.C.

หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker
(Lepidoptera: Oecophoridae): พืชอาหาร ชีววิทยา และแมลงศัตรูธรรมชาติ
Coconut Black-Headed Caterpillar, *Opisina arenosella* Walker
(Lepidoptera: Oecophoridae): Host Plant, Biology and its Natural Enemies

น้ำผึ้ง ชมภูเขียว¹ และโสภณ อุไรชื่น^{2*}

Namphueng Chomphukhiao¹ and Sapon Uraichuen^{2*}

บทคัดย่อ

หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker เป็นแมลงศัตรูพืชต่างถิ่นมีการระบาดก่อให้เกิดความเสียหายกับอุตสาหกรรมมะพร้าวในประเทศไทย หนอนหัวดำมะพร้าวในระยะหนอนสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในใบพืชอาหารมะพร้าว โดยมีอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) เท่ากับ 66.31 เท่า รองลงมาคือ ตาลฟ้า กล้วยน้ำว้า และปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ โดยมีช่วงอายุขัยของกลุ่ม (T_0) ระหว่าง 71.16-74.69 วัน การทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนท้องถิ่น *Bracon hebetor* Say และแตนเบียนต่างถิ่น *Goniozus nephantidis* (Muesebeck) โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียนที่ฟัก ทั้งเบียนแบบเดี่ยวและเบียนร่วมกัน เมื่อเบียนหนอนหัวดำมะพร้าวอัตรา 1:3 และ 5:1 เป็นเวลา 1:3 และ 5 วัน การเบียนหนอนด้วยแตนเบียนหนอน *B. hebetor* ชนิดเดี่ยวสามารถเบียนหนอนได้สูงสุดเฉลี่ย 96.85 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียนที่ฟักจากการเบียนหนอน 1 ตัว เป็นเวลา 1 วัน สูงสุดเฉลี่ย 13.25 ตัว อัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้มีค่า 1.30 สรุปได้ว่าแตนเบียนท้องถิ่น *B. hebetor* มีประสิทธิภาพการเบียนที่ดีกว่าแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis*

คำสำคัญ: หนอนหัวดำมะพร้าว *Bracon hebetor* *Goniozus nephantidis*

¹ นิสิตปริญญาเอก ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

² ผศ.ดร., ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน และ ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

¹ Ph.D., Student, Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Nakhon Phathom, 73140

² Asst. Prof., Department of Entomology, Faculty of Agriculture and National Biological Control Research Center Central Regional Center, Kasetsart University, Nakhon Phathom, 73140

* Corresponding author: Tel.: 081-3401902. E-mail address: sapon.u@ku.ac.th

Abstract

The coconut black-headed caterpillar (BHC), *Opisina arenosella* Walker has been an exotic invasive insect pest of coconut damaging of Thai coconut industry in recent years. For host plant study, the coconut leaves were suitable for BHC larvae by giving the highest net reproductive rate (R_0) of 66.31 times and followed by Bismarck palm, banana and oil palm, respectively. The cohort generation time (T_c) of all tested leaves was ranged between 71.16-74.69 days. The efficiency of parasitism of the endemic parasitoid (*Bracon hebetor* Say) and exotic parasitoid (*Goniozus nephantidis* (Muesebeck)) by comparing the percentage of parasitized larvae and the number of emerged adults both in single and combined two species were investigated. The parasitism rate was tested at 1, 3 and 5 larvae under periods of parasitize at 1, 3 and 5 days, respectively. The single parasitized of *B. hebetor* showed the highest parasitized at 96.85%. The average number of emerged adult of *B. hebetor* parasitized 1 BHC larvae at periods of parasitize 1 days showed the highest number of emerged adult 13.25 individuals and the sex ratio of female to male was 1.30. The endemic parasitoid, *B. hebetor*, gave higher efficiency of parasitized to BHC than exotic one, *G. nephantidis*.

Keywords: *Opisina arenosella*, *Bracon hebetor*, *Goniozus nephantidis*

บทนำ

หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker เป็นแมลงศัตรูพืชต่างถิ่น มีถิ่นกำเนิดในประเทศพม่า อินเดีย บังกลาเทศ และศรีลังกา [1] เมื่อปลายปี 2550 หนอนชนิดนี้ทำลายใบมะพร้าวครั้งแรกที่อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พื้นที่ประมาณ 50 ไร่ และปลายปี 2553 ระบาดอย่างรุนแรงในพื้นที่อำเภอเมือง และทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นบริเวณกว้าง นอกจากนี้หนอนหัวดำมะพร้าวยังสามารถเข้าทำลายพืชชนิดอื่น ประกอบด้วยพืชในวงศ์ Palmae 10 ชนิด (มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน ตาลโตเนด หมากนวล ลาน ตาลฟ้า หงษ์เหิร อิทผาลัมไบจิน อ้ายหมี ปาล์มแว็กซ์) และวงศ์ Musaceae 1 ชนิด ได้แก่ กกล้วย [2] ต่อมามีการศึกษาพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าวจำนวน 13 ชนิด ในวงศ์ Palmae 8 ชนิด และวงศ์ Bromeliaceae, Musaceae, Poaceae, Typhaceae และ Euphorbiaceae อีกวงศ์ละ 1 ชนิด [3] เนื่องจากการระบาดของหนอนหัวดำมะพร้าวยังคงรุนแรงต่อเนื่อง ทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนได้ดำเนินการควบคุมหนอนหัวดำมะพร้าวด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การฉีดพ่นสารฆ่าแมลงทั้งทาง ใบและฉีดเข้าลำต้น การตัดทางใบเผา และอีกทางเลือกหนึ่งคือ การควบคุมโดยชีววิธี ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมที่ให้ผลแบบยั่งยืน และปลอดภัย จากการสำรวจแมลงศัตรูธรรมชาติของหนอนหัวดำมะพร้าวในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่างเดือน มกราคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2554 พบแมลงตัวเบียน 5 ชนิด และแมลงตัวห้ำ 2 ชนิด ซึ่งล้วนเป็นแมลงศัตรูธรรมชาติท้องถิ่น หนึ่งในนี้คือแตนเบียนหนอน *Bracon hebetor* Say [4] และมีการทดสอบประสิทธิภาพทั้งในห้องปฏิบัติการและในสภาพไร่ [5] ต่อมา ในปี พ.ศ. 2555 ได้มีการนำเข้าแตนเบียนหนอน *Goniozus nephantidis* (Muesebeck) โดยกรมวิชาการเกษตร จากประเทศศรีลังกา [6] แต่ข้อมูลในการนำเข้าแตนเบียนทั้ง 2 ชนิด ไปใช้ประโยชน์ร่วมกันยังไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ รวมทั้ง การศึกษาพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าวที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิต และการทดสอบประสิทธิภาพการ เบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนท้องถิ่น *B. hebetor* และแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis* เพื่อเป็นแนวทางในการ นำไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมหนอนหัวดำมะพร้าวโดยชีววิธีอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการวิจัย

การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella*

เพาะเลี้ยงด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับการศึกษาชีววิทยาของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ของน้ำผึ้ง และคณะ [4]

การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณแตนเบียนหนอน *B. hebetor* และแตนเบียนหนอน *G. nephantidis*

เพาะเลี้ยงด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณของวิวัฒน์ และคณะ [7] ส่วนแตนเบียนหนอน *G. nephantidis* เพาะเลี้ยงเช่นเดียวกับแตนเบียนหนอน *B. hebetor* แต่ใส่หนอนหัวดำมะพร้าว 1 ตัวต่อแตนเบียน 1 คู่

การศึกษาความเหมาะสมของพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ด้วยคุณลักษณะทางชีววิทยา

แยกไข่ของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ที่ได้จาก การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณจำนวน 400 ฟอง โดยแบ่งทดสอบใน พืชอาหารแต่ละชนิด 100 ฟอง เพาะเลี้ยงในกล่องพลาสติกขนาดเท่ากันกับการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณ เมื่อหนอนฟักออกจากไข่ แยกไปเพาะเลี้ยงในกล่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร กล่องละ 1 ตัว ให้ใบมะพร้าวแก่ที่มีสีเขียวเข้ม ใบปาล์มน้ำมัน ใบปาล์มประดับ และใบกล้วยน้ำว้า เป็นอาหาร ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์ บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเจริญเติบโต จำนวนที่รอดชีวิตตั้งแต่ระยะไข่จนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัย และจำนวนไข่ที่ได้จากการวางไข่ของตัวเต็มวัยทุกวัน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการศึกษาตารางชีวิตแบบ Biological Life Table เพื่อหาค่าต่างๆ (ตารางที่ 1 ในสคริปต์ คุณลักษณะทางชีววิทยา) โดยใช้เทคนิคของอินทวัฒน์, Allee, et al., Laughlin, Southwood, Harcourt และ Napompeth [8-13]

การทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแตนเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนท้องถื่น *B. hebetor* และแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis*

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเบียนหนอนของแตนเบียน *B. hebetor* และแตนเบียน *G. nephantidis* โดยใช้หนอนหัวดำ มะพร้าว *O. arenosella* เป็นแมลงอาศัย วางแผนการทดลองแบบ $3 \times 3 \times 3$ แฟกทอเรียล (Factorial experiments) ในแผนการทดลอง พื้นฐานสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ปัจจัยที่ 1 มี 3 ระดับ ได้แก่ เบียนแตนเบียน *B. hebetor* ชนิดเดียว เบียนแตนเบียน *G. nephantidis* ชนิดเดียว และเบียนแตนเบียน *B. hebetor* และ *G. nephantidis* ร่วมกัน ปัจจัยที่ 2 มี 3 ระดับ ได้แก่ ความหนาแน่น ของแมลงอาศัยที่ 1 3 และ 5 ตัว ปัจจัยที่ 3 มี 3 ระดับ ได้แก่ ระยะเวลาในการเบียน 1 3 และ 5 วัน เตรียมหนอนหัวดำมะพร้าวอายุ ประมาณ 1 เดือน ใส่ด้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร ตามอัตราที่ระบุไว้อัตราละ 4 ตัว แล้ว ใส่แตนเบียนจำนวน 1 คู่ต่อกล่อง เบียนไว้ตามระยะเวลาที่ระบุ ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อครบกำหนดแยกแตนเบียนพ่อแม่พันธุ์ออกแล้วเพาะเลี้ยงจนกระทั่งแตนเบียนฟักเป็นตัวเต็มวัย ตรวจนับจำนวนหนอนที่ถูกเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยในแต่ละกรรมวิธี การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอน ของแตนเบียน แปลงค่าด้วย arcsine ก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ตามวิธีของ Gomez and Gomez [14]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาความเหมาะสมของพืชอาหารของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* ด้วยคุณลักษณะทางชีววิทยา

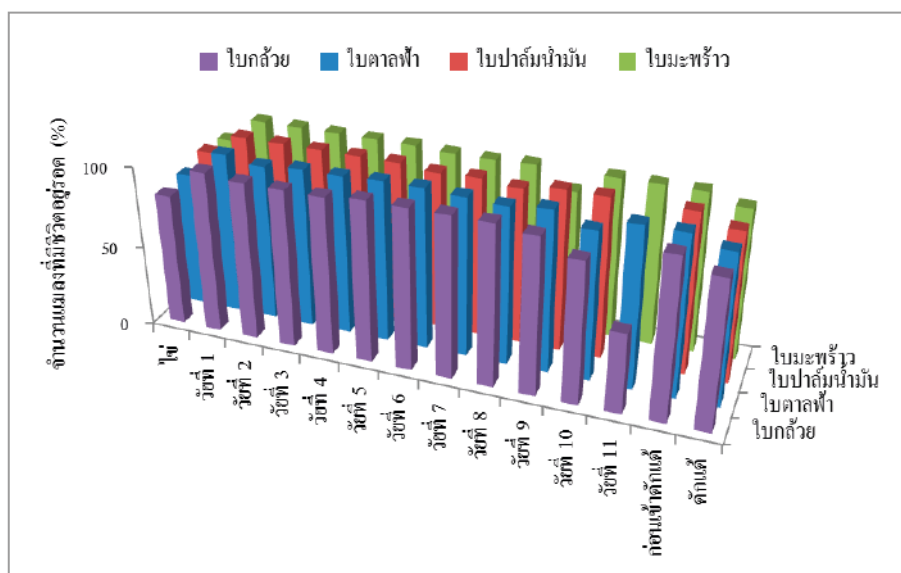
จากการคำนวณค่าทางตารางชีวิต การเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าวมีค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) สูงสุดเท่ากับ 66.31 เท่า (ตารางที่ 1) แปลความหมายจากค่าต่างๆ ในตารางที่ 1 ได้ว่า เมื่อเพาะเลี้ยงหนอนหัวดำมะพร้าวด้วยใบมะพร้าวที่มีค่าอัตราการ ขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) 66.31 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดจากการทดลอง เมื่อเลี้ยงหนอนหัวดำมะพร้าวเริ่มจากไข่ 100 ฟอง ในชั่วอายุขัยถัดไป จะได้ไข่จำนวน 6,631 ฟอง ($=100 \times 66.31$) โดยมีช่วงอายุขัยของกลุ่ม (T_x) เท่ากับ 73.05 วัน ส่วนความสามารถในการขยายพันธุ์

ทางกรรมพันธุ์ (r_0) มีค่าเท่ากับ 0.06 ประชากรของหนอนหัวดำมะพร้าวเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าวต่อไปจะมีเสถียรภาพของช่วงอายุมีอัตราการรอดชีวิตและการออกลูกที่คงที่เท่ากับ 0.06 ส่วนอัตราการเพิ่มที่แท้จริง (λ) มีค่าเท่ากับ 1.06 หนอนหัวดำมะพร้าวจะเพิ่มจำนวนประชากรได้ 1.06 เท่าในทุกวัน ดังนั้นการเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าวมีการเจริญเติบโตและสามารถขยายพันธุ์ได้ดีกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอีก 3 ชนิด (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางชีววิทยาของหนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* เมื่อเลี้ยงด้วยพืชอาหาร 4 ชนิด ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์

คุณลักษณะทางชีววิทยา	พืชอาหาร			
	ใบมะพร้าว	ใบตาลฟ้า	ใบปาล์มน้ำมัน	ใบกล้วยน้ำว้า
อัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0)	66.312	59.178	50.333	53.241
ความสามารถในการขยายพันธุ์ทางกรรมพันธุ์ (r_0)	0.057	0.055	0.055	0.056
อัตราการเพิ่มที่แท้จริง (λ)	1.059	1.056	1.056	1.057
ช่วงอายุขัยของกลุ่ม (T_0) (วัน)	73.049	74.687	71.568	71.163

สำหรับเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของหนอนหัวดำมะพร้าว *O. arenosella* เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอาหาร 4 ชนิด ระยะไข่ เริ่มต้นมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 81.48-87.04 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะดักแด้เฉลี่ยเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยพืชอาหารทั้ง 4 ชนิด อยู่ในช่วง 87.50-100 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นเพาะเลี้ยงด้วยใบกล้วยน้ำว้า หนอนวัยที่ 11 มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำสุดเฉลี่ย 50 เปอร์เซ็นต์ และหนอนหัวดำมะพร้าวที่เพาะเลี้ยงด้วยใบปาล์มน้ำมันไม่มีหนอนเจริญเติบโตถึงวัยที่ 11 เนื่องจากหนอนเจริญเติบโตเป็นดักแด้ก่อนหน้านั้น ซึ่งแตกต่างจากการเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอีก 3 ชนิด (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของหนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* ตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะดักแด้ เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบพืชอาหาร 4 ชนิด ได้แก่ มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน ตาลฟ้า และกล้วยน้ำว้า

การทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด แตนเบียน *B. hebetor* และแตนเบียน *G. nephantidis*

ชนิดของแตนเบียนมีอิทธิพลสูงสุดต่อเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียน เนื่องจากมีค่า Mean Square สูงสุด ตามด้วยระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัย และความหนาแน่นของแมลงอาศัย (จำนวนหนอน) ตามลำดับ ซึ่งชนิดของแตนเบียนมีปฏิสัมพันธ์กันกับระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยและความหนาแน่นของแมลงอาศัย (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาชนิดของแตนเบียนต่อเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียน การเบียนแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียวมีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดเฉลี่ย 96.85 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับการเบียนร่วมกับแตนเบียน *G. nephantidis* เฉลี่ย 94.44 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนแตนเบียน *G. nephantidis* เพียงชนิดเดียว เฉลี่ย 53.89 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3ก) ส่วนความหนาแน่นของหนอนเมื่อเบียนหนอนอัตรา 1 ตัว มีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดเฉลี่ย 94.44 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนอัตรา 3 และ 5 ตัว เฉลี่ย 76.85 และ 73.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3ข) และระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยที่ 5 วัน มีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดเฉลี่ย 92.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับการเบียนที่ 3 วัน เฉลี่ย 85.93 เปอร์เซ็นต์ และการเบียนหนอนที่ 1 วัน มีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนต่ำสุดเฉลี่ย 67.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนที่ 3 และ 5 วัน (ตารางที่ 3ค)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์หนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* ที่เบียนโดยแตนเบียน *Bracon hebetor* และแตนเบียน *Goniozus nephantidis* และจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักของแตนเบียนทั้ง 2 ชนิด (A = ชนิดของแตนเบียน B = ความหนาแน่นของแมลงอาศัย (จำนวนหนอน) C = ระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัย)

Source of variation	df	Mean Square	
		เปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียน ^{1/}	จำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียน
A	2	14956.256**	69.000**
B	2	3846.047**	52.111*
C	2	5045.368**	19.750 ^{ns}
A * B	4	1316.553**	42.944*
A * C	4	1735.601**	18.250 ^{ns}
B * C	4	184.947 ^{ns}	77.111**
A * B * C	8	190.167 ^{ns}	13.194 ^{ns}
Error	81	169.164	13.207
Total	107		

^{1/} ข้อมูลเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่แปลงค่าด้วย Arcsine ตามวิธีของ Gomez and Gomez [14]

^{ns} Non significant (ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$))

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

** ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักของแตนเบียนหนอน *B. hebetor* และแตนเบียนหนอน *G. nephantidis* เมื่อเป็นแบบเดี่ยว และเป็นด้วยแตนเบียนทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน เป็นหนอนในอัตรา 1:3 และ 5:1 เป็นเวลา 1:3 และ 5:1 วัน ให้ผลการวิเคราะห์ สอดคล้องกับในระยะหนอน จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ชนิดของแตนเบียนมีอิทธิพลสูงสุดต่อจำนวนตัวเต็มวัยของ แตนเบียนที่ฟัก เนื่องจากมีค่า Mean Square สูงสุด ตามด้วยความหนาแน่นของหนอน แต่ระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียน กับแมลงอาศัยไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟัก ซึ่งชนิดของแตนเบียนมีปฏิสัมพันธ์กับความหนาแน่นของหนอน ส่วนความหนาแน่นของหนอนมีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัย (ตารางที่ 2)

จากการพิจารณาชนิดของแตนเบียน การเบียนแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียว มีจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักสูงสุดเฉลี่ย 6.42 ตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนแตนเบียน *G. nephantidis* เพียงชนิดเดียว และการเบียน ร่วมกันมีจำนวนตัวเต็มวัยเฉลี่ย 2.75 และ 2.58 ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 3ก)

ส่วนความหนาแน่นของจำนวนหนอนต่อจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟัก เป็นหนอนที่อัตรา 1:1 ตัว มีจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักสูงสุด เฉลี่ย 6.42 ตัว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการเบียนอัตรา 5:1 และ 3:1 ตัว มีจำนวนตัวเต็มวัยเฉลี่ย 3.25 และ 3.19 ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 3ข) และระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยที่ 1:3 และ 5:1 วัน ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 3ค)

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยหนอนหัวดำมะพร้าว *Opisina arenosella* ที่เบียนโดยแตนเบียน *Bracon hebetor* และแตนเบียน *Goniozus nephantidis* และจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียนทั้ง 2 ชนิด

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	จำนวนหนอนที่ถูกเบียน (%) ^{1/}	จำนวนตัวเต็มวัยที่ฟัก (ตัว) ^{1/}
(ก) ชนิดของแตนเบียน		
<i>B. hebetor</i>	96.85 ^a	6.42 ^a
<i>G. nephantidis</i>	94.44 ^a	2.75 ^b
<i>B. hebetor</i> + <i>G. nephantidis</i>	53.89 ^b	2.58 ^b
(ข) ความหนาแน่นของแมลงอาศัย (จำนวนหนอน)		
1 ตัว	94.44 ^a	5.31 ^a
3 ตัว	76.85 ^b	3.19 ^b
5 ตัว	73.89 ^b	3.25 ^b
(ค) ระยะเวลาในการเบียน		
1 วัน	67.04 ^b	3.08 ^{ns}
3 วัน	85.93 ^a	4.17 ^{ns}
5 วัน	92.22 ^a	4.50 ^{ns}

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ของตารางส่วน (ก) (ข) และ (ค) ที่ตามด้วยอักษร (a, b) ที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยวิธี DMRT

^{ns} Non significant (ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$))

เมื่อพิจารณาปัจจัยแรกคือ ชนิดของแตนเบียน การเบียนหนอนด้วยแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียวดีกว่าการเบียน ด้วยแตนเบียน *G. nephantidis* เพียงชนิดเดียวและการเบียนร่วมกันซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการเบียนหนอนลดลงมากกว่าการ เบียนแบบเดี่ยว ส่วนปัจจัยต่อมาคือ ความหนาแน่นของจำนวนหนอน การเบียนหนอนที่อัตรา 1:1 ตัว ดีกว่าการเบียนหนอนที่อัตรา

3 และ 5 ตัว และปัจจัยสุดท้ายคือ ระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยที่ 5 วัน ดีกว่าที่ 1 และ 3 วัน เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนสูงสุดและจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักสูงสุด จากผลการศึกษาสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ahmed [15] และเมื่อเบียนหนอนอัตรามากขึ้นในระยะเวลา 1 วัน แตนเบียนจะสามารถวางไข่ได้น้อยลง โดยเฉพาะแตนเบียน *B. hebetor* ที่มีพฤติกรรมการเข้าทำลายเหยื่อแล้วปล่อยสารพิษทำให้เหยื่อเป็นอัมพาตก่อนแล้วจึงวางไข่ เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Yu *et al.* [16] รายงานว่าแตนเบียน *B. hebetor* เบียนหนอน *Plodia interpunctella* (Hübner) ในเวลา 1 วัน ได้เฉลี่ย 26.75 ตัว และมีจำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักน้อยลงเมื่อเบียนหนอนอัตรามากขึ้น

สิ่งสำคัญเมื่อพิจารณาอัตราส่วนเพศ การเบียนหนอนด้วยแตนเบียน *B. hebetor* เพียงชนิดเดียว มีอัตราส่วนเพศเมียต่อเพศผู้สูงกว่าการเบียนร่วมกัน แต่มีจำนวนเพศผู้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเบียนหนอนที่อัตรามากขึ้นเป็น 3 ตัว ในระยะเวลา 1 วัน แต่เมื่อระยะเวลาที่อยู่ร่วมกันระหว่างแตนเบียนกับแมลงอาศัยเพิ่มเป็น 3 วัน การเบียนหนอนที่อัตรามากขึ้น 3 ตัว ให้อัตราส่วนเพศที่เหมาะสมกว่าการเบียนด้วยอัตราอื่น ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 5 วัน การเบียนหนอนที่อัตรามากขึ้น 5 ตัว ให้อัตราส่วนเพศที่เหมาะสมกว่าการเบียนด้วยอัตราอื่นเช่นกัน ส่วนอัตราส่วนเพศของแตนเบียน *G. nephandidis* มีจำนวนเพศเมียเพิ่มมากขึ้น เมื่อเบียนร่วมกันกับแตนเบียน *B. hebetor* (ตารางที่ 4)

จากผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Singh *et al.* [17] ในด้านความหนาแน่นของเหยื่อมีผลต่ออัตราส่วนเพศของแตนเบียน *B. hebetor* เมื่อเบียนหนอนผีเสื้อข้าวสาร *Corcyra cephalonica* (Stainton) ในอัตรามากขึ้นทำให้แตนเบียนมีจำนวนเพศผู้มากขึ้น และ Jamil *et al.* [18] อัตราส่วนเพศผู้ของแตนเบียน *B. hebetor* มากขึ้นเมื่อเบียนหนอน *Galleria mellonella* (Linnaeus) ในอัตราที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยจำนวนตัวเต็มวัยและอัตราส่วนเพศ (เพศเมีย/เพศผู้) ของแตนเบียน *Bracon hebetor* (BH) และแตนเบียน *Goniozus nephandidis* (GN)

กรรมวิธี	จำนวนหนอน (ตัว)	ระยะเวลาที่เบียน (วัน)					
		1		3		5	
		BH	GN	BH	GN	BH	GN
BH	1	13.25 (1.30)		9.75 (0.86)		7.25 (0.61)	
GN			3.00 (2.00)		6.50 (0.18)		2.25 (0)
BH + GN		2.75 (0.22)	0.00	0.50 (0)	2.50 (2.33)	0.00	0.00
BH	3	4.50 (0.80)		2.75 (1.75)		6.25 (0.32)	
GN			0.00		3.50 (0.27)		3.50 (3.67)
BH + GN		4.00 (0.23)	0.00	1.25 (0)	1.75 (0.40)	0.00	1.25 (4.00)
BH	5	0.00		3.50 (0.27)		10.50 (0.91)	
GN			0.00		1.75 (0)		4.25 (0)
BH + GN		0.25 (0)	0.00	2.75 (0.10)	1.00 (0)	3.75 (0.36)	1.50 (0.20)

สรุปผลการวิจัย

หนอนหัวคำมะพร้าว *O. arenosella* สามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ดีที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยใบมะพร้าว รองลงมาคือ ใบตาลฟ้า ใบกล้วยน้ำว้า และใบปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ ในการทดสอบประสิทธิภาพการเบียนของแมลงเบียน 2 ชนิด ได้แก่ แตนเบียนท้องถิ่น *B. hebetor* และแตนเบียนต่างถิ่น *G. nephantidis* แตนเบียนท้องถิ่นมีประสิทธิภาพในการเบียนดีกว่า แตนเบียนต่างถิ่น ในแง่ของเปอร์เซ็นต์หนอนที่ถูกเบียนและจำนวนแตนเบียนที่เจริญเติบโตจนเป็นตัวเต็มวัย และแตนเบียนทั้งสองชนิดมีการแข่งขันกันเมื่ออยู่ร่วมกัน

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) บริษัท อำพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และขอขอบคุณ รศ.ดร.วิวัฒน์ เสือสะอาด อ.ดร.สุนิสา สงวนทรัพย์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ และขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคกลาง รวมทั้งนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกคนที่อำนวยความสะดวกในทุกด้านระหว่างการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Perera, P.A.C.R., Hassell, M.P. and Godfray, H.C.J. (1989). "Population Dynamics of the Coconut Caterpillar, *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Xyloryctidae), in Sri Lanka", **Journal of the Coconut Research Institute of Sri Lanka**. 7, 42-57.
- [2] วิวัฒน์ เสือสะอาด ไสภณ อุไรชื่น น้ำผึ้ง ชมภูเขียว ปวีณา บุษาทิยน และอรพรรณ เกินอาษา. (2554). "การใช้ประโยชน์ของศัตรูธรรมชาติในการควบคุมแมลงค้ำหนามมะพร้าว *Brontispa longissima* Gestro (Coleoptera: Hispididae) และหนอนหัวคำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae)", ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการประจำปี 2554 ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ วันที่ 7-9 กันยายน 2554.
- [3] นิสากร สุทธิรัฐ กนกอร ทองใหญ่ โกมินทร์ ทิพย์ชิต และทิพวรรณ ศิริรัตน์. (2558). "การทดสอบพืชอาหารของหนอนหัวคำมะพร้าว (*Opisina arenosella* Walker) (Lepidoptera: Oecophoridae)", **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**. 2(2), 13-16.
- [4] น้ำผึ้ง ชมภูเขียว วิวัฒน์ เสือสะอาด ไสภณ อุไรชื่น ปวีณา บุษาทิยน และโกศล เจริญสม. (2554). "ชีววิทยาของหนอนหัวคำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae) และแมลงศัตรูธรรมชาติในประเทศไทย", ใน การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 31-37. วันที่ 8-9 ธันวาคม 2554. ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] วิวัฒน์ เสือสะอาด ไสภณ อุไรชื่น น้ำผึ้ง ชมภูเขียว ปวีณา บุษาทิยน และ อรพรรณ เกินอาษา. (2555). "การใช้ประโยชน์ของศัตรูธรรมชาติในการควบคุมแมลงค้ำหนามมะพร้าว *Brontispa longissima* Gestro (Coleoptera: Hispididae) และหนอนหัวคำมะพร้าว *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Oecophoridae)", ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการประจำปี 2555 ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ วันที่ 19-21 กันยายน 2555.

- [6] อัมพร วิโนทัย. (2555). รายงานความก้าวหน้าโครงการการนำเข้าแตนเบียนหนอนหัวดำ *Goniozus nephantidis* เพื่อทดสอบความปลอดภัยและใช้ควบคุมหนอนหัวดำมะพร้าว. กรมวิชาการเกษตร.
- [7] วิวัฒน์ เสือสะอาดโกศล เจริญสมคอกกล้วยไม้ หอมระหัด ศิริวรรณ ทนคุ้มทอง ณัฐพล วรางคนาภรณ์ น้ำผึ้ง ชมภูเขียว และ ไวยสิษฐ์ อ่าเอี่ยม. (2555). “การติดตามสถานการณ์ศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูพืชและวัชพืชในประเทศไทย”, ใน รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการประจำปี 2555 ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ วันที่ 19-21 กันยายน 2555.
- [8] อินทวัฒน์ บุรีคำ. (2548). นิเวศวิทยาวิเคราะห์ทางกีฏวิทยา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] Allee, W.C., Park, O., Emerson, A.E., Park T. and Schmidt, K.P. (1949). **Principles of Animal Ecology**. Saunders, Philadelphia and London.
- [10] Laughlin, R. (1965). “Capacity for increase: a useful population statistics”, **Journal of Animal Ecology**. 34, 77-91.
- [11] Southwood, T.R.E. (1968). **Ecological Methods with Particular Reference to the Study of Insect Populations**. Methuen, London.
- [12] Harcourt, D.G. (1969). “The development and use of life table in the study of natural insect populations”, **Annual Review of Entomology**. 14, 175-196.
- [13] Napompeth, B. (1973). **Ecology and Population Dynamics of the Corn Planthopper, *Peretrinus maidis* (Ashmead) (Homoptera: Delphacidae), in Hawaii**. Ph. D. Dissertation, University Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- [14] Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984). **Statistical Procedures for Agricultural Research**. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York.
- [15] Ahmed, K.S. (2012). “Role of the Larval Parasitoid, *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) in the control of *Cadra (Ephestia) cautella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in Egypt”, 109-115. In **Proceedings of the Seventh International Conference on Biological Science (Zoology)**.
- [16] Yu, S.H., Ryoo, M.I., Na, J.H. and Choi, W.I. (2003). “Effect of Host Density on Egg Dispersion and the Sex Ratio of Progeny of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)”, **Journal of Store Products Research**. 39, 385-393.
- [17] Singh, D., Singh, R.P. and Tripathi, C.P.M. (2016). “Effect of Host Density on Life Table Statistics of *Bracon hebetor* Say, 1836 (Hymenoptera: Braconidae)”, **Tropical Zoology**. 29(1), 44-51.
- [18] Jamil, An., Abdin, Z. ul., Arshad, M., Falabella, P., Abbas, S.K., Tahir, M., Jamil, Am., Manzoor, A. and Shaina, H. (2015). “Multiple Effects of Host Density on Egg Density and the Sex Ratio of Progeny of *Bracon hebetor* (Say.) (Hymenoptera: Braconidae)”, **Pakistan Journal of Zoology**. 47(2), 455-460.

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 และ แคลเซียมซิลิเกต
ต่อการงอกและควบคุมโรคโคนเน่าจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* ในพริกมันบางช้าง
**Efficacy *Trichoderma asperellum* CB-Pin-01 and Calcium Silicate to Seed
Germination and Control Stem Rot Caused by *Sclerotium rolfsii* in *Capsicum*
annuum cv. ‘Bangchang’**

เกรียงไกร แสงไข้¹ สุภชัย อัมภา² และพรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง^{3*}

Kriangkrai Saengkai¹, Suphachai Amkha² and Pornpairin Rungcharoenthong^{3*}

บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกต (Ca_2SiO_4) ต่อการงอก และควบคุมเชื้อราสเคลอโรเทียม เชื้อสาเหตุการเกิดโรคเน่าระดับดินในพริก 1) ศึกษาผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และ Ca_2SiO_4 ต่อการงอกของเมล็ดพริก คือ ควบคุม (T1) แช่เมล็ดในสารแขวนลอยไตรโคเดอร์มาที่ 5 (T2) และ 10 (T3) กรัม/ลิตร แช่เมล็ดในสารแขวนลอย ไตรโคเดอร์มา ที่ 5 และ 10 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารละลาย Ca_2SiO_4 1 กรัม/ลิตร (T4) และ (T5) ตามลำดับ และแช่เมล็ดใน สารละลาย Ca_2SiO_4 อัตรา 1 กรัม/ลิตร (T6) ผลการทดลองพบว่า การใช้สารแขวนลอยไตรโคเดอร์มา ที่ 5 กรัม/ลิตร ช่วยให้ ระยะเวลาในการเกิดรากเร็วขึ้น รวมถึงเพิ่มดัชนีการงอกมากกว่าการใช้สารแขวนลอยไตรโคเดอร์มา ที่ 10 กรัม/ลิตร โดยการ ใช้สารแขวนลอยไตรโคเดอร์มา ร่วมกับ Ca_2SiO_4 ส่งเสริมเปอร์เซ็นต์ครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากของต้นกล้าพริก เพิ่มขึ้น 37.5- 50% เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม 2) ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับ Ca_2SiO_4 ควบคุมโรคโคนเน่า ของพริกจากเชื้อราสเคลอโรเทียมในระดับโรงเรือน คือ ควบคุม (T1) วัสดุปลูกผสมเชื้อรา เชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่อัตรา 1 กก./ 100 กก. วัสดุปลูก (T2) วัสดุปลูกผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา อัตรา 1 กก./ 100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับ Ca_2SiO_4 อัตรา 20 กก./ไร่ (T3) และวัสดุปลูกผสม Ca_2SiO_4 ที่อัตรา 20 กก./ไร่ (T4) ผลการทดลองพบว่าการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา อัตราส่วน 1 กก./100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับ Ca_2SiO_4 อัตรา 20 กก./ไร่ ส่งผลให้ต้นกล้าพริกมีรอดตาย 40% เมื่อเทียบกับตำรับควบคุม และยังพบ ประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1.23×10^6 CFU/ g soil รอบรากต้นกล้าที่รอดตายจากดินที่มีเชื้อราสเคลอโรเทียม

คำสำคัญ: ไตรโคเดอร์มา สเคลอโรเทียม ซิลิเกต การงอก ต้นกล้าพริก

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาการพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² ผศ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

³ อ.ดร., ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Master Student, Major of Plant Science, Kasetsart University, Nakhonpathom, 73140

² Asst. Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, Nakhonpathom, 73140

³ Dr., Department of Botany, Faculty of Liberals Art and Science, Kasetsart University, Nakhonpathom, 73140

* Corresponding author: Tel.: 086-1423388. E-mail address: faaspr@ku.ac.th

Abstract

The effect of *Trichoderma* was combined with Ca_2SiO_4 to seed germination and control rotten causes by *Sclerotium* on *Capsicum annuum* cv. 'Bangchang' were investigated. 1) Study effect *Trichoderma* with Ca_2SiO_4 on seed germination was observed. The experiment was composted of control (T1), seeds were soaked in *Trichoderma* suspension at 5 (T2) and 10 (T3) g/L, seeds were soaked in *Trichoderma* suspension at 5 and 10 g/L combined with Ca_2SiO_4 solution 1 g/L (T4) and (T5), respectively and seeded were soaked in Ca_2SiO_4 solution 1 g/L (T6). The results showed that seeds were early days to emergence and high germination index in *Trichoderma* suspension at 5 g/L higher than 10 g/L. However, *Trichoderma* suspension with Ca_2SiO_4 increased percentage of colonization root of seedling 37.5-50% compared with control. 2) The effect *Trichoderma* with Ca_2SiO_4 to control stem rotten causes by *Sclerotium* in green house experiments. The experiment was 4 treatments control (T1), planting media combined *Trichoderma* 1 kg/100 kg planting media (T2), planting media combined *Trichoderma* 1 kg/100 kg planting media with Ca_2SiO_4 20 kg/rai (T3) and planting media combined Ca_2SiO_4 20 kg/rai (T4). The results showed *Trichoderma* 1 kg/100 kg planting media with Ca_2SiO_4 at 20 kg/rai gave 40% survival seedling rate compared with control. In addition it was found that *Trichoderma* populations 1.23×10^6 CFU/ g soil around root survival seedling after treated with *Sclerotium*.

Keywords: *Trichoderma*, *Sclerotium*, Silicon, Germination, Pepper Seedling

บทนำ

พริก (*Capsicum annuum*) เป็นพืชเศรษฐกิจ มีการบริโภคทั้งในประเทศและส่งออก โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2556-2558 มีแนวโน้มผลผลิตสูงขึ้นตามลำดับ [1] พริกที่นิยมปลูก เช่น พริกชี้ฟ้า พริกขี้หนูและพริกหวาน [2] เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประกอบอาหารทั้งในรูปแบบพริกสด พริกแห้ง และการแปรรูป เช่น ซอสพริก น้ำพริก เครื่องแกงและพริกน้ำจิ้ม พริกมีปัญหาเรื่องโรคระบาดและศัตรูพืชหลายชนิด โดยเฉพาะโรคโคนเน่า ที่เกิดจากเชื้อราสเคลอโรเทียม (*Sclerotium rolfii* Sacc.) ซึ่งมีอาการโคนต้นเน่าเป็นสีน้ำตาล บริเวณพื้นดินใกล้โคนต้นมีเส้นใยสีขาว ขนาดเท่าเมล็ดผักกาด ต้นที่โรคเข้าทำลาย แสดงอาการใบเหลือง และเหี่ยวตายในที่สุด ในปัจจุบันการบูรณาการการจัดการธาตุอาหารและชีววิธี สามารถนำมาใช้เพื่อลดปัญหาของโรคพืช [3] โดยเฉพาะการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*T. asperellum* CB-Pin-01) สามารถเข้าทำลายเส้นใยของเชื้อราสเคลอโรเทียม [4-5] เช่นเดียวกับ ในพริกมีรายงานว่าสารทุติยภูมิของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในกลุ่ม trichothecens, cyclic peptides และ isocyanide สามารถยับยั้งยับยั้งเชื้อราสเคลอโรเทียม และลดอาการของโรคโคนเน่าได้ [6] นอกจากนั้นยังเพิ่มความทนในเมล็ดแดงไทย [7] และเมล็ดพริก [8] นอกจากการประยุกต์ใช้ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ ยังช่วยให้พืชเจริญเติบโตเสริมสร้างความแข็งแรงต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง โดยเฉพาะซิลิกอน [9] ที่มีบทบาทช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช การบรรเทาความเครียดจากปัจจัยชีวณะ (Biotic Stress) และปัจจัยชีวณะ (Abiotic Stress) ช่วยให้เซลล์พืชมีความแข็งแรงและมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและแมลงศัตรูพืชต่างๆ มีรายงานว่า การใช้ซิลิกอน ช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อราแป้ง *Sphaerotheca* spp. ในใบแตงกวา [10] และช่วยลดการเกิดโรคราสนิทในใบถั่วเหลือง จากเชื้อรา *Phakopsora pachyrhizi* ถึง 15% เทียบจากค่าควบคุม [11] นอกจากนี้ยังช่วยลดการเข้าทำลายของเพลี้ยไฟในพริก [12] ดังนั้น จึงสนใจศึกษาผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกตต่อการงอกของเมล็ดพริก รวมถึงการเข้าทำลายของเชื้อราสเคลอโรเทียม ในต้นกล้าพริกบางช้าง ในสภาพโรงเรือน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกต/การงอกของเมล็ด พริกมันบางช้าง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยนำเมล็ดพริกมันบางช้าง จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มาเพาะเมล็ดด้วยวิธีแบบ top of paper โดยใช้กระดาษเพาะ 2 ชั้น วางในกล่อง กล่องละ 50 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ/ซ้ำรับ โดยมี ดำรับการทดลองดังนี้ ดำรับที่ 1 เมล็ดแช่น้ำเปล่า (ควบคุม) ดำรับที่ 2 แช่เมล็ดในเชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดผสมน้ำ อัตรา 5 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 3 ที่ 10 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 4 แช่เชื้อราไตรโคเดอร์มา ชนิดผสมน้ำอัตรา 5 กรัม/ลิตร และให้ สารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 5 แช่เชื้อราไตรโคเดอร์มา ชนิดผสมน้ำอัตรา 10 กรัม/ลิตรและเพาะลงใน กล่องเพาะที่ให้สารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตร ดำรับที่ 6 เมล็ดแช่น้ำเปล่าและให้สารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตร โดยนำเมล็ดพริกแช่น้ำเปล่า และสารละลายแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในอัตราต่างๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไป เพาะในกล่อง โดยในดำรับการทดลองที่ 5 และ 6 ใช้สารละลายแคลเซียมซลิเกตที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร แคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตรช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดพริกหวานได้ดี [13] บันทึกผลการทดลองโดยนับจำนวนเมล็ดที่งอกภายในแต่ละวัน เป็นเวลา 14 วัน และจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ ในแต่ละวันเพื่อคำนวณดัชนีการงอก (Germination Index; GI) [13] ตรวจนับวันที่ 7 และ 14 หลังเพาะเมล็ดเพื่อคำนวณหาระยะเวลาในการเกิดราก (Day to Emergence; DTE) [14] หลังจากนั้นคำนวณหาค่าความงอกมาตรฐาน (Germination Percentage; GP) [13] รวมถึงเปอร์เซ็นต์ครอบครองเขตอิทธิพล รอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มา โดยนำชิ้นส่วนของรากจากต้นกล้าที่เพาะไว้ที่ยาวมากกว่า 2 เซนติเมตร ล้างด้วยน้ำสะอาด ต่อมาแช่น้ำยาฆ่าเชื้อ (10 % โซเดียมไฮเปอร์คลอไรท์) เป็นเวลา 5 นาทีล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 3 ครั้งและนำชิ้นส่วนราก ชั้บในกระดาษปลอดเชื้อให้แห้ง หลังจากนั้นวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Martin's medium เป็นเวลา 7 วัน และทำการคิด เปอร์เซ็นต์ครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากโดยแต่ละดำรับมี 4 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำจะใช้รากจากต้นกล้าที่มีความยาว และขนาด ใกล้เคียงกันจำนวน 4 ราก แต่ละรากคิดเป็น 25 %ของการครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากหากมีการปรากฏของเชื้อราไตรโคเดอร์มา รอบราก หลังจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

การทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกตในการควบคุมโรคโคนเน่าของพริก จากเชื้อราสเคลอโรเทียม ในโรงเรือน

เตรียมเชื้อราสเคลอโรเทียมโดยนำส่วนปลายของเส้นใยเชื้อราสเคลอโรเทียม วางบนอาหาร potato dextrose agar ในจานเลี้ยงเชื้อ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นใช้ cock borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะขึ้น วุนบริเวณขอบโคโลนี 5 ชั้น ใส่ในข้าวเปลือกคั่วสุกที่บรรจุถุงพลาสติก 150 กรัม/ถุง ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว จำนวน 20 ถุง ต่อมาทำการบ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-5 วัน การเตรียม ต้นกล้า โดยเฉพาะเมล็ดพริกมันบางช้าง ตามดำรับที่ 2 จากการทดลองที่ 1 คือ แช่เมล็ดพริกในสารแขวนลอยเชื้อรา ไตรโคเดอร์มาที่ 5 กรัม/ลิตรเพาะลงในถาดเพาะจนมีใบจริง 6 ใบ ย้ายลงกระถาง 6 นิ้ว ดำรับละ 10 กระถาง โดยมีดำรับการ ทดลองดังนี้ T1 ดำรับควบคุม (ไม่มีการให้เชื้อราสเคลอโรเทียม) T2 วัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว T3 วัสดุปลูกผสมเชื้อราไตรโคเดอร์ มาอัตราส่วน 1 กก./100 กก. วัสดุปลูก T4 วัสดุปลูกผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กก./100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 20 กก./ไร่ T5 วัสดุปลูกผสมแคลเซียมซลิเกต 20 กก./ไร่ โดยใน T3 และ T4 ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา หลังจากนั้นนำ เชื้อราสเคลอโรเทียม ที่เจริญเต็มที่บนข้าวเปลือก ผสมลงในวัสดุปลูกแต่ละกระถาง 10 กรัม ใน T2, T3, T4 และ T5 คลุกเคล้าให้เข้ากับวัสดุปลูก ต่อมาทำการตรวจผลหลังจากปลูกเชื้อราสเคลอโรเทียม 7 วัน [15] โดยนับจำนวนต้นพริกที่ เี่ยว และ/หรือ ตาย ในแต่ละดำรับการทดลอง การตรวจนับประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในดินหลังการทดลอง 7 วัน รวม ดินจากชำต้นกล้าพริกที่รอดตายในดำรับที่ 2 และ 3 แล้วทำการสุ่มตัวอย่างดินทดสอบมาชั่ง 1 กรัม ผสมกับน้ำยาฆ่าเชื้อ 9 มิลลิกรัมในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 rpm ก่อนนำไปทำให้เจือจาง

ตามลำดับ โดยการดูดสารดินแขวนลอย 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ 9 มิลลิลิตร คูนน้ำแขวนที่เจือจาง 10^{-4} แล้วจึงจุดมาจำนวน 0.1 มิลลิลิตรหยด และเกลี่ยบนอาหาร Martin's medium บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน แล้วทำการตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนอาหาร และการครอบครองเขตอิทธิพลรอบราก

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกตต่อการงอกของเมล็ดพริกมันบางช้าง

ผลการศึกษาระยะเวลาการเกิดรากของเมล็ดพริกมันบางช้างที่แช่ในสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา และสารละลายแคลเซียมซลิเกต พบว่าเมล็ดพริกที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา กระตุ้นระยะเวลาการเกิดรากได้ไม่แตกต่างจากตัวรับควบคุม ในขณะที่เมล็ดพริกที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มาพร้อมกับแคลเซียมซลิเกต ต้องใช้ระยะเวลาการเกิดรากนานกว่าตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา และตัวรับควบคุม ในขณะที่ตัวรับที่แช่ด้วยแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าจะใช้ระยะเวลาการงอกยาวนานที่สุด (ตารางที่ 1) นอกจากนี้พบว่าตัวรับควบคุมมีดัชนีการงอกสูงสุด รองลงมาพบในตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา คือ 5 และ 10 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับ สารละลายแคลเซียมซลิเกต มีดัชนีการงอกที่ลดลง และพบว่าในตัวรับควบคุมให้ความงอกมาตรฐานสูงสุด ในขณะที่ตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 5 และ 10 กรัม/ลิตร มีความงอกมาตรฐาน 81% และ 73.5% ตามลำดับ ส่วนตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 5 และ 10 กรัม/ลิตร ที่ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีความงอกมาตรฐาน 72% และ 75% และตัวรับที่แช่ด้วยสารละลายแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีความงอกมาตรฐาน 79.5%

เมื่อนำรากของต้นกล้าอายุ 14 วัน มาตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบราก พบว่าต้นกล้าพริกในตัวรับที่แช่ด้วยสารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 5 และ 10 กรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากที่ 25% และ 50% ในขณะที่ต้นกล้าที่แช่ตัวรับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 5 และ 10 กรัม/ลิตร ที่ร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากที่ 37.5% และ 50% (ภาพที่ 1) จากผลการทดลองพบว่า การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซลิเกต มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มา มากขึ้นเนื่องจากแคลเซียมที่แตกตัวจากแคลเซียมซลิเกตเมื่อละลายในน้ำ [16] มีส่วนช่วยการสร้างผนังเซลล์ และการสืบพันธุ์ของจุลินทรีย์ [17] จึงพบเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มาเพิ่มขึ้น ในตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาพร้อมกับแคลเซียมซลิเกต เมื่อเทียบกับตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ตัวรับที่ใช้ไตรโคเดอร์มา 10 กรัม/ลิตรร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 1 กรัม/ลิตรและตัวรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 10 กรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ครอบครองอิทธิพลรอบรากที่เท่ากัน เนื่องจากประชากรของเชื้อราไตรโคเดอร์มาต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น จึงเกิดการแย่งชิงอาหาร ของเสียที่ถูกปล่อยออกมา รวมถึงปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหายใจของเชื้อราไตรโคเดอร์มา เป็นตัวจำกัดปริมาณประชากรเอาไว้ในระดับหนึ่ง [18] ถึงจะมีปริมาณแคลเซียมที่ได้จากการแตกตัวของแคลเซียมซลิเกต มาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ก็ตาม

จากการทดลองพบว่าเมล็ดพริกมันบางช้างที่แช่สารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่ 5 กรัม/ลิตรมีระยะเวลาการเกิดรากที่เร็ว และดัชนีการงอกรวมถึงความงอกมาตรฐานที่ดีกว่าตัวรับที่ใช้สารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซลิเกต จึงนำเมล็ดพริกมันบางช้างแช่ในตัวรับดังกล่าวเพื่อเตรียมต้นกล้าในการทดลองต่อไป

2. ผลทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกต ในการควบคุมโรคโคนเน่าของพริกจากเชื้อราสเคลอโรเทียม ในระดับโรงเรือน

หลังจากผสมเชื้อราสเคลอโรเทียม ในวัสดุปลูกในแต่ละดำรับการทดลอง ภายใน 4 วัน พบต้นพริกมีใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเริ่มเหี่ยวลง มีบางต้นเหี่ยวตาย โดยเฉพาะในดำรับที่ใช้วัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว และในวันที่ 7 พบว่าในดำรับที่ใช้วัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว ต้นพริกตายทั้งหมด ส่วนในดำรับการทดลองที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา มีเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย 30% ต่อมาในดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกตมีเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย 40% ในขณะที่ดำรับที่มีแคลเซียมซิลิเกตพบเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย 10% (ตารางที่ 2) จากการตรวจนับประชากรของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในวัสดุปลูกหลังเสร็จสิ้นการทดลองด้วยการทำ serial dilution plate พบว่าดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบปริมาณเชื้อ 1.45×10^6 CFU/g soil ในขณะที่ดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกต พบปริมาณเชื้อ 1.23×10^6 CFU/g soil (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 2) และพบการครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากในทั้ง 2 ดำรับการทดลอง (ภาพที่ 3) ดังนั้นจากผลการทดลองการงอกของเมล็ดพริก พบว่าดำรับที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกต ช่วยให้ระยะเวลาในการเกิดราก รวมถึงความงอกมาตรฐานไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม อาจเนื่องจากเชื้อราไตรโคเดอร์มา สามารถสร้างฮอร์โมนจิบเบอเรลลินที่ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดได้ [19] และพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของเชื้อราไตรโคเดอร์มา มากขึ้น สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดได้ เพราะความเข้มข้นของสารคล้ายฮอร์โมนออกซินที่สร้างออกมาจะยับยั้งกระบวนการงอกของเมล็ด [20] สอดคล้องกับดำรับการทดลองที่ใช้สารแขวนลอยเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 10 กรัม/ลิตร มีผลต่อการงอกของเมล็ดลดลง ในขณะที่การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกต ช่วยให้ระยะเวลาการเกิดราก ดัชนีการงอก รวมถึงความงอกมาตรฐานใกล้เคียงกับการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากซิลิโคนสามารถช่วยเคลื่อนย้าย แคลเซียมเข้าสู่ต้นกล้า [21] ที่มีส่วนช่วยการงอกของเมล็ด ในขณะที่เชื้อราไตรโคเดอร์มาใช้ แคลเซียมในการเจริญเติบโตจึงช่วยปรับระดับความเข้มข้นแคลเซียมอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่เมล็ดสามารถดูดแคลเซียม รวมถึงสารต่างๆ ไปใช้ได้ในการงอก ส่วนดำรับที่เมล็ดพริกแช่ด้วยแคลเซียมซิลิเกตเพียงอย่างเดียว ซึ่งพบว่าระยะเวลาการงอกนาน และดัชนีการงอกน้อยกว่าในดำรับอื่น อาจเนื่องด้วยความเข้มข้นของแคลเซียมซิลิเกตมีผลต่อค่าความต่างศักย์ของสารละลายภายนอกสูงกว่าภายในเมล็ดจึงทำให้การดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดได้ช้ากว่าชุดควบคุม [22] และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การครอบครองเขตอิทธิพลรอบราก เมื่อมีการใช้อัตราเชื้อที่สูงขึ้น รวมถึงเมื่อใช้ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกตมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากเพิ่มมากขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นข้อดีสำหรับต้นกล้าในการเจริญเติบโตในแปลงปลูกเพราะเชื้อราไตรโคเดอร์มา ช่วยให้ต้นกล้าดูดซึมธาตุอาหาร เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม และ ฟอสฟอรัส [23] รวมถึงป้องกันการเข้าทำลายเชื้อโรคในดิน ในการทดลองการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกต เพื่อการควบคุมโรคโคนเน่าของพริกจากเชื้อราสเคลอโรเทียม ในระดับโรงเรือน พบในดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซิลิเกตในวัสดุปลูก มีเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้ามากที่สุดในการทดลอง รองลงมาคือดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา และดำรับที่มีแคลเซียมซิลิเกตเพียงอย่างเดียวในวัสดุปลูก (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่สามารถแก่งแย่งครอบครองพื้นที่ได้ได้เร็ว รวด รวมถึงเป็นปรปักษ์กับเชื้อสาเหตุเกิดโรค โดยการเจริญเข้าทำลายเส้นใยเชื้อราสเคลอโรเทียม โดยตรง และการทำลายเมือกสเคลอโรเทียม [24] ในขณะที่แคลเซียมซิลิเกตสามารถช่วยให้พืชทนต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรค โดยซิลิโคนกระตุ้นกระบวนการ Induced Systemic Resistance (ISR) ในพืช และช่วยให้พืชมีการสร้าง oxidation enzyme รวมถึงส่งเสริมให้ผนังเซลล์ของพืชหนาขึ้นเหมือนกับคุณสมบัติของแคลเซียม [25] เมื่อมีการให้ซิลิโคนทางดินจะสะสมตัวในรากได้ดีกว่าส่วนอื่น [26] ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับรากโดยเพิ่มมวลชีวภาพ ขนาราก จำนวนรากแขนงและผนังเซลล์หนาขึ้นเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อโรคบริเวณรากได้

ดีกว่าทางลำต้น แสดงให้เห็นว่าทั้งประสิทธิภาพของเชื้อรา ไตรโคเดอร์มา และแคลเซียมซิลิเกต มีบทบาทส่งเสริมการงอก และการยับยั้งการเข้าทำลายเชื้อราสเคลอโรเทียม

สรุปผล

การแช่เมล็ดพริกมันบางช่วงในตำรับที่มีสารแขวนลอยเชื้อรา *T. harzianum* ที่ 5 กรัม/ลิตร ช่วยให้ระยะเวลาในการเกิดรากเร็วขึ้น รวมถึงเพิ่มดัชนีการงอกมากกว่าการแช่เมล็ดพริกมันบางช่วงในสารแขวนลอยเชื้อรา *T. harzianum* ที่ 10 กรัม/ลิตร ขณะที่การผสมเชื้อรา *T. harzianum* อัตราส่วน 1 กก./100 กก. วัสดุปลูกร่วมกับแคลเซียมซิลิเกต อัตรา 20 กก./ไร่ ช่วยให้ต้นกล้าพริกมีเปอร์เซ็นต์การรอดจากการเข้าทำลายของ *S. rolfii* จากสาเหตุโรคเน่าระดับดิน ได้มากกว่าการใช้เชื้อรา *T. harzianum* หรือแคลเซียมซิลิเกตเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 1 ผลของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับสารละลายแคลเซียมซิลิเกตต่อ ระยะเวลาในการเกิดราก (DTE) ดัชนีการงอก (GI) ค่าความงอกมาตรฐาน (GP) ของเมล็ดพริกมันบางช่วง และเปอร์เซ็นต์การรอดของเขตอิทธิพลรอบรากของเชื้อรา ไตรโคเดอร์มาต้นกล้าพริกที่อายุ 14 วัน

ตำรับ	DTE (day)	GI	GP (%)	% colonization root seedling
Control (T1)	3.08 ^b	6.00 ^a	83.00 ^a	0.0
<i>Trichoderma</i> 5 gL ⁻¹ (T2)	3.67 ^{ab}	4.49 ^b	81.00 ^{ab}	25.0
<i>Trichoderma</i> 10 gL ⁻¹ (T3)	3.95 ^{ab}	4.23 ^b	73.50 ^{ab}	50.0
<i>Trichoderma</i> 5 gL ⁻¹ + Ca ₂ SiO ₄ 1 mgL ⁻¹ (T4)	3.84 ^{ab}	4.18 ^b	72.00 ^b	37.5
<i>Trichoderma</i> 10 gL ⁻¹ + Ca ₂ SiO ₄ 1 mgL ⁻¹ (T5)	4.52 ^a	3.05 ^c	75.00 ^{ab}	50.0
Ca ₂ SiO ₄ 1 mgL ⁻¹ (T6)	4.64 ^a	3.05 ^c	79.50 ^{ab}	0.0
F-test	**	**	**	-
C.V. (%)	17.36	7.09	6.19	-

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี LSD

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

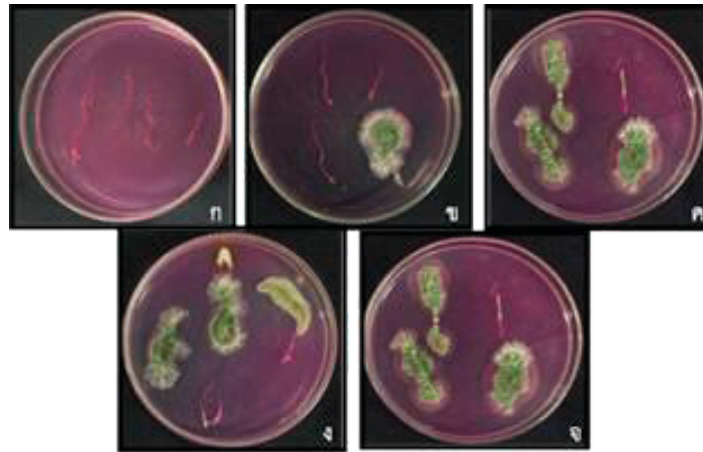
^{a, b, c} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้าพริกมันบางช่วง 7 วันหลังปลูก และจำนวนประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มาหลังเสร็จสิ้นการทดลอง

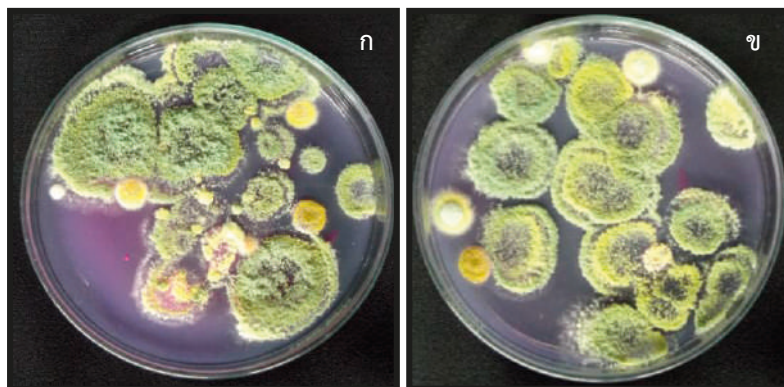
ตำรับ	ต้นที่รอดตาย ^{1/}	ประชากรเชื้อราไตรโคเดอร์มา CFU/g soil ^{2/}
T1 Control	80	-
T2 <i>Sclerotium</i>	0	-
T3 <i>Trichoderma</i> + <i>Sclerotium</i>	30	1.45 x 10 ⁶
T4 <i>Trichoderma</i> + <i>Sclerotium</i> + Ca ₂ SiO ₄	40	1.23 x 10 ⁶
T5 <i>Sclerotium</i> + Ca ₂ SiO ₄	10	-

^{1/} เปอร์เซ็นต์การรอดตาย 7 วันหลังปลูกในดินมีเชื้อราสเคลอโรเทียม โดยคำนวณเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การรอดตายในตำรับซึ่งไม่ได้ใส่เชื้อราสเคลอโรเทียม และเชื้อทดสอบ

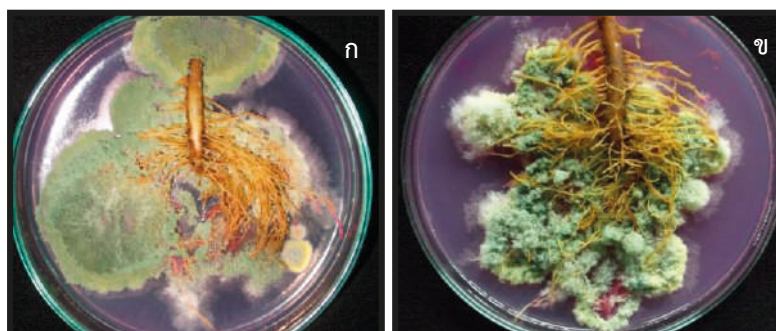
^{2/} ประชากรของเชื้อราไตรโคเดอร์มา 7 วันหลังปลูก บนอาหาร Martin's medium ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม



ภาพที่ 1 การเข้าครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากของเชื้อรา *T. harzianum* ในรากต้นกล้วยที่ปักชำ 14 วันหลังเพาะ โดย ก. ดำรับควบคุม ข. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 5 กรัม/ลิตร ค. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 10 กรัม/ลิตร ง. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 5 กรัม/ลิตร ร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร จ. ดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* 10 กรัม/ลิตร ร่วมกับแคลเซียมซลิเกต 1 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 2 โคโลนีของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุปลูกหลังเสร็จสิ้นการทดลองด้วยการทำ serial dilution plate โดย ก. คือดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* ผสมกับวัสดุปลูก ข. คือดำรับที่มีเชื้อรา *T. harzianum* ร่วมกับแคลเซียมซลิเกตผสมในวัสดุปลูก



ภาพที่ 3 การครอบครองเขตอิทธิพลรอบรากของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในรากต้นกล้วยที่ปักชำหลังจากเพาะเชื้อรา สเคลอโรเทียม 7 วัน โดย ก. คือดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา เพียงอย่างเดียวผสมในวัสดุปลูก และ ข. คือดำรับที่มีเชื้อราไตรโคเดอร์มา ร่วมกับแคลเซียมซลิเกตผสมในวัสดุปลูก

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. (2559). **พริกใหญ่แห่ง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก www.oae.go.th.
- [2] ชำรง เครือชุมพล. (2552). **พริก** (ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์เกษตรสยามบุ๊คส์. กรุงเทพฯ.
- [3] Mahon, M. (2011). **Plant Science: Growth, Development and Utilization of Cultivated Plants**. Prentice Hall, UK.
- [4] Chet, E.Y. and Katan, J. (1980). “*Trichoderma harzianum*: A biocontrol agent effective against *Sclerotium rolfsii* and *Rhizocionia solani*”, **Phytopathology**. 70, 119-121.
- [5] Amin, F., Razdan, V.K., Mohiddin, F.A., Bhat, K.A. and Sheikh, P.A. (2010). “Effect of volatile metabolites of *Thichoderma* species against seven fungal plant pathogens in-vitro”, **Journal of Phytology**. 2(10), 34-37.
- [6] มณจันทร์ เมฆธน. (2547). “การทดลองใช้เชื้อรา *Trichoderma harzianum* rifai (AP-001) ในการป้องกันกำจัดโรครากเน่าและโคนเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* Sacc. ที่ทำลายพริกชี้ฟ้าในแปลงเกษตรกร”, **วารสารวิทยาศาสตร์ มก.22**, 49-56.
- [7] Kaveh, H., Jartoodeh, S.V., Aruee, H. and Mazhabi, M. (2011). “Would trichoderma affect seed germination and seedling quality of two muskmelon cultivars, Khatooni and Qasri and increase their transplanting success”, **Journal of Environmental Sciences**. 5(15), 169-175.
- [8] Asaduzzaman, M., Alam, M.J. and Islam, M.M. (2010). “Effect of trichoderma on seed germination and seedling parameters of chili”, **Journal of Science Foundation**. 8(1), 141-150.
- [9] ยงยุทธ โอสดสภา. 2552. **ธาตุอาหารพืช**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] Wolff, S.A., Karoliussen, I., Rohloff, J. and Strimbeck, R. (2012). “Foliar applications of silicon fertilizers inhibit powdery mildew development in greenhouse cucumber”, **Journal of Food, Agriculture and Environment**. 10(1), 355-359.
- [11] Arsenault-Labrecque, G., Menzies, J.G., and Bélanger, R.R. (2012). “Effect of silicon absorption on soybean resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in different cultivars”, **Plant Disease**. 96(1), 37-42.
- [12] Dogramaci, M., Arthurs, S.P., Chen, J. and Osborne, L. (2013). “Silicon applications have minimal effects on *Scirtothrips dprsalis* (Thysanoptera: Thripidae) populations on pepper plant, *Capsicum annum L.*”, **Florida Entomologist**. 96(1), 48-54.
- [13] กุลินดา แก่นจันทร์. (2558). **การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมซิลิเกตร่วมกับสภาวะการขาดธาตุหลักและสังกะสีในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของพริกหวาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [14] ISTA. (2013). **International Rules for Seed Testing**. The International Seed Testing Association. Switzerland.
- [15] Dhillon, N.P.S. (1995). “Seed priming of male sterile muskmelon (*Cucumis melo L.*)”, **Seed Science and Technology**. 23, 881-884.
- [16] จิรธสา มีกลิ่นหอม. (2543). **ประสิทธิภาพของสารชีวภาพ ในการควบคุมโรคเหี่ยวของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *Ralstonia solanacearum***. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [17] Marafon, A.C. and Endres, L. (2013). “Silicon:fertilization and nutrition in higher plants”, **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**. 56 (4), 380-388.

- [18] Kenneth, T. (2000). **Nutrition and Growth of Bacteria** (online). Retrieved 17 December 2016, from <http://lecturer.ukdw.ac.id/dhira/NutritionGrowth/introduction.html>.
- [19] Marois, J. and Locke, J. (1985). "Population dynamics of *Trichoderma viride* in steamed plant growth medium", **Phytopathology**. 75(1), 115-118.
- [20] Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I. and Monte, E. (2012). "Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes", **Microbiology**. 158, 17-25.
- [21] Hajieghrari, B. (2010). "Effects of some iranian *Trichoderma* isolates on maize seed germination and seedling vigor", **African Journal of Biotechnology**. 9(28), 4342-4347.
- [22] Heckman, J. (2013). "Silicon: A beneficial substance", **Better Crops**. 93(4), 14-16.
- [23] วันชัย จันทร์ประเสริฐ. (2553). **สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [24] Azarmi, R., Hajieghrari, B. and Giglou, A. (2011). "Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake", **Journal of Biotechnology**. 10(31), 5850-5855.
- [25] ชมพูนุช บุญราชแขวง. (2550). **สารทุติยภูมิจากเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ที่เจริญในอาหารเหลวและอาหารแข็ง ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของผลพริก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [26] Cai, K., Gao, D. Chen, J. and Luo, S. (2009). "Probing the mechanisms of silicon-mediated pathogen resistance", **Plant Signaling & Behavior**. 4(1), 4-42.

ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับเชื้อ *Bacillus subtilis* ต่อการเจริญเติบโต และการยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ

The Effect of Slow - Release Nitrogen Fertilizer with *Bacillus subtilis* on Growth and Inhibition of Soil Borne Disease in Tomato Seedling

นริศรา จำปา¹ ธงชัย มาลา² ศุภชัย อัมภา³ และกนกกร สินมา^{4*}

Naritsara Champa¹, Thongchai Mala², Suphachai Amkha³ and Kanokkorn Sinma^{4*}

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า (11-48-0) ชนิดเคลือบด้วย *Bacillus subtilis* (BS) ต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่าจาก *Sclerotium rolfsii* และ *Rhizoctonia solani* ในห้องปฏิบัติการ โดยตรวจวัดการเจริญของเชื้อราโรคพืช เทียบกับค่าควบคุมเมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน *B. subtilis* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfsii* และ *R. solani* ได้ 56.33 และ 63.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าควบคุม การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS ต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งการเกิดโรคโคนเน่าในกล้ามะเขือเทศ วางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 12 ซ้ำ และ 6 ดำรับการทดลอง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าควบคุมและค่าที่ใส่ปุ๋ยเคลือบด้วย BS ต้นมะเขือเทศมีความสูง น้ำหนักสดต้น รากและความยาวรากสูงกว่าในค่าที่ใส่เชื้อ *S. rolfsii* และเชื้อ *R. solani* ร่วมด้วย โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS มีประสิทธิภาพดีในการควบคุมโรคโคนเน่าที่มีสาเหตุมาจากเชื้อ *S. rolfsii* และเชื้อ *R. solani* ในมะเขือเทศในระยะกล้า

คำสำคัญ: ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า *Bacillus subtilis* *Sclerotium rolfsii* *Rhizoctonia solani* มะเขือเทศ

Abstract

The purpose of this study was to investigate the efficiency of slow-release nitrogen (N) fertilizer (11-48-0) with *Bacillus subtilis* (BS) on growth and inhibition of soil borne disease in tomato. This study was divided into two experiments. Experiment 1, effect of slow-release N fertilizer with BS was inhibited of rotten stem of tomato caused by *Sclerotium rolfsii*

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการจัดการดิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² รศ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

³ ศศ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

⁴ อ.ดร., ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Master Student, Major of Soil Science and Management Technology, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

² Assoc. Prof. Dr., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

³ Asst. Prof. Dr., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

⁴ Dr., Department of Soil Science, Kasetsart University, Faculty of Agriculture at KamphaengSaen, Nakhon Pathom, 73140

* Corresponding author: Tel.: 0343514893. E-mail address: fagrks@ku.ac.th

and *Rhizoctonia solani* in laboratory. The data collection inhibited of disease percentage on 7 day. The results shown that the slow-release N fertilizer with BS could be inhibited mycelial growth and over grew the colony of *S. rolfii* and *R. solani* were 56.33 and 63.33 percent, respectively. Experiment 2, effect of slow-release N fertilizer with BS was enhanced growth and inhibited of rotten stem in tomato seedling. The experimental design used Completely Randomized Design (CRD) with 12 replications and 6 treatments. The results showed that non- fertilizer (control) and fertilizer+BS application treatments gave the plant height, plant weight, root weight and root length higher than *S. rolfii* and *R. solani* application treatments. By the time, applying slow-release nitrogen (N) fertilizer with BS reduced the percentage of *S. rolfii* and *R. solani* infected in tomato seedlings.

Keywords: Slow-Released Fertilizer, *Bacillus subtilis*, *Sclerotium rolfii*, *Rhizoctonia solani*, Tomato

บทนำ

มะเขือเทศ (Tomato: *Lycopersicon esculentum* Mill, วงศ์ Solanaceae) เป็นพืชที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การควบคุมโรคทั้งในระยะกล้าจนกระทั่งเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตมะเขือเทศโดยแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาได้แก่ภาคเหนือ โดยมีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศทั่วประเทศประมาณ 34,903 ไร่ ในปี 2558 [1] และมีมูลค่าการส่งออก 281.05 ล้านบาท [2] ปัจจุบันโรคโคนเน่าที่เกิดจากเชื้อราทางดินนั้นเป็นโรคที่มีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายในทุกระยะการเติบโตของมะเขือเทศ ตั้งแต่เริ่มเพาะกล้าไปจนระยะให้ผลผลิต พืชที่แสดงอาการเน่าคอดิน คือโคนต้นเน่าช้า ต้นกล้าหักพับและแห้งตายอย่างรวดเร็ว [3] เชื้อราสาเหตุโรคที่สำคัญคือ *S. rolfii* และ *R. solani* ซึ่งแพร่ระบาดก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตอย่างมาก [4] การระบาดของโรคในพืชวงศ์ Solanaceae ซึ่งส่วนใหญ่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมพืชของประเทศไทย เช่นพริกและมะเขือเทศ เป็นต้น

ปัจจุบันพบว่าทำให้ปุ๋ยอย่างเหมาะสมร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการควบคุมโรคด้วยและช่วยส่งเสริมการต้านทานโรคแก่พืช โดยปุ๋ยละลายช้าเป็นปุ๋ยที่สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาทีละน้อย อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานาน อีกทั้งยังสามารถลดการสูญเสียธาตุอาหาร ลดการไหม้ของต้นกล้า ลดค่าใช้จ่ายด้านของแรงงานและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช [5] เมื่อใช้ร่วมกับ *B. subtilis* ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของราก่อโรคจะสามารถส่งเสริมการเจริญและควบคุมโรคได้ไปพร้อมๆกัน การวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยละลายช้าชนิดเคลือบด้วย *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศและการยับยั้งโรคเน่าคอดินที่เกิดจาก *S. rolfii* และ *R. solani* ในระยะกล้า เพื่อการผลิตพืชอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดอัตราการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. การศึกษาประสิทธิภาพผลของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani*

แยกเชื้อ *B. subtilis* จากปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า (Compo Expert Germany) ด้วยอาหาร Nutrient Glucose Agar (NGA) จนได้เชื้อบริสุทธิ์และทดสอบด้วยวิธี Dual Culture ใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ปราศจากเชื้อ และโคโลนีเดี่ยวของ *B. subtilis* อายุ 24-48 ชั่วโมงที่เจริญบนอาหาร NGA ขีดเป็นแนวตรงยาว 3 เซนติเมตรลงอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จนเชื้อเจริญเต็มที่หลังจากนั้นเพาะเชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* อายุ 7 วัน โดยใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร เจาะขึ้นรู้นบริเวณปลายเส้นใย (Hyphal Tip Growth) ย้ายลงวางบนอาหาร PDA ที่ได้เพาะเชื้อแบคทีเรียลงไปก่อนแล้ว โดยให้ตำแหน่งการวางเชื้อมีระยะห่างกัน 6 เซนติเมตร บ่มจนเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองจำนวน 4 ดำรับการทดลอง ดำรับการทดลองละ 5 ซ้ำดังนี้

ตำรับที่ 1 เชื้อรา *S. rolfii* เพียงชนิดเดียว (ตำรับควบคุม)

ตำรับที่ 2 เชื้อรา *R. solani* เพียงชนิดเดียว (ตำรับควบคุม)

ตำรับที่ 3 เชื้อ *B. subtilis* ร่วมกับเชื้อรา *S. rolfii*

ตำรับที่ 4 เชื้อ *B. subtilis* ร่วมกับเชื้อรา *R. solani*

ตรวจวัดการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืช โดยวัดรัศมีของเส้นใยจากจุดกลางขึ้นขึ้นไปในแนวตั้งฉากกับจุดโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย หลังบ่มเชื้อครบ 7 วัน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (Percent Inhibition of Radial Growth) ของเชื้อราสาเหตุโรค เปรียบเทียบกับการเจริญในชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเชื้อแบคทีเรียทดสอบ ดังนี้

$$\text{การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา} = \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1} \right) \times 100$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าเฉลี่ยของรัศมีของเส้นใยเชื้อราในงานเลี้ยงเชื้อในตำรับควบคุม

R_2 คือ ค่าเฉลี่ยของรัศมีของเส้นใยเชื้อราในงานเลี้ยงเชื้อในตำรับการทดลอง

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าชนิดเคลือบด้วยจุลินทรีย์ *B. subtilis* ต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งการเกิดโรคโคนเน่าในกล่ำมะเขือเทศ

วางแผนทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทั้งหมด 6 ตำรับการทดลอง ตำรับการทดลองละ 12 ซ้ำ ซึ่งมีตำรับการทดลอง ดังนี้

ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม ไม่ใส่ปุ๋ย

ตำรับที่ 2 ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง

ตำรับที่ 3 เชื้อ *S. rolfii* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง เพียงอย่างเดียว

ตำรับที่ 4 ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง และ เชื้อ *S. rolfii* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง

ตำรับที่ 5 เชื้อ *R. solani* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง เพียงอย่างเดียว

ตำรับที่ 6 ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง และ เชื้อ *R. solani* อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง

ฆ่าเชื้อผิวเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์ 4 ตามวิธีของ Murashige และ Skoog [6] โดยล้างผิวเมล็ดด้วย 95% เอทานอล เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง แช่ 1% Hypochloride เป็นเวลา 20 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง แช่เมล็ดไว้ในน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 1 คืน จากนั้นจึงนำมาแช่ใน 1 % Hypochloride 5 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ใช้กระดาษทิชชูแห้งฆ่าเชื้อซับให้แห้งและนำไปเพาะต่อไป เตรียมกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูก (พีทมอส) ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา 0.03 กรัม/กระถาง

เตรียมหัวเชื้อราโดยปรับปรุงจาก [7] ดังนี้ ต้มเมล็ดข้าวฟ่างในน้ำเดือด เป็นเวลานานประมาณ 20-30 นาที หรือเมล็ดข้าวฟ่างเริ่มปริแตกเล็กน้อย ผึ่งเมล็ดข้าวฟ่างบนตะแกรงเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินออก จากนั้นบรรจุในถุงพลาสติก ขนาด 12x18 นิ้ว ปริมาณ 50 กรัม/ถุง แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที ปลอ่ยทิ้งไว้ให้เย็น เพาะเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* อายุ 3-4 วัน โดยใช้ cork borer เจาะขึ้นรู้นบริเวณปลายเส้นใย (Hyphal Tip Growth) ย้ายลงไปถุงข้าวฟ่างที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ก่อนจะนำไปใช้ฝังให้แห้งในที่ร่มและเก็บเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้

การใส่เชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* ที่เจริญบนเมล็ดข้าวฟ่างที่เตรียมโดยตัดแปลงจากวิธีของสมภพ [8] ในอัตรา 0.5 กรัม/กระถาง เมื่อกล้าอายุ 21 วัน โดยใส่เชื้อที่ความลึกประมาณ 1-2 เซนติเมตร และอย่าให้ดินโคนต้นกล้า กลบเล็กน้อย บันทึกรวมเมื่อต้นกล้าอายุ 35 วัน หลังเพาะเมล็ดวัดความสูงของต้นกล้า โดยวัดจากโคนต้นขึ้นมา 1 เซนติเมตร จนถึง ส่วนข้อบนสุดของต้นกล้า [8] น้ำหนักสดของส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดรากและนำมาวัดความยาวราก การเกิดโรคโดยตรวจนับ จำนวนต้นกล้าที่รอดชีวิตในแต่ละการทดลอง หลังจากใส่เชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* เป็นเวลา 14 วัน และคำนวณ เปอร์เซ็นต์ต้นรอดชีวิต ดังสมการ

$$\text{การคำนวณเปอร์เซ็นต์ต้นรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนต้นที่รอดชีวิต} \times 100}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}}$$

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อหาค่า P-value หากข้อมูลแสดงความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลตามวิธีการของ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

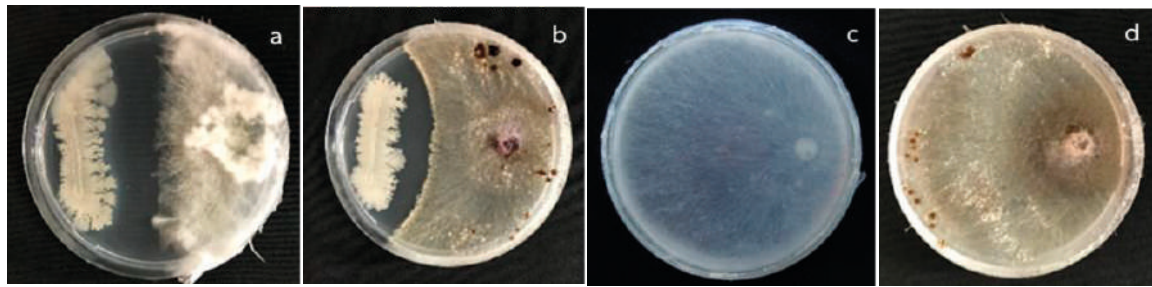
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพผลของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani*

จากการทดสอบประสิทธิภาพของ *B. subtilis* ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* บนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน (ภาพที่ 1) พบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของราทั้งสองชนิด โดย เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* ในลำดับที่ 3 และ 4 คือ 56.33 และ 63.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับลำดับที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นลำดับควบคุมที่มีเชื้อราเจริญเพียงชนิดเดียว (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับวรรณวิไลและจิระเดช [9] ที่ได้คัดเลือกแบคทีเรียที่ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Alternaria brassicicola* โดยมีกลไกการยับยั้ง 2 รูปแบบ คือการสร้างปฏิชีวนะสารออกมายับยั้งการเจริญทำให้เกิดบริเวณยับยั้งและของแบคทีเรียการเจริญอย่างรวดเร็วทำให้เชื้อ *A. brassicicola* เจริญได้น้อยไม่สามารถแข่งขันได้ ทั้งยังพบว่าการใช้เชื้อ *Bacillus* sp. BB165 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง [10-11] อีกทั้ง *Bacillus* sp. BPR7 สามารถผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ เช่น Laminarinase, Cellulase, HCN และ Siderophore ได้ เป็นต้น

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพผลของเชื้อ *B. subtilis* ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* ในสภาพห้องปฏิบัติการ

ลำดับ การทดลอง	7 วันหลังจากใส่เชื้อราสาเหตุโรคการยับยั้ง การเจริญของเส้นใยเชื้อรา (%)
1	0.00
2	0.00
3	56.33 ± 6.35
4	63.33 ± 8.50

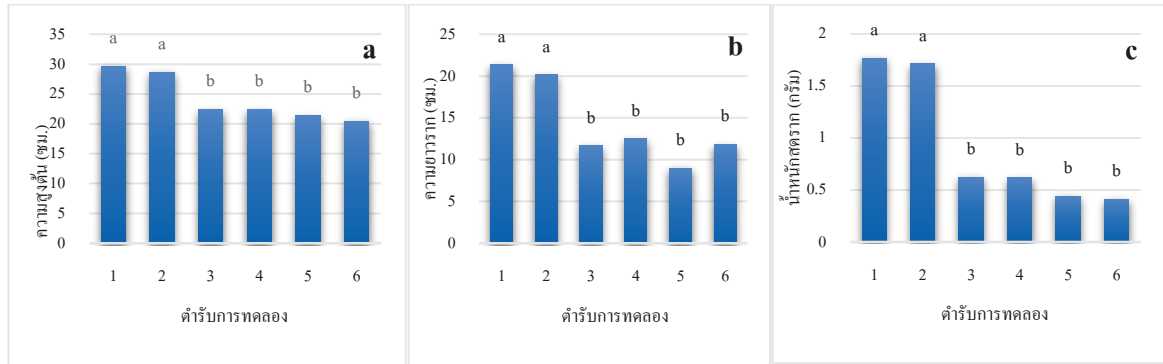


ภาพที่ 1 การยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรคโคนเน่า *S. rolfsii* (a) และ *R. solani* (b) เมื่อเพาะเลี้ยงร่วมกับ *B. subtilis* ด้วยวิธี Dual culture บนอาหาร PDA เปรียบเทียบการเจริญในคำรับควบคุมที่มี *S. rolfsii* (c) และ *R. solani* (d) เจริญเพียงอย่างเดียว (เชื้อรา *S. rolfsii* และ *R. solani* อยู่ทางขวามือ และเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์อยู่ทางซ้ายมือ)

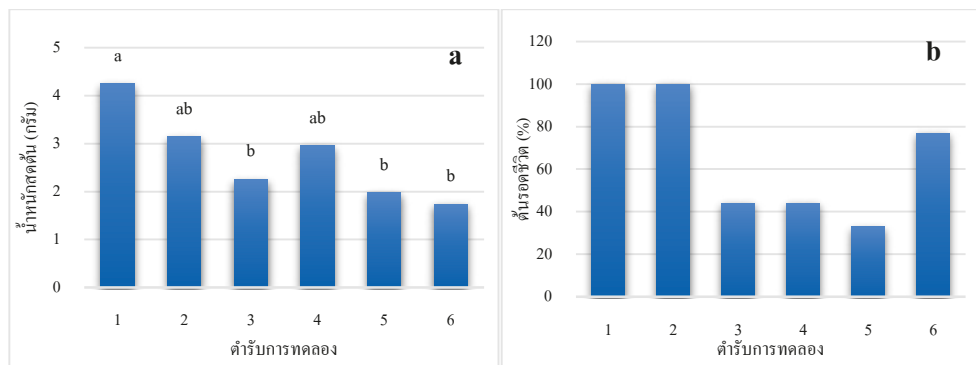
2. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าร่วมกับเชื้อ *B. Subtilis* ต่อการเจริญเติบโต และยับยั้งการเกิดโรคโคนเน่าในกล้ามะเขือเทศ

จากผลการทดลองเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการพบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของรา
 ก่อโรคทั้ง 2 ชนิด จึงได้ทดลองศึกษาผลของปุ๋ยชนิดนี้ในกล้ามะเขือเทศ โดยใช้ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS อัตรา
 0.03 กรัม/กระถาง พบว่ามีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าด้านความสูงต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากของกล้า
 มะเขือเทศมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99% (ภาพที่ 2) คือมีค่าสูงที่สุดในคำรับที่ 1 และ 2 ที่ไม่มีการ
 ใส่เชื้อราก่อโรสดังแสดงใน ภาพที่ 2 a b และ c มีความสูงต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดรากสูงกว่าในคำรับที่ใส่เชื้อรา
S. rolfsii และ *R. solani* ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าที่เคลือบด้วย BS ส่วนในคำรับที่ 3 4 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกัน
 ทางสถิติ และน้ำหนักสดต้นนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าสูงที่สุดในคำรับที่ 1 ดังแสดงใน
 ภาพที่ 3a ส่วนในคำรับที่ 3 และ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญคือในคำรับที่ 4 ที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าที่เคลือบ
 ด้วย BS สามารถให้น้ำหนักสดต้นที่สูงกว่าในคำรับที่มีการใส่เชื้อโรคเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับรายงานของสุวรรณ [12]
 ที่รายงานว่าจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่
 อาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืช (Rhizosphere) และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ซึ่ง [13-14] ได้ศึกษาผลของการใช้
B. subtilis ที่แยกได้จากชีวภัณฑ์จุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1
 และ *B. subtilis* สายพันธุ์ TU-Orga1 ที่แยกจากดินบริเวณรอบรากข้าวผสมกับเชื้อปฏิปักษ์ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโต
 ของข้าวและประสิทธิภาพในการควบคุมโรค พบว่า ความยาวราก ความยาวลำต้น น้ำหนักแห้งของข้าว ความสูงต้น จำนวนต้น
 การแตกกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง และผลผลิตเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการสร้างเอนไซม์ Glucanase
 ที่สามารถย่อยสลาย Glucans และ Chitinase ที่ย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราได้ [15]

นอกจากนี้ยังพบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของกล้ามะเขือเทศในคำรับการทดลองที่ 1 และ 2 มีต้นรอดตาย 100%
 ซึ่งสูงกว่าในคำรับการทดลองที่ 3 4 และ 5 ซึ่งมีจำนวนต้นรอดตายระหว่าง 30-59% คำรับที่ 6 มีจำนวนต้นรอดตาย 77%
 เมื่อเทียบกับคำรับควบคุมดังแสดงใน ภาพที่ 3 – b แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS มีประสิทธิภาพในการ
 ควบคุมเชื้อ *R. solani* ได้โดยทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตที่สูงกว่าในคำรับอื่นที่ใส่เชื้อราก่อโรค ซึ่ง [16]
 พบว่า *B. subtilis* ซึ่งมีคุณสมบัติในการสร้างสารปฏิชีวนะได้หลายชนิด หรือมีกลไกต่างๆ ที่ขัดขวางกลไกที่ก่อให้เกิดความ
 รุนแรงในการเกิดโรค และเนื่องจากเชื้อ *S. rolfsii* สามารถสร้าง oxalic acid [17] น้ำย่อยพวก pectin acid และ cellulolytic enzyme
 ออกมาย่อยเซลล์พืช [18] ทำให้เนื้อเยื่อที่บริเวณรอบโคนต้นและรากถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอาการเหี่ยวหรือตาย
 ถ้ามีความชื้นสูงในบริเวณแผล มักจะพบเส้นใยสีขาวเจริญอยู่ ต่อมาเกิดการสร้างเม็ดสเคลอโรเทียมที่มีทรงกลม สีขาว และ
 ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในที่สุด [19-20]



ภาพที่ 2 ความสูงของต้นกล้า (a) ความยาวราก (b) น้ำหนักสดราก (c) ในต้นกล้ามะเขือเทศ



ภาพที่ 3 น้ำหนักสดต้น (a) และเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นกล้า (b) ในต้นกล้ามะเขือเทศ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS ต่อการเจริญเติบโตและยับยั้งการเกิดโรคทางดินในกล้ามะเขือเทศ ในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* ได้ 56.33 และ 63.33% และการทดลองในระยะต้นกล้าพบว่าในด้านการทดลองที่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS แต่ไม่ได้ใส่เชื้อ *S. rolfii* และ *R. solani* มีผลทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศมีความสูง ความยาวราก น้ำหนักสดต้นและรากมากกว่าในต้นที่ใส่เชื้อราใส่เชื้อรา *S. rolfii* และ *R. solani* โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าเคลือบด้วย BS มีประสิทธิภาพดีในการควบคุมโรคโคนเน่าที่มีสาเหตุมาจาก *R. solani* ในมะเขือเทศในระยะกล้า โดยทำให้ต้นกล้ามีอัตราการรอดชีวิตสูง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน และทุนสนับสนุนจากบริษัท สหยาเคมีภัณฑ์ จำกัด และบริษัท Compo Expert Germany

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). **เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ พันธ์โรงงานและบริโภค ปี 2556-2558**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (ออนไลน์). http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577
- [2] กรมศุลกากร. (2557). **สถิติการนำเข้า-ส่งออก**. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2557, จาก <http://www.customs.go.th/Statistic/Statisticindex.jsp>.
- [3] ศศิธร วุฒินิชย์. (2549). **โรคของผักและการควบคุมโรค**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] นันทิยา ฐาบุญ. (2541). **การปรับปรุงสารเสริมที่ใช้ผสมผงเชื้อรา *Trichoderma harzianum* เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคโคนเน่าของพริกซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii***. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] Amkha, S., Sakamoto, A., Tachibana, M. and Inubuchi, K. (2009). “Controlled mineralizing acetaldehyde condensation urea (CM-CDU) fertilizer can reduce nitrate leaching and N₂O emission from an Andisols with continuous cropped Komatsuna (*Brassica napa* L.)”, **Soil Science and Plant Nutrition**. 42, 351-367. Doi: 10.1111-j.1747-0747-0765.2009.00418.x
- [6] Murashige, T. and F. Skoog. (1962). “A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassay with Tobacco Culture”, **Journal of Plant Physiology**. 15, 473-497.
- [7] จิระเดช แจ่มสว่าง และวรรณวิไล อินทนู. (2542). “การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาควบคุมโรคพืช”, ใน **เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฉบับที่ 2 โครงการเกษตรสู่ชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- [8] สมภพ พานทอง. (2556). **การพัฒนาวัสดุเพาะกล้าที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้า และวัสดุปลูกที่มีประสิทธิภาพควบคุมโรคโคนเน่าของมะเขือเทศ ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii***. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] วรรณวิไล อินทนู และจิระเดช แจ่มสว่าง. (2545). “การคัดเลือกและการใช้จุลินทรีย์ที่แยกได้จากผิวพืชในการควบคุมเชื้อรา *Alternaria brassicicola* สาเหตุโรคใบจุดของกะน้า”, ใน **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40**. 4-7 กุมภาพันธ์ 2545, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] ประคอง เข็นจิตต์. (2547). **การคัดเลือกและการใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในระยะก่อนและหลังเก็บเกี่ยว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11] Glick B.R. (1995). “The enhancement of plant growth by free-living bacteria”, **Canadian Journal of Microbiology**. 41, 109-117.
- [12] สุวรรณิ แทนธานี. (2555) “จุลินทรีย์เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน”, **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, 60(190), 36-39.
- [13] อนูเทพ ภาสุระ. (2558). “การใช้ชีวภัณฑ์จุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในสภาวะดินเค็มจากน้ำทะเล”, ใน **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2557**. สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ : สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.
- [14] จตุพร บุญณากุล และคุสิต อธิณวัฒน์. (2555). “ประสิทธิภาพของเชื้อปฏิปักษ์ผสมสายพันธุ์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตข้าวอินทรีย์และควบคุมโรค”, **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 1(3), 189-196.

- [15] นิตยา สุขทวี. (2549). การโคลนยีนไลติเนสจากเชื้อ *Bacillus spp.* ที่เป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อสาเหตุโรคราพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [16] จิระเดช แจ่มสว่าง. (2549). การควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม.
- [17] Punja, Z.K. (1985). "The biology ecology, and control of *Sclerotium rolfsii*", *Annual Review of Phytopathology*. 23, 97-127.
- [18] กานต์ คำทรัพย์. (2543). "การควบคุมโรคโคนเน่าของมะเขือเทศด้วยเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์", ใน รายงานวิชาการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคโดยชีววิธี (*Biological Control of Plant Pathogens*). ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [19] เฉลิมลาภ ช่วยประสิทธิ์ จินตนา ชนะ สมศิริ แสงโชติ พงศ์พันธุ์ เขียวหิรัญ สุภชัย บุญพงษ์ และภัทรธรา จินตนิพิยวรรณ. (2525). *โรคของธัญพืชเมืองหนาว*. สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ภาคเหนือ: เชียงใหม่.
- [20] Agrios, G.N. (1978). *Plant Pathology*. Academic Press, New York.

ผลของระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ อ.ตะโหมด จ.พัทลุง

Effect of Plant Spacings and Organic Fertilizer Quality on Growth and Yield Components of Riceberry in Tamod District, Phatthalung Province

จิตรา จันโสด^{1*}, วานิต รอดเนียม¹, เปลื้อง สุวรรณมณี², วิรัตน์ ช่วยชุมชาติ³ และศักดิ์ เพชรสุข³

Jittra Jansote^{1*}, Wanit Rotnium¹, Plaung Suwanmanee², Virat Charychumchat³ and Sak Pechsuk³

บทคัดย่อ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการพัฒนาพันธุ์สำหรับปลูกในระบบอินทรีย์ แต่เกษตรกรในพื้นที่ภาคใต้นิยมปลูกโดยใช้ระบบเคมีจึงเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ได้ผลผลิตคุณภาพต่ำ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะปลูกและคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบ 2 ปัจจัย คือ ระยะปลูก 2 ระยะ (30x30 ซม. และ 40x40 ซม.) และคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำการวิจัยโดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ (ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS) และ ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด) ทดลองปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในช่วงฤดูนาปรัง อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง พบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 2 ระยะปลูกมีการเจริญเติบโตและให้องค์ประกอบผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าระยะปลูก 30x30 ซม. สามารถให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าระยะปลูก 40x40 ซม. แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การปลูกข้าวโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ส่งผลให้ข้าวมีความสูงของต้น จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนักเมล็ดต่อรวง และผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 ซม. ร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS สามารถเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ได้สูงที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะปลูก ปุ๋ยอินทรีย์ การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต

¹ นักวิชาการ สถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., ผู้อำนวยการสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ นักวิจัยชุมชน ตำบลตะโหมด อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง 93160

¹ Academic supporting staff of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Director of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Community researcher, Tamod District, Phatthalung Province, 93160

* Corresponding author: Tel.: 074-317650 ext. 7153. E-mail address: jittraj28@gmail.com

Abstract

Riceberry was well known a new cross-line variety and suitable for organic rice production system, in Southern Thailand, loss in rice yield causes from conventional rice cultivation using chemical farming system. In this study the effects of transplanted spacing and quality of organic fertilizer were examined on growth and yield components of Riceberry. Factorial in CRD was used for experimental design with 3 replicates and 2 factors: (1) transplanted spacing (30x30 cm. and 40x40 cm.) and (2) quality of organic fertilizer (ICOFIS's (the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University) and commercial organic fertilizer). Field experiment was conducted during dry season at Tamod District, Phatthalung Province. The results showed that growth and yield components were not significant different between transplanted spacing. However, Riceberry yield transplanted at spacing 30x30 cm was significantly higher than spacing 40x40 cm. Although, height per hill, the number of panicles per hill, number of filled grains per panicle, grain weight per panicle and yield per unit area from ICOFIS's organic fertilizer were significantly higher than the commercial organic fertilizer. Interaction between 30x30 cm. transplanted spacing applied with ICOFIS's organic fertilizer can increase Riceberry yield per unit area

Keywords: Riceberry, Transplanted Spacing, Organic Fertilizer, Growth and Yield Components

บทนำ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวพันธุ์ใหม่ที่ผ่านการพัฒนาพันธุ์ข้าวพิเศษจากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ให้ผลผลิต 300-500 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง ข้อจำกัดของการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่จำเป็นต้องใช้กระบวนการผลิตที่ดีและเหมาะสมในระบบข้าวอินทรีย์ และควรปลูกฤดูนาปีในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ เพราะมีสภาพอากาศหนาวเย็นที่เหมาะสมช่วงการพัฒนาระยะติดเมล็ดและสร้างเมล็ดของข้าว เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและคุณค่าทางอาหารสูง [1] ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงเป็นข้าวเพื่อสุขภาพที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีมูลค่าและราคาสูง ส่งผลให้มีการปลูกกระจายไปทั่วประเทศ ปัจจุบันจึงพบว่าเกษตรกรในภาคใต้หันมาปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้น โดยเฉพาะฤดูนาปรัง แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ในการปลูก เพราะคุ้นเคยกับการทำนาหว่านที่ใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพต่ำ แต่ต้นทุนการผลิตสูง ในขณะที่การนำปุ๋ยอินทรีย์มาใช้ในระบบการผลิตข้าวอินทรีย์ยังมีน้อย ด้วยปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาดมีราคาแพงและคุณภาพต่ำ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารในกระบวนการผลิตข้าวอินทรีย์ ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในฤดูนาปรัง โดยเปรียบเทียบคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำการศึกษาโดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ (ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS) กับปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในฤดูนาปรัง และศึกษาระยะปลูกที่เหมาะสมต่อการแตกกอของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่จะส่งผลต่อการออกรวงและการสร้างเมล็ดข้าว และส่งเสริมให้ได้ผลผลิตสูง เป็นแนวทางการสร้างระบบผลิตข้าวอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพ และเกื้อหนุนให้เกษตรกรพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

วิธีการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดให้มี 2 ปัจจัย คือ ระยะปลูกและคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ระยะปลูก คือ ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร และระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร

ปัจจัยที่ 2 คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ที่พัฒนาสูตรโดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนฯ (N:P:K เท่ากับ 5:3:2) และ ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องถิ่น

ดำเนินการปลูกข้าวไร่เบอรรี่ในพื้นที่แปลงนาข้าวอินทรีย์ของเกษตรกร หมู่ที่ 12 ตำบลตะโหมด อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง ในฤดูนาปรัง เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 เพาะกล้าในกระบะที่มีลักษณะเป็นหลุม ใช้กล้าข้าวไร่เบอรรี่อายุ 20 วัน ปักดำจำนวนกละ 3 ต้น ในพื้นที่แปลงขนาด 3x3 เมตร จำนวน 12 แปลง กำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ระยะเตรียมแปลงปักดำ ครั้งที่ 2 ระยะข้าวแตกกอ โดยวิธีการหว่านในอัตราส่วนครั้งละ 100 กิโลกรัมต่อไร่

เมื่อข้าวอายุครบ 130 วัน ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความสูงของต้น จำนวนต้นข้าวต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ ในแต่ละแปลงย่อย เก็บข้อมูล 20 กอ โดยวิธีการสุ่มแบบ Transect quadrat ส่วนข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต นับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง ด้วยการสุ่มนับแปลงย่อยละ 5 กอๆ ละ 5 รวง และชั่งน้ำหนักเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตต่อตารางเมตรที่ความชื้นเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์หลังเก็บเกี่ยว โดยการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

นำข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

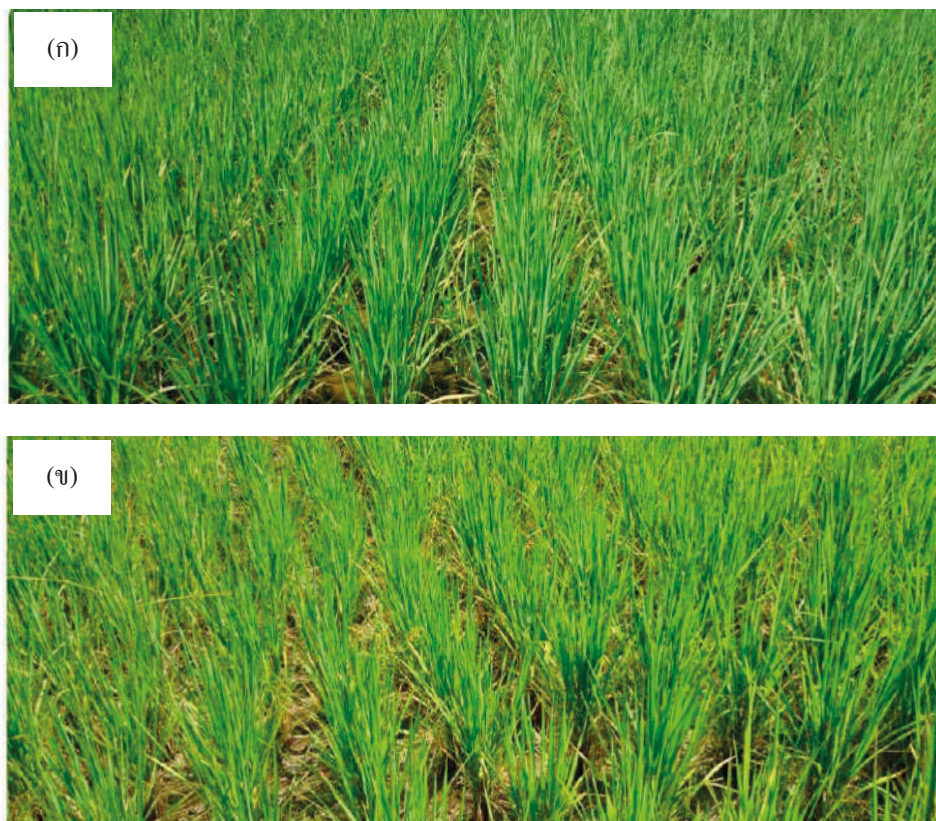
อิทธิพลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไร่เบอรรี่

จากการศึกษาผลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไร่เบอรรี่ พบว่า การปลูกข้าวไร่เบอรรี่ ทั้ง 2 ระยะปลูก ให้ผลของความสูงของต้น จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าข้าวไร่เบอรรี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร สามารถให้ผลผลิต (749.12 กรัมต่อตารางเมตร) สูงกว่าที่ระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร (444.09 กรัมต่อตารางเมตร) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าข้าวไร่เบอรรี่ที่ปลูกระยะ 30x30 เซนติเมตร สามารถเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ได้สูงกว่าระยะปลูก 40 x40 เซนติเมตร แม้ว่าจำนวนต้นต่อกอเพิ่มขึ้นเมื่อระยะปลูกเพิ่มขึ้นแต่จำนวนต้นต่อตารางเมตรอาจน้อยถ้าปักดำห่างเกินไป [2] ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับผลการทดลองปลูกข้าวไร่เบอรรี่ในพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ได้รายงานว่ารยะปลูก 30x30 เซนติเมตร เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการแตกกอและการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ [3]

อิทธิพลของคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไร่เบอรรี่

การเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตของการปลูกข้าวไร่เบอรรี่ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวสำหรับปลูกระบบอินทรีย์ เพราะปริมาณธาตุไนโตรเจนมีผลต่อการสร้างหน่อใหม่ในระยะแตกกอของข้าว หากต้นข้าวได้รับปริมาณธาตุไนโตรเจนในระดับที่เหมาะสมก็จะส่งเสริมให้ข้าวแตกกอมากขึ้น [2] เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตข้าวไร่เบอรรี่ พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ให้ความ

สูงของต้น จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักผลผลิตต่อตารางเมตร สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 115.23 เซนติเมตร 20.06 ต้นต่อกอ 20.06 รวงต่อกอ 3.07 กรัมต่อรวง 156.07 เมล็ดต่อรวง และ 691.69 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sukkasame [4] รายงานว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ระดับธาตุไนโตรเจน 43.68 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลทำให้ข้าวแตกกอเพิ่มขึ้นสามารถให้ผลผลิตที่สูงกว่าใส่ปุ๋ยเคมีที่ระดับไนโตรเจน 21.84 กิโลกรัมต่อไร่ โดยพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ซึ่งจากการทดลองปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด พบว่า ใบข้าวมีสีเหลืองในระยะแตกกอ แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน (ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาดยังมีระดับไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวจึงส่งผลทำให้มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่ำ



ภาพที่ 1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะแตกกอ (ก) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS (ข) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องตลาด

อิทธิพลร่วมระหว่างระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ทั้ง 2 ระยะปลูก ให้ผลการเจริญเติบโตและน้ำหนักผลผลิตของข้าวสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ท้องตลาด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS สามารถเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ได้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 857.68 กรัมต่อตารางเมตร และการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ท้องตลาดให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่น้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 362.52 กรัมต่อตารางเมตร (ตารางที่1)

ตารางที่ 1 ผลของระยะปลูกและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ± SE									
ปัจจัย	ความสูง/กอ (เซนติเมตร)	จำนวนต้น/กอ	จำนวนรวง/กอ	น้ำหนักเมล็ด/ รวง (กรัม)	จำนวนเมล็ด/ รวง	น้ำหนักเมล็ด/ รวง (กรัม)	จำนวนเมล็ด/ รวง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	น้ำหนักผลผลิต (กรัม/ตารางเมตร)
(A) ระยะปลูก (เซนติเมตร)									
30x30 (a ₁)	111.60 ± 7.94	18.46 ± 4.53	18.46 ± 4.53	2.70 ± 0.90	135.55 ± 45.58	16.81 ± 9.77	19.91 ± 0.87	749.12 ± 143.56 ^a	
40x40 (a ₂)	111.95 ± 6.09	17.76 ± 4.59	17.76 ± 4.59	2.68 ± 0.92	135.95 ± 46.66	19.69 ± 16.46	19.71 ± 0.72	444.09 ± 93.86 ^b	
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
(B) ปุ๋ยอินทรีย์									
ICOFIS (b ₁)	115.23 ± 6.72 ^a	20.06 ± 4.38 ^a	20.06 ± 4.38 ^a	3.07 ± 0.82 ^a	156.07 ± 41.70 ^a	18.69 ± 8.94 ^a	19.69 ± 0.166	691.61 ± 198.70 ^a	
ท้องถิ่น (b ₂)	108.33 ± 5.57 ^b	16.17 ± 3.88 ^b	16.17 ± 3.88 ^b	2.30 ± 0.82 ^b	115.43 ± 41.03 ^b	17.82 ± 17.04 ^b	19.93 ± 0.91	501.54 ± 155.27 ^b	
F-test	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	**
อิทธิพลร่วม (AB)									
a ₁ b ₁	115.85 ± 0.95 ^a	20.00 ± 0.62 ^a	20.00 ± 0.62 ^a	2.95 ± 0.11 ^a	149.60 ± 5.40 ^a	12.68 ± 0.74 ^a	19.72 ± 0.21	857.68 ± 69.83 ^a	
a ₂ b ₁	114.60 ± 0.77 ^a	19.68 ± 0.50 ^a	19.68 ± 0.50 ^a	3.20 ± 0.08 ^a	162.55 ± 4.06 ^a	9.20 ± 0.42 ^a	19.67 ± 0.12	525.55 ± 21.12 ^b	
a ₁ b ₂	107.35 ± 0.78 ^b	16.32 ± 0.44 ^b	16.32 ± 0.44 ^b	2.44 ± 0.09 ^b	121.49 ± 4.62 ^b	9.77 ± 0.69 ^a	20.11 ± 0.23	640.56 ± 22.66 ^b	
a ₂ b ₂	109.32 ± 0.64 ^b	15.32 ± 0.56 ^b	15.32 ± 0.56 ^b	2.16 ± 0.09 ^b	109.36 ± 4.78 ^b	17.54 ± 1.93 ^b	19.75 ± 0.24	362.52 ± 15.83 ^c	
F-test	**	**	**	**	**	**	ns	ns	**

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ * = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

^{a b c} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใช้วิธี DMRT

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของระยะปลูกและคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกฤดูนาปรัง ในพื้นที่ตำบลตะโหมด อำเภอยะโฮมด จังหวัดพัทลุง พบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตรสามารถให้ผลผลิตสูงกว่าที่ระยะปลูก 40x40 เซนติเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ให้ความสูงของต้น จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักผลผลิตต่อตารางเมตร สูงกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากท้องถิ่น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะปลูก 30x30 เซนติเมตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS สามารถเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ได้สูงที่สุด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิชาติ วรรณวิจิตร. (ม.ป.ป.). ข้าวไรซ์เบอร์รี่และธัญโอสด อีกทางเลือกของชาวนาไทย (ออนไลน์). นครปฐม: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 27 เดือนมิถุนายน 2557, จาก <http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/article-rice-rsc-rgdu>.
- [2] Binito, S. Vergara. (1994). **A farmer's Primer on Growing Rice** (2nd). Manila: International Rice Research Institute (IRRI).
- [3] บุญมา ภูผาหมอก. (2556, มิถุนายน 1). “ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แอนด์ ข้าวลินเหล็ก อินทรีย์ 300 ไร่ กลางทุ่งสิงห์บุรี อาจารย์ ชัชวาล เวียร์ร่า นำเสนอ”, **มติชน**. 24.
- [4] Sukkasame, N., O. Aungoolprasert, P. Poomipan and V. Luckanatinvong. (2015). “Efficacy of high quality organic-fertilizer on growth and yield of Purple Riceberry in different soil series”, In **The 4th International Symposium on Engineering, Energy and Environment**. 52-57. November 8-10, 2015, Learning Resort. Chonburi: Thammasat University.

ผลของจำนวนต้นกล้าต่อกอต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด

Effect of Numbers of Seedlings per Hill on Growth and Yield of Sangyod Rice

จิตรา จันโศด^{1*} วานิต รอดเนียม¹ และเปลื้อง สุวรรณมณี²

Jittra Jansote^{1*}, Wanit Rotnium¹ and Plaung Suwanmanee²

บทคัดย่อ

การใช้ต้นกล้าจำนวนมากในการปักดำเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ความสามารถในการแตกกอและผลผลิตของข้าวลดลง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยดอินทรีย์ จากการใช้วิธีการปักดำจำนวนต้นกล้าต่อกอที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยการปักดำต้นกล้า 3 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 ปักดำต้นกล้าจำนวน 3 ต้นต่อกอ กรรมวิธีที่ 2 ปักดำต้นกล้า จำนวน 5 ต้นต่อกอ และกรรมวิธีที่ 3 ปักดำต้นกล้า จำนวน 7 ต้นต่อกอ ทดลองปลูกข้าวสังข์หยดด้วยระบบอินทรีย์ในพื้นที่นาของเกษตรกร หมู่ที่ 7 ต.ดอนประดู่ อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง พบว่า การปักดำต้นกล้าจำนวน 3 ต้นต่อกอ ทำให้ข้าวสังข์หยดมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการปักดำต้นกล้าจำนวน 5 ต้นต่อกอ และ ปักดำต้นกล้า จำนวน 7 ต้นต่อกอ โดยความสูงเฉลี่ยต่อกอเท่ากับ 182.60 เซนติเมตร ความยาวรวงเฉลี่ยเท่ากับ 26.89 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อรวง เท่ากับ 139.14 เมล็ด และปริมาณผลผลิต เท่ากับ 397 กิโลกรัมต่อไร่ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกข้าวสังข์หยดอินทรีย์ โดยการปักดำต้นกล้า 3 ต้นต่อกอ สามารถเพิ่มผลผลิตและใช้เมล็ดพันธุ์ลดลง

คำสำคัญ: ข้าวสังข์หยด จำนวนต้นกล้าต่อกอ การเจริญเติบโตและผลผลิต

Abstract

Rice transplanting with a high density of rice seedlings is one of factor influences on growth development and low yield quality of rice seedlings. The objective of this study was examined on rice transplanting techniques by using number of seedling, the experimental site was conducted at paddy farmer plantation located on Tambon Don-Pradu, Phak Phayun District, Phatthalung, Thailand. CRD experimental design was tested with 3 levels of seedling density followed by transplanting with 3, 5 and 7 seedlings per hill. Results showed growth and yield of rice transplanting with 3 seedlings per hill were significantly ($p<0.05$) higher than transplanted with 5 and 7 seedlings per hill, mean height per hill, panicle length were 182.60 cm and 26.89 cm, respectively. A number of filled grains per panicle was 139.14 seed and yield per rai was 397 kg. This study reveals the transplanting method with 3 seedlings per hill integrated with organic management system can increase rice production and reduce use of rice grain.

Keywords: Sangyod Rice, Numbers of Seedlings per Hill, Growth and Yield

¹ นักวิชาการ สถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., ผู้อำนวยการสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Academic supporting staff of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Director of the Institute of Community Operation for Integrated Studies Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel.: 074-317650 ext. 7153. E-mail address: jittraj28@gmail.com

บทนำ

ชุมชนดอนประดู่ อำเภอปากพะยูน เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีการผลิตข้าวที่สร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดพัทลุง คือ ข้าวสังข์หยด เมืองพัทลุง ซึ่งเป็นที่ต้องการและได้รับความสนใจในกลุ่มผู้บริโภคเพื่อสุขภาพ ด้วยคุณค่าที่มีอยู่ในตัวพันธุ์ข้าวเองสามารถเพิ่มมูลค่าราคาข้าวสังข์หยดทำให้มีราคาสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น แต่ปัจจุบันสภาวะการผลิตข้าวสังข์หยดมีการเปลี่ยนแปลงไปในแนวโน้มลดลง แม้ว่าการปลูกข้าวจะเป็นกิจกรรมที่สำคัญและมีความมั่นคงของเกษตรกรในชุมชนดอนประดู่ ปัญหาหลักสำคัญที่เกิดขึ้นในภาคการผลิต คือ ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากเกษตรกรมีรายจ่ายด้านปัจจัยการผลิตเกือบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นการซื้อเมล็ดพันธุ์ ค่าจ้างต่าง ๆ และที่สำคัญ ต้นทุนการซื้อปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูข้าวอาจเทียบเป็นครึ่งหนึ่งของต้นทุนทั้งหมด จึงทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่คุ้มกับต้นทุนที่เสียไป จากการสำรวจข้อมูลพบว่าเกษตรกรชุมชนดอนประดู่ส่วนใหญ่นิยมปลูกข้าวสังข์หยดด้วยวิธีการหว่าน เพราะมีความสะดวกและใช้แรงงานน้อย แต่พบปัญหาเกี่ยวกับการงอกของเมล็ดข้าวไม่สม่ำเสมอและใช้เมล็ดพันธุ์อัตราสูงถึง 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมากกว่าอัตราที่ทางราชการแนะนำให้ใช้เพียง 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ การหว่านโดยใช้เมล็ดพันธุ์ต่อพื้นที่มากเกินไป จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายด้านเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น การแตกกออ่อน และอาจเป็นสาเหตุการระบาดของโรคแมลงศัตรูข้าว [1] เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตจากวิธีการปลูกข้าวสังข์หยด พบว่า การปลูกด้วยวิธีการปักดำจะให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกด้วยวิธีการหว่าน ทั้งการหว่านน้ำตมและการหว่านข้าวแห้ง [2] แต่กลับพบว่าการทำนาด้วยวิธีการปักดำของเกษตรกรชุมชนดอนประดู่ยังได้ผลผลิตที่ต่ำ สาเหตุหนึ่งมาจากการใช้ต้นกล้าจำนวนมากในการปักดำ จำนวน 5-7 ต้นต่อกอ อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้สูงถึง 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ความสามารถในการแตกกอลดลง เพราะเมื่อปลูกต้นกล้าหลายๆ ต้นขึ้นร่วมกัน รากแต่ละต้นจะทำงานแข่งกันเกิดการแย่งอาหาร น้ำ และแสงแดด จึงส่งผลให้ได้ผลผลิตที่ต่ำ แต่ต้นทุนสูง จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ต้นกล้าในการปักดำน้อยลงจะส่งเสริมให้ข้าวมีการแตกกอเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการออกรวงและการสร้างเมล็ดข้าว เช่น การปักดำจำนวนต้นกล้าเพียง 1 ต้นต่อกอก็เพียงพอต่อการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ได้ผลผลิตสูง [3] ดังนั้นควรมีการจัดการระบบการปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวสังข์หยด การวิจัยครั้งนี้จึงทำการทดลองปลูกข้าวสังข์หยดอินทรีย์โดยใช้วิธีการปักดำจำนวนต้นกล้าที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาจำนวนต้นกล้าต่อกอสำหรับการใช้ในการปักดำข้าวสังข์หยด สำหรับเพิ่มความสามารถในการแตกกอเพิ่มผลผลิต และช่วยลดต้นทุนการผลิต

วิธีการวิจัย

ดำเนินการที่แปลงนาของชุมชนสายสุณีย์ เกื้อแก้ว หมู่ที่ 7 ตำบลดอนประดู่ อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ในฤดูนาปี เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ปลูกในระบบนาข้าวอินทรีย์ ใช้ต้นกล้าอายุ 25-30 วัน ปักดำระยะห่างระหว่างแถวระหว่างกอ 25 x 25 เซนติเมตร แบ่งพื้นที่แปลงย่อย ขนาด 5 x 5 เมตร จำนวน 3 แปลงย่อยต่อกรรมวิธีกำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS ที่พัฒนาสูตร โดยสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการมหาวิทยาลัยทักษิณ (ปุ๋ยอินทรีย์ ICOFIS) (N:P:K เท่ากับ 5:3:2) แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ระยะเตรียมแปลงปักดำ ครั้งที่ 2 ระยะข้าวแตกกอ โดยวิธีการหว่านในอัตราส่วนครั้งละ 100 กิโลกรัมต่อไร่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยวิธีการปักดำต้นกล้า 3 กรรมวิธี คือ

กรรมวิธีที่ 1 โดยวิธีการปักดำต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอ

กรรมวิธีที่ 2 โดยวิธีการปักดำต้นกล้า จำนวน 5 ต้นต่อกอ

กรรมวิธีที่ 3 โดยวิธีการปักดำต้นกล้า จำนวน 7 ต้นต่อกอ

เมื่อข้าวอายุครบ 150 วัน เข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว ทำการเก็บข้อมูล แต่ละกรรมวิธีสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าว จำนวน 40 กอใน
แต่ละแปลงย่อย โดยสุ่มเก็บตัวอย่างแบบวิธีการใช้เส้นสำรวจในแปลงตัวอย่าง (Transect Quadrate) บันทึกการเจริญเติบโตและ
ผลผลิต ดังนี้

1. ความสูงของกอข้าว โดยวัดจากพื้นดินถึงปลายสุดของรวงในแต่ละกอ
2. นับจำนวนต้นข้าวต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ
3. ความยาวของรวง โดยวัดจากคอรวงไปจนถึงปลายเมล็ดสุดท้ายของรวงข้าว โดยสุ่มวัด 5 รวงต่อกอ
คำนวณหาค่าเฉลี่ยของความยาวรวงในแต่ละกอ
4. นับจำนวนเมล็ดดีต่อรวงและจำนวนเมล็ดลีบต่อรวง โดยสุ่มนับ 5 รวงต่อกอ คำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวน
เมล็ดดีต่อรวงและจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงในแต่ละกอ
5. ผลผลิตข้าวต่อไร่ โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตพื้นที่ 2x5 เมตร จำนวน 3 ซ้ำ จากแต่ละกรรมวิธี นวด ผัด ตากข้าวให้
มีความชื้นเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สถิติและการวิเคราะห์ผล โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยดโดยใช้สถิติ
one-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธี โดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองปลูกข้าวสังข์หยดเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิต โดยวิธีปักดำจำนวนต้นกล้าแต่ละ
กรรมวิธี ได้แก่ 3 ต้นต่อกอ 5 ต้นต่อกอ และ 7 ต้นต่อกอ จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าข้าวสังข์หยดมีการเจริญเติบโตและ
ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความสูงของกอข้าว ความยาวรวง จำนวนต้นและจำนวนรวงต่อกอ จำนวน
เมล็ดดีต่อรวง และผลผลิตต่อไร่ แต่สำหรับจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธี

ข้าวสังข์หยดที่ใช้จำนวนต้นกล้าแตกต่างกันแต่ละกรรมวิธี มีความสูงเฉลี่ยต่อกอ อยู่ในช่วง 164.89-182.60 เซนติเมตร
ซึ่งมีความสูงมากกว่าลักษณะประจำพันธุ์ โดยมีความสูงอยู่ที่ 140 เซนติเมตร [1, 4] เมื่อต้นข้าวสมบูรณ์ดีและสภาพแวดล้อมใน
การปลูกเหมาะสม ต้นข้าวจะมีการแตกกอหรือผลิตหน่อขึ้นมาเป็นต้นข้าวต้นใหม่ โดยทั่วไปถ้าใช้ระยะปลูก 25-30 เซนติเมตร
ต้นข้าวจะมีการแตกกอประมาณ 10-30 ต้นต่อกอ [3] ซึ่งพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์มีความสามารถในการแตกกอแตกต่างกัน โดยเฉพาะ
พันธุ์ข้าวพื้นเมืองจะมีความสามารถในการแตกกอน้อยกว่าพันธุ์ข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ สำหรับข้าวพันธุ์สังข์หยด
ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองรายงานว่ามีสามารถในการแตกกอเฉลี่ย 8.3 ต้นต่อกอ [5] ผลจากการทดลองปลูกข้าวสังข์หยดโดย
ใช้ต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอ สามารถแตกกอเฉลี่ยเท่ากับ 6.93 ต้นต่อกอ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปักดำต้นกล้า
จำนวน 5 ต้นต่อกอ และ 7 ต้นต่อกอ แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่าการใช้จำนวนต้นกล้า 3 ต้นต่อกอมีจำนวนต้นและจำนวนรวงต่อ
กอที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้จำนวนต้นกล้า 7 ต้นต่อกอในการปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองพบว่า ข้าวสังข์หยดที่ปลูกโดยการปักดำต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอสามารถสร้างเมล็ดดีสูงสุด เท่ากับ
139.14 เมล็ดต่อรวง จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ใช้การปักดำต้นกล้า จำนวน 3 ต้นต่อกอสูงสุด มีค่าเท่ากับ 397 กิโลกรัมต่อไร่
โดยผลผลิตที่ได้มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกรรมวิธี แสดงให้เห็นว่า การใช้จำนวนต้นกล้าเพียง 3 ต้นต่อกอ
เป็นการใช้ต้นกล้าจำนวนน้อยลงสามารถเพิ่มผลผลิตและช่วยลดต้นทุนเรื่องเมล็ดพันธุ์ ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษา
ของบุญหงส์ [3] รายงานว่า การใช้จำนวนต้นกล้าเพียง 1 ต้นต่อกอ สามารถปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการใช้
จำนวนต้นกล้า 4 ต้นต่อกอ ดังนั้นจำนวนต้นกล้าที่ใช้ในการปักดำจึงมีผลต่อความสามารถในการแตกกอ การสร้างรวงและการติดเมล็ด

ตารางที่ 1 ผลของจำนวนต้นกล้าต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด

กรรมวิธี (จำนวนต้นกล้า)	ค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวสังข์หยด $\pm$ SE						
	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนเมล็ดดี ต่อรวง	จำนวนเมล็ดลีบ ต่อรวง	ผลผลิตข้าวเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่)	ความยาวรวง (เซนติเมตร)	จำนวนต้นและ จำนวนรวงต่อกอ	จำนวนต้นและ จำนวนรวงที่เพิ่มขึ้น
3 ต้นต่อกอ	182.60 $\pm$ 1.13 ^a	139.14 $\pm$ 4.24 ^a	22.62 $\pm$ 1.42	397 $\pm$ 0.09 ^a	26.89 $\pm$ 0.28 ^a	6.93 $\pm$ 0.32 ^c	3.93 $\pm$ 0.32 ^{ab}
5 ต้นต่อกอ	172.47 $\pm$ 1.15 ^b	104.08 $\pm$ 2.28 ^b	20.89 $\pm$ 0.93	213 $\pm$ 0.09 ^c	26.58 $\pm$ 0.19 ^{ab}	9.40 $\pm$ 0.34 ^b	4.43 $\pm$ 0.34 ^a
7 ต้นต่อกอ	164.89 $\pm$ 1.11 ^c	102.58 $\pm$ 3.00 ^b	19.94 $\pm$ 1.18	277 $\pm$ 0.09 ^b	25.87 $\pm$ 0.22 ^c	10.02 $\pm$ 0.36 ^{ab}	3.07 $\pm$ 0.36 ^{ac}
F-test	*	*	ns	*	*	*	*

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{a b c} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใช้วิธี LSD

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสังข์หยดอินทรีย์ที่ปลูกในพื้นที่ตำบลคอนประดู่ อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง โดยวิธีการปักดำใช้ต้นกล้าตอกแตกต่างกัน สรุปได้ว่าการใช้ต้นกล้าจำนวน 3 ต้นตอกในการปักดำทำให้ข้าวสังข์หยดมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด โดยความสูงเฉลี่ยตอกเท่ากับ 182.60 เซนติเมตร ความยาวรวงเฉลี่ยเท่ากับ 26.89 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อรวงเท่ากับ 139.14 เมล็ด และปริมาณผลผลิตเท่ากับ 397 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นว่า การใช้จำนวนต้นกล้าเพียง 3 ต้นตอก เป็นการใช้ต้นกล้าจำนวนน้อยลงสามารถเพิ่มผลผลิตและช่วยลดต้นทุนเรื่องเมล็ดพันธุ์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณหน่วยงานร่วมในการสนับสนุนให้มีโครงการวิจัย ได้แก่ เทศบาลตำบลคอนประดู่ กลุ่มสหกรณ์การเกษตรแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด โรงเรียนปากพะยูนพิทยาคาร โรงเรียนวัดไพรพอน โรงเรียนวัดควนเขยอ โรงเรียนวัดหัวควน และโรงเรียนบ้านคอนประดู่

เอกสารอ้างอิง

- [1] มนทนา รุจิระศักดิ์. (2556). การผลิตข้าว. นครศรีธรรมราช : สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [2] อวยชัย บุญญาหงษ์ สำเร็จ แซ่ตัน เลิศเกียรติ ชูสิริ เพชร เชงี่ยม จรัส หนูทอง บุญมี วารินสอาด ขวัญใจ คงศักดิ์ ขวัญใจ ทองมาก เสาวนีย์ ศรีบัว ประสิทธิ์ ศรีทองแก้ว และอมรศักดิ์ แวศักดิ์. (2557). “การพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตข้าวในแหล่งปลูกข้าวภาคใต้”, ใน การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 31 พ.ศ. 2557. 432-449. วันที่ 21-23 พฤษภาคม 2557 ณ โรงแรมรอยัลพลาคลิฟฟี่บีช รีสอร์ททเอนด์สปาร์ ระยอง. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.
- [3] บุญหงษ์ จงคิด พฤษ ห่อเข็มทรัพย์ ยุวดี สวอยู่ และวุฒิชัย แดงทอง. (2556). “ความสามารถในการแตกกอและการให้องค์ประกอบผลผลิตต่อกอของข้าวขาวดอกมะลิ 105 กลายพันธุ์เมื่อใช้จำนวนกล้าตอกแตกต่างกัน”, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21(6), 543-546.
- [4] สำเร็จ แซ่ตัน. (ม.ป.ป.). โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ กับการพัฒนาพันธุ์ข้าวสังข์หยดพัทลุง (ออนไลน์). พัทลุง : ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง สำนักวิจัยและการพัฒนาการเกษตรเขต 8. สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2557, จาก http://ptl.brrd.in.th/web/images/stories/news/s_yod10.pdf.
- [5] อุไรวรรณ วัฒนกุล วัฒนา วัฒนกุล นพรัตน์ วงศ์หิรัญเดชา และพิฑูรย์ จรูญรัตน์. (2556). เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการใช้ข้อมูลจากงานวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตและเก็บเกี่ยวข้าวสังข์หยดพัทลุงให้ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ด้านคุณค่าทางโภชนาการ. ตรัง : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

การตรวจวัดสมบัติเชิงกลิ่นของข้าวสังข์หยดพัทลุงโดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์

The Aroma Properties Measurements of the Sangyod Rice of Phattalung by The Machine Olfaction

รังสิตา หาญพันธุ์¹, จิตรา จันโศด², เปื้อง สุวรรณมณี², ชัชวาล วงศ์ชูสุข³ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{4*}

Rangsita Hanphan¹, Jittra Jansord², Plueng Suwanmanee², Chatchawal Wongchoosuk³

and Anurak Udomvech^{4*}

บทคัดย่อ

ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นสินค้าที่โดดเด่นได้มีการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ แต่คุณภาพความเป็นข้าวอินทรีย์จากกระบวนการปลูกและผลจากความจำเพาะเชิงพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงยังเป็นคำถามในเชิงวิทยาศาสตร์ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาลักษณะกลิ่นของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ขึ้นกับกระบวนการปลูกโดยรวมและความจำเพาะเชิงพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose) ซึ่งศึกษาในสามรูปแบบคือ 1) การเพาะปลูกในพื้นที่เดียวกันแต่มีกระบวนการปลูกแบบอินทรีย์และแบบใช้สารเคมี 2) การเพาะปลูกในพื้นที่ต่างกันแต่มีวิธีการปลูกแบบอินทรีย์เหมือนกันและ 3) การเพาะปลูกในพื้นที่ที่ต่างกันและใช้วิธีการปลูกแบบอินทรีย์ที่ต่างกัน พบว่าทั้งสามรูปแบบให้แผนที่กลิ่นแยกออกจากกันชัดเจนและจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถจำแนกความแตกต่างข้าวสังข์หยดจากวิธีการเพาะปลูกได้ และได้พบว่าข้าวสังข์หยดที่ปลูกในแบบที่สองให้แผนที่กลิ่นแตกต่างกันเช่นเดียวกับรูปแบบที่สาม เป็นการชี้ให้เห็นถึงผลกระทบเชิงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกที่มีต่อไอระเหยจากข้าวสังข์หยดที่ค่อนข้างสูง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีในข้าวสังข์หยดมีความสัมพันธ์กับพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกแม้อยู่ในจังหวัดเดียวกัน แต่ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ดังกล่าวซึ่งส่งผลกระทบต่อมีนัยยะสำคัญต่อไอระเหยจะได้ทำการวิจัยเชิงลึกที่สามารถนำไปใช้ควบคุมคุณภาพของข้าวสังข์หยดต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวสังข์หยดพัทลุง ข้าวอินทรีย์ ข้าวเคมี จมูกอิเล็กทรอนิกส์ สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² นักวิจัย และ อ.ดร., สถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผศ.ดร., Laboratory for Multiscale Innovative Technologies (LMIT) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

⁴ อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³) สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.C. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla 90000

² Researcher & Lecturer Dr., Institute of Community Operation for Integrated Studies (ICOFIS), Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Asst. Prof. Dr., Laboratory for Multiscale Innovative Technologies (LMIT), Department of Physics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, 10900

⁴ Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Educational Science, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nufermi2@gmail.com

Abstract

Sangyod rice of Phatthalung province is distinguished rice product which has been registered to “Geographical Indications” or GI. However, the quality of organic rice from the cultivating process and the effects of spatial geographic specificity of Phatthalung province were scientifically in questions. The purpose of this work was to investigate the odor of Sangyod rice depending on the variables of the overall cultivating process and spatial geographic specificity of Phatthalung province using the Electronic Nose or E-Nose. This study was proceeded in three kinds: *i*) the cultivation in the same area but different in planting processes, *i.e.*, organic and chemical planting methods, *ii*) the cultivation in different areas but with the same organic planting methods, and *iii*) different in both cultivation areas and organic planting methods. It was found that all three kinds provide a distinct odor map and the E-nose can distinguish the difference of the Sangyod rice from the planting methods. In addition, it was found that the second kind’s cultivation of the Sangyod rice gave the scent differently in an odor map, the same as the third kind. It is therefore indicates that of the spatial geographic effects and cultivation methods to the Sangyod's vapors that are relatively high. This would result in the chemical compositions within the Sangyod rice which has been strongly correlated to the cropping area and cultivation methods even though in the same province. However, in spatial relationships that significantl implication affected odor vapors must be further in-depth studied to be able to control the quality of the Sangyod rice's organic.

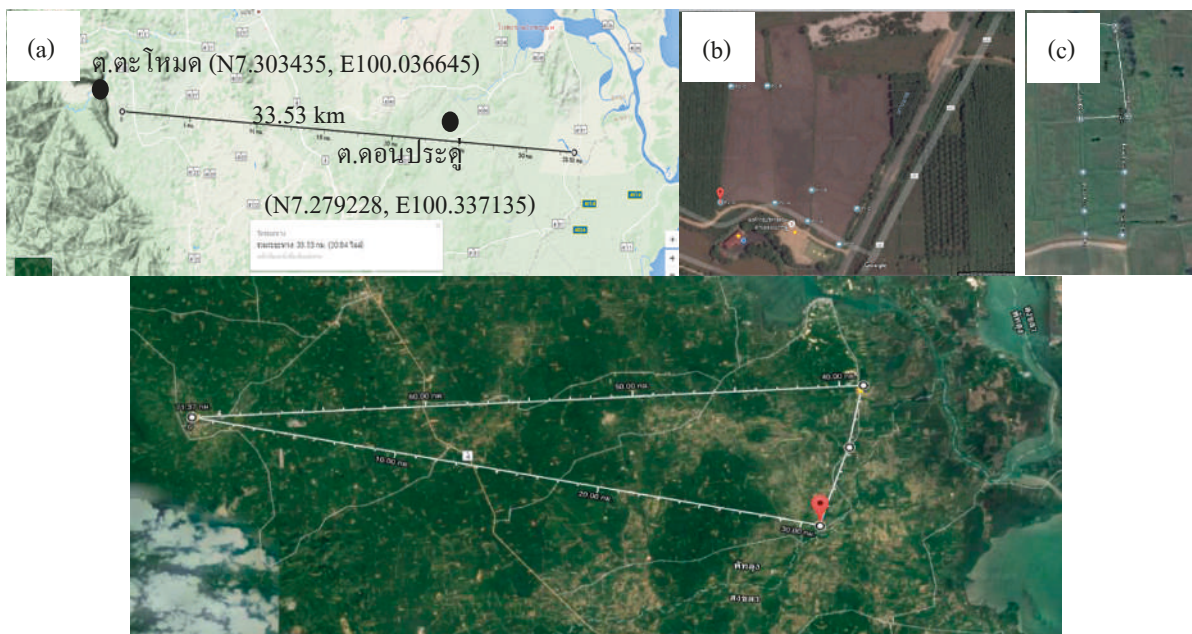
Keywords: Sangyod Rice of Phattalung, Organic Rice, Chemical Rice, Electronic Nose, Geological Index

บทนำ

ในปัจจุบัน “ข้าว” ซึ่งเป็นอาหารหลักของคนไทยได้กลายเป็นอาหารสำคัญของโลก หลายประเทศพยายามสร้างผลผลิตข้าวด้วยตนเองทั้งการทดลองปลูกในพื้นที่ประเทศตัวเองหรือแม้แต่การลงทุนจ้างประเทศที่มีสภาพทางกายภาพที่เหมาะสมเพื่อให้ปลูกข้าวสำหรับส่งให้ประเทศตนเองโดยเฉพาะสำหรับการสร้างความมั่นคงทางอาหาร ทำให้เกิดการแข่งขันในการผลิตข้าวกันมากขึ้น สำหรับประเทศไทยมีการส่งออกข้าวเป็นสินค้าหลักสำคัญของประเทศมาอย่างยาวนาน รวมถึงคนไทยมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก แต่สถานการณ์ปัจจุบันการส่งออกข้าวมีความผันผวนค่อนข้างสูง จึงเป็นอุปสรรคของชาวนาของประเทศไทยในการผลิตข้าวสำหรับบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ แต่ทางออกหนึ่งของปัญหานี้คือการให้ความสำคัญกับข้าวพันธุ์พื้นเมืองท้องถิ่นซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่โดดเด่น เช่น “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” [1-2] ซึ่งได้รับการกล่าวถึงในความพิเศษในหลายประเด็น เช่น ความมีคุณค่าทางสารอาหารที่สูง หรือมีรสชาติที่โดดเด่นเฉพาะตัว เพราะเป็นพันธุ์ข้าวที่ไม่เหมือนกับพื้นที่อื่นๆ ในโลก เนื่องจากต้องเพาะปลูกเฉพาะในพื้นที่จังหวัดพัทลุงจึงได้คุณค่าทางอาหารและรสชาติอันเป็นเอกลักษณ์ อันเนื่องมาจากดินในพื้นที่จังหวัดพัทลุงเป็นที่ลุ่มทะเลสาบสงขลาจึงมีสภาพดินและแร่ธาตุอาหารในดินที่มีลักษณะจำเพาะเหมาะสมกับพันธุ์ข้าวสังข์หยด จึงกลายเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งของการจะพัฒนาให้ข้าวพันธุ์ดังกล่าวมีมาตรฐานในการเพาะปลูกที่มีคุณภาพเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นต่อความปลอดภัยและคุณค่าทางอาหารต่อผู้บริโภคซึ่งจะส่งผลไปถึงการมีความมั่นคงทางอาหารในภาพรวมต่อไปได้

ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเป็นข้าวพันธุ์แรกของประเทศไทยที่ได้รับการรับรองให้เป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indications หรือ GI) ของประเทศไทย [3] ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ.2546 เมื่อปี 2549 โดยใช้ชื่อว่า “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” ซึ่งลักษณะพิเศษเฉพาะของข้าวสังข์หยดคือ เป็นข้าวกล้องมีสีแดงเข้ม เมล็ดข้าวเรียวยาวเล็ก อ่อนนุ่ม ข้าวเปลือกสีฟาง เมื่อขัดแล้วสีเมล็ดจะมีสีขาวปนแดง จมูกข้าวเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคในรูปแบบข้าวซ้อมมือ เวลาหุงข้าวจะมีกลิ่นหอมของโมเลกุลสารอินทรีย์ และเมื่อไม่นานมานี้ข้าวสังข์หยดพัทลุง

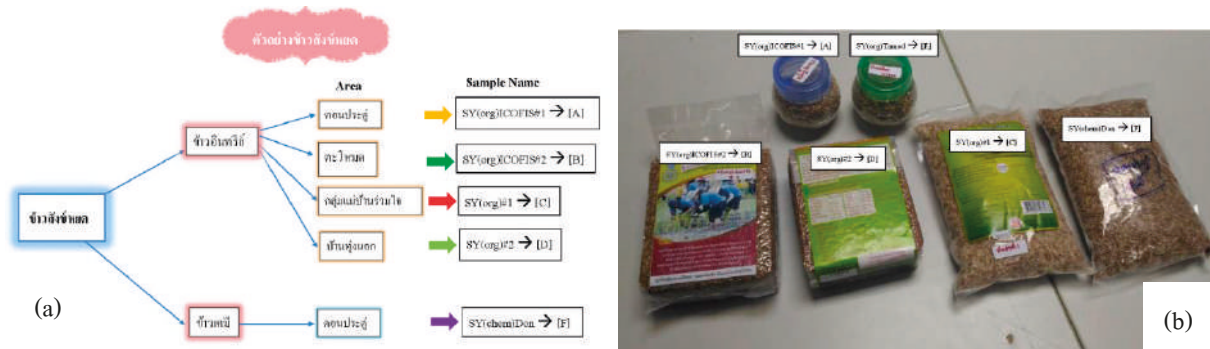
ยังได้รับการรับรองจากสหภาพยุโรป (EU) ขึ้นทะเบียนข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุของไทยเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) ในสหภาพยุโรป เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2559 [4] จึงเป็นการยืนยันว่าข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุได้รับความยอมรับในระดับนานาชาติว่ามีคุณค่าทางอาหารที่สูงและน่าจะทำให้ได้รับความนิยมในการบริโภคมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปัญหาในการควบคุมคุณภาพของผลผลิตยังจะมีคำถามอยู่ในหลายประเด็น ซึ่งในปัจจุบันกระแสความตื่นตัวของผู้บริโภคได้เน้นไปยังอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและเป็นอาหารที่ผลิตโดยปราศจากสารเคมี หรือเป็นอาหารที่ผลิตด้วยกระบวนการอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งข้าวสังข์หยดก็เป็นหนึ่งในผลิตผลทางการเกษตรที่มีปัญหาในการระบุให้ชัดเจนได้ว่าเป็นข้าวสังข์หยดที่เกิดจากกระบวนการปลูกแบบอินทรีย์หรือไม่? และจะพิสูจน์ได้อย่างไร? งานวิจัยนี้จึงได้สนใจจะหาวิธีระบุความชัดเจนของข้าวสังข์หยดที่ปลูกแบบอินทรีย์และแบบใช้สารเคมีโดยตรวจวัดโมเลกุลไอระเหย (หรือโมเลกุลกลิ่น) จากข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดพัสดุ ซึ่งการจะควบคุมคุณภาพในเรื่องของกลิ่นข้าวต้องใช้เครื่องมือกลิ่นหรือจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose หรือ E-Nose) [5-6, 8] ซึ่งได้มีการนำมาใช้ตรวจวัดคุณภาพของอาหารกันมากขึ้นในปัจจุบัน เช่นการวัดความสุกของผลไม้ การควบคุมคุณภาพของไวน์และเครื่องดื่มอื่นๆ หรือการตรวจวัดความสดของปลา [6] จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ระบุกลิ่นข้าวสังข์หยดในเบื้องต้น จึงได้ทำการศึกษาโมเลกุลไอระเหยจากข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุในพื้นที่ตำบลตะโหนดและตำบลคอนประดู่ซึ่งมีการเพาะปลูกข้าวสังข์หยดด้วยวิธีแตกต่างกัน เพื่อศึกษาลักษณะกลิ่นเบื้องต้นของข้าวสังข์หยดพัสดุด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ศึกษากลิ่นข้าวสังข์หยด 3 ประเภทตามลักษณะการเพาะปลูกและพื้นที่ คือ ข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่เดียวกันแต่วิธีปลูกต่างกัน ข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่ต่างกันแต่มีวิธีการปลูกแบบเดียวกัน และข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่และวิธีการปลูกแตกต่างกัน โดยสร้างเป็นแผนที่กลิ่น (Odor Map) สำหรับบ่งบอกลักษณะกลิ่นเฉพาะตัวของข้าวสังข์หยด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาวิธีควบคุมคุณภาพข้าวสังข์หยดเมืองพัสดุต่อไป



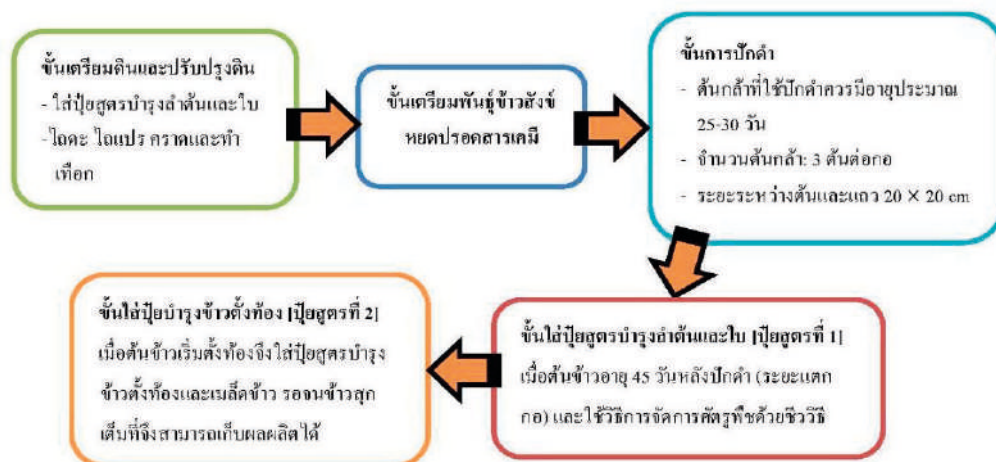
ภาพที่ 1 (a) แผนที่แสดงละติจูดและลองจิจูดของแปลงนาเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดอินทรีย์จากตำบลตะโหนด และตำบลคอนประดู่ในจังหวัดพัสดุ (b) แปลงนาตำบลคอนประดู่ (c) แปลงนาตำบลตะโหนด (d) แสดงพื้นที่การเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดของรูปแบบที่ 3 (ที่มา Google Map)

วิธีการวิจัย

ข้าวสังข์หยดที่ใช้ในการตรวจวัดโมเมนต์ไอร่เหยเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ของจังหวัดพัทลุง 2 ตำบล คือ ตำบลตะโหมด และตำบลคอนประดู่ ซึ่งพิกัดโดยประมาณของพื้นที่แปลงนาของตำบลตะโหมดและตำบลคอนประดู่ดังแสดงในภาพที่ 1(a) ทั้งสองพื้นที่มีระยะทางห่างกันประมาณ 33.53 กิโลเมตร และข้าวสังข์หยดจากทั้งสองพื้นที่มีทั้งวิธีการปลูกแบบแปลงนาอินทรีย์ โดยเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดใช้สารเคมีจากพื้นที่แปลงนาข้างเคียงกัน ทำให้สามารถแบ่งรูปแบบการศึกษาโมเมนต์ไอร่เหย จากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงได้เป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1: ข้าวสังข์หยดจากแปลงนาพื้นที่เดียวกันแต่ใช้วิธีการเพาะปลูก แตกต่างกัน (สำหรับข้าวสังข์หยดจากตำบลคอนประดู่ซึ่งใช้การปลูกแบบใช้สารเคมีและแบบอินทรีย์ ภาพที่ 1(b)) และ รูปแบบที่ 2: ข้าวสังข์หยดที่เพาะปลูกในพื้นที่ต่างกันแต่วิธีการเพาะปลูกเหมือนกัน คือข้าวสังข์หยดอินทรีย์ของตำบลคอนประดู่และตำบลตะโหมด (ภาพที่ 1(c)) และรูปแบบที่สาม 3: เป็นข้าวสังข์หยดจากพื้นที่ต่างกันและมีวิธีการเพาะปลูกต่างกัน โดยเป็นข้าวสังข์หยด จากนาข้าวสังข์หยดอินทรีย์ของตำบลคอนประดู่และพื้นที่ตำบลข้างเคียง คือข้าวสังข์หยดของสหกรณ์ การเกษตรกลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัดและข้าวสังข์หยดจากบ้านทุ่งนอก ดังภาพที่ 1(d) โดยวิธีการเพาะปลูกของแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน แต่วิธีเพาะปลูกของกลุ่มแม่บ้านและบ้านทุ่งนอกไม่ทราบข้อมูลที่แน่ชัด ซึ่งตัวอย่างของข้าวสังข์หยดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 (a) แผนภาพแสดงตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ได้จากตำบลคอนประดู่ ตำบลตะโหมด สหกรณ์การเกษตร กลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด และบ้านทุ่งนอก โดยวิธีปลูกแบบใช้สารอินทรีย์ของ ICOFS และใช้สารอินทรีย์ ที่ไม่สามารถระบุวิธีเพาะปลูกที่แน่ชัดได้ และวิธีปลูกแบบใช้สารเคมี (b) ภาพตัวอย่างข้าวสังข์หยดที่ใช้ในการตรวจวัดกลั่น



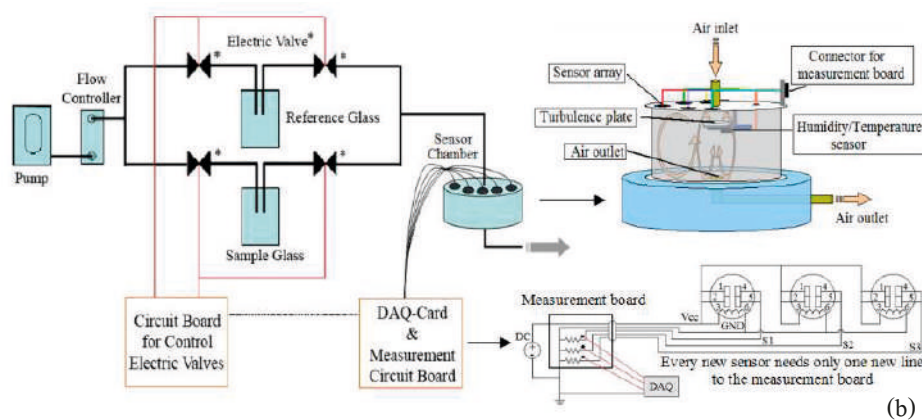
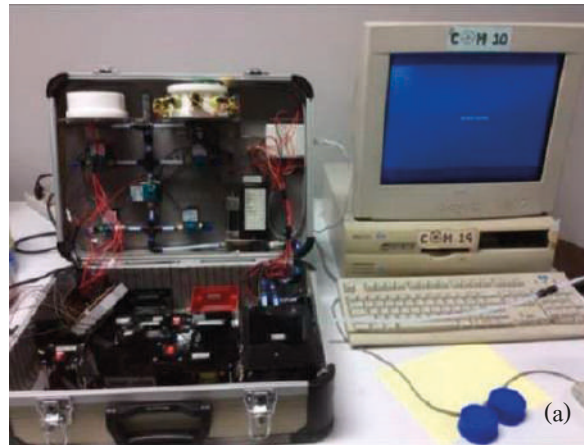
ภาพที่ 3 วิธีการเพาะปลูกข้าวแบบอินทรีย์ได้ใช้กระบวนการของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการพัฒนา (ICOFS)

วิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ใช้กรรมวิธีของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการพัฒนา (ICOFIS) ซึ่งมีขั้นตอนดังภาพที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยอินทรีย์สำหรับนาข้าว 2 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งปุ๋ยสูตรที่ 1 ใช้บำรุงลำต้นและใบด้วยสูตร N:P:K 5:3:2 มีไนโตรเจนสูง ใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกผสมลงในแปลงนา ก่อนดำกล้าหรือหลังดำกล้าประมาณ 15 วัน ครั้งที่ 2 เมื่อต้นข้าวอายุ 45 วัน หลังปักดำ ปริมาณที่ใช้ 50 - 100 กิโลกรัมต่อไร่ต่อครั้ง ปุ๋ยสูตรที่ 2 ใช้บำรุงข้าวตั้งท้องและเมล็ดข้าวด้วยสูตร N:P:K 2:3:2 เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม โดยใส่ก่อนข้าวตั้งท้องประมาณ 15 วัน ปริมาณที่ใช้ 50 - 100 กิโลกรัมต่อไร่

การตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นไอระเหยของข้าวสังข์หยดโดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [7-8] ดังภาพที่ 4(a) โดยเมื่อเซนเซอร์ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์รับไอระเหยที่มาจากอุปกรณ์ไส้ตดดูตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยากับไอระเหยส่วนรับกลิ่นนี้เป็นเซนเซอร์โลหะออกไซด์หลายชนิด แต่ละชนิดจะตอบสนองต่อกลิ่นหรือก๊าซชนิดเดียวกันแตกต่างกัน เมื่อการตอบสนองไม่เหมือนกัน เซนเซอร์แต่ละชนิดจึงให้สัญญาณไฟฟ้าออกไปต่างกัน ความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้าทำให้เกิดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะตัว เนื่องจากโมเลกุลไอระเหยที่แตกต่างกัน ซึ่งกลไกการทำงานแสดงในภาพที่ 4(b) เมื่อเปลี่ยนกลิ่นหรือชนิดของสารให้กลิ่นใหม่จะได้ชุดสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะแบบที่ต่างออกไป การนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ตรวจหากลิ่นหรือก๊าซที่สนใจเป็นการเปรียบเทียบชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่ในหน่วยความจำกับชุดข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากชุดเซนเซอร์ ณ เวลานั้นว่ามีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยมีสารเปรียบเทียบ (Reference) คืออากาศบริสุทธิ์เป็นตัวอ้างอิงในการตรวจวัดกลิ่นจากตัวอย่างข้าวสังข์หยดทั้งหมด โดยใช้ปริมาณข้าวสังข์หยดในจำนวน 5 กรัมเท่าๆ กันและนำข้อมูลจากการตรวจวัดมาวิเคราะห์ด้วยหลักการ Principle Component Analysis (PCA) [7, 10] เพื่อวิเคราะห์แยกแยะรูปแบบความเหมือนและความต่างกันของไอระเหยของข้าวสังข์หยด

ตารางที่ 1 สูตรปุ๋ยบำรุงข้าวสังข์หยดของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการพัฒนา (ICOFIS)

ลำดับ	ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับนาข้าว (สูตร 1)		ปุ๋ยบำรุงข้าวตั้งท้องและเมล็ดข้าว (สูตร 2)	
	วัสดุ	จำนวน (kg)	วัสดุ	จำนวน (kg)
1	มูลสัตว์	400	มูลสัตว์	400
2	รำละเอียด	50	รำละเอียด	50
3	โดโลไมท์ / ดินภูเขา	10	ดินภูเขา	10
4	แกลบดำ	10	แกลบดำ	30
5	เศษพืช	400	เศษพืช	400
6	หยวกกล้วย	50	หยวกกล้วย	100
7	ดินจากแปลงนา	50-100	หินฟอสเฟต (0-46-0)	50
8	น้ำหมักปลา	50 (ลิตร)	น้ำหมักจุลินทรีย์	50 (ลิตร)
9	น้ำหมักจุลินทรีย์	50 (ลิตร)		

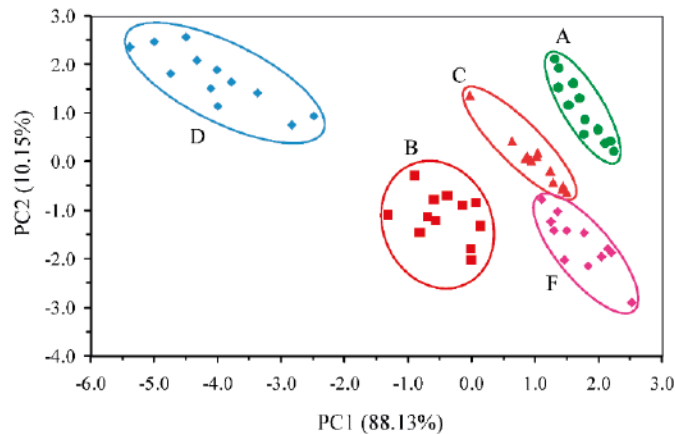


ภาพที่ 4 (a) จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose หรือ E-Nose) และ (b) แผนภาพระบบการทำงานโดยสังเขป
ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ [6, 8]

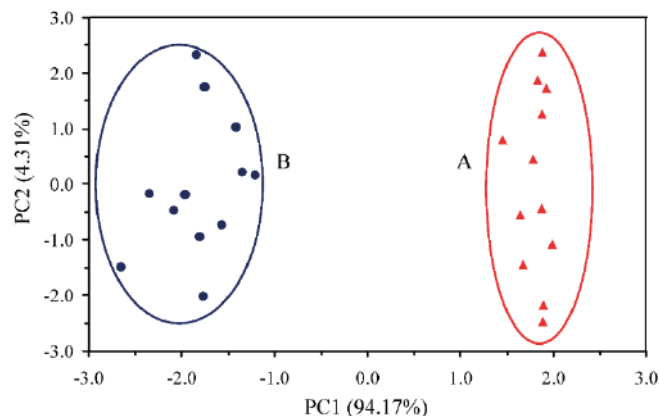
เทคนิค PCA เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ปรับเปลี่ยน (Transform) รูปแบบข้อมูลทั้งหมดที่ไม่สัมพันธ์กัน ไปเป็นรูปแบบกลุ่มหรือชุดของข้อมูลในลักษณะของการฉายภาพให้อยู่ในสองหรือสามมิติที่มีความสัมพันธ์กัน โดยกระบวนการ PCA มีนิยามดังสมการ:

$$PCA_{result} = \left((\overline{Cov(X_{M \times N})})_{\max \rightarrow \min} \otimes Norm(X_{M \times N}) \right)^T$$

เมื่อ $X_{M \times N}$ คือ เมตริกซ์รับข้อมูล โดย M หมายถึงแถวของเมตริกซ์การทำซ้ำของการวัดและ N หมายถึงคอลัมน์ของเมตริกซ์แสดงจำนวนเซ็นเซอร์ที่เป็นอิสระไม่ขึ้นแก่กัน $Norm(X_{M \times N})$ เป็นการ normalize เมตริกซ์รับข้อมูล $X_{M \times N}$ เทอม $Cov(X_{M \times N})$ เป็นเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix) ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่า eigenvectors และ eigenvalues ของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมและ $(\overline{Cov(X_{M \times N})})_{\max \rightarrow \min}$ เป็นการจัดเรียง eigenvectors และ eigenvalues โดยเป็นการจัดเรียงค่า eigenvectors ที่มีค่ามากที่สุดไปน้อยที่สุด และเมื่อนำค่า $(\overline{Cov(X_{M \times N})})_{\max \rightarrow \min}$ และค่า $Norm(X_{M \times N})$ มาผ่านตัวดำเนินการแบบคูณและหาค่าเมตริกซ์ transpose จึงจะได้ชุดข้อมูลผ่านการแปลงแบบตั้งฉากเชิงเส้น (orthogonal linear transformation) PCA_{result} สำหรับนำมาวาด เป็นภาพกลุ่มของชุดข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “แผนที่กลิ่น (Aroma Map)”



ภาพที่ 5 แผนทีกลั่นข้าวสังข์หยดพัทลุงจากการวิเคราะห์ด้วยมุกอิล็กทรอนิกส์จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดของแผนภาพที่ 2(a)
โดยสีของกลุ่มจุดสอดคล้องกับการจำแนกชนิดของตัวอย่างข้าวสังข์หยดคือ ชนิด [A] = วงจุดสีเขียว
ชนิด [B] = วงจุดสีน้ำตาล ชนิด [C] = วงจุดสีน้ำตาลแดง ชนิด [D] = วงจุดสีฟ้า และชนิด [F] = วงจุดสีชมพู



ภาพที่ 6 แผนทีกลั่นข้าวสังข์หยดพัทลุงจากการวิเคราะห์ด้วยมุกอิล็กทรอนิกส์จากตัวอย่างข้าวสังข์หยด
แบบอินทรีย์ SY(org)ICOFIS#1” หรือ “ชนิด [A]” ซึ่งได้จากแปลงนาข้าวของตำบลคอนประดู่และ “SY(org)ICOFIS#2”

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ตัวอย่างข้าวสังข์หยดพัทลุง (ภาพที่ 2(b)) ที่ใช้ในการทดลองมีการแยกแยะและจัดกลุ่มดังภาพที่ 2(a) โดยกลุ่มของข้าวสังข์หยดจากการเพาะปลูกแบบนาอินทรีย์ซึ่งระบุกระบวนการเพาะปลูกได้ (ภาพที่ 3) คือ “SY(org)ICOFIS#1” หรือเรียกว่า “ชนิด [A]” ซึ่งเป็นข้าวจากแปลงนาข้าวของตำบลคอนประดู่และ “SY(org)ICOFIS#2” หรือเรียกว่า “ชนิด [B]” ซึ่งเป็นข้าวจากแปลงนาข้าวของตำบลตะโหมด (แผนภาพที่ 1(a - c)) และกลุ่มข้าวสังข์หยดนาอินทรีย์แบบไม่สามารถระบุกระบวนการเพาะปลูกที่แน่ชัดได้ คือ “SY(org)#1” หรือเรียกว่า “ชนิด [C]” ซึ่งเป็นข้าวจากสหกรณ์การเกษตรกลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด และ “SY(org)#2” หรือเรียกว่า “ชนิด [D]” ซึ่งเป็นข้าวของบ้านทุ่งนอก (แผนภาพที่ 1(d)) และข้าวสังข์หยดที่ได้มาจากระบวนการเพาะปลูกแบบใช้สารเคมี คือ “SY(chem)Don” หรือเรียกว่า “ชนิด [F]” เป็นตัวอย่างข้าวจากพื้นที่ตำบลคอนประดู่แต่เป็นจากแปลงนาข้าวพื้นที่ข้างเคียง ในการตรวจวัดกลั่นจากตัวอย่างข้าวสังข์หยดพัทลุงด้วยมุกอิล็กทรอนิกส์ร่วมกับการวิเคราะห์แบบ PCA ทำให้ได้ข้อมูลหลายตัวแปรโดยไม่มีการแบ่งกลุ่มตัวแปรว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามหรือตัวแปรอิสระ โดยได้ทำการวัดซ้ำตัวอย่างข้าวสังข์หยดแต่ละกลุ่มหลายครั้งเพื่อทดสอบความซ้ำรอยเดิมของ

ข้อมูลจนกระทั่งได้ข้อมูลในรูปแบบกราฟแผนที่กลืน ดังในภาพที่ 5 ซึ่งแสดงชนิดของกลืนหรือโมเลกุลไอ-ระเหยของข้าวสังข์หยดที่สอดคล้องสัมพันธ์กับแผนภาพภาพที่ 2(a)

ตารางที่ 2 แสดงค่า pH อุณหภูมิและ ORP ของน้ำในพื้นที่ตำบลคอนประดู่และตะโหมดปี 2558 และปี 2559

บริเวณที่ตรวจวัด	คอนประดู่					ตะโหมด				
	2558		2559			2558		2559		
	(9.05 น.)		(9.00 น.)			(10.00 น.)		(10.07 น.)		
	pH	T (°C)	pH	T (°C)	ORP	pH	T (°C)	pH	T (°C)	ORP
					(V)					(V)
แหล่งน้ำธรรมชาติ*	6.4	25.1	8.6	29.5	282	6.2	30.3	6.0	33.5	367
Area #1	4.5	25.0	7.7	30.5	307	4.8	32.5	7.0	35.1	357
Area #2	5.1	25.0	7.2	30.8	290	4.3	31.8	6.6	35.8	227
Area #3	3.2	25.0	6.7	30.7	306	5.1	32.0	7.0	35.5	264
Area #4	2.5	24.9	6.8	30.8	302	3.9	32.3	6.7	34.8	367

*แหล่งน้ำธรรมชาติ: - พื้นที่ตำบลคอนประดู่ วัดจากน้ำของคลองชลประทานก่อนปล่อยเข้าแปลงนา

- พื้นที่ตำบลตะโหมด วัดจากน้ำที่ไหลมาจากเทือกเขารัตมตามลำคลองก่อนเข้าสู่แปลงนา

ในแปลงนา: ไม่ได้แสดงบริเวณพื้นที่ในแปลงนาข้าวที่ใช้เก็บค่าไว้ ณ ที่นี้

ผลจากกลืนข้าวสังข์หยดรูปแบบที่ 1 (ข้าวสังข์หยดจากแปลงนาในพื้นที่เดียวกันแต่ใช้วิธีการเพาะปลูกต่างกัน) ชนิดนาข้าวอินทรีย์ [A] วงจุดสีเขียวหรือ “SY(org)ICOFIS#1” และชนิดนาข้าวใช้สารเคมี [F] วงจุดชมพูหรือ “SY(chem)Don” (ทั้งสองตัวอย่างได้จากพื้นที่ตำบลคอนประดู่) พบว่าข้อมูลกลืนข้าวแยกกลุ่มกันอย่างเด่นชัด ซึ่งเป็นการยืนยันว่ามุกอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพและศักยภาพเพียงพอต่อการจำแนกแยกแยะผลผลิตข้าวสังข์หยดที่ได้มาจากการเพาะปลูกแบบอินทรีย์และแบบใช้สารเคมี และแสดงว่าวิธีการเพาะปลูกส่งผลกระทบท่อลักษณะกลืนซึ่งนำไปสู่ชนิดของโมเลกุลไอระเหยของข้าวสังข์หยดที่แตกต่างกันโดยตรง (โดยในที่นี้ยังไม่อาจระบุชนิดของโมเลกุลไอระเหยได้) ยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้ทราบว่าตัวอย่างข้าวสังข์หยดทั้งสองน่าจะไม่ได้เพาะปลูกจากแปลงนาเดียวกัน (ตัวแปรเชิงพื้นที่) เมื่อพิจารณาจากความห่างของกลุ่มจุดในแนวตั้งระหว่างข้าวอินทรีย์ชนิด [A] วงจุดสีเขียวและข้าวใช้สารเคมีชนิด [F] วงจุดชมพู และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดกลืนข้าวสังข์หยดอินทรีย์และเคมีจากรายงานของอนุรักษ์ อุดมเวชและคณะ [11] ซึ่งได้กล่าวว่าโมเลกุลไอระเหยจากข้าวน่าจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวในภาพกว้างนั้นมีผลที่สอดคล้องกันกับผลการศึกษานี้ แต่ในการศึกษานี้เลือกจำเพาะเจาะจงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกที่ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่ยังไม่จำเพาะเพียงพอต่อการระบุถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกที่แน่นอนและชัดเจนซึ่งอยู่ระหว่างดำเนินการวิจัยในขั้นต่อไป

สำหรับการเพาะปลูกด้วยวิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ตามวิธีของสถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ (ภาพที่ 3) เหมือนกันแต่ต่างพื้นที่กัน (รูปแบบที่ 2) บริเวณตำบลคอนประดู่ (สัญลักษณ์ “SY(org)ICOFIS#1” หรือ “ชนิด [A]” กลุ่มจุดสีเขียว) และตำบลตะโหมด (สัญลักษณ์ “SY(org)ICOFIS#2” “ชนิด[B]” กลุ่มจุดสีน้ำตาล) (ภาพที่ 5) พบว่าแผนที่กลืนของทั้งสองพื้นที่แยกจากกันอย่างเด่นชัด ซึ่งมีระยะทางห่างกัน 33.53 กิโลเมตรโดยประมาณ (ภาพที่ 1(a)) ทำให้มีความแตกต่างของปัจจัยทางกายภาพสำคัญ เช่น สภาพดินและสภาพน้ำแตกต่างกัน (โดยได้แสดงผลเฉพาะการตรวจวัดค่า pH อุณหภูมิและ Oxidation Reduction Potential (ORP) ของน้ำในช่วงสองรอบของการปลูกข้าวสังข์หยดแบบนาปีไว้

ดังตารางที่ 2) และเมื่อทำการตรวจวัดกลิ่นข้าวสังข์หยดจากทั้งสองพื้นที่ที่ซ้ำและเปรียบเทียบกันเฉพาะกลิ่นข้าวทั้งสองพื้นที่บนเงื่อนไขวิธีการเพาะปลูกแบบเดียวกันแต่มีพื้นที่เพาะปลูกแตกต่างกัน ดังภาพที่ 6 ก็ให้ผลการแยกแยะกลิ่นข้าวสังข์หยดที่แยกจากกันเช่นเดิม แสดงว่าโมเลกุลไอระเหยของข้าวสังข์หยดได้รับผลกระทบจากปัจจัยของสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกเป็นด้วยแม้จะควบคุมกระบวนการเพาะปลูก เช่น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมือนกันก็ตาม

เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบของปัจจัยเชิงพื้นที่และสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในการเพาะปลูกข้าวสังข์หยด (ในจังหวัดพัทลุง) จึงเก็บตัวอย่างข้าวสังข์หยดที่ไม่อาจจะระบุวิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ได้แน่ชัดหรือรูปแบบที่ 3 จากสหกรณ์การเกษตรกลุ่มแม่บ้านภักดีร่วมใจ จำกัด (“SY(org)#1” หรือ “ชนิด [C]” กลุ่มจุดสีแดง) และจากบ้านทุ่งนอก (“SY(org)#2” หรือ “ชนิด [D]” กลุ่มจุดสีฟ้า) โดยทั้งสองพื้นที่เป็นตำบลข้างเคียงกับพื้นที่ตำบลดอนประดู่ เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของกลิ่นจากข้าวสังข์หยดอินทรีย์ที่ทราบและไม่ทราบวิธีการเพาะปลูก (ภาพที่ 5) พบว่ากลิ่นของข้าวของกลุ่มสหกรณ์ฯ (“ชนิด [C]” กลุ่มจุดสีแดง) อยู่ใกล้เคียงกับข้าวสังข์หยดอินทรีย์ของตำบลตะโหมดซึ่งใช้วิธีการเพาะปลูกแบบของ ICOFIS จึงน่าจะสันนิษฐานได้ว่าอาจจะใช้กระบวนการปลูกใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีการใช้สารเคมีร่วมด้วยในขั้นตอนของการเพาะปลูก เนื่องจากกลุ่มจุดสีแดงและสีชมพู (ใช้สารเคมี) อยู่เกือบชิดติดกัน แต่สำหรับกลุ่มจุดสีฟ้า (ข้าวสังข์หยดของบ้านทุ่งนอก) แยกออกเป็นเอกเทศชัดเจน ซึ่งเป็นไปได้ว่าใช้วิธีการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ที่แตกต่างออกไปโดยสิ้นเชิงจากวิธีการเพาะปลูกแบบของ ICOFIS นอกเหนือจากผลกระทบเชิงพื้นที่ที่เพาะปลูกที่ต่างกัน

การศึกษาวินิจฉัยกลิ่นของข้าวสังข์หยดนี้เป็นการใช้เทคโนโลยียุคใหม่เพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนด ควบคุม และตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะที่ขึ้นกับสภาพภูมิศาสตร์ หรือ GI ของข้าวสังข์หยดพัทลุงได้ ซึ่งจะเป็นการควบคุมตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตข้าวสังข์หยดให้สามารถคงความมีคุณค่าทางโภชนาการและคุณค่าของวัฒนธรรมพื้นถิ่นได้ในอนาคต และเป็นแนวทางหนึ่งของการสร้างมาตรฐานต่อการคงเอกลักษณ์และรักษาคุณภาพของข้าวสังข์หยดที่กำลังได้รับความนิยมจากสังคมโลกมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาวินิจฉัยเพื่อจะใช้เอกลักษณ์ของกลิ่นหรือไอระเหยเฉพาะตัวของข้าวสังข์หยดอินทรีย์ที่ขึ้นต่อพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกจะยังคงต้องมีการศึกษาลงลึกในรายละเอียดของตัวแปรทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมซึ่งส่งผลกระทบต่อกลิ่น เช่น ลักษณะของดิน น้ำ สภาพอากาศในระดับจุลภาค (Microclimate) ในโอกาสต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากลิ่นของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose หรือ E-Nose) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ PCA ทำให้ทราบถึงผลของกลิ่นข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่มีวิธีเพาะปลูกแบบอินทรีย์และแบบเคมีมีแผนที่กลิ่นที่แยกจากกันชัดเจน ซึ่งยืนยันว่าสามารถใช้เครื่องมือดังกล่าวจำแนกผลผลิตข้าวสังข์หยดจากทั้งสองวิธีการเพาะปลูกได้ นอกจากนี้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถช่วยยืนยันถึงผลกระทบเชิงพื้นที่และวิธีการเพาะปลูกต่อกลิ่นของข้าวสังข์หยดอินทรีย์ซึ่งมีโมเลกุลไอระเหยหรือกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะว่าจะมีความแตกต่างกันโดยชัดเจนเมื่อเพาะปลูกบนสภาพเงื่อนไขเชิงพื้นที่ของจังหวัดพัทลุงที่แตกต่างกันไม่ว่าจะใช้วิธีเพาะปลูกที่เหมือนกันหรือต่างกันหรือไม่ก็ตาม โดยข้อมูลการศึกษาวินิจฉัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างมาตรฐานต่อการคงหรือเพิ่มเอกลักษณ์และคุณภาพของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่กำลังได้รับความนิยมจากสังคมโลกมากขึ้นได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตร วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ. 2559 และผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณครูชานา ตำบลคอนประดู่ และตะโหมดทุกท่านที่ให้ข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถพงษ์ อยู่เกตุ. (2550). “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง: ข้าว GI พันธุ์แรกของเมืองไทย”, *วารสารพัฒนาชุมชน*. 46, 27-29.
- [2] กองบรรณาธิการ. (2552). “ข้าวสังข์หยด จังหวัดพัทลุง จากข้าวพันธุ์พื้นเมืองถึงข้าวพันธุ์ GI”, *วารสารธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย*. 3, 17-25.
- [3] ทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์เลขที่ สช 49100011. (2549). *ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง*. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- [4] ประชาชาติธุรกิจออนไลน์. (13 ต.ค. 2559). *อียูขึ้นทะเบียน “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” เป็นสินค้าจีไอแล้ว*. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2560, จาก http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1476358 276
- [5] กองบรรณาธิการ. (มิถุนายน – กรกฎาคม 2553). “Smart E-nose” Inspire by MEMS in Thailand. *Technology Promotion and Innomag Magazine*. 37, 25 – 27.
- [6] ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. (2557). *จมูกอิเล็กทรอนิกส์: เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ชนิดใหม่ สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร*. สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2559, จาก http://website.nnr.nstda.or.th/website/attachments/article/58/E-Nose_for_FoodIndustry.pdf.
- [7] MartõÁnez, A.M. and Kak, A.C. (2001). “PCA versus LDA”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 23, 228-233.
- [8] Wongchoosuk, C., Lutz, M. and Kerdcharoen, T. (2009). “Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose”, *Sensors*. 9, 7234-7249.
- [9] Wongchoosuk, C., Lorwongtragool, P. and Kerdcharoen, T. (2011). “Malodor DetectionBased on Electronic Nose, Air Quality Monitoring, Assessment and Management” *Dr.Nicolas Mazzeo (Ed.), InTech*. DOI: 10.5772/16582. Available from: <http://www.intechopen.com/books/air-quality-monitoring-assessment-and-management/malodor-detection-based-on-electronic-nose>.
- [10] Fukunaga, K. (1990). *Introduction to Statistical Pattern Recognition*. Second ed. Academic Press.
- [11] Timsorn, K., Wongchoosuk, C., Suwanmanee, P. and Udomvech, A. (2015). “Unleash the Secret of Rice Aroma from Different Paddy Field Locations and Farming Treatment Processes of Thailand by an Electronic Nose Machine”, In *The First International Conference on Sustainability of Organic Agriculture (SOA2015)*. 7-9 December 2015. Ubon Ratchathani Province.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์มีสี

Development of Coating Batter from Colored Rice Flour

พรพิมล มะยะเจียว^{1*}, นุจรี เกตุราช² และรัชฎาภรณ์ ทองจันทร์แก้ว²

Pornpimon Mayachiew^{1*}, Nudcharee Kadrat² and Ratchadaporn Thorngjankeaw²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากแป้งข้าวเจ้าพันธุ์มีสี โดยศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี 2 พันธุ์ (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ 4 ระดับ (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) ทดแทนปริมาณแป้งสาลีที่มีต่อคุณภาพของเบทเทอร์ รวมทั้งคุณภาพของแป้งชุบทอด ผลการทดลอง พบว่า เบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีความหนืดและร้อยละการเกาะติดสูงกว่าเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ($p < 0.05$) แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีร้อยละการเกาะติด การดูดซับน้ำมันและความหนาแน่นสูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) ต่ำกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ($p < 0.05$) สำหรับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทดสอบด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assay ของแป้งชุบทอดทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) เบทเทอร์มีความหนืดและร้อยละการเกาะติดลดลงเมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดและการดูดซับน้ำมันลดลง ในขณะที่ค่า a^* ความหนาแน่น และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: ข้าวสังข์หยด ข้าวหอมนิล แป้งชุบทอด คุณภาพ

Abstract

The objectives of this research were to evaluate the effect of adding colored rice flour (Sangyod and Homnil rices) and percentage of colored rice flours (25, 50, 75 and 100) to replace wheat flour on the quality of batter as well as the qualities of fried batter. The results showed that Homnil rice flour-blended batter exhibited higher viscosity and percentage of batter adhesion than Sangyod rice flour-blended batter ($p < 0.05$). Homnil rice flour-blended fried batter resulted in the higher percentage of batter adhesion, oil absorption and bulk density than Sangyod rice flour-blended fried batter. However, Homnil rice flour-blended fried batter exhibited the lower redness (a^*) than Sangyod rice flour-blended fried batter. Significant difference was found in DPPH radical scavenging activity and Ferric reducing antioxidant power (FRAP) between Homnil rice flour blending and Sangyod rice flour blending ($p < 0.05$). Lower viscosity and percentage

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof., Department of Food Science and Technology, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Undergraduate Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel. 074-609600 ext. 3314. E-mail address: pornpimon_maya@yahoo.com

of batter pick up was noted for batter with the increasing of rice flour substitution. Percentage of batter adhesion and oil absorption of colored rice-fried batter decreased with an increase in the percentage of both rice, whereas the redness, bulk density and antioxidant activity increased.

Keywords: Sangyod Rice, Homnil Rice, Fried Batter, Quality

บทนำ

การบริโภคอาหารชุบแป้งทอด เช่น ปลา อาหารทะเล เนื้อสัตว์ และผัก เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย [1] แป้งชุบทอดมีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักที่ทำให้อาหารขยายตัวเพิ่มขึ้น ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ดังนั้นแป้งข้าวเป็นวัตถุดิบในประเทศที่ดีต่อสุขภาพเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากแป้งข้าวมีแคลอรีต่ำและลดความเสี่ยงต่อผู้ที่แพ้กลูเตน [2] ในปัจจุบันผู้ที่ใส่ใจต่อสุขภาพนิยมบริโภคข้าวพันธุ์มีสี เช่น ข้าวสังข์หยดซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง เมล็ดข้าวมีสีชาปนแดง ข้าวสังข์หยดมีองค์ประกอบของสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น โพรแอนโทไซยานิน ในขณะที่ยังมีเมล็ดยาวมีสีม่วงดำ ประกอบไปด้วยสีม่วงเข้ม (Cyanidin) สีชมพูอ่อน (Peonidin) และสีน้ำตาล (Procyanidin) ผสมกัน [3] ซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ในกลุ่มสารแอนโทไซยานิน สารฟลาโวนอยด์และสารโพลีฟีนอลจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่พบในข้าวมีสีทั้ง 2 พันธุ์ดังกล่าว ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี 2 พันธุ์ (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ 4 ระดับ (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) ทดแทนปริมาณแป้งสาลีที่มีต่อความเหนียวของแป้งทอด ร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด รวมทั้งคุณภาพต่าง ๆ ของแป้งชุบทอด ได้แก่ ร้อยละการเกาะติด ค่าสี การดูดซับน้ำมัน ความหนาแน่น และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิล

จัดซื้อข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลจากตลาดในอำเภอป่าพะยอม จ.พัทลุง นำไปบดละเอียดให้เป็นแป้ง

1.2 การเตรียมส่วนผสมของวัตถุดิบ

สำหรับสูตรพื้นฐานและสูตรผสมแป้งข้าวของแป้งชุบทอด แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณวัตถุดิบแป้งชุบทอดสูตรต่างๆ (ผสมแป้งข้าวทดแทนแป้งสาลี)

วัตถุดิบ	ปริมาณส่วนผสม (g)								
	control	SY25	SY50	SY75	SY100	HN25	HN50	HN75	HN100
แป้งสาลี	50	37.5	25	12.5	-	37.5	25	12.5	-
แป้งข้าวโพด	50	50	50	50	50	50	50	50	50
แป้งข้าวสังข์หยด	-	12.5	25	37.5	50	-	-	-	-
แป้งข้าวหอมนิล	-	-	-	-	-	12.5	25	37.5	50
เกลือ	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ผงฟู	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

หมายเหตุ : SY25 SY50 SY75 และ SY100 หมายถึง ร้อยละของปริมาณแป้งข้าวสังข์หยด 25 50 75 และ 100 ที่ทดแทนแป้งสาลี และ HN25 HN50 HN75 และ HN100 หมายถึง ร้อยละของปริมาณแป้งข้าวหอมนิล 25 50 75 และ 100 ที่ทดแทนแป้งสาลี

2. การเตรียมผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอด

เตรียมวัตถุดิบแป้งและส่วนผสมต่างๆในแต่ละสูตรดังตารางที่ 1 จากนั้นผสมวัตถุดิบข้างต้นเข้าด้วยกัน ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 250 μm แล้วเติมน้ำเย็น (14 $^{\circ}\text{C}$) ต่อแป้งในอัตราส่วน 1:1 ผสมนาน 1 นาที จะได้แป้งเทออร์ จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพของแป้งเทออร์ นำขึ้นแครอทขนาด 5 cm $\times$ 0.5 cm $\times$ 0.5 cm ชุบแป้งเทออร์ ดึงขึ้นให้สะเด็ด เป็นเวลา 10 วินาที นำไปทอดที่อุณหภูมิ 180 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดขึ้นชั้นน้ำมัน แล้วจึงวิเคราะห์คุณภาพแป้งชูบทอดของผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอด

3. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอด

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งเทออร์ ได้แก่

3.1.1 ความหนืดของแป้งเทออร์ คัดแปลงตามวิธีของ Sowmya และคณะ [4] วิเคราะห์ความหนืดของแป้งเทออร์โดยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer)

3.1.2 ร้อยละการเกาะติดของแป้งเทออร์ ตามวิธีของ Phaoenchoke [5]

ผสมแป้งชูบทอดกับน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้เป็นเวลา 1 นาที นำขึ้นแครอทที่ซังน้ำหนักร่อนแล้วชุบลงในแป้งเทออร์เป็นเวลา 1 นาที แล้วดึงขึ้นให้สะเด็ด เป็นเวลา 10 วินาที ซังน้ำหนักร่อนแล้ว ร้อยละการเกาะติดของแป้งเทออร์ ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการเกาะติดของแป้งเทออร์ (\%)} = \frac{B-I}{I} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ B = น้ำหนักของชิ้นอาหารที่ชุบแป้งเทออร์ I = น้ำหนักของชิ้นอาหารเริ่มต้น

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งชูบทอด ได้แก่

3.2.1 ร้อยละการเกาะติด ตามวิธีของ Phaoenchoke [5] ซังน้ำหนักร่อนแล้ว ผลิตภัณฑ์แป้งชูบทอดที่ทอดแล้ว จากนั้นละลายชั้นแป้งออกจากชิ้นอาหารให้หมดแล้วซังน้ำหนักร่อนแล้ว ร้อยละการเกาะติดของชั้นแป้งทอด ดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละการเกาะติดของชั้นแป้งทอด (\%)} = \frac{BF-IF}{IF} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ BF = น้ำหนักของชิ้นอาหารชุบแป้งทอด IF = น้ำหนักของชิ้นอาหารที่ละลายชั้นแป้งออก

3.2.2 ค่าสี วัดค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแป้งชูบทอดที่ทอดแล้ว ทดสอบด้วยเครื่องวัดสี

3.2.3 การดูดซับน้ำมัน ตามวิธีของ AOAC [6]

3.2.4 ความหนาแน่น ตามวิธีของ Akdeniz และคณะ [7] รายงานค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ (3)

$$\text{ความหนาแน่นของชั้นแป้งทอด (g/mL)} = \frac{\text{น้ำหนักร่อนแป้งทอด}}{\text{ปริมาตรของชั้นแป้งทอด}} \quad (3)$$

3.2.5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทดสอบด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assay ตามวิธีของ Shen และคณะ [8]

การออกแบบการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) การทดลองแต่ละการทดลอง ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 14.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวโดยใช้แป้งข้าว 2 ชนิด คือ แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิล ร่วมกับผลของร้อยละของแป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิล 4 ระดับ ได้แก่ 25 50 75 และ 100 ที่มีต่อคุณภาพของเบทเทอร์รวมทั้งคุณภาพต่าง ๆ ของแป้งชูบทอด ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. ความหนืดของเบทเทอร์

ผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าว (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) ซึ่งทดแทนการใช้แป้งสาลีที่มีต่อค่าความหนืดของเบทเทอร์ แสดงในตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าความหนืดของเบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิลแทนแป้งสาลีที่ระดับร้อยละ 25 50 และ 100 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นที่ระดับร้อยละ 75 ซึ่งพบว่า เบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวหอมนิลมีความหนืดสูงกว่า ($p < 0.05$) ที่เตรียมจากแป้งข้าวสังข์หยด ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวหอมนิลมีปริมาณอะไมโลเพกตินและปริมาณโปรตีน (ประมาณร้อยละ 8.85) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าแป้งข้าวสังข์หยด (โปรตีนประมาณร้อยละ 6.84) และเป็นแป้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด [1] เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดของเบทเทอร์ลดลง โดยเบทเทอร์ที่ไม่มีส่วนผสมของแป้งข้าวมีค่าความหนืดมากที่สุด เท่ากับ 3985 cp รองลงมาคือเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 เท่ากับ 2477.33 cp การใช้แป้งข้าวเป็นส่วนผสมในแป้งชูบทอด ทำให้ความหนืดของเบทเทอร์ลดลง เนื่องจากแป้งข้าวมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าแป้งสาลี

2. ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์

ค่าร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์คำนวณจากน้ำหนักของเบทเทอร์ที่เกาะติดกับแครอท ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิลแทนแป้งสาลีที่ระดับร้อยละ 25 50 และ 100 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นที่ระดับร้อยละ 75 ซึ่งพบว่า ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวหอมนิลมีค่าสูงกว่า ($p < 0.05$) ที่เตรียมจากแป้งข้าวสังข์หยด อาจเป็นเพราะแป้งข้าวหอมนิลมีปริมาณเอมิโลส (ร้อยละ 16) สูงกว่าแป้งข้าวสังข์หยด (ร้อยละ 14) ส่งผลให้ความหนืดของเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลสูงกว่าเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด จึงมีร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ที่สูงกว่าการใช้แป้งข้าวเป็นส่วนผสมในแป้งชูบทอด ส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ลดลง เนื่องจากแป้งข้าวมีปริมาณเอมิโลสต่ำกว่าแป้งสาลี โดยเอมิโลสมีคุณลักษณะคล้ายฟิล์มของสตาร์ชที่ช่วยให้การเกาะติดกับอาหารมีความสม่ำเสมอ [1] สาเหตุที่การเกาะติดของเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่าสูงกว่าเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวสังข์หยดอาจเป็นเพราะแป้งข้าวหอมนิลมีปริมาณเอมิโลส (ร้อยละ 16) สูงกว่าแป้งข้าวสังข์หยด (ร้อยละ 14)

นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่าร้อยละของแป้งข้าวมีผลต่อร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์ลดลง โดยเบทเทอร์สูตรแป้งสาลี (ชุดควบคุม) มีร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 80.91 รองลงมาคือเบทเทอร์สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 มีร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์เท่ากับร้อยละ 63.43 เมื่อพิจารณาเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวร้อยละที่สูงขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของเบทเทอร์มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากเบทเทอร์ที่ผสมแป้งข้าวร้อยละที่สูงขึ้นมีส่วนผสมของแป้งสาลิลดลง ซึ่งแป้งสาลีมีองค์ประกอบของโปรตีนกลูเตนที่ช่วยในการอุ้มน้ำและให้โครงสร้างทำให้เบทเทอร์สูตรผสมแป้งสาลีมีความหนืดสูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าว [2]

ตารางที่ 2 ความหนืดและร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดของแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สูตรแป้งชูบทอด	ความหนืดของแป้งทอด (cp)	ร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด
Control	3985.00 ± 389.41 ^a	80.91 ± 6.89 ^a
SY25	2261.67 ± 89.50 ^b	56.63 ± 5.78 ^b
SY50	1316.00 ± 207.87 ^c	40.27 ± 4.23 ^c
SY75	396.00 ± 6.00 ^c	28.08 ± 1.92 ^d
SY100	198.00 ± 15.87 ^c	15.06 ± 1.90 ^e
HN25	2477.33 ± 119.88 ^b	63.43 ± 6.01 ^b
HN50	1564.00 ± 136.47 ^c	43.78 ± 3.63 ^c
HN75	749.67 ± 60.99 ^d	38.50 ± 1.58 ^c
HN100	310.67 ± 79.25 ^c	20.34 ± 1.40 ^c

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. ร้อยละการเกาะติดของแป้งชูบทอด

ผลการทดสอบร้อยละการเกาะติดของแป้งชูบทอดของชั้นแคโรท (ตารางที่ 3) พบว่าแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาละมีร้อยละการเกาะติดของแป้งชูบทอดสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับร้อยละ 89.83 ซึ่งผลการทดลองสัมพันธ์กับร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด กล่าวคือแป้งทอดที่มีร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดสูง ภายหลังจากทอดมีร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดที่สูงเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดในแต่ละสูตร พบว่าที่ระดับการแทนที่แป้งข้าวสังข์หยดสูงส่งผลให้ร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผลของร้อยละการเกาะติดของแป้งทอดสอดคล้องกับความหนืดและร้อยละการเกาะติดของแป้งทอด (ตารางที่ 2) [3]

4. ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแป้งชูบทอด

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่า แป้งชูบทอดทุกสูตรมีค่า a^* เป็นบวก จากการพิจารณาสูตรแป้งชูบทอดสูตรต่างๆ พบว่าแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีค่า a^* สูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิล และค่า a^* เพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของแป้งข้าวสังข์หยดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10.54–31.06 เนื่องจากข้าวสังข์หยดมีลักษณะพิเศษคือข้าวกล้องมีสีแดงเข้ม สารสีแดงของข้าวสังข์หยดเป็นรงควัตถุประเภทฟลาโวนอยด์ชนิดโปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidins) ในขณะที่สูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่า a^* อยู่ในช่วง 4.61–22.54 ซึ่งมีค่า a^* ต่ำกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสังข์หยดมีรงควัตถุชนิดโปรแอนโทไซยานิดินมากกว่าแป้งข้าวหอมนิล [9]

ตารางที่ 3 ร้อยละการเกาะติด ค่าความเป็นสีแดง (a^*) การดูดซับน้ำมัน และความหนาแน่นของแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมชนิดที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สูตร แป้งชูบทอด	ร้อยละการเกาะติดของ แป้งชูบทอด	ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแป้งชูบทอด	การดูดซับน้ำมันของ แป้งชูบทอด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่นของ แป้งชูบทอด (g/mL)
Control	89.83 ± 9.60 ^a	6.50 ± 2.17 ^{de}	50.58 ± 0.56 ^a	1.0200 ± 0.0022 ^g
SY25	71.64 ± 0.58 ^b	10.54 ± 0.88 ^{cd}	49.05 ± 1.05 ^{bc}	1.0343 ± 0.0032 ^g
SY50	54.22 ± 2.54 ^{cd}	11.48 ± 1.21 ^c	47.21 ± 1.34 ^c	1.0879 ± 0.0060 ^{ef}
SY75	41.23 ± 3.04 ^c	21.23 ± 2.78 ^b	40.04 ± 0.67 ^d	1.1413 ± 0.0021 ^d
SY100	26.20 ± 0.92 ^f	31.06 ± 4.69 ^a	39.98 ± 1.71 ^d	1.3182 ± 0.0495 ^b
HN25	75.02 ± 3.30 ^b	4.61 ± 0.43 ^c	52.92 ± 2.28 ^{ab}	1.0522 ± 0.0028 ^{fg}
HN50	60.50 ± 0.97 ^c	12.69 ± 2.67 ^c	48.90 ± 0.74 ^{bc}	1.1055 ± 0.0050 ^{de}
HN75	51.69 ± 3.30 ^d	20.46 ± 1.59 ^b	40.39 ± 0.59 ^d	1.1826 ± 0.0282 ^c
HN100	39.16 ± 1.34 ^c	22.52 ± 3.86 ^b	38.15 ± 0.91 ^d	1.3725 ± 0.0432 ^a

หมายเหตุ: ^{a-g} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5. การดูดซับน้ำมันของแป้งชูบทอด

จากผลการศึกษาการดูดซับน้ำมันของแป้งชูบทอด (ตารางที่ 3) พบว่าแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาลี (ชุดควบคุม) มีปริมาณการดูดซับน้ำมันสูงกว่าแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52.92% ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวมีความสามารถในการจับกับน้ำได้มากกว่าแป้งสาลี (เนื่องจากแป้งข้าวและแป้งสาลีมีลักษณะของ Starch Granule ที่แตกต่างกัน [10]) ทำให้ความหนืดของเบทเทอร์ลดส่งผลให้การดูดซับน้ำมันของแป้งชูบทอดลดลง โดยสูตรแป้งชูบทอดที่มีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมชนิดร้อยละ 100 มีค่าการดูดซับน้ำมันน้อยที่สุดเท่ากับ 38.15% โดยปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารในระหว่างการทอด คือ องค์ประกอบของอาหาร [4]

6. ความหนาแน่นของแป้งชูบทอด

ความหนาแน่นของแป้งชูบทอดสามารถบอกแนวโน้มในการพองตัวของแป้งชูบทอดได้ ถ้าความหนาแน่นของแป้งชูบทอดมีค่าน้อยแสดงว่าแป้งชูบทอดมีแนวโน้มในการพองตัวสูง [1] จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าสูตรแป้งสาลี (ชุดควบคุม) มีค่าความหนาแน่นของแป้งชูบทอดน้อยที่สุดเท่ากับ 1.02 g/mL ซึ่งแป้งชูบทอดที่เตรียมโดยใช้แป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 25 มีค่าความหนาแน่นของแป้งชูบทอดใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด คือมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.03 g/mL จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การพองตัวของแป้งชูบทอดมีค่าลดลง อาจเกิดจากการผสมแป้งข้าวในอัตราส่วนที่สูงส่งผลให้เบทเทอร์มีลักษณะเหลวมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณกลูเตนลดลง ทำให้มีแป้งบางส่วนเกิดการกระจายตัวขณะทอด จึงได้แป้งชูบทอดที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ปริมาตรของแป้งชูบทอดมีค่าน้อยลง

7. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

7.1 DPPH assay

ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาลี สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและสูตรผสมแป้งข้าวหอมชนิดร้อยละ 25 50 75 และ 100 ในการทดแทนแป้งข้าวสาลีมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.68-60.39 (ตารางที่ 4) ซึ่งแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าแป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมชนิดและแป้งชูบทอดสูตรแป้งสาลี ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวสังข์หยดมีองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานิน และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น สารฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในแป้งข้าวหอมชนิด จึงอาจส่งผลให้แป้งชูบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าแป้งชูบทอดสูตรผสม

แป้งข้าวหอมนิลและแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Thitipramote และคณะ [11] พบว่าข้าวพันธุ์สีแดง (ข้าวหอมมะลิแดง) มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าข้าวพันธุ์สีม่วง (ข้าวลิ้มผั่ว) นอกจากนี้เมื่อร้อยละของปริมาณแป้งข้าวสังข์หยด และแป้งข้าวหอมนิลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นด้วย

7.2 FRAP assay

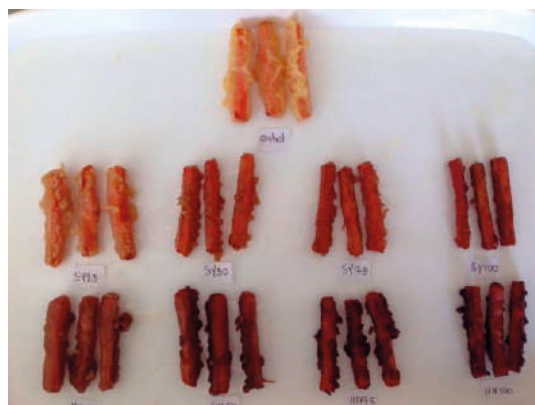
ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารสกัดจากแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี สูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 50 75 และ 100 ในการทดแทนแป้งข้าวสาลีมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.10–0.58 ซึ่งแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดร้อยละ 100 มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 100 และแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี (ตารางที่ 4) ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวสังข์หยดมีองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานินและองค์ประกอบอื่นๆ เช่น สารฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในแป้งข้าวหอมนิล จึงอาจส่งผลให้แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงกว่าแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิล และแป้งชุบทอดสูตรแป้งสาลี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thitipramote และคณะ [11] ซึ่งรายงาน bahwa ข้าวพันธุ์สีแดง (ข้าวหอมมะลิแดง) มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าข้าวพันธุ์สีม่วง (ข้าวลิ้มผั่ว) นอกจากนี้เมื่อร้อยละของปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดและแป้งข้าวหอมนิลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทดสอบด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity และ Ferric Reducing Antioxidant Power ของแป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สูตรแป้งชุบทอด	% DPPH radical scavenging activity	Ferric reducing antioxidant power (mM)
control	3.90 ± 1.95 ^h	0.10 ± 0.01 ^f
SY25	4.98 ± 0.46 ^e	0.21 ± 0.02 ^e
SY50	14.07 ± 0.99 ^c	0.43 ± 0.04 ^d
SY75	22.73 ± 1.14 ^c	0.52 ± 0.00 ^c
SY100	60.39 ± 1.95 ^a	0.58 ± 0.03 ^a
HN25	3.68 ± 0.75 ^h	0.18 ± 0.04 ^c
HN50	10.17 ± 0.75 ^f	0.42 ± 0.04 ^d
HN75	16.88 ± 3.44 ^d	0.51 ± 0.01 ^c
HN100	53.68 ± 6.76 ^b	0.54 ± 0.00 ^b

หมายเหตุ: ^{a-h} ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ลักษณะปรากฏของแครอทชุบแป้งทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แครอทชุบแป้งทอดสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิลที่ระดับร้อยละแตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของชนิดแป้งข้าวพันธุ์มีสี (ข้าวสังข์หยดและข้าวหอมนิล) และร้อยละของแป้งข้าว (ร้อยละ 25 50 75 และ 100) โดยทดแทนการใช้แป้งสาลี พบว่า แป้งเทอร์สตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีความหนืดและร้อยละการเกาะติดสูงกว่าแป้งเทอร์สตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด ในขณะที่แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีร้อยละการเกาะติด การดูดซับน้ำมันและความหนาแน่นสูงกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด แป้งชุบทอดสูตรผสมแป้งข้าวหอมนิลมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) ต่ำกว่าสูตรผสมแป้งข้าวสังข์หยด สำหรับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทดสอบด้วยวิธี DPPH Assay และ FRAR Assay ของแป้งชุบทอดทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แป้งเทอร์มีความหนืดและร้อยละการเกาะติดลดลงเมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการเกาะติด การดูดซับน้ำมันลดลง ในขณะที่ค่า a^* ความหนาแน่นและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทดสอบด้วยวิธี DPPH Assay และ FRAR Assay เพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยทักษิณ ปี พ.ศ. 2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dogan, S.F., Sahin, S. and Sumnu, G. (2005). "Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets", **Journal of Food Engineering**. 71, 127-132.
- [2] Rahimi, J. and Ngadi, M.O. (2015). "Surface ruptures of fried batters as influenced by batter formulations", **Journal of Food Engineering**. 152, 50-56.
- [3] Pengkumsri, N., Chaiyasut, C., Saenjum, C., Sirilun, S., Peerajan, S., Suwannalert, P., et al. (2015). "Physicochemical and antioxidative properties of black, brown and red rice varieties of northern Thailand", **Food Science and Technology**. 35(2), 331-338.
- [4] Sowmya, M., Jeyarani, T., Jyotsna, R. and Indrani, D. (2009). "Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes", **Food Hydrocolloids**. 23, 1827-1836.
- [5] Phaenchoke, P. (2004) **Production of oxidized-pregelatinized tapioca starch for use as binding agent in batters**. Master of Science. Bangkok Chulalongkorn University.
- [6] Association of Official Analytical Chemists. 1984. **The official methods of analysis**. 14th ed., Arlington, VA.
- [7] Akdeniz, N., Sahin, S. and Sumnu, G. (2006). "Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices", **Journal of Food Engineering**. 75:522-526.
- [8] Shen, X.J., Han, J.Y. and Ryu, G.H. (2014). "Effects of the addition of green tea powder on the quality and antioxidant properties of vacuum-puffed and deep-fried Yukwa (rice snacks)", **Food Science and Technology**. 55, 362-367.
- [9] Huang, Y.P. and Lai, H.M. (2016). "Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran", **Journal of Food and Drug Analysis**. 24(3), 564-574.
- [10] Lii, C.Y., Tsai, M.L. and Tseng, K.H. (1996). "Effect of amylose content on the rheological property of rice starch", **Cereal Chemistry**. 73(4), 415-420.

- [11] Thitipramote, N., Pradmeeteekul, P., Nimkamnerd, J., Chaiwut, P., Pintathong, P. and Thitilerdecha, N. (2016).
“Bioactive compounds and antioxidant activities of red (Brown Red Jasmine) and black (Kam Leum Pua) native
pigmented rice”, **International Food Research Journal**. 23(1), 410-414.

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่วที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และเมือง
จังหวัดพัทลุง ประเทศไทย

Microbiological Quality of Tao-Kua Sold in Paphayom and Mueang Districts,
Phatthalung Province, Thailand

บุษกร อุตรักษาตี^{1*} ศุภชัย นิติพนธ์² ปณัดดา พรหมจรรย์³ กชกร เพชรสุวรรณ⁴

ปฐมา กนกนา⁴และภัทรกร วัฒนกุล⁴

Bussakorn Utarapichat^{1*}, Supachai Nitipan², Panadda Promjan³, Kochakorn Petchsuwan⁴,

Pattama Koknak⁴ and Pattarakorn Watanakul⁴

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้ เพื่อตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจาก 6 ร้านจำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และเมือง จังหวัดพัทลุง โดยเปรียบเทียบผลการวิจัย กับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร พบทุกตัวอย่างจากร้าน FVA และ FVC มีจุลินทรีย์ทั้งหมด $< 1 \times 10^6$ CFU/g ทุกตัวอย่างจากร้าน FVB และ FVE พบจุลินทรีย์ทั้งหมด $> 1 \times 10^6$ CFU/g บางตัวอย่างจากร้าน FVD และ FVF เช่นเดียวกับตัวอย่าง 2 และ 1 ตัวอย่าง ได้แก่ FVD2, FVD3 และ FVF3 ตามลำดับ พบจุลินทรีย์ทั้งหมด $> 1 \times 10^6$ CFU/g ทุกตัวอย่างตรวจพบเชื้อ *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* และ *Staphylococcus aureus* < 10 , < 10 และ < 10 CFU/g ตามลำดับ ตัวอย่างส่วนใหญ่พบ MPN/g ของเชื้อ *Escherichia coli* > 3 ชกเว้นรหัส FVA3, FVF2 และ FVF5 ทุกตัวอย่างที่ตรวจ ไม่พบเชื้อ *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* และ *V. parahaemolyticus* ผลจากการวิจัยนี้สรุปได้ว่ามีเพียง 3 ตัวอย่าง เท่านั้น (คิดเป็นร้อยละ 10 ของตัวอย่างที่ตรวจ) ได้แก่ รหัส FVA3, FVF2 and FVF5 ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

คำสำคัญ: คุณภาพ จุลชีววิทยา เต้าคั่ว

¹ ผศ., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ.ดร., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิชาชีพ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

⁴ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof., Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Lecturer, Dr., Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Scientist, Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

⁴ Undergraduate students, Department of Biology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074609600. E-mail: address utarbussakorn@gmail.com

Abstract

The aim of this research was to inspect the microbiological quality of 30 samples of Tao-Kua, southern Thai salad style food which collected from 6 food vendors, FV, sold in Paphayom and Mueang District, Phatthalung Province. The results were compared with the microbiological criteria standard determined by Bureau of Quality and Safety of Food. The results were shown that all samples of FVA and FVC had aerobic plate count, APC, less than 1×10^6 CFU/g but all samples of FVB and FVE as well as 2 and 1 samples of FVD and FDF including FVD2, FVD3 and FVF3, respectively, had APC more than 1×10^6 CFU/g. The quantities of *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* and *Staphylococcus aureus* were <10, <10 and <10 CFU/g, respectively in all samples of all food vendors. Most samples had MPN/g of *Escherichia coli* > 3 except FVA3, FVF2 and FVF5. *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* and *V. parahaemolyticus* were not found in all sample. From these results can be concluded that only 3 samples, 10% of all samples, including FVA3, FVF2 and FVF5 were in the criteria of the mentioned standard above.

Keywords: Quality, Microbiology, Tao-Kua

บทนำ

เต้าคั่วเป็นอาหารพื้นเมืองจำพวกยำ และสลัดผักที่มีรสชาติดีของหลายจังหวัดในภาคใต้ มีองค์ประกอบเครื่องปรุงหลากหลาย เช่น เส้นหมี่ลวก ถั่วงอกลวก และเครื่องปรุงต่างๆ ที่หั่นชิ้นเล็กบางได้แก่ เต้าหู้ทอด หมูต้ม ผักบุ้งลวก แดงกวา และไข่ต้ม เป็นต้น เต้าคั่วจะมีรสชาติดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเครื่องปรุงและน้ำราดที่มี 3 รส ได้แก่ รสหวาน เปรี้ยว และเค็ม หากต้องการรสชาติสามารถใส่พริกน้ำส้มได้ เมื่อจะนำไปรับประทาน จะนำเครื่องปรุงต่างๆ ที่หั่นชิ้นเล็กบางใส่ภาชนะ ซึ่งผู้จำหน่ายส่วนใหญ่มักหยิบจับเครื่องปรุงต่างๆ ด้วยมือเปล่า จากนั้นราดด้วยน้ำปรุงรส คลุกเคล้าเครื่องปรุงทั้งหมดให้เข้ากันแล้วโรยหน้าด้วยเส้นหมี่ หรือกุ้งตัวเล็กทอดกรอบจากที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่าเต้าคั่วมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน โดยมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน รวมทั้งวิตามิน นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุต่างๆ ในผัก รวมทั้งจากน้ำตาลที่ใส่น้ำปรุงรสสำหรับราดเต้าคั่ว เป็นต้น [1] ร้านจำหน่ายเต้าคั่วส่วนใหญ่ในจังหวัดพัทลุง เป็นแผงลอยในตลาดสด ผู้ผลิตและจำหน่ายต้องเตรียมเครื่องปรุงต่างๆ ไว้ล่วงหน้า ก่อนการจำหน่าย โดยกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ มักจัดเตรียมและสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ด้วยมือเปล่า เช่นเดียวกับในกระบวนการจำหน่ายมีการสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ด้วยมือเปล่าเช่นเดียวกัน ดังนั้นเต้าคั่วจึงเป็นอาหารที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับจุลินทรีย์ต่างๆ ปนเปื้อนซึ่งมาจากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายที่ใช้มือสัมผัสพื้นผิวต่างๆ รวมทั้งเงินตราในระหว่างการจำหน่าย โดยมีรายงาน [2] การพบแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อราบนธนบัตร เป็นต้นนอกจากนี้ผู้สัมผัสอาหารแต่ละบุคคลมีสุขลักษณะส่วนบุคคลต่างกัน เช่นไม่ล้างมือ หรือ ล้างทำความสะอาด ไม่เพียงพอ เป็นต้น นอกจากนี้เต้าคั่วอาจได้รับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่อาจมาจากสภาพแวดล้อมในการผลิตและจำหน่าย ภาชนะ น้ำล้างทำความสะอาด ผ้าเช็ดมือ เป็นต้น [3] เต้าคั่วจึงเป็นอาหารที่มีความเสี่ยงในการบริโภค เนื่องจากอาจมีเชื้อก่อโรคทางเดินอาหารปนเปื้อน และส่งผลให้ผู้บริโภคเจ็บป่วยได้ ดังนั้นสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร [4] ได้จัดทำเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 กำหนดให้ตรวจจุลินทรีย์ในอาหาร โดยอนุญาตให้ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ $<1 \times 10^6$ CFU/g พบเชื้อ *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* และ *Staphylococcus aureus* ได้ในปริมาณ <100, <100 และ <100 CFU/g ตามลำดับ พบปริมาณ MPN/g ของเชื้อ *Escherichia coli* < 3 ต้องไม่พบเชื้อ *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* และ *V. parahaemolyticus* ในตัวอย่าง 25 กรัม การที่สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร [5] กำหนดให้ตรวจเชือดังกล่าว เนื่องจากเป็นเชื้อก่อโรคแก่ผู้บริโภคได้ เช่น การพบเชื้อ *E. coli* บ่งชี้การปนเปื้อนอุจจาระของคนและสัตว์เลื้อยคลาน โดยพบว่าหลายสายพันธุ์ของเชือนี้ก่อโรคทางเดินอาหารได้ ส่วน *S. aureus*

เป็นแบคทีเรียประจำถิ่นที่พบตามผิวหนัง ขน ผม เล็บของคน เป็นต้น บางสายพันธุ์สร้างสารพิษก่อโรคอาหารเป็นพิษได้ สำหรับเชื้อ *C. perfringens* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ และโรคเนื้อเน่าตาย เชื้อ *B. cereus* ก่อโรคอาหารเป็นพิษ ทำให้มีอาการของโรค 2 กลุ่ม คือ อาเจียนและท้องเสีย เชื้อ *Salmonella* spp. ก่อโรคไข้ไทฟอยด์และพาราไทฟอยด์ หรือไข้รากสาดเทียม เชื้อ *V. cholerae* ก่อโรคอหิวาตกโรค เชื้อ *V. parahaemolyticus* สร้างสารพิษ ทำให้ถ่ายเหลว บางสายพันธุ์ย่อยเม็ดเลือดแดงได้ เชื้อ *L. monocytogenes* ก่อโรคลิสเตอริโอซิสทำให้เชื้อหุ้มสมองอักเสบ เชื้อนี้ทำลายต่อมน้ำเหลือง มดลูก ทำให้หญิงที่มีอายุครรภ์ต่ำกว่า 4 สัปดาห์ แท้งลูก [5]

เนื่องจากยังไม่มีรายงานการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าหู้ซึ่งผลิตและจำหน่ายในจังหวัดพัทลุง การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเต้าหู้ โดยนำผลการวิจัยเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร [4] ผลการวิจัยนี้ จะทำให้ทราบถึงคุณภาพความปลอดภัยของเต้าหู้ที่จำหน่ายในร้านต่างๆ หากตรวจพบเชื้อก่อโรคทางเดินอาหารที่มีผลต่อสุขอนามัยของผู้บริโภค จะมีข้อมูลสำหรับแจ้งเจ้าหน้าที่รัฐให้ดำเนินการตรวจสอบควบคุม ดูแล กวดขันการผลิตและจำหน่ายให้ถูกสุขลักษณะซึ่งส่งผลให้ผู้บริโภคได้รับประทานอาหารที่ปลอดภัยต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การเก็บตัวอย่าง

ใช้วิธีการเดียวกับการซื้อขายปกติ (ไม่แช่ตัวอย่างในน้ำแข็ง) ในการเก็บตัวอย่างเต้าหู้ครั้งละไม่ต่ำกว่า 500 กรัม จาก 6 ร้าน ได้แก่ร้าน FVA, FVB, FVC, FVD, FVE และ FVF ในอำเภอป่าพะยอม และ เมือง จังหวัดพัทลุง แต่ละร้านเก็บ 5 ครั้ง (แต่ละครั้งห่างกัน 2 สัปดาห์) รวม 30 ตัวอย่าง นำไปตรวจเชื้อที่ห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาทันที

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ใน Butterfield's Phosphate - Buffered Dilution Water (BPB) 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} 10^{-3} และ 10^{-5} คูดแต่ละความเจือจางใส่จานๆ ละ 1 มิลลิลิตร แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ จากนั้นเท Plate Count Agar ใส่จาน ขยับจานไปมา (Shake Plate) เพื่อให้อาหารและสารละลายผสมกัน วางทิ้งให้อาหารแข็ง แล้วกลับจาน บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24-48 ชั่วโมง ตรวจปริมาณจุลินทรีย์ในจานที่มีเชื้อ 25-250 โคโลนี รายงานผลเป็น CFU/g [6]

การตรวจนับปริมาณเชื้อ *Bacillus cereus*

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ใน BPB Dilution Water 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ได้ความเจือจาง 10^{-1} ทำการเจือจางต่อไป ได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} คูดแต่ละความเจือจางใส่จานอาหาร Mannitol – Egg Yolk - Polymyxin Agar จานละ 0.1 มิลลิลิตร แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ จากนั้นกวาดตัวอย่างแต่ละจาน (Spread Plate) ให้ทั่วผิวหน้าอาหาร บ่ม 30 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง นับปริมาณเชื้อในจานที่มีเชื้อ 15-150 โคโลนี หากพบเชื้อ *B. cereus* จะมีโคโลนีสีชมพู และมีบริเวณ (Zone) ขุ่นขาวครีมนอบๆ โคโลนี จากนั้น สุ่มเลือกโคโลนีที่สงสัย 5 โคโลนี นำไปฉีดลากบน Nutrient Agar (NA) Slant บ่ม 30 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง นำไปย้อมแกรม ถ้ามีรูปท่อนยาว เชลล์เรียงต่อเป็นสายสั้นหรือสายยาว มีสปอร์เล็กกว่าเชลล์ปกติ อยู่กลางเชลล์หรือ ก่อนไปทางปลายเชลล์ อาจพบเชื่อนี้ นำไปทดสอบขั้นยืนยันโดยทดสอบการย่อย Glucose การสร้าง Nitrite การสร้างสาร Acetyl Methyl Carbinol การย่อย Tyrosine การเจริญในอาหารที่มี Lysozyme การเคลื่อนที่ของเชื้อ (Motility) การสร้าง Rhizoid การย่อยเม็ดเลือดแดง (Haemolysis) และการสร้าง Protein Toxin Crystals [6]

การตรวจนับปริมาณเชื้อ *Clostridium perfringens*

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ใน 0.1% Peptone Water 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} คูดแต่ละความเจือจางใส่จาน Tryptose Sulfite Cycloserine Double Cycloserine (TSC-D) Agar จานละ 0.1 มิลลิลิตร แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ ทำการกวาดจาน และเท TSC ปิดทับผิวหน้าอาหาร บ่มในโถไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 20-24 ชั่วโมง นับปริมาณเชื้อในจานที่มีเชื้อ 20-200 โคโลนี หากพบเชื้อ *C. perfringens* โคโลนีมีลักษณะกลมดำ (อาจมีแก๊ส H_2S ต้นวัน) สุ่มเลือกโคโลนีดังกล่าวใส่หลอด Thioglycollate Broth บ่ม 35 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ทดสอบยืนยันโดยทดสอบปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของเชื้อ การสร้าง Nitrite การย่อย Lactose การย่อย Gelatin การตกตะกอนน้ำมัน และการสร้างเอนไซม์ Lecithinase [6]

การตรวจนับปริมาณเชื้อ *Staphylococcus aureus*

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ BPB Dilution Water 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} คูดแต่ละความเจือจางๆ ละ 1 มิลลิลิตร ใส่ Baird-Parker Agar 3 จาน (ปริมาตรจานละ 0.3 0.3 และ 0.4 มิลลิลิตร) แต่ละความเจือจางทำ 2 ซ้ำ กวาดตัวอย่างบนผิวอาหาร บ่ม 35 ± 1 องศาเซลเซียส 45-48 ชั่วโมง นับเชื้อในจานที่มีเชื้อ 20-200 โคโลนี หากพบ *S. aureus* โคโลนีกลมมน ผิวเรียบ สีเทาถึงดำทาบรอบโคโลนีมีสีขาวทึบแสง (Opaque Zone) รอบนอกสุดมีโซนใส (Clear Zone) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร โคโลนีชุ่มชื้น ไม่แห้ง สุ่มเลือกโคโลนีดังกล่าว 1 โคโลนีเพื่อยืนยันการพบเชื้อ *S. aureus* และทดสอบการสร้างเอนไซม์ Coagulase และ Catalase [6]

การตรวจปริมาณ MPN /g เชื้อ *Escherichia coli*

ใช้วิธีการหาค่า Most Probable Number (MPN) แบบ 3 หลอด โดยชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ถุง BPB Dilution Water 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-1} และเจือจางต่อไปจนได้ 10^{-2} และ 10^{-3} นำไปทดสอบ ขึ้นแรก โดยคูดแต่ละความเจือจางใส่ Lauryl Sulfate Tryptose (LST) Broth (บรรจุหลอดดักแก๊ส) 10 มิลลิลิตร ความเจือจางละ 3 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร บ่ม 35 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง ถ้ามีแก๊สในหลอดดักแก๊ส รายงานผลเป็นบวก และทดสอบยืนยันขึ้น ถ้าไม่มีแก๊สเมื่อบ่ม 48 ชั่วโมง ให้รายงานผลเป็นลบ แสดงว่าไม่พบเชื้อ สำหรับการทดสอบยืนยันขึ้น โดยเชื้อจากหลอด LST ที่ให้ผลบวกในการตรวจสอบขึ้นแรก ใส่หลอด *Escherichia coli* Broth (หลอดต่อหลอด) บ่ม 45.5 องศาเซลเซียส 24-48 ชั่วโมง ถ้าอาหารบูม มีแก๊ส แสดงว่าให้ผลบวก ให้ทดสอบต่อไปในขั้นสมบูรณ์ โดยเชื้อจาก EC Broth ที่ให้ผลบวก และขีดลากเชื้อบนจาน Eosin Methylene-Blue Agar บ่ม 35 ± 1 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง เลือกโคโลนีที่สงสัย มีลักษณะกลม ขอบเรียบสีดกัวดัด (Metallic Sheen) มีจุดดำตรงกลาง ทดสอบปฏิกิริยาชีวเคมีโดยขีดลากเชื้อใน NA Slant บ่ม 35 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ย้อมแกรม ถ้ามีรูปท่อน ดิคลีแกรมลบ แสดงว่า อาจพบเชื้อ *E. coli* ให้ทดสอบปฏิกิริยา IMViC เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นเชื้อนี้ [6]

การตรวจหาเชื้อ *Listeria monocytogenes*

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ใน Half Fraser (HF) Broth 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่ม 37 องศาเซลเซียส 48 ± 2 ชั่วโมง ดำเนินการทดสอบ 2 วิธีการ ในช่วงเวลาเดียวกัน ตามวิธีการในข้อ ก และ ข [6] ดังนี้

ก. คูดเชื้อจาก HF Broth 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอด Fraser Broth 10 มิลลิลิตร บ่ม 37 องศาเซลเซียส 48 ± 2 ชั่วโมง เชื้อจากหลอด และขีดลากบนอาหาร Oxford Agar และ Palcam Agar บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ± 2 ชั่วโมง ตรวจผลโดยดูโคโลนีบนอาหารแต่ละชนิด หากพบโคโลนีกลม สีเขียวแกมเทาบน Oxford Agar แสดงว่าพบเชื้อที่สงสัย และหากพบโคโลนีกลม บุ่ม ตรงกลางคล้ายโคนัท (Sunkan Colony) มีสีเทา อาหารรอบโคโลนี มีสีน้ำตาลดำ บน Palcam Agar แสดงว่าพบเชื้อที่สงสัย ให้ถ่ายเชื้อที่สงสัยใส่ Tryptone Soya Yeast Extract Agar (TSYEA) บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ย้อมแกรมและทดสอบการเคลื่อนที่ของเชื้อ ทดสอบการสร้างเอนไซม์ Catalase ทดสอบการย่อยเม็ดเลือดแดง และทดสอบแคมป์ (CAMP Test)

ข. เชื้อเชื้อจากถุง HF Broth และขี้ดากบน Oxford Agar และ Palcam Agar บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ± 2 ชั่วโมง สังเกตโคโลนีบนอาหารแต่ละชนิด หากพบโคโลนีกลม สีเขียวแกมเทาบน Oxford Agar แสดงว่า พบเชื้อที่สงสัย และหากโคโลนีกลมนุ่มตรงกลางคล้ายโดนัท มีสีเทา อาหารรอบโคโลนีมีสีน้ำตาลดำบน Palcam Agar อาจพบเชื้อที่สงสัย ให้ถ่ายเชื้อใส่จาน TSYEA บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ย้อมแกรมและทดสอบการเคลื่อนที่ของเชื้อ การสร้าง Catalase การย่อยเม็คเล็ดแดง และทดสอบแอมป์

การตรวจหาเชื้อ *Salmonella* spp.

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ถุงเจือจางด้วย Buffered Peptone Water (BPW) 225 มิลลิลิตร บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 18 ± 2 ชั่วโมง คูดสารละลาย BPW ใส่หลอดอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ Rappaport – Vassiliadis Broth (RVS) Broth และ Muller – Kauffman Tetrathionate – Novobiocin (MKTn) Broth [6] ดังนี้

- คูดสารละลาย BPW 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอด RVS 10 มิลลิลิตร บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 41.5 ± 1 องศาเซลเซียส 24 ± 3 ชั่วโมง

- คูดสารละลาย BPW 1 มิลลิลิตร ใส่หลอด MKTn 10 มิลลิลิตร บ่ม 37 ± 1 องศาเซลเซียส 24 ± 3 ชั่วโมงเมื่อครบเวลาให้เขย่าหลอดอาหารทั้งสองชนิด ก่อนนำเชื้อไปขี้ดากบนอาหาร Xylose Lysine Desoxycholate (XLD) Agar และ Hektoen Enteric (HE) Agar กลับจาน และบ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เลือกลโคโลนีที่สงสัยจากแต่ละจานๆ ละ 2 โคโลนี โดยโคโลนีเชื้อ *Salmonella* spp. บน XLD มีรูปกลม สีชมพูใส อาจมีหรือไม่มีจุดดำตรงกลาง มีขนาดใหญ่ มันวาว หรืออาจมีสีดำทั้งโคโลนี ส่วนโคโลนีบน HE มีรูปกลม สีฟ้าเขียวหรือฟ้า อาจพบหรือไม่พบจุดดำตรงกลางโคโลนี นำไปขี้ดากบนจาน NA บ่ม 37 องศาเซลเซียส 24 ± 3 ชั่วโมง และนำไปทดสอบปฏิกิริยาการย่อยน้ำตาล 3 ชนิด (TSI) การย่อย Lysine การสร้าง Indole การเคลื่อนที่ของเชื้อ การสร้างเอนไซม์ Urease การสร้าง Butyleneglycol การสร้างเอนไซม์ β – Galactosidase

การตรวจหาเชื้อ *Vibrio cholerae*

ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ถุง Alkaline Peptone Water (APW) 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันบ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง เชื้อเชื้อและขี้ดากบน Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose (TCBS) Agar บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 6-8 ชั่วโมง และบ่มต่อจนครบ 24 ± 2 ชั่วโมง แล้วขี้ดากบน TCBS Agar โคโลนี *V. cholerae* บน TCBS Agar มีสีเหลือง เนื่องจากเชื้อใช้ Sucrose โคโลนีมีขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร ขอบเรียบค่อนข้างแบน โคโลนีพุ่งตรงกลางและมีโซนใสรอบโคโลนี เลือกลโคโลนีดังกล่าว 3 โคโลนี ขี้ดากบน T_1N_1 Agar บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ทดสอบขั้นยืนยัน โดยทดสอบการย่อยน้ำตาล 3 ชนิด (Triple Sugar Iron Agar : TSI) LIA, AGS การทดสอบการเจริญในน้ำเกลือ (T_1N_0 และ T_1N_3) String Test การสร้างเอนไซม์ Oxidase และการตกตะกอนกับ Antiserum [6]

การตรวจหาเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus*

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ถุง Phosphate Buffered Saline (PBS) 450 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนได้ความเจือจาง 10^{-1} จากนั้นคูด 1 มิลลิลิตรใส่หลอด APW 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันได้ความเจือจาง 10^{-2} เจือจางต่อไปจนได้ 10^{-3} บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง สังเกตความพุ่งของอาหารในหลอด จากนั้นเชื้อเชื้อ (ไม่ต้องเขย่าหลอด) และขี้ดากบน TCBS Agar บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง หากพบโคโลนีกลม สีเขียวหรือเขียว ใส เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตร อาจพบเชื้อ *V. parahaemolyticus* เลือกลโคโลนีดังกล่าว 2 โคโลนี ขี้ดากบน TSA+ 2 % NaCl บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ทดสอบขั้นยืนยันการพบเชื้อนี้ [6] ดังนี้

- ถ่ายเชื้อจาก TCBS ใส่หลอด Arginine Glucose Slants (AGS) โดยขี้ดากบนอาหารเอียง และแทงเข็ม (Stab) ในส่วนอาหารเต็มหลอด (Butt) บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง หากพบเชื้อนี้ให้ผลทดสอบบน AGS บริเวณ K/A เป็นสีม่วง ส่วน Slant เป็นสีเหลือง และ Butt ไม่สร้างแก๊สหรือ H_2S

- ทดสอบการใช้น้ำเกลือ โดยถ่ายเชื้อลง T_1N_0 , T_1N_3 บ่ม 35 ± 2 องศาเซลเซียส 18-24 ชั่วโมง ถ้าพบเชื้อนี้จะให้ผลเป็นลบ ใน T_1N_0 คือ เชื้อไม่เจริญ และเป็นบวก ใน T_1N_3 คือ เชื้อเจริญทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อขึ้น
- สำหรับ TSA + 2% NaCl ใช้การย้อมแกรม และทดสอบ Oxidase เชื้อนี้ติดสีแกรมลบ และ Oxidase เป็นบวก

ผลการวิจัย

ผลการตรวจจุลินทรีย์ในเต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง โดยตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ตรวจนับปริมาณเชื้อ *B. cereus*, *C. perfringens*, *S. aureus* ตรวจปริมาณ MPN/g เชื้อ *E. coli* และตรวจหาเชื้อ *L. monocytogenes* *Salmonella* spp., *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus* ในตัวอย่าง 25 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การตรวจปริมาณและตรวจหาจุลินทรีย์ในเต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และ เมือง จังหวัดพัทลุง

รหัส ตัวอย่าง	การตรวจปริมาณ					การตรวจหาเชื้อ			
	จุลินทรีย์ ทั้งหมด (CFU/g)	<i>B. cereus</i> (CFU/g)	<i>C. perfringens</i> (CFU/g)	<i>S. aureus</i> (CFU/g)	MPN/g <i>E. coli</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> sp.	<i>V. cholerae</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>
FVA 1	2.0×10^5	<10	<10	<10	20	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 2	8.1×10^4	<10	<10	<10	3.6	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 3	1.2×10^5	<10	<10	<10	<3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 4	1.4×10^5	<10	<10	<10	23	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVA 5	1.2×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 1	1.6×10^7	<10	<10	<10	1100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 2	1.6×10^6	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 3	1.1×10^7	<10	<10	<10	460	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 4	2.0×10^6	<10	<10	<10	>1100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVB 5	1.4×10^7	<10	<10	<10	290	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 1	1.8×10^5	<10	<10	<10	460	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 2	6.7×10^5	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 3	2.6×10^5	<10	<10	<10	93	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 4	1.2×10^5	<10	<10	<10	35	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVC 5	1.4×10^5	<10	<10	<10	35	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 1	1.6×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 2	1.6×10^6	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 3	1.4×10^6	<10	<10	<10	160	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 4	2.0×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVD 5	4.4×10^5	<10	<10	<10	21	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 1	1.7×10^6	<10	<10	<10	460	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 2	1.9×10^6	<10	<10	<10	3.6	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 3	1.4×10^7	<10	<10	<10	240	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 4	1.1×10^7	<10	<10	<10	1100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVE 5	1.9×10^7	<10	<10	<10	43	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 1 การตรวจปริมาณและตรวจหาจุลินทรีย์ในเต้าหู้ 30 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในอำเภอป่าพะยอม และ เมือง จังหวัดพัทลุง (ต่อ)

รหัส	การตรวจปริมาณ					การตรวจหาเชื้อ			
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	<i>B. cereus</i> (CFU/g)	<i>C. perfringens</i> (CFU/g)	<i>S. aureus</i> (CFU/g)	MPN/g <i>E. coli</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> sp.	<i>V. cholerae</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>
FVF 1	1.7×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 2	2.0×10^4	<10	<10	<10	<3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 3	1.4×10^6	<10	<10	<10	93	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 4	9.3×10^5	<10	<10	<10	9.2	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
FVF 5	7.8×10^4	<10	<10	<10	<3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

การอภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบผลการวิจัยกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร [4] พบว่าเต้าหู้ทุกตัวอย่างที่เก็บจากร้าน FVA ซึ่งเป็นร้านริมถนนใกล้ตลาดสด อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง และร้าน FVC ซึ่งเป็นร้านรถเข็นที่อยู่ในตลาดไต้รุ่ง ใกล้สถานีรถไฟ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง พบจุลินทรีย์ทั้งหมด $< 1.0 \times 10^6$ CFU/g พบเชื้อ *B. cereus*, *C. perfringens* และเชื้อ *S. aureus* <10 , <10 และ <10 CFU/g ตามลำดับ แม้ว่าทุกตัวอย่างไม่พบเชื้อ *L. monocytogenes*, *Salmonella* sp., *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus* จัดได้ว่าเชื้อทั้งหมดที่กล่าวมาอยู่ในเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาดังกล่าว [4] แต่ตัวอย่างส่วนใหญ่ที่เก็บจากสองร้านนี้ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา เนื่องจากเกือบทุกตัวอย่างพบ MPN/g *E. coli* > 3 ยกเว้นรหัส FVA3 ที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ทุกรายการที่ตรวจมีเชื้ออยู่ในเกณฑ์ เชื้อ *E. coli* เป็นแบคทีเรียประจำถิ่น ในอุจจาระของคนและสัตว์เลื้อยคลาน [3] การพบเชืื่อนี้สูงกว่าเกณฑ์ บ่งชี้ได้ว่าเป็นเชื้อที่มาจากมือผู้สัมผัสอาหารที่ล้างทำความสะอาดไม่เพียงพอภายหลังการจับถ้ำของเสีย เป็นต้น เมื่อใช้มือสัมผัสเครื่องปรุงเต้าหู้ในช่วงการจำหน่าย จึงพบเชื้อนี้ ผลการตรวจพบว่าทุกตัวอย่างจากร้าน FVB ซึ่งเป็นร้านแผงลอยในตลาดสด อำเภอป่าพะยอม และร้าน FVE ซึ่งเป็นร้านรถเข็นในตลาดไต้รุ่งในอำเภอเมือง พบจุลินทรีย์ทั้งหมด และ MPN/g *E. coli* สูงกว่าเกณฑ์ คือ $> 1.0 \times 10^6$ CFU/g และ > 3 ตามลำดับ แม้ว่าผลการตรวจเชื้ออื่นๆจะอยู่ในเกณฑ์ก็ตาม การวิจัยนี้ยังพบว่า ผู้จำหน่ายร้าน FVB และ FVE ใช้มือเปล่าสัมผัสเครื่องปรุงเต้าหู้เช่นเดียวกัน สำหรับร้าน D ซึ่งเป็นร้านรถเข็น ในตลาดไต้รุ่งในอำเภอเมือง และร้าน FVF ซึ่งอยู่หลังศูนย์การค้าในอำเภอเมือง พบว่าบางตัวอย่าง ได้แก่รหัส FVD2 FVD3 และ FVF3 มีจุลินทรีย์ทั้งหมด $> 1.0 \times 10^6$ CFU/g ส่วนตัวอย่างอื่นๆจากร้านนี้ แม้จะมีจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ แต่พบว่ามี MPN/g *E. coli* สูงกว่าเกณฑ์ โดยพบว่า รหัส FVF2 และ FVF3 มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาอยู่ในเกณฑ์ และมีคุณภาพดีกว่าเต้าหู้จากร้านอื่นๆ ทั้งนี้ร้าน FVF มีการใช้อุปกรณ์ เช่น คีมคีบ ทัพพี และ ส้อม ในการสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ และ เครื่องปรุงถูกบรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด การตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมด และ MPN/g ของเชื้อ *E. coli* ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยา อาจมาจากเต้าหู้ได้รับเชื้อปนเปื้อนจากแหล่งต่างๆ [3] ได้แก่ วัตถุดิบ วัตถุดิบ อุปกรณ์ น้ำล้างวัตถุดิบและอุปกรณ์ ผู้สัมผัสอาหารที่มีสุขอนามัยส่วนบุคคลต่างกัน ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของข้าวยา 30 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในอำเภอเมืองพัทลุง [7] พบว่าทุกตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร [4] เนื่องจากพบจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าเกณฑ์ แม้ว่าทุกตัวอย่างพบเชื้อ *B. cereus*, *C. perfringens* และ *S. aureus* < 10 CFU/g และทุกตัวอย่างตรวจไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp., *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* และ *L. monocytogenes* นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างที่ตรวจส่วนใหญ่พบ MPN/g เชื้อ *E. coli* มากกว่าเกณฑ์ ยกเว้นรหัส FVC₂ และ FVC₃ พบ *E. coli* อยู่ในเกณฑ์ จากการที่

รูปแบบการจำหน่ายข้าวยาคล้ายคลึงกับเต้าคั่ว โดยผู้จำหน่าย ส่วนใหญ่มักใช้มือเปล่าสัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ในกระบวนการจำหน่าย โดยเฉพาะเต้าคั่วมักถูกสัมผัสด้วยมือเปล่า ทั้งในกระบวนการจัดเตรียมเครื่องปรุงและการจำหน่าย ซึ่งหากเครื่องปรุงไม่ถูกบรรจุในภาชนะที่ปิดฝามิดชิดในช่วงการจำหน่าย เครื่องปรุงเหล่านี้ จึงมีโอกาสสูงที่จะได้รับจุลินทรีย์จากกระแสม ฝุ่นละออง น้ำมูกน้ำลาย จากการไอ จาม พุคคุย และจากมือของผู้จำหน่าย ซึ่งใช้มือเปล่าสัมผัสทั้งเครื่องปรุงเต้าคั่ว และสัมผัสเงินตราในช่วงการจำหน่าย โดยพบว่าในเงินตรามีจุลินทรีย์ต่างๆ ปนเปื้อน [2] เช่น แบคทีเรีย *B. cereus*, *E. coli*, *Salmonella* sp. และ *Staphylococcus* sp. เป็นต้น เชื้อราได้แก่ *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. เป็นต้น เชื้อยีสต์ได้แก่ *Candida* spp. และ *Cryptococcus* sp. เป็นต้น การวิจัยนี้พบว่า เต้าคั่ว 30 ตัวอย่างที่ตรวจ มีเพียง 3 ตัวอย่าง ที่ผ่านเกณฑ์ได้แก่รหัส FVA3 FVF2 และ FVF5 จึงขอแนะนำผู้บริโภค ควรเลือกซื้อเต้าคั่วจากผู้จำหน่ายที่มีสุขอนามัยบุคคลที่ดี โดยสวมหมวกคลุมผม ใส่ผ้ากันเปื้อนที่สะอาด ใช้อุปกรณ์สัมผัสอาหาร ไม่สัมผัสเครื่องปรุงต่างๆ ของเต้าคั่วด้วยมือเปล่า และบรรจุเครื่องปรุงต่างๆ ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด

สรุปผลการวิจัย

เต้าคั่ว 30 ตัวอย่าง ผ่านเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร 3 ตัวอย่าง ได้แก่ รหัส FVA3 FVF2 และ FVF5 คิดเป็นร้อยละ 10

เอกสารอ้างอิง

- [1] นันทนา ปริมาณศิษย์. (2556). เต้าคั่ว-รอยเยาะ อาหารคู่แฝด. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2556, จาก http://www.sentangsedtee.com/news_detail.php?rich_id=298&section=2&column_id=42.
- [2] Kuria, J.K., Wahome, R.G., Jobalamin, M. and Kariuki, S.M. (2009). "Profile of bacteria and fungi on money coins", *East African Medical Journal*. 86(4), 151-155.
- [3] นุชกร อุดรภิชาติ. (2555). จุลชีววิทยาทางอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 5). สงขลา. บริษัทนำศิลป์โฆษณา จำกัด.
- [4] สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร. (2553). เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. สืบค้นเมื่อ 22 มิถุนายน 2555, จาก <http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/file/varity/cheme/confict.htm>.
- [5] นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. (2547). แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับโรค (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: Noble Print.
- [6] Bacteriological Analytical Manual Online. (2012). *Aerobic Plate Count, Bacillus cereus, Clostridium perfringens, Escherichia coli, Listeria monocytogenes, Salmonella spp., Staphylococcus aureus and Vibrio*. Retrieved June 1st, 2014, from <https://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm2006949.htm>
- [7] นุชกร อุดรภิชาติ พิระ ทองมี ปณัดดา พรหมจรรย์ มุฮัมหมัด สะโดน พัทธนิย์ สอนสุภา และ ปณณิณ มีแก้ว. (2558). "คุณภาพทางจุลชีววิทยาของข้าวยาที่ผลิตและจำหน่ายในอำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง", ใน รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25 ประจำปี 2558. 186. วันที่ 10-12 มิถุนายน 2558 ณ หอประชุมปาริชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา.

ผลของสภาวะการพuffingต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบ

Effect of Puffing Conditions on Quality of Crispy Banana

ถาวร จันทโชติ^{1*}

Thavorn Juntachote^{1*}

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของสภาวะการพuffingต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบ โดยใช้กล้วยไข่แก่จัดระยะที่ 3 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 14-18 °Brix หั่นตามขวางขนาด 2.5 มิลลิเมตร แช่กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.75% (w/v) เป็นเวลานาน 5 นาที แบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ไม่ผ่านการฟritทรีทเมนต์ และส่วนที่ผ่านการฟritทรีทเมนต์ด้วยการลวกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ให้เหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 25% d.b. ก่อนเข้าสู่กระบวนการพuffingเพื่อทำให้น้ำที่อยู่ภายในอาหารเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิในการศึกษา 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการพuffingนาน 5 นาที และที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการพuffingนาน 4 นาที ให้เหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 4% d.b. จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้านสี การหดตัว (Shrinkage) และเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบ พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟritทรีทเมนต์มีค่า L^* และค่าสี b^* ที่สูง และค่าสี a^* ที่ต่ำกว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritทรีทเมนต์ และเมื่อใช้อุณหภูมิในการพuffingสูงขึ้นจะทำให้กล้วยแผ่นกรอบมีค่า L^* และค่าสี b^* ที่ลดลง และค่าสี a^* ที่เพิ่มขึ้น การฟritทรีทเมนต์และอุณหภูมิที่ใช้ในการพuffingส่งผลต่อค่าการหดตัวและค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นที่ผ่านและไม่ผ่านการฟritทรีทเมนต์และทำการพuffingที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งและค่าการหดตัวน้อยกว่าการพuffingที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟritทรีทเมนต์และทำการพuffingที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสหรือที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีคะแนนเฉลี่ยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟritทรีทเมนต์ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: กล้วยไข่ เทคนิคการพuffing การฟritทรีทเมนต์ ค่าการหดตัว เนื้อสัมผัส

¹ อ. ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Faculty Dr., Food Science and Technology Program, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 085-0803987. E-mail address: tjuntachote@hotmail.com

Abstract

The effect of puffing condition on physical properties and sensory evaluation of crispy banana was studied. Bananas with a mature ripe stage of 3 containing 14-18 °Brix was peeled and sliced into approximately 2.5 mm thickness, dipped into 0.75% (w/v) citric acid for 5 minutes and randomly divided into 2 groups for treatments. One group was pretreated with blanching at a temperature of 90 °C for 1 min while the another group without blanching. The banana with and without pretreatment were dried in the hot air oven at a temperature of 90 °C to final moisture content of 25% d.b. and followed by puffing them with hot air to boil and evaporate the moisture quickly at temperature of 170 °C for 5 min and 160 °C for 4 min to obtain moisture content of 4% d.b. The physical properties of color, shrinkage and texture (Hardness) of the crispy banana were studied. The experiment results showed that the crispy banana without pretreatment condition resulted in high L^* and b^* value and low a^* value as compared to crispy banana with pretreatment whereas the crispy banana at high puffing temperature had lower L^* and b^* value and higher with a^* value than that puffed at low temperature. The pretreatment and puffing temperature have a significant effect on shrinkage and hardness of crispy banana ($p < 0.05$). The crispy banana with and without pretreatment and puffing at temperature of 170 °C showed lower hardness and shrinkage than puffing at temperature of 160 °C. Sensory evaluation results showed the crispy banana without pretreatment and puffed at temperature of 160 °C or 170 °C had higher acceptable average score in terms of color, odor, crispy and overall liking attributes than that of pretreatment crispy banana ($p < 0.05$).

Keywords: Banana, Puffing, Pretreatment, Shrinkage, Texture

บทนำ

กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมบริโภคโดยทั่วไป มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa Jaradisiaca* L. var. *sapientum* O. Ktze วงศ์ Musaceae กล้วยเป็นพืชที่ปลูกง่ายในทุกรัฐภาคของประเทศไทย เติบโตเร็ว ให้ผลตลอดปี และเหมาะต่อการบริโภคสำหรับทุกเพศทุกวัย เนื่องจากมีรสชาติหวาน เนื้อนุ่ม และมีกลิ่นหอม นอกจากนี้ยังเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหารในการบริโภคสดหรือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กล้วยไข่มีวิตามินต่างๆ ไอโอดีน และสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น กล้วยไข่ที่มีอายุการเก็บรักษาก่อนข้างสั้นและมีปัญหาเรื่องผิวดกกระ (Senescent Spotting) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภค [1] อีกทั้งในช่วงของปีกล้วยไข่จะมีปริมาณมากและมีราคาต่ำหรือเป็นกล้วยที่มีคุณภาพต่ำเหลือจากการคัดคุณภาพขนาดมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าและช่วยทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น กล้วยไข่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น กล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยกวน และกล้วยทอดกรอบ เป็นต้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์กล้วยไข่แผ่นกรอบที่จำหน่ายโดยทั่วไปในท้องตลาดนิยมใช้กล้วยดิบมาทำการแปรรูปด้วยวิธีการทอดในน้ำมันที่ใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 180-200 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง พองกรอบ มีสีเหลืองอ่อน และสามารถนำไปปรุงรสด้วยเกลือหรือน้ำตาล เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานานผลิตภัณฑ์จะเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันกับออกซิเจน กล้วยไข่แผ่นทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ของขบเคี้ยวหรืออาหารว่างที่ค่อนข้างมีไขมันสูง ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจเรื่องสุขภาพและควบคุมน้ำหนัก ซึ่งการแปรรูปกล้วยไข่แผ่นทอดกรอบในช่วงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การปอกเปลือกและการผ่านกล้วยเป็นแผ่นบาง มักจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วยอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลกับออกซิเจนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สามารถยับยั้งด้วยการให้ความร้อนด้วยการลวกด้วยน้ำร้อนหรือน้ำ และการแช่ในสารเคมีจำพวกกรดต่างๆ เช่น กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิก เป็นต้น [2] ในการผลิตผลิตภัณฑ์กล้วย

ที่มีลักษณะพองกรอบนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทอดในน้ำมันที่สภาวะบรรยากาศปกติและสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ การอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการพuffing (Puffing) เป็นต้น ซึ่งวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพในด้านสี เนื้อสัมผัส ความเป็นรูพรุน การหดตัว และความกรอบรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ไม่เท่ากัน กระบวนการพuffing (Puffing) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแปรรูปกล้วยกรอบให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายกล้วยที่ผ่านการทอด ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบที่ได้จะไม่มียeast ประกอบของน้ำมัน หลักการของกระบวนการพuffing ทำได้ด้วยการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นๆ เพื่อทำให้น้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารเกิดการเดือด และระเหยกลายเป็นไพอ่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้แรงดันภายในชิ้นอาหารมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้เนื้ออาหารเกิดการขยายตัวและมีรูพรุนเกิดขึ้น ซึ่งหากอุณหภูมิของชิ้นอาหารต่ำเกินไป จะทำให้การเดือดของน้ำภายในชิ้นอาหารเกิดขึ้นได้น้อย แต่หากชิ้นอาหารมีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้ให้น้ำในชิ้นอาหารเกิดการเดือดอย่างรุนแรงจนทำให้ชิ้นอาหารอาจแตกได้ กระบวนการพuffing สามารถทำได้โดยการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาผลของการพuffing ด้วยวิธีการลวกแผ่นกล้วยดิบในน้ำร้อน และผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการพuffing ที่มีต่อคุณภาพด้านสี การหดตัว ความกรอบ และทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่แผ่นกรอบ และเป็นแนวทางในการพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำกล้วยไข่สุกระยะที่ 3 ซึ่งพิจารณาได้จากสีของเปลือกเขียวออกเหลืองเล็กน้อย โดยเนื้อกล้วยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid; TSS) ประมาณ 14-18 °Brix ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลกล้วยไข่ประมาณ 25 มิลลิเมตร นำกล้วยไข่มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นตามขวางขนาด 2.5 มิลลิเมตร นำไปแช่ในกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.75% (w/v) นานเวลา 5 นาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อกล้วย แบ่งกล้วยแผ่นที่ได้ออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 ไม่พuffing และกลุ่มที่ 2 นำกล้วยมาลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้แป้งที่อยู่ในกล้วยเกิดการเจลาไลไนซ์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างของแต่ละกลุ่มมาล้างด้วยน้ำกลั่นนาน 30 วินาที ซับน้ำให้แห้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วนำไปจัดเรียงบนตะแกรงก่อนเข้าเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ให้เหลือความชื้นประมาณ 25 % d.b. สำหรับกล้วยที่ไม่ผ่านการลวกจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 100-110 นาที และกล้วยที่ผ่านการลวกใช้เวลา 120-125 นาที นำกล้วยทั้ง 2 กลุ่มๆ ละ 250 กรัม มาทำการพuffing ด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 5 นาที และที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 4 นาที ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 4 % d.b. หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เช่น ค่าสี การหดตัว และเนื้อสัมผัส และทางด้านประสาทสัมผัส

2. การทดสอบคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์

สีของกล้วยแผ่นทำการวัด โดยใช้เครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab โดยวัดสีค่าของกล้วยแผ่นกรอบตามระบบ Hunter ซึ่งแสดงในเทอมของตัวแปร L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง ค่า a^* แสดงค่าสีแดง และสีเขียว ค่า b^* แสดงค่าสีเหลืองและน้ำเงิน การทดสอบจะใช้กล้วยแผ่นกรอบจำนวน 12 ตัวอย่าง และวัดสีตัวอย่างละ 3 ครั้ง

3. การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของผลิตภัณฑ์

ในการทดสอบการหดตัวของกล้วยแผ่นกรอบ ด้วยการวัดความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางของกล้วยแผ่นกรอบก่อนและหลังการทำพuffing ด้วยเครื่องเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ใช้ตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น และจะทำการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของ

แผ่นกล้วย 3 ตำแหน่ง ค่าการหดตัวของตัวอย่างจะแสดงในคำร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางสามารถคำนวณได้จากสมการ [4-5]

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{d_o - d_t}{d_o} \times 100$$

โดย d_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเริ่มต้น

d_t คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหลังการฟัฟฟิง

4. การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบหลังการฟัฟฟิง โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT. Plus โดยทำการทดสอบในลักษณะของแรงกด (Compression) ใช้หัวกดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และความเร็วในการกด 1 mm/s โดยกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกออกจากกัน พิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบจากค่าความแข็ง (Hardness)

5. การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) ของกล้วยแผ่นกรอบหลังการฟัฟฟิง ประเมินค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) รสชาติ (Flavor) ความกรอบ (Crispness) และความชอบโดยรวม (Overall Liking) โดยใช้วิธีทดสอบค่าคะแนนความชอบ (Liking Test) ของผู้ทดสอบด้วยสเกลความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ใช้ผู้ทดสอบชิมประเภทผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (Un-Training) จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนิสิตจากคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อายุระหว่าง 19-23 ปี

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Data analysis)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ สำหรับการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยแผ่นกรอบและวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการประเมินค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีดเมนต์โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. คุณภาพทางด้านกายภาพของกล้วยแผ่นกรอบภายหลังการฟัฟฟิง

1.1 ด้านสี

ผลของการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านและผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟัฟฟิงมีสีเหลืองทอง โดยมีค่า L^* และค่า b^* ที่สูง และค่า a^* ที่ต่ำกว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิง ซึ่งมีสีเหลืองปนน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนในการฟัฟฟิงทำให้เกิดการสลายเป็นน้ำตาลมากขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาลระหว่างกรอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C เพื่อลดความชื้นเหลือ 25% และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการฟัฟฟิงแผ่นกล้วยจึงมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการฟัฟฟิงสูงขึ้นจะทำให้แผ่นกล้วยมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่า L^* และค่า b^* ที่ลดลง และค่า a^* ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงอาจส่งผล

ให้เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization) ของพอลิแซ็กคาไรด์พวกน้ำตาลและแป้งในเนื้อเยื่อกล้วย [6] จึงทำให้กล้วยแผ่นกรอบเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าการทำฟุ้งที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 1 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที และไม่ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	ค่าสี		
		L^*	a^*	b^*
160	ไม่ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ	58.67 ± 6.40^c	4.80 ± 0.53^a	26.83 ± 1.14^c
	ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ	48.79 ± 4.09^a	6.87 ± 0.92^c	16.81 ± 1.17^a
170	ไม่ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ	54.01 ± 0.46^b	4.96 ± 0.48^a	25.01 ± 5.25^b
	ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ	47.39 ± 4.41^a	5.89 ± 1.43^b	16.58 ± 1.25^a

ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-c} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2 ด้านการหดตัว

การหดตัวของกล้วยแผ่นกรอบหลังการฟุ้ง แสดงดังตารางที่ 2 พบว่ากล้วยที่ผ่านการฟุ้งที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการหดตัวมากกว่าการฟุ้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟุ้งที่อุณหภูมิ 160 °C และ 170 °C มีค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) อยู่ในช่วง 9.09-13.68% และ 7.95-11.48% ตามลำดับ และมีค่าการหดตัวทางด้านความหนา (L) อยู่ในช่วง 28.09-43.38% และ 24.65-35.50% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการฟุ้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้มีการระเหยของน้ำที่ผิวของแผ่นกล้วยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดการแข็งตัวบริเวณผิวของแผ่นกล้วย ซึ่งจะช่วยรักษารูปทรงและปริมาตรของกล้วยแผ่นไม่ให้หดตัวมากขึ้น นอกจากนี้แผ่นกล้วยจะเกิดการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าทางด้านความหนา เนื่องจากทางด้านความหนา มีพื้นที่การระเหยมากกว่าทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งการระเหยของน้ำได้ยากกว่า นอกจากนี้การฟrittที่อุณหภูมิสูงส่งผลต่อการหดตัวของแผ่นกล้วยอีกด้วย โดยกล้วยแผ่นที่ผ่านการลวกจะเกิดการหดตัวมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของความร้อนจะทำให้เซลล์เกิดการเสื่อมสภาพและเกิดการสูญเสียน้ำซึ่งเป็นสารที่ช่วยเสริมผนังเซลล์ให้หนาและแข็งแรง [7-9] โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ 160 °C และ 170 °C มีค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และด้านความหนา (L) อยู่ในช่วง 7.95-9.09% และ 24.65-28.09% ตามลำดับ และกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟrittที่อุณหภูมิ 160 °C มีค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และด้านความหนา (L) อยู่ในช่วง 11.48-13.68% และ 35.50-43.38% ตามลำดับ

1.3 ด้านเนื้อสัมผัส

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบจะพิจารณาจากความแข็ง ซึ่งจะแสดงถึงความกรอบของอาหาร โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากจะมีค่าความแข็งน้อย ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) ของกล้วยแผ่นกรอบ แสดงดังตารางที่ 3 พบว่ากล้วยที่ผ่านการฟุ้งที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าความแข็งมากกว่าการฟุ้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟุ้งที่อุณหภูมิ 160 °C และ 170 °C มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 510.90-579.00 และ 266.62-389.83 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการฟุ้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ในแผ่นกล้วยเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว แผ่นกล้วยจะเกิดการพองตัวได้มาก มีช่องว่างหรือโพรงอากาศภายในมากขึ้น ทำให้แผ่นกล้วยมีค่าความแข็งน้อยและมีความกรอบมากขึ้นขณะที่การฟุ้งที่อุณหภูมิต่ำในแผ่นกล้วยจะเดือดน้อยกว่าโครงสร้างจะเกิดการพองตัวและยุบตัวลง และมีการหดตัวมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้แผ่นกล้วยมีความแข็งมากขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และทางด้านความหนา (L) ของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C โดยไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C และผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	%Shrinkage (D)	%Shrinkage (L)
160	ไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C	9.09 ± 1.04 ^b	28.09 ± 1.73 ^b
	ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C	13.68 ± 1.96 ^d	43.38 ± 2.41 ^d
170	ไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 170 °C	7.95 ± 1.19 ^a	24.65 ± 1.35 ^a
	ผ่านการฟัฟฟิงที่ 170 °C	11.48 ± 1.32 ^c	35.50 ± 2.52 ^c

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นอกจากนี้การฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C ยังส่งผลต่อค่าความแข็งของกล้วยอีกด้วย โดยกล้วยที่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C มีความแข็งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนมีผลต่อการลดลงของเพคติน จึงทำให้กล้วยมีความกรอบเพิ่มขึ้น โดยกล้วยที่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C มีความแข็งต่ำที่สุด เท่ากับ 266 กรัม

ตารางที่ 3 ค่าความแข็ง (Hardness) ของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C โดยไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C และผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	ค่าความแข็ง (g)
160	ไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C	579.00 ± 168.02 ^d
	ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C	510.90 ± 59.86 ^c
170	ไม่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 170 °C	389.83 ± 103.79 ^b
	ผ่านการฟัฟฟิงที่ 170 °C	266.62 ± 35.81 ^a

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบภายหลังการฟัฟฟิง

จากการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านและผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทำการประเมินการยอมรับด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ซึ่งคะแนน 9 หมายถึง ยอมรับมากที่สุด และคะแนน 1 หมายถึง ไม่ยอมรับมากที่สุด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นการยอมรับด้านความกรอบและความชอบรวม ($p < 0.05$) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการฟัฟฟิงจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพด้านความกรอบ ซึ่งการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กล้วยแผ่นกรอบมีการหดตัวน้อย และมีความกรอบมากขึ้นกว่าการฟัฟฟิงที่อุณหภูมิต่ำ และคุณภาพด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันจะส่งผลอย่างยิ่งต่อการยอมรับด้านความชอบรวมของผู้ทดสอบ นอกจากนี้การฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C ยังส่งผลต่อคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบ โดยกล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านและผ่านการฟัฟฟิงที่ 160 °C และ 170 °C มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมที่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ยกเว้นการยอมรับด้านรสชาติและด้านความกรอบ ($p > 0.05$) สีของผลิตภัณฑ์เป็นคุณลักษณะที่ใช้ในการบ่งชี้ของอาหารทอดกรอบและอบกรอบหลายชนิด กล้วยแผ่นกรอบที่ผ่าน

การพรีทรีทเมนต์ก่อนการฟุ้งจะมีมีสีน้ำตาลเข้มกว่าการไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ ซึ่งเป็นผลให้มีการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบรวมลดลง กล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์และฟุ้งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านความชอบโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 5.26 อยู่ในระดับเลขๆ ถึงชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 4 คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที และไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ หลังการฟุ้งที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	กระบวนการ	ปัจจัยคุณภาพ				
		ลักษณะ ปรากฏ	สี	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบ โดยรวม
160	ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์	5.20 ± 1.54 ^b	5.03 ± 1.35 ^b	5.36 ± 0.99 ^a	4.40 ± 1.52 ^a	5.23 ± 1.43 ^b
	ผ่านการพรีทรีทเมนต์	4.66 ± 1.53 ^a	4.70 ± 1.39 ^a	5.03 ± 1.06 ^a	4.53 ± 1.56 ^a	4.53 ± 1.54 ^a
170	ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์	5.26 ± 3.85 ^b	5.03 ± 1.37 ^b	5.46 ± 1.00 ^a	5.16 ± 1.76 ^b	5.26 ± 3.85 ^b
	ผ่านการพรีทรีทเมนต์	4.63 ± 1.37 ^a	4.56 ± 1.38 ^a	5.23 ± 1.04 ^a	5.10 ± 1.58 ^b	5.10 ± 1.32 ^b

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-d} ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยด้านการพรีทรีทเมนต์และอุณหภูมิที่มีผลต่อกระบวนการฟุ้งกล้วยแผ่นกรอบ พบว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ผ่านพรีทรีทเมนต์และการฟุ้งที่อุณหภูมิสูงมีค่า L^* และค่าสี b^* ลดลง แต่ค่าสี a^* สูงกว่ากล้วยแผ่นกรอบที่ไม่ผ่านพรีทรีทเมนต์และฟุ้งที่อุณหภูมิต่ำ การฟุ้งที่อุณหภูมิสูงทำให้กล้วยแผ่นกรอบมีการหดตัวน้อยและมีค่าความแข็งต่ำ แต่ความกรอบเพิ่มขึ้น และกล้วยแผ่นที่ผ่านพรีทรีทเมนต์จะมีการหดตัวมากขึ้นและมีค่าความแข็งต่ำ จากผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส พบว่ากล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านพรีทรีทเมนต์จะมีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติและความชอบรวมสูงกว่ากล้วยแผ่นที่ผ่านพรีทรีทเมนต์ ยกเว้นด้านความกรอบ และการฟุ้งที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้มีคะแนนการยอมรับทางด้านสีลดลง ขณะที่การยอมรับในคุณลักษณะด้านอื่นๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการฟุ้งกล้วยแผ่นกรอบ คือ ที่อุณหภูมิ 170 °C และไม่จำเป็นต้องลวกแผ่นกล้วยไวก่อนการฟุ้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] จริงแท้. (2550). *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช*. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] นิธิยา รัตนพานนท์. (2549). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮาส์.
- [3] คำพัน บัวละพัน สมชาติ โสภณธนฤทธิ สมเกียรติ ปรัชญาวรรณ และวารุณี เดีย. (2550). “การพองของกล้วยโดยเทคนิคร่วมระหว่างอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยิ่งยวด”, ใน *การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1*. วันที่ 31 สิงหาคม 2550. ณ โรงแรมเดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ.
- [4] Kawas, M. L. and Moreira, R. G. (2001). “Effect of degree of starch gelatinization on product quality attributes of tortilla chips during frying”, *Journal of Food Science*. 66(2), 195-210.

- [5] Barat, J. M., Fito, P. and Chiralt, A. (2001). "Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues", **Journal of Food Engineering**. 49, 77-85.
- [6] Wilford, L. G., Sabarez, H. and Price, W.E. (1997). "Kinetics of carbohydrate change during dehydration of d'Agen prunes", **Food Chemistry**. 59(1), 149-155.
- [7] Taiwo, K. A. and Adeyemi, O. (2009). "Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slices", **African Journal of Food Science**. 3(10), 307-315.
- [8] Levi, A., Ramirez-Martinez, J. R. and Padua, H. (1980). "Influence of heat and sulphur dioxide treatments on some quality characteristics of dehydrated peaches", **Journal of Food Technology**. 15, 557-566.
- [9] Knee, M. and Bartley, I. M. (1981). **Composition and metabolism of cell wall polysaccharides in ripening fruits**. New York: Academic Press.
- [10] Singthong, J. and Thongkaew, C. (2009). "Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips", **LWT-Food Science and Technology**. 42, 1199-1203.

คุณภาพของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบโดยใช้หม้ออบลมร้อน

The Quality of Crispy Pineapple Snack by Using Convection Oven

รุ่งทิwa กองเงิน^{1*}

Rungtiwa Kongngoen^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณภาพของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน โดยการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125^oซ. พบว่าการใช้เวลาในการอบกรอบ 120 วินาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพด้านสี (L^* a^* b^*) และค่าความแตกเปราะเท่ากับ 60.14 13.63 42.17 และ 3.29 นิวตัน ตามลำดับ คุณภาพทางเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ 7.17 และ 0.34 ตามลำดับ มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่พบในผลิตภัณฑ์ด้านความแห้ง สี กลิ่น สับปะรด รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมอยู่ในช่วง 6.50-7.20 เมื่อศึกษาคุณภาพในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4^oซ. เป็นเวลา 28 วัน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4^oซ. จะให้คุณภาพในการเก็บรักษาที่ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4^oซ. จะมีแนวโน้มของค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความแตกเปราะ ร้อยละปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกลักษณะดังกล่าวข้างต้นมีค่าในช่วงคะแนน 6.21-7.47 ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณรา น้อยกว่า 1×10^2 และ 1×10 CFU/g ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบกรอบจากธรรมชาติ (มอก.1534-2541)

คำสำคัญ: ขนมขบเคี้ยว สับปะรด กรอบ หม้ออบลมร้อน

Abstract

This research is to study the quality of crispy pineapple snack by convection oven. The study for the suitable time used by convection oven at 125 °C was found that the usage of 120 sec.to make the product crispy result in the physical product quality in color (L^* a^* b^*) and fracturability at 60.14 13.63 42.17 and 3.29 N., respectively. The chemical qualities in moisture content and a_w were 7.17% and 0.34, respectively. The sensory qualities were found in product for dryness of color, pineapple odor, taste, crispiness and overall preference with the range of score at 6.50-7.20. The study of the storage quality in aluminum foil bag at ambient temperature and 4 °C for 28 days, was found that the 4 °C storage giving the better keeping quality than the ambient temperature storage. The 4 °C storage showed an upward trend on lightness and yellowness with the significant difference ($p \leq 0.05$). The redness was not significantly different ($p > 0.05$).

¹ อ., สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

¹ Lecturer, Department of Food Product Development, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

* Corresponding author: Tel. 054-342547-8. E-mail address: tukkatafay@gmail.com

The fracturability of moisture content and a_w had a downward trend with the significant difference ($p \leq 0.05$). The sensory quality score in all attributes were the range of 6.21-7.47. The microorganisms quality in product was lower than 1×10^2 and 1×10 CFU/g which were not greater than the standard microorganism regulation for cereal snack (Thai Industrial Standards no.1534-2541).

Keywords: Snack, Pineapple, Crispy, Convection Oven

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวนับเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่กำลังสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก โดยมีแนวโน้มอัตราการเติบโตในอุตสาหกรรมประเภทนี้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2552 เฉลี่ย 9 เปอร์เซ็นต์ต่อปี [1] ขนมขบเคี้ยวจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในหมู่ผู้บริโภคทั่วไปเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่รับประทานได้ง่าย สะดวกในการพกพา สามารถช่วยประทังความหิวในช่วงระยะเวลาสั้นได้ และมีรสชาติที่เป็นที่ถูกใจผู้บริโภค ประกอบกับในพื้นที่จังหวัดลำปางเป็นพื้นที่ที่เกษตรกรปลูกสับปะรดมากและมักประสบปัญหาของภาวะการล้นตลาดของวัตถุดิบสับปะรด ทำให้สับปะรดมีราคาตกต่ำ ไม่สามารถจำหน่ายสับปะรดในรูปของผลสดให้มีราคาสูงได้ นอกจากนี้ผลสับปะรดยังเป็นผลไม้อร่อยดีสามารถนำมาปรุงหรือประกอบอาหารได้หลากหลายชนิดและยังมีคุณค่าประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งในสับปะรดมีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน น้ำตาล วิตามินซี เบต้าแคโรทีน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส เป็นต้น นอกจากนี้สับปะรดยังมีเอนไซม์โบรมีเลนที่จะช่วยในการย่อยอาหารประเภทโปรตีนได้ดี ทำให้สับปะรดมีสรรพคุณในการช่วยย่อยอาหาร เสริมการดูดซึมอาหาร และยังช่วยในการขับร้อนแก้กระหายได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบสับปะรดประกอบกับการเล็งเห็นช่องทางการเติบโตของธุรกิจประเภทขนมขบเคี้ยว ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำวัตถุดิบสับปะรดมาผลิตเป็นขนมสับปะรดกรอบในรูปแบบที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมซึ่งมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์สับปะรดชิ้นกรอบที่มีวางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดปัจจุบัน โดยการใช้หม้ออบลมร้อนซึ่งเป็นเครื่องมือการผลิตที่มีราคาไม่สูงมากนัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบผลิตขนมสับปะรดแผ่นกรอบ โดยใช้หม้ออบลมร้อนและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการเก็บรักษาในอุณหภูมิเย็นฟรีซที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 28 วัน ซึ่งผลที่ได้คาดว่าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี สามารถทำการผลิตโดยใช้เครื่องมือการผลิตที่มีราคาไม่สูงมาก และมีคุณภาพการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาที่เหมาะสม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

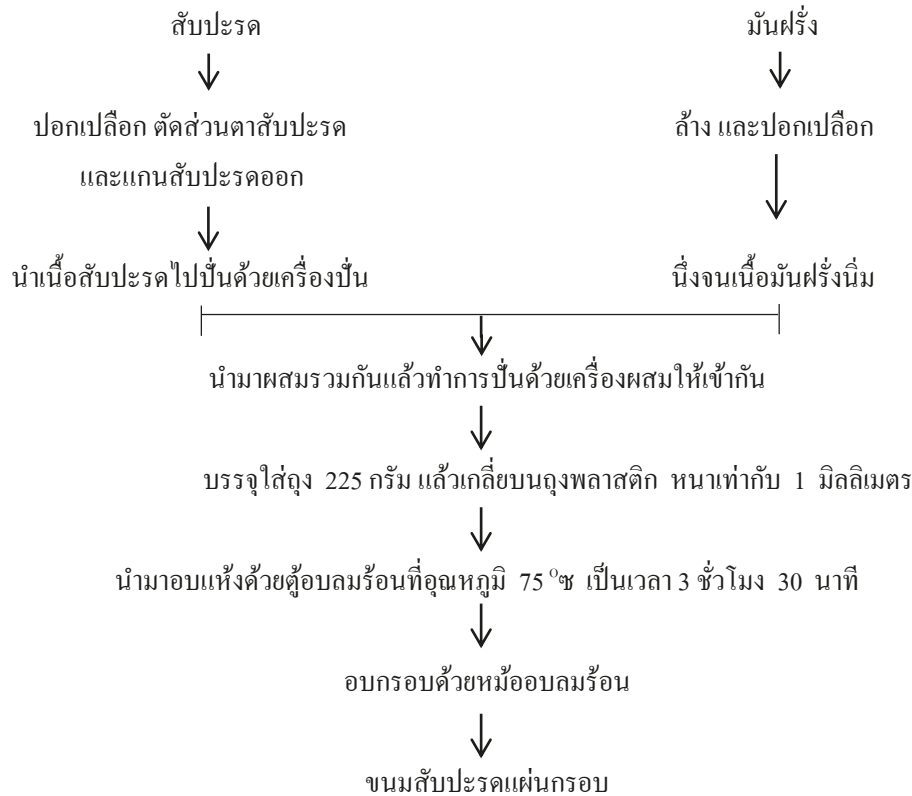
วัสดุ อุปกรณ์

สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ระยะสุกจัด (ตาสีส้มแดงประมาณร้อยละ 20-100) จากแปลงปลูกตำบลบ้านเสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง และมันฝรั่งพันธุ์สปันด้าที่ซื้อจากห้างแมคโคร อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ตู้อบระบบลมร้อน (Electric Convection Dryer) และหม้ออบลมร้อน (House Worth รุ่น HW-COG12)

วิธีดำเนินการ

1. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบขนมสับปะรดแผ่นกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน

ทำการผสมส่วนผสมของสับปะรดและมันฝรั่งที่ร้อยละปริมาณส่วนผสม 80 และ 20 [2] แล้วดำเนินการผลิตเป็นขนมสับปะรดแผ่นกรอบตามกระบวนการดังภาพที่ 1 โดยทำการแปรผันเวลาที่ใช้ในการอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน 4 ระดับ ได้แก่ 60 90 120 และ 150 วินาที ที่อุณหภูมิ 125°C



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตขนมสับปะรดแผ่นกรอบ

ที่มา : ดัดแปลงจากรุ่งทิวา และอุบลรัตน์ [2]

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัส ดังนี้

1.1 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

- วัดค่าสี ระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE)
- วัดลักษณะค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA. XTPlus, UK.) ใช้หัววัด

แบบ p/0.5 Ball probe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm.) pre-test speed: 1 mm/s; test speed: 1 mm/s; post-test speed: 10 mm/s.)
 กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 4 มิลลิเมตร

1.2 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ได้แก่

- วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง AquaLab LITE รุ่น Decagon Devices, Inc.
- ปริมาณความชื้น โดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ. ตามวิธีการใน AOAC (2000) [3]

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ผลการทดลองโดย Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

1.3 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale ในด้านลักษณะปรากฏ (ความแห้ง) สี กลิ่นสับปะรด รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบรวม วิเคราะห์ผลการ

ทดลองโดย Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจะพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อนำสูตรที่ได้รับการคัดเลือกดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

2. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน

นำผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 1 มาทำการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลานาน 28 วัน ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกันกับการทดลองข้อ 1 และวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา [3] ของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบทุก 7 วันจนครบ 28 วัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบกรอบขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน

จากการผลิตขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ ทำการศึกษาเวลาในการอบกรอบ 4 ระดับ (60 90 120 และ 150 วินาที) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านสี ($L^* a^* b^*$) และเนื้อสัมผัส (ค่าความแตกเปราะ) ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพด้านสี ($L^* a^* b^*$) และเนื้อสัมผัส (ค่าความแตกเปราะ) ของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการอบกรอบ ด้วยหม้ออบลมร้อน (วินาที)	ค่าสี			ค่าความแตกเปราะ (N)
	L^*	a^*	b^*	
60	61.81 ± 0.54 ^a	11.65 ± 0.20 ^c	43.36 ± 0.14 ^a	5.38 ± 1.15 ^a
90	61.07 ± 0.80 ^a	12.53 ± 0.58 ^{bc}	42.56 ± 2.00 ^a	3.72 ± 0.90 ^b
120	60.14 ± 2.33 ^a	13.63 ± 1.25 ^{ab}	42.17 ± 0.62 ^a	3.29 ± 0.74 ^b
150	55.08 ± 2.65 ^b	14.35 ± 1.48 ^a	38.12 ± 3.75 ^b	2.90 ± 0.56 ^b

หมายเหตุ ^{a b c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ด้านค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่เวลาแตกต่างกันมีค่าสีความสว่าง (L^*) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนมากขึ้น พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าสีความสว่าง (L^*) ลดลงทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการอบกรอบนานขึ้นจะทำให้มีน้ำตาลที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์ร่วมกับหมู่เอมิโนที่มีอยู่ในส่วนผสมเกิดเป็นสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน [4] นอกจากนี้ การใช้เวลาการอบกรอบที่นานขึ้นจะทำให้น้ำระเหยออกมาได้มากขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่คล้ำขึ้นได้ [5] ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนจึงทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง

ค่าสี a^* (ค่าสีแดง) พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่เวลาแตกต่างกัน มีค่าสี a^* ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่สีเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดงที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-Enzymatic Browning Reaction) โดยการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) กับกรดเอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ ที่มีอยู่

ในวัตถุดิบทั้งในสับปะรดและมันฝรั่ง ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มของค่า a^* อยู่ในโทนของสีแดง [4] ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า b^* (ค่าสีเหลือง) ที่พบว่าการใช้อุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการอบกรอบเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่เป็นสีเหลืองลดลง ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นที่อบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนจะมีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน (ก.) 60 วินาที (ข.) 90 วินาที (ค.) 120 วินาที และ (ง.) 150 วินาที

ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสจะเป็นการวัดค่าความแตกประของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน ซึ่งค่าความแตกประนี้จะเป็นการวัดค่าแรงที่จุดสูงสุดของกราฟที่ทำให้ตัวอย่างหรืออาหารแตกในช่วงการกดหรือการเคี้ยว ครั้งที่ 1 มีหน่วยเป็นนิวตัน [6] ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบกรอบมากขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความแตกประลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการใช้เวลารอบกรอบนานขึ้นจะส่งผลทำให้น้ำที่มีในผลิตภัณฑ์ถูกไล่ออกจากอาหารได้มาก ประกอบกับการใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง จะช่วยเร่งอัตราการระเหยของไอน้ำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำสูงขึ้น อาหารจึงขยายตัวได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shilton *et al.* [7] ที่ใช้อุณหภูมิในการฟัดฟิงมันฝรั่งระหว่าง 120-130 °ซ. เป็นเวลา 90-270 วินาที พบว่าการฟัดฟิงมันฝรั่งที่อุณหภูมิสูง 130 °ซ. เป็นเวลา 90 วินาที จะให้อัตราการขยายตัวประมาณ 1.22 เท่า และเมื่อเพิ่มเวลาในการฟัดฟิงเป็น 270 วินาที จะส่งผลต่ออัตราการขยายตัวเป็น 1.37 เท่าเช่นเดียวกับการศึกษาของ Nath *et al.* [8] ที่ทำการฟัดฟิงมันฝรั่งพร้อมบริโกลโดยใช้อุณหภูมิฟัดฟิงระหว่าง 175-275 °ซ. เป็นเวลา 15-75 วินาที พบว่าอุณหภูมิฟัดฟิงที่เพิ่มสูงขึ้น และเวลาที่นานขึ้น จะมีแนวโน้มของการขยายตัวในชิ้นอาหารเพิ่มขึ้น การขยายตัวของชิ้นอาหารทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ที่ทำให้น้ำถูกไล่ออกจากผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้ง ดังนั้นค่าความแตกประที่วัดได้จึงมีค่าลดลงตามระยะเวลาการอบกรอบที่เพิ่มขึ้น

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อน วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้ออบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการอบกรอบด้วย หม้ออบลมร้อน (วินาที)	ร้อยละปริมาณความชื้น	ปริมาณน้ำอิสระ
60	7.95 ± 0.074 ^a	0.37 ± 0.00 ^a
90	7.30 ± 0.10 ^b	0.32 ± 0.01 ^b
120	7.17 ± 0.19 ^b	0.34 ± 0.01 ^b
150	6.16 ± 0.11 ^c	0.31 ± 0.00 ^c

หมายเหตุ^{a b c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ด้านร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่าค่าที่ได้มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ การเพิ่มเวลาในการอบกรอบมากขึ้นจะมีผลทำให้ร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงทั้งนี้เป็ผลเนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการอบกรอบสูง จะเป็นการช่วยเร่งอัตราการระเหยของไอน้ำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำที่สูง ผลึกน้ำจึงเกิดการขยายตัวได้มากทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ น้ำจึงระเหยออกจากตัวผลิตภัณฑ์ได้มาก การใช้เวลาในการอบกรอบสั้นมาก จะทำให้อาหารเกิดการพองตัวได้น้อย น้ำที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์จึงระเหยออกมาได้น้อย ในขณะที่การใช้เวลาการอบกรอบที่นานกว่าจะทำให้ น้ำระเหยออกมาได้มากกว่าซึ่งจะมีผลทำให้ค่าร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นอบกรอบด้วยหม้อลมร้อนมาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบชิม โดยใช้วิธีการทดสอบโดยให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9- Point Hedonic Scale Test) ได้ผลดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า การเพิ่มเวลาในการอบกรอบนานขึ้น คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นสับปะรดและรสชาติลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการอบกรอบผลิตภัณฑ์โดยใช้เวลาที่นานขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแผ่นมีความกรอบมากแต่จะมีสีที่คล้ำมากขึ้น กลิ่นสับปะรดจางลง และรสชาติผลิตภัณฑ์มีรสชาติดิบเล็กน้อย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการอบกรอบ 150 วินาที ส่วนลักษณะปรากฏในเรื่องของความแห้งจะให้ผลคะแนนความชอบที่ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ เมีประกอบกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ จึงทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบกรอบที่เวลา 120 วินาที ที่มีคะแนนความชอบรวมมากที่สุดทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นกรอบอบกรอบด้วยหม้อลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 °ซ โดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการอบ กรอบด้วยหม้อ อบลมร้อน (วินาที)	ลักษณะปรากฏ (ความแห้ง)	สี	กลิ่นสับปะรด	รสชาติ	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	ความชอบ รวม
60	6.97 ± 1.69 ^{ns}	7.40 ± 1.00 ^a	6.83 ± 0.99 ^a	6.87 ± 0.90 ^a	6.10 ± 1.35 ^b	6.57 ± 0.90 ^b
90	6.60 ± 1.57 ^{ns}	7.00 ± 1.37 ^{ab}	6.73 ± 1.14 ^a	6.60 ± 1.10 ^a	5.43 ± 1.61 ^c	6.50 ± 0.94 ^b
120	7.20 ± 1.24 ^{ns}	6.50 ± 1.17 ^b	7.00 ± 1.11 ^a	6.90 ± 1.24 ^a	7.13 ± 1.14 ^a	7.03 ± 1.00 ^a
150	6.60 ± 1.69 ^{ns}	5.33 ± 1.35 ^c	6.27 ± 1.23 ^b	5.93 ± 1.55 ^b	7.13 ± 1.14 ^a	6.30 ± 1.15 ^b

หมายเหตุ ^{a b c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

2. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดอบกรอบภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน

ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดแผ่นกรอบที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1 จะถูกเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้องและ 4 °ซ จนครบ 28 วัน ทำการประเมินคุณภาพทางกายภาพด้านสีและค่าความแตกต่างพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 °ซ จะมีแนวโน้มของค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นที่มากกว่าค่า L^* และ b^* ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ จะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องจะมีแนวโน้มของค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 °ซ ยังมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) สำหรับคุณภาพทางเคมีด้านร้อยละปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 4 °ซ

ต่างมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 5) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ ให้ผลของคุณภาพการเก็บรักษาด้านกายภาพและเคมีที่มีแนวโน้มดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิแช่เย็นจะเป็นวิธีที่ช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและการเปลี่ยนแปลงด้านจุลินทรีย์ และยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการน้อย [9] ผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดกรอบที่เก็บรักษาทั้งสองสภาวะการเก็บรักษามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณราน้อยกว่า 1×10^2 และ 1×10 CFU/g (ข้อมูลไม่ได้แสดงในผลการทดลอง) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบกรอบจากธัญชาติ (มอก.1534-2541) [10] ดังนั้นจึงมีความปลอดภัยในการบริโภค ในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความแห้ง สี กลิ่น สับปะรด ความกรอบ และความชอบรวมที่ทั้งสองสภาวะการเก็บรักษา (ตารางที่ 6 และ 7) จะมีแนวโน้มของค่าคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างไรก็ตามคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมสับปะรดกรอบด้วยหม้อลมร้อนยังคงมีค่าอยู่ในระดับความชอบปานกลาง

ตารางที่ 4 คุณภาพทางกายภาพด้านสีและเนื้อสัมผัส (ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม) ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	อุณหภูมิห้อง			อุณหภูมิ 4 °ซ		
	ค่าสี			ค่าสี		
	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]
0	65.29 ± 0.84 ^a	9.84 ± 0.61 ^c	40.36 ± 4.01 ^{ns}	55.34 ± 1.05 ^b	14.75 ± 0.85 ^{ns}	38.48 ± 2.04 ^b
7	61.56 ± 1.48 ^b	12.04 ± 1.49 ^b	43.06 ± 2.35 ^{ns}	59.84 ± 1.69 ^a	13.90 ± 1.02 ^{ns}	44.55 ± 1.23 ^a
14	59.25 ± 0.92 ^c	13.48 ± 0.72 ^{ab}	43.94 ± 0.89 ^{ns}	60.93 ± 0.91 ^a	14.71 ± 1.19 ^{ns}	43.02 ± 2.83 ^a
21	60.03 ± 0.27 ^{bc}	13.79 ± 0.26 ^{ab}	44.11 ± 0.13 ^{ns}	60.08 ± 0.35 ^a	14.86 ± 0.13 ^{ns}	43.68 ± 0.72 ^a
28	59.51 ± 1.18 ^c	14.23 ± 1.03 ^a	43.58 ± 0.09 ^{ns}	61.33 ± 0.96 ^a	14.52 ± 0.96 ^{ns}	44.81 ± 0.20 ^a

หมายเหตุ^{abc} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p ≤ 0.05)
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p > 0.05)

ตารางที่ 5 คุณภาพทางเคมีร้อยละปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 °ซ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	อุณหภูมิห้อง			อุณหภูมิ 4 °ซ		
	ร้อยละปริมาณความชื้น			ร้อยละปริมาณความชื้น		
	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]
0	7.89 ± 0.69 ^a	0.32 ± 0.01 ^{abc}	8.05 ± 0.43 ^{ab}	0.37 ± 0.02 ^a		
7	7.61 ± 0.49 ^{ab}	0.31 ± 0.01 ^{bc}	8.53 ± 0.30 ^a	0.33 ± 0.02 ^b		
14	7.28 ± 0.58 ^{ab}	0.30 ± 0.02 ^c	8.15 ± 0.89 ^{ab}	0.32 ± 0.00 ^b		
21	6.90 ± 0.03 ^{ab}	0.34 ± 0.01 ^a	7.81 ± 0.07 ^{ab}	0.32 ± 0.02 ^b		
28	6.44 ± 0.47 ^b	0.34 ± 0.01 ^{ab}	7.23 ± 0.15 ^b	0.32 ± 0.01 ^b		

หมายเหตุ^{abc} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p ≤ 0.05)

ตารางที่ 6 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมสับประรดแผ่นกรอบที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
	0	7	14	21
ลักษณะปรากฏ (ความแห้ง)	7.25 ± 0.97 ^{ns}	6.95 ± 1.0 ^{ns}	6.70 ± 1.13 ^{ns}	6.85 ± 1.14 ^{ns}
สี	7.25 ± 0.91 ^a	6.65 ± 0.88 ^b	6.60 ± 0.82 ^b	6.55 ± 1.19 ^b
กลิ่นสับประรด	7.10 ± 0.85 ^{ns}	6.80 ± 1.15 ^{ns}	6.75 ± 1.02 ^{ns}	6.70 ± 0.87 ^{ns}
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	7.60 ± 0.75 ^{ns}	7.50 ± 0.89 ^{ns}	7.35 ± 1.04 ^{ns}	7.35 ± 0.67 ^{ns}
ความชอบรวม	7.65 ± 0.59 ^a	7.00 ± 0.73 ^b	7.15 ± 1.04 ^{ab}	6.90 ± 0.91 ^b

หมายเหตุ^{a,b,c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง "ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)"

ตารางที่ 7 คะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมสับประรดแผ่นกรอบที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
	0	7	14	21
ลักษณะปรากฏ (ความแห้ง)	6.89 ± 0.74 ^b	7.58 ± 0.51 ^a	6.75 ± 0.79 ^{bc}	6.10 ± 1.33 ^d
สี	6.53 ± 1.07 ^{bc}	6.95 ± 0.85 ^b	6.30 ± 0.87 ^c	6.15 ± 1.31 ^c
กลิ่นสับประรด	6.95 ± 0.71 ^{ns}	6.74 ± 1.24 ^{ns}	6.70 ± 0.87 ^{ns}	6.55 ± 0.76 ^{ns}
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	7.26 ± 1.28 ^{ab}	7.37 ± 0.83 ^{ab}	7.70 ± 1.26 ^a	7.35 ± 0.93 ^{ab}
ความชอบรวม	7.16 ± 0.96 ^a	7.05 ± 0.52 ^a	6.85 ± 0.81 ^{ab}	6.45 ± 0.89 ^{bc}

หมายเหตุ^{a,b,c} อักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัย “Hands-on เรียนรู้ชุมชน ครูได้คิด เด็กได้ทำ” ประเภททุน L-HR ภายใต้ชื่อโครงการวิจัย “การพัฒนาขนมขบเคี้ยวแผ่นกรอบจากสับปะรดโดยใช้ผู้อบรมร้อนแบบถาดร่วมกับหม้ออบลมร้อน” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรพรรณ ปัญญาภิรมย์. (2558). ส่องตลาด Snack ไทยศึกขบเคี้ยวของขนมขบเคี้ยว. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2559, จาก <http://www.forbesthailand.com/news-detail.php?did=649>.
- [2] รุ่งทิwa กองเงิน และอุบลรัตน์ พรหมพิง. (2557). สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมของขนมขบเคี้ยวจากสับปะรด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง.
- [3] AOAC. (2000). **Official Method of Analysis**. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arilington, Virginia
- [4] นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). **เคมีอาหาร**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- [5] ชลลดา ไร่ขาม. (2556). **การแปรรูปกล้วยด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน**. ปรินญาปรัชญาคุณวิบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2558). **Texture Profile Analysis**. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0987/texture-profile-analysis>.
- [7] Shilton, N.C., Bekhit, A.A. and Niranjana, K. (1998). “Optimisation of a dehydration process for potato cubes using an intermediate puffing step”, **Potato Research**. 41(3), 203-209.
- [8] Nath, A., Chattopadhyay, P.K. and Majumdar G.C. (2007). “High temperature short time air puffed ready-to-eat (RTE) potato snacks: Process parameter optimization”, **Journal of Food Engineering**. 80(3), 770-780.
- [9] เขียวภา สุวดี. (2551). **การถนอมอาหาร**. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2557, จาก https://www.gpo.or.th/rdi/html/preserve_food.html.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารอุตสาหกรรม. (2541). **ขนมกรอบจากธัญชาติ**. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1534-2541. กระทรวงอุตสาหกรรม.

ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหาร

อ.ป่าบอน จ.พัทลุง

The Vulnerability of Farming Households in a Watershed Area of Ban Lo Han, Pa Bon District, Phatthalung Province

กนกวรรณ ชุมอินทร์^{1*} และพิไลวรรณ ประพฤติ²

Kanokwan Chum-in^{1*} and Pilaiwan Prapruit²

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหาร อ.ป่าบอน จ.พัทลุง โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการคำนวณค่าความเปราะบาง 3 ตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ การเปิดรับผลกระทบ ความอ่อนไหวในการรับผลกระทบ และศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ ผลการศึกษาพบว่า ครัวเรือนเกษตรกรในอัตราส่วนมากที่สุดร้อยละ 43.53 มีค่าความเปราะบางเฉลี่ยอยู่ที่ 2.82 จัดอยู่ในระดับปานกลาง รองลงมาคือมีความเปราะบางอยู่ในระดับสูงและระดับต่ำร้อยละ 37.65 และ 18.82 ตามลำดับ ระบบเกษตรเชิงเดี่ยวและระบบเกษตรผสมผสานมีความเปราะบางอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งระบบเกษตรเชิงเดี่ยวมีความเปราะบางสูงด้านศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ อาชีพทำสวนยางพาราและผลไม้มีความเปราะบางปานกลาง ในขณะที่อาชีพปลูกผักมีความเปราะบางสูง ดังนั้นข้อเสนอแนะในการลดความเปราะบางของพื้นที่มี 2 แนวทาง คือ 1) การลดความเสี่ยงจากการใช้พื้นที่ด้านการเกษตร ด้วยการทำวนเกษตร และเกษตรแบบผสมผสาน และ 2) การเพิ่มศักยภาพในการรับมือหรือปรับตัวให้เข้ากับสภาพปัญหาในปัจจุบัน ด้วยการรวมกลุ่ม และการจัดการทรัพยากรน้ำ

คำสำคัญ: ความเปราะบาง การรับมือ ครัวเรือนเกษตรกร พื้นที่ต้นน้ำ บ้านโหล๊ะหาร

Abstract

The main purpose of this research was to study the vulnerability of farming households in a watershed area of Bab Lo Han, Pa Bon District, Phatthalung Province, analyzing vulnerability assessment data such as exposure, sensitivity and coping capacity. The study found that the highest proportion of farming household accounted for 43.53 per cent have a medium level of vulnerability (2.82). The remaining 37.65% and 18.82% of farming households have high and low vulnerability, respectively. In terms of agricultural systems, monoculture and integrated farming the level of vulnerability is medium. However, integrated farming system has a high level of coping capacity vulnerability. Integrating rubber

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาพัฒนาการเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90112

¹ Graduate Student at Department of Agricultural Development, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90112

² อ.ดร.,คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90112

² Lecturer, Dr., at Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90112

* Corresponding author Tel: 085-223-2205. E-mail address: ae.vig@hotmail.com

farming and fruit farming have a medium level, while vegetable farming has a high level of vulnerability. Two suggested approaches for reducing the vulnerability of the area are: 1) reduce the risk of agricultural land use by means of agro forest and integrated agriculture, and 2) increase coping capacity or adapt to problematic conditions in the present by means of forming local group and managing water resources.

Keywords: Vulnerability, Coping Capacity, Farming Households, Watershed Area, Lo Han Village

บทนำ

พื้นที่ต้นน้ำ (Watershed Area) คือพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำที่มีความลาดชัน และมีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ [1-2] ในปี พ.ศ. 2526-2534 รัฐบาลไทยโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติมอบหมายให้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ดำเนินการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ (Watershed Classification) ตามความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 5 ชั้น [3] โดยชั้นที่ 1 และ 2 เป็นพื้นที่อนุรักษ์เก็บไว้เป็นแหล่งต้นน้ำ และเป็นป่าผลิต ห้ามใช้พื้นที่ทางการเกษตร [4] เนื่องจากมีความเปราะบาง บางหรือก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงหากมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน [1] แต่ในปี พ.ศ. 2538 ได้มีการผ่อนผันให้ครัวเรือนเกษตรกรที่อยู่อาศัยก่อนการประกาศของคณะรัฐมนตรีสามารถใช้ประโยชน์บนพื้นที่ดังกล่าวได้ต่อไปได้จนกว่ารัฐบาลจะจัดหาที่ทำกินใหม่ทดแทน โดยมีข้อกำหนดให้ทำการเกษตรในรูปแบบวนเกษตร ห้ามไม่ให้บุกรุกและขยายพื้นที่ต่อไปอีก [5] ทำให้เกษตรกรบริเวณพื้นที่ต้นน้ำมีความเปราะบางต่อการได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้งความเสี่ยงต่อการประสบภัยพิบัติ ความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความเสี่ยงในบุริมสิทธิ์ การถือครองที่ดิน และข้อจำกัดในรูปแบบการทำเกษตร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหละหาร ต.ทุ่งนารี อ.ป่าบอน จ.พัทลุง ซึ่งเป็นชุมชนเกษตรที่อยู่ทางตอนบนของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา [6] ที่มีการก่อตั้งมาก่อนการประกาศกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ให้เกษตรกรสามารถปรับตัว หรือรับมือกับความเปราะบาง และยังคงทำการเกษตรบนพื้นที่ต้นน้ำต่อไปได้อย่างเหมาะสม

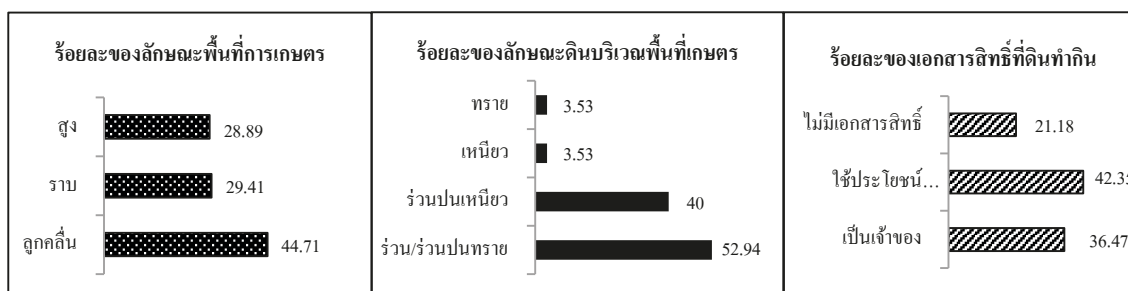
วิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ใช้กรอบแนวคิดการประเมินความเปราะบางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ที่ให้ความหมายของความเปราะบางว่าเป็นสถานการณ์ที่ระบบมีความอ่อนแอ และไม่สามารถรับมือกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ [7-10] โดยพิจารณาผ่านองค์ประกอบหลัก 3 มิติ ประกอบด้วย การเปิดรับผลกระทบ (Exposure) ความอ่อนไหวต่อผลกระทบ (Sensitivity) และศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ (Coping Capacity) มาเป็นแนวทางในการรวบรวมตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างแบบสอบถามในการประเมินความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกร โดยให้คำนำหน้าทุกตัวแปรเท่ากัน ทำการประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามกับตัวชี้วัด (Index of Item Objective Consistency: IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน นำข้อคำถามที่ผ่านเกณฑ์ไปใช้ในพื้นที่จริงกับกลุ่มตัวอย่างครัวเรือนเกษตรกรตามการคำนวณโดยใช้สูตรของ Taro Yamane ในหมู่บ้านโหละหารจำนวน 85 ตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เฉพาะครัวเรือนที่ทำเกษตรกรรม และใช้วิธีการแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) ได้แก่ การบังเอิญเจอและมีเวลาในการให้ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ระดับความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรในแต่ละมิติ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยนำค่าคะแนนสูงสุดและค่าคะแนนต่ำสุดจัดทำอัตราภาคขึ้น

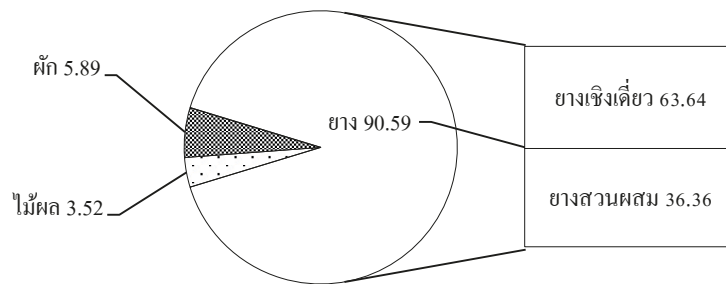
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สภาพพื้นที่ด้านการเกษตรของบ้านโหล๊ะหาร อ.ป่าบอน จ.พัทลุง ร้อยละ 44.71 เป็นพื้นที่ดอนหรือพื้นที่ราบลูกคลื่น มีความชันเล็กน้อย รองลงมาคือพื้นที่ราบและพื้นที่สูงร้อยละ 29.41 และ 25.89 มีการทำเกษตรแบบเชิงเดี่ยวร้อยละ 57.6 และแบบผสมผสานร้อยละ 42.4 รูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 90.59 เป็นสวนยางพารา สอดคล้องกับงานวิจัยของกาญจน์เขจร [4] ที่ทำการศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำภาคใต้ พบว่า เกินร้อยละ 80 ของการใช้ประโยชน์พื้นที่ต้นน้ำเป็นสวนยางพารา เนื่องจากเป็นพืชที่ให้ผลผลิตได้เกือบทั้งปี และเจริญเติบโตได้ง่ายในทุกพื้นที่ รูปแบบสวนยางพาราของบ้านโหล๊ะหารมีทั้งแบบเชิงเดี่ยวและแบบผสมผสานเพื่อเพิ่มรายได้ในช่วงที่ราคายางตกต่ำหรือไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ซึ่งพืชที่ปลูกในสวนยาง ได้แก่ พืชผักพื้นบ้าน (ผักเหรียง ถั่วหรั่ง กาแฟ) ไม้ผล (ลองกอง มังคุด เงาะ กระท้อน) และไม้ยืนต้น (ต้นเทียม ตะเคียนทอง) อาชีพหลักด้านการเกษตรรองจากสวนยางพารา คือการทำสวนผัก และสวนไม้ผลในรูปแบบผสมผสานร้อยละ 5.88 และ 3.53 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ต้นน้ำ จะทำให้พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการประสบภัยพิบัติทางธรรมชาติ [11] ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่มากกว่าร้อยละ 60 ของพื้นที่การเกษตรเคยประสบภัยธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดความเสียหายทั้งต่อพื้นที่ ต่อการประกอบอาชีพ และต่อการดำรงชีพของครัวเรือน โดยภัยธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นภัยแล้งที่มีระยะเวลาก่อนข้างยาวนานกว่าพื้นที่ราบ เพราะพื้นที่เกษตรส่วนใหญ่เกือบร้อยละ 70 ตั้งอยู่บนพื้นที่ลูกคลื่นและพื้นที่สูงก่อให้เกิดปัญหาภัยแล้งมากกว่าอุทกภัย [5, 12] สอดคล้องกับงานวิจัยของจาวรรณ [13] ที่ศึกษาความเปราะบางของเกษตรกรพื้นที่ราบใน อ.นาบาริย จ.ยะลา พบว่าเกษตรกรชาวนา ชาวสวน และผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเปราะบางสูงจากปัญหาอุทกภัยและปัญหาน้ำเค็ม ลักษณะดินบริเวณพื้นที่เกษตรของบ้านโหล๊ะหารร้อยละ 52.94 เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ทำให้กักเก็บน้ำได้น้อย ประกอบกับพื้นที่เกษตรส่วนใหญ่ไม่มีพืชคลุมดิน (ร้อยละ 76.47) ทำให้สภาพโดยรวมของพื้นที่ค่อนข้างมีความเสี่ยงต่อการพังทลายของดิน (Landslide) นอกจากนี้พื้นที่ยังมีความซับซ้อนเรื่องสิทธิการครอบครองหรือการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีเพียงเกษตรกรร้อยละ 36.47 เท่านั้นที่มีเอกสารสิทธิ์ยืนยันความเป็นเจ้าของที่ดินทำกินอย่างชัดเจน ได้แก่ โฉนด/น.ส.4 และ น.ส.3/น.ส.3ก นอกจากนั้นเป็นการถือครองที่ดินเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรที่ไม่สามารถทำนิติกรรมต่างๆ ได้ และไม่มีเอกสารสิทธิ์ในการใช้ประโยชน์ที่ดินร้อยละ 21.18 (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 สภาพทั่วไปของพื้นที่



ภาพที่ 2 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านการเกษตร

ครัวเรือนเกษตรกร ร้อยละ 75.29 มีการปรับเปลี่ยนจากการปลูกพืชเชิงเดี่ยวเป็นการปลูกพืชผสมผสานเพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาพปัญหาในปัจจุบัน มีเพียงร้อยละ 24.71 เท่านั้นที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนระบบเกษตร เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการทำเกษตร ต้นทุน และไม่ใช่เจ้าของพื้นที่โดยตรง อย่างไรก็ตาม ครัวเรือนเกษตรกรร้อยละ 72.94 มีแนวทางที่จะปรับเปลี่ยนระบบเกษตรเป็นแบบผสมผสานมากขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงด้านการใช้ประโยชน์พื้นที่และเป็นการเพิ่มรายได้จากผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย

การวิเคราะห์ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำได้ทำการรวบรวมตัวชี้วัดจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากข้อมูลการสำรวจพื้นที่เบื้องต้นจำนวน 133 ตัวชี้วัด ทำการคัดเลือกและทดสอบความเที่ยงตรงจากผู้เชี่ยวชาญเหลือ 23 ตัวชี้วัด นำมาสร้างข้อคำถามให้ครอบคลุมและตรงตามบริบทของพื้นที่ เพื่อใช้ประเมินระดับความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรตามกรอบแนวคิดของ IPCC โดยให้ค่าน้ำหนักตัวชี้วัดเท่ากันทุกมิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าน้ำหนักของตัวชี้วัดและข้อคำถามในการประเมินความเปราะบาง

ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก		รายการข้อคำถาม
	ตัวแปร	คำถาม	
มิติการเปิดรับผลกระทบ (Exposure)			
1. การประสบภัยพิบัติ	0.20	0.100	1.1 การประสบปัญหาภัยพิบัติในพื้นที่เกษตร
		0.100	1.2 ขนาดพื้นที่ทางการเกษตรที่ได้รับความเสียหายจากภัยพิบัติ
2. ระดับความเสียหาย/ ผลกระทบจากภัยพิบัติ	0.20	0.067	2.1 ระดับความเสียหาย/ผลกระทบต่อพื้นที่การเกษตร
		0.067	2.2 ระดับความเสียหาย/ผลกระทบต่ออาชีพเกษตรกรรม
		0.067	2.3 ระดับความเสียหาย/ผลกระทบต่อการดำรงชีพ
3. ความเสี่ยงในการเกิด ภัยพิบัติ	0.20	0.067	3.1 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่การเกษตร
		0.067	3.2 ลักษณะของดินในพื้นที่เกษตร
		0.067	3.3 พืชคลุมดินในพื้นที่เกษตร
4. ความเพียงพอของน้ำ เพื่อการเกษตร	0.20	0.100	4.1 แหล่งน้ำตามธรรมชาติ
		0.100	4.2 แหล่งน้ำของตนเอง
5. การระบาดของโรค และแมลง	0.20	0.100	5.1 การระบาดของโรคพืชในพื้นที่การเกษตร
		0.100	5.2 การระบาดของแมลงศัตรูพืชในพื้นที่การเกษตร
รวม	1.00	1.000	

ตารางที่ 1 คำนวณน้ำหนักของตัวชี้วัดและข้อคำถามในการประเมินความเปราะบาง (ต่อ)

ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก		รายการข้อคำถาม
	ตัวแปร	คำถาม	
มิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ (Sensitivity)			
6. ประสบการณ์	0.125	0.125	6 ประสบการณ์ในการประกอบอาชีพทางการเกษตร
7. ปัญหาความแปรปรวนของ สภาพภูมิอากาศ	0.125	0.042	7.1 เจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศต่ออาชีพ
		0.042	7.2 เจตคติต่อปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลง
		0.042	7.3 เจตคติต่อความเสี่ยงในการประมงภัยพิบัติ
8. รายได้หลัก	0.125	0.125	8 ความพอเพียงของรายได้ในครัวเรือน
9. รายได้เสริม	0.125	0.125	9 รายได้ที่มาจากนอกภาคการเกษตร
10. สภาพคล่อง	0.125	0.125	10 หนี้สินและการออมของครัวเรือน
11. แรงงานเกษตร	0.125	0.125	11 แรงงานในครัวเรือนและนอกครัวเรือน
12. เอกสารสิทธิ์	0.125	0.125	12 เอกสารสิทธิ์ในการถือครองที่ดินทางการเกษตร
13. ความสามารถในการฟื้นฟูในการฟื้นฟู	0.125	0.031	13.1 ด้านพื้นที่ประสบภัย
		0.031	13.2 ด้านจิตใจ
		0.031	13.3 ด้านสุขภาพ
		0.031	13.4 ด้านสภาพเศรษฐกิจของครัวเรือน
รวม	1.00	1.000	
มิติศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ (Coping Capacity)			
14. การรวมกลุ่ม	0.1	0.100	14. การเข้าร่วมกลุ่มที่เอื้อต่อการประกอบอาชีพเกษตรกรรม
15. แหล่งสนับสนุน	0.1	0.050	15.2 การได้รับความช่วยเหลือภายในชุมชนกรณีเกิดภัยพิบัติ
		0.050	15.1 การได้รับความช่วยเหลือจากภายนอกชุมชนกรณีเกิดภัยพิบัติ
16. การปรับเปลี่ยนวิถีการผลิต	0.1	0.050	16.1 การปรับเปลี่ยนชนิดหรือสายพันธุ์พืชในการทำเกษตร
		0.050	16.2 การปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตด้านการเกษตร
17. การจัดการทรัพยากร	0.1	0.025	17.1 การจัดการดินในพื้นที่การเกษตร
		0.025	17.2 การจัดการน้ำในพื้นที่เกษตร
		0.025	17.3 การจัดการน้ำในชุมชน (นอกพื้นที่การเกษตร)
		0.025	17.4 การจัดการป่าของชุมชน
18. การปรับเปลี่ยนระบบเกษตร	0.1	0.050	18.1 การปรับเปลี่ยนระบบเกษตรในพื้นที่
		0.050	18.2 แนวทางปรับเปลี่ยนระบบเกษตรในอนาคต
19. การเพิ่มรายได้	0.1	0.033	19.1 การเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรที่เก็บเกี่ยวได้
		0.033	19.2 แนวทางในการหารายได้เสริมอื่นๆ ในอนาคต
		0.033	19.3 วิธีการลดรายจ่ายหรือลดต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 1 คำนวณน้ำหนักของตัวชี้วัดและข้อคำถามในการประเมินความเปราะบาง(ต่อ)

ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก		รายการข้อคำถาม
	ตัวแปร	คำถาม	
มิตศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ (Coping Capacity)			
20. การเข้าถึงความรู้และทักษะใหม่ๆ ที่เอื้อต่อการประกอบอาชีพ	0.1	0.020	20.1 การเข้าถึงผ่านสื่อบุคคล
		0.020	20.2 การเข้าถึงผ่านสื่อสิ่งพิมพ์
		0.020	20.3 การเข้าถึงผ่านสื่อโทรทัศน์
		0.020	20.4 การเข้าถึงผ่านสื่อสมัยใหม่ผ่านอุปกรณ์พกพา
		0.020	20.5 เนื้อหาข้อมูลข่าวสารที่ได้รับ
21. เทคนิค/ภูมิปัญญา	0.1	0.100	21. การนำเทคนิคหรือภูมิปัญญามาใช้ในการประกอบอาชีพ
22. องค์ความรู้	0.1	0.100	22. การใช้องค์ความรู้ในการสังเกตรธรรมชาติและสภาพอากาศ
23. การถ่ายทอด	0.1	0.100	23. การถ่ายทอดภูมิปัญญาหรือองค์ความรู้ต่างๆ สู่ลูกหลาน
รวม	1.0	1.000	

นำค่าคะแนนที่ได้จากคำถามในตารางที่ 1 มาถ่วงค่าน้ำหนัก จะได้ผลรวมความเปราะบางแต่ละมิติ และนำค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดมากำหนดช่วงความเปราะบาง โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรบ้านโหล๊ะหารจำแนกตามมิติต่างๆ (n = 85)

มิติความเปราะบาง	ค่าความเปราะบาง				ร้อยละของครัวเรือนในแต่ละระดับของความเปราะบาง		
	สูงสุด	ต่ำสุด	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
การเปิดรับผลกระทบ (E)	1.77	0.07	0.41	0.79 (ปานกลาง)	43.53	41.18	15.29
ความอ่อนไหว (S)	1.79	0.69	0.25	1.28 (ปานกลาง)	24.71	52.94	22.35
ศักยภาพในการรับมือ (C)	1.10	0.00	0.25	0.75 (ปานกลาง)	10.59	30.59	58.82
ความเปราะบาง (V)	3.73	1.79	0.45	2.82 (ปานกลาง)	18.82	43.53	37.65

หมายเหตุ: ช่วงระดับความเปราะบางมิติ E 0.07-0.67 ระดับต่ำ 0.68-1.27 ระดับปานกลาง และ 1.28-1.77 ระดับสูง

ช่วงระดับความเปราะบางมิติ S 0.69-1.09 ระดับต่ำ 1.10-1.49 ระดับปานกลาง และ 1.50-1.79 ระดับสูง

ช่วงระดับความเปราะบางมิติ C 0.00-0.40 ระดับต่ำ 0.41-0.80 ระดับปานกลาง และ 0.81-1.10 ระดับสูง

ช่วงระดับความเปราะบางมิติ V 1.79-2.39 ระดับต่ำ 2.40-2.99 ระดับปานกลาง และ 3.00-3.73 ระดับสูง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าครัวเรือนเกษตรกรบ้านโหล๊ะหารมีค่าความเปราะบางเฉลี่ยเท่ากับ 2.82 จัดอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาความเปราะบางทั้งสามมิติ พบว่า 1) มิติการเปิดรับผลกระทบ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการประสบภัยพิบัติ เนื่องจากเป็นที่สูง และลักษณะของดินไม่เหมาะสมต่อการทำเกษตร 2) มิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ เกษตรกรมีรายได้จากการทำเกษตรไม่เพียงพอต่อการใช้จ่ายในครัวเรือน รวมถึงมีรายได้เสริมจากนอกภาคการเกษตรค่อนข้างน้อย และ 3) มิตศักยภาพในการรับมือ ครัวเรือนเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการปรับเปลี่ยนชนิดหรือสายพันธุ์พืชให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ทำสวนยางพาราเป็นหลัก ซึ่งใช้น้ำน้อย [4]

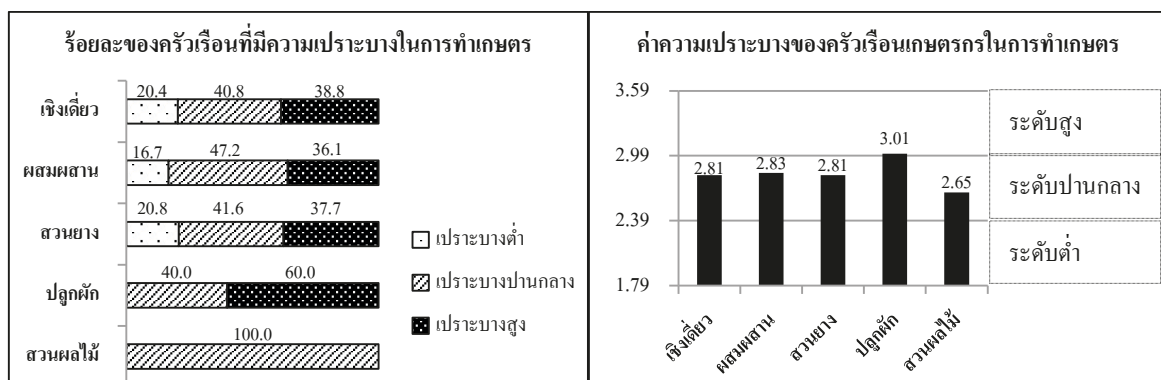
การวิเคราะห์ระดับความเปราะบางจำแนกตามระบบเกษตร พบว่า ระบบเกษตรเชิงเดี่ยวและระบบเกษตรผสมผสานมีค่าความเปราะบางใกล้เคียงกัน (2.81 และ 2.83) อยู่ในระดับปานกลาง โดยระบบเกษตรแบบผสมผสานมีค่าการเปิดรับสูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น สำหรับมิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ การทำระบบเกษตรผสมผสานช่วยให้ความสามารถในการฟื้นฟูหลังประสบภัยธรรมชาติเร็วกว่าระบบเกษตรเชิงเดี่ยว ในขณะที่มิตศักยภาพใน

การรับมือกับผลกระทบ พบว่าเกษตรกรที่ทำเกษตรเชิงเดี่ยวเข้าถึงแหล่งข้อมูลข่าวสารและแหล่งสนับสนุนจากหน่วยงานได้น้อยกว่าเกษตรกรในระบบเกษตรผสมผสาน ทำให้มีศักยภาพการรับมืออยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 3 ระดับความประปรายจำแนกตามระบบเกษตรและอาชีพหลักของครัวเรือนเกษตรกรบ้านโหล๊ะหาร

มิติความประปราย	จำแนกตามระบบเกษตร			จำแนกตามอาชีพ	
	เกษตรเชิงเดี่ยว	เกษตรผสมผสาน	สวนยาง	ปลูกผัก	สวนผลไม้
การเปิดรับผลกระทบ	0.72 (ปานกลาง)	0.89 (ปานกลาง)	0.76 (ปานกลาง)	1.16 (ปานกลาง)	0.93 (ปานกลาง)
ความอ่อนไหว	1.28 (ปานกลาง)	1.27 (ปานกลาง)	1.28 (ปานกลาง)	1.23 (ปานกลาง)	1.26 (ปานกลาง)
ศักยภาพในการรับมือ	0.81 (สูง)	0.67 (ปานกลาง)	0.77 (ปานกลาง)	0.62 (ปานกลาง)	0.46 (ปานกลาง)
ความประปราย	2.81 (ปานกลาง)	2.83 (ปานกลาง)	2.81 (ปานกลาง)	3.01 (สูง)	2.65 (ปานกลาง)

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าทั้งสามอาชีพมีการเปิดรับผลกระทบอยู่ในระดับปานกลาง อาชีพปลูกผักมีการเปิดรับผลกระทบสูงที่สุด เนื่องจากพืชผักได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติ และการระบาดของโรคและแมลงได้ง่ายกว่าไม้ผลและยางพาราซึ่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ อาชีพทำสวนผลไม้มีความเสี่ยงด้านการขาดแคลนน้ำสูง เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ไหลลงสู่พื้นที่ราบ [5, 12] อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล [11] ในขณะที่การทำสวนยางมีความเสี่ยงในการเกิดภัยพิบัติสูงกว่าอาชีพอื่นเนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่บนพื้นที่สูงและไม่มีพืชคลุมดินสำหรับมิติความอ่อนไหวต่อผลกระทบ พบว่า ความอ่อนไหวต่อผลกระทบของทั้งสามอาชีพอยู่ในระดับปานกลาง โดยที่อาชีพปลูกผักมีค่าต่ำกว่าอาชีพอื่นเล็กน้อย โดยเฉพาะในประเด็นของรายได้และสภาพคล่องทางการเงิน และมิติศักยภาพในการรับมือ พบว่า อาชีพปลูกผักมีค่าความประปรายอยู่ในระดับสูง (3.01) นั่นคือ สามารถรับมือกับผลกระทบที่เกิดจากการทำเกษตรบริเวณพื้นที่ต้นน้ำได้น้อย รองลงมาคืออาชีพทำสวนยางพารา และทำสวนผลไม้ซึ่งมีค่าความประปรายอยู่ในระดับปานกลาง (2.81 และ 2.65 ตามลำดับ) สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ร้อยละ และระดับของความประปรายของครัวเรือนในการทำเกษตรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหาร

การรับมือกับผลกระทบของแต่ละอาชีพมีความแตกต่างกัน โดยอาชีพทำสวนผลไม้และปลูกผักมีแนวทางในการหารายได้เสริมและการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ส่วนอาชีพทำสวนผลไม้มีความพยายามเข้าถึงข้อมูลมากกว่าอาชีพอื่น ในขณะที่อาชีพทำสวนยางพาราเริ่มมีการปลูกพืชแซมและพืชร่วมในสวนยางมากขึ้น อย่างไรก็ตามความประปรายด้านศักยภาพในการรับมือของแต่ละอาชีพและแต่ละระบบเกษตรอยู่ในระดับปานกลาง

สรุปผลการวิจัย

ครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่ต้นน้ำบ้านโหล๊ะหารมีความประปรายต่อการใช้พื้นที่ด้านการเกษตรอยู่ในระดับปานกลาง หมายถึง ครัวเรือนเกษตรกรสามารถรับมือกับผลกระทบที่เกิดขึ้นได้แม้ว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงและมีข้อจำกัดใน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยความเปราะบางของระบบเกษตรเชิงเดี่ยวและระบบเกษตรผสมผสานอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับอาชีพ พบว่าอาชีพทำสวนผักมีความเปราะบางสูง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โรค และแมลงได้ง่าย ส่วนอาชีพทำสวนยางและอาชีพทำสวนผลไม้มีความเปราะบางอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากตั้งอยู่บนพื้นที่สูงและเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระดับความเปราะบางในการทำเกษตร ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านการเปิดรับผลกระทบ ประกอบด้วยหลายปัจจัยที่ครัวเรือนเกษตรกรไม่สามารถควบคุมได้ เป็นอุปสรรคที่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงและผลกระทบต่อพื้นที่เกษตร 2) ปัจจัยด้านความอ่อนไหวในการรับผลกระทบ เป็นปัจจัยที่แสดงให้เห็นถึงความอ่อนไหวหรือจุดอ่อนของพื้นที่และครัวเรือนเกษตรกรในการทำเกษตร และ 3) ปัจจัยด้านศักยภาพในการรับมือ เป็นปัจจัยที่ครัวเรือนเกษตรกรสามารถดำเนินการเพื่อลดผลกระทบและความเปราะบางที่เกิดขึ้นจากการใช้พื้นที่ต้นน้ำด้านการเกษตรได้ งานวิจัยครั้งนี้จึงสรุปแนวทางเพื่อลดความเปราะบางของครัวเรือนเกษตรกรพื้นที่ต้นน้ำออกเป็น 2 แนวทาง คือ 1) แนวทางการลดความเสี่ยงซึ่งเป็นผลจากการเปิดรับผลกระทบของพื้นที่และความอ่อนไหวจากการใช้พื้นที่ต้นน้ำด้านการเกษตรของครัวเรือน คือการปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำเกษตรและวิถีการผลิตให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ต้นน้ำ การสร้างความมั่นคงให้กับเกษตรกรและระบบนิเวศบริเวณของพื้นที่ต้นน้ำ ได้แก่ การทำเกษตรแบบวนเกษตร เกษตรผสมผสาน และเกษตรธรรมชาติ รวมถึงการปลูกพืชคลุมดิน เพื่อลดความเสี่ยงจากการพังทลายของดิน และ 2) แนวทางการเพิ่มศักยภาพในการรับมือกับผลกระทบ คือการเพิ่มขีดความสามารถหรือการหาแนวทางตั้งรับผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น ได้แก่ การหาแนวทางเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร การหารายได้เสริมนอกภาคการเกษตร การจัดทำสื่อการทำเกษตรที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ต้นน้ำ การรวมกลุ่มเพื่อบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เช่น การสร้างฝาย การทำธนาคารเกษตรริมน้ำ และการจัดการการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ซึ่งเป็นสิ่งที่ครัวเรือนเกษตรกรสามารถดำเนินการเองได้ นอกจากนี้ในส่วนของหน่วยงานภาครัฐและเอกชนสามารถสนับสนุนและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ตามความเหมาะสมและความต้องการของพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมศักยภาพเกษตรกรในการลดความเปราะบางและรับมือกับผลกระทบ และสามารถทำการเกษตรบริเวณต้นน้ำได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2543). เอกสารประกอบคำบรรยายการเตรียมนิสิตในโครงการ “TUCED-SLUSE” ใน การประชุมสัมมนา นานาชาติ เรื่อง “การจัดการลุ่มน้ำ ต้นน้ำ และปลายน้ำในการจัดการป่าอนุรักษ์ ผู้จัดการและแนวปฏิบัติใหม่”. วันที่ 5 สิงหาคม 2543.
- [2] นิวัติ เรืองพานิช. (2546). การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ ฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] กองประสานงานจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (มปป). การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.onep.go.th/nrem/index.php/nrem-operation/policy/wsc-project>.
- [4] กาญจน์เชอร์ ชูชีพ และ กรรพ พงศ์พิบูลย์เกียรติ. (2548). รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำภาคใต้. การประชุม วิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] อธิศ แสงอาทิตย์. (2552). การจัดการน้ำของชุมชนแบบมีส่วนร่วม: กรณีศึกษาบ้านสวนกล้วย ตำบลกกทอง อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย. วิทยานิพนธ์ ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- [6] สถาบันวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2559). โครงการการพัฒนาฐานข้อมูลสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2559, จาก http://slb-gis.envi.psu.ac.th/home1/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=435.

- [7] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. **A Special Report of Working Group I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press.
- [8] De Lange, H.J., Sala, S., Vighi, M. and Faber, J.H. (2009). “Ecological vulnerability in risk assessment – A review and perspective”, **Science of the Total Environment**. 408, 3871-3879.
- [9] Holsten, A. and Kropp, J.P. (2012). “An integrated and transferable climate change vulnerability assessment for regional application”, **Natural Hazards**. 64, 1977-1999.
- [10] Jabareen, Y. (2012). Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. **Cities**. 31, 220-229.
- [11] Buckley, P. J., Clegg, L. J., Cross, A.R. and Liu, X. (2007). “The Determinants of Chinese outward foreign direct investment”, in; Voss, Hinrich; and Zhen, Ping”, **Journal of International Business Studies**. 38, 499-518.
- [12] สำนักงานประสานงานการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. (2555). **โครงการอนุรักษ์ต่อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**. รายงานฉบับสมบูรณ์.
- [13] จารุวรรณ เกษมทรัพย์ มณี พินิจการ และศศิพรณ บิลมาโนช. (2556). **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการความเปราะบาง การรับรู้ และการปรับตัวของเกษตรกรในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ**. สำนักงานกองทุนวิจัย.

การตรวจหายีนดื้อยาชนิดออกซาคิลลินในอะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ ที่แยกได้ จากโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช

Detection of Oxacillinase Genes in *Acinetobacter baumannii* Isolated from the Maharaj Nakhon Si Thammarat Hospital

จิรารัตน์ สองสี^{1*}, สุมนทา กล้าคง², หวันต์สกิน ปะดุกา³, อาชีเยาะ หะมะ⁴ และปิยะวิทย์ อรชร⁵
Jirarat Songsri^{1*}, Sumonta Klakong², Wantaskeen Paduka³, Arseeyoh Ha-ma⁴ and Piyawit Orachorn⁵

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหายีนดื้อยาชนิดออกซาคิลลินในอะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ จำนวน 68 ไอโซเลต ซึ่งแยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช การหาค่าความเข้มข้นของยาอิมิพีแนมและเมโรปีแนมที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration; MIC) โดยวิธี agar dilution พบว่าแบคทีเรียทั้งหมดคือดื้อยาอิมิพีแนมและเมโรปีแนม โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 16 ถึง 64 และ 16 ถึง ≥ 128 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ การตรวจหายีนดื้อยาชนิด *bla*_{OXA-23}-like, *bla*_{OXA-24}-like, *bla*_{OXA-51}-like และ *bla*_{OXA-58}-like โดยวิธี multiplex-PCR พบว่าแบคทีเรียทุกไอโซเลต (ร้อยละ 100) มียีน *bla*_{OXA-23} ซึ่งเป็นยีนดื้อยาที่พบบ่อยในอะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ ที่ดื้อต่อยาคาร์บาเพนิมส์ ผลการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลสำคัญแก่เจ้าหน้าที่ในการหามาตรการเพื่อเฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันการแพร่กระจายของแบคทีเรียดื้อยาในโรงพยาบาลต่อไป

คำสำคัญ: อะซิเน็ตแบคทีเรีย บอแมนนิโอ ออกซาคิลลิน *bla*_{OXA-23}

¹ อ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² นักเทคนิคการแพทย์ งานธนาคารเลือด โรงพยาบาลค่ายวชิราวุธ นครศรีธรรมราช 80000

³ นักเทคนิคการแพทย์ งานธนาคารเลือด โรงพยาบาลวชิระภูเก็ต 83000

⁴ นักเทคนิคการแพทย์ กลุ่มงานเทคนิคการแพทย์ โรงพยาบาลศรีสาคร 96150

⁵ นักเทคนิคการแพทย์ กลุ่มงานจุลชีววิทยาคลินิก โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช 80000

¹ Lecturer, Dr., Department of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, 80161

² Medical technologist, Blood Transfusion Medicine Section, Wachirawut Camp Hospital, 80000

³ Medical technologist, Blood Transfusion Medicine Section, Vachira Phuket Hospital, 83000

⁴ Medical technologist, Medical Technology Unit, Srisakorn Hospital, 96150

⁵ Medical technologist, Clinical Microbiology Unit, Maharaj Nakhon Si Thammarat Hospital, 80160

* Corresponding author: Tel.:075-672138. E-mail address: jirarat.so@wu.ac.th

Abstract

This study aims to detect oxacillinase genes in 68 isolates of *Acinetobacter baumannii* obtained from clinical isolates in Maharaj Nakhon Si Thammarat Hospital. The minimal inhibitory concentration (MIC) of imipenem and meropenem for all isolates were determined by an agar dilution method. All isolates were resistant to imipenem and meropenem. The MIC range of imipenem and meropenem was 16 to 64 and 16 to ≥ 128 $\mu\text{g/ml}$, respectively. The presence of *bla*_{OXA-23}-like, *bla*_{OXA-24}-like, *bla*_{OXA-51}-like and *bla*_{OXA-58}-like genes was explored using multiplex-PCR amplification. The results showed that all isolates (100%) harbored *bla*_{OXA-23} gene which is frequently found in carbapenem-resistant *A. baumannii*. These findings are needed for hospital staff to find measures for surveillance, control and prevention of antimicrobial agent resistant bacteria in hospital.

Keywords: *Acinetobacter baumannii*, Oxacillinase, *bla*_{OXA-23}

บทนำ

Acinetobacter baumannii เป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่งสั้นขนาดเล็กคล้ายรูปกลม (Gram-Negative Coccobacilli) ไม่หมักย่อยน้ำตาล (Non-Fermentative Bacteria) เป็นสาเหตุสำคัญของโรคติดเชื้อจากโรงพยาบาล (Nosocomial Infection) ที่พบได้บ่อย เช่น การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ การติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ การติดเชื้อของบาดแผล และการติดเชื้อในกระแสเลือด [1] คาร์บาเพนิมส์ (Carbapenems) เป็นยาในกลุ่ม beta-lactams ที่ออกฤทธิ์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับยาคีโนอื่น ๆ ในกลุ่มนี้ และทนต่อเอนไซม์ beta-lactamases หลายชนิด เช่น เอนไซม์ Extended-Spectrum-Beta-Lactamases (ESBLs) แต่ไม่ทนต่อการถูกทำลายโดยเอนไซม์คาร์บาเพนิมเอส (Carbapenemases) เช่น *Klebsiella pneumoniae* Carbapenemase (KPC), Metallo-Beta-Lactamases (MBLs) หรือ Oxacillinases (OXA) ดังนั้น คาร์บาเพนิมส์จึงเป็นยาทางเลือกสำหรับการรักษาโรคติดเชื้อจากแบคทีเรียที่ดื้อยาหลายชนิด เช่น *Pseudomonas aeruginosa* หรือ *A. baumannii* ตลอดจนแบคทีเรียวงศ์ *Enterobacteriaceae* ที่ผลิตเอนไซม์ ESBLs เป็นต้น [2] ตัวอย่างยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ได้แก่ Imipenem, Panipenem, Meropenem, Biapenem, Ertapenem, Doripenem และ Tebipenem [2] มีการรายงานอุบัติการณ์การดื้อยาด้านจุลชีพของแบคทีเรีย *A. baumannii* เพิ่มขึ้นในประเทศไทย [3] โดยอุบัติการณ์การติดเชื้อ *A. baumannii* ในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2-4 เป็นร้อยละ 10-30 ซึ่งพบมากในหอผู้ป่วย [4] ทำให้เกิดความยุ่งยากในการเลือกยาที่เหมาะสม ต้องใช้ยาราคาแพงและมีฤทธิ์รุนแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่อการรักษาในปัจจุบันและอนาคต กลไกการดื้อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์ของเชื้อ *A. baumannii* ที่มักพบบ่อย ได้แก่ การผลิตเอนไซม์คาร์บาเพนิมเอส โดยส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ชนิด OXA และ MBLs ซึ่งมีการรายงานจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก เช่น ยุโรป อเมริกาเหนือ อาร์เจนตินา บราซิล ฝรั่งเศส สเปน เบลเยียม สิงคโปร์ จีน ฮองกง ไต้หวัน เกาหลีใต้ เป็นต้น หรือเกิดจากการขาดหายไปหรือการลดจำนวนของโปรตีน porin หรือ Outer Membrane Proteins (OMPs) หรือเกิดจากแบคทีเรียมีกลไกในการขับยาออกจากเซลล์โดยการสร้าง Efflux Pump หรือเกิดจากการลดการแสดงออกของ Penicillin-Binding Proteins (PBPs) [5]

เอนไซม์คาร์บาเพนิมเอสชนิด OXA เป็นเอนไซม์ beta-lactamases ที่อยู่ใน class D ซึ่งสามารถสลายยากลุ่มเพนิซิลิน ออกซาซิดีน และคาร์บาเพนิมส์ ได้ เอนไซม์ชนิดนี้จะไม่ถูกยับยั้งโดย Ethylene Diaminetetraacetic Acid (EDTA) และ Clavulanic Acid (CA) [6-7] ปัจจุบันสามารถจำแนกชนิดของเอนไซม์ OXA ที่สลายยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์ออกเป็น 5 กลุ่มตามความเหมือนกันหรือความคล้ายคลึงกันของลำดับกรดอะมิโนของเอนไซม์ ได้แก่ กลุ่ม OXA-23-like ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ชนิด OXA-23 OXA-27 และ OXA-49 กลุ่ม OXA-24-like ประกอบด้วยเอนไซม์ชนิด OXA-24 OXA-25 OXA-26,

OXA-40 และ OXA-143 กลุ่ม OXA-51-like ประกอบด้วยเอนไซม์ชนิด OXA-51 OXA-64 OXA-65 OXA-66 OXA-68 OXA-69 OXA-70 OXA-71 OXA-78 OXA-79 OXA-80 OXA-82 OXA-83 และ OXA-109 กลุ่ม OXA-58-like ซึ่งมีเอนไซม์ OXA-58 เพียงชนิดเดียว และกลุ่ม OXA-143-like ซึ่งจะมีเอนไซม์ OXA-143 เพียงชนิดเดียว [8] แบคทีเรียที่มียีนคือยาเหล่านี้สามารถถ่ายทอดยีนคือยาไปยังแบคทีเรียอื่นๆ ได้ โดยผ่านทางโครโมโซม พลาสมิด หรือ Mobile Element ทำให้เกิดการแพร่กระจายและมีการเพิ่มจำนวนของเชื้อคือยามากขึ้น [9] ปัจจุบันมีรายงานเชื้อ *A. baumannii* คือต่อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์โดยการผลิตเอนไซม์คาร์บาเพนิมชนิด OXA จากประเทศต่างๆ ทั่วโลกเพิ่มขึ้น เช่น มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่คือยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ในบริเวณทวีปอเมริกาใต้ ยุโรป เอเชีย และออสเตรเลีย มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่ผลิตเอนไซม์ OXA-24 หรือ OXA-40 ในบริเวณทวีปอเมริกาเหนือ และนอกจากนี้ มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่ผลิตเอนไซม์ OXA-58 ในบางประเทศในทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรป และออสเตรเลีย [9-10] สำหรับในประเทศไทยจากการสำรวจความไวของเชื้อ *Acinetobacter* spp. ต่อยา imipenem ในโรงพยาบาลศูนย์จำนวน 8 แห่ง ในปี พ.ศ. 2541 พบเชื้อคือต่อยา imipenem คิดเป็นร้อยละ 4 [11] จากนั้นมีการศึกษาอุบัติการณ์และความไวของเชื้อ *A. baumannii* ต่อยาต้านจุลชีพชนิดต่างๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2548 โดยการรวบรวมข้อมูลการทดสอบความไวของเชื้อคือต่อยาจากโปรแกรม WHONET ที่ส่งจากโรงพยาบาลในเครือข่ายเฝ้าระวังเชื้อคือต่อยาต้านจุลชีพแห่งชาติ (National Antimicrobial Resistance Surveillance Thailand, NARST) จำนวน 28 แห่งทั่วประเทศ พบเชื้อ *A. baumannii* มีการคือต่อยา imipenem เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.1 ในปี พ.ศ. 2543 เป็นร้อยละ 46.7 ในปี พ.ศ. 2548 โดยในปี พ.ศ. 2548 พบเชื้อ *A. baumannii* ที่คือต่อยา imipenem ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยจากโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง กรุงเทพมหานคร ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ คิดเป็นร้อยละ 60.2 54.3 51.2 44.1 44.0 และ 23.5 ตามลำดับ [12] ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะตรวจหาชนิดของยีน OXA ในแบคทีเรีย *A. baumannii* ที่คือต่อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ที่แยกได้จากโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช เพื่อจะทราบกลไกการคือต่อยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์ในแบคทีเรียชนิดนี้

วิธีการวิจัย

แบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษา แบคทีเรีย *A. baumannii* จำนวน 68 ไอโซเลต ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วย ชนิดเสมหะ เลือด หนอง ปัสสาวะ และน้ำไขสันหลัง จำนวน 50, 8, 5, 4, และ 1 ตามลำดับ และเป็นผู้ป่วยที่ไม่ซ้ำรายกันในโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 โดยแบคทีเรียเหล่านี้ให้ผลคือต่อยา imipenem และ/หรือ meropenem ด้วยวิธี disk diffusion โดยมีขนาดโซนยับยั้งต่อยา imipenem (10 ไมโครกรัม) และ meropenem (10 ไมโครกรัม) เท่ากับหรือน้อยกว่า 15 มิลลิเมตร [13]

การทดสอบความไวของเชื้อคือต่อยาต้านจุลชีพ การหาค่าความเข้มข้นของยาที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration; MIC) ด้วยวิธี agar dilution โดยการทดสอบความเข้มข้นของยา imipenem และ meropenem ในช่วงความเข้มข้น 0.25 ถึง 128 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร และเชื้อที่ใช้ในการทดสอบประมาณ 10^4 CFU/spot สำหรับแบคทีเรียอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบนี้ได้แก่ *Escherichia coli* ATCC 25922 และ *P. aeruginosa* ATCC 27853 [13-14]

การตรวจหาชนิดของยีน oxacillinases (OXA) แบคทีเรียที่ต้องการทดสอบทั้งหมด และแบคทีเรียอ้างอิงที่ไม่มียีนคือยา OXA ได้แก่ *P. aeruginosa* ATCC 27853 จะถูกนำมาสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธีการต้ม จากนั้นนำดีเอ็นเอของเชื้อแบคทีเรียมาตรวจหาชนิดของยีน *bla*_{OXA-23}-like, *bla*_{OXA-24}-like, *bla*_{OXA-51}-like และ *bla*_{OXA-58}-like ด้วยวิธี multiplex-PCR โดยใช้ไพรเมอร์ดังแสดงในตารางที่ 1 [15] สำหรับปริมาณสุดท้ายของปฏิกิริยา multiplex-PCR เท่ากับ 25 ไมโครลิตร โดยมีปริมาณดีเอ็นเอต้นแบบ จำนวน 2 ไมโครลิตร และมีความเข้มข้นสุดท้ายของส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ ไพรเมอร์แต่ละเส้น, PCR buffer (Vivantis, Malaysia), Deoxynucleotide Triphosphates (dNTPs) (Vivantis, Malaysia), MgCl₂ (Vivantis, Malaysia) และเอนไซม์ Taq DNA

polymerase (Vivantis, Malaysia) เท่ากับ 0.80 ไมโครโมลาร์, 1x, 200 ไมโครโมลาร์, 2 มิลลิโมลาร์ และ 0.63 ยูนิต ตามลำดับ เพิ่มจำนวนของยีนที่สนใจโดยใช้เครื่อง PCR Mycycler™ (Biorad, England) สำหรับขั้นตอนการทำ multiplex-PCR ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นตรวจ PCR product ของยีนดื้อยา OXA (ตารางที่ 1) ด้วยวิธีเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้ 1% agarose gel (Vivantis, Malaysia)

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของไพรเมอร์ที่ใช้ในการตรวจหาชนิดยีน *bla*_{OXA-23}-like, *bla*_{OXA-24}-like, *bla*_{OXA-51}-like และ *bla*_{OXA-58}-like [15]

ยีน	ชื่อไพรเมอร์	ลำดับนิวคลีโอไทด์ (5' → 3')	ขนาด PCR product (bp)
<i>bla</i> _{OXA-23} -like	OXA23-F	GAT CGG ATT GGA GAA CCA GA	501
	OXA23-R	ATT TCT GAC CGC ATT TCC AT	
<i>bla</i> _{OXA-24} -like	OXA24-F	GGT TAG TTG GCC CCC TTA AA	246
	OXA24-R	AGT TGA GCG AAA AGG GGA TT	
<i>bla</i> _{OXA-51} -like	OXA51-F	TAA TGC TTT GAT CGG CCT TG	353
	OXA51-R	TGG ATT GCA CTT CAT CTT GG	
<i>bla</i> _{OXA-58} -like	OXA58-F	AAG TAT TGG GGC TTG TGC TG	599
	OXA58-R	CCC CTC TGC GCT CTA CAT AC	

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการทำ multiplex-PCR ในการตรวจหาชนิดยีนดื้อยา OXA [15]

ขั้นตอน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา	จำนวนรอบ (รอบ)
Initiation Denaturation	94	5 นาที	1
Denaturation	94	25 วินาที	30
Annealing	52	40 วินาที	
Extension	72	50 วินาที	
Final Extension	72	6 นาที	1

การตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน นำ PCR product ของยีนที่ตรวจพบมาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ชุดน้ำยาสำเร็จรูป E.Z.N.A[®] Gel Extraction Kit (Omega Bio-tek Inc., USA) จากนั้นตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน OXA ด้วยเครื่องวิเคราะห์หัตถ์โนมิต โดยใช้ไพรเมอร์ Forward และ Reverse ที่จำเพาะกับยีน OXA (ตารางที่ 1) เป็น sequencing primer ที่บริษัท First BASE Laboratories Sdn Bhd ประเทศมาเลเซีย แล้วนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ความเหมือนกับยีน OXA ชนิดต่างๆ ที่มีการรายงานไว้ในฐานข้อมูล <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> โดยใช้โปรแกรม Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

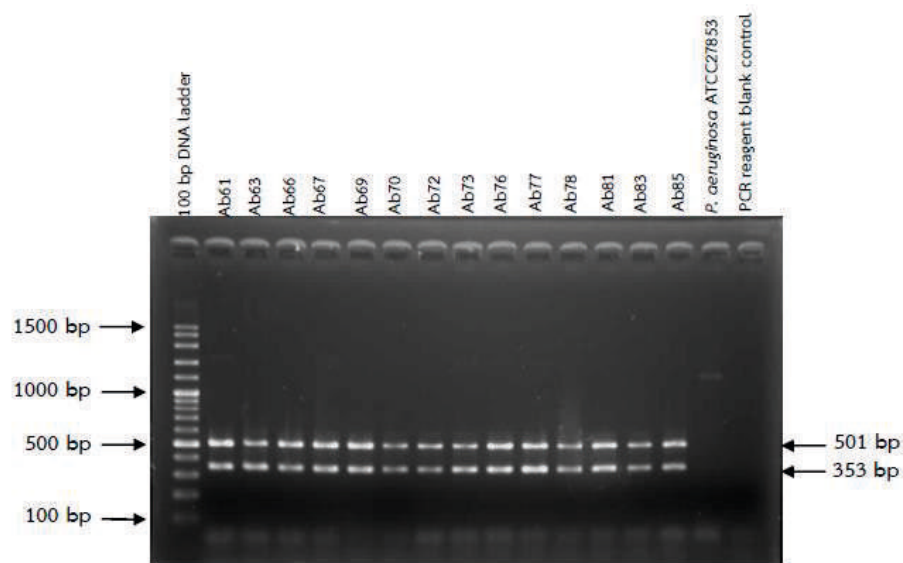
จากการนำแบคทีเรีย *A. baumannii* จำนวน 68 ไอโซเลต ซึ่งแยกจากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยชนิดเสมหะ เลือด ปัสสาวะ หนอง และน้ำไขสันหลัง จำนวน 50 8 5 4 และ 1 ไอโซเลต ตามลำดับ มาทดสอบความไวของเชื้อต่อยา imipenem และ meropenem ด้วยวิธี agar dilution พบว่าแบคทีเรียทั้งหมดคือเชื้อดื้อยาทั้งสองชนิดสูง โดยมีค่า MIC ต่อยา imipenem อยู่ในช่วง 16 ถึง 64 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่า MIC₅₀ และ MIC₉₀ เท่ากับ 32 และ 64 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่า MIC ต่อยา meropenem อยู่ในช่วง 16 ถึง ≥128 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่า MIC₅₀ และ MIC₉₀ เท่ากับ 64 และ ≥128 ไมโครกรัมต่อ

มิลลิกรัม (ตารางที่ 3) เมื่อนำแบคทีเรียทั้งหมดมาตรวจหา ยีน OXA พบว่าแบคทีเรียทุกตัวอย่าง ตรวจพบ PCR product ขนาด 501 bp และ 353 bp (ภาพที่ 1) จากนั้นได้นำ PCR product ขนาด 501 bp และ 353 bp จากแบคทีเรีย ไอโซเลต Ab1 Ab26 Ab61 และ Ab116 ไปตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ แล้วตรวจวิเคราะห์ความเหมือนของลำดับนิวคลีโอไทด์กับยีน OXA ชนิดต่างๆ ที่มีการรายงานไว้ในฐานข้อมูล <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> โดยใช้โปรแกรม BLASTn พบว่า PCR product ขนาด 501 bp จากแบคทีเรียทั้ง 4 ไอโซเลต มีความเหมือนกับยีน *bla_{OXA-23}* (GenBank accession no. LC103136.1) ร้อยละ 100 ในขณะที่ PCR product ขนาด 353 bp จากแบคทีเรียทั้ง 4 ไอโซเลต มีความเหมือนกับยีน *bla_{OXA-51}* (GenBank accession no. KY126228.1) ร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียทั้ง 68 ไอโซเลต มียีน *bla_{OXA-23}* ร่วมกับ *bla_{OXA-51}* คิดเป็นร้อยละ 100 แบคทีเรียที่มียีน *bla_{OXA-23}* จะมีการสร้างเอนไซม์ OXA-23 มาทำลาย beta-lactam ring ในโครงสร้างของยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ทำให้ยาไม่สามารถออกฤทธิ์ได้ แบคทีเรียจึงเกิดการดื้อยาขึ้น สำหรับยีน *bla_{OXA-51}* ซึ่งเป็นยีนที่พบโดยธรรมชาติใน *A. baumannii* และสามารถใช้นี้ในการพิสูจน์ชนิดของ *A. baumannii* ได้ [16] แต่หากมี insertion sequence เช่น *ISAbal* หรือ *ISAb9* สอดแทรกอยู่ในตำแหน่งโปรโมเตอร์ของยีน *bla_{OXA-51}* ทำให้มีการแสดงออกของยีนชนิดนี้เพิ่มมากขึ้น (Overexpression) ส่งผลให้ *A. baumannii* ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ได้ [17-18] อย่างไรก็ตามเนื่องจากในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการตรวจหา insertion sequence ในตำแหน่งโปรโมเตอร์ของยีน *bla_{OXA-51}* จึงอาจจะยังไม่สามารถบอกได้ว่าการดื้อยา กลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ของแบคทีเรียเกิดจากการมี *bla_{OXA-51}* ร่วมด้วย สำหรับความชุกของแบคทีเรีย *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยา กลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยมียีน *bla_{OXA-23}* ในการศึกษาที่สูงใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ ที่เคยมีรายงานทั้งจากประเทศไทยหรือประเทศอื่นๆ ที่พบว่าแบคทีเรีย *A. baumannii* ส่วนใหญ่ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ เกิดจากการที่แบคทีเรียมียีน *bla_{OXA-23}* โดย Niumsup และคณะ [19] ได้รายงานการพบเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ซึ่งแยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยในโรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 เป็นครั้งแรกในประเทศไทย นอกจากนี้ยังพบเชื้อ *A. baumannii* บางไอโซเลต ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ร่วมกับเอนไซม์ MBLs ชนิด IMP ต่อมา Thapa และคณะ [20] ได้รายงานการพบเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ในโรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพมหานคร และเมื่อไม่นานมานี้ ศรีมา และคณะ [21] พบเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ ซึ่งแยกได้จากสิ่งส่งตรวจทางคลินิกของผู้ป่วยในของโรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ จังหวัดอุบลราชธานี มียีน *bla_{OXA-23}* คิดเป็นร้อยละ 100 หรือรายงานจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก เช่น มีรายงานการระบาดของเชื้อ *A. baumannii* ที่ดื้อต่อยาในกลุ่มคาร์บาเพนิมส์ โดยการสร้างเอนไซม์ OXA-23 ในบริเวณทวีปอเมริกาใต้ ยุโรป เอเชีย และออสเตรเลีย [10]

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความไวของแบคทีเรีย *A. baumannii* ทั้ง 68 ไอโซเลต ต่อยา imipenem และ meropenem ด้วยวิธี agar dilution

สารต้านจุลชีพ	MIC Breakpoint ^a			MIC (µg/ml)	
	S	R	MIC range	MIC ₅₀	MIC ₉₀
ช่วงความเข้มข้นของยา (µg/ml)					
Imipenem (0.25-128)	≤4	≥16	16 ถึง 64	32	64
Meropenem (0.25-128)	≤4	≥16	16 ถึง ≥128	64	≥128

^a Clinical and Laboratory Standard Institute (2012); S, Susceptible; R, Resistant



ภาพที่ 1 การตรวจหาเชื้อ OXA ในแบคทีเรียตัวอย่าง Ab61, Ab63, Ab66, Ab67, Ab69, Ab70, Ab72, Ab73, Ab76, Ab77, Ab78, Ab81, Ab83, Ab85 ด้วยวิธี multiplex-PCR

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความชุกของแบคทีเรีย *A. baumannii* ที่มียีนคือยาสันติ OXA จากแบคทีเรียจำนวน 68 ไอโซเลต ที่แยกได้จากสิ่งส่งตรวจของผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ พบว่าแบคทีเรียทั้ง 68 ไอโซเลต (ร้อยละ 100) มียีน *bla_{OXA-23}* แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่คือคือยากลุ่มคาร์บาเพนิมส์ เกิดจากแบคทีเรียมีการสร้างเอนไซม์ชนิด OXA-23 ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ น่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับแพทย์ในการเลือกใช้ยาในการรักษาผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และช่วยให้เจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลได้ตระหนักถึงการหามาตรการในการวางแผนป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายของแบคทีเรียคือยาสันติในโรงพยาบาลต่อไป

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณวดี ชนะวงศ์ ภาควิชาจุลชีววิทยาคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับความอนุเคราะห์แบคทีเรียอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบความไวของเชื้อต่อยาต้านจุลชีพ และขอขอบพระคุณ คุณปิยวิทย์ อรรช นักเทคนิคการแพทย์ หน่วยจุลชีววิทยาคลินิก โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Maragakis, L.L. and Perl, T.M. (2008). “*Acinetobacter baumannii*: epidemiology, antimicrobial resistance, and treatment options”, *Clinical Infectious Diseases*. 46(8), 1254-1263.
- [2] Papp-Wallace, K.M., Endimiani, A., Taracila, M.A. and Bonomo, R.A. (2011). “Carbapenems: past, present, and future”, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 55(11), 4943-4960.

- [3] Dejsirilert, S., Tiengrim, S., Sawanpanyalert, P., Aswapokee, N. and Malathum, K. (2009). "Antimicrobial resistance of *Acinetobacter baumannii*: six years of National Antimicrobial Resistance Surveillance Thailand (NARST) Surveillance", **Journal of the Medical Association of Thailand**. 92(Suppl4), S34-S45.
- [4] Saelao, S. and Utiswannakul, A. (2008). "Therapy for patient with multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*", **Journal of Health Research**. 22(3), 131-136.
- [5] Perez, F., Hujer, A.M., Hujer, K.M., Decker, B.K., Rather, P.N. and Bonomo, R.A. (2007). "Global challenge of multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*", **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**. 51(10), 3471-3484.
- [6] Ambler, R.P. (1980). "The structure of β -lactamases", **Philosophical Transactions of the Royal Society B**. 289(1036), 321-331.
- [7] Bush, K., Jacoby, G.A. and Medeiros, A.A. (1995). "A functional classification scheme for β -lactamases and its correlation with molecular structure", **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**. 39(6), 1211-1233.
- [8] Opazo, A., Dominguez, M., Bello, H., Amyes, S.G.B. and Gonzalez-Rocha, G. (2012). "OXA-type carbapenemases in *Acinetobacter baumannii* in South America", **The Journal of Infection in Developing Countries**. 6(4), 311-316.
- [9] Peleg, A.Y., Seifert, H. and Paterson, D.L. (2008). "*Acinetobacter baumannii*: emergence of a successful pathogen", **Clinical Microbiology Reviews**. 21(3), 538-582.
- [10] Zarrilli, R., Giannouli, M., Tomasone, F, Triassi, M. and Tsakris, A. (2009). "Carbapenem resistance in *Acinetobacter baumannii*: the molecular epidemic features of an emerging problem in health care facilities", **The Journal of Infection in Developing Countries**. 3(5), 335-341.
- [11] Biedenbach, D.J., Johnson, D.M. and Jones, R.N. (1999). "In vitro evaluation of cefepime and other broad-spectrum β -lactams in eight medical centers in Thailand", **Diagnostic Microbiology and Infectious Disease**. 35(4), 325-331.
- [12] Dejsirilert, S., Tiengrim, S., Sawanpanyalert, P., Aswapokee, N. and Malathum, K. (2009). "Antimicrobial resistance of *Acinetobacter baumannii*: six years of National Antimicrobial Resistance Surveillance Thailand (NARST) surveillance", **Journal of the Medical Association of Thailand**. 92(Suppl 4), S34-S45.
- [13] Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2012). **Performance standards for antimicrobial susceptibility testing; twenty-second informational supplement, M100-S22** (22nd ed). Wayne PA: Clinical and Laboratory Standards Institute.
- [14] Washington, J.A. (1985). **Laboratory procedures in clinical microbiology** (2nd ed). New York: Springer-Verlag.
- [15] Woodford, N., Ellington, M.J., Coelho, J.M., Turton, J.F., Ward, M.E., Brown, S. *et al.* (2006). "Multiplex PCR for genes encoding prevalent OXA carbapenemases in *Acinetobacter* spp.", **International Journal of Antimicrobial Agents**. 27(4), 351-353.
- [16] Turton, J.F., Woodford, N., Glover, J., Yarde, S., Kaufmann, M.E., Pitt, T.L. (2006). "Identification of *Acinetobacter baumannii* by detection of the blaOXA-51-like carbapenemase gene intrinsic to this species", **Journal of Clinical Microbiology**. 44(8), 2974-2976.
- [17] Turton, J.F., Ward, M.E., Woodford, N., Kaufmann, M.E., Pike, R., Livermore, D.M. *et al.* (2006). "The role of IS*Aba1* in expression of OXA carbapenemase genes in *Acinetobacter baumannii*", **FEMS Microbiology Letters**. 258(1), 72-77.

- [18] Figueiredo, S., Poirel, L., Papa, A., Koulourida, V. and Nordmann, P. (2009). "Overexpression of the naturally occurring *bla*_{OXA-51} gene in *Acinetobacter baumannii* mediated by novel insertion sequence IS_{Aba9}", **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**. 53(9), 4045-4047.
- [19] Niumsup, P.R., Boonkerd, N., Tansawai, U. and Tiloklurs, M. (2009). "Carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* producing OXA-23 in Thailand", **Japanese Journal of Infectious Diseases**. 62(2), 152-154.
- [20] Thapa, B., Tribuddharat, C., Srifuengfung, S. and Dhiraputra, C. (2010). "High prevalence of *bla*_{OXA-23} in oligoclonal carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* from Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand", **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 41(3), 625-635.
- [21] ศิริมา สุวรรณภูฏ จันตะมา รัชพงษ์ คุณะวัฒนกุล ศุภเดช แสงสานนท์ ศราวุฒิ เสมารัมย์ นิตยา วีระวัฒนสุข และ เขมวิทช์ จันตะมา. (2556). "ตรวจสอบเอนไซม์คาร์บาปีนิเมสและยีนกลุ่ม *bla*_{OXA-23} ในแบคทีเรีย *Acinetobacter baumannii* ที่ดื้อต่อยากลุ่มคาร์บาปีนิมในโรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์", **วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน**. 9(2), 99-109.

ฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง

ชนิด SKBR-3

Effect of Synthetic Chalcone Derivatives on Growth Inhibition and Apoptosis

Induction in Breast Cancer Cell Line (SKBR-3)

นุรดีนา จารง^{1*}, วรangkan ชุงลก², มลติรา พรหมกัน³ และอภิชาติ สุขสำราญ⁴

Nurdina Charong^{1*}, Warangkana Chunglok², Moltira Promkan³ and Apichart Suksamrarn⁴

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ที่ปรับโครงสร้าง 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและชักนำการตายของเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี MTT และ การย้อม DAPI ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าสารสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ SKBR-3 ที่ความเข้มข้น IC_{50} เท่ากับ 18.35 และ 15.93 ไมโครกรัม/มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อนำเซลล์ SKBR-3 มาบ่มด้วยสารอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ทั้ง 2 ที่ความเข้มข้น IC_{50} เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำไปย้อมด้วย DAPI พบว่านิวเคลียสของเซลล์ SKBR-3 มีการหดตัวของโครมาติน และมีการแตกเป็นชิ้นส่วน ซึ่งเป็นลักษณะการตายแบบอะพอพโทซิส จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด มีฤทธิ์ในการต้านเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 โดยชักนำให้เกิดการตายแบบอะพอพโทซิสได้ จึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการศึกษาต่อยอดเชิงลึกต่อไปในการค้นหาสารที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็งเต้านม

คำสำคัญ: ชาลโคน SKBR-3 มะเร็งเต้านม

Abstract

This study aims to examine the effects of synthetic chalcone derivatives including 4-methoxychalcone and 4-chlorochalcone. Their anti-proliferative and anti-apoptotic effects on breast cancer cell line SKBR-3 were investigated by MTT and DAPI staining, respectively. Results from MTT assay indicated that 4-methoxychalcone and 4-chlorochalcone could inhibit the proliferation of SKBR-3 cell in a dose dependent manner with IC_{50} doses of 18.35 μ g/ ml and 15.93 μ g/ ml,

¹ อ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² ผศ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

³ อ.ดร., ภาควิชาจุลทรรศน์ศาสตร์คลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

⁴ ศ.ดร., ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

¹ Lecturer, Dr., Department of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

² Asst. Prof. Dr., Department of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

³ Lecturer, Dr., Department of Clinical Microscopy, Faculty of Medical Technology, Mahidol University, Nakhon Pathom, 73170

⁴ Prof. Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok, 10240

* Corresponding author: Tel.: 075-672181. E-mail address: nurdina.ch@wu.ac.th

respectively. Incubation of SKBR-3 cell with IC_{50} doses of both synthetic chalcone derivatives for 24 hours was found increasing apoptosis of this cell. In addition, nuclear condensation could be visualized by DAPI staining. These preliminary results suggest that two types of synthetic chalcone derivatives could be candidate compounds for further investigations of anti-breast cancer agent.

Keywords: Chalcone, SKBR-3, Breast Cancer

บทนำ

ประเทศไทยมีจำนวนผู้ป่วยมะเร็งเต้านมมากเป็นอันดับหนึ่งของกลุ่มโรคมะเร็งในสตรี โดยมีอุบัติการณ์เพิ่มขึ้นจาก 20.5 คน เป็น 30.7 คน ต่อประชากรสตรี 100,000 คนต่อปี [1] การรักษามะเร็งเต้านมในปัจจุบันมีหลายวิธีได้แก่การผ่าตัด การฉายแสง การใช้ยาต้านฮอร์โมน และเคมีบำบัด โดยพบว่า การรักษาในระยะที่ก่อนมะเร็งยังไม่แพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น จะได้ผลดีโดยการผ่าตัดหรือฉายรังสี ส่วนมะเร็งที่มีการแพร่กระจายแล้วจะต้องทำการรักษาด้วยเคมีบำบัด [2] ปัจจุบันมีการนำสมุนไพรและสารสกัดจากสมุนไพรมาใช้ในการบำบัดรักษาโรคหลายชนิดรวมถึงโรคมะเร็ง มีพัฒนาการสกัดสารออกฤทธิ์สำคัญจากสมุนไพรโดยตัวทำละลายต่างๆจนได้สารที่บริสุทธิ์ และนำมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ เช่น ฤทธิ์การต้านการเจริญของเซลล์มะเร็ง การต้านการเจริญของแบคทีเรีย รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษในสัตว์ทดลอง [3] นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์และปรับโครงสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสมุนไพรต่างๆ เพื่อหาสารต้นแบบที่มีฤทธิ์ดี เพื่อนำไปพัฒนาเป็นยาในอนาคต ฟลาโวนอยด์เป็นสารที่พบในผัก ผลไม้ ชา หรือไวน์ แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีกเป็น 9 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ flavonols flavones flavanones flavan-3-ols anthocyanidins isoflavones proanthocyanidins aurones และ chalcones [4] การศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การรับประทานพืช ผัก ที่มีสารฟลาโวนอยด์สามารถลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ มะเร็งปอด มะเร็งต่อมลูกหมาก และมะเร็งตับอ่อน [5] การศึกษานี้ได้เลือกสารกลุ่มชาโคโนมาทดสอบ เนื่องจากพบได้ในพืชหลายชนิด และนอกจากชาโคโนสกัดแยกได้จากธรรมชาติแล้ว ยังสังเคราะห์ปรับโครงสร้างเนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่ไม่ซับซ้อน สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ง่าย โดยให้มีหมู่แทนที่ได้ที่ตำแหน่งต่างๆกันหลายตำแหน่ง ส่งผลให้สามารถสร้างสารอนุพันธ์ได้หลากหลาย การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารชาโคโนสังเคราะห์มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายด้าน เช่น ฤทธิ์ต้านเบาหวาน [6] ฤทธิ์ต้านมะเร็ง [7] ฤทธิ์ต้านภาวะความดันโลหิตสูง [8] ฤทธิ์ต้านการอักเสบ [9] ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [10] และฤทธิ์ต้านมาลาเรีย [11] เป็นต้น สารอนุพันธ์ชาโคโน หรือ ชาโคโนที่ปรับแต่งโครงสร้างแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สามารถแสดงฤทธิ์ที่ต่างกัน เช่น chemopreventors หรือ chemosensitizers ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารและชนิดของเซลล์ที่ใช้ทดสอบ [12] การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโคโนสังเคราะห์ จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการชักนำการตายในเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ซึ่งทั้ง 2 สารสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีรายงานการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งปอดเฉพาะเลี้ยงชนิด A549 [13] แต่ยังไม่มียางานฤทธิ์การยับยั้งมะเร็งเต้านม และเนื่องจากเซลล์ SKBR3 เป็นเซลล์มะเร็งที่มีการแสดงออกของโปรตีน Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 (HER2) มาก การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 (HER2 Positive) มีแนวโน้มของความเสี่ยงของโรคมากขึ้น และมีอัตราการตายสูงถึงร้อยละ 25 ถึง 30 เมื่อเทียบกับในกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งเต้านมทั้งหมด [14] คณะผู้วิจัยจึงได้ใช้เซลล์ดังกล่าวเป็นเซลล์ตัวแทนในการศึกษาในครั้งนี้ โดยศึกษาฤทธิ์การต้านการเจริญของเซลล์มะเร็งของอนุพันธ์ชาโคโนสังเคราะห์ทั้งสองชนิดด้วยวิธี MTT และติดตามการชักนำการเกิดการตายของเซลล์แบบอะพอพโทซิส โดยการย้อมนิวเคลียสของเซลล์ที่ผ่านการบ่มสารด้วยสี DAPI เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอนุพันธ์ชาโคโนสังเคราะห์ทั้งสองสารต่อเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์

ทำการสังเคราะห์อนุพันธ์ชาโลนที่ใช้ในการศึกษาโดยใช้ปฏิกิริยา Claisen-Schmidt condensation ตามวิธีการที่ได้รายงานมาแล้ว [15] วิธีการสั้นๆ ได้แก่ การนำสาร acetophenone กับ substituted benzaldehyde มาทำปฏิกิริยา โดยมีสารละลาย 50% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ และมีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย คนส่วนผสมเป็นเวลา 6-10 ชั่วโมง แล้วทำส่วนผสมของปฏิกิริยาให้มีฤทธิ์เป็นกรด กรองของแข็งที่เกิดขึ้น ล้างด้วยน้ำ และตกผลึกสารผลิตภัณฑ์ด้วยเอทานอล-น้ำ ในการสังเคราะห์ 4-methoxychalcone ใช้ acetophenone กับ 4-methoxybenzaldehyde ส่วนการสังเคราะห์ 4-chlorochalcone ใช้ acetophenone กับ 4-chlorobenzaldehyde ชาโลนทั้งสองชนิดมีข้อมูลทางสเปกโทรสโกปีสอดคล้องกับที่ได้มีรายงานไว้ [16] จากนั้นนำอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด มาละลายด้วย DMSO นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วย millipore filter ที่มีขนาดรูกรอง 0.45 ไมครอน และเจือจางตามความเข้มข้นที่ต้องการใช้

2. การเพาะเลี้ยงเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3

เซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 สั่งซื้อจากบริษัท American Type Culture Collection (ATCC) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ชนิด DMEM สมบูรณ์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร มีส่วนผสมของ 10% fetal bovine serum (FBS) และ 1% penicillin-streptomycin เพาะเลี้ยงไว้ในตู้บ่มที่ปรับสภาวะเป็น 5% CO₂ อุณหภูมิ 37 °C จนเมื่อเซลล์เจริญถึงระดับความหนาแน่นร้อยละ 80 จะทำการเก็บเซลล์ด้วยวิธี trypsinization ทำการนับจำนวนโดยการย้อมด้วยสี trypan blue นับจำนวนเซลล์ที่ไม่ติดสี และคำนวณปริมาณเซลล์เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

3. การหาความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี MTT assay

เซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 จำนวน 1×10^4 เซลล์ต่อหลุม ถูกเลี้ยงในจานเพาะเลี้ยงขนาด 96 หลุม (96-well plate) ในตู้บ่มที่สภาวะ 5% CO₂ อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ทิ้ง และเติมอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยผสมกับอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ ใส่หลุมละ 200 ไมโครลิตร นำไปบ่มต่อในตู้เพาะเลี้ยงอีก 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ที่ผสมสารที่ต้องการทดสอบทิ้ง แล้วเติมสาร MTT ((3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide) (ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม / มิลลิลิตร ในอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงไปในแต่ละหลุม นำไปบ่มต่อที่ 37 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดูดน้ำยา MTT ทิ้ง แล้วเติม DMSO ลงไป หลุมละ 200 ไมโครลิตร ในแต่ละหลุม ดูผสมให้เข้ากันเบาๆ จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง microplate reader ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์ ดังสมการ $\% \text{ cell viability} = (O.D \text{ of treated cell} / O.D \text{ of control cell}) \times 100$ และคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

4. การวิเคราะห์การเกิดการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี DAPI staining

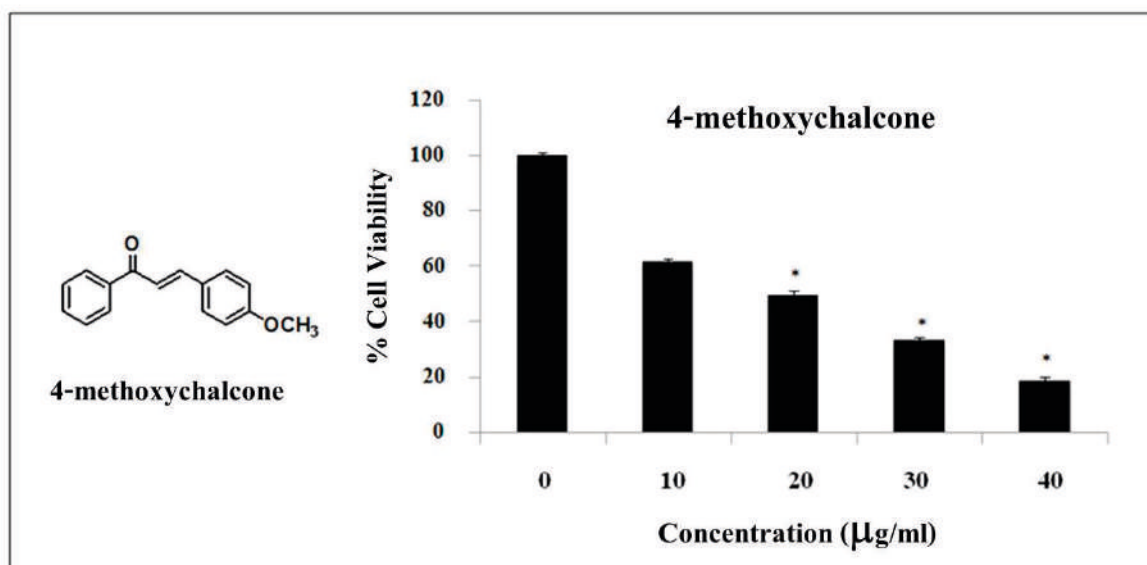
เซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ปริมาณ 1×10^5 cells ถูกเพาะเลี้ยงบน sterile cover slip ในหลุมของจานเพาะเลี้ยงเซลล์ขนาด 6 หลุม (6-well plate) และถูกบ่มในตู้บ่มที่สภาวะ 5% CO₂ ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง จากนั้นดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ออก เติมนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ 2 ชนิด ที่ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) ที่เตรียมในอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ หลุมละ 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มในตู้บ่ม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ทิ้ง ทำการล้างด้วย PBS 2 ครั้ง ทำการตรึงเซลล์ด้วย 4% paraformaldehyde เตรียมสไลด์แก้ว โดยหยด 80% glycerol ปริมาตร 20 ไมโครลิตร และ DAPI ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นสไลด์ เอียงแผ่นสไลด์ให้สารทั้งสองผสมกัน นำ cover slip วางบนแผ่นสไลด์แก้ว แล้วเคลือบด้วยน้ำยาทาเล็บ นำไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์ ที่ความยาวคลื่น 350 nm ศึกษาลักษณะรูปร่างของเซลล์ที่เกิดการตายแบบอะพอพโทซิส

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

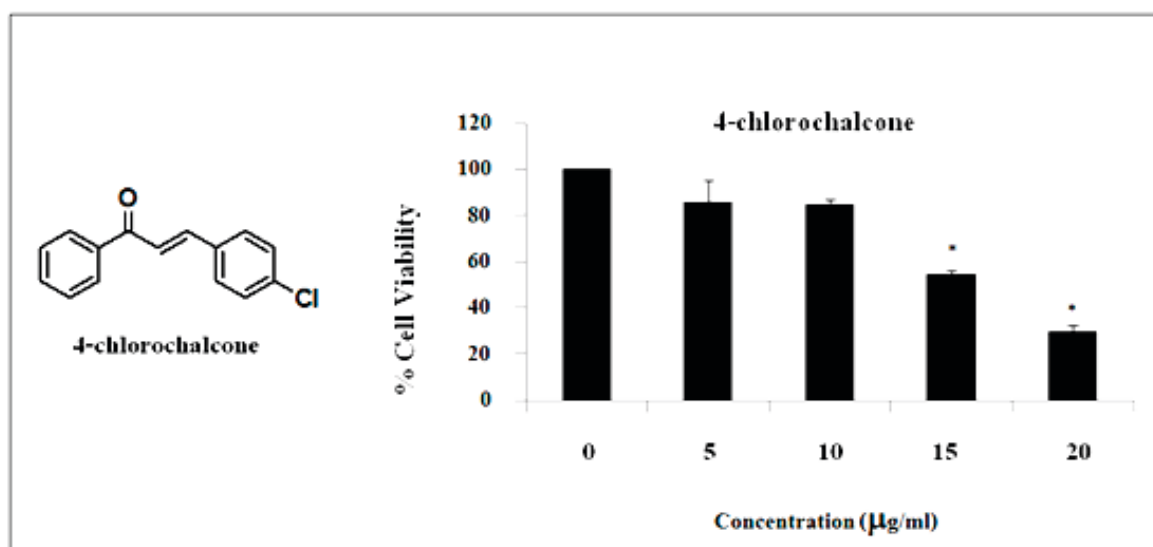
คำนวณเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเซลล์จากการทดสอบด้วยอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ 2 ชนิด โดยแสดงผลเป็นค่าสถิติแบบ $\text{mean} \pm \text{SD}$ เปรียบเทียบความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมโดยใช้สถิติแบบ One-way ANOVA ค่า $p \text{ value} < 0.05$ ถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 โดยวิธี MTT assay ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ที่ไม่เติมสาร พบว่า 4-methoxychalcone ที่ความเข้มข้น 10 20 30 และ 40 $\mu\text{g/ml}$ มีร้อยละการเจริญของเซลล์ลดลงในลักษณะแปรผันตรงกับความเข้มข้นที่ใช้ (ภาพที่ 1) การมีชีวิตรอดของเซลล์ SKBR-3 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (Inhibition Concentration: IC_{50}) เท่ากับ 18.35 $\mu\text{g/ml}$ หรือ 77.01 μM สาร 4-chlorochalcone ที่ความเข้มข้นของสาร 5 10 15 และ 20 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งได้เช่นกัน (ภาพที่ 2) ร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์ SKBR-3 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นเท่ากับ 15 และ 20 $\mu\text{g/ml}$ ($p < 0.05$) โดยค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 เท่ากับ 15.93 $\mu\text{g/ml}$ หรือ 65.64 μM และพบว่า 4-chlorochalcone มีค่า IC_{50} ต่ำกว่า 4-methoxychalcone (ตารางที่ 1) ความเป็นพิษของ DMSO ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้น 0 0.25% 0.5% 0.75% และ 1% พบร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็ง SKBR-3 เท่ากับ 94.61 ± 7.63 89.21 ± 7.94 , 94.24 ± 7.16 , 93.49 ± 3.64 และ 87.43 ± 3.05 ขึ้นันว่าผลดังกล่าวไม่ได้เกิดจาก DMSO



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของอนุพันธ์สังเคราะห์ 4-methoxychalcone และผลทดสอบการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ที่บ่มด้วยสารชาลโคนชนิดนี้ ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม
หมายเหตุ : *, $p < 0.05$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ 0 ไม่โครกรัมต่อมิลลิลิตร



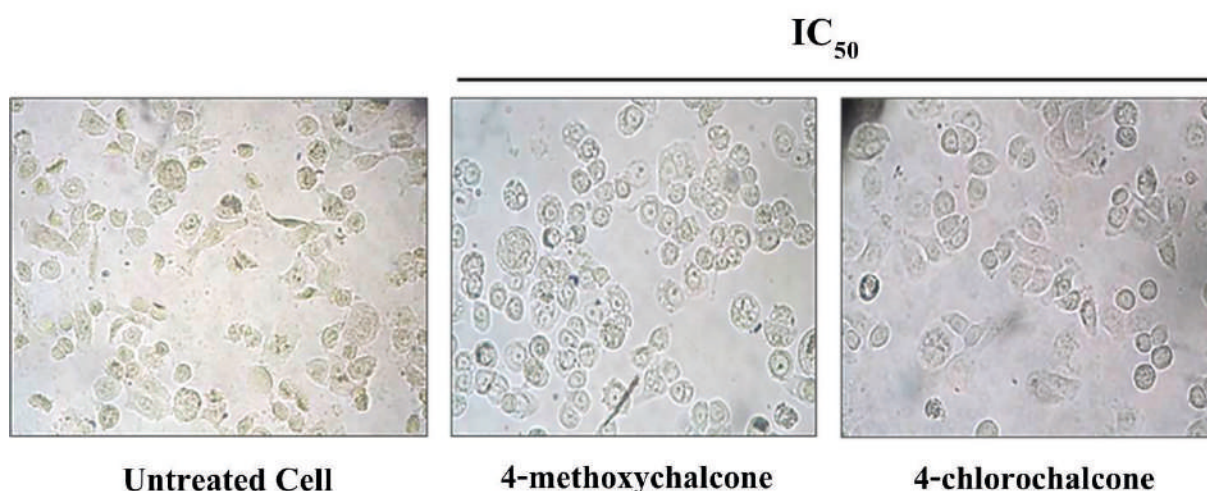
ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของอนุพันธ์สังเคราะห์ 4-chlorochalcone และผลทดสอบการมีชีวิตของเซลล์มะเร็งเต้านม เพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ที่บ่มด้วยสารซาลิโคนชนิดนี้ ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม
หมายเหตุ : *, $p < 0.05$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ 0 ไม่โครกรมต่อมิลลิตร

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มข้นของอนุพันธ์ซาลิโคนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ได้ร้อยละ 50 (Inhibition Concentration: IC_{50}) เมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อนุพันธ์สังเคราะห์	Inhibition Concentration: IC_{50}
4-methoxychalcone	18.35 µg/ ml
4-chlorochalcone	15.93 µg/ ml

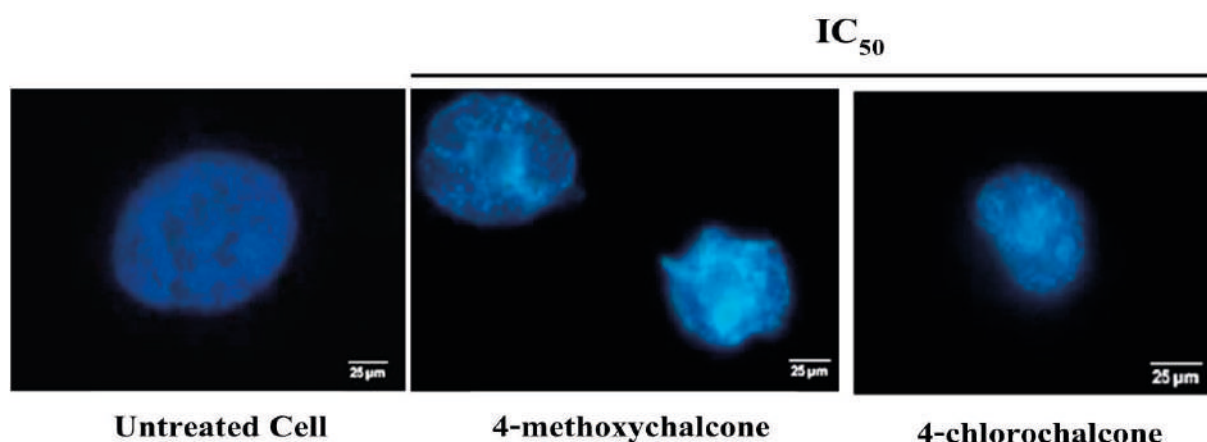
การทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสาร 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์ SKBR-3 ได้ มีรายงานการทดสอบสารซาลิโคนกับเซลล์ SKBR-3 เพียงหนึ่งการศึกษาพบว่า Flavokawain A (FKA) ซึ่งเป็นซาลิโคนที่สกัดแยกมาจากพืชคาวา คาวา สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงหลายชนิดรวมถึง SKBR-3 มีค่า IC_{50} เท่ากับ 10 µM [17] นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่า methoxy-chalcone derivatives สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งผิวหนังเพาะเลี้ยงชนิด A357 ได้ [18] ในขณะที่ 4-chlorochalcone มีรายงานฤทธิ์การลดระดับโคเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในซีรัม [19]

การทดสอบฤทธิ์ของอนุพันธ์ซาลิโคนสังเคราะห์ 2 ชนิด ต่อการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 พบความเปลี่ยนแปลงของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ หลังจากผ่านการบ่มด้วยสารทั้ง 2 ชนิด ที่ IC_{50} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเซลล์เปลี่ยนแปลงรูปร่างและปริมาณ โดยรูปร่างเซลล์เปลี่ยนเป็นลักษณะกลม หดตัวเล็ก ปริมาณเซลล์ที่ติดเกาะกับพื้นผิวจานเพาะเลี้ยงลดลง และพบเซลล์ที่ตายหลุดลอยในอาหารเลี้ยงเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาลโคน 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ที่ IC₅₀ ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและลักษณะของเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 เมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Untreated cell) ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์กำลังขยาย 20X

เมื่อทำการย้อมเซลล์ที่ผ่านการบ่มด้วยอนุพันธ์ชาลโคนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้นที่ IC₅₀ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยยีส DAPI (DAPI staining) และวิเคราะห์ลักษณะเซลล์ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์พบว่า เซลล์มะเร็งกลุ่มควบคุมมีลักษณะการติดสีของนิวเคลียสเรียบเสมอกัน เมื่อบ่มด้วยสารทั้ง 2 ชนิดพบว่าการติดสีนิวเคลียสแตกต่างออกไป ตรวจพบการแตกหักของ genomic DNA และการหดแน่นของโครมาติน ดังภาพที่ 4 งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า 4-methoxychalcone สามารถยับยั้งวิถีส่งสัญญาณ Nrf2/ARE ในเซลล์มะเร็งปอดเฉพาะเลี้ยงชนิด A597 ส่งผลให้เซลล์ดังกล่าวมีความไวต่อการรักษาด้วยยา cisplatin โดยชักนำให้เกิดการตายแบบอะพอพโทซิสได้ดีกว่าการใช้ยา cisplatin เพียงอย่างเดียว [13] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า HER2 สามารถเพิ่มการแสดงออกของ Nrf2 จึงส่งผลให้เซลล์มะเร็งเต้านมชนิด HER2-positive คือต่อการรักษาด้วยยาเคมีบำบัด [20] ดังนั้นการศึกษาหาฤทธิ์ของสารที่สามารถลดแสดงออกของ Nrf2 รวมถึงการควบคุมวิถีส่งสัญญาณ Nrf2/ARE จะทำให้สามารถรู้กลไกการยับยั้งเซลล์มะเร็งที่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 และเพิ่มประสิทธิภาพเคมีบำบัดในการรักษามะเร็งได้



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเกิดอะพอพโทซิส ของเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 ด้วยวิธี DAPI staining และดูลักษณะเซลล์ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ (กำลังขยาย 100x)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ของอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการชักนำการตายแบบอะพอพโทซิสในเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 โดยอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ได้แก่ 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 และชักนำเซลล์มะเร็งให้ตายแบบอะพอพโทซิสได้ โดยสาร 4-chlorochalcone สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ SKBR-3 ได้ดีกว่าสาร 4-methoxychalcone จึงสรุปในเบื้องต้นได้ว่าอนุพันธ์ชาโลนสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดอาจเป็นประโยชน์ต่อการยับยั้งเซลล์มะเร็งที่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 มาก อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ของสาร 4-methoxychalcone และ 4-chlorochalcone ต่อการแสดงออกของระดับยีน และกลไกระดับโมเลกุลเชิงลึกหรือการเสริมฤทธิ์เมื่อใช้ร่วมกับยาต้านมะเร็งต่างๆ เพื่อพัฒนาสารดังกล่าวเป็นยาต้านมะเร็งเต้านมต่อไปในอนาคต

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยอนุชีววิทยาและมะเร็ง มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Virani, S., Sriplung, H., Rozek, L.S. and Meza, R. (2014). "Escalating burden of breast cancer in southern Thailand: analysis of 1990-2010 incidence and prediction of future trends", **Cancer Epidemiology**. 38, 235-243.
- [2] Jordan, V.C. (2008). "Tamoxifen: Catalyst for the change to targeted therapy", **European Journal of Cancer**. 44, 30-38.
- [3] Lee, C.C. and Houghton, P. (2005). "Cytotoxicity of plants from Malaysia and Thailand used traditionally to treat cancer", **Journal of Ethnopharmacology**. 100, 237-243.
- [4] Mahapatra, D.K., Bharti, S.K. and Asati, V. (2015). "Anti-cancer chalcones: structural and molecular target perspectives", **European Journal of Medical Chemistry**. 98, 69-114.
- [5] Praksah, O., Kumar A. and Kumar P. (2013). "Ajeet, anticancer potential of plants and natural products: a review", **Journal of Pharmaceutical Sciences**. 6, 104-115.
- [6] Dimmock, J.R., Elias, D. W., Beazely, M. A. and Kandepu, N.M. (1999). "Bioactivities of chalcones", **Current Medicinal Chemistry**. 6, 1125-1149.
- [7] Romagnolo, D.F. and Selmin, O.I. (2012). "Flavonoids and cancer prevention: a review of the evidence", **Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics**. 31, 206-238.
- [8] Detsi, A., Majdalani, M., Kontogiorgis, C.A., Hadjipavlou-Litin, D. and Kefalas P. (2009). "Natural and synthetic 20-hydroxy-chalcones and aurones: synthesis, characterization and evaluation of the antioxidant and soybean lipoxygenase inhibitory activity", **Bioorganic and Medical Chemistry**. 17, 8073-8085.
- [9] Israf, D.A., Khaizurin, T.A., Syahida, A., Lajis, N.H. and Khorizah, S. (2007). "Cardamonin inhibits COX and iNOS expression via inhibition of p65NF-kB nuclear translocation and Ik-B phosphorylation in RAW264.7 macrophage cells", **Molecular Immunology**. 44, 673-679.

- [10] Mishra, L., Sinha, R., Itokawa, H., Bastow, K. F., Tachibana, Y., Nakanishi, Y., et al. (2001). "Anti-HIV and cytotoxic activities of Ru(II)/Ru(III) polypyridyl complexes containing 2,6-(20-Benzimidazolyl) pyridine/chalcone as co-ligand", **Bioorganic and Medical Chemistry**. 9, 1667-1671.
- [11] Chen, M., Brøgger Christensen, S., Zhai, L., Rasmussen, M.H, Theander, T.G., Frøkjær, S., et al. (1997). "The novel oxygenated chalcone, 2,4-Dimethoxy-40-Butoxychalcone, exhibits potent activity against human Malaria Parasite *Plasmodium falciparum* in vitro and rodent Parasites *Plasmodium berghei* and *Plasmodium yoelii* in vivo", **Journal of Infectious Diseases**. 176, 1327-1333.
- [12] Yadav, V.R., Prasad, S., Sung, B. and Aggarwal, B.B. (2011). "The role of chalcones in suppression of NF-kappaB-mediated inflammation and cancer", **International Immunopharmacology**. 11, 295-309.
- [13] Lim, J., Lee, S.H., Cho, S., Lee, I.S., Kang, B.Y. and Choi, H.J. (2013). "4-methoxychalcone enhances cisplatin-induced oxidative stress and cytotoxicity by inhibiting the Nrf2 /ARE-mediated defense mechanism in A549 lung cancer cells", **Molecules and cells**. 36, 340-346.
- [14] Slamon, D.J., Clark, G.M., Wong, S.G., Levin, W.J., Ullrich, A. and McGuire, W.L. (1987). "Human breast cancer: Correlation of relapse and survival with amplification of the HER-2/neu oncogene", **Science**. 235, 177-182.
- [15] Kunthalert, D., Baothong, S., Khetkam, P., Chokchaisiri, S. and Suksamrarn, A. (2014). "A chalcone with potent inhibiting activity against biofilm formation of nontypeable *Haemophilus influenza*", **Microbiology and Immunology**. 58, 581-589.
- [16] Yadav H.L., Gupta P., Pawar R.S., Singour P.K. and Patil U.K. (2011). "Synthesis and biological evaluation of anti-inflammatory activity of 1,3-diphenyl propenone derivatives", **Medecinal Chemistry Research**. 20, 461-465.
- [17] Jandial, D., Krill, L., Chen, L., Wu, C., Ke, Yu., Xie, Jun., et al. (2017). "Induction of G2M Arrest by Flavokawain A, a Kava Chalcone, Increases the Responsiveness of HER2-Overexpressing Breast Cancer Cells to Herceptin", **Molecules**. 22, 462-475.
- [18] Henmi, K., Hiwatashi, Y., Hikita, E., Toyama, N., and Hirano, T. (2009). "Methoxy- and Fluoro-chalcone Derivatives Arrest Cell Cycle Progression and Induce Apoptosis in Human Melanoma Cell A375", **Biological and Pharmaceutical Bulletin**. 32, 1109-1113.
- [19] Santos, L., Curi Pedrosa, R., Correa, R., Cechinel Filho, V., Nunes, R. J. and Yunes, R. A. (2006). "Biological evaluation of chalcones and analogues as hypolipidemic agents", **Archiv Der Pharmazie**. 339, 541-546.
- [20] Cai-McRae, X. and Karantza V. (2015) "p62: a hub of multiple signaling pathways in HER2-induced mammary tumorigenesis", **Molecular and Cellular Oncology**. 2, e975035.

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งในภาคใต้

A Confirmatory Analysis of Affected Factors to Supply Chain Collaboration: A Case Study of the Frozen Shrimp Industries in Southern Thailand

สิริรัตน์ พึ่งชมพู^{1*}, กมลชนก ฤทธิเดช² และธนิกานต์ ไชยโห๊ะ²

Sirirat Pungchompoo^{1*}, Kamonchanok Rittidech² and Thanikarn Chaiho²

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งไทย มีปัญหาที่สำคัญสองด้าน กล่าวคือ ปัญหาด้านราคาและการระบาดของโรคกุ้ง อันเนื่องมาจากขาดการร่วมมือกันของสมาชิกในโซ่อุปทาน ดังนั้นในเบื้องต้นงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือของสมาชิกในอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทย โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเพื่อยืนยันโครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยใช้แบบสอบถามมาตรวัด likert's scale 5 คะแนน เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 221 ตัวอย่างของสมาชิกในโซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งทั้งฟาร์มกุ้ง ห้างเย็น และโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำทะเล ในพื้นที่จังหวัดสงขลา พัทลุง นครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม SPSS AMOS จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทยประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้ การใช้สารสนเทศร่วมกัน การร่วมกันตัดสินใจ การดำเนินงานไปสู่เป้าหมายเดียวกัน การจัดสรรผลตอบแทน การแบ่งปันทรัพยากร การสื่อสารและการประสานงานร่วมกัน การสร้างความรู้ร่วมกัน การสร้างความร่วมมือในโซ่อุปทาน และความเชื่อใจซึ่งกันและกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลเชิงโครงสร้างทางทฤษฎีมีความเหมาะสมพอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดังต่อไปนี้ตามลำดับ CMIN/df= 0.605 GFI = 0.984 AGFI = 0.974 CFI = 1.00 และ RMSEA = 0.000 ตัวแบบที่ได้จะถูกนำไปใช้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการของโซ่อุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทยเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว

คำสำคัญ: การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โซ่อุปทานความร่วมมือ โซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งไทย

Abstract

Nowadays, the Thai frozen shrimp supply chain has critical problems both of shrimp price and spread of shrimp diseases. One of all reasons come from the lack of a collaboration in their chain members. Therefore, this research aimed to study factors that affected supply chain collaboration in the Thai frozen shrimp chain by using a Confirm Factor Analysis (CFA) approach. this research adopted questionnaires with 5-point Likert scale as a tool to collect data. The sample used in

¹ อ.ดร., สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

² นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

¹ Dr., Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Rajamangala of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

² Undergraduated Student, Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Rajamangala of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

*Corresponding author: Tel.: 0850808939. E-mail address: sirirat.pungchompoo@gmail.com

this study consisted of 221 subjects, selected from shrimp agents, shrimp feed and shrimp equipment manufacturers, and freezing sections and processors in Songkhla province, Pattalung province, Nakhon Si Thammarat province, and Suratthani province, respectively. Using SPSS AMOS software to analyze data, the results showed main effect factors of supply chain collaboration composed of information sharing, decision synchronization, goal congruence, incentive alignment, resource sharing, collaboration communication, joint knowledge creation and trust. In addition, the results of the CFA analysis represented $CMIN/df = 0.605$, $GFI = 0.984$, $AGFI = 0.974$, $CFI = 1.00$ and $RMSEA = 0.000$. Therefore, the model can be acceptably conceptualized as a causal relationship construct model significantly. Finally, this model will apply to study and will construct a guidance of an increasing of management performance in the Thai frozen shrimp supply chain.

Keywords: CFA, Supply Collaboration, Thai Frozen Shrimp Supply Chain

บทนำ

โซ่อุปทานความร่วมมือถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม [1] พบว่าโซ่อุปทานความร่วมมือเริ่มมีการประยุกต์ใช้ตั้งแต่กลาง 1990 ในระบบ Vendor-managed Inventory (VMI), Collaborative Forecasting Planning and Replenishment (CFPR), Continuous Replenishment (CR) และ E-collaboration (EC) [2] เพื่อทำให้องค์กรมีประสิทธิภาพสูงเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดซื้อและความต้องการของลูกค้าด้วยความแม่นยำ [3] ช่วยในการวางแผนกลยุทธ์ สร้างโอกาสและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน [4] โดยหลักในการพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพขององค์กรนั้น ส่วนใหญ่จะพิจารณาจากปัจจัยทางการเงิน เช่น ลดค่าใช้จ่าย เพิ่มผลกำไร หรือในมิติด้านอื่น เช่น การมีส่วนร่วมกับผู้ธุรกิจในการวางแผนหรือตัดสินใจทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กรทั้งสองฝ่าย ช่วยปรับปรุงความสัมพันธ์และพัฒนาระบบการบริการลูกค้า [4-6] จากงานวิจัยของ [7] ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพขององค์กรที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการแบ่งส่วนค่าใช้จ่าย จัดสรรผลประโยชน์ แบ่งปันความเสี่ยงที่เกิดจากความร่วมมือกัน หรือที่เรียกว่า Incentive Alignment นอกจากนี้องค์กรยังมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นมาจากการแชร์ข้อมูลทั้งในส่วนของการจัดซื้อ (Procurement) สินค้าคงคลัง (Inventory Level) คำสั่งซื้อที่อ้างถึงต้นทุนด้านธุรกรรม (Transaction Costs) ระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายนั้นจะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง อัตราการเติมเต็มสินค้าสูงขึ้น (Fulfill Orders) รอบเวลาการผลิตสั้นลง [8]

แต่อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปัญหาประสิทธิภาพขององค์กรที่เกิดจากปัจจัยของความร่วมมือกันในโซ่อุปทานยังคงมีอยู่ อาทิเช่น การขาดการแชร์ข้อมูลระหว่างสมาชิกในโซ่อุปทาน, คุณภาพของข้อมูล [2, 7, 9-12] การปฏิรูปเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้ E-business ในการทำธุรกิจ จำนวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ ลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรม ความซับซ้อนของโซ่อุปทานนั้นๆ คุณลักษณะขององค์กร อิทธิพลจากธุรกิจในโซ่อุปทานระหว่างผู้ผลิต-ผู้ซื้อ [10] ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Bullwhip Effect อันจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านการเงิน การทำงานขององค์กร และการวางแผนกลยุทธ์ในระยะยาว นอกจากนี้ [10] ให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมว่าปัญหาด้านความเสี่ยง (Risks) มีความเกี่ยวเนื่องต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานเช่นกัน โดยอาจส่งผลให้สูญเสียเงินเวลา และทำให้เกิดความล่าช้าในการวางแผนการผลิต การจัดซื้อ และการขนส่งสินค้า ดังนั้นโซ่อุปทานความร่วมมือจึงเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพขององค์กรทั้งมิติด้านการเงิน (Financial Dimension) และมิติด้านอื่น (Nonfinancial Dimension) ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและสังเคราะห์ปัจจัยด้านความร่วมมือที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโซ่อุปทาน กุ้งแช่แข็ง โดยในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis : CFA) เพื่อยืนยัน โครงสร้างทางทฤษฎี ภายใต้กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอาหารทะเลชนิดกุ้งแช่แข็งไทย

โซ่อุปทานความร่วมมือ

ความร่วมมือ (Collaboration) โดยรากศัพท์แล้ว หมายถึง ความร่วมมือหรือความช่วยเหลือในการบริหารโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) ซึ่งปัจจัยความสำเร็จของการบริหารห่วงโซ่อุปทาน ก็คือการบริหารจัดการความร่วมมือและความสัมพันธ์ของคู่ค้า (Suppliers Cooperative Relationship) [13] ซึ่งความร่วมมือกับคู่ค้าส่งผลต่อการส่งมอบสร้างมูลค่าเพิ่ม (Creative Value Added) และในท้ายที่สุดส่งผลต่อผลลัพธ์ คือ การตอบสนองที่ดียิ่งจากลูกค้า ที่เรียกว่าการจัดการความร่วมมือ (Efficient Customers Response : ECR) หรือ (Collaboration Management : CM) ทำให้เกิดรรถประโยชน์ต่อเวลา (Time Utility) ทำให้มีการไหลเวียนของวัตถุดิบและสินค้าตลอดทั้งโซ่อุปทานนั้นๆ โดยอาศัยการร่วมมือกันของทุกๆ หน่วยงานในองค์กรร่วมกับคู่ค้าและลูกค้าในทุกกิจกรรม เช่น การสื่อสาร การร่วมกันแก้ปัญหา การดำเนินกิจกรรมในการสร้างประสิทธิภาพ และสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าปัจจัยที่มีความสำคัญในการวัดความร่วมมือของโซ่อุปทานทั้งในและนอกองค์กร อาทิเช่น การแลกเปลี่ยนหรือการแบ่งปันข้อมูล (Information Sharing) เป็นปัจจัยเพื่อใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเงิน สินค้า และเวลา เช่น ปริมาณสินค้าที่ต้องส่งต่อวัน ปัญหาในการดำเนินงาน การขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิต เป็นต้น [1, 4] การจัดระบบผลตอบแทน (Incentive Alignment) คือ การกระจายความรับผิดชอบในด้านทุน ความเสี่ยง รวมถึงผลประโยชน์ที่ได้รับร่วมกันของสมาชิกในโซ่อุปทาน [การกำหนดแนวทางการทำงานร่วมกัน (Decision Synchronization) คือ การวางแผนการทำงานหรือร่วมกันตัดสินใจดำเนินงาน รวมไปถึงกิจกรรมต่างๆ ในการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต และขนส่งร่วมกัน [1] การใช้ทรัพยากรและเทคโนโลยีร่วมกัน (Resource Sharing) คือ การใช้ทรัพยากรต่างๆ ร่วมกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด คุณภาพของข้อมูล (Information Quality) คือ ข้อมูลที่ใช้ร่วมกันต้องมีความถูกต้องและทันต่อเวลาข้อมูลนั้นจะไม่เกิดประโยชน์ใดๆ หากเป็นข้อมูลที่ขาดความถูกต้องแม่นยำ การตั้งเป้าหมายที่สอดคล้องกัน (Goal Congruence) เพื่อเป็นที่ยอมรับของสมาชิกในโซ่อุปทาน [17] การติดต่อประสานงานภายในสมาชิกของโซ่อุปทาน (Collaborative Communication) โดยอาจวัดในรูปของความถี่ในการประสานงาน แนวทางกลยุทธ์ที่ใช้รูปแบบวิธีการและการประสานงานในหลายระดับ, การสร้างองค์ความรู้ (Joint Knowledge Creation) คือ การวิเคราะห์ และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ความเข้าใจร่วมกันในกิจกรรมต่างๆ รวมไปถึงการแก้ไขในประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นร่วมกัน, ความร่วมมือกันในการสร้างมูลค่าความพึงพอใจของทั้งสองฝ่าย (Collaborative Supply Chain Value) [1] และความไว้วางใจ (Trust) เป็นปัจจัยที่ช่วยทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกในโซ่อุปทานมีความแนบแน่นมากขึ้น

การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง

SEM เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์การหาสาเหตุ การหาความสัมพันธ์แบบมีเหตุผล (Causal Relationship) การตรวจสอบโครงสร้างของตัวแปรแบบพหุ (Multivariate Data Analysis) โดยการศึกษาความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปร (Covariance) อีกทั้งยังสามารถใช้วิเคราะห์ตัวแปรทั้งตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) และตัวแปรแฝง (Latent Variable) SEM มีประสิทธิภาพสูงกว่าการวิเคราะห์แบบหลายตัวแปร (Factor Analysis) เพราะเป็นวิธีการยืนยันเชิงโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยทางทฤษฎีที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลจริง (Confirmatory Factor Analysis : CFA) นอกเหนือจากการสำรวจปัจจัย (Exploratory Factor Analysis : EFA) รวมทั้งสามารถอธิบายลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุและผล (Causal Relationship) โดยมีสมการที่ใช้ในการยืนยันโมเดลที่ เรียกว่า Measurement Model ตามหลักการวิเคราะห์ SEM แสดงดังสมการที่ (1) (3) และสมการความสัมพันธ์คือสมการที่ (2) ดังนี้ [18]

$$\text{Measurement model:} \quad x = A_x \zeta + \delta \quad (1)$$

$$\text{Structural equation model:} \quad \eta = \beta \eta + \tau \zeta + \zeta \quad (2)$$

$$\text{Measurement model:} \quad y = A_y \eta + \varepsilon \quad (3)$$

เมื่อ

- x คือ Observed exogenous variable. δ คือ Measurement error in an observed exogenous variable.
- y คือ Observed endogenous variable. ε คือ Measurement error in an observed endogenous variable.
- ζ คือ Latent exogenous variable. ζ คือ Error term associated with the Latent endogenous variable.
- η คือ Latent endogenous variable.

สำหรับงานวิจัยด้านโซ่อุปทานในอดีต พบว่า นักวิจัยได้ใช้ SEM ในการศึกษาในหลายบริบท อาทิเช่น [14] ใช้ SEM ในการยืนยันโมเดลการวัดประสิทธิภาพทางด้านสิ่งแวดล้อม [15] ทำการศึกษาการคัดเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ ใช้ SEM ร่วมกับการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น รวมไปถึงการยืนยันความสอดคล้องของโมเดลทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นกับข้อมูลที่สังเกตได้จริงโดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติหลายๆ ตัว ในการตัดสินใจงานด้านการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ [16-17, 19-21] ใช้ CFA ในการยืนยันตัวชี้วัดประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานสีเขียว [25] หรือประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ CFA ลำดับที่สองร่วมกับทฤษฎีพีชชีในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ [22] ประยุกต์ใช้ SEM ในการอธิบายความสัมพันธ์ของทรัพยากรมนุษย์ในเชิงปฏิบัติการ Human Resource Practices ประสิทธิภาพขององค์กร [23]

วิธีการวิจัย

ในเบื้องต้นสร้างโครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือดังแสดงในตารางที่ 1 และดำเนินการสร้างแบบสอบถามเพื่อยืนยันเชิงโครงสร้าง แบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นถูกตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่ามีค่า IOC 0.67 และตรวจสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability) ด้วยค่าครอนบัตอัลฟา (Cronbach Alpha : α) จากกลุ่มตัวอย่างเบื้องต้น 20 คน โดยวิเคราะห์ด้วย SPSS พบว่าได้ค่า $\alpha = 0.74$ จึงถือได้ว่าแบบสอบถามมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและความเชื่อมั่นทางสถิติที่เพียงพอที่จะไปใช้เก็บข้อมูลได้ การเก็บข้อมูลจากสมาชิกในโซ่อุปทานโดยใช้อัตราส่วน 20 ตัวอย่างต่อหนึ่งตัวแปรตามหลักการของ SEM โดยใช้โปรแกรม AMOS และยืนยันโมเดลว่ามีความสอดคล้องทางทฤษฎีและข้อมูลจริง วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดกับมิติการวัดในกลุ่มนั้นๆ ด้วยวิธีการ CFA และในท้ายสุดจะทำการสรุปผลการวิจัย

โครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยที่ส่งผลต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานสามารถแบ่งตัวแปร ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตัวแปรโซ่อุปทานความร่วมมือตัวแปรแฝง (Latent Variable)

ตัวแปรแฝง (Latent Variable)	
● โซ่อุปทานความร่วมมือ (Supply Chain Collaboration: SCC)	
ตัวแปรสังเกต (Observed Variable)	
● การแบ่งปันข้อมูล (Information sharing : IS)	
● การสร้างความรู้ร่วมกัน (Joint Knowledge Creation : JK)	
● การตัดสินใจร่วมกัน (Decision Synchronization : DS)	
● คุณค่าของโซ่อุปทานความร่วมมือ (Collaborative supply chain value : CSI)	
● การมีเป้าหมายสอดคล้อง (Goal Congruence : GC)	
● ความไว้วางใจ (Trust : Trust)	
● แรงจูงใจ (Incentive Alignment : InA)	
● การใช้ทรัพยากรร่วมกัน (Resource Sharing : RES)	

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของงานวิจัยในครั้งนี้ คือ สมาชิกที่อยู่ในโซ่อุปทานอุตสาหกรรมแปรรูปกุ้งแช่แข็งในพื้นที่ภาคใต้ โดยเฉพาะในจังหวัดสงขลา คือ อำเภอสิงหนคร อำเภอสทิงพระ และในจังหวัดพัทลุง คือ อำเภอปากพะยูน เนื่องจากมีการเลี้ยงกุ้งจำนวนมากจากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจเกษตรภายใต้การสุ่มตัวอย่างแบบสะดวกจากข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลซึ่งเป็นไปได้ยากทั้งจากการส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ ทางอิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์จึงไม่สามารถทำการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบได้ โดยมีประชากรของกลุ่มตัวอย่าง คือ เจ้าของกิจการของฟาร์มโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำและห้องเย็น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งสิ้นจำนวน 221 กลุ่มตัวอย่าง โดยการจะทำการสอบถามพร้อมกับการสัมภาษณ์เชิงลึก ภายใต้ประเด็นคำถามที่ครอบคลุมปัจจัยภายใต้ความร่วมมือในโซ่อุปทาน เช่น การแลกเปลี่ยนข้อมูล การทำข้อตกลงร่วมกันกับบริษัทจัดส่งลูกกุ้งให้กับเจ้าของฟาร์ม การร่วมกันวางแผนในการแก้ปัญหา การที่บริษัทผู้จัดส่งลูกกุ้งในการจัดหาสถาบันการเงินหรือไม่ใช่สถาบันการเงิน และช่องทางการติดต่อสื่อสารระหว่างบริษัทจัดส่งลูกกุ้งกับเจ้าของฟาร์ม รวมไปถึงปัจจัยทั้งทางด้านการเงินและปัจจัยด้านการจัดการในส่วนประสิทธิภาพของโซ่อุปทาน

ผลการวิจัย

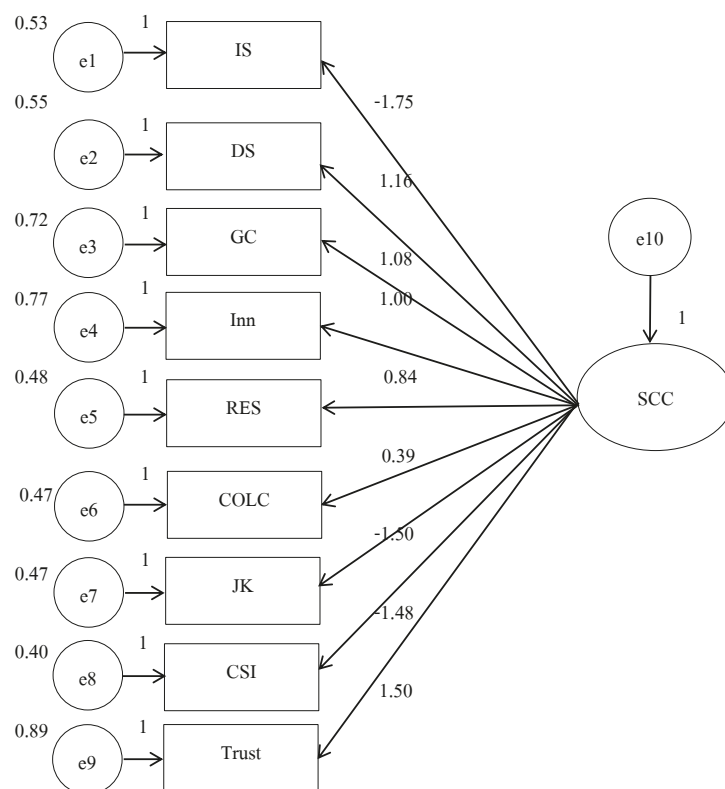
ในการวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบเชิงยืนยันต้องวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ พิจารณาตรวจสอบข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่และตรวจสอบความกลมกลืนของโมเดลด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (CFA) โดยผลที่ได้แสดงดังนี้พิจารณาตรวจสอบข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ในส่วนนี้สถิติทดสอบ Z-Test จะถูกใช้เพื่อตรวจสอบว่าค่าประมาณต่างๆ มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยมีหลักเกณฑ์จากค่า c.r. ถ้าค่า |c.r.| ของตัวแปรทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 1.96 จึงจะยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า c.r. ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 1.213 ซึ่งค่า |c.r.| < 1.96 ดังนั้นจึงยอมรับ H_0 หรือแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การตรวจสอบความกลมกลืนหรือความสอดคล้องของโมเดลด้วยวิธีการ CFA

ในการตรวจสอบว่าข้อมูลมีความกลมกลืนหรือมีความสอดคล้องกับโมเดลที่คาดไว้หรือไม่ โดยพิจารณาจากตัวทดสอบทางสถิติ ซึ่งในการทดสอบความกลมกลืนของโมเดลจะใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิควิธี Maximum Likelihood ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตัวทดสอบทางสถิติของโซ่อุปทานความร่วมมือ

สถิติ	ความหมาย	หลักเกณฑ์	ผลที่ได้
1. CMIN/ df	Chi – Square/df ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 3	$P < 3$	$P = 0.605$
2. GFI	Goodness of Fit Index ซึ่งมีค่า 0 ถึง 1 ควรมีค่าใกล้ 1 ค่า GFI ≥ 0.90 จะถือว่าโมเดลของผู้วิจัย fit กับข้อมูล	$P \geq 0.90$	$P = 0.984$
3. RMSEA	Root Mean Square Error of Approximation ควรมีค่าใกล้ศูนย์ ค่า RMSEA ≤ 0.08 จะถือว่าโมเดลของผู้วิจัย Fit กับข้อมูล	$P \leq 0.08$	$P = 0.000$
4. IFI	Incremental Fit Index ควรมีค่าใกล้ 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.90	$P > 0.90$	$P = 2.030$
5. CFI	Comparative Fit Index ควรมีค่ามากกว่า 0.90	$P > 0.90$	$P = 1.000$



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่ 1 ของโซ่อุปทานความร่วมมือ

จากผลการวิเคราะห์พบว่าโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่ 1 ของโซ่อุปทานความร่วมมือมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบความตรงของโมเดลได้แก่ ค่า CMIN/df = 0.605 GFI = 0.984 RMSEA = 0.000 IFI = 2.030 และ CFI = 1.00

การอภิปรายผล

โมเดลปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือของสมาชิกในอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทย ภายใต้กรณีศึกษาพื้นที่ภาคใต้ มี 9 องค์ประกอบ พบว่าค่าน้ำหนักองค์ประกอบทั้ง 9 องค์ประกอบมีค่าเป็นบวกและลบ โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบตั้งแต่ -1.75 ถึง 1.50 แสดงว่าองค์ประกอบทั้ง 9 องค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อโซ่อุปทานความร่วมมือ องค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักเป็นลบแสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงผกผัน กัน เนื่องจากว่าอาจมีปัจจัยบางตัวที่ทำให้ค่าน้ำหนักเส้นทางผิดแปลกไปจากข้อคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยจัดเรียงลำดับขององค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อโซ่อุปทานความร่วมมือจากมากไปน้อยโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายบวกหรือลบ ดังนี้ การแบ่งปันข้อมูลร่วมกัน การสร้างองค์ความรู้ร่วมกัน ความไว้วางใจ ความร่วมมือกัน โซ่อุปทานที่สร้างมูลค่าความพึงพอใจของทั้งสองฝ่าย การกำหนดแนวทางการตัดสินใจร่วมกัน การตั้งเป้าหมายที่สอดคล้องกัน การจัดสร้างแรงจูงใจร่วมกัน การใช้ทรัพยากรและเทคโนโลยีร่วมกัน และการติดต่อประสานงานภายในสมาชิกของโซ่อุปทาน มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ -1.75 -1.50 1.50 -1.48 1.16 1.08 1.00 0.84 และ 0.39 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ทุกค่าและผลการตรวจสอบความกลมกลืนหรือความสอดคล้องของโมเดลเชิงโครงสร้างทางทฤษฎีมีความเหมาะสมพอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ด้วยค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ $CMIN/df = 0.605$ $GFI = 0.984$ $RMSEA = 0.000$ $IFI = 2.030$ และ $CFI = 1.000$ ตามลำดับ

สรุป

จากผลการวิจัยเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานความร่วมมือของสมาชิกในอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทย โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เพื่อยืนยันโครงสร้างทางทฤษฎีของปัจจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความร่วมมือในโซ่อุปทานอุตสาหกรรมกุ้งแช่แข็งไทยประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้ การใช้สารสนเทศร่วมกัน การร่วมกันตัดสินใจ การดำเนินงานไปสู่เป้าหมายเดียวกัน การจัดสรรผลตอบแทน การแบ่งปันทรัพยากร การสื่อสารและการประสานงานร่วมกัน การสร้างความรู้ร่วมกัน การสร้างความร่วมมือในโซ่อุปทาน และความเชื่อใจซึ่งกันและกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลเชิงโครงสร้างทางทฤษฎีมีความเหมาะสมพอดีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ด้วยค่าพารามิเตอร์ $CMIN/df = 0.605$ $GFI = 0.984$ $AGFI = 0.974$ $CFI = 1.00$ และ $RMSEA = 0.000$ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีทัศนคติทางลบในการกรอกแบบสอบถาม เพราะฉะนั้นควรเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างและจำนวนข้อมูล เนื่องจากถ้าจำนวนกลุ่มตัวอย่างและจำนวนข้อมูลมีมากขึ้นส่งผลให้การวัดประสิทธิภาพของโซ่อุปทานด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะเน้นไปที่เกษตรกรเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทำให้ค่าคะแนนจากแบบสอบถามผกผันไปจากความเป็นจริง ดังนั้นควรที่จะเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างอื่นด้วย เพราะในมุมมองของเกษตรกรอาจให้ค่าคะแนนแตกต่างไป จากกลุ่มตัวอย่างอื่น และนำค่าคะแนนที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างของเกษตรกรและกลุ่มตัวอย่างอื่นมาเปรียบเทียบว่ามีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

คำขอบคุณ

คณะวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Liao, S. H. and Kuo, F. I. (2014). "The study of relationships between the collaboration for supply chain, supply chain capacities and firm performance: A case of the Taiwan's TFT-LCD industry", **International Journal of Production Economics**. 156, 295-304.
- [2] Akintope, A., McIntosh, G. and Fitzgerald, E. (2000). "A survey of supply chain collaboration and management in UK construction Industry", **European Journal of Purchasing & Supply Chain Management**. 6, 159-168.
- [3] Fu Jeng, D. J. (2015). "Generating a casual model of supply chain collaboration using the fuzzy DEMATEL technique", **Computer & Industrial Engineering**. 87, 281-295.
- [4] Ramanathan, U., Bentley, Y. and Pang, G. (2014). "The role of collaboration in the UK green supply chains: an exploratory study of the perspectives of suppliers, logistics and retailers", **Journal of Cleaner Production**. 70, 231-241.
- [5] Cao, M. and Zhang, Q. (2011). "Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance", **Journal of Operation Management**. 29, 163-180.
- [6] Ramanathan, U. (2014). "Performance of supply chain collaboration-A simulation study", **Expert System with Application**. 41, 210-220.
- [7] Simatupang, T. M. and Sridharan, R. (2005). "The collaboration index: a measure for supply chain collaboration", **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. 35(1), 44-62.
- [8] Lin, C., Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C. H. and Yu, P. P., (2005). "A structural equation model of supply chain quality management and organizational performance", **International journal of Production Economics**. 96, 355-365. Doi: 10.1016/j.jipe.2004.05.009.
- [9] Lee, H. L., Padamnabhan, V. and Whang, S. (1997). "The bullwhip effect in supply chains", **Sloan Management Review**. 38(3), 93-102.
- [10] Mathopoulos, A., Vlachopoulou, M. and Manos, B. (2007). "A conceptual framework for Supply Chain collaboration: empirical evidence for agri-food industry", **An International Journal of Supply Chain Management**. 12(3), 177-186.
- [11] Gao, S., Zhang, Z. and Cao, C. (2010). "Calculating weight methods in complete matrices and incomplete matrices", **Journal of Software**. 5(3), 304-311.
- [12] Motoya-Torres, J. R. and Ortiz-Vargas, D. A. (2014). "Collaboration and information sharing in dyadic supply chain: A literature review over the period 2000-2012", **Estudios Greeciales**. 30, 342-354.
- [13] ธนิต โสรัตน์. (2559). **COLLABORATION MANAGEMENT**. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2559, จาก <http://www.tanitsorat.com/view.php?id=93>.
- [14] Pungchompoo, S. and Sopadang, A. (2015). "Confirmation and evaluation of performance measurement model for the Thai frozen shrimp", **Business Process Management Journal**. 21(4), 837-856.
- [15] Chan, F. T. S. (2003). "Performance measurement in supply chain", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. 21, 534-548.

- [16] Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P. and Parthiban, P. (2011). "A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection", **Expert Systems with Applications**. 38(1), 458-474. Doi: 10.1016/j.eswa. 2010.06.086.
- [17] Tseng, Y. and Lee, T. (2009). "Comparing appropriate decision support of human resource practices on organizational performance with DEA/AHP model", **Expert Systems with Applications**. 36(3), 6548-6558
- [18] Mueller, R. O. (1996). **Basic principles of structural equation modeling: An introduction to LISREL and EQS**. New York, NY: Springer.
- [19] Li, G., Yang, H., Sun, L. and Sohal, A. S. (2009). "The impact of IT implementation on supply chain integration and performance", **International Journal of Production Economics**. 120, 125-138.
- [20] Zhu, Q., Sarkis J. and Lai, K. H. (2008). "Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation", **International Journal of Production Economics**. 111(2), 261-273.
- [21] Vachon, S. and Klassen, R. D. (2008). "Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain", **International Journal Production Economics**. 111, 299-315.
- [22] Olugu, E., Wong, K. Y. and Shaharoun, A. M. (2011). "Development of key performance measures for the automobile green supply chain", **Resources Conservation and Recycling**. 55(6), 567-579. Doi: 10.1016/j.resconrec. 2016.06.003
- [23] Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P. and Lakshmi, G. (2012). "A combined application of structural equation modeling (SEM) and analytic hierarchy process (AHP) in supplier selection", **Benchmarking: An International Journal**. 19(1), 70-92.

การเตรียมและสมบัติของยางไนไตรล์ผสมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล

Preparation and Properties of Nitrile Rubber Mixed with Carbon Filler from Molasses

สุริยาพร หอมเจียน¹ และธนัญญา เสาวภาคย์^{2*}

Suriyaporn Homkeing¹ and Thanunya Saowapark^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากน้ำตาลที่เป็นผลพลอยได้ จากกระบวนการผลิตน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ โดยเมื่อนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อน จะสามารถเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนได้ ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนร้อยละ 56 และจากผลของ FTIR พบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล มีลักษณะของหมู่ฟังก์ชัน เช่นเดียวกับผงเขม่าดำ แต่อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย SEM พบว่า ขนาดของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มีขนาดใหญ่กว่าผงเขม่าดำในงานวิจัยนี้ นำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ ที่ปริมาณ 0-30 phr และเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ จากการทดลองพบว่า การใช้ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลสามารถลดเวลาในการคงรูปของยางไนไตรล์ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า โมดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และความต้านทานต่อการบวมในตัวทำละลายของยางไนไตรล์ดีขึ้นเล็กน้อย โดยปริมาณที่เหมาะสมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลที่เติมลงในยางไนไตรล์ในงานวิจัยนี้ คือ 30 phr

คำสำคัญ: ยางไนไตรล์ กากน้ำตาล ผงคาร์บอน สารตัวเติม

Abstract

In this research, a feasibility study was carried out on the utilization of molasses, by-product of the refining of sugarcane into sugar, as filler in nitrile rubber (NBR). Molasses was converted to powder under heating process. Molasses carbon filler (MCF) was finally obtained. As a result of percentage of carbon, it is observed that MCF containing 56 percent of carbon. Additionally, FTIR result confirmed that functional groups of MCF were comparable with carbon black. Nevertheless, SEM image clarified that the large particle size of MCF were different from carbon black. In the present work, MCF was incorporated into the NBR with various loadings of 0-30 phr and compared with carbon black. From the results, it was observed

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

² อ.ดร., ศูนย์วิจัยวัสดุธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

¹ Undergraduate Student, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

² Lecturer, Dr., Research Center of Natural Materials and Natural Products, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

* Corresponding author: E-mail address: bbiirddtt@hotmail.com

that cure times decreased with the incorporation of MCF. Additionally, modulus, tear strength, and swelling resistance of NBR slightly increased. In this work, the results revealed that the vulcanizates containing 30 phr of MCF provided optimum properties.

Keywords: Nitrile Rubber, Molasses, Carbon Powder, Filler

บทนำ

ยางไนไตรล์ (Nitrile Rubber หรือ NBR) เป็นยางสังเคราะห์ที่มีความเป็นขี้ผึ้งและมีคุณสมบัติการใช้งานที่หลากหลาย มีคุณสมบัติในการทนน้ำมัน ยางชนิดนี้ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน ทนต่อความร้อน และต้านทานต่อการกัดกร่อน เช่น ปะเก็นน้ำมัน ยางโอริง ยางซีล เป็นต้น [1] ยางไนไตรล์เป็นยางที่มีความต้านทานต่อการดึงและฉีกขาดไม่มากนัก ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางไนไตรล์ด้วยการเติม สารตัวเติมเสริมแรง เช่น ผงเขม่าดำ และซิลิกา เป็นต้น [2-3] ปัจจุบันได้มีการนำชีวมวลจากส่วนที่เหลือใช้ทางการเกษตร การปศุสัตว์ และของเสียบางประเภทจากอุตสาหกรรม นำมาใช้ทดแทนสารตัวเติมดังกล่าวที่มาจากสารสังเคราะห์ หากนำตาลนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาล ปัจจุบันได้นำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น นำมาทำน้ำสกัดชีวภาพ เพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อนำกากน้ำตาลมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นผงคาร์บอนได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยพยายามเพิ่มความหลากหลายในการนำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์โดยนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยาง

วิธีการดำเนินการ

1. การเตรียมและวิเคราะห์ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล

นำกากน้ำตาลไปทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปคั่วให้ละเอียด และนำมาเผาภายใต้สภาวะไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล จากนั้นนำมาวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน โดยใช้เครื่อง CHN Elemental Analyzer และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่อยู่ภายในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ในช่วงความถี่ 400-4000 cm^{-1} วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และการขนาดการกระจายของขนาดอนุภาคผงคาร์บอน (Particle Size Distribution) ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer

2. การเตรียมยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

โดยการผสมยางไนไตรล์และสารเคมีตามสูตรดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์ในขั้นตอนที่ 1 คือ ทำการผสมยางไนไตรล์และสารตัวเติม ซึ่งได้แก่ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (Molasses Carbon Filler, MCF) โดยทำการศึกษเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ เกรด N550 (Carbon Black, CB) และสารเคมีอื่นๆ ยกเว้น ตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูป คือ TBBS (N-Tert-Butyl-2-Benzothiazole Sulfenamide) และสารเคมีที่ใช้ในการคงรูป คือ Sulphur ในเครื่องผสมแบบปิด Brabender (Cam Blade Rotor) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 40 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการผสม 9 นาที ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเติม TBBS และ Sulphur ลงในยาง Masterbatch ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเครื่องผสมแบบปิด Brabender เช่นเดิมใช้เวลาผสม 3 นาที จากนั้นนำยางผสมไปรีดโดยใช้เครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

3. การทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผิวงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

3.1 การศึกษาลักษณะการคงรูป (Cure Characteristics)

การศึกษาการคงรูปของยางคอมพาวด์โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR: TECHPRO, Rheotech MD+) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 150 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการคงรูปต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางคอมพาวด์

องค์ประกอบ	Part per hundred rubber (phr)			
Nitrile Rubber (NBR)	100.0	100.0	100.0	100.0
Zinc Oxide	4.0	4.0	4.0	4.0
Stearic acid	2.0	2.0	2.0	2.0
Filler (MCF or CB)	0.0	10.0	20.0	30.0
TBBS	2.25	2.25	2.25	2.25
Sulphur	0.75	0.75	0.75	0.75

3.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tensile Properties and Tear Strength)

ทำการขึ้นรูปยางคอมพาวด์เป็นแผ่น โดยแม่พิมพ์แบบอัด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาคงรูปที่ได้จากการศึกษาลักษณะการคงรูปที่ได้การทดสอบก่อนหน้าทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) และ ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624 (Die B) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (INSTRON 3366)

3.3 การทดสอบสมบัติความต้านต่อตัวทำละลาย (Swelling Resistance)

ทดสอบโดยใช้วิธีการ Equilibrium Swelling Measurement เป็นการทดสอบการบวมตัวของยางไนไตรล์ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปนำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมให้มีน้ำหนัก 0.5-0.7 กรัม นำไปแช่ในโทลูอีน เป็นเวลา 7 วันนำไปตั้งไว้ในที่มีด จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาอัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio) โดยใช้สมการ

$$Q = \frac{(W_s - W_u)}{W_u}$$

เมื่อ Q คือ อัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio)

W_u คือ น้ำหนักก่อนแช่โทลูอีน (g)

W_s คือ น้ำหนักหลังแช่ในโทลูอีน (g)

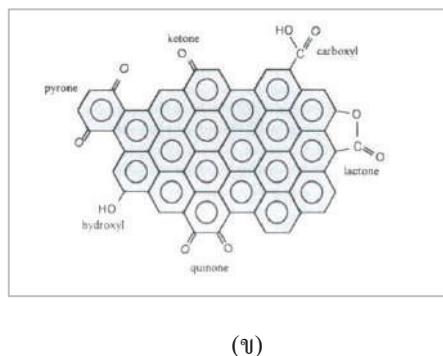
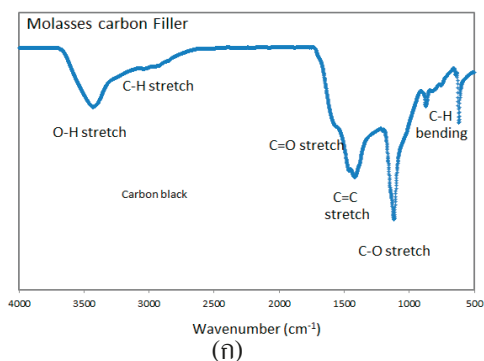
ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

1. สมบัติของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล

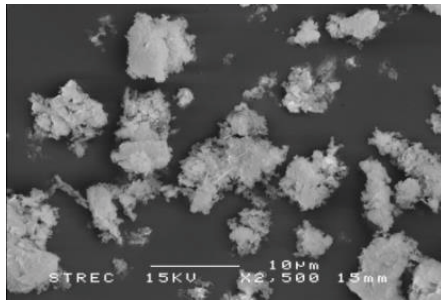
ผลของการวิเคราะห์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ของผงคาร์บอนที่ได้ จากกากน้ำตาล (MCF) เปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ (CB) ดังตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณของคาร์บอนที่พบในผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลโดยเฉลี่ย ร้อยละ 56.13 ในขณะที่ผงเขม่าดำมีปริมาณคาร์บอนโดยร้อยละ 95.31 ผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) แสดงดังภาพที่ 1(ก) จากภาพจะเห็นได้ว่าตรวจพบสัญญาณที่ $3,200-3,400\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน OH Stretch สัญญาณที่ $3,000\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H Stretch สัญญาณที่ $1,725\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=O Stretch สัญญาณที่ $1,640-1,667\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=C Stretch พบสัญญาณที่ $1,250\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-O Stretch และสัญญาณที่ 700 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H Bending [4-7] จากสัญญาณที่ตรวจพบนั้นแสดงให้เห็นว่าบนพื้นผิวของของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล น่าจะมีหมู่ฟังก์ชัน Hydroxyl Group และ Double Conjugated Bond บน Carbonyl Group เช่นเดียวกับที่ปรากฏบนผงเขม่าดำมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1(ข) [8] ภาพที่ 2 (ก) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของผงคาร์บอนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่าการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน นอกจากนั้นจากผลของการกระจายตัวของอนุภาคผงคาร์บอนแสดงดังภาพที่ 2(ข) โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 100-400 ไมครอน

ตารางที่ 2 ปริมาณของธาตุคาร์บอนของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และของผงเขม่าดำ

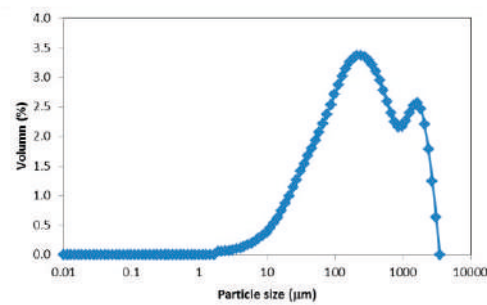
ชนิดผงคาร์บอน	ร้อยละของธาตุคาร์บอน
ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MCF)	56.13
ผงเขม่าดำ (CB)	95.31



ภาพที่ 1 (ก) FTIR spectrum ของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และ (ข) แบบจำลองพื้นผิวของผงเขม่าดำ



(ก)

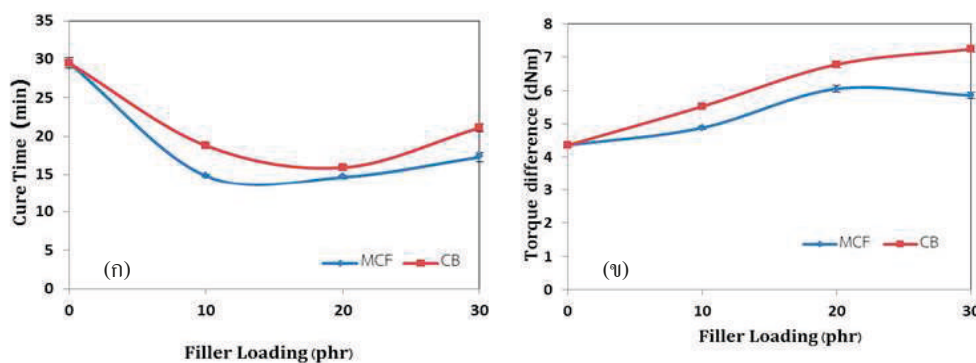


(ข)

ภาพที่ 2 (ก) ลักษณะสัณฐานวิทยา และ (ข) การกระจายของขนาดอนุภาคของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำเต้า

2. การทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าเป็นสารตัวเติม

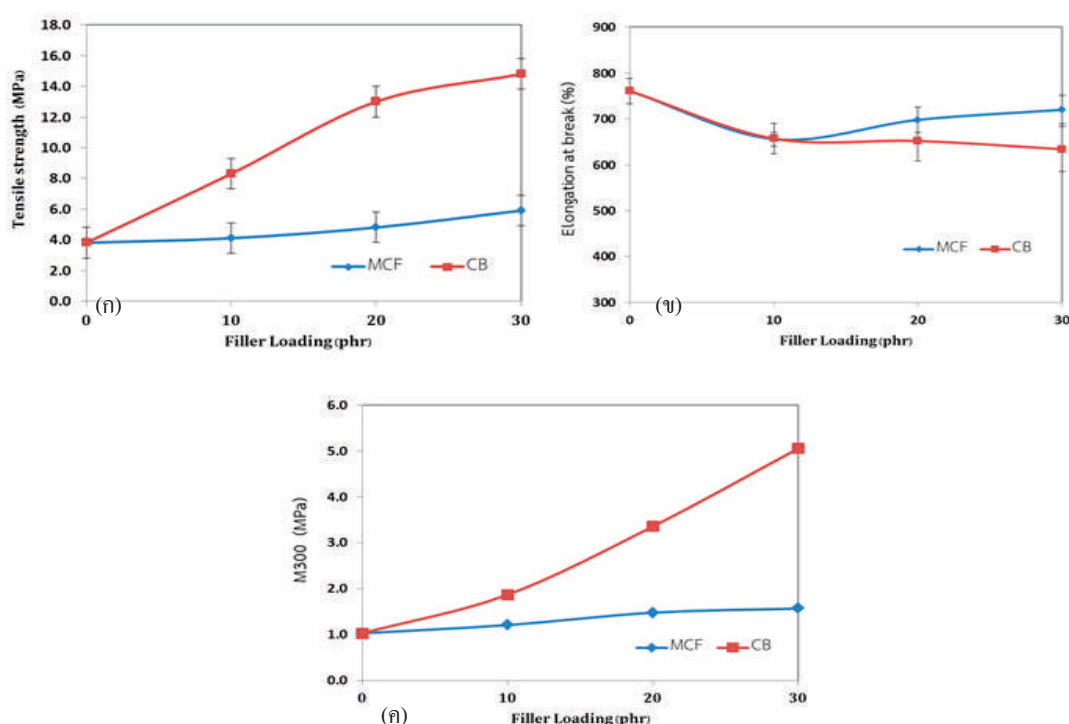
ผลของการเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า (MCF) ลงในยางไนไตรล์ ที่มีต่อเวลาการคงรูป (Cure Time) และผลต่างของแรงบิด (Torque Difference) เปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ (CB) แสดงดังภาพที่ 3 โดยภาพที่ 3(ก) แสดงเวลาการคงรูปของยางไนไตรล์ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปของยางไนไตรล์ลดลงเมื่อมีการใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าและ ผงเขม่าดำเนื่องจาก ความหนืดของระบบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ เกิด Thermal History ระหว่างการผสมกับสารคงรูป ส่งผลให้มีระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป ลดลง ในขณะภาพที่ 3(ข) แสดงผลของการเติมผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำเต้าและ ผงเขม่าดำ ที่มีต่อผลต่างแรงบิด (Torque Difference) จะเห็นได้ว่า การเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าหรือ ผงเขม่าดำลงในยางไนไตรล์ ส่งผลให้ผลต่างของแรงบิดสูงสุด สูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงความแข็งของยางไนไตรล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมสารตัวเติมลงไปมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้ น้อยลงจึงทำให้ยางคงรูป มีความแข็งเพิ่มขึ้น อีกทั้งจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม และการเกิดพันธะเชื่อม ขวาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางที่เพิ่มขึ้นด้วย (Crosslink Density) อย่างไรก็ตามในยางนั้นเมื่อใช้ผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติมจะมีค่าผลต่างแรงบิดสูงกว่าการใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า ทั้งนี้เนื่องจากผงคาร์บอนเกรดการค้าสามารถเกิดอันตรกิริยากับยาง ไนไตรล์ได้มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า เนื่องจากผงคาร์บอนเกรดการค้าที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า ผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้า ส่งผลให้มี Active Sites ในการเกิดอันตรกิริยาได้มาก [9]



ภาพที่ 3 (ก) เวลาการคงรูป (Cure Time) และ (ข) ผลต่างแรงบิด (Torque Difference) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จาก กากน้ำเต้าและผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

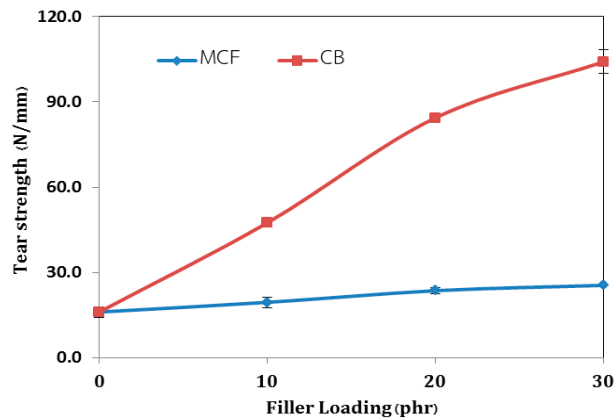
การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) และความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ของการเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำเต้าเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำลงในยางไนไตรล์ที่มี

ผลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) และ โมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% (Tensile Modulus at 300% Elongation, M300) แสดงดังภาพที่ 4 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงดึงของไนไตรล์ที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงคาร์บอนเพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 4 (ก) แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีความต้านทานต่อแรงดึงที่ต่ำกว่าผงเขม่าดำ ในขณะที่ยืดตัว ณ จุดขาด ของยางไนไตรล์ที่เติมคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำมีค่าไม่แตกต่างกันส่วนโมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% นั้น เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมผงคาร์บอนทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น โดยการเติมผงคาร์บอนเกรดการค่าให้ค่าโมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และ ผงเขม่าดำแสดงดังภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลนั้นส่งผลต่อสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เติมผงเขม่าดำจะให้เห็นชัดเจนว่า มีความต้านทานต่อการฉีกขาดดีขึ้น

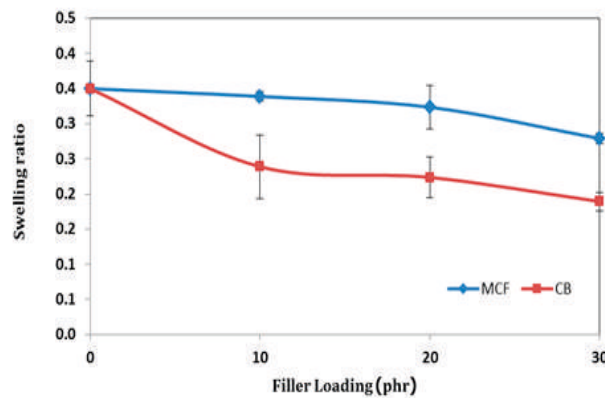


ภาพที่ 4 (ก) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) (ข) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) และ (ค) โมดูลัส ณ ระยะยืดตัว 300% (M300) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลและผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

จากภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ จะให้เห็นว่า เมื่อเติมผงคาร์บอนทั้งสองชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ และเมื่อนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำมาใช้เป็นสารตัวเติมจะยังมองเห็นได้ว่าเมื่อใช้ผงเขม่าดำความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ยังคงดีกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล จากการทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติมนั้นจะเห็นได้สามารถเพิ่มสมบัติต่างๆ ของยางไนไตรล์ได้เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก อนุภาคส่วนใหญ่ของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลยังมีขนาดที่ใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำส่งผลให้ยัง ไม่สามารถเสริมแรงยางไนไตรล์ได้ดี



ภาพที่ 5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม



ภาพที่ 6 ความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย (Swelling Resistance) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

สรุปผลการวิจัย

เมื่อกากน้ำตาลนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อน จะสามารถเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนได้ โดยผลจากการ วิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอน ในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 56 และผลของ FTIR แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะของหมู่ฟังก์ชัน เช่นเดียวกับผงคาร์บอนเกรดการค้า แต่อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ ภาพถ่าย SEM และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่า ขนาดของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มีขนาดใหญ่ และเมื่อนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ พบว่าการใช้ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลสามารถลดเวลาในการคงรูปของยางไนไตรล์ได้นอกจากนั้นยังพบว่า มอดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และความต้านทานต่อการบวมในตัวทำละลายของยางไนไตรล์ดีขึ้นเล็กน้อยโดยปริมาณที่เหมาะสมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลในงานวิจัยนี้ที่เติมลงในยางไนไตรล์ คือ 30 phr

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย (ทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2559 โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์) ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jie, L., Xiangbo, L., Likun, X. and Peiqing, Z. (2016). "Investigation of aging behavior and mechanism of nitrile butadiene rubber (NBR) in the accelerated thermal aging environment", **Polymer Testing**, 24, 59-66.
- [2] Mark, J.E., Erman, B. and Eirich, F.R. (2005). **The Science and Technology of Rubber** (third ed). New York: Elsevier Academic.
- [3] Boonstra, B. B. (1973). **Filler review: Carbon Black and Nonblack. Rubber Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [4] Peng, B., Suqin, L., Yuan, L., Shuxin, Z., Haiyan, W. and Feiyue, T. (2012). "Effects of carbon black on the electrochemical performance of lithium-organic coordination compound batteries", **International Journal of Electrochemical Science**, 7, 4617-4624.
- [5] Geyou, A., Quanli, H. and Myung-Soo, K. (2008). "Properties of activated carbon blacks filled SBR rubber composites", **Carbon Letters**, 9, 115-120.
- [6] Samantha, A. G., Du, T.N. and Aoren, P.E. (2016). "Surface modification of carbon black nanoparticles enhances photothermal separation and release of CO₂", **Carbon**, 106, 126-135.
- [7] Subhan, S. and Charoen, N. (2012). "Influence of modified natural rubber and structure of carbon black on properties of natural rubber compounds", **Polymer Composite**, 33, 489-500.
- [8] Leblance, J.L. (2002). "Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds", **Progress in Polymer Science**, 27, 627-687.
- [9] Qu, L., Huang, H., Zhang, P., Nie, Y., Weng, G. and Wu, J. (2010). "Synergistic reinforcement of nanoclay and carbon black in natural rubber", **Polymer International**, 591, 397-1402.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ

Feasibility Study of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds Oil

โชคชัย เหมือนมาส^{1*} และรวมพร นิคม¹

Chokchai Mueanmas^{1*} and Ruamporn Nikhom¹

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เนื่องจากมีข้อดีทั้งในแง่ของการผลิตได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันปาล์ม ยังเป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับการบริโภค การที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานในปริมาณมาก อาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนในแง่ของการบริโภคได้ อีกทั้งยังส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย ดังนั้น การหาวัตถุดิบใหม่เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีเป้าหมายที่จะหาแหล่งวัตถุดิบอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันปาล์มได้ โดยกากกาแฟ ซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งที่มีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิง เนื่องจากผลการทดลองเบื้องต้นในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟพบว่า กากกาแฟมีปริมาณน้ำมัน และกรดไขมันอิสระประมาณ 12.2% และ 16.5% โดยน้ำหนัก อีกทั้ง เมื่อศึกษาผลของปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ถึง 85% และสามารถผลิตเมทิลเอสเตอร์ได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ดังนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ จึงมีศักยภาพในการที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล

คำสำคัญ: กากกาแฟ, น้ำมันสกัดจากกากกาแฟ, กรดไขมันอิสระ, การทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน, ไบโอดีเซล

Abstract

Biodiesel is the potential fuel to substitute for fossil fuel, which is easy to produce and freindly for environment. Common feedstock (i.e. palm oil) used in the biodiesel production can also be consumed as a human food. When the large-scale of biodiesel is produced, it may result in a shortage of edible oil and also increase the production cost. Therefore, a new resource for the biodiesel production is an attractive choice. The aim of this paper is to study the feasibility of using the extracted oil from waste coffee grounds (WCG) as the new feedstock for the biodiesel production. The preliminary results showed that the amount of extracted oil from WCG was 12.2%wt in the presence of free fatty acid (FFA) 16.5%wt. Moreover, 85% of FFA was reduced by esterification reaction and 90.20% of methyl ester was produced by transesterification reaction. Therefore, WCG was potential feedstock for the biodiesel production.

Keywords: Waste Coffee Grounds, Extracted Oil from Waste Coffee Grounds, Free Fatty Acid, Two-Step Reaction, Biodiesel

¹อ.ดร., หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

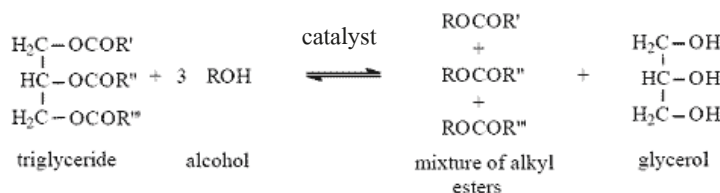
¹ Lecturer, Dr., Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel.: 074-609600 ต่อ 3602-3. E-mail address: cmueanmas@hotmail.com

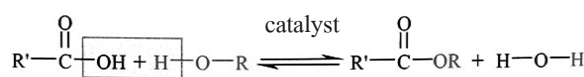
บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ในสถานะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด หรือเบส ด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) จะได้ผลิตผลเป็น เอสเทอร์ (Ester) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) และไม่มีพิษ (Nontoxic) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด องค์ประกอบของออกซิเจนที่มีอยู่ในไบโอดีเซลจะส่งผลให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดน้อยลง ช่วยลดมลพิษทางอากาศ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ไบโอดีเซลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน ยังมีต้นทุนที่สูง โดยต้นทุนส่วนใหญ่เกิดจากราคาของน้ำมันพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 66 [1] ของต้นทุนในการผลิตทั้งหมด จึงส่งผลให้ราคาขายของไบโอดีเซลไม่สามารถที่จะแข่งขันในเชิงธุรกิจกับน้ำมันปิโตรเลียมได้

ดังนั้น จึงได้มีการทดลองกันอย่างกว้างขวางเพื่อแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ในการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล พบว่า ในกากกาแฟนั้นมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งน่าจะมีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ อีกทั้งกากกาแฟเป็นผลพลอยได้ที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือ แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ไม่ใช่น้ำมันสำหรับการบริโภค ส่วนใหญ่แล้วจะมีกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงเกินกว่า 1% ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาที่ 1) ได้โดยตรง เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจนเกิดเป็นสบู่ [2] จำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 1% ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาที่ 2) เสียก่อน จึงจะสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุน และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล



ปฏิกิริยาที่ 1 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ปฏิกิริยาที่ 2 เอสเทอริฟิเคชัน

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบหลักสำหรับการศึกษาครั้งนี้ เป็นกากกาแฟจากร้าน Southern Coffee สาขาเทศบาลโก้ไต่เต๋ สครศรีธรรมราช ทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย AR เกรด 5 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) เอทิลอะซิเตต (Ethyl Acetate) เบนซีน (Benzene) และไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอล (Methanol) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของกากกาแฟ

ปริมาณความชื้นของกากกาแฟทำการวิเคราะห์โดย ชั่งตัวอย่างกากกาแฟประมาณ 10 กรัม ให้น้ำหนักแน่นอน ในภาชนะที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [3-4] ทิ้งให้เย็น ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก และคำนวณปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักฐานเปียก (Wet Basis) ตามสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100 \quad (1)$$

การศึกษากการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

กากกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องชงกาแฟ นำมาทำการอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการสกัดน้ำมันโดยชั่งกากกาแฟแห้งหนักประมาณ 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมหักตัวละลาย 50 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงทำการกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกส่วนของสารละลายออกจากกากกาแฟ แล้วนำส่วนของสารละลายที่กรองได้ไปกลั่นแยกด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดันเพื่อให้ได้น้ำมันจากกากกาแฟ แล้วคำนวณร้อยละของผลได้ตามสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละผลได้ของน้ำมันจากกากกาแฟ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของกากกาแฟแห้ง (กรัม)}} \times 100 \quad (2)$$

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40 [5] ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้น้ำหนักแน่นอน 1-10 g ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกลาง 50 ml ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ และเติมฟีนอล์ฟทาเลอินจำนวน 2-3 หยด แล้วทำการไทเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรจนกระทั่งได้สีชมพูถาวร คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระตามสมการที่ (3)

$$\% \text{FFA (by weight)} = \frac{V \times C \times 26.75}{m} \quad (3)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (mL) C คือ ความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ (mol/L) m คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g) และ 26.75 คือ ร้อยละ โดยน้ำหนักเฉลี่ยของกรดไขมันในน้ำมันจากกากกาแฟ

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ ทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) Agilent 6890 ที่มี Flame Ionization Detector (FID) เพื่อหาสัดส่วนปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิด โดยใช้คอลัมน์ชนิด Select Biodiesel for FAME ที่มีความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร และมีความหนาของฟิล์มเคลือบ 0.25 ไมโครเมตร ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีอัตราการไหลของก๊าซฮีเลียม ก๊าซไฮโดรเจน อากาศ และก๊าซไนโตรเจน เท่ากับ 1.0 30 300 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ และมีค่า Split ratio เท่ากับ 50:1 โดยอุณหภูมิของ Injector และ Detector เท่ากับ 290°C และ 300°C ตามลำดับ สภาวะอุณหภูมิของ Oven เริ่มต้นที่ 210°C และคงที่ที่อุณหภูมิ 210°C เป็นเวลา 12 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20°C ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 250°C และคงที่ที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 8 นาที

การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน จะใช้เป็นปฏิกิริยาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ และมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ ในสภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยการทำปฏิกิริยาจะชั่งน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 16.5% ลงในขวดก้นกลม ปริมาณ 20 กรัม แล้วให้ความร้อนด้วย Hot Plate และกวนสารด้วย Magnetic Stirrer จนได้อุณหภูมิ 60°C จากนั้นเติมเมทานอลที่อัตราส่วนเชิงโมลเท่ากับ 5 10 และ 15 ของกรดไขมันอิสระ และเติมกรดซัลฟูริกเท่ากับ 10% โดยมวลของกรดไขมันอิสระ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 75 นาที จากนั้นเทสารที่ได้ลงในกรวยแยก ทำการล้างด้วยน้ำร้อนจนเป็นกลาง แล้วจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C เพื่อกำจัดน้ำ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อศึกษาอิทธิพลจากอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่อัตราส่วน 4 5.5 และ 7 โดยมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ในสภาวะอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน และคำนวณร้อยละของผลได้ (%yield) ตามสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละผลได้ (\%yield)} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ตามทฤษฎี}} \times 100 \quad (4)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของกากกาแฟ

กากกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาจะมีส่วนผสมที่ประกอบด้วยกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า (Robusta) และ อะราบิก้า (Arabica) ซึ่งลักษณะของกากกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องชงกาแฟ จะเป็นผงหยาบ สีน้ำตาลดำ และมีกลิ่นฉุน (ภาพที่ 1 (ก)) เมื่อผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายจะพบว่าสีของกากกาแฟจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 1 (ข))



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของกากกาแฟ (ก) ก่อนการสกัดแยกน้ำมัน (ข) หลังการสกัดแยกน้ำมัน

การศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ

การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ โดยการอบตัวอย่างด้วยตู้อบไฟฟ้า ผลที่ได้เป็นดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟมีค่าเท่ากับ 58.30% ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Haile และคณะ [3] แต่จะมีค่าแตกต่างจากงานวิจัยของ Ammerlaan และคณะ [6] และ Caetano และคณะ [7] โดยปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่จะเป็นผลสืบเนื่องมาจากขั้นตอนของการสกัดกาแฟโดยใช้น้ำร้อนด้วยเครื่องชงกาแฟ ซึ่งกระบวนการสกัดกาแฟด้วยเครื่องชงกาแฟนั้นจะต้องมีการใช้ความดันช่วยในขั้นตอนของการสกัด ดังนั้น ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่จึงแปรผกผันกับความดันที่ใช้ใน

ขั้นตอนการสกัด กล่าวคือ ถ้าเครื่องชงกาแฟใช้แรงดันสูงในการสกัดกาแฟปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ก็จะน้อย และในทางกลับกันถ้าเครื่องชงกาแฟมีแรงดันต่ำก็จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีเหลืออยู่มาก ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในกากกาแฟจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน โดยใช้ตัวทำละลายอีกด้วย [8]

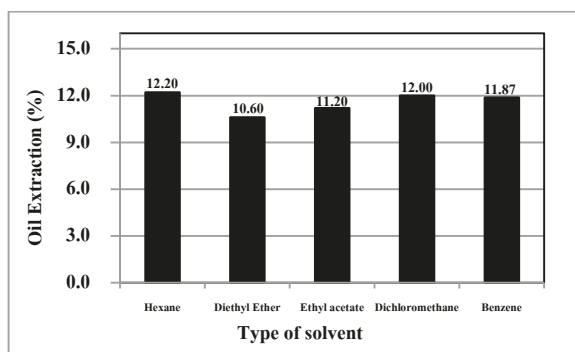
ตารางที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ

ความชื้น (%)			
จากการทดลอง	Haile และคณะ [4]	Ammerlaan และคณะ [6]	Caetano และคณะ [7]
58.30	57.60	40.50	65.70

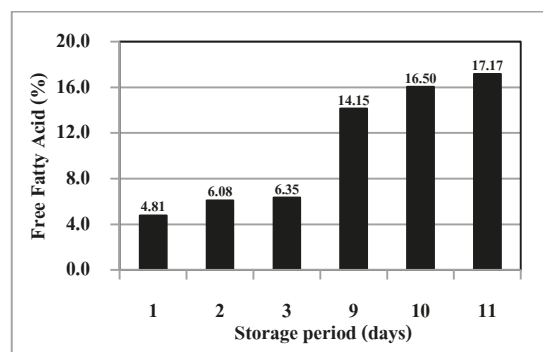
การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

ปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ คือ ชนิดของตัวทำละลาย เนื่องจากการเลือกชนิดของตัวทำละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการสกัด ซึ่งตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดควรมีสมบัติเช่นเดียวกับตัวถูกละลาย ไม่ควรเป็นพิษและราคาไม่แพง ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารในห้องปฏิบัติการจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Hexane Diethyl ether Ethyl acetate Dichloromethane และ Benzene มาใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังภาพที่ 2

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ผลที่ได้พบว่าร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลาย Hexane มีค่ามากที่สุด เนื่องจากตัวทำละลายทั้งหมดที่เลือกใช้ในการศึกษา Hexane เป็นสารที่มีค่าความเป็นขั้วต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับโมเลกุลของน้ำมันที่มีค่าความเป็นขั้วต่ำด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Al-Hamamre และคณะ [6]



ภาพที่ 2 แสดงร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆ



ภาพที่ 3 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระในน้ำมันจากกากกาแฟต่อระยะเวลาการเก็บกากกาแฟเปียกก่อนการอบ

การศึกษาปริมาณน้ำในน้ำมันกากกาแฟ

ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันกากกาแฟที่ได้จากการสกัด ซึ่งมาจากปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในกากกาแฟนั้น จะสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในขั้นตอนการอบไล่ความชื้น นั่นคือ ถ้าประสิทธิภาพในการอบสูง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันกากกาแฟก็จะน้อย แต่ในทางกลับกันถ้าประสิทธิภาพในการอบต่ำก็จะส่งผลให้มีปริมาณน้ำในน้ำมันกากกาแฟสูง ซึ่งปริมาณน้ำที่มีอยู่นี้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ร้อยละของผลได้ของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันลดลง [9-11] จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ พบว่ามีปริมาณน้ำเท่ากับ 0.24% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในการที่จะส่งผลเสียต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Park และคณะ [12]

การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันกากกาแฟ

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูงกว่า 1% จะลดประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยา [13-14] กล่าวคือ กรดไขมันที่มีอยู่จะเกิดปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ จนทำให้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาภายในระบบมีปริมาณน้อยลงทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ อีกทั้งปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอีกด้วย โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันกากกาแฟ เป็นดังแสดงในตารางที่ 2

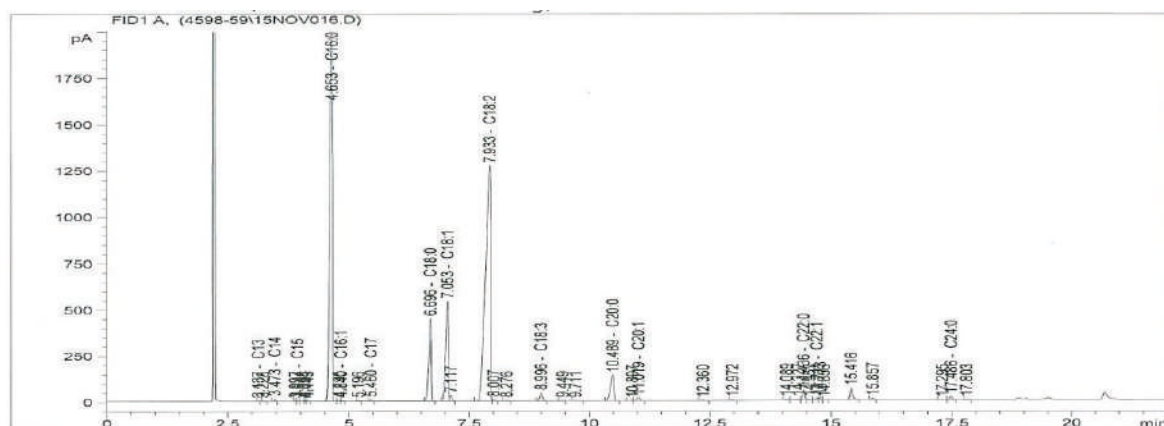
นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันกากกาแฟที่ระยะเวลาต่างๆ กันของการเก็บกากกาแฟสดก่อนการอบไล่ความชื้น พบว่าปริมาณกรดไขมันที่ได้เป็นไปตามภาพที่ 3 จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนวันที่เก็บกากกาแฟสดเพิ่มมากขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชนั้น ได้แก่ ความชื้น ความร้อน ออกซิเจนในอากาศ แสงสว่าง และระยะเวลา ดังนั้นจึงควรเก็บวัตถุดิบหรือน้ำมันในภาชนะที่ปราศจากความชื้น อากาศ และที่บดแสงจะช่วยลดการเกิดปริมาณกรดไขมันอิสระให้น้อยลง [17]

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

% กรดไขมันอิสระ		Al-Hamamre และคณะ [6]	Haile [15]	Pichai and Krit [16]
จากการทดลอง				
กากกาแฟที่เก็บในตู้เย็น 1 วัน	กากกาแฟที่เก็บในตู้เย็น 10 วัน			
4.81	16.50	3.65	4.90	0.41

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยเทคนิค GC-FID พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เท่ากับ 46.05% และ 53.95% ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีมากที่สุดคือน้ำมันกากกาแฟคือ Linoleic acid (C18:2) รองลงมาคือ Palmitic acid (C16:0) และประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันกากกาแฟด้วยเทคนิค GC-FID พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Melo และคณะ [18] และ Vardon และคณะ [19]

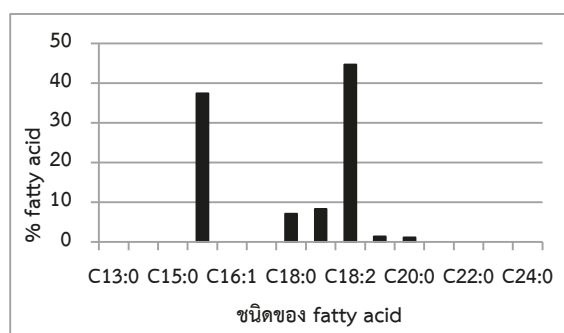


ภาพที่ 4 แสดงโครมาโทแกรมของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

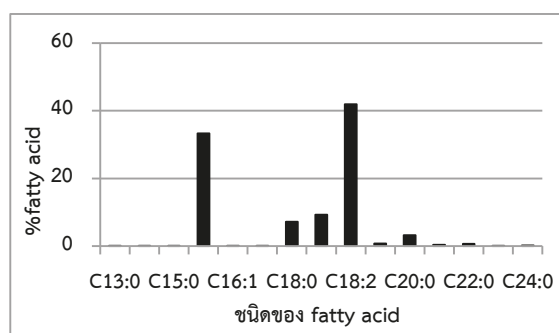
เมื่อนำ %Fatty acid ของน้ำมันจากกากกาแฟที่วิเคราะห์ได้ของงานวิจัยอื่น ๆ และของงานวิจัยชิ้นนี้มาเขียนกราฟ เพื่อแสดง Fatty Acid Profile เทียบกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม พบว่า องค์ประกอบของน้ำมันทั้งสองชนิดมีความใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) – 5 (ง)

การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

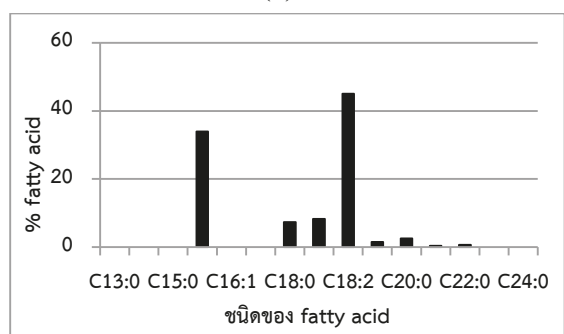
จากการศึกษาเบื้องต้นในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 75 นาที ผลที่ได้เป็นดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อ %FFA ที่ 5 10 และ 15 จะส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่มีปริมาณเท่ากับ 3.40 2.68 และ 2.37 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำเอาน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟที่ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันจนกรดไขมันอิสระเหลือเพียง 2.37% มาทำการศึกษาด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเท่ากับ 1% และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที ผลที่ได้เป็นดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่า เมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 7 จะส่งผลให้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 88.20% เป็น 90.20% ซึ่งจากผลการทดลองของทั้งสองปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นจะทำให้โอกาสที่โมเลกุลของ เมทานอลจะเกิดการชนกับโมเลกุลของน้ำมันจนเกิดปฏิกิริยานั้นมีมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นเช่นกัน และเมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลเพิ่มขึ้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากปริมาณเมทานอลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณเมทานอลที่เหลืออยู่ในชั้นของไบโอดีเซล และกลีเซอรอลภายหลังจากการทำปฏิกิริยามีปริมาณมากตามไปด้วย ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำในการแยกชั้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Samnang และคณะ [21]



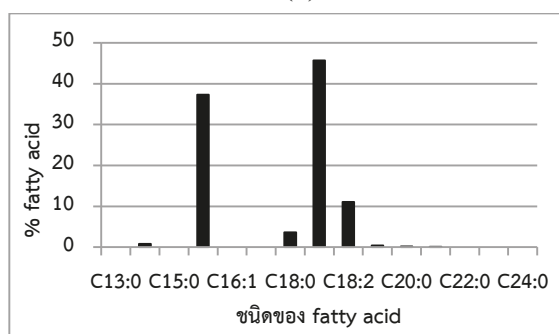
(ก)



(ข)



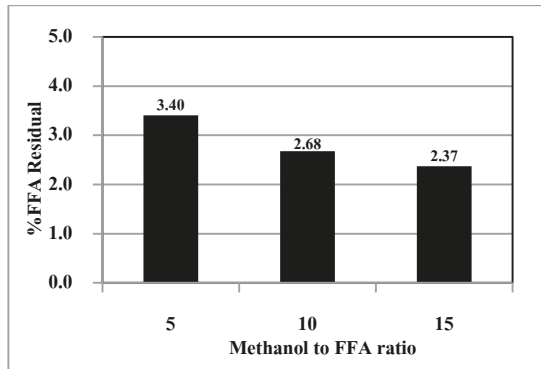
(ค)



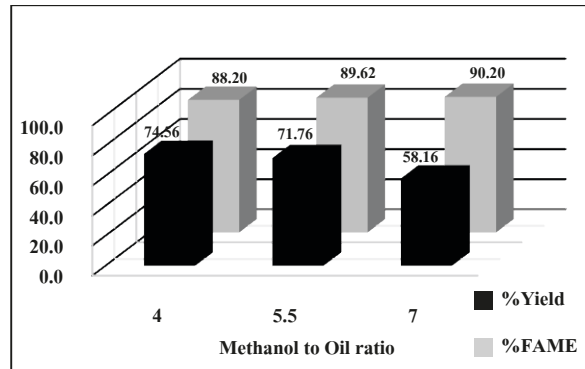
(ง)

ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของ Fatty Acid Profile ของน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ

(ก) Melo และคณะ [18] (ข) Vardon และคณะ [19] (ค) งานวิจัยชิ้นนี้ (ง) Fatty Acid Profile ของน้ำมันปาล์ม [20]



ภาพที่ 6 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมันจากกากกาแฟต่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล หลังจากผ่านการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ 60°C เป็นเวลา 75 นาที และใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ



ภาพที่ 7 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลได้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล หลังจากผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที และใช้ปริมาณเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเท่ากับ 1%

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล พบว่า ปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 12.20% โดยน้ำหนัก และปริมาณของกรดไขมันอิสระจะแปรผันโดยตรงกับระยะเวลาการเก็บกากกาแฟสดก่อนการอบ โดยเมื่อเก็บกากกาแฟไว้ในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 10 วันจะทำให้ปริมาณ FFA เพิ่มขึ้นเป็น 16.5% ดังนั้นจึงควรทำการอบกากกาแฟทันทีเพื่อยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ อีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้ยังมีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม และเมื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถที่จะลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจากกากกาแฟได้ถึง 85% และสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจึงมีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับทำงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdullah, M. and Koc, A. B. (2013). "Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhanced with ultrasonication", **Renewable Energy**. 50, 965-970.
- [2] Razak, N.H., Hashim, H., Yunus, A.N., Ghafar, F. and Zulkafli, N.I. (2016). "Effects of hygroscopic potash lye catalyst concentration on the waste chicken fat methyl ester production", **Journal of Engineering and Technology**. 7, 103-109.

- [3] Caetano, N. S., Silva, V. F. M. and Matab, T. M. (2012). "Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production", **Chemical Engineering Transactions**. 26, 267-272.
- [4] Haile, M., Asfaw, A. and Asfaw, N. (2013). "Investigation of Waste Coffee Ground as a Potential Raw Material for Biodiesel Production", **International Journal of Renewable Energy Research**. 3, 854-860.
- [5] AOCS official method Ca 5a-40, Available online at <https://scribd.com/>.
- [6] Ammerlaan, T., Barrière, V., Genest-Richard, P. and Rabow, S. (2012). **Tales of a Forgotten Bioresource: The Recycling of Spent Coffee Grounds**, Department of Bioresource Engineering McGill University Montréal, Canada.
- [7] Caetano, N. S., Silva, V. F. M., Melo, A. C. and Mata, T. M. (2013). "Potential of Spent Coffee Grounds for Biodiesel Production and Other Applications", **Chemical Engineering Transactions**. 35, 1063-1068.
- [8] อนรรฆมอร์ ศรีไสยเพชร และ มาโนชญ์ ถนอมวัฒน์. (2555). การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ. รายงานผลการวิจัย. 1-76, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [9] Zhang, H., Gao, J., Zhao, Z., Chen, G. Z., Wu, T. and He, F. (2016). "Esterification of fatty acids from waste cooking oil to biodiesel over a sulfonated resin/PVA composite", **Catalysis Science & Technology**. 6, 5590-5598.
- [10] Petchmala, A., Yujaroen, D., Shotipruk, A., Goto, M. and Sasaki, M. (2008). "Production Methyl Esters from Palm Fatty Acids in Supercritical Methanol", **Chiang Mai Journal Science**. 35, 23-28.
- [11] Liu, Y., Lotero, E. and Jr., J. G. G. (2006). "Effect of water on sulfuric acid catalyzed esterification", **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 245, 132-140.
- [12] Park, J.-Y., Wang, Z.-M., Kim, D.-K. and Lee, J.-S. (2010). "Effects of water on the esterification of free fatty acids by acid catalysts", **Renewable Energy**. 35, 614-618.
- [13] Chai, M., Tu, Q., Lu, M. and Yang, Y. J. (2014). "Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry", **Fuel Processing Technology**. 125, 106-113.
- [14] Kombe, G. G., Temu, A. K., Rajabu, H. M. and Mrema, G. D. (2015). "High Free Fatty Acid (FFA) Feedstock Pre-Treatment Method for Biodiesel Production", **In Second International Conference on Advances in Engineering and Technology**. 176-182.
- [15] Haile, M. (2014). "Integrated valorization of spent coffee grounds to biofuels", **Biofuel Research Journal**. 1, 65-69.
- [16] Pichai, E. and Krit, S. (2015). "OPTIMIZATION OF SOLID-TO-SOLVENT RATIO AND TIME FOR OIL EXTRACTION PROCESS FROM SPENT COFFEE GROUNDS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY", **ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences**. 10, 7049-7052.
- [17] อธิยา คงชื่น รัตนชัย ไพรินทร์ แก้วกันยา สุธประเสริฐ และวารุณี ลิ้มม้น. (2014). "การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ในขณะการเก็บรักษา", **Agricultural Science Journal**. 45, 261-264.
- [18] Melo, M. M. R. d., Barbosa, H. M. A., Passos, C. P. and Silva, C. M. (2014). "Supercritical fluid extraction of spent coffee grounds: Measurement of extraction curves, oil characterization and economic analysis", **The Journal of Supercritical Fluids**. 86, 150-159.
- [19] Vardon, D. R., Moser, B. R., Zheng, W., Witkin, K., Evangelista, R. L., Strathmann, T. J., Rajagopalan, K. and Sharma, B. K. (2013). "Complete utilization of spent coffee grounds to produce biodiesel, bio-oil, and biochar", **ACS Sustainable Chemistry and Engineering** 1. 1286-1294.

- [20] Roschat, W., Siritanon, T., Yoosuk, B. and Promarak, V. (2016). "Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst", **Energy Conversion and Management**. 108, 459-467.
- [21] Samniang, A., Tipachan, C. and Kajorncheappun-ngam, S. (2014). "Comparison of biodiesel production from crude *Jatropha* oil and *Krating* oil by supercritical methanol transesterification", **Renewable Energy**. 68, 351-355.

การศึกษาผลกระทบทางรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณจังหวัดสงขลา
ประเทศไทย ภายหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ใน
ประเทศญี่ปุ่น

A Study on Radiation Impact in Surface Beach Sand Samples in Songkhla Province,
Thailand after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan

ประสงค์ เกษราธิคุณ^{1*}, นิคม ชูศิริ², ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ³, มูรณี ดาโอะ⁴ และสุชิน อุดมสมพร⁵
Prasong Kessaratikoon^{1*}, Nikom Choosiri², Ruthairat Boonkrongcheep³, Murnee Daoh⁴
and Suchin Udomsomporn⁵

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ ¹³⁷Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าจำนวน 270 ตัวอย่างที่เก็บจากชายหาด 7 แห่งจากบริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ทางภาคใต้ของประเทศไทยภายหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ห้ววัดแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.00 – 9.91 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่บริเวณ ชายหาดสว้อยสวรรค์ อำเภอเทพา มีค่าเท่ากับ 4.19 ± 1.15 Bq/kg และยังได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของทุกชายหาดที่ได้นี้กับข้อมูลในรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศทั่วโลก พบว่าค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพจำเพาะมีค่าสอดคล้องกัน คือมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่าบริเวณดังกล่าวนี้ ไม่มีผลกระทบทางรังสีภายหลังการเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ ยังได้จัดทำแผนภาพทางรังสีของบริเวณดังกล่าวนี้อีกด้วย

คำสำคัญ: กัมมันตภาพจำเพาะ นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น ทรายชายหาดผิวหน้า แผนภาพทางรังสี

¹ ผศ.ดร., หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² รศ.ดร., หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผู้ช่วยวิจัย หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

⁴ อ., โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

⁵ นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Asst. Prof. Dr., Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Assoc. Prof. Dr., Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla 90000

³ Research Assistant, Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000.

⁴ Lecturer, Physics and General Science Program, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla, 90000.

⁵ Nuclear Scientist, Office of Atoms for Peace, 16 Vibhavadi Rungsit Road, Chatuchak, Bangkok, 10900.

* Corresponding author Tel: 0815423598. E-mail address: prasong_mi@hotmail.com

Abstract

The specific activities of anthropogenic radionuclide which is ^{137}Cs in 270 surface beach sand samples collected from 7 beaches from 5 districts in Songkhla province in southern region of Thailand, have been measured and analyzed after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident in Japan by using high purity germanium detector and gamma spectrometry analysis system. It was found that the specific activities of ^{137}Cs ranged from 0.00 – 9.91 Bq/kg and the maximum average values of 4.19 ± 1.15 Bq/kg which was measured in Soisawan beach in Thepa district. Furthermore, the results were also compared with the Office of Atoms for Peace (OAP) annual report data, Thailand and global radioactivity measurements and evaluations. It was also found that the average values in all beaches were in the same level and close to the comparable data. Thus, we can say that the investigated area had no radiation impact after the accident. Moreover, the radioactive contour maps of the studied area were also created.

Keywords: Specific Activity, Anthropogenic Radionuclide, Surface Beach Sand, Radioactive Contour Map

บทนำ

หลังจากการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น ในวันที่ 11 มีนาคม 2554 หรือเมื่อประมาณ 5-6 ปี มาแล้ว จากเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ได้นำมาวิจัยในหลายประเทศได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาผลกระทบทางรังสีอื่นเนื่องมาจากอุบัติเหตุดังกล่าวนี้โดยได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาแบบแบ่งแยกตัว (fission products) โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิด ^{131}I ^{134}Cs และ ^{137}Cs ในตัวอย่างจากธรรมชาติ เช่น ดิน ทรายชายหาด น้ำทะเล และ อากาศ เป็นต้น [1-6] ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ตระหนักถึงผลกระทบทางรังสีต่อบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยของประเทศไทยที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากอุบัติเหตุในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน จึงได้มีความสนใจที่จะทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในที่นี้ คือ ^{137}Cs ในตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บจากบริเวณชายหาดที่มีชื่อเสียงในจังหวัดสงขลาและควรเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีนักท่องเที่ยวเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมากและเป็นประจำทุกปี ทั้งนี้ ได้มีนักวิจัยบางกลุ่มได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดบางบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยมาบ้างพอสมควรและเป็นการทำวิจัยก่อนการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่นดังกล่าวแล้วข้างต้น[7-9] ดังนั้น จึงได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดในจังหวัดสงขลา(ประเทศไทย) หลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น ในที่นี้ได้เลือกชายหาดภายในจังหวัดสงขลาที่มีนักท่องเที่ยวทั้งในและต่างประเทศ (มาเลเซีย สิงคโปร์ และอินโดนีเซีย) และประชาชนทั่วไปเดินทางมาท่องเที่ยวอยู่เป็นประจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันหยุดสุดสัปดาห์ จำนวน 7 แห่ง จากบริเวณ 5 อำเภอภายในจังหวัดสงขลา ได้แก่ ชายหาดมหาราช อำเภอสตงิ่งพระ ชายหาดทรายแก้ว อำเภอลี้หอนคร ชายหาดสมิหลาและชายหาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง ชายหาดนาทับ อำเภอนะบะ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา ในบริเวณดังกล่าวนี้ยังไม่มีข้อมูลที่เป็นระบบและมีมาตรฐานสากลของค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างทรายชายหาดหลังการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อได้ข้อมูลจากการตรวจวัดและวิเคราะห์แล้วนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้แล้วนี้ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยซึ่งใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ศึกษาต่อไป และยังได้นำข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ไปสร้างเป็นแผนภาพทางรังสี (Radioactive Contour Maps : RCM) ของชายหาดทั้ง 7 แห่ง ในบริเวณพื้นที่ศึกษาและวิจัยนี้ เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ประชาชนที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวและอาศัยอยู่

ในพื้นที่ และข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเปรียบเทียบเกี่ยวกับการก่อกับและดูแล เรื่อง ความปลอดภัยทางรังสีและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชายหาดบริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย ต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ ยังนำข้อมูลที่ได้ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ทั้งหมดนี้ ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติจากรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและผลการวิจัยของนักวิจัยในประเทศไทยและทั่วโลกอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. วิธีการดำเนินการเก็บและเตรียมตัวอย่างทรายชายหาด

เก็บตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้า (ลึกจากผิวหน้าของชายหาดไม่เกิน 10 ซม.) จากชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา (ชายหาดมหาราช อำเภอสทิงพระ ชายหาดทรายแก้ว อำเภอสทิงพระ ชายหาดสมิหลาและชายหาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง ชายหาดนาทับ อำเภอจะนะ ชายหาดสะกอมและชายหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา) ชายหาดละ 30 ตัวอย่างเป็นอย่างน้อย รวมทั้งหมดเป็น 270 ตัวอย่างตามวิธีมาตรฐานสากล โดยเลือกบริเวณที่นักท่องเที่ยวและประชาชนที่เดินทางมาท่องเที่ยวใช้ในการเดินเที่ยวชมชายหาดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณกลางชายหาด พร้อมทั้งบันทึกตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องมือ GPS ของจุดที่เก็บตัวอย่างทรายชายหาดทุกจุด นำตัวอย่างทรายชายหาดที่เก็บมาทั้งหมดมาใส่ภาชนะภาชนะเคลือบให้กระจายทั่วทั้งภาชนะแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตัวอย่างทรายแห้งในระดับหนึ่ง หลังจากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่เหลืออยู่ในตัวอย่างทรายชายหาดที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำการร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงขนาด 325 mesh เพื่อเอาเศษไม้ ใบหญ้า ออกให้หมด และเพื่อให้ตัวอย่างของทรายชายหาดที่ได้มีขนาดที่สม่ำเสมอและใกล้เคียงกัน นำตัวอย่างทรายชายหาดบรรจุลงในภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกซึ่งมีขนาดเช่นเดียวกับมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ทำการปิดภาชนะพลาสติกให้สนิทและปิดฉนักภาชนะพลาสติกด้วยเทปกา

2. วิธีดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ

นำตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าทั้งหมดที่เตรียมได้ไปทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) โดยใช้หัววัดรังสีชนิดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe detector) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการของหน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา และห้องปฏิบัติการเฉพาะด้านของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยใช้มาตรฐานทางรังสี IAEA/RGU-1 IAEA/RGTh-1 และ KCl สำหรับ ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดชลาทัศน์ ชายหาดนาทับ ชายหาดสะกอมและชายหาดสร้อยสวรรค์ และใช้มาตรฐานทางรังสี IAEA/Soil-375 สำหรับชายหาดมหาราชและชายหาดสมิหลาใช้เวลาในการตรวจวัด 3 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์และคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าทั้งหมดนี้โดยใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เฉพาะด้าน (GENIE 2000) ของบริษัท CANBERRA หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ บันทึกค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นตัวแทนของค่ากัมมันตภาพจำเพาะนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ทั้งหมดนี้ แล้วนำค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้นี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในประเทศไทยและต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ ยังสามารถนำผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่า กัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าทั้งหมดนี้ไป จัดทำเป็นแผนภาพทางรังสีของบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่งนี้อีกด้วย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs)

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ได้ทำการศึกษาและคำนวณค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ โดยได้แสดงค่าพิสัย และค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs ในหน่วยของ Bq/kg ในตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาด 7 ชายหาดในจังหวัดสงขลา ทั้งหมด 270 ตัวอย่าง

ชายหาดจังหวัดสงขลา	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs	
	ค่าพิสัย (Bq/kg)	ค่าเฉลี่ย (Bq/kg)
1. ชายหาดมหาราช (30 ตัวอย่าง)	0.00 – 2.56	1.20 ± 0.40
2. ชายหาดทรายแก้ว (30 ตัวอย่าง)	0.79 – 2.31	1.49 ± 0.52
3. ชายหาดสมิหลา (30 ตัวอย่าง)	0.00 – 1.08	0.88 ± 0.30
4. ชายหาดชลาทัศน์ (30 ตัวอย่าง)	0.58 – 4.52	2.16 ± 0.72
5. ชายหาดนาทับ (50 ตัวอย่าง)	1.28 – 4.91	2.37 ± 1.22
6. ชายหาดสะกอม (50 ตัวอย่าง)	1.18 – 9.91	3.63 ± 1.06
7. ชายหาดสร้อยสวรรค์ (50 ตัวอย่าง)	1.77 – 9.30	4.19 ± 1.15

2. การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดได้กับข้อมูล วิจัย

เมื่อพิจารณาเฉพาะข้อมูลของค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 และได้้นำข้อมูลค่าเฉลี่ยดังกล่าวนี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของรายงานประจำปีของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศทั่วโลก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา กับข้อมูลวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ

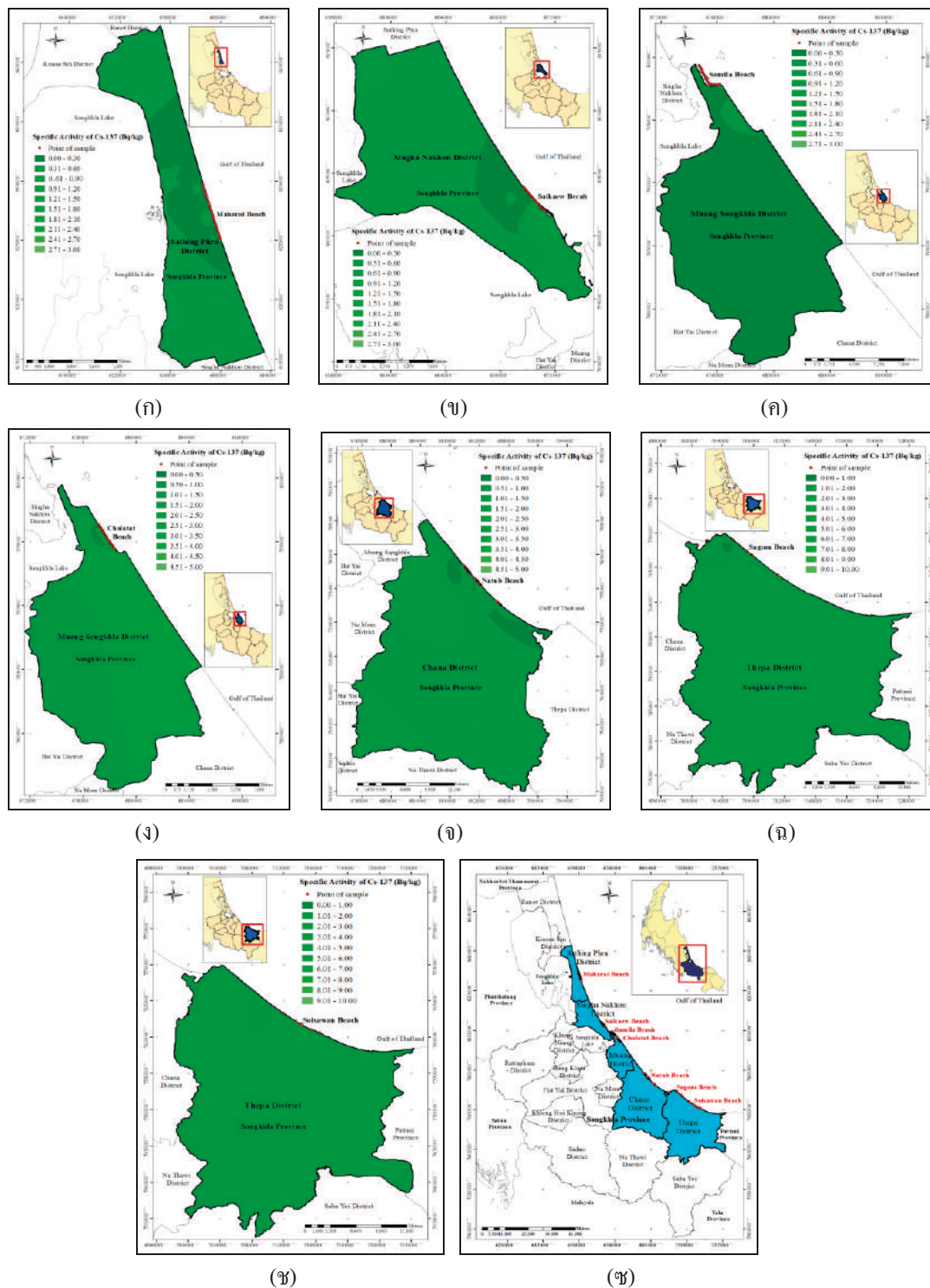
พื้นที่ศึกษาวิจัย	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs (Bq/kg)
1. ชายหาดมหาราช จังหวัดสงขลา	1.20 ± 0.40
2. ชายหาดทรายแก้ว จังหวัดสงขลา	1.49 ± 0.52
3. ชายหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา	0.88 ± 0.30
4. ชายหาดชลาทัศน์ จังหวัดสงขลา	2.16 ± 0.72
5. ชายหาดนาทับ จังหวัดสงขลา	2.37 ± 1.22
6. ชายหาดสะกอม จังหวัดสงขลา	3.63 ± 1.06
8. ชายหาดสร้อยสวรรค์ จังหวัดสงขลา	4.19 ± 1.15

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา กับข้อมูลวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ (ต่อ)

พื้นที่ศึกษาวิจัย	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{137}Cs (Bq/kg)
9. ชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต [9]	3.28 ± 1.03
10. ชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต [9]	1.19 ± 0.66
11. ค่าเฉลี่ยในภาคใต้ของประเทศไทย (สำนักงาน ปส.) [10]	1.13 ± 0.49
12. ข้อมูลวิจัยในประเทศอียิปต์ [11]	1.2
13. ข้อมูลวิจัยในประเทศโรมาเนีย [12]	1.3
14. ข้อมูลวิจัยในประเทศเซอร์เบีย [13]	1.4
15. ข้อมูลวิจัยในประเทศอินเดีย [14]	$\leq 1.0 - 2.8$
16. ข้อมูลวิจัยในประเทศตุรกี [15]	0.56-5.43
17. ข้อมูลวิจัยในประเทศเยอรมัน [16]	4.78
18. ข้อมูลวิจัยในประเทศจีน [17]	12.9

3. การสร้างแผนภาพทางรังสีบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง

นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลา ไปสร้างเป็นแผนภาพทางรังสีของบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1 ต่อไปนี้



ภาพที่ 1 แผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้
จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณ (ก) ชายหาดมหาราช อำเภอสทิงพระ (ข) ชายหาดทรายแก้ว
อำเภอสทิงพระ (ค) ชายหาดสมิหลา อำเภอเมือง (ง) ชายหาดชลาทัศน์ อำเภอเมือง (จ) ชายหาดนาทับ อำเภोजะนะ
(ฉ) ชายหาดสะกอม อำเภอเทพา (ฮ) ชายหาดสร้อยสวรรค์ อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา และ
(ข) เป็นภาพแสดงบริเวณ 5 อำเภอของจังหวัดสงขลาที่ใช้เป็นพื้นที่ศึกษาวิจัย

จะเห็นได้ว่า จากข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ที่ได้จากตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา ที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่า

1. ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดมหาราช ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดสมิหลา ชายหาดชลาทัศน์ และชายหาดนาทับ จำนวน 5 ชายหาด มีค่าต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs บริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ที่ตรวจวัดไว้ก่อนการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น ส่วนอีก 2 ชายหาด คือ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs บริเวณชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

2. ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดมหาราช ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดชลาทัศน์ ชายหาดนาทับ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ จำนวน 6 ชายหาด มีค่าสูงกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs บริเวณชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต และ ค่าเฉลี่ยในภาคใต้ของประเทศไทย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ส่วนบริเวณชายหาดสมิหลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่าบริเวณชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต และ ค่าเฉลี่ยในภาคใต้ของประเทศไทย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

3. ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดสมิหลาเพียงแห่งเดียวที่มีค่าต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในประเทศ อียิปต์ ประเทศโรมาเนีย ประเทศเซอร์เบีย ประเทศเยเมน และประเทศจีน และมีค่าอยู่ในพิสัยเดียวกันกับข้อมูลวิจัยที่ตรวจวัดได้ในประเทศอินเดียและประเทศตุรกี ส่วนบริเวณชายหาดมหาราช ชายหาดทรายแก้ว ชายหาดชลาทัศน์ ชายหาดนาทับ ชายหาดสะกอม และชายหาดสร้อยสวรรค์ จำนวนอีก 6 ชายหาด มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในพิสัยเดียวกัน กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในประเทศอียิปต์ ประเทศโรมาเนีย ประเทศเซอร์เบีย ประเทศอินเดีย ประเทศตุรกี ประเทศเยเมน และประเทศจีน

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาแผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2 พบว่า มีสีเขียวเข้มเป็นส่วนใหญ่ และมีบางบริเวณเท่านั้นที่มีสีเขียวอ่อน เช่นที่บริเวณชายหาดชลาทัศน์ เป็นต้น นั่นหมายถึง ปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่มีอยู่ทรายชายหาดทั้ง 7 แห่งในจังหวัดสงขลา โดยภาพรวมจะมีค่าที่อยู่ในระดับต่ำสุดของแถบสีในแผนภาพทางรังสี คือ สีเขียวเข้ม

สรุป

เมื่อพิจารณาผลการวิจัยและอภิปรายผลในหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดทั้ง 7 แห่ง บริเวณ 5 อำเภอ ภายในจังหวัดสงขลา มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในพิสัยเดียวกันกับข้อมูลวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่นำมาเปรียบเทียบ ด้วยเหตุนี้ สามารถกล่าวได้ว่า “บริเวณพื้นที่ศึกษาวิจัยนี้ไม่มีผลกระทบทางรังสีหลังจากการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น” ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Takemura และคณะ [18]

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ประจำปี พ.ศ. 2558 เลขที่โครงการ 80377 ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณทางสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ และ หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ที่ให้การสนับสนุนทั้งทางด้าน

กำลังคน วัสดุ อุปกรณ์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ดร. อุดร ยังช่วย และนายสิทธิพงษ์ พลธรรม นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สังกัดสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐานทางรังสีและช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้านสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ และท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทและนิสิตปริญญาตรีทุกท่านในฐานะที่มีส่วนช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hirose, K. (2012). “2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactive deposition monitoring results”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 111, 13-17.
- [2] Long, N.Q., *et al.* (2012). “Atmospheric radionuclides from the Fukushima Dai-ichi nuclear reactor accident observed in Vietnam”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 111, 53-58.
- [3] MacMullin, S., *et al.* (2012). “Measurement of airborne fission products in Chapel Hill, NC, USA from the Fukushima Dai-ichi reactor accident”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 112, 165-170.
- [4] Barsanti, M., *et al.* (2012). “Environmental radioactivity in Italy following the Fukushima Dai-ichi nuclear accident”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 114, 126-130.
- [5] Baeza, A., *et al.* (2012). “Influence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident on Spanish environmental radioactivity levels”, **Journal of Environmental Radioactivity**. 114, 138-145.
- [6] Ozman, S.F., Cesar, A., Boztosan I. and Yavuz, M. (2014). “Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples from Mediterranean Coast of Turkey”, **Radiation Physics and Chemistry**. 103, 37-44.
- [7] Chanyotha, S., Kranrod, C., Tokonami, S., Suwankot, N., Pangza, K. and Pornnumpa, C. (2011). “Terrestrial gamma radiation in Phuket Island”, Thailand. **Engineering Journal**. 15(4), 66-76.
- [8] Malain, D., Regan, P.H., Bradley, D.A., Matthews, M., Al-Sulaiti, H.A. and Santawamaitre, T. (2012). “An evaluation of the natural radioactivity in Andaman beach sand samples of Thailand after the 2004 tsunami”, **Applied Radiation and Isotopes**. 70(8), 1467–1474.
- [9] Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U. (2013). “Specific activities and radioactive contour maps of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after tsunami disaster in Phuket province, Thailand”, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. 297(2), 247-255.
- [10] Office of Atoms for Peace (OAP). (1994-2002). **OAP Annual Reports**. Ministry of Science and Technology, Bangkok, Thailand.
- [11] Harb, S. (2008). “Natural radioactivity and external gamma radiation exposure at the coastal red sea in Egypt”, **Radiation Protection Dosimetry**. 130, 376.
- [12] Margineanu, R.M., Dului, O.G., Blebea-Apostu, Ana Maria, Gomoiu, Claudia and Bercea, S. (2011). “Environmental dose rate distribution along the Romanian Black Sea Shore”, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. 298(2), 1191-1196.

- [13] Radenkovic, M.B., Alshikh, S.M., Andric, V.B. and Miljanic, S.S. (2009). "Radioactivity of sand from several renowned public beaches and assessment of the corresponding environmental risks", **Journal of Serbian Chemistry Society**. 74(4), 461-470.
- [14] Kannan, V., Rajan, M.P., Iyengar, M.A.R. and Ramesh, R. (2002). "Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam, India", **Applied Radiation and Isotopes**. 57, 109–119.
- [15] Korkulu, Z. and Ozkan, N. (2013). "Determination of natural radioactivity levels of beach sand samples in the black sea coast of Kocaeli, Turkey", **Radiation Physics and Chemistry**. 88, 27-31.
- [16] Abd El-Mageed, A. I., El-Kamel, A. H., Abbady, A., Harb, S., Youssef, A. M. M. and Saleh, I. I. (2011). "Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen", **Radiation Physics and Chemistry**. 80, 710-715.
- [17] Zhao, Y., Yan, D., Zhang, Q., Zhan, J. and Hu, H. (2012). "Spatial distributions of ^{137}Cs in surface soil in Jing-Jin-Ji Region, North China", **Journal of Environment Radioactivity**. 113, 1-7.
- [18] Takemura, T., Nakamura, H., Takigawa, M., Kondo, H., Satomura, T., Miyasaka, T. and Nakajima, T. (2011). "A Numerical simulation of global transport of atmospheric particles emitted from the Fukushima Daiichi nuclear power plant", **Scientific OnLine Letters on the Atmosphere**. 7, 101-104.

การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ
(^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าบริเวณชายหาดบางแสน
จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides
(^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Beach Sand Samples Collected from Bangsaen
Beach in Chonburi Province, Thailand

นพฤทธิ์ ช่างคิด¹ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ² อุดร ยังช่วย³ สิทธิพงษ์ พลธรรม³ และประสงค์ เกษราธิคุณ^{4*}

Nopparit Changkit¹, Ruthairat Boonkrongcheep², Udorn Youngchaay³, Sitthipong Polthum³

and Prasong Kessaratikoon^{4*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าที่เก็บจากชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยใช้ห้ววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการตรวจวัดปริมาณรังสีของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สทน) โดยใช้สารมาตรฐานชนิด IAEA-SOIL-375 ในการวิเคราะห์และคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องการ โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 3 ชั่วโมง พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายที่ตรวจวัด ได้มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง 510.85 - 771.35, 8.17 - 17.06 และ 4.25 - 15.68 Bq/kg โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 615.84 ± 14.62 10.18 ± 0.70 และ 7.87 ± 0.86 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดได้นี้กับข้อมูลจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ผลงานวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศอีกด้วย

คำสำคัญ: กัมมันตภาพจำเพาะ ทรายชายหาดผิวหน้า ห้ววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง แกมมาสเปกโตรเมตรี

¹ นิสิตปริญญาโท หลักสูตร วท.ม. ฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² ผู้ช่วยวิจัย หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นครนายก 26120

⁴ ผศ.ดร., หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Graduate Student, Master of Science in Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Research Assistant, Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Nuclear Scientist, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Nakorn Nayok, 26120

⁴ Asst. Prof. Dr., Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel.: 081-5423598. E-mail address: prasong_mi@hotmail.com

Abstract

Specific activities of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in 50 surface beach sand samples which were collected from Bangsaen beach in Chonburi Province (Thailand), have been studied and measured. Experimental results were obtained by using a high-purity germanium (HPGe) detector and gamma spectrometry analysis system at quantitative measurement of radiation laboratory of Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization) (TINT). The IAEA-SOIL-375 standard source was used to analyze and compute the specific activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in all samples. The measuring time for each sample is 3 hrs. It was found that the specific activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th were ranged from 510.85 - 771.35, 8.17 - 17.06 and 4.25 - 15.68 Bq/kg with mean values of 615.84 ± 14.62 , 10.18 ± 0.70 and 7.87 ± 0.86 Bq/kg, respectively. Moreover, the experimental results were also compared with Office of Atoms for Peace (OAP) research data, Thailand and global radioactivity measurement and evaluations.

Keywords: Specific Activity, Surface Beach Sand, High-Purity Germanium Detector (HPGe), Gamma Spectrometry

บทนำ

มนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิดอาศัยอยู่บนโลกที่มีกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมอยู่ทั่วไป โดยส่วนใหญ่เป็นรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Natural Occurring Radiation) และบางส่วนเกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-Made Radiation) โดยที่แหล่งกำเนิดรังสีที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ แหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติ ซึ่งอาจเกิดมาจากทั้งภายในและภายนอกโลก เช่น ^{40}K ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่มีปริมาณมากเป็นอันดับที่เจ็ดในเปลือกโลกและมีมากเป็นอันดับที่หกในน้ำทะเล เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์เหมาะสำหรับการเกษตรกรรม และยังมีธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติชนิด ^{226}Ra และ ^{238}U ที่มีอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม และ ^{232}Th ในอนุกรมทอเรียม นอกจากนี้ในชั้นบรรยากาศของโลกก็ยังมีรังสีอยู่ด้วย ซึ่งนอกจากรังสีของแสงอาทิตย์แล้ว ยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิกซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้เกิดนิวไคลด์กัมมันตรังสีขึ้นมาสะสมและปะปนอยู่ในอากาศที่เราหายใจเข้าไปในร่างกายอยู่ทุกวัน หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับแร่ธาตุในหินและดินได้อีกด้วย หากปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้มีมากเกินไปในธรรมชาติ จะทำให้มนุษย์โลกได้รับรังสีในปริมาณที่มากตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นก็ตาม พบว่า มีการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเราอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะในดิน ทรายน้ำจืด ทรายชายหาด น้ำ และอากาศ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วมนุษย์ได้อาศัยอยู่บนพื้นดินอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างดินและทรายจึงเป็นการกระทำที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นดินที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย และชายหาดต่างๆ ที่เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของพื้นที่ต่างๆ

ในสภาวะปัจจุบันนี้ ได้มีกลุ่มของนักวิจัยทางด้านการวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติในต่างประเทศ ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการตรวจวัดและวิเคราะห์หาปริมาณของระดับรังสีพื้นในธรรมชาติ (Natural Background Radiation) ในบริเวณที่มีอัตราการได้รับรังสี (Exposure Dose Rate) ก่อนข้างสูง เช่น ในบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล และบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกในรัฐเกรละ (Kerala) และโอริสสา (Orissa) ของประเทศอินเดีย เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการวัดปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างอื่นๆ เช่น ในตัวอย่างดินโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี [1-4] ได้ทำการตรวจวัด ^{40}K , ^{232}Th และ ^{238}U ทั้งนี้ เพื่อศึกษาและคำนวณค่าระดับรังสียังผล (Effective Dose Rate) ของพื้นที่ที่ทำการวิจัย และยังได้มีการให้ความสนใจในการตรวจวัดปริมาณ

ความเข้มข้นของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติในตัวอย่างตะกอนชายหาดตามแนวชายฝั่งอเล็กซานเดรีย-โรเซตตา (Alexandria-Rosetta) ในประเทศอียิปต์ [5] เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการท่องเที่ยวเชิงการแพทย์ (Medical Tourism) อีกด้วย

สำหรับในประเทศไทยนั้น ทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงในการตรวจสอบ ดูแล และประเมินค่าความเป็นอันตรายในการได้รับรังสีจากธรรมชาติและจากมนุษย์ผลิตขึ้นมา โดยจะดำเนินการสุ่มเก็บบริเวณเก็บตัวอย่างเฉพาะบางบริเวณ บางอำเภอ และบางจังหวัดเพื่อการตรวจวัดและวิเคราะห์เท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปีมีจำนวนจำกัดและจำนวนของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานยังมีจำนวนค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ จึงยังทำให้ขาดข้อมูลที่มีการตรวจวัดอย่างเป็นระบบและมาตรฐานของปริมาณรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ ในหลายๆ บริเวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณสถานที่ท่องเที่ยวของจังหวัดทางชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณชายหาดบางแสนและชายหาดพัทยา จังหวัดชลบุรี ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงอันดับต้นๆ ของประเทศไทย โดยในแต่ละปีมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศเดินทางมาท่องเที่ยวบริเวณดังกล่าวนี้นับล้านคน

ชายหาดบางแสน เริ่มเป็นแหล่งท่องเที่ยวยอดนิยมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2486 จนถูกขนานนามว่า “บางแสนดินแดนสุชี” มีผู้เดินทางมาเยือนเป็นจำนวนมากในแต่ละปี จนครั้งหนึ่งชายหาดบางแสนมีสภาพที่ทรุดโทรม ซึ่งแตกต่างกับสภาพของชายหาดในปัจจุบันที่ได้รับการดูแลและจัดระเบียบเป็นอย่างดี จึงกลายเป็นชายหาดที่สะอาด สวยงามและสามารถเดินทางมาท่องเที่ยวได้ในทุกฤดูกาล โดยที่ชายหาดบางแสนมีความยาวต่อเนื่องกันถึง 4.5 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. แหลมแท่น เป็นช่วงตอนเหนือสุดของชายหาด 2. ชายหาดบางแสน เป็นช่วงตอนกลางของชายหาดและเป็นบริเวณที่นักท่องเที่ยวนิยมลงเล่นน้ำกัน และ 3. ชายหาดวอนนภา ซึ่งเป็นชายหาดตอนใต้สุดของชายหาด มีบรรยากาศเงียบสงบและมีหมู่บ้านชาวประมงพื้นถิ่นขนาดเล็กกระจายอยู่ห่างๆ กัน สำหรับชายหาดบางแสนนี้มีท่าเลและที่ตั้งอยู่ใกล้กับบริเวณเขตอุตสาหกรรมใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ เขตอุตสาหกรรมบริเวณกรุงเทพมหานคร ท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี และนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้บริเวณชายหาดบางแสนจึงมักจะเกิดการปนเปื้อนจากขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูลต่างๆ รวมทั้งน้ำมันดิบที่เกิดจากการรั่วไหลทั้งจากเรือบรรทุกสินค้า หรือจากเรือขนถ่ายน้ำมันดิบจากต่างประเทศเพื่อนำส่งโรงกลั่นน้ำมันในบริเวณเขตอุตสาหกรรมดังกล่าวข้างต้น เหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลดังกล่าวข้างต้นอาจทำให้มีการสะสมของสารกัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารกัมมันตรังสีเกิดขึ้นมาพร้อมกับการกำเนิดของโลก ในหิน ดิน ทราย บนพื้นผิวโลกจึงล้วนประกอบไปด้วยสารกัมมันตรังสี ดังนั้น น้ำมันดิบซึ่งเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ในชั้นหินใต้พื้นผิวโลกมานานนับล้านปี อาจมีสารกัมมันตรังสีสะสมอยู่ด้วยเช่นกัน [6-7]

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัย จึงได้มีความสนใจที่จะตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe Detector) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่มีใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการตรวจวัดปริมาณรังสีของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สทน) นำข้อมูลที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลวิจัยที่มีอยู่ทั้งในและต่างประเทศต่อไป

วิธีการวิจัย

1. การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี จำนวน 50 ตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างทรายจะแบ่งให้มีระยะห่างที่เท่ากันและเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ของบริเวณชายหาด โดยเลือกเก็บบริเวณกึ่งกลางหาดทราย หรือเป็นบริเวณที่นักท่องเที่ยวมักจะเดินเล่นไปตามชายหาด จากนั้นนำไปผึ่งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

จนแห้งสนิท กำจัดเศษรากไม้ ใบไม้และเปลือกหอยที่ติดมากับตัวอย่างทราย แล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.2 เซนติเมตร สูง 7.5 เซนติเมตร ให้มีขนาดและปริมาตรใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดต่อไป ทำการปิดผนึกภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุตัวอย่างทรายชายหาดด้วยเทปกาวเพื่อป้องกันการปลดปล่อยแก๊สเรดอนและทอรอน และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 วัน ก่อนที่จะนำไปตรวจวัดต่อไป ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดสมดุลทางกัมมันตรังสี

2. การตรวจวัดรังสีและการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ

นำตัวอย่างทรายชายหาดทั้งหมดไปตรวจวัดและวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดรังสีของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอบางกรวย จังหวัดนครนายก โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe, EG&G ORTEC Model GEM 20 P4) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม-137 (Cs-137) และ โคบอลต์-60 (Co-60) ในการปรับเทียบพลังงานของหัววัดและใช้สารมาตรฐานดิน (IAEA SOIL-375) ในการวิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างทรายชายหาด ทั้ง 50 ตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์พีคพลังงาน (Photo Peak) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Gamma Vision V32) ในการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และ ^{232}Th นั้น ใช้วิธีการตรวจวัดพลังงานรังสีแกมมาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีรุ่นลูกที่อยู่ในอนุกรมเดียวกันและเกิดสมดุลทางกัมมันตรังสี โดยที่ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609.2 keV สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของ ^{228}Ac ที่พลังงาน 911.07 keV ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคพลังงานของรังสีแกมมาของตัวเองที่พลังงาน 1460.75 keV ในการวิเคราะห์และคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องการ โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 3 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังได้นำค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในรายงานประจำปีของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ผลงานวิจัยของนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศอีกด้วย

ผลการทดลองและอภิปรายผล

สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในหน่วยของ Bq/kg ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวหน้าจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ได้แสดงไว้ในรูปของค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ของแต่ละตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 50 ตัวอย่าง ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนี้ ยังได้นำข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (สนง. ปส) ข้อมูลของนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ของตัวอย่างทรายผิวหน้า จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี

ตัวอย่าง	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
BS-1	622.48 ± 14.96	10.40 ± 0.72	7.74 ± 0.88
BS-2	585.40 ± 13.94	16.89 ± 0.85	15.68 ± 1.14
BS-3	602.74 ± 14.28	12.20 ± 0.75	7.14 ± 0.82
BS-4	552.47 ± 13.59	11.30 ± 0.72	8.94 ± 0.89

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ของ
ตัวอย่างทรายผิวหน้า จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี (ต่อ)

ตัวอย่าง	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
BS-5	535.17 ± 14.21	15.06 ± 0.86	12.22 ± 1.09
BS-6	583.82 ± 14.02	11.42 ± 0.72	8.18 ± 0.87
BS-7	574.42 ± 13.81	9.89 ± 0.67	10.12 ± 0.94
BS-8	518.35 ± 13.52	9.01 ± 0.67	5.93 ± 0.78
BS-9	554.00 ± 13.92	8.23 ± 0.64	8.53 ± 0.90
BS-10	528.46 ± 13.38	9.91 ± 0.68	8.49 ± 0.88
BS-11	545.64 ± 13.58	8.56 ± 0.64	8.34 ± 0.87
BS-12	612.99 ± 14.54	12.35 ± 0.76	9.02 ± 0.92
BS-13	527.55 ± 13.22	9.66 ± 0.66	6.27 ± 0.77
BS-14	510.85 ± 13.39	11.04 ± 0.72	6.92 ± 0.82
BS-15	629.95 ± 14.45	9.75 ± 0.67	6.94 ± 0.80
BS-16	530.68 ± 13.41	12.21 ± 0.74	8.72 ± 0.89
BS-17	571.11 ± 14.65	8.91 ± 0.69	6.07 ± 0.82
BS-18	565.84 ± 14.06	9.26 ± 0.67	6.94 ± 0.83
BS-19	546.32 ± 14.02	10.67 ± 0.73	5.24 ± 0.75
BS-20	684.37 ± 15.66	9.03 ± 0.68	7.59 ± 0.87
BS-21	513.91 ± 13.50	17.06 ± 0.88	14.07 ± 1.12
BS-22	619.18 ± 14.85	10.73 ± 0.73	8.08 ± 0.89
BS-23	696.77 ± 16.30	10.71 ± 0.76	7.45 ± 0.90
BS-24	771.35 ± 16.64	8.87 ± 0.68	7.47 ± 0.87
BS-25	548.30 ± 14.14	10.00 ± 0.71	8.54 ± 0.92
BS-26	702.85 ± 15.95	10.80 ± 0.74	7.76 ± 0.89
BS-27	696.09 ± 16.03	11.38 ± 0.76	8.15 ± 0.91
BS-28	726.84 ± 16.42	8.78 ± 0.69	9.40 ± 0.97
BS-29	641.76 ± 14.91	9.77 ± 0.69	6.77 ± 0.82
BS-30	610.63 ± 14.42	8.99 ± 0.66	6.41 ± 0.79
BS-31	586.97 ± 14.29	9.32 ± 0.67	8.68 ± 0.90
BS-32	643.19 ± 15.19	10.11 ± 0.71	7.00 ± 0.84
BS-33	568.47 ± 14.09	10.00 ± 0.70	6.14 ± 0.79
BS-34	513.46 ± 13.36	9.53 ± 0.68	7.58 ± 0.85
BS-35	545.73 ± 13.47	9.83 ± 0.67	8.58 ± 0.88
BS-36	654.76 ± 15.11	8.78 ± 0.66	7.14 ± 0.84
BS-37	665.95 ± 15.01	10.17 ± 0.69	7.95 ± 0.86
BS-38	703.12 ± 15.57	9.48 ± 0.68	7.00 ± 0.83
BS-39	671.64 ± 15.30	9.94 ± 0.70	4.25 ± 0.69

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ของตัวอย่างทรายผิวน้ำ จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี(ต่อ)

ตัวอย่าง	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
BS-40	678.08 ± 15.28	8.65 ± 0.65	6.59 ± 0.81
BS-41	698.28 ± 15.45	9.37 ± 0.67	6.31 ± 0.79
BS-42	655.56 ± 14.86	8.38 ± 0.64	8.62 ± 0.89
BS-43	689.93 ± 15.24	8.59 ± 0.64	8.87 ± 0.90
BS-44	670.30 ± 15.15	9.20 ± 0.67	5.92 ± 0.77
BS-45	680.64 ± 15.10	8.30 ± 0.63	5.95 ± 0.76
BS-46	667.60 ± 15.17	8.85 ± 0.66	7.70 ± 0.86
BS-47	659.90 ± 14.96	9.51 ± 0.67	7.19 ± 0.83
BS-48	651.97 ± 15.15	10.10 ± 0.70	7.28 ± 0.85
BS-49	622.24 ± 14.53	8.17 ± 0.63	8.11 ± 0.87
BS-50	649.16 ± 14.79	9.81 ± 0.68	7.45 ± 0.84
ค่าพิสัย	510.85 – 771.35	8.17 – 17.06	4.25 – 15.68
ค่าเฉลี่ย	615.74 ± 14.62	10.18 ± 0.70	7.87 ± 0.86

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำ จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี กับข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (สนง. ปส) ข้อมูลของนักวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

สถานที่และค่าเฉลี่ยต่างๆ	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
ชายหาดป่าตอง (จังหวัดภูเก็ต) [8]	3538.09 ± 959.56	29.72 ± 11.48	32.71 ± 7.51
ชายหาดไนยาง (จังหวัดภูเก็ต) [8]	1648.27 ± 702.98	14.62 ± 6.54	18.10 ± 4.22
ชายหาดตะกั่วป่าและท้ายเหมือง (จังหวัดพังงา) [9]	1069.99 ± 119.43	40.39 ± 4.30	41.15 ± 3.65
ชายหาดอ่าวนาง (จังหวัดกระบี่) [10]	330.73	4.60	5.78
ชายหาดนพรัตน์ธารา (จังหวัดกระบี่) [11]	307.60	5.31	5.28
ชายหาดปากเมง (จังหวัดตรัง) [12]	57.3	23.1	6.9
ชายหาดเฉวง (จังหวัดสุราษฎร์ธานี) [13]	373.30	18.85	23.53
ชายหาดบางแสน (จังหวัดชลบุรี)	615.74 ± 14.62	10.18 ± 0.70	7.87 ± 0.86
ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย) [14]	511.04 ± 7.04	171.55 ± 3.13	211.19 ± 1.98
ค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลก [15]	400	35	30

จะเห็นได้ว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ดังแสดงในตารางที่ 1 มีค่าพิสัยอยู่

ระหว่าง 510.85 - 771.35 8.17 - 17.06 และ 4.25 - 15.68 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ยเป็น 615.74 ± 14.62 10.18 ± 0.70 และ 7.87 ± 0.86 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{40}K ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี พบว่า มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของชายหาดอ่าวนางและชายหาดนพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ ชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง ชายหาดเจว่ง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย) และค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลก แต่มีค่าน้อยกว่าชายหาดป่าตองและชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต และชายหาดตะกั่วป่าและท้ายเหมือง จังหวัดพังงา

สำหรับค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี พบว่า มีค่ามากกว่า ค่าเฉลี่ยของชายหาดอ่าวนางและชายหาด นพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ แต่มีค่าน้อยกว่า ชายหาดป่าตอง และชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต ชายหาด ตะกั่วป่า และท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง ชายหาดเจว่ง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าเฉลี่ยของสำนักงาน ปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย) และค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลกและค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์ ^{232}Th ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี พบว่า มีค่ามากกว่า ค่าเฉลี่ยของชายหาดอ่าวนางและชายหาด นพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ และชายหาดปากเมง จังหวัดตรัง แต่มีค่าน้อยกว่า ชายหาดป่าตองและชายหาดในยาง จังหวัดภูเก็ต ชายหาดตะกั่วป่าและท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ชายหาดเจว่ง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ค่าเฉลี่ยของสำนักงาน ปรมาณูเพื่อสันติ (เฉพาะภาคใต้ของประเทศไทย)และค่าเฉลี่ยของการวิจัยทั่วโลก

สรุป

จากข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ของตัวอย่างทรายชายหาดผิวน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในพิสัยเดียวกันกับข้อมูลวิจัยของทรายชายหาดทางภาคใต้ของประเทศไทย ค่าเฉลี่ยของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่ได้ตรวจวัดไว้ในบางบริเวณทางภาคใต้ของประเทศไทยและค่าเฉลี่ยของนักวิจัยทั่วโลก ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ประชาชนทั่วไปและนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี จะได้รับปริมาณรังสีจากธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bavarnegin E., Fathabadi N., Vahabi Moghaddam M., Vasheghani Farahani M, Babakhni A., Moradi M. (2013). "Radon exhalation rate and natural radionuclide content in building materials of high background areas of Ramsar, Iran", **Journal of Environmental Radioactivity**. 117, 36-40.
- [2] Bala P., Mehra R., Ramola R.C. (2014). "Distribution of natural radioactivity in soil samples and radiological hazards in building material of Una, Himachal Pradesh", **Journal of Geochemical Exploration**. 142, 11-15.
- [3] Manigandan P.K. and Chandar Shekar B. (2014). "Uptake of some radionuclides by woody plants growing in the rainforest of Western Ghats in India", **Journal of Environmental Radioactivity**. 130, 63-67.
- [4] Isinkaye M.O. and Emelue H.U. (2015). "Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria", **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. 8(3), 459-469.

- [5] Abdel-Halim A.A. and Saleh I.H. (2016). “Radiological characterization of beach sediments along the Alexandria–Rosetta coasts of Egypt”, **Journal of Taibah University for Science**. 10(2), 212-220.
- [6] Hamlat, M.S., Djeflal, S. and Kadi, H. (2001). “Assessment of radiation exposures from naturally occurring radioactive materials in the oil and gas industry”, **Applied Radiation and Isotopes**. 55, 141-146.
- [7] Ajayi, T.R., Torto, N. and Tchokossa, P. (2009). “Natural radioactivity and trace metals in crude oils: implication for health”, **Environmental Geochemistry and Health**. 31, 61-69.
- [8] Kessaratikoon, P., Chusiri, N., Kongratana, P., Boonkrongcheep, R. and Youngchaury, U. (2013). “Frequency Distribution and Radiological Hazard Assessment of Specific Activities of Natural Anthropogenic Radionuclides in Beach Sand from Patong and Naiyang Beaches in Phuket Province, Thailand”, **Proceedings of the 39th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 39)**. 21-23 October, 2013, 55-62.
- [9] Kessaratikoon, P., Ramunet, S. and Boonkrongcheep, R. (2014). “A determination of natural radioactivity and Radiological hazard assessment in beach sand samples from Takua Pa and Thai Mueang Districts in Phang Nga province (Thailand) after the 2004 tsunami”, **Proceedings of the 40th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 40)**. 2-4 December, 2014, 63-70.
- [10] Kessaratikoon, P., Rhian-nui, J. and Boonkrongcheep, R. (2013). “Frequency Distribution of Specific Activities of Natural Radionuclides and Radiological Hazard Indices in Beach Sand Samples from Ao Nang Beach Krabi Province, Thailand”, **The 23rd Thaksin University Annual Conference “Green Society: Food and Energy Security”**. 22-25 May, 2013, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
- [11] Kessaratikoon, P., Kumnurak, P. and Boonkrongcheep, R. (2013). “Measurement and Analysis of Specific Activities of Natural Radionuclides in Beach Sand Samples from Noppharat Thara Beach in Krabi Province, Thailand”, **The 5th Walailak Research National Conference**. 1 August, 2013, Walailak University, Tasala District, Nakhon Si Thammarat, Thailand.
- [12] Kessaratikoon, P., Ayusuk, W. and Youngchaury, U. (2010). “Natural radioactivity in beach sands of the Pakmeng beach in Trang province, Thailand”, **Thai Journal of Physics Series 5**. 5, 284-289.
- [13] Kessaratikoon, P., Thaneerat, S. and Youngchaury, U. (2009). “Measurement of Natural Radioactivity in Beach sand Samples from Chaweng Beach Amphur Ko Samui Surat Thani Province”, **The 35th Congress on Science and Technology of Thailand, (STT 35)**. 15-17 October, 2009, Bangsean, Chonburi, Thailand.
- [14] Office of Atoms for Peace (OAP). (1994 – 2002). **OAP Annual Reports**. Ministry of Science and Technology, Bangkok, Thailand.
- [15] UNSCEAR, (2000). “Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation”, **United Nations**. New York.

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรง สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น (The Development of Android Application for Learning of the Moment of Force for Secondary Students)

อนุสา แก้วสมทอง¹ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}
Anusa Kaewsomtong¹ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักสำคัญและบททดสอบความเข้าใจในลักษณะของเกมเพื่อช่วยให้เกิดความเพลิดเพลิน สนุกสนาน โดยได้ทดสอบความรู้ไปพร้อมกัน และมีแบบทดสอบสำหรับตรวจวัดระดับความเข้าใจในตอนท้าย โดยการสร้างแอปพลิเคชันใช้โปรแกรม Adobe Flash Professional CS6 และ โปรแกรมอื่นๆ ที่จำเป็น และได้ทำการทดสอบแอปพลิเคชันโดยใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างทั้งจากนักศึกษาปริญญาตรีจำนวน 30 คน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 30 คน ด้วยแบบทดสอบระหว่างเรียน แบบทดสอบหลังเรียนและแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันและแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อแอปพลิเคชัน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และวิเคราะห์หาคุณภาพและประสิทธิภาพสื่อและระดับความพึงพอใจ พบว่าแอปพลิเคชันมีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์แบบ E1/E2 คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: แอนดรอยด์ แอปพลิเคชัน โมเมนต์ของแรง

Abstract

We have created and developed an Android application for learning in physics of "Moment of Force" for junior high school level. The application was designed by including the key contents of the moment and force incorporate with gameplay as evaluation student's conception insights. This learning style will entertain users with studying and testing knowledge and concept along the way. There is also an examination for measuring the level of understanding at the end. By creating the application, the Adobe Flash Professional CS6 and other required programs were used. Finally, the

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์ – ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะศึกษาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nu_ferml@yahoo.com

performance and efficiency were evaluated by random samples of 30 physics students and 30 middle school students with while- learning test, post- test and quality assessments including satisfaction surveys for the application. Data analysis statistical techniques, such as mean value and standard deviation, were used as well as qualitative and quantitative analysis of media and satisfaction levels. It was found that the app has performance of good quality and efficiency according to criteria E1/E2 of 80/80. The overall level of satisfaction by student samples with the application is very good.

Keywords: Android, Applications, Moment of Force

บทนำ

การศึกษานับได้ว่าเป็นกระบวนการหนึ่งสำหรับการพัฒนาศักยภาพของมนุษย์ให้มีความสมบูรณ์ในทุกๆ ด้านตามศักยภาพของแต่ละบุคคลเท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งในฐานะปัจเจกบุคคลและฐานะเป็นสมาชิกในสังคมและของโลก มนุษย์ทุกคนมีโอกาสเรียนรู้หรือได้รับการศึกษาใน 2 ลักษณะคือ ได้รับการศึกษาด้วยการเรียนรู้ของตนเองจากแหล่งความรู้ต่างๆ หรือการศึกษาที่เกิดจากกระบวนการเรียนรู้ในวิถีชีวิตและที่ได้รับการศึกษาที่มีผู้จัดให้อย่างเป็นทางการหรือที่เป็นไปตามแผนการศึกษาแห่งชาติ เรียกว่า การศึกษาตามแนวระบบของโรงเรียน [1]

การที่จะพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพได้ต้องอาศัยครูผู้สอนที่มีทักษะในการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะในยุคศตวรรษที่ 21 ที่เป็นทักษะแห่งอนาคตใหม่ที่ครูควรมีทักษะและคุณลักษณะที่รองรับและเข้าถึงการ สร้างนวัตกรรมทางการศึกษาและการเรียนรู้แบบดิจิทัล [2-3] รวมไปถึงการบริหารจัดการชั้นเรียนในแนวใหม่ [4] ในอันที่จะพัฒนาผู้เรียนเยาวชนในยุคใหม่ได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืนและสอดคล้องกับหลักการจัดการศึกษาตามมาตรา 22 ที่ว่า “การจัดการศึกษาต้องยึดหลักว่า ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพ [5]”

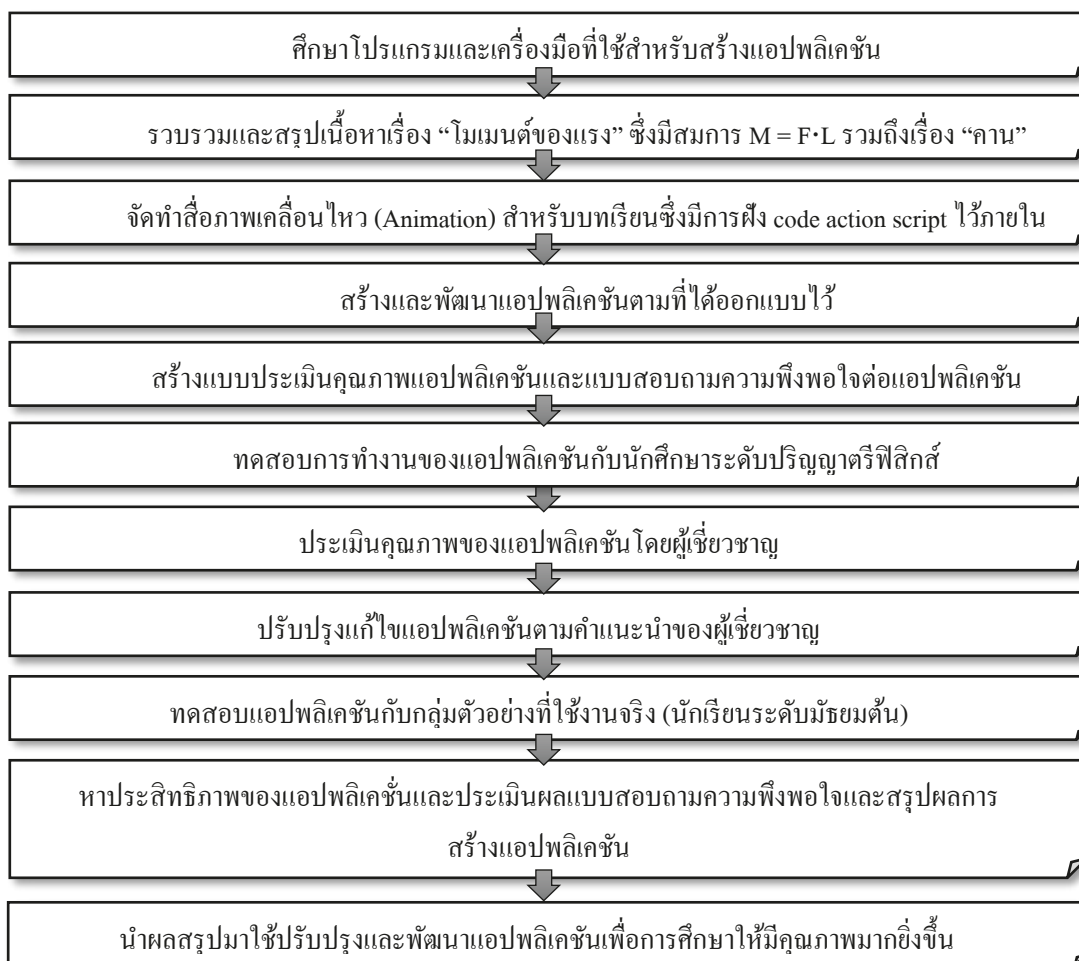
ปัจจุบันโลกของการศึกษาได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยเฉพาะเครื่องมือทางด้านดิจิทัลและการสื่อสาร [6] เพื่อแสวงหาความรู้ได้เพิ่มพูนความสำคัญมากขึ้นซึ่งเป็นการช่วยให้ครูผู้สอนมีเครื่องมือสำหรับถ่ายทอดเนื้อหาความรู้สู่ผู้เรียนได้หลากหลายกระบวนการตามแต่ความเหมาะสมกับผู้เรียนแต่ละคน [7] นอกจากนี้ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการสื่อสารทำให้ผู้เรียนสามารถค้นหาค้นหาความรู้ได้ด้วยตนเองจากแหล่งเรียนรู้ข้อมูลต่างๆ มากมายและตลอดเวลาที่ต้องการ ทำให้ห้องเรียนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ภาพของนักเรียนหรือนิสิต นักศึกษามีคอมพิวเตอร์พกพา (Notebook) แท็บเล็ต (Tablet) เช่น ไอแพด (iPad) หรือสมาร์ตโฟน (Smart Phone) เป็นอุปกรณ์การเรียนรู้เป็นเรื่องปกติมากขึ้น ดังนั้นหน้าที่ครูอาจารย์จึงเปลี่ยนจากการยืนหน้าชั้นมาเป็นการกระตุ้นและอำนวยความสะดวกในการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพของตนเองให้มากที่สุด ด้วยกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ จึงทำให้เกิดแนวความคิดต่อการจัดการศึกษานั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย [8]

สำหรับวิชาฟิสิกส์มีลักษณะเนื้อหาที่ต้องแสดงให้ผู้เรียนเห็นเป็นรูปธรรมชัดเจน การอธิบายด้วยคำพูดเพียงอย่างเดียวจึงอาจจะยังไม่เพียงพอ ต้องมีภาพประกอบการอธิบายเนื้อหาที่เหมาะสมจนทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้อย่างดี และสามารถเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตประจำวันได้ และหนึ่งในเรื่องทางฟิสิกส์เรื่องหนึ่งที่เข้าใจได้ไม่ยากคือเรื่อง “โมเมนต์ของแรง หรือ moment of force” ถึงแม้จะมีลักษณะไม่ยากเกินไปแต่การจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ชัดเจนนั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายความสามารถของผู้สอนที่จะค้นหาเทคนิคและวิธีการมาปรับใช้ และเมื่อในปัจจุบันมีเครื่องมือด้านสารสนเทศดิจิทัลที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพและเข้าถึงง่ายสำหรับครูผู้สอน ตัวอย่างเช่น การสร้างแอปพลิเคชันทางการศึกษา [9] จึงเป็นเหตุผลที่ได้สร้างแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” เพื่อใช้เป็นสื่อเสริมในการเรียนการสอนสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักการสำคัญและได้ออกแบบสร้างเป็นเกมเพื่อใช้ทบทวนความเข้าใจ ซึ่งจะทำให้เกิดความ

ผลิตเพลินสนุกสนานไปด้วย มีแบบทดสอบสำหรับตรวจสอบระดับความเข้าใจในตอนท้าย ผู้เรียนจึงได้ทดสอบความรู้และความเข้าใจในหลักการของโมเมนต์และสามารถนำไปใช้กับปัญหาในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องได้

วิธีการวิจัย

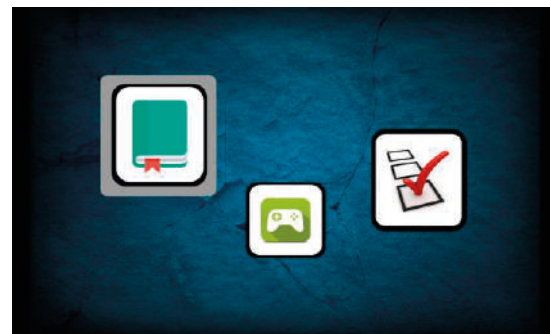
ในการสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” เริ่มจากสร้างและออกแบบแผนการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อนำเนื้อหาความรู้เรื่องโมเมนต์ของแรงซึ่งอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นมากำหนดขอบเขตของเนื้อหา เมื่อได้ขอบเขตที่แน่ชัดแล้วจึงรวบรวมและศึกษาทฤษฎีที่จำเป็นและสำคัญของเรื่องโมเมนต์ของแรงจากหนังสือกลุ่มสาระการเรียนรู้ [10] หนังสือตำราและศึกษาข้อมูลบน website ต่างๆ [11] แล้วจึงเริ่มออกแบบแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับเนื้อหาหลักโดยมีการดำเนินงานดังแผนภาพที่ 1 คือการศึกษาโปรแกรม Adobe Flash Professional CS6 และโปรแกรมอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับสร้างแอปพลิเคชัน [12-14] นำเนื้อหาที่ได้รวบรวมไว้มาจำแนกความเหมาะสมว่าส่วนใดควรทำเป็นภาพเคลื่อนไหว (Animation) หรือภาพนิ่งจะเหมาะสมในการใช้เรียนรู้ แล้วจึงเริ่มสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชันตามที่ได้ออกแบบไว้



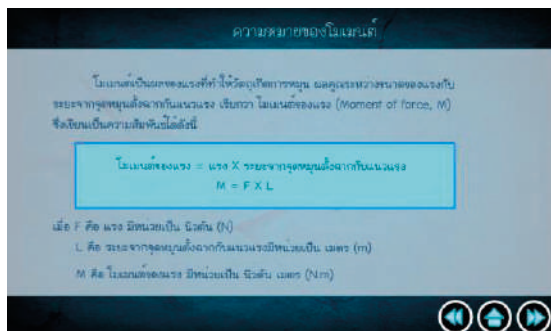
ภาพที่ 1 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง”



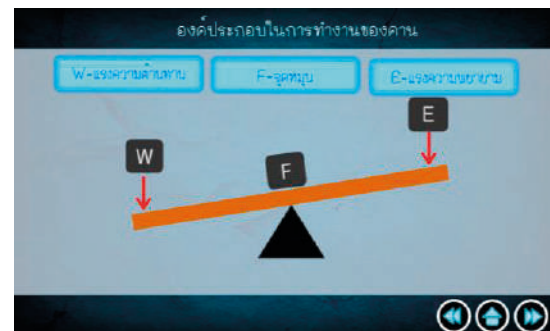
(a)



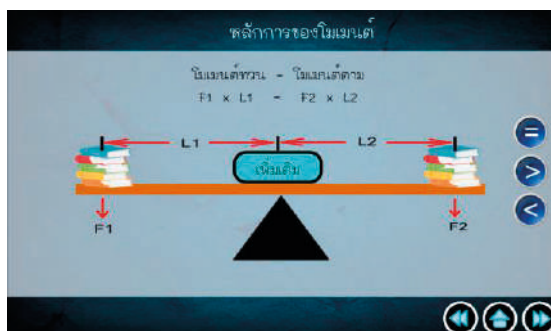
(b)



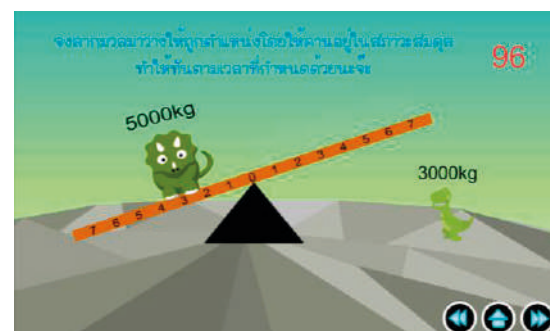
(c)



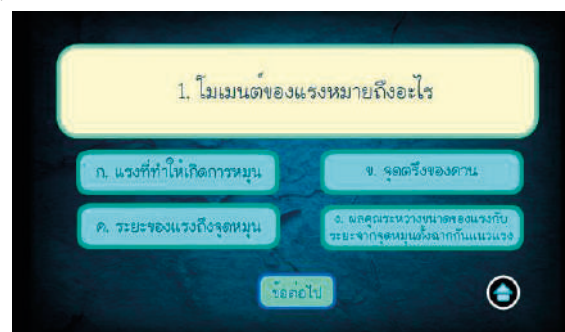
(d)



(e)



(f)



(g)

ภาพที่ 2 (a) หน้าแรกของแอปพลิเคชัน (b) หน้าหลักของแอปพลิเคชัน (c) หน้าเนื้อหาความหมายของโมเมนต์
(d) หน้าเนื้อหาองค์ประกอบในการทำงานของคาน (e) หน้าเนื้อหาหลักการของโมเมนต์ (f) หน้าเกม (g) หน้าแบบทดสอบ

การกำหนดขอบเขตเนื้อหาวิชาฟิสิกส์เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ได้ยึดตามกรอบเนื้อหาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ที่ว่าโมเมนต์เป็นผลของแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการหมุน ผลคูณระหว่างขนาดของแรงกับระยะจากจุดหมุนตั้งฉากกับแนวแรง เรียกว่า โมเมนต์ของแรง (Moment of Force, M) ดังภาพที่ 2(c) ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1)

$$M = F \cdot L \quad (1)$$

หรือ โมเมนต์ของแรง = แรง $\times$ ระยะจากจุดหมุนตั้งฉากกับแนวแรง เมื่อ F คือแรง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) L คือระยะจากจุดหมุนตั้งฉากกับแนวแรงมีหน่วยเป็นเมตร (m) และ M คือโมเมนต์ของแรง มีหน่วยเป็น นิวตัน·เมตร (N·m) ซึ่งในแอปพลิเคชันมีการอธิบายถึงรายละเอียดการนำเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ไปใช้ในเรื่องการหมุนของคานในรูปแบบต่างๆ เช่น โมเมนต์ของแรงตามเข็มนาฬิกาและโมเมนต์ของแรงทวนเข็มนาฬิกา ดังภาพที่ 2(c และ d) รวมถึงสมดุลต่อการหมุนเมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อคาน เป็นต้น และได้ออกแบบการทดสอบในลักษณะของเกมแบบ interactive ซึ่งเป็นทั้งการทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนที่มีความสนุกสนาน ดังภาพที่ 2(f) และสุดท้ายได้ออกแบบให้มีการทดสอบความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาสาระจากการทำการทดสอบแบบปรนัย ดังภาพที่ 2(g) จำนวน 10 ข้อ โดยผู้เรียนสามารถทราบผลการทดสอบรวมทั้งตรวจสอบคำตอบได้ภายหลังการทดสอบเสร็จสิ้น ซึ่งสร้างขึ้นจากการเขียน code action script ในโปรแกรม Adobe flash CS6 ผีงไว้ภายในแอปพลิเคชัน (Embedded) เพื่อให้การใช้งานมีความสมจริงและลื่นไหล

เมื่อแอปพลิเคชันแล้วเสร็จในลำดับแรก (Beta Version) จึงได้จัดทำแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันและแบบสอบถามความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพ นำผลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขแอปพลิเคชันตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชัน แล้วนำไปทดสอบอีกครั้งเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันตามแบบประเมินผลแบบสอบถามความพึงพอใจเพื่อประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยนักศึกษาริทยูนิเวอร์ซิตี หลังจากปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องจึงได้นำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายจริงคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น แล้วจึงสรุปผลการทดสอบแอปพลิเคชันและนำผลสรุปมาปรับปรุงและพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการศึกษาให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้นในลำดับถัดไป (New Version) โดยสำหรับแอปพลิเคชันเรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วได้แสดงไว้ในภาพที่ 2

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

แอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ที่ได้ถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพเป็นเวอร์ชันสำหรับใช้ทดสอบประสิทธิภาพ โดยมีการประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อเสนอแนะตรวจสอบแก้ไขและปรับปรุง แล้วได้นำไปทำการทดสอบกับนักศึกษาริทยูนิเวอร์ซิตีจำนวน 30 คน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 30 คน โดยการสุ่มอย่างง่ายและสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ด้วยแบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันและแบบประเมินความพึงพอใจ เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของคะแนนโดยมีการแบ่งระดับคุณภาพดังนี้คือ “มากที่สุด” อยู่ในช่วง 4.51 - 5.00 “มาก” อยู่ในช่วง 3.51 - 4.50 “ปานกลาง” อยู่ในช่วง 2.51 - 3.50 “น้อย” อยู่ในช่วง 1.51-2.50 และ “น้อยที่สุด” อยู่ในช่วง 1.00 - 1.50 และมีการหาประสิทธิภาพแบบ E_1/E_2 ตามเกณฑ์ 80/80 [15] โดย E_1 เป็นไปดังสมการที่ (2)

$$E_1 = \frac{\sum X}{N} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{X}}{A} \times 100 \quad (2)$$

และ E_2 เป็นคังสมการที่ (3)

$$E_2 = \frac{\sum F}{N} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{F}}{B} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ E_1 คือประสิทธิภาพของกระบวนการ $\sum X$ คือคะแนนรวมของแบบฝึกหัดระหว่างเรียน A คือ คะแนนเต็มของ

แบบฝึกหัดระหว่างเรียน E_2 คือประสิทธิภาพของผลลัพธ์ $\sum F$ คือคะแนนรวมแบบทดสอบหลังเรียน B คือคะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียนและ N คือ จำนวนตัวอย่าง

โดยในการประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ทั้งหกด้านโดยผู้เชี่ยวชาญ (ไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้) พบว่าด้านเนื้อหาของสื่อโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ด้านการออกแบบหน้าจอโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ด้านตัวอักษร สี และเสียงโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก การจัดการบทเรียนและการเชื่อมโยงอยู่ในระดับดีมาก และด้านการส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้การสอนผลการประเมินอยู่ในระดับดีมากเช่นกัน และได้นำแอปพลิเคชันดังกล่าวไปทดสอบกับนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์จำนวน 30 คน (ไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้) เพื่อทดลองและตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและประสิทธิภาพของกระบวนการการเรียนรู้จากกลุ่มตัวอย่างที่มีความรู้และประสบการณ์ที่สูงกว่าระดับเนื้อหาของกลุ่มเป้าหมายจริง ซึ่งได้ผลการทดสอบแอปพลิเคชันมีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพ 80.67/82.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์แบบ E_1 / E_2 ที่ตั้งไว้คือ 80/80 และมีระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก

ตารางที่ 1 คะแนนจากแบบทดสอบระหว่างใช้งานและแบบทดสอบหลังการใช้งานแอปพลิเคชันในชั้นเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

ลำดับ ที่	คะแนนทดสอบ ระหว่างเรียน	คะแนน ทดสอบหลัง เรียน	ลำดับที่	คะแนนทดสอบ ระหว่างเรียน	คะแนน ทดสอบหลัง เรียน	ลำดับที่	คะแนนทดสอบ ระหว่างเรียน	คะแนนทดสอบ หลังเรียน
1	9	13	11	10	14	21	8	12
2	9	13	12	10	13	22	10	13
3	9	14	13	8	12	23	9	13
4	6	11	14	9	12	24	5	10
5	10	13	15	3	10	25	7	12
6	9	14	16	6	10	26	10	13
7	9	12	17	7	11	27	7	11
8	8	12	18	7	12	28	9	13
9	10	15	19	6	12	29	10	13
10	10	14	20	8	13	30	5	10

$$\sum \frac{x}{N} = 8.10 \quad \sum \frac{F}{N} = 12.33$$

$$E_1 = 81.00 \quad E_2 = 82.22$$

ในขณะที่ผลการทดสอบประสิทธิภาพกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมาย จริงที่จะใช้งานแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่อง “โมเมนต์ของแรง” ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1 พบว่า

ผลจากการทดสอบสะท้อนว่าแอปพลิเคชันมีคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพ 81.00/82.22 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์แบบ E_1 / E_2 ที่ตั้งไว้คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ทำให้ทราบว่าแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัลตอบสนองผู้เรียนโดยตรง เพราะได้รับการกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติผ่านการอยากรู้ อยากเห็น ได้เล่น ได้ลองกับสถานการณ์จำลองการหมุนและกระดกของคานา โดยต้องนำความรู้ที่ได้เรียนไปก่อนหน้านั้นมาใช้งานซึ่งสอดคล้องกับบทเรียน รวมไปถึงได้พบกับประสบการณ์แปลกใหม่ซึ่งไปส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์ได้ด้วยตนเอง

แต่อย่างไรก็ตามแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรงสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นดังกล่าวยังจะต้องได้รับการทดสอบหรือออกแบบการทดสอบในด้านข้อได้เปรียบทั้งเชิงวิชาการและความพึงพอใจที่เกิดขึ้นจากการใช้งานแอปพลิเคชันที่ชัดเจนกว่านี้ ซึ่งแอปพลิเคชันจะต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจากการทดสอบครั้งนี้ก่อน โดยผู้ออกแบบและสร้างแอปพลิเคชันพบว่าต้องมีการปรับปรุงข้อมูลความรู้เพื่อออกแบบบทเรียนให้กระชับไม่เยิ่นเย้อด้วยเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับธรรมชาติการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมายและรูปแบบการศึกษาในยุคศตวรรษที่ 21 ที่เหมาะสมกว่าเดิม มีการวิเคราะห์บทเรียนและการจัดลำดับขั้นของการเรียนรู้ที่เหมาะสมมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและสอดคล้องเหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงของกลุ่มเป้าหมายในลำดับต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ได้สร้างแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรงสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นโดยใช้โปรแกรม Adobe flash professional CS6 ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาหลักการที่สำคัญและได้ออกแบบสร้างเกมเพื่อใช้ทดสอบความเข้าใจของผู้เรียน ซึ่งทำให้เกิดความเพลิดเพลินสนุกสนานไปด้วยในตัว และมีแบบทดสอบสำหรับตรวจสอบระดับความเข้าใจของผู้ใช้เองในตอนท้าย ผู้เรียนจึงได้ทดสอบความรู้และความเข้าใจในหลักการของโมเมนต์ และสามารถนำไปใช้กับปัญหาในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องได้ โดยจะใช้นำเสนอเป็นแบบมัลติมีเดียบนสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ต โดยที่แอปพลิเคชันสามารถโต้ตอบกับผู้เรียนได้ ตอบสนองการเรียนรู้ของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี สามารถเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็วและมีรูปแบบที่น่าสนใจจนสามารถจูงใจผู้เรียนได้ ไม่ทำให้ผู้เรียนเกิดความเบื่อหน่าย และผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองในทุกที่ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้และความเข้าใจในเรื่องที่ต้องการศึกษาได้ง่ายและรวดเร็ว จากการทดสอบแอปพลิเคชันจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริงพบว่ามีความคุณภาพในระดับดีและมีประสิทธิภาพ 81.00/82.22 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์แบบ E_1 / E_2 คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก และผู้เรียนมีความเพลิดเพลินสนุกสนานและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ด้วยแอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์เพื่อการเรียนรู้เรื่องโมเมนต์ของแรง

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ.2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] อารุง จันทวานิช. (2547). **แนวทางการบริหารและการพัฒนาสถานศึกษาสู่โรงเรียนคุณภาพ (Guidelines on the Best Practice for Quality Schools)**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.
- [2] Voogt, J., Erstad O., Dede, C. and Mishra P. (2013). “Challenges to learning and schooling in the digital networked world of the 21st century”, **Journal of Computer Assisted Learning**. 29, 403-413.
- [3] Wastiau, P., Blamire, R., Kearney, C., Quittre, V., Van de Gaer, E. and Monseur, C. (2013). “The Use of ICT in Education: a survey of schools in Europe”, **European Journal of Education**. 48, 11-27.
- [4] Perrotta, C. (2012). “Do school-level factors influence the educational benefits of digital technology? A critical analysis of teachers' perceptions”, **British Journal of Educational Technology**. 44, 314-327.
- [5] สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง. (2559). **การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษ 21**. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก http://arit.mcru.ac.th/images/KM/2556/56KM_1.pdf.
- [6] Voogt, J., Knezek, G., Cox, M., Knezek, D. and ten Brummelhuis, A. (2011). “Under which conditions does ICT have a positive effect on teaching and learning? A Call to Action”, **Journal of Computer Assisted Learning**. 29, 4-14.
- [7] Davis, N., Eickelmann, B. and Zaka, P. (2013). “Restructuring of educational systems in the digital age from a co-evolutionary perspective”, **Journal of Computer Assisted Learning**. 29, 438-450.
- [8] พรทิพย์ ศิริภทราชย์. (2556). **STEM Education** กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.math.rbru.ac.th/pdf/trigometry2.pdf>.
- [9] Ulfa, A. M., Sugiyarto, K. H. and Ikhsan, J. (2017). “The effect of the use of android-based application in learning together to improve students' academic performance”, **AIP Conference Proceedings**. 1847 050008.
- [10] โหมเมตซ์ของแรง. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.maceducation.com/e-knowledge/2432209100/17.htm>.
- [11] ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2556). **คู่มือครูรายวิชาพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เล่ม 1**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สวสกลาดพร้าว.
- [12] พันจันทร์ ธนวัฒนเสถียร. (2557). **สร้างงานมัลติมีเดียแอนิเมชันด้วย Flash CS6 ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ: Simplify.
- [13] อภิวัฒน์ วงศ์กัณหา. **การสร้างเกม Flash ด้วย AS3**. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.apivat.com/joomla/index.php>.
- [14] **Flash AS 3.0 – พื้นฐานการทำข้อสอบ, แบบทดสอบ แบบที่ 1 – คำถามละเฟรม**. สืบค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2559, จาก <https://www.zzzleapinclass.com/2014/08/Flash-AS3-How-to-Make-Quiz-1-Simple.html>.
- [15] ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). “การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน”, **วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย**. 5(1) 7-20.

“เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า”: เกมสำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้า

และแรงคูลอมป์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ

(The “ELECTRIC CHARGE ARENA GAME”: A Gamification for Learning in an Electric Charges and the Coulomb Force on Smart Devices)

พรสุดา กรดสัน¹ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}

Pornsuda Krodsan¹ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

ได้ออกแบบและสร้างเกมดิจิทัลที่ผนวกเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์ ชื่อ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ซึ่งสามารถใช้งานบนอุปกรณ์สื่อสารอัจฉริยะยุคใหม่ได้ เพื่อช่วยเสริมทักษะการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เนื่องจากผสมผสานปัจจัยที่มีแรงกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติ ทำให้เกิดความสนุกสนานจากการต้องเรียนรู้กฎเกณฑ์ เข้าใจวัตถุดิบประสงค์ ขอมรับและเคารพผลลัพธ์ของเกม การพยายามแก้ปัญหาในเกมจะช่วยกระตุ้นและจุดประกายให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ โดย “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” นี้สร้างด้วยโปรแกรม Unity3D และใช้เนื้อหาวิชาฟิสิกส์ เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์ซึ่งได้ออกแบบสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ภายในเกมประกอบด้วยแบบฝึกทดสอบความรู้ระหว่างใช้งานเกมสองช่วงรวมถึงแบบทดสอบหลังจากเล่นเกมเสร็จสิ้น และได้นำไปทดสอบการใช้งานโดยใช้กลุ่มตัวอย่างจริงคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คน โดยการเลือกแบบสุ่มอย่างง่ายและมีแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า ซึ่งใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และร้อยละ (Percentage) เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพสื่อและระดับความพึงพอใจ พบว่าประสิทธิภาพของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ได้ผลลัพธ์ $E_1/E_2 = 82.33/80.67$ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ 80 /80 และระดับความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: การศึกษาที่สนุกสนาน เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า เทคโนโลยีดิจิทัล ฟิสิกส์ของประจุไฟฟ้า Unity3D

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์ – ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nufermi2@gmail.com

Abstract

We have designed and created the digital game that combined the charge and Coulomb force; called "ELECTRIC CHARGE ARENA GAME", which can be used in modern communication devices. There should be a tool to enhance student-centered learning skills. since it was merged the factors that stimulate learning by nature. The studying through the game style will make players enjoyable from learning the rules. Players must understand the purpose, accept, and respect the outcome of the game. A struggle to solve problems in the game will motivate and inspire students' creativity. The "ELECTRIC CHARGE ARENA GAME" was built by the Unity3D which followed the physics of electrostatic charges and Coulomb's law. The game was designed for high school level. At the final stage of the game, it has included the series of practical tests while the game was played as well as quizzes after the playing game was terminate. It was evaluated by 30 high school students with simple random selection and a satisfaction questionnaire on the game. The statistics used in the analysis are mean value, standard deviation and percentage to verify the media efficiency and satisfaction levels. It was found that the efficiency of The "ELECTRIC CHARGE ARENA GAME" has achieved E_1/E_2 is 82.33/80.67, which is 80 /80 effective level and the level of player satisfaction is very high.

Keywords: Amusement Educational Game, Physics Education, Technology Digital, Physics of Electric Charges, Unity3D

บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลและจะเป็นโลกยุคดิจิทัลเต็มรูปแบบในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า โดยมีเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และสารสนเทศเป็นรากฐานสำคัญ จึงทำให้มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ อย่างรวดเร็วทั้งด้านสังคม วัฒนธรรม เทคโนโลยี เศรษฐกิจ และการศึกษา สิ่งสำคัญที่บ่งบอกความเป็นยุคดิจิทัลเต็มรูปแบบ คือ การบูรณาการหรือการหลอมรวมเทคโนโลยีต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อตอบสนองความแตกต่างของมนุษย์ ณ ตอนนี้เป็นที่น่าสนใจของโลกยุคดิจิทัลที่จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในวงการศึกษามีผู้เริ่มนำเกมมาใช้ในกระบวนการเรียนการสอนอย่าง Minecraft: Education Edition [1] ที่มีแผนจะเปิดตัว Minecraft ซึ่งเป็นรุ่นที่ถูกออกแบบมาสำหรับให้ใช้เพื่อส่งเสริมการศึกษาภายในโรงเรียน โดยจะเปิดให้ครูและนักเรียนเข้าไปอยู่ในโลกเสมือนร่วมกัน และรองรับนักเรียนได้สูงสุดถึง 40 คนต่อห้อง ด้วยเหตุผลว่าผู้สนใจและให้ความสำคัญกับเกมมากขึ้น ด้วยสถิติผู้เล่น Minecraft จำนวนมากถึง 22 ล้านคนทั่วโลก อีกทั้งยังมีห้องเรียนกว่า 7,000 แห่งใน 40 ประเทศทั่วโลกที่ใช้งาน Minecraft Edu ซึ่งจะทำให้การเข้าถึงวงการการศึกษาของ Microsoft ด้วย Minecraft ได้ผลที่ดียิ่ง โดยปัจจุบันนี้ครูผู้สอนก็มีการใช้ Minecraft ในการสอนการเขียนโปรแกรม สอนคณิตศาสตร์ สอนประวัติศาสตร์ หรือสอนภูมิศาสตร์ ไปจนถึงสอนวิศวกรรมโยธา โดยนักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ทั้งภายในและภายนอกห้องเรียนอีกด้วย

โกวิท พิพิศาล [2] ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมองในแง่ของการศึกษา การบูรณาการเทคโนโลยีเหล่านี้ได้มีพัฒนาการเกิดขึ้นอยู่เช่นกัน เช่น การบูรณาการระหว่างความบันเทิงกับการศึกษาที่เรียกว่า "ศึกษานันทนาการ (Edutainment)" นั้นเข้ามามีบทบาทในระบบการศึกษาและได้รับการนำมาใช้จนประสบความสำเร็จในการศึกษาของหลายประเทศ สื่อในลักษณะเพื่อศึกษานันทนาการนี้สามารถแสดงในสื่อหลายรูปแบบ อาทิ โทรศัพท์ วิทยุ สิ่งพิมพ์ ภาพยนตร์ ดนตรี สื่อประสม อินเทอร์เน็ต เกมวีดิทัศน์และเกมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ในบรรดาสื่อต่างๆ เหล่านี้ เกมวีดิทัศน์หรือเกมคอมพิวเตอร์ได้รับความนิยมในกลุ่มเด็กและวัยรุ่นที่เติบโตมากับโลกไซเบอร์ [3] พวกเขาเติบโตมากับวัฒนธรรมการเล่นเกมนิตติจอจนดูเหมือนการเล่นเกมประเภทนี้กลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันไป สถาบันการศึกษาหลายแห่งในต่างประเทศจึงมีแนวคิดในการพัฒนา

โปรแกรมการศึกษาแผนใหม่โดยนำเกมคอมพิวเตอร์ผนวกเข้ากับบทเรียนเพื่อดึงดูดความสนใจของผู้เรียนต่อเนื้อหาที่ต้องการนำเสนอซึ่งหลอมรวมเอาความบันเทิงสนุกสนานในการเรียนนั้นๆ เข้าไปอย่างแนบเนียน [4-5]

ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงได้สร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” จากหลักการของเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงไฟฟ้าคลอมป์ เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ที่ดีและหลากหลายและเรียนรู้วิชาฟิสิกส์อย่างสนุกสนานไม่รู้สึกลำบาก ผู้เล่นได้เรียนรู้และนำความรู้เรื่องแรงกระทำต่อประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้าและแรงระหว่างประจุไฟฟ้ามาใช้แก้ปัญหาเพื่อเอาชนะเกม เป็นการพัฒนาทั้งด้านสติปัญญา ด้านเจตคติและด้านปฏิบัติ อันเป็นเป้าหมายสำคัญของการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญและเป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วิธีการวิจัย

การสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” สำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคลอมป์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ ดำเนินงานโดยวางแผนและวิเคราะห์เพื่อกำหนดขอบเขตของเนื้อหาเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคลอมป์เบื้องต้น [6,7] ซึ่งเป็นสาระความรู้ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีขอบเขตเรื่องของประจุไฟฟ้าบวกและลบ และแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองทั้งประจุที่เหมือนกันและประจุที่ต่างกัน รวมถึงสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามกฎคลอมป์ ดังสมการขนาดของแรงไฟฟ้า

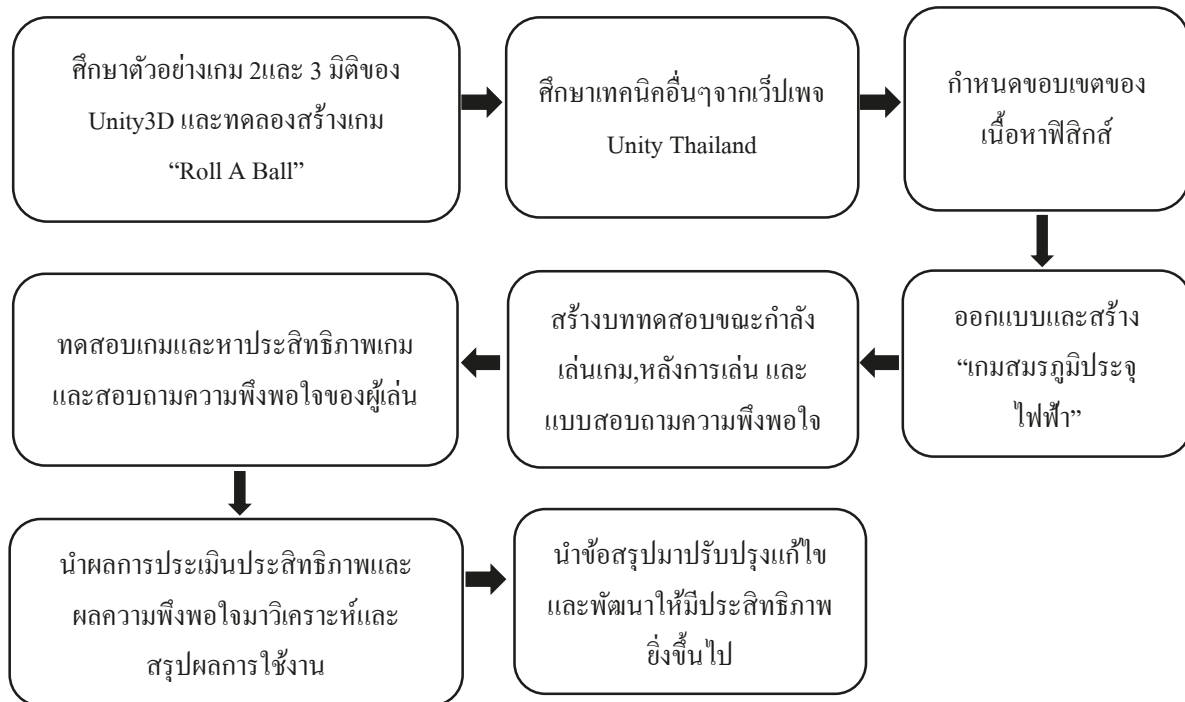
$$\text{คลอมป์} \quad F = \frac{kQ_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$

$$\text{และสมการสนามไฟฟ้า} \quad E = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัวของการแปรผันในระบบเอสไอ มีหน่วย นิวตัน·เมตร² ต่อ คลอมป์² แรง F มีหน่วยเป็นนิวตัน Q_1 และ Q_2 มีหน่วยเป็นคลอมป์และระยะระหว่างประจุ r มีหน่วยเป็นเมตร สำหรับค่าคงที่ k เมื่อตัวกลางระหว่างประจุทั้งสองเป็นสุญญากาศหรืออากาศ ค่าคงตัว $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ซึ่งมีค่า $8.9876 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ หรือประมาณ $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ เมื่อ ϵ_0 คือสภาพยอมในสุญญากาศ (Permittivity) มีค่าประมาณ $8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ เมื่อได้ขอบเขตของเนื้อหาและข้อมูลทางทฤษฎีที่ชัดเจนจากบทความที่เกี่ยวข้องจากแหล่งอ้างอิง เช่น หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ [6] และศึกษาข้อมูลที่สอดคล้องกับขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ [7] ครบถ้วนแล้ว จึงวางโครงเรื่องและออกแบบเกมให้เหมาะสมและสวยงามน่าใช้งาน โดยดำเนินการเป็นลำดับขั้น ดังแผนภาพที่ 1 โดยศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับโปรแกรม Unity3D และศึกษาตัวอย่างเกม 2 มิติ และ 3 มิติที่สร้างจาก Unity3D [8-15] และศึกษาการสร้างเกม “Roll A Ball” [16] และการสร้างเกม “Claire”, “Ping-Pong”, “Charge” และ “Tappy Plane” เพื่อให้เข้าใจเทคนิคการออกแบบและวิธีฝัง (Embedded) code ภาษา C# ซึ่งใช้ในโปรแกรม Unity3D ซึ่งเป็นเทคนิคระดับสูงและเทคนิคอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการนำมาสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” จากเว็บเพจ Unity Thailand [17] โดยการฝัง code ภาษา C# เป็นขั้นตอนการออกแบบเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าให้สามารถคำนวณเพื่อบอกขนาดและทิศทางตามหลักการของเรื่องแรงทางไฟฟ้าอันเนื่องมาจากจุดประจุบวกและลบ

โดยในการออกแบบและสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” อาศัยเทคนิคบางส่วนจากเกม Ping-Pong และเกม Hockey ทำให้เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าประกอบด้วยขั้นตอนการเล่น 2 ส่วน (ด่าน) คือ ส่วนของ “แรงกระทำต่อประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า E ” และส่วนของ “แรงกระทำระหว่างประจุไฟฟ้าที่เหมือนและแตกต่างกัน” โดยเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า ที่ได้สร้างขึ้นได้แสดงส่วนประกอบโดยสังเขปไว้ดังภาพที่ 2 ซึ่งมีบททดสอบขณะกำลังเล่น “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” และ

แบบทดสอบหลังการเล่น โดยมีแบบสอบถามความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” เพื่อใช้ประเมิน “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” สำหรับใช้ปรับปรุงแก้ไข แล้วจึงนำไปทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเกมพร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าจากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน และนำผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมและผลจากแบบสอบถามความพึงพอใจมาวิเคราะห์และสรุปผลการใช้งาน “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” และสุดท้ายนำผลการทดสอบและการประเมินมาสรุปหาข้อผิดพลาดเพื่อปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาให้เป็นเกมเพื่อเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



ภาพที่ 1 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อสร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” เวอร์ชันทดสอบ (Beta Version หรือ Version 0.1) แล้วเสร็จ ได้นำไปทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นกับนักศึกษาสาขาฟิสิกส์จำนวน 30 คนและโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อเสนอแนะ ตรวจสอบ แก้ไขและปรับปรุง แล้วได้นำไปทำการทดสอบกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คนซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง โดยใช้วิธีเลือกแบบสุ่มอย่างง่ายและมีการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อหาระดับความพึงพอใจ ซึ่งจะมีช่วงคะแนนการแบ่งระดับความพึงพอใจ คือ “มากที่สุด” อยู่ในช่วง 4.51 – 5.00 “มาก” อยู่ในช่วง 3.51 – 4.50 “ปานกลาง” อยู่ในช่วง 2.51 – 3.50 “น้อย” อยู่ในช่วง 1.51 – 2.50 และ “น้อยที่สุด” อยู่ในช่วง 1.00 – 1.50 และร้อยละ (Percentage) ของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบประสิทธิภาพระหว่างเรียน (E_1) ดังสมการที่ (3)

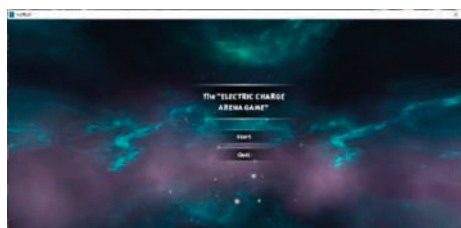
$$E_1 = \frac{\sum x}{N} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{X}}{A} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ E_1 คือประสิทธิภาพของกระบวนการ $\sum_N x$ คือคะแนนรวมของแบบฝึกหัดปฏิบัติกิจกรรมหรืองานที่ทำระหว่างเรียนทั้งที่เป็นกิจกรรมในห้องเรียนและนอกห้องเรียนหรือแบบออนไลน์ A คือคะแนนเต็มของแบบฝึกปฏิบัติทุกชิ้นรวมกัน N คือจำนวนตัวอย่างและร้อยละของค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (E_2) ดังสมการที่ (4) เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสื่อซึ่งอยู่ในลักษณะเกมเพื่อการศึกษา

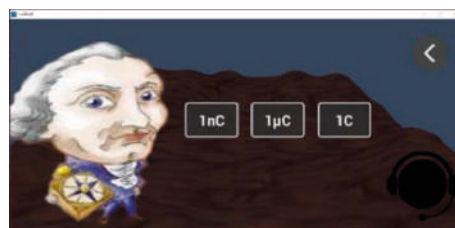
$$E_2 = \frac{\frac{\sum F}{N}}{B} \times 100 \text{ หรือ } \frac{\bar{F}}{B} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ E_2 คือประสิทธิภาพของผลลัพธ์ $\sum_F$ คือคะแนนรวมของผลลัพธ์ของการประเมินหลังเรียน B คือคะแนนเต็มของการประเมินสุดท้ายของแต่ละหน่วยประกอบด้วยผลการสอบหลังเรียนและคะแนนจากการประเมินงานสุดท้าย N คือจำนวนตัวอย่าง โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ได้ผลดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพ $E_1 / E_2 = 82.33 / 80.67$ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ $80 / 80$ และระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ดังตารางที่ 2 ซึ่งผลโดยรวมอยู่ในระดับความพึงพอใจที่มากที่สุด ทำให้ทราบว่า “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัลในรูปแบบของเกมตอบสนองผู้เรียนโดยตรง เพราะได้รับการกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติผ่านการอยากรู้ อยากเห็น ได้เล่น ได้ลองกับสถานการณ์จำลอง โดยต้องนำความรู้ที่ได้เรียนไปก่อนหน้านั้นมาใช้งานซึ่งสอดคล้องกับบทเรียน รวมไปถึงได้พบกับประสบการณ์แปลกใหม่ซึ่งไปส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์ได้ด้วยตนเอง

แต่อย่างไรก็ตาม “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ยังจะต้องได้รับการทดสอบหรือออกแบบการทดสอบในด้านข้อได้เปรียบทั้งเชิงวิชาการและความพึงพอใจที่เกิดขึ้นจากการใช้งานที่ชัดเจนมากกว่านี้ และต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถใช้งานไปบนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ หรือสามารถเล่นแบบออนไลน์ หรือเล่นเป็นกลุ่มได้ต่อไป



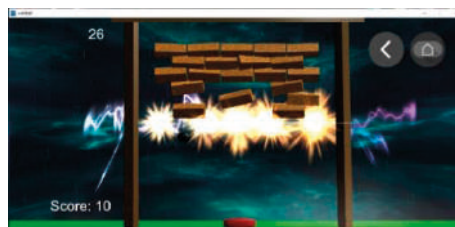
(a)



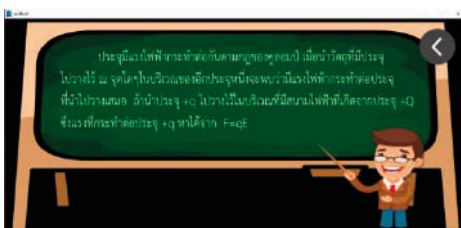
(b)



(c)



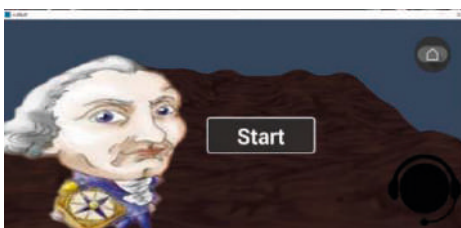
(d)



(e)



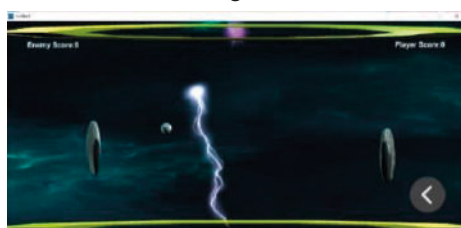
(f)



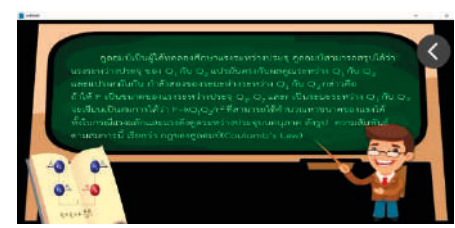
(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

ภาพที่ 2 (a) หน้าหลักของเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า (b) หน้าแรกของเกมด่านที่หนึ่ง (c) หน้ากติกาเกมด่านที่หนึ่ง
(d) หน้าเกมด่านที่หนึ่ง (e) หน้าความรู้เกมด่านที่หนึ่ง (f) หน้าคำถามเกมด่านที่หนึ่ง (g) หน้าแรกของเกมด่านที่สอง
(h) หน้ากติกาเกมด่านที่สอง (i) หน้าเกมด่านที่สอง (j) หน้าความรู้เกมด่านที่สอง (k) หน้าคำถามเกมด่านที่สอง
(l) หน้าสุดท้ายเมื่อชนะเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระหว่างเรียนและหลังเรียนของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
จำนวน 30 คนซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง

คนที่	คะแนนรวม จากแบบฝึก ระหว่าง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คะแนนรวม จากแบบ ทดสอบหลัง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คนที่	คะแนนรวม จากแบบฝึก ระหว่างเรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คะแนนรวม จากแบบ ทดสอบหลัง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คนที่	คะแนนรวม จากแบบฝึก ระหว่างเรียน (เต็ม 10 คะแนน)	คะแนนรวมจาก แบบ ทดสอบหลัง เรียน (เต็ม 10 คะแนน)
1	7	9	11	7	8	21	9	7
2	7	9	12	6	5	22	9	6
3	7	9	13	8	7	23	9	9
4	7	9	14	9	7	24	10	9
5	7	9	15	9	6	25	8	9
6	7	9	16	7	6	26	9	10
7	8	9	17	9	6	27	9	9
8	10	9	18	9	6	28	10	8
9	10	10	19	9	10	29	10	10
10	6	6	20	7	8	30	8	8
								$E_1 = 82.33 \quad E_2 = 80.67$

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คน
ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับ ความพึงพอใจ
1. ผู้เล่นได้รับทักษะความรู้ในด้านการคิดแก้ปัญหา	4.53	0.63	มากที่สุด
2. ผู้เล่นจะเกิดการจินตนาการที่ดี	4.57	0.63	มากที่สุด
3. ผู้เล่นเกมได้ความรู้หรือ ได้ใช้ความรู้เรื่อง “แรงกระทำต่อประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า”	4.70	0.47	มากที่สุด
4. ผู้เล่นเกมได้ความรู้หรือ ได้ใช้ความรู้เรื่อง “แรงระหว่างประจุไฟฟ้า”	4.63	0.49	มากที่สุด
5. เวลาในการเล่นเหมาะสมกับเกมในแต่ละด่าน	4.57	0.63	มากที่สุด
6. ผู้เล่นเล่นแล้วเข้าใจง่าย	4.53	0.57	มากที่สุด
7. เกิดความสนุกและได้ความรู้ในการเล่น	4.70	0.70	มากที่สุด
8. เกมช่วยกระตุ้นผู้เล่นให้เกิดความสนใจเรียนมากขึ้น	4.67	0.55	มากที่สุด
9. รูปแบบของเกมสวยงามและเหมาะสม	4.63	0.76	มากที่สุด
10. เกมมีประโยชน์ต่อผู้เล่น	4.80	0.41	มากที่สุด
รวม	4.63	0.11	มากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ได้สร้าง “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” : เกมสำหรับเรียนรู้เรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์บนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะ โดยใช้โปรแกรม Unity3D ซึ่งได้ออกแบบสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ทำให้สามารถใช้เป็นสื่อเสริมการเรียนรู้ด้วยตัวเองที่มีความบันเทิงเข้ามาผสมผสานหรือที่เรียกว่า “ศึกษานันทนาการ” ประกอบด้วยเนื้อหา 2 เรื่อง ได้แก่ ประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์ ภายในเกมประกอบด้วยแบบฝึกทดสอบความรู้ระหว่างใช้งานเกมสองช่วงรวมถึงแบบทดสอบหลังการใช้งานเสร็จสิ้น โดยที่ผู้เล่นต้องใช้ความรู้และความเข้าใจในเรื่องประจุไฟฟ้าและแรงคูลอมป์เพื่อเอาชนะและผ่านด่านของเกมไปได้ ซึ่งจะเล่นเกมบนอุปกรณ์พกพาอัจฉริยะอย่างคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ โดยมีภาพเคลื่อนไหวเสียงประกอบ ความสนุกสนาน ความตื่นเต้น การแข่งขัน ความท้าทาย การตอบสนองกับผู้อื่นและการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นหรือผู้เล่นได้ตลอดเวลา ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญของกระบวนการการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งช่วยเสริมทักษะการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เนื่องจากปัจจัยที่มีแรงกระตุ้นการเรียนรู้โดยธรรมชาติ ทำให้เกิดความสนุกสนานจากการต้องเรียนรู้กฎเกณฑ์ เข้าใจวัตถุประสงค์ ยอมรับและเคารพ ผลลัพธ์ของเกม การพยายามแก้ปัญหาในเกมจะช่วยกระตุ้นและจูงใจให้ผู้เล่นเกิดความคิดสร้างสรรค์ จากการประเมินประสิทธิภาพ “เกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้า” เพื่อการเรียนรู้ โดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 30 คนซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายจริง ได้ผลลัพธ์ $E_1/E_2 = 82.33/80.67$ ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ คือ 80/80 และระดับความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อเกมสมรรถภูมิประจุไฟฟ้าโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเกมสำหรับการเรียนรู้ดังกล่าวจะต้องได้รับการแก้ไขและพัฒนาให้มีความทันสมัย ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ. 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] **Minecraft: Education Edition**. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2560, จาก <https://education.minecraft.net>
- [2] โกวิท ทรัพย์พิศาล. (2553). “เกมคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา: การเรียนรู้ผ่านการเล่น การลงมือปฏิบัติและสถานการณ์จำลอง”, **นิเทศศาสตร์ปริทัศน์**. 14(2), 37-46.
- [3] Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G. and Angelova, G. (2015) “Gamification in Education: A Systematic Mapping Study”, **Educational Technology & Society**. 18(3), 75–88.
- [4] Erenli, K. (2013). “The Impact of Gamification - Recommending Education Scenarios.” **International Journal of Emerging Technologies in Learning**. 8, 15-21.
- [5] Lister, M.C. and College, H. (2015). “Gamification: The effect on student motivation and performance at the post-secondary level”, **Issues and Trends in Educational Technology**. 3, 1-22.
- [6] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 4**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- [7] นัตรชัย ศรีนิตวรงค์. (ม.ป.ป.). **คู่มือสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องแรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมป์**. คู่มือสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์ โดยความร่วมมือระหว่าง สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.phukhiao.ac.th/obec-media/2554/manual/>.

- [8] แผนการจัดการเรียนรู้ (ฉบับอบรมครู) สาขาคอมพิวเตอร์. **หลักสูตรการเขียนโปรแกรมScratch เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์**. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- [9] ศรัญญา ผาเป้า. (2551). ผลการใช้เกมคอมพิวเตอร์เป็นสื่อเสริม วิชาวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 2 ที่มีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางวิทยาศาสตร์ต่างกัน. ปรินุณานิพนธ์ ปรินุณาศึกษามหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [10] สุไม บิลไบ และศศิฉาย ชนะมัย. (2557). “เกมคอมพิวเตอร์กับการเรียนรู้ยุคดิจิทัล Computer Games with Learning in Digital Age”, **วิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 5(1), 177-182.
- [11] หทัยรัตน์ โตประโคน และนายวราเทพ คงนิม. (2558). **โครงการการสร้างเกมผจญภัยในโลกโปเกมอนด้วย Unity 3D**. สงขลา: วิทยาลัยอาชีวศึกษาบริหารธุรกิจวิทยาสงขลา.
- [12] อภินันท์ ภิรมย์ ภักย์ สธนเสาวภาคย์ และภัทราวัลย์ คำปลิว. (2559). “การพัฒนาเกมสามมิติ เรื่อง เกม ทางออกอยู่ไหน 3D Game Development: Where are exit?”, ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 2**. 15-20. วันที่ 30 - 31 มีนาคม 2559 มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- [13] อภินันท์ รุ่งสูงเนิน. (2550). **การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติ เรื่องโซล่าผจญภัย**. ปรินุณานิพนธ์ปรินุณาศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [14] อภิสิทธิ์ เต็มสุข. (2558). **เกมยิงความรู้ 3 มิติ Game Knowledge Shoot 3D**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สุรินทร์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- [15] **EP2: มารู้จักหน้าต่าง Unity กัน**. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2558, จาก <https://pieroblog.com>.
- [16] **Roll A Ball**. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2558, จาก <https://unity3d.com>.
- [17] **Unity3D Thailand**. สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2558, จาก <https://www.facebook.com/groups/unity3dthailand>.

การสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อการเรียนรู้แบบ STEAM

The Construction of 3D Printing Machine for STEAM Learning

กมล ทัลวัลลี¹ วัศพล สมใจ¹ เกษม เปรมประยูร³ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}

Kamon Tanlawan¹, Wassapon Somjai¹, Kasem Premprayool³ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

การสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อใช้สำหรับการจัดการเรียนการสอนแบบ STEAM โดยได้พัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิติแบบ Fuse Deposition Manufacturing หรือ FDM โดยโครงสร้างหลักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่นำกลับมาใช้ใหม่ จึงทำให้ต้นทุนในการสร้างลดลงและสามารถนำเครื่องพิมพ์สามมิติไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน เช่น การสร้างสื่อการสอนหรือการเรียนแบบ STEAM (Science, Technology, Engineer, Fine Art and Mathematics) โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์สามมิติ 5 ด้าน คือ 1. ความเร็วในการพิมพ์วัสดุ 2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวฉีด 3. ขนาดสูงสุดของการพิมพ์ 4. ความแม่นยำในการพิมพ์ และ 5. การพิมพ์รูปทรงต่างๆ จากการศึกษาและทดสอบพบว่า ด้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหัวฉีดใช้เวลา 90 วินาทีในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 29 °C เป็น 220 °C ด้านขนาดการพิมพ์รูปร่าง 3 มิติพบว่ามีความสูงอยู่ที่ความกว้าง 130 mm ความยาว 200 mm และความสูง 160 mm ด้านความเร็วในการพิมพ์วัสดุพบว่าสามารถพิมพ์โมเดลลูกบาศก์ขนาด 1 ลูกบาศก์นิ้วใช้เวลา 22 นาที ด้านความแม่นยำในการพิมพ์มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 2.55 เปอร์เซ็นต์ และด้านการพิมพ์รูปทรงต่างๆ สามารถพิมพ์รูปทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก ทรงกลมได้อย่างดี ดังนั้นเครื่องพิมพ์สามมิติที่สร้างขึ้นสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้ดีในระดับพอใช้ ซึ่งต้องได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องพิมพ์สามมิติ การพิมพ์สามมิติ การศึกษาแบบ STEAM Fuse Deposition Manufacturing

Abstract

We have constructed and developed a Fuse Deposition Manufacturing (or FDM) 3D printer using for teaching and learning STEAM (Science, Technology, Engineer, Fine Art and Mathematics). A body of this 3D printer was applied from recycle materials. There are results to reduce the materials cost of 3D printer for help in teaching and learning. This 3D printer was evaluated for efficiencies by 5 choices: *i.e.*, *i*) the speed of printing materials (*e.g.* PLA & ABS), *ii*) the

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ อ.ดร., สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ BS.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery and Developments (RLIMD³), Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Lecturer, Dr., Department of Teaching Science and Mathematics, Faculty of Education, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nufermi2@gmail.com

change of nozzle temperature, *iii*) maximum size of printing, *iv*) the printing precision, and *v*) the printing of various shapes. It was found that on the change of temperature, the nozzle took 90 seconds to change the temperature from 29 °C to 220 °C. In case of the maximum size of printing, the 3D maximum size was 130 mm in width, 200 mm in length and height was 160 mm. For a print speed, the 3D printer could feeds materials to print a one cubic-inch model within 22 minutes was found. The accuracy of printing is 2.55%. Finally, this 3D printer could precisely create a cubic, cylindrical and spherical shapes. However, this 3D printer created is still working well at a fair level. There must be further improved in higher performance.

Keywords: 3D Printer, 3D Printing, STEAM Study, Fuse Deposition Manufacturing

บทนำ

เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงในยุคศตวรรษที่ 21 ทำให้ประเทศที่กำลังพัฒนาหลายประเทศที่มีบทบาทในเชิงการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ประกอบกับโครงการ RepRap [1] ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติที่สามารถนำมาใช้งานในบ้าน ได้เปิดเผยข้อมูลของเครื่องพิมพ์สามมิติอย่างเต็มรูปแบบทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เครื่องพิมพ์สามมิติจึงมีราคาที่ถูกลงอย่างมากจนบุคคลทั่วไปสามารถเป็นเจ้าของได้ เครื่องพิมพ์สามมิติจึงกลายเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าจับตามองในโลกยุคปัจจุบัน

เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานออกมาเป็นรูปทรง 3 มิติ สามารถจับต้องได้ แตกต่างจากเครื่องพิมพ์เอกสารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันที่พิมพ์งานออกมาในรูปแบบ 2 มิติ โดยเครื่องพิมพ์สามมิติจะใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุเป็นชั้นบางๆ ทีละชั้นและนำชั้นบางๆ เหล่านั้นมาซ้อนทับกันจนได้เป็นตัวชิ้นงาน เรียกกระบวนการนี้ว่า Additive Process เครื่องพิมพ์สามมิติมีหลากหลายประเภท แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ Material Extrusion เนื่องมาจากราคาที่ต่ำและไม่สูงและเป็นเทคโนโลยีที่เป็นแบบ Open Source สามารถนำไปสร้างได้โดยไม่มีปัญหาทางด้านลิขสิทธิ์ เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า Fuse Deposition Material หรือ FDM

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยนำความรู้ทางฟิสิกส์ที่หลากหลายมาใช้ในการสร้างและพัฒนานวัตกรรมยุคใหม่ ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการนำกระบวนการคิดและการเรียนรู้ไปใช้ต่อไป และเป็นการกระตุ้นให้ผู้สนใจสามารถสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติขึ้นมาได้ด้วยวัสดุที่มีจำหน่ายทั่วไปในร้านขายวัสดุก่อสร้าง โดยโครงสร้างหลักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่นำมาแปรรูปใหม่ จึงทำให้ต้นทุนในการสร้างลดลง และนำเครื่องพิมพ์สามมิติที่ได้สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน เช่น การสร้างสื่อการสอนหรือการสอนแบบ STEAM (Science, Technology, Engineer, Fine Art and Mathematics) [2] ในโรงเรียนที่จะปรากฏขึ้นในอนาคตอันใกล้ต่อไป

วิธีการวิจัย

1. ส่วนประกอบทางกลและอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ หรือ hardware

เครื่องพิมพ์สามมิติเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยกลไกและฟังก์ชันการทำงานหลายส่วนทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อให้สามารถสร้างชิ้นงานตามความต้องการของผู้ใช้ โดยได้สร้างเครื่องพิมพ์สามมิติชนิดระบบพิกัดฉาก (Cartesian) ซึ่งมีการเคลื่อนตำแหน่งของหัวฉีดวัสดุ (Extruder) ในแกน X Y และ Z โดยโครงสร้างส่วนใหญ่ได้อ้างอิงมาจาก Vulcman [3] มีส่วนประกอบสำคัญดังต่อไปนี้

1.1 ส่วนโครงสร้างการขับเคลื่อนเชิงกล

เครื่องพิมพ์สามมิติสามารถแจกแจงโครงสร้างตามแนวแกน X (ภาพที่ 1) แกน Y (ภาพที่ 2) และแกน Z (ภาพที่ 3) ทำให้หัวฉีดวัสดุเคลื่อนที่อยู่ในแนวแกน +X +Y และ +Z โดยใช้วิธีการพิมพ์สามมิติในการสร้างชิ้นส่วนของทั้งสามแกน

1.2 ส่วนฐานรองชิ้นงาน

สำหรับส่วนฐานรองชิ้นงาน (ภาพที่ 4) ใช้เป็นพื้นที่รองรับการฉีดพ่นวัสดุเพื่อขึ้นรูปโดยใช้วิธีฉีดวัสดุแบบวางเรียงกันเป็นชั้นๆ ซึ่งเป็นฐานที่สร้างจากแผ่นไม้กระดานอัดเหลือใช้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา โดยมีขนาด 21×21 cm จำนวนสองแผ่น แผ่นแรกทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเสริมให้กับโครงสร้างแนวแกน X ภาพที่ 1(b) เพื่อให้สามารถติดแผ่นไม้กระดานอัดได้โดยไม่ทำให้สกรูยึดแผ่นกระดานอยู่บริเวณกลางแผ่น ส่วนแผ่นที่สองเป็นฐานรองรับชิ้นงานสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน X

1.3 ส่วนรองรับการติดตั้งหัวฉีดวัสดุ

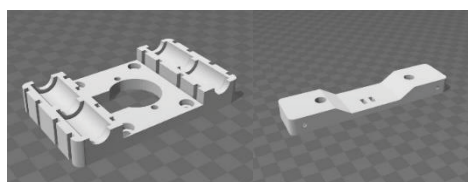
ส่วนนี้เป็นส่วนสำหรับติดตั้งหัวฉีดวัสดุ (Extruder) ดังภาพที่ 5 ซึ่งจะติดอยู่กับแกน Y เพื่อให้หัวฉีดสามารถเคลื่อนที่ได้บนแกน Y และแกน Z

1.4 ส่วนสมองกลควบคุมอิเล็กทรอนิกส์และแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

การควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติให้ทำงานได้ตามต้องการนั้น ต้องมีส่วนสมองกลสำหรับใช้ควบคุมและรับคำสั่ง โดยได้เลือกใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 ดังภาพที่ 6(a) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์หลายๆ ตัว โดยบอร์ดดังกล่าวทำหน้าที่รับคำสั่งจากโปรแกรม (โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) ซึ่งจะแปลคำสั่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อให้บอร์ดสามารถสั่งการควบคุมไปยังอุปกรณ์ในตารางที่ 1 เช่น Micro Stepper Motor ให้ทำงาน หรือสั่งให้ส่งกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ Hot-end เพื่อให้เกิดความร้อน เป็นต้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบต่อเข้ากับบอร์ดเป็นดังตารางที่ 1 และใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 12 V รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ช่วยจับยึดข้อต่อทั้งส่วนข้อต่อที่อยู่นิ่งและส่วนข้อต่อที่ต้องเคลื่อนที่ เมื่อนำอุปกรณ์ทุกส่วนมาเชื่อมต่อกันจะได้เป็นเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีขนาดของตัวเครื่องประมาณ $50 \times 40 \times 30$ cm³ โดยภาพหลังประกอบเสร็จแสดงไว้ดังภาพที่ 7

1.5 ต้นทุนการสร้าง

ราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติใช้งบประมาณทั้งสิ้น 7,327 บาท แต่ในการสร้างเครื่องพิมพ์สามมิติได้สั่งพิมพ์ชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยความหนาแน่น (infill) 80% หากลดความหนาแน่นให้ต่ำลงจะสามารถประหยัดต้นทุนลงไปได้ระดับหนึ่ง

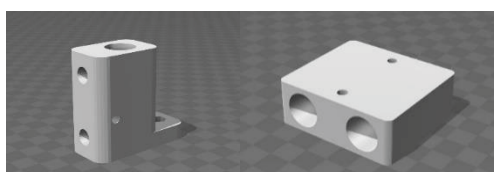


(a)

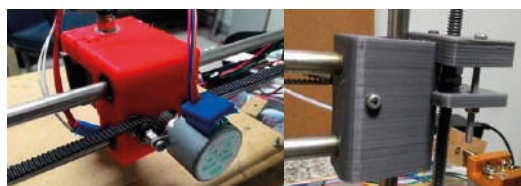


(b)

ภาพที่ 1 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวแกน X (b) แสดงโครงสร้างแนวแกน X ที่ได้สร้างขึ้น

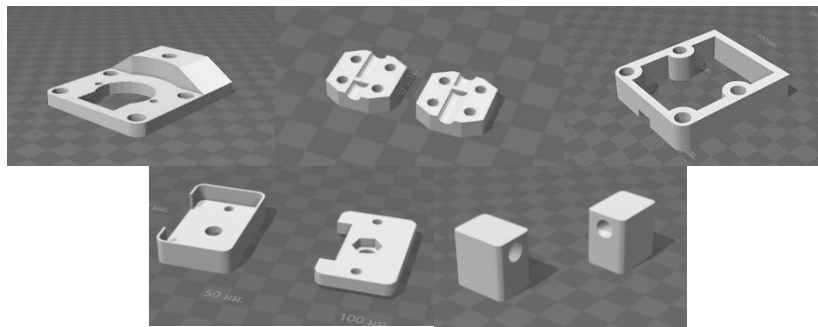


(a)

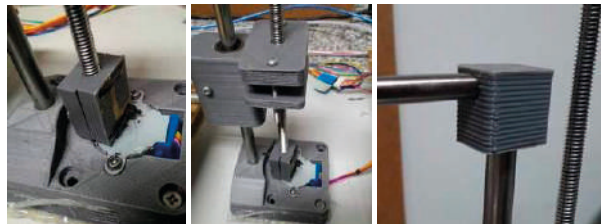


(b)

ภาพที่ 2 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวแกน Y (b) แสดงโครงสร้างแนวแกน Y ที่ได้สร้างขึ้น



(a)



(b)

ภาพที่ 3 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างแนวแกน Z (b) แสดงโครงสร้างแนวแกน Z ที่ได้สร้างขึ้น



(a)

(b)

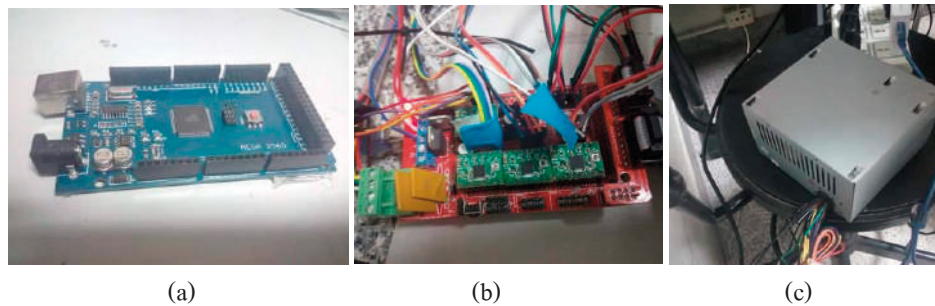
ภาพที่ 4 (a) ฐานรองชิ้นงาน (b) โครงสร้างฐานรองชิ้นงานที่ประกอบแล้ว

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่จำเป็นในส่วนสมองกลอิเล็กทรอนิกส์

รายการ	จำนวน
1. Arduino Mega 2560	1 ชุด
2. Ramps 1.4	1 ชุด
3. Micro Stepper Motor Driver A4988	4 ตัว
4. LCD Screen and Rotary Controller	1 ชุด
5. Limit Switches	3 ชิ้น
6. 28byj-48 Stepper motor	4 ตัว
7. E3D V6 Hot-end with Single Cooling Fan for 1.75mm Bowden Filament 0.4 mm Nozzle	1 ชุด



ภาพที่ 5 (a) ภาพต้นแบบชิ้นส่วนโครงสร้างยึดหัวฉีด (b) โครงสร้างส่วนยึดหัวฉีดวัสดุที่มีการติดตั้งหัวฉีดวัสดุแล้ว



ภาพที่ 6 (a) Arduino Mega 2560 (b) Ramps 1.4 (c) แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 12 V

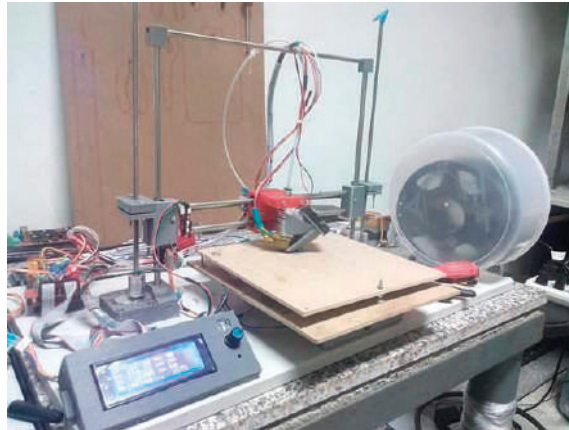
2. การปรับค่าพารามิเตอร์ของส่วนโปรแกรม

ในการจะควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ จะต้องมีส่วนของโครงสร้างคำสั่งและส่วนการรับคำสั่งเพื่อจะสามารถสั่งให้เครื่องพิมพ์สามมิติทำงานตามที่ต้องการ โดยส่วนนี้เป็นส่วนของโปรแกรมซึ่งแบ่งเป็นส่วนย่อย คือ

2.1. Firmware [4] เป็น โปรแกรมขนาดเล็กที่ถูกเขียนขึ้นและบันทึกไว้ในชิปของบอร์ด Arduino Mega 2560 โดยผ่านโปรแกรม Arduino อีกชั้นหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด Firmware ที่ใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิตินี้เป็นฟรีแวร์จาก Repetier [5] ซึ่งดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ที่ระบุไว้ในส่วนอ้างอิงที่ [6] โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ เช่น Motherboard เลือกใช้ Ramps 1.4 เป็นต้น

2.2. โปรแกรม Repetier Host [7] เป็น โปรแกรมที่ทำหน้าที่หลัก 2 อย่าง คือ ทำการติดต่อสื่อสารกับส่วนสมองกลของเครื่องพิมพ์สามมิติและเรียกใช้โปรแกรมการคำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของหัวฉีดวัสดุหรือ tool path ซึ่งเรียกว่า Slicer (โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) เช่น Cura [8] หรือ Slic3R [9] เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวเป็นฟรีแวร์ด้วยเช่นกัน และดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ที่ระบุไว้ในส่วนอ้างอิงที่ [10] โดยแบบจำลอง 3 มิติที่จะใช้พิมพ์ได้นั้นจะต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .stl, .obj หรือ .amf

2.3. โปรแกรม Cura [11] เป็น โปรแกรม Slicer เป็นโปรแกรมสำหรับการตัดแบ่งแบบจำลองชิ้นงานที่ต้องการพิมพ์ออกเป็นชั้นๆ แล้วคำนวณหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหัวฉีดวัสดุ สามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของแกน XYZ ให้ไปยังตำแหน่งที่กำหนดเพื่อฉีดเนื้อวัสดุสร้างเป็นชิ้นงานตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่ายกว่าโปรแกรม Slic3R เนื่องจากมีส่วน user interface ที่เข้าใจได้ง่าย และมี Interface ที่สวยงาม ทำให้ได้รับความนิยม โดยดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ที่ระบุไว้ในส่วนอ้างอิงที่ [8] และรูปแบบไฟล์จะอยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า G-Code [12] ซึ่งสามารถนำไปใช้งานกับโปรแกรม Repetier-Host ได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 7 ภาพเครื่องพิมพ์สามมิติหลังประกอบเสร็จ

3. Calibration

เครื่องพิมพ์สามมิติจำเป็นต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ของตำแหน่งของหัวฉีดวัสดุในเครื่องพิมพ์ โดยตั้งค่าในโปรแกรมให้ตรงกับตำแหน่งที่เป็นจริงของ Hardware ซึ่งจะต้องทำการปรับเทียบค่า 'Step per mm' ของสเต็ปมอเตอร์ให้มีค่าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถคำนวณผ่านโปรแกรมต่างจากค่ามุมของสเต็ปมอเตอร์ แต่สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิตินี้ได้ดัดแปลง 28byj-48 Stepper motor ซึ่งเป็นมอเตอร์ 4 เฟสให้เหลือเพียง 2 เฟส จึงไม่สามารถระบุค่ามุมของสเต็ปมอเตอร์ที่แน่นอนได้ จึงได้เลือกใช้วิธีการพิมพ์โมเดลสามมิติแล้วปรับเทียบค่า 'Step per mm' ด้วยการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานสามมิติ โดยมีขั้นตอนคือ พิมพ์โมเดลลูกบาศก์ขนาด $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ แล้ววัดขนาดของลูกบาศก์แล้วทำการปรับเพิ่มหรือลดค่า Step per mm ตามขนาดของลูกบาศก์ที่เปลี่ยนแปลงไปจนได้ค่าที่ถูกต้อง

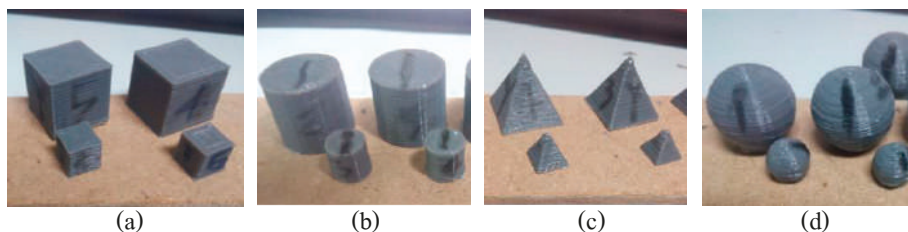
ผลการดำเนินงาน

1. คุณสมบัติของเครื่องพิมพ์สามมิติ

- 1.1 คุณสมบัติทั่วไป: เครื่องพิมพ์สามมิติมีคุณสมบัติทั่วไปดังตารางที่ 2
- 1.2 เครื่องพิมพ์สามมิติมีขนาดสูงสุดของการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองสามมิติ โดยแยกตามระยะแนวแกน $X = 130 \text{ mm}$ แกน $Y = 200 \text{ mm}$ และแกน $Z = 160 \text{ mm}$ ทำให้ได้ขนาดปริมาตรสูงสุดของการพิมพ์เป็น $4,160 \text{ mm}^3$
- 1.3 ความเร็วของหัวฉีด
 - 1.3.1 มีความเร็วในการฉีดเส้นพลาสติกชนิด PLA ประมาณ 22.84 mm/นาที่
 - 1.3.2 มีความเร็วการเพิ่มอุณหภูมิของหัวฉีดวัสดุจาก 29.0°C ถึง 220.9°C ใช้เวลา 90 วินาที
- 1.4 การทดสอบการพิมพ์วัตถุรูปทรงเรขาคณิต 4 รูปทรง คือ 1.ลูกบาศก์ 2.ทรงกระบอก 3.พีระมิด และ 4.ทรงกลมขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ และ $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ สามารถพิมพ์รูปทรงต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 8 โดยมีขนาดเฉลี่ยดังตารางที่ 3 และมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 0.94 1.33 2.55 และ 1.05 ตามลำดับโดยความคลาดเคลื่อนของการพิมพ์พีระมิดมีค่ามากที่สุดเกิดจากบริเวณยอดพีระมิดเป็นพื้นที่ที่เล็กกว่า 0.5 mm^2 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดวัสดุ ดังนั้นเครื่องพิมพ์สามมิติที่ได้สร้างขึ้นจึงไม่สามารถพิมพ์แบบจำลองสามมิติที่มีขนาดเล็กกว่าหัวฉีดวัสดุได้ ปัจจุบันนี้ขนาดของหัวฉีดถูกปรับลดลงเป็น 0.4 และ 0.25 เครื่องพิมพ์สามารถปรับเปลี่ยนหัวฉีดให้มีขนาดเล็กลงได้ แต่จำเป็นต้องปรับลดความสูงเลเซอร์ตามความเหมาะสมกับขนาดของหัวฉีด แต่ไม่ได้รายงานผลการทดสอบไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งจะได้ทำการทดสอบสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติในรุ่นถัดไปที่กำลังอยู่ระหว่างปรับปรุงและพัฒนา

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องพิมพ์สามมิติ

รายการ	คุณสมบัติ
ขนาดหัวฉีด (สามารถเปลี่ยนขนาดได้)	0.50 mm
ความสูงเลเยอร์	0.24 mm
ความหนาขอบนอกชิ้นงาน	1.00 mm
อุณหภูมิหัวฉีดเส้นพลาสติก PLA	220.00 °C
ขนาดเส้นพลาสติก PLA	1.75 mm
การดึงเส้นพลาสติก PLA กลับ	6.50 mm
Slicer	Cura 2.4
Printer Host	Repetier Host , SD card
Printer Firmware	Repetier Firmware



ภาพที่ 8 ผลการพิมพ์วัตถุทรงสามมิติขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ และ $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$

(a) ลูกบาศก์ (b) ทรงกระบอก (c) พีระมิดและ (d) ทรงกลม

2. การประยุกต์ใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ

เครื่องพิมพ์สามมิติสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย แม้แต่ในเรื่องของการจัดการศึกษาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ เช่น การสร้างสื่อการสอนจากการพิมพ์วัตถุเป็นรูปสามมิติ การจัดกิจกรรมและการเรียนการสอนแบบ STEM และหรือ STEAM โดยเครื่องพิมพ์สามมิติจะช่วยลดข้อจำกัดต่างๆ ในการศึกษา แต่จะต้องเข้าใจว่าเครื่องพิมพ์สามมิติคืออะไรและจะช่วยให้การจัดการศึกษามีความง่ายและมีประสิทธิภาพได้อย่างไรเสียก่อนจึงจะทำให้การจัดการศึกษาโดยมีเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นเครื่องมือช่วยเหลือมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นการจัดการเรียนการสอนวิชาคณิตศาสตร์เรื่อง ปริมาตรของวัตถุ โดยให้นักเรียนศึกษาและอภิปรายเรื่องปริมาตรของวัตถุ ออกแบบและสร้างรูปทรงด้วยกล่องสี่เหลี่ยม 1 mm^3 จำนวน 100 กล่อง โดยให้นักเรียนสามารถตั้งได้โดยไม่สลับในคอมพิวเตอร์ แล้วนำโมเดลพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ นำชิ้นงานที่พิมพ์ไปวัดปริมาตรด้วยถ้วยเรก้า

ตารางที่ 3 ขนาดเฉลี่ยของวัตถุทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก ทรงพีระมิดและทรงกลม

ขนาดของ แบบจำลอง (mm^3)	ขนาดเฉลี่ย (mm)			ขนาดของแบบจำลอง (mm^3)	ขนาดเฉลี่ย (mm)		
	X	Y	Z		X	Y	Z
วัตถุทรงลูกบาศก์:				วัตถุทรงพีระมิด:			
$10 \times 10 \times 10$	10.10	10.10	10.05	$10 \times 10 \times 10$	9.70	9.70	9.30
$20 \times 20 \times 20$	20.25	20.10	19.80	$20 \times 20 \times 20$	19.95	20.25	19.30
วัตถุทรงกระบอก:				วัตถุทรงทรงกลม:			
$10 \times 10 \times 10$	9.80	9.90	10.00	$10 \times 10 \times 10$	9.90	9.90	9.90
$20 \times 20 \times 20$	20.30	20.10	19.50	$20 \times 20 \times 20$	20.30	20.15	19.80

ในกระบวนการดังกล่าวนักเรียนจะได้ฝึกฝนทักษะทางคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งฝึกความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการซึ่งเป็นส่วนด้านศิลปะและได้ใช้ความรู้เรื่องจุด เส้น พื้นที่และปริมาตร ซึ่งเป็นส่วนของคณิตศาสตร์ โดยการออกแบบโมเดลในโปรแกรม CAD (Computer-Aided Design) อย่างง่ายๆ โดยมีความรู้เรื่องเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นส่วนหนึ่งของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและวิศวกรรม หลังจากนั้นจึงนำแบบจำลองมาสั่งให้เครื่องพิมพ์สามมิติพิมพ์รูปทรงปริมาตรตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วนำมาทดลองหาค่าปริมาตรกับถ้วยเรก้า เพื่อแสดงให้เห็นว่าปริมาตรมีค่าเท่ากับจำนวนกล่องที่ต่อเรียงกันในหน่วยลูกบาศก์มิลลิเมตร

สรุปผลการวิจัย

จากการทำวิจัยพบว่าเครื่องพิมพ์สามมิติที่ได้สร้างขึ้นในราคาต้นทุน 7327 บาท สามารถใช้พิมพ์แบบจำลองสามมิติได้มีประสิทธิภาพระดับหนึ่ง แต่ความเร็วในการพิมพ์ขึ้นงานยังต่ำกว่าเครื่องพิมพ์สามมิติที่มีวางขายในท้องตลาดอย่างมาก เนื่องจากได้เลือกใช้ 28byj-48 Stepper motor ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีค่าทอร์กต่ำราคาถูกเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการสร้างให้มีราคาเหมาะแก่การนำไปใช้งานภายในห้องเรียน สามารถใช้เครื่องพิมพ์สามมิติในการสร้างสื่อต่างๆ เช่น โมเดลรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพจริง สามารถหาปริมาณของวัตถุที่พิมพ์ออกมาจากถ้วยเรก้าและความหนาแน่นของวัตถุ เปลี่ยนการเรียนจากหนังสือมาเป็นการลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งจะทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น และก่อให้เกิดรูปแบบการเรียนการสอนที่หลากหลาย เนื่องจากเครื่องพิมพ์สามมิติหากสามารถสร้างโมเดลในคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องพิมพ์สามมิติก็สามารถพิมพ์โมเดลนั้นออกมาเป็นของจริงได้ ทำให้เกิดสื่อการสอนได้อีกมากมาย รวมถึงสร้างอุปกรณ์ที่ไม่สามารถหาซื้อได้จากท้องตลาดได้อีกด้วย ซึ่งจะส่งผลให้สามารถทำการสอนในรูปแบบ STEAM ที่กำลังได้รับการนิยม ไม่ว่าจะเป็นการผลิตสื่อเพื่อใช้ในการสอน STEAM หรือใช้เครื่องพิมพ์สามมิติในการสอน STEAM ก็ตาม

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ.2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bowyer. (2560). **RepRap**. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2559, จาก <http://reprap.org/wiki/RepRap>.
- [2] สุทัศน์ เอกา และบรร พิมพ์ภู. (2559). **จาก STEM สู่ STEAM จึงสมบูรณ์แบบ**. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2559, จาก <https://www.facebook.com/sutat.eaka/posts/1167199053328251>.
- [3] Vulcaman. (ม.ป.ป.). **Cherry- 60€ 3D-Printer**. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.instructables.com/id/Cherry-60-3D-Printer/>
- [4] **Firmware คืออะไร? อัปเดตแล้วได้อะไร?**. สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://www.karethailand.com/what-is-firmware>.
- [5] Marcus Littwin. (ม.ป.ป.). **Repetier-Host Documentation**. สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://www.repetier.com/>.
- [6] Marcus Littwin. (ม.ป.ป.). **Repetier-Firmware configuration tool for version 0.92.9 version**. สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://www.repetier.com/firmware/v092/>.

- [7] วิวัฒน์ อรุณเรืองศิริเลิศ. (ม.ป.ป.). **วิธีการใช้งาน Repetier Host 1.0.6 สำหรับการเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer).** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://www.in2real3d.com/article/5วิธีการใช้งาน-repetier-host-1-0-6สำหรับการเครื่องพิมพ์-3-มิติ-3d-printer>.
- [8] Ultimaker. (2560). **Cura Software.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>.
- [9] Alessandro Ranellucci. (2560). **Slic3r G-code generator for 3D printers.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://slic3r.org/>.
- [10] Marcus Littwin. (ม.ป.ป.). **Repetier-Firmware Documentation.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <https://www.repetier.com/download-software/>.
- [11] Nattawat.(ม.ป.ป.). **การใช้งานโปรแกรม Cura สำหรับเครื่องพิมพ์ 3D Printer.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://www.siamreap.com/2016/01/cura-program-for-3d-printer/>.
- [12] Bowyer. (2560). **G-code.** สืบค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560, จาก <http://reaprap.org/wiki/G-code>.

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า

Water Level Measurement using Capacitance Measurement Technique

ศุภกร กตาทิการกุล^{1*}, มารินา มะหนิ², สุวิทย์ คงภักดี³ และนันท์นภัส เพชรmani⁴

Supagone Katathikarnkul^{1*}, Marina Mani², Suwit Khongpugdee³ and Nannapas Pengmanee⁴

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยมีหัววัดเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้น พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) พบว่า ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า 8.53 % FSO ความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% และ ฮิสเทอรีซิสมีค่า 2.97% FSO สามารถนำไปใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ทันที อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ: การวัดระดับน้ำ การวัดความจุไฟฟ้า วงจรบริดจ์

Abstract

This paper presents the water level measurement technique using a capacitance measurement. The probe is a parallel plate capacitor made of printed circuit board (PCB). Techniques for measuring capacitance was used by applying the modified bridge circuit. Results show that the measured voltage is in the range of millivolt (mV) and is proportional to the variation in water level, Results show non-linear and 8.53% FSO, repeatability 4.45% and hysteresis error were 2.97%FSO respectively. This technique can be efficiently used in real-time water level measurement. Moreover, it is low cost, easy to use, and portable.

Keywords: Water Level Measurement, Capacitance Measurement, Bridge Circuit

¹ นักวิชาชีพ สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

⁴ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Scientists, Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Asst. Prof., Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Asst. Prof. Dr., Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

⁴ Student Undergraduate, Department of Science and Mathematics, Faculty of Education, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel. 082-4384686. E-mail address: supagone@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการวัดระดับน้ำได้เข้ามามีบทบาทในการเฝ้าระวังปัญหาในระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตประจำวันได้ และมีส่วนในทางกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก แต่เทคนิคการเรียนรู้ในการวัดระดับน้ำที่มีอยู่ในการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยยังมีจำนวนน้อย เข้าใจยาก ราคาแพงและนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ จึงส่งผลต่อการเรียนรู้และความเข้าใจต่อวิธีการวัดระดับน้ำ และจากการศึกษาเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดระดับน้ำหลายๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาทิเช่น การใช้เทคนิค Acoustical gas resonator [1] เทคนิคของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber-optic) เทคนิคการใช้แขนกลขนาดเล็ก (Cantilever Beam) [2] เทคนิคการใช้หัววัดอุลตราโซนิก [3] หรือใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้าแบบหัววัดกึ่งทรงกระบอก [4] พบว่าการใช้เทคนิคด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์จะมีข้อจำกัดบางอย่างในการวัด เทคนิคการสร้างการวัดที่ยู่งยาก และยังมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำอย่างง่ายที่สามารถนำมาใช้ในการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดองค์ความรู้และหลักการที่ถูกต้องสำหรับวิธีการวัดระดับน้ำ

เทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ตรวจวัดระดับน้ำในการเรียนการสอนได้ง่าย คือ การวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เป็นความรู้พื้นฐานของการเรียนในวิชาฟิสิกส์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดการเรียนรู้และนำมาใช้งานได้จริง โดยมีหลักการพื้นฐานคือการใส่ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ทำการวัดระดับน้ำด้วยการวัดปริมาณไดอิเล็กตริกของน้ำซึ่งมีอยู่ในคุณสมบัติของน้ำอาทิเช่น ความเข้มข้น สารแขวนลอย และการเจือปน โครงสร้างส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือแท่งตัวนำที่แยกออกเป็น 2 ส่วน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าไดอิเล็กตริกเปลี่ยนจะส่งผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้

บทความนี้นำเสนอเทคนิคสำหรับตรวจวัดระดับน้ำโดยวัดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดคู่ขนาน โดยประกอบด้วยหัววัดมีลักษณะเป็นแบบคู่ขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์เชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์ และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับคำนวณระดับน้ำ แสดงผลบนหน้าจอ LCD ขนาด 16x4 ตัวอักษร พร้อมทั้งสามารถเก็บข้อมูลด้วย SD Card โดยเครื่องมือที่ประดิษฐ์มีข้อดีคือการติดตั้งที่ไม่ยุ่งยาก มีความสะดวก ปลอดภัยและง่ายต่อการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังมีราคาถูกและสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยการใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนและอุปกรณ์มีจำหน่ายภายในประเทศ ดังนั้นสามารถสร้างขึ้นมาใช้เองได้ซึ่งจะเป็นการลดการนำเข้าเครื่องมือที่มีราคาแพงจากต่างประเทศได้

วิธีการวิจัย

หลักการพื้นฐานการหาความจุไฟฟ้า

การหาความจุไฟฟ้าอย่างง่ายสามารถหาได้จากแผ่นโลหะที่มีพื้นที่ของแผ่นโลหะ (A) อย่างน้อยสองแผ่นวางระยะห่างน้อยที่สุดของช่องว่าง (d) มีฉนวนหรือไดอิเล็กตริกกั้นกลางอยู่มีค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก (ϵ_r) และมีค่า permittivity of free space (ϵ_0) มีเท่ากับ 8.85 (pF/m) สามารถคำนวณหาได้จากสมการของตัวเก็บประจุแผ่นเพลตแบบขนานได้ คือ

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

รูปแบบของเครื่องวัดระดับน้ำด้วยหลักการความจุไฟฟ้า

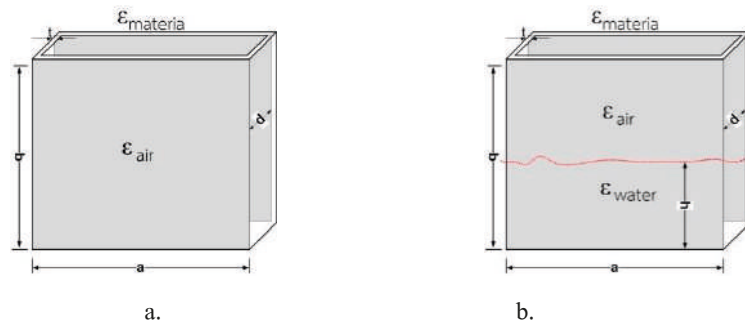
ลักษณะของเครื่องวัดระดับน้ำที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยรูปแบบของเครื่องวัดทำจากแผ่นวงจรพิมพ์มีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นคู่ขนานทำจากแผ่นทองแดง โดยที่แผ่นวงจรพิมพ์ให้เป็นรูปแบบคู่ขนานมีความสูงเท่ากับ b ความกว้างเท่ากับ a มีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ d และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ t ในกรณีที่ไม่มีน้ำมีเพียงอากาศ ดังภาพที่ 1a สามารถวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของการวัดระดับน้ำแบบความจุไฟฟ้าได้โดยเปรียบเสมือนมีค่าความจุไฟฟ้ารวมระหว่าง

ตำแหน่ง A และ B ที่เกิดจากค่าไดอิเล็กทริกของวัสดุที่ใช้ทำและค่าไดอิเล็กทริกภายในคืออากาศวงจรมุมของค่าความจุไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมกันแสดงดังภาพที่ 2 โดยสามารถหาความจุไฟฟ้าจากแผ่นคู่ขนาน ได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{\text{air}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) \quad (2)$$

ในกรณีมีไดอิเล็กทริกเป็นอากาศกับน้ำ ดังภาพที่ 1b พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะแบ่งเป็นความจุไฟฟ้าที่ได้จากน้ำรวมกับความจุไฟฟ้าที่เป็นอากาศ นั่นคือความจุไฟฟ้าของทั้งสองต่อกันแบบขนาน คำนวณหาความจุไฟฟ้าได้จากสมการดังนี้

$$C = C_{\text{water}} + C_{\text{air}} \quad (3)$$



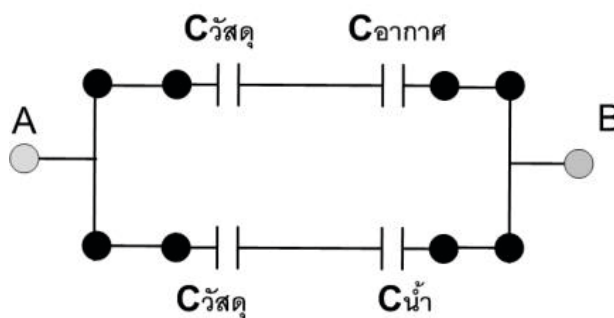
ภาพที่ 1 รูปแบบเครื่องวัดระดับน้ำที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า



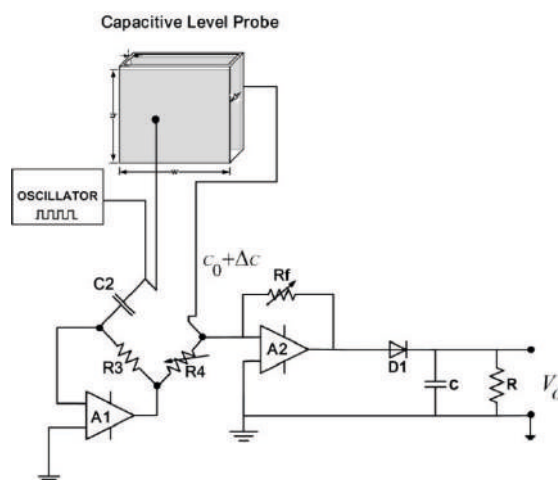
ภาพที่ 2 วงจรมุมของค่าความจุไฟฟ้า

แต่วัสดุที่ใช้ทำหัววัดมีค่าไดอิเล็กทริกด้วย ดังนั้นต้องคิดค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุด้วย แสดงการต่อกันดังวงจรมุมที่แสดงในภาพที่ 3 สามารถหาความจุไฟฟ้ารวมได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{\text{liquid}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) + \left(\frac{1}{C_{\text{air}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) \quad (4)$$



ภาพที่ 3 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแผ่นคู่ขนาน



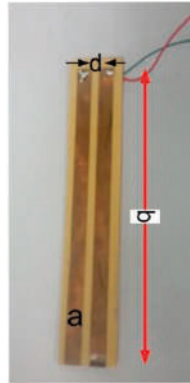
ภาพที่ 4 วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้วัดความจุไฟฟ้าของหัววัด

วงจรที่ใช้วัดความจุไฟฟ้า

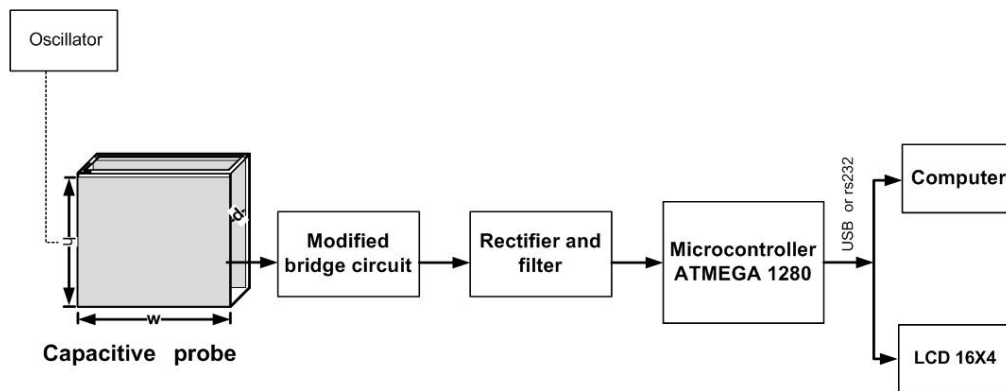
การวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุง [5] ขึ้นพร้อมวงจรขยายดังแสดงในภาพที่ 4 โดยที่ออปแอมป์ตัวที่ 1 เป็นกราวด์เสมือน และออปแอมป์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายคงที่ (V) และความถี่คงที่ (f) เมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันด้านออกและระดับน้ำได้ โดยที่มีแรงดันออกเท่ากับ V_O ที่ได้จะแปลงไปเป็นระดับสัญญาณกระแสตรงด้วยวงจรกรองเรียงกระแส (Rectifier and Filter)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ออกแบบเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้หัววัดความจุไฟฟ้า (Capacitive Probe) ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ให้ทองแดงในแผ่นเป็นรูปคู่ขนานที่มีความสูง (b) เท่ากับ 19 เซนติเมตร ความกว้าง (a) เท่ากับ 1 เซนติเมตร มีช่องว่างน้อยที่สุด (d) เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ 0.02 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5 สำหรับไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำแสดงดังภาพที่ 6 ทำการวัดระดับน้ำด้วยวงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นแล้วนำมาประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ATMEGA1280 จัดเก็บข้อมูลลงใน SD/MMC โดยมี SD Card ขนาดความจุ 4 GB เพื่อทำเป็นฐานข้อมูล กำหนดวันเดือนปี เวลาด้วยวงจรสร้างฐานเวลา DS1307 สามารถแสดงผลผ่านพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์และจอ LCD ขนาด 16x4 ตัวอักษร เพื่อแสดงผลค่าระดับน้ำ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 5 หัววัดระดับน้ำทำจากแผ่นวงจรพิมพ์



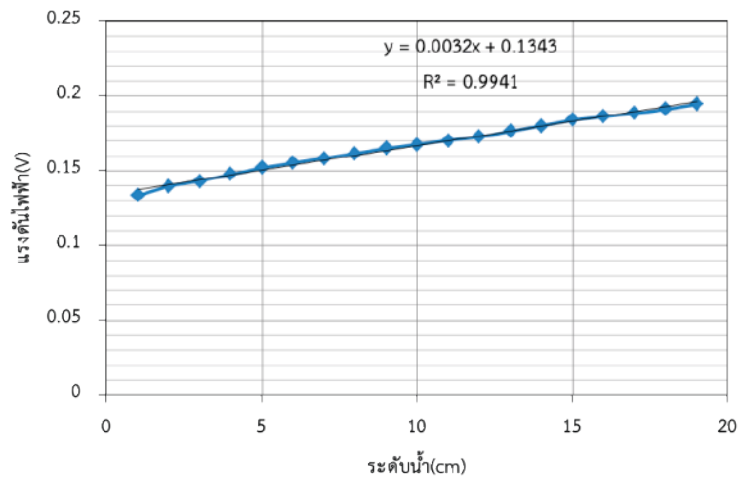
ภาพที่ 6 ไลอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำ



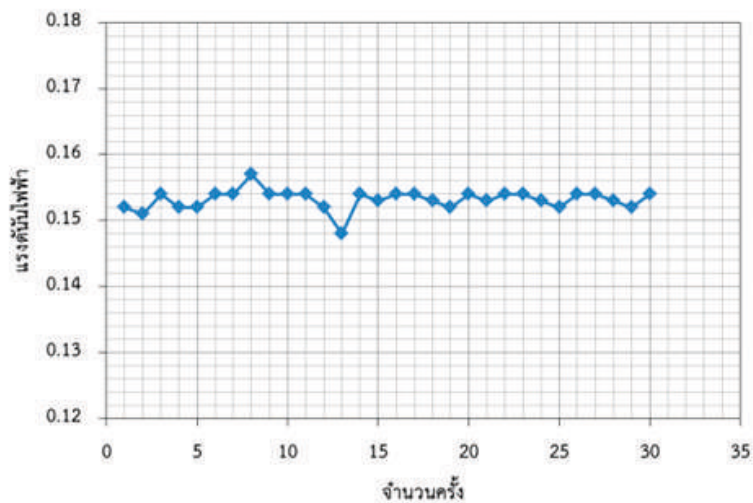
ภาพที่ 7 องค์ประกอบของเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

วัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 0.5 เซนติเมตร การทดลองโดยวัดระดับตั้งแต่ 0 ถึง 19 เซนติเมตร เพิ่มระดับน้ำครั้งละ 1 เซนติเมตร แสดงคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นดังภาพที่ 8 และคำนวณผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 8.53% FSO



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและระดับน้ำ



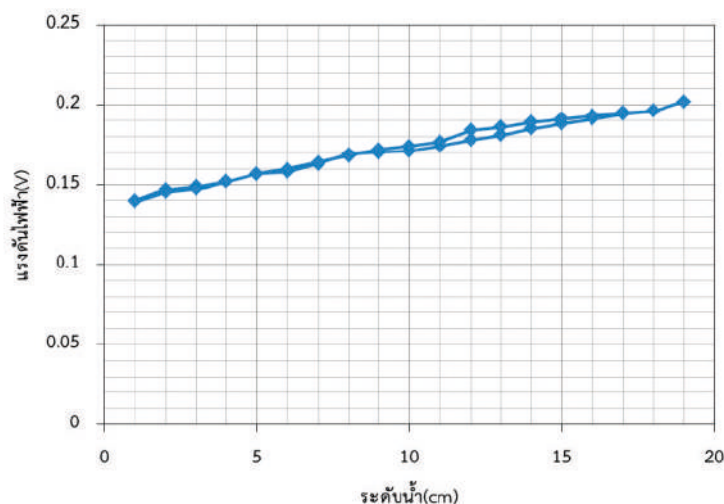
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับจำนวนครั้งที่ระดับน้ำ 4 เซนติเมตร

ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดเมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 0.5 เซนติเมตร ตั้งแต่ระดับน้ำค่า 1 ถึง 19 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร และทดลองซ้ำ 30 ครั้ง จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ ดังภาพที่ 9 จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% ที่ระดับน้ำ 4 เซนติเมตร

ค่าฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

วัดแรงดันไฟฟ้าเทียบกับระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มและลดระดับน้ำความสัมพันธ์ระหว่างค่าฮิสเทอรีซิส แสดงดังภาพที่ 10 เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ได้ค่าความผิดพลาดของฮิสเทอรีซิสเท่ากับ 2.97%FSO



ภาพที่ 10 ค่าความผิดพลาดแบบอิสเทอร์ซิซของเครื่องวัดระดับน้ำ

สรุปผลการวิจัย

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยมีหัววัดเป็นแบบถูขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ให้ทองแดงในแผ่นเป็นรูปถูขนานที่มีความสูงเท่ากับ 19 เซนติเมตร ความกว้างเท่ากับ 1 เซนติเมตร มีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ 0.02 เซนติเมตร เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นพบว่า แรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) พบว่า ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า 8.53% FSO ความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% และอิสเทอร์ซิซมีค่าความผิดพลาด 2.97% FSO ดังนั้นจากผลการศึกษาการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า และสามารถตรวจวัดระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ใช้งานง่าย พกพาสะดวกอีกทั้งยังมีราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Donlagic D., Zavrsnik M and Sirotic I. (2000). "The use of one-dimensional acoustical gas resonator for fluid level measurements", **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 49(5), 1095-1100.
- [2] Eldar M and Sait E K. (2003). "A novel liquid level detection method and its implementation", **Sensors and Actuators A: Physical**. 109, 21-24.
- [3] Srisan, P., Katathikarnkul S. and Mani, M. (2014). "Water Level Gauge to Transmit Data Using Wireless Sensor Network", **Thaksin University Journal**. 17(3), 51-59.
- [4] Supagorn Katathikarnkul. (2012). "เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว", In **The 32th Electrical Engineering Conference (EECON 32)**. Oct 26-30, 2012, Prachinburi.
- [5] S.C. Bera, J.K. Ray and S. Chattopadhyay. (2006). "A low-cost noncontact capacitance- type level transducer for a conducting liquid", **IEEE Trans Instrum Meas**. 55(3), 778-786.

การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ โดยอาศัยการจำลองแบบ

ด้วยโปรแกรม PVsyst

Efficiency Evaluation of 3 kW Photovoltaic Rooftop and Grid Connected System by Using PVsyst Programmed Modeling Simulation

ฉัตร ฝนาค^{1*}, จอมภพ แวศักดิ์^{2,3}, สมพล ชีวมงคลกานต์³ และปราณี หนูทองแก้ว³

Chat Pholnak^{1*}, Jompob Waewsak^{2,3}, Somphol Cheewamongkolkarn³ and Pranee Nutongkaew³

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการจำลองแบบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ ที่จะติดตั้งในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง และประเมินสมรรถนะของระบบภายใต้อิทธิพลของชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ การหันเหทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมุมเอียงของหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVsyst ผลการศึกษาพบว่า พลังงานที่ผลิตได้ต่อวันจะมีค่าเกิน 5.0 kWh/kWp/day ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 4.855 MWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบ Poly-crystalline ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 15.46% และสามารถรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 3.0 kW ผลจากการจำลองแบบยังแสดงให้เห็นอีกว่า เมื่อหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 20 องศา จะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยปริมาณพลังงานรวมรายปีเท่ากับ 1,700 kWh/m²

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของระบบ อัตราส่วนสมรรถนะ โปรแกรม PVsyst อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริด

¹ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² รศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิจัย, ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Assoc. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Researcher., Research Centre in Sustainable Energy & Environment, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600 ext. 2453. E-mail address: chat@tsu.ac.th

Abstract

This article presents the efficiency study of a 3 kW PV rooftop and grid connected system via program simulation technique which system will be setup in Pa-phayom region of Phthalung province. To evaluate a performance of this system, a model simulation is archived by Pvsyst program depending on the conditions of type of PV module, direction orientation and tilt orientation of the solar panels. The research study was found that the electrical energy producing per day or array yield was exceed to 5.0 kWh/kWp/day in March to June as 4.855 MWh/year. And performance ratio (PR) was 81.1% per year in an average. PV efficiency of a selected poly-crystalline silicon was 15.46% and suitable supporting by 3.0 kW grid inverter. Furthermore, the collecting intensity of solar energy and system efficiency were optimum when the solar panels were oriented in the south-east direction and tilt orientation at 20 degree as the annual yield of ~1,700 kWh/m².

Keywords: Solar Cell, System Efficiency, Performance Ratio, PVsyst Program, Grid-Connected Inverter

บทนำ

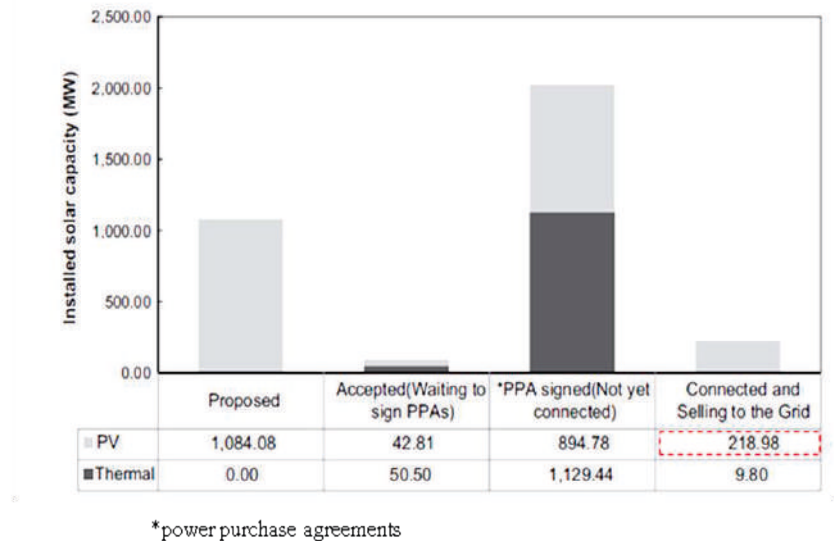
ประเทศไทยมีศักยภาพในพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 18 MJ/m²-day โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-23 MJ/m²-day บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีมีค่าอยู่ในช่วง 19-20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 11.0% ของพื้นที่ทั้งประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 35.6% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m²-day [1] เราจึงสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงานอื่นๆ ได้ เช่นการนำพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ สำหรับประเทศไทยมีการสนับสนุนให้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเรือนและอาคารต่างๆ เพื่อขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ในราคาพิเศษ คือราคา 6.16-6.96 บาทต่อหน่วย เป็นเวลา 25 ปี หรือใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เองภายในบ้านหรืออาคารของตนเอง (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นการประหยัดและลดค่าไฟฟ้า [2-3]

ตารางที่ 1 นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของประเทศไทย [3]

	Residential Scale	Commercial Scale	Utility Scale
Power (kWp)	0-10	> 10-250	> 250-1000
FiT rate (THB/unit)	6.96	6.55	6.16
Payback period (Years)	8-9	7-8	7-8

ปัจจุบันมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ โดยส่วนใหญ่มาตรฐานด้านอุปกรณ์ประกอบของระบบ Solar PV Rooftop จะอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC ของยุโรปเป็นหลัก ขณะที่มาตรฐานการติดตั้งจะอ้างอิงจากมาตรฐาน AS/NZS 5033 ของประเทศออสเตรเลีย [4] และนิวซีแลนด์เป็นหลัก โดยปรับประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับประเทศไทย แต่มีการอ้างอิงมาตรฐาน NEC ของประเทศสหรัฐอเมริกา [5] บางส่วนเท่านั้น ทำให้ระบบมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น [6] สำหรับการเลือกเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับบ้านเรือนต้องคำนึงกำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าและขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่มีอยู่ในท้องตลาดที่มี

ขนาดเท่ากับหรือมากกว่า เพื่อให้ประโยชน์สูงสุดและไม่เกิดการลงทุนที่ไม่จำเป็น ระยะคืนทุนในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกัน เมื่อคิดที่จำนวนแผงเท่ากันจะเกิดจากสองกรณีคือ ค่าความเข้มข้นของแสงเฉลี่ยแต่ละพื้นที่ที่มีค่าแตกต่างกัน และจำนวนโหนดที่ติดตั้ง (ภาพที่ 1) สำหรับประสิทธิภาพถดถอยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มข้นของแสงที่เท่ากันแผงจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากันแต่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงทุกปี [7]



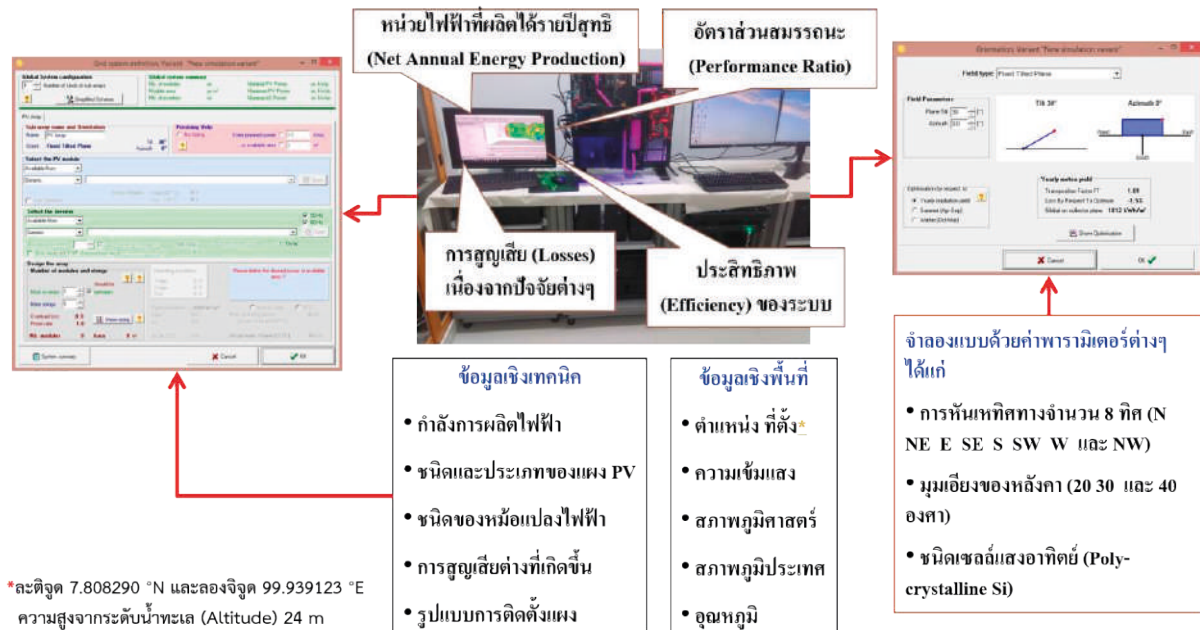
ภาพที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังการผลิตระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนที่ติดตั้งแล้วในประเทศไทย [2]

กระทรวงพลังงานโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) มีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเพิ่มกำลังการผลิตติดตั้งจาก 3,000 MW เป็น 6,000 MW ภายในปี พ.ศ. 2579 โดยหนึ่งในมาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นโครงการโซลาร์เสรี ซึ่งจะยอมให้ผู้ไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของบ้านสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Distribution System) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยไม่เกินขนาดของหม้อแปลงที่จะรองรับได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลังสูงสุด 3 กิโลวัตต์ เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบจากอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ การหันเหทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมุมเอียงของหลังคา โดยอาศัยการจำลองแบบด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ Photovoltaic System (PVsyst) [8] และใช้ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์จาก NASA เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลังการผลิต 3 กิโลวัตต์ โดยใช้ฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์จาก NASA-SSE (Surface Meteorological and Solar Energy Programme) ข้อมูลจากดาวเทียมรายเดือน โดยมีความละเอียดของกริดเท่ากับ $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (111 km) ข้อมูลครอบคลุมทั้งโลกเป็นระยะเวลา 10 ปี (1995-2005) อพ โหนดข้อมูลจากตำแหน่งสถานที่ติดตั้งระบบที่ละติจูด $7.808290^{\circ} \text{N}$ และลองจิจูด $99.939123^{\circ} \text{E}$ และที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude) 24 m แล้วจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst V.6.29 ภายใต้เงื่อนไข

ของการหันเหทิศทางจำนวน 8 ทิศ (N NE E SE S SW W และ NW) มุมเอียงของหลังคาทำมุม 20 องศา 30 องศา และ 40 องศา และชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Mono-crystalline, Poly-crystalline, Thin-Film และ Hetero-junction จำนวน 6 ชนิด วิเคราะห์หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิ (Net Annual Energy Production) หลังจากหักกลบการสูญเสีย (Losses) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ แล้ววิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) และอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW แสดงดังแผนภาพที่ 2



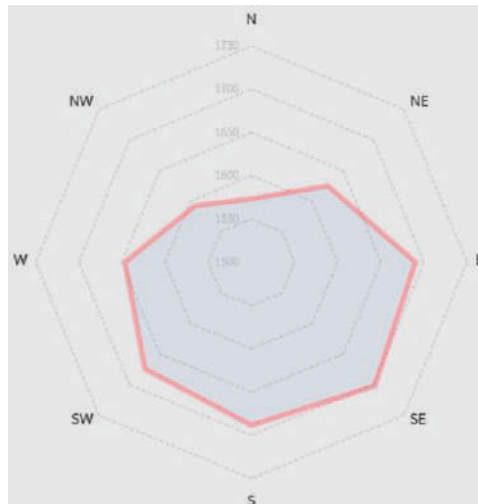
ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทําวิจัย ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และข้อมูลที่ดาวน์โหลดและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นําเข้าสู่โปรแกรมซอฟต์แวร์ PVsyst สำหรับการจำลองแบบ

ผลการวิจัย

ผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW โดยอาศัยฐานข้อมูลรังสีอาทิตย์ NASA และจำลองแบบภายใต้เงื่อนไขของทิศทางการหันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มุมเอียงของหลังคาและชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งอาคารวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยทักษิณ ในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การหันเหทิศทางจำนวน 8 ทิศ (N NE E SE S SW W และ NW)

จากการศึกษาปัจจัยของการหันเหทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์พบว่า ถ้าหันแผงเซลล์ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุดประมาณ 1,700 kWh/m² และลำดับถัดมาเป็นทิศตะวันออก (E) มีค่าพลังงานรวมรายปีประมาณ 1,690 kWh/m² ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รังสีอาทิตย์รวมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²) เฉลี่ยรายปี

2. การวางเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 20 30 และ 40 องศา

จากการศึกษาการจำลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ Full Solar จำนวน 10 แผง ขนาดกำลังการผลิต 3 kW เอียงทำมุม 20 30 และ 40 องศา กับพื้นราบ พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 20 องศา ให้พลังงานไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพของระบบสูงสุด รองลงมาเป็นมุม 30 องศา การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ผลิตได้รายวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมุมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงทำมุม 20 30 และ 40 องศา

มุมเอียง (Degree)	รังสีอาทิตย์รวมที่ ตกกระทบ บนแผง (kWh/m ²)	รังสีอาทิตย์ ที่ใช้ประโยชน์ ได้ (kWh/m ²)	พลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้จาก อาร์เรย์ (kWh)	พลังงานไฟฟ้า ที่ป้อนเข้าสู่ กริด (kWh)	ประสิทธิภาพ ของอาร์เรย์ (%)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (%)
20	1736.3	1680.6	4367.5	4216.7	13.04	12.58
30	1668.2	1616.1	4207.5	4060.1	13.00	12.54
40	1579.4	1530.8	3997.8	3855.2	12.96	12.52

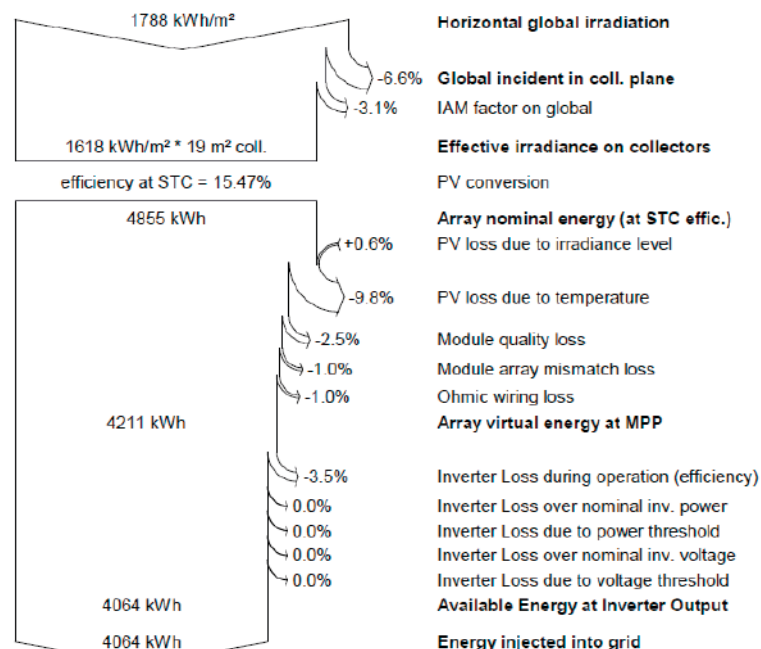
3. ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Mono-crystalline, Poly-crystalline, Thin-Film และ Hetero-junction จำนวน 6 ชนิด

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 3) พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Si ยี่ห้อ FULL Solar รุ่น F-300P ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 15.46% และสามารถต้านทานต่อแรงลมบนหลังคาอาคารได้สูงสุด 2,400 Pa และรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Sunseed รุ่น 3000TL ขนาด 3.0 kW ที่มีความเหมาะสมกันดี

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (kWh)

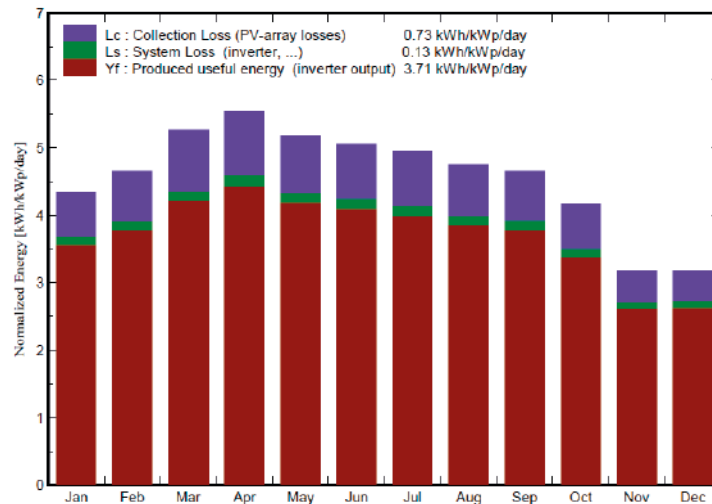
PV Module	Manufacturer	Produced Energy (kWh/year)	Specific product (kWh/kWp/year)	Performance Ratio PR (%)
Si-poly	FULL Solar	4060	1353	81.1
Si-mono	TOPSUN	3991	1330	79.7
Si-EFG	Sovello AG	3946	1315	78.8
a-Si:H single	Kaneka	3770	1257	75.3
a-Si:H tandem	Schueco	4268	1423	85.3
a-Si:H tripple	Xunlight Corporation	4030	1343	80.5
uCSi-aSi:H	NexPower	4179	1393	83.5
CdTe	First Solar	4286	1339	80.3
CIS	TSMC Solar Ltd.	4107	1369	82.1
CSG	CSG Solar AG	3655	1218	73.0
HIT	Panasonic	3935	1366	81.9

สำหรับการวิเคราะห์หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิ (Net Annual Energy Production) หลังจากหักการสูญเสีย (Losses) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ พบว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 4,855 kWh/year แต่พลังงานที่ผลิตได้ป้อนเข้าสู่ระบบกริดอินเวอร์เตอร์ได้เพียง 4,064 kWh/year สาเหตุหลักเนื่องมาจากการเกิดการสูญเสียที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV loss) 14.3% และการสูญเสียที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter Loss) ขณะทำงานถึง 3.5% ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้แสดงดังภาพที่ 4

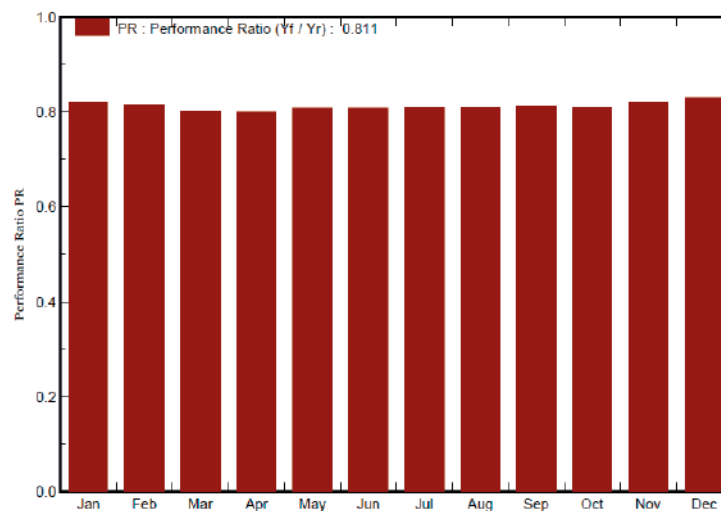


ภาพที่ 4 การสูญเสียที่เกิดในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) และอัตราส่วนสมรรถนะ (Performance Ratio) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kW ด้วยการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม PVsyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA พบว่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อวันจะมีค่าเกิน 5 kWh/kWp/day ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน (ภาพที่ 5) ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 4,855 kWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวันรายเดือน



ภาพที่ 6 อัตราส่วนสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 kWp ในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง มีความเหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูง ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 4.855 MWh/year และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี 81.1% ควรเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Si และ

รองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 3.0 kW ที่เหมาะสม และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรหันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จึงจะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุดประมาณ 1,700 kWh/m² รวมทั้งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 20 องศา จะให้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2554). **ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.dede.go.th>.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2556). **ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.dede.go.th>.
- [3] Chaianong, A. and Pharino, C. (2015). "Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 48, 356-372.
- [4] Chapman, A.J., McLellan, B. and Tezuka, T. (2016). "Residential solar PV policy: an analysis of impacts, successes and failures in the Australia case", **Renewable Energy**. 86, 1265-1279.
- [5] Kaufmann, R.K. and Vaid, D. (2016). "Low electricity prices and greenhouse gas emissions due to rooftop solar: empirical results for Massachusetts", **Energy Policy**. 93, 345-352.
- [6] สมหมาย ดันติพันธุ์ไชย. (2558). "สรุปมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของระบบ Solar PV Rooftop ตามมาตรฐาน NEC", **การประชุมวิชาการ PEA ปี 2558 เทคโนโลยีกับการพัฒนาระบบจำหน่ายไฟฟ้าในอนาคต**. 15. 27 พฤศจิกายน 2558, ณ ศูนย์ประชุมวายุภักษ์ ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ แจ้งวัฒนะ. กรุงเทพฯ.
- [7] วรินดา ธีระสุภะ และรุ่งวิทย์ เหล่าชัยพฤกษ์. (2549). **การศึกษาแบบจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการอนุรักษ์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [8] Chacko, J.K. and Thomas, K.J. (2015). "Analysis of different solar panel arrangements using PVSYS", **International Journal of Engineering Research & Technology**. 4, 510-513.

การสังเคราะห์แกรฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD

Graphene Synthesis on Copper Plate by Microwave Plasma CVD

กิตติพงษ์ นัจจันทร^{1*}, ทวี chimoye² และมนู เฟื่องฟู³

Kittipong Namjan^{1*}, Tawee Chimoye² and Manu Fuangfoong³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสังเคราะห์แกรฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD ที่สร้างขึ้นจากเตาไมโครเวฟฟิล์มของแกรฟีนเกิดบนแผ่นทองแดงโดยใช้ไอของเอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอนที่กำหนดอัตราการไหล 1 2 3 4 และ 5 ลิตรต่อนาที ตามลำดับเมื่อตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของแกรฟีนด้วยรามานสเปกโตรสโกปี พบแถบสำคัญทั้งสามคือ D, G และ 2D ของแกรฟีนที่สังเคราะห์อยู่ที่ 1346 1579 และ 2686 cm^{-1} ตามลำดับโดยไม่ขึ้นอยู่กับการไหลโดยพบว่าแกรฟีนฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มีความบกพร่องต่ำในทุกกรณี อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 1 ลิตรต่อนาที โดยทำซ้ำ 5 ครั้ง ได้แกรฟีนที่มีความหนา 2 ชั้นแต่สำหรับอัตราการไหลอื่นได้แกรฟีนที่มีความหนาหลายชั้น

คำสำคัญ: แกรฟีน ไมโครเวฟพลาสมา รามานสเปกโตรสโกปี

Abstract

This paper presents the synthesized graphene by using microwave plasma CVD on copper plate created from microwave oven. The graphene film on copper plate was successfully created inside reactor by using vapor of the ethanol as the carbon source in atmosphere of argon. The flow rate of the argon were varied 1, 2, 3, 4 and 5 liter/min. The created graphene films were characterized by Raman spectroscopy. The three major bands of graphene, D, G and 2D-band located around 1345, 1579 and 2686 cm^{-1} , respectively without effect of the flow rate. It was found that the created graphene films had low defect for all conditions. However, when using the flow rate of argon 1 liter/min, and repeated 5 times, the created graphene had 2 layers. But for others flow rates, the created graphene films had multilayers.

Keywords: Graphene, Microwave Plasma, Raman Spectroscopy

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

² รศ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

³ รศ., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

¹ Graduate student, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120

² Assoc.Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120

³ Assoc.Prof., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120

* Corresponding author: Tel.: 086-9252764. E-mail address: kittipong.n1@gmail.com

บทนำ

แกรฟีน (Graphene) เป็นอะตอมคาร์บอนที่จัดเรียงตัวในสองมิติมีแลตทิซแบบหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง และมีไฮบริดเซชันแบบ sp^2 มีความหนา 1 อะตอม ซึ่งก็คือแกรไฟต์ที่มีเพียงชั้นเดียว (Monolayer of Graphite) นับตั้งแต่มีการค้นพบแกรฟีนในปี ค.ศ.2004 เป็นต้นมา นักวิจัยทั่วโลกได้ทำการศึกษาวิจัยทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมันมีลักษณะเด่นกว่าวัสดุอื่นๆ กล่าวคือ มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง มีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะหลายๆ มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อนที่ดีมาก ณ อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเชิงแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ค่อนข้างกว้าง ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นในหลายๆ ด้าน จึงทำให้แกรฟีนได้ชื่อว่าวัสดุแห่งอนาคต [1]

การสังเคราะห์แกรฟีนมีด้วยกันหลายวิธี [2] เช่น วิธีเชิงกล (Mechanical Exfoliation) วิธีเชิงเคมี (Chemical Exfoliation) การสังเคราะห์ทางเคมีที่ใช้การสั่นด้วยเสียงความถี่สูงเป็นตัวช่วย (Chemical Synthesis-Sonication) และวิธีการปลูกฟิล์มด้วยกระบวนการระเหยไอเคมี (Chemical Vapor Deposition หรือ CVD) เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้จะเป็นการสร้างเครื่องปลูกฟิล์มด้วยการระเหยไอเคมีโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวช่วยในการสร้างพลาสมา (Microwave Enhance Plasma CVD) ด้วยการดัดแปลงจากเตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นสารกำเนิดคาร์บอน จากนั้นนำแกรฟีนที่สังเคราะห์ได้ตรวจสอบคุณลักษณะด้วยรามานสเปกโตรสโกปี (Raman Spectroscopy) ข้อมูลที่ได้จะนำมาคำนวณเบื้องต้นเพื่อหาความบกพร่องและจำนวนชั้นแบบคร่าวๆ

วิธีการวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของเครื่องไมโครเวฟพลาสมาชนิดที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดยดัดแปลงจากเตาไมโครเวฟขนาดกำลัง 700 วัตต์ ภาชนะสำหรับปลูกฟิล์มทำจากบีกเกอร์ขนาด 1000 มล. ฝาปิดทำจากโลหะอะลูมิเนียมมีท่อสำหรับให้ก๊าซอาร์กอนและไอของแอลกอฮอล์ผ่านเข้าไป ก๊าซอาร์กอนใส่เพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดฟิล์มด้านบนแผ่นรองรับ ตลอดจนท่อสำหรับระบายความดันพร้อมวาล์ว เสืออากาศสำหรับเหนี่ยวนำให้เกิดพลาสมาทำจากลวดโลหะทั้งสแตนเลสและเหล็กยาว 3 ซม. ติดตั้งบนฐานโลหะอะลูมิเนียมรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ซม. ซึ่งวางอยู่บนฉนวนความร้อนที่ทำจากเทฟลอนหนา 10 มม. ความยาวของลวดทั้งสแตนเลสและเหล็กคำนวณจากสมการ [3]

$$L = \frac{c}{4f\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (1)$$

เมื่อ c คือ อัตราเร็วของแสง

f คือ ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ เท่ากับ 2.45 GHz

μ_r คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของสุญญากาศ

และ ϵ_r คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของสุญญากาศ

ด้านข้างเตาไมโครเวฟบริเวณส่วนควบคุมติดตั้งพัดลมระบายความร้อนให้กับหลอดแมกนีตรอนสำหรับเอทิลแอลกอฮอล์บรรจุในหลอดทดลองที่มีฝาและเชื่อมกับท่อพร้อมวาล์ว โดยใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์สำหรับต้มให้แอลกอฮอล์กลายเป็นไอ ในรายงานฉบับนี้เป็นแผ่นทองแดงเป็นแผ่นรองรับ (Substrate) โดยติดตั้งไว้ที่ฝาด้านในภาชนะ

ในงานวิจัยนี้จะดูลักษณะพื้นฐานวิทยาของฟิล์มที่เตรียมได้ด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและแบบส่องผ่านและยืนยันความเป็นแกรฟีนด้วยการใช้รามานสเปกโตรสโคปีเพื่อดูลักษณะของรามานสเปกตรัม หากฟิล์มที่เตรียมได้เป็นแกรฟีนจะต้องปรากฏพีกสำคัญของแกรฟีนจำนวน 3 พีก คือ D Peak G Peak และ 2D Peak ณ ตำแหน่ง 1350 1600 และ 2700 cm^{-1} โดยประมาณ ตามลำดับความเข้มของทั้งสามพีก (I_D , I_G และ I_{2D}) ความกว้างที่ระยะครึ่งหนึ่งของพีก 2D (Full Width at Half Maximum; FWHM) จะบ่งบอกถึงจำนวนชั้นและความบกพร่องของฟิล์มแกรฟีนที่เตรียมได้ [2, 4] ตามตารางที่ 1 สำหรับระยะเฉลี่ยของความบกพร่องของแลตทิซ (L_D) คำนวณได้จากสมการ [5]

$$L_D^2 \text{ (nm)} = (1.8 \times 10^{-9}) \lambda_L^4 \left(\frac{I_D}{I_G} \right)^{-1} \quad (2)$$

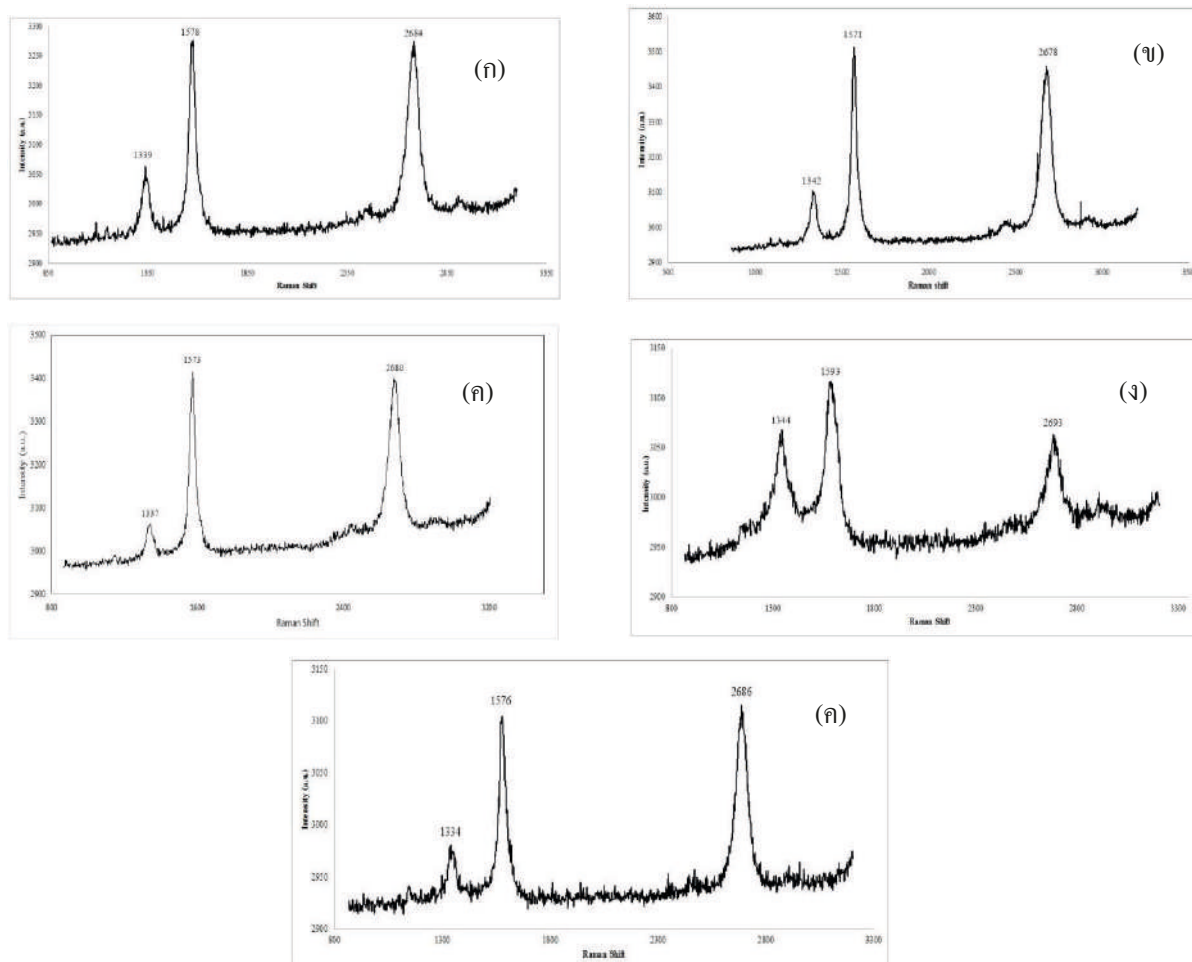
เมื่อ λ_L คือ ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ของเครื่องรามานสเปกโตรสโคปีที่ใช้ในการวิเคราะห์เท่ากับ 532 nm [3]

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการคาดคะเนคุณลักษณะเบื้องต้นของแกรไฟีน

I_D/I_G	I_{2D}/I_G	FWHM (cm^{-1})	Defectlevel	Number of layers
≤ 0.25	≥ 2	20 – 40	Low defect	1 (mono - layer)
0.25 – 0.5	0.9 - 2	40 – 60	Medium defect	2 (bi - layers)
≥ 0.5	≤ 0.9	60 – 80	High defect	>3 (Multi – layers)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ภาพที่ 3(ก) – 3(จ) เป็นรามานสเปกโตรสโคปีของฟิล์มแกรไฟีนที่เตรียมจากอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนในอัตรา 1 2 3 4 และ 5 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งของ D, G และ 2D Peak จากรามาน สเปกโตรสโคปี ของฟิล์มแกรไฟีนที่อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนในอัตรา 1 2 3 4 และ 5 ลิตรต่อนาที

ตำแหน่งศูนย์กลางของ D, G และ 2D Peak ตลอดจนอัตราส่วนความเข้มของ I_D/I_G , I_{2D}/I_G และ FWHM (cm^{-1}) ของรามานสเปกโตรสโกปีตามภาพที่ 2 สรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน	D Peak	G Peak	2D Peak	I_D/I_G	I_{2D}/I_G	FWHM (cm^{-1})
1 ลิตรต่อนาที	1349	1573	2686	0.90	0.99	67
2 ลิตรต่อนาที	1342	1571	2678	0.88	0.99	70
3 ลิตรต่อนาที	1339	1578	2684	0.94	1.00	67
4 ลิตรต่อนาที	1344	1593	2693	0.99	0.98	55
5 ลิตรต่อนาที	1334	1576	2686	0.85	1.00	63

ระยะเฉลี่ยของความบกพร่องของแลตทิซ (L_D) ของแต่ละตัวอย่างเมื่อคำนวณด้วยสมการ (2) แสดงได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะเฉลี่ยของความบกพร่องของแลตทิซ (L_D)

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน	L_D (nm)
1 ลิตรต่อนาที	12.14
2 ลิตรต่อนาที	12.27
3 ลิตรต่อนาที	11.88
4 ลิตรต่อนาที	11.57
5 ลิตรต่อนาที	12.01

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นตามตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในตารางที่ 1 พบว่าแกรฟีนที่เตรียมบนแผ่นรองรับทองแดงมีจำนวนชั้นมากกว่า 2 ชั้น หรือจัดอยู่ในประเภทหลายชั้น (Multi-layers) จากตารางที่ 2 และ 3 อาจกล่าวได้ว่าแกรฟีนที่เตรียมที่อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 4 ลิตรต่อนาที มีแนวโน้มที่มีความบกพร่องในระดับปานกลางก่อนไปทางสูง นอกนั้นมีความพร่องอยู่ในระดับสูง การออกแบบการสังเคราะห์แกรฟีนบนแผ่นทองแดงด้วยไมโครเวฟพลาสมา CVD นี้มีต้นทุนต่ำและใช้เวลาในการสังเคราะห์แกรฟีนน้อย

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่สนับสนุนเครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Eric Puma. (2014). **An Overview of CVD Graphene Growth Characterization and Transfer**. Senior Thesis. Pomona College.
- [2] Jamie H., Franziska S., Alicja B. and Mark H. (2013). "Methods for Obtaining Graphene", **Graphene Fundamentals and Emergent Applications**. 129 -227. Waltham : ElsevierInc.
- [3] Pongsopon R. (2014). **Microwave Plasma Reactor Based on Microwave Oven**. Senior Thesis. Thammasat University.

- [4] Henrique. (2015). “Raman Mapping Characterization of All-Fiber CVD Monolayer Graphene Saturable Absorbers for Erbium = Doped Fiber Laser Model Locking”, **Journal of Lightwave Technology**. 33(19), 4118-4123.
- [5] Byan Beamset. (2015). “Raman Characterization of Defects and Dopants in Grapheme”, **Journal of Physics**. 27(8), 1-26.

การศึกษาด้วยวิธีควอนตัมเชิงคำนวณเพื่อแสดงสมบัติการดูดกลืนแสงอาทิตย์ ของวัสดุแกรฟีนนาโนฟิลลาร์

The Computational Quantum Study in Performing the Feasibility Properties as a Solar Absorption of the Graphene Nanopillars

อรอนงค์ ชุมพล¹ และอนรรักษ์ อุดมเวช^{2*}

Onanong Chumpon¹ and Anurak Udomvech^{2*}

บทคัดย่อ

แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ (Graphene Nanopillar) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติของแกรฟีน (Graphene) และท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) รวมอยู่ด้วยกันจากการเชื่อมต่ออย่างไรรอยต่อด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยได้ศึกษาถึงลักษณะโครงสร้างเชิงเรขาคณิตที่ส่งผลต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์รวมถึงพลังงานการก่อรูป (Formation Energy) และการดูดกลืนแสง (Optical Absorption) จากการจำลองแบบและคำนวณบนคอมพิวเตอร์ด้วยระเบียบวิธีเชิงควอนตัมแบบ Density Functional Tight-Binding (DFTB) ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์แบบสองท่อนาโนคาร์บอนที่มีการเชื่อมต่อท่อนาโนคาร์บอนแบบ zigzag (6,0) แบบ armchair (6,6) และแบบผสม zigzag(6,0)+armchair(6,6) ระหว่างแผ่นแกรฟีนสองแผ่นทำให้สามารถเพิ่มความกว้างความยาวและความสูงเกิดเป็นการขยายปริมาตรของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่แตกต่างกันได้ พบว่าพลังงานการก่อรูปของทุกโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์เป็นแบบคายความร้อนจึงสามารถก่อรูปได้เองโดยไม่ต้องพลังงานจากสิ่งแวดล้อม มีคุณสมบัติของโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ที่ค่อนข้างเป็นเอกลักษณ์คือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเชิงเรขาคณิตไม่ทำให้โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยรวมเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะสำคัญ ในขณะที่ช่องว่างแถบพลังงาน (Energy Gap) ซึ่งบ่งบอกถึงความยากง่ายในการกระโดดข้ามระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนอยู่ในลักษณะง่ายไปยากดังเงื่อนไข $\text{zigzag}(6,0)+\text{armchair}(6,6) > \text{zigzag}(6,0) > \text{armchair}(6,6)$ และเมื่อศึกษาการดูดกลืนแสงพบว่ามีความถี่ในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600 nm – 23,000 nm (ช่วงความถี่ 10^{12} - 10^{15} Hz) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared) ถึงย่านแสงที่ตามองเห็น (Visible) เป็นการยืนยันว่าแกรฟีนนาโนฟิลลาร์น่าจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของการใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ (Organic Solar Photovoltaic Cell) ได้

คำสำคัญ: แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ การดูดกลืนแสง เซลล์แสงอาทิตย์ DFTB

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery and Developments (RLIMD)³ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ B.S.c. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, 90000

² Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD)³, Department of Educational Science, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nu_ferml@yahoo.com

Abstract

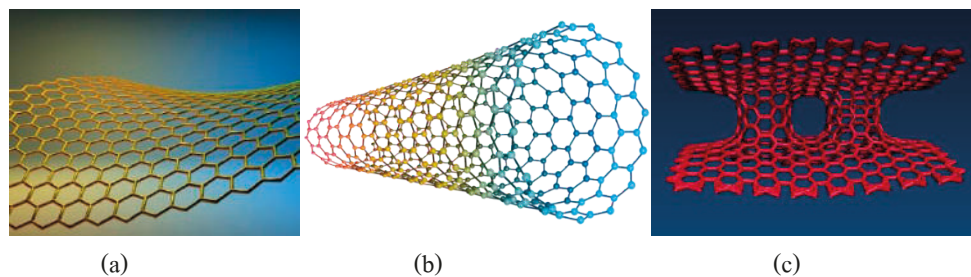
Graphene nanopillars is a hybrid carbon materials between graphene and carbon nanotubes which were seamlessly combined through C-C bonding with covalent bonds. This work is considered the geometric features affecting the electronic structure and including the formation energy and the optical absorption have been examined from the molecular modeling and computation by density functional tight-binding (DFTB) methods. The two-carbon nanotubes in graphene nanopillar with zigzag(6,0), armchair(6,6), and mixed carbon nanotube zigzag(6,0)+armchair(6,6) between the two graphene sheets have been constructed for making it possible to increase the width, length and height. The results enlarge the amplitudes in the different sizes of graphene nanopillars. It was found that the formation energy of all graphene nanopillars was exothermic, *i. e.*, forming itself without the need of energy from environment. It has a rather unique electronic structure since the changing in geometric features does not effects the electronic structure (HOMO and LUMO) of graphene nanopillars. While the energy gap, which can indicates the difficulty of electronic transition, has performs a the condition: zigzag(6,0)+armchair(6,6) > zigzag(6,0) > armchair(6,6). Finally, the optical absorption of graphene nanopillars showed a tendency to absorb light in the range of wavelengths 1,600 - 23,000 nm (or frequency range 10^{12} - 10^{15} Hz), which is the spectrum of infrared to visible light. This useful information could support the graphene nanopillars to be used as material for boost more efficiency in the organic solar photovoltaic cells.

Keywords: Graphene nanopillars, Optical Absorption, Photovoltaic Cells, DFTB

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและไม่มีหมดไปในชั่วชีวิตคนหนึ่งคน แต่การจะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบันนั้นทำมาจากซิลิคอนเป็นส่วนใหญ่ที่มีราคาไม่สูงมากนัก แม้จะมีที่ทำจากวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นอยู่บ้างแต่ก็ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาค่อนข้างสูง รวมถึงมีการใช้สารที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น dye-sensitized solar cell เป็นต้น แต่ยังให้ประสิทธิภาพที่ไม่มากเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ และจริงอยู่ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด แต่ขั้นตอนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนที่สูงอยู่แม้จะได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน [1]

เมื่อไม่นานมานี้มีการค้นพบวัสดุใหม่เรียกว่า “แกรฟีน” [2] ซึ่งเกิดจากอะตอมคาร์บอนเรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้งต่อกันบนระนาบเดียวกัน มีความหนาเพียง 1 อะตอมดังภาพที่ 1(a) ค้นพบโดยองเดร ไกม์ (Andre Geim) และคอนสแตนติน โนโวเซลอฟ (Konstantin Novoselov) ด้วยการแยกแกรฟีนออกจากแกรไฟต์ด้วยสก็อตเทป [3] เมื่อนำมาฉีกเป็นท่อนรูปทรงกระบอกจะเรียกว่า “ท่อนาโนคาร์บอน” [4] ดังภาพที่ 1(b) โดยโครงสร้างระดับนาโนของท่อนาโนคาร์บอนนี้ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1991 โดยศาสตราจารย์ชาวญี่ปุ่นชื่อซูมิโอะ อิจิมะ (Sumio Ijima) [5] ซึ่งมีคุณสมบัติทางควอนตัมที่พิเศษแตกต่างกัน คือ อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่บนแผ่นแกรฟีนแบบ 2 มิติ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ส่วนท่อนาโนคาร์บอนทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ใน 1 มิติ จึงได้มีการนำวัสดุสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบของทั้งแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนขึ้นเป็น “แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ (Graphene Nanopillars)” [6] ซึ่งเป็นโครงสร้าง 3 มิติที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมคาร์บอนเกิดเป็นวัสดุที่ไวรอยต่อดังภาพที่ 1(c) ซึ่งทำให้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์มีคุณสมบัติพิเศษของแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่หลากหลาย เช่น ใช้กักเก็บประจุความจุสูง



ภาพที่ 1 (a) แกรฟีน (b) ท่อนาโนคาร์บอน (c) แกรฟีนนาโนฟิลลาร์

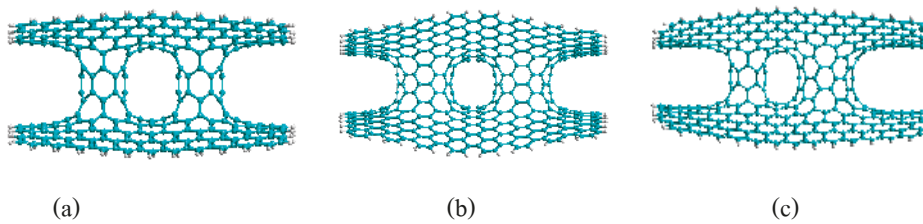
ใช้เป็นเยื่อกรองสำหรับกรองของเสียหรือกรองน้ำทะเลเป็นน้ำจืด และอาจจะเป็นไปได้ที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบหนึ่งในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้เชิงกายภาพของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ในระดับควอนตัมด้วยวิธีทฤษฎีเชิงคำนวณด้วยกลศาสตร์ควอนตัมของ Density Functional Tight Binding (DFTB) สำหรับใช้เป็นวัสดุหนึ่งในองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสารอินทรีย์ (Organic Solar Photovoltaic Cell) โดยศึกษาโครงสร้างระดับนาโนของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีชนิดของท่อนาโนคาร์บอน ความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอนแตกต่างกัน เพื่อศึกษาพลังงานรวม (Total Energy) พลังงานการก่อรูป (Formation Energy) รวมถึงสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุระดับนาโนที่มีโครงสร้างซับซ้อน

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยได้สร้างแบบจำลองโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ [7-8] ที่มีชนิดของท่อนาโนคาร์บอนที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบ zigzag (6,0) ใช้สัญลักษณ์เป็น GNP (6,0) [nly][kdiv] แบบ armchair (6,6) ใช้สัญลักษณ์เป็น GNP (6,6) [nly][kdiv] และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) ใช้สัญลักษณ์เป็น GNP (6,0)+(6,6) [nly][kdiv] ดังภาพที่ 2 เมื่อ n คือ ความยาวของท่อนาโนคาร์บอน และ k คือ ระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอน นั่นคือแต่ละโครงสร้างจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของ ท่อนาโนคาร์บอน 1 2 3 4 และ 5 layers และมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอนเป็น 1 2 3 4 และ 5 วงหกเหลี่ยมตามลำดับ นำมาคำนวณหาโครงสร้างที่มีความเสถียรเบื้องต้น (Optimization) โดยใช้วิธีการกลศาสตร์นิวตันเชิงโมเลกุล (Molecular Mechanics: MM+) [9] และคำนวณหาโครงสร้างที่มีความเสถียร (Optimized Structure) โดยวิธีการกลศาสตร์ควอนตัมแบบ Density Functional Tight Binding (DFTB) [10] ซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำในระดับผลของความเป็นควอนตัมของอิเล็กตรอนชั้นพลังงาน (Energy State) วงนอกสุดของอะตอมเท่านั้น (Valence Electron) และเป็น code แบบเปิด (Open Source) เนื่องจากโครงสร้างแบบจำลองแกรฟีนนาโนฟิลลาร์มีขนาดใหญ่ (ประมาณ $20.5 \times 35.8 \times 17.6 \text{ \AA}^3$ และมีจำนวนอะตอมเฉลี่ยทั้งหมด 857 อะตอม) จึงไม่เหมาะสมต่อการใช่วิธีการคำนวณด้วยกลศาสตร์ควอนตัมที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงได้เนื่องจากต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณสูงและใช้เวลานาน โดยการหาโครงสร้างที่ดีที่สุด (Optimized Structure) ซึ่งมีค่าพลังงานรวมต่ำสุด (Minimized Total Energy) ของแกรฟีน ท่อนาโนคาร์บอนและ แกรฟีนนาโนฟิลลาร์เพื่อนำไปใช้คำนวณสำหรับศึกษาพลังงานการก่อรูป (Heat of formation: ΔH) จากสมการ:

$$\Delta H = \frac{-E_{\text{total}} + (n_1 E_{\text{graphene}} + n_2 E_{\text{junction}} + n_3 E_{\text{tube}})}{N_C} \quad (1)$$



ภาพที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ (a) armchair (6,6), (b) zigzag (6,0) และ (c) zigzag (6,0) + armchair (6,6)

และศึกษาสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties) ของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยศึกษาพลังงานสถานะอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับขั้นสูงสุดที่มีอิเล็กตรอนเต็มเต็ม (Highest Occupied Molecular Orbital: HOMO) และค่าพลังงานสถานะอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับขั้นพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนเต็มเต็ม (Lowest Unoccupied Molecular Orbital: LUMO) และช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) รวมไปถึงการศึกษาช่วงความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสง (Absorption Wavelength) และช่วงความถี่ของการดูดกลืนแสง (Absorption Frequency) จากสมการ:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} \text{ และ } \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

เมื่อ $\Delta E = \text{LUMO} - \text{HOMO}$ และ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ และ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

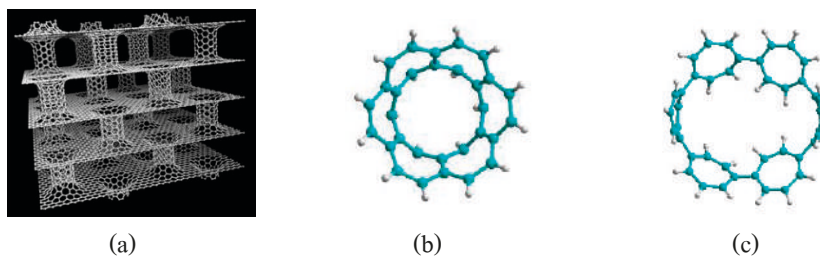
การศึกษาเชิงทฤษฎีการคำนวณของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยใช้กลศาสตร์นิวตันเชิงโมเลกุล (Molecular Mechanics) และกลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics) ทำให้สามารถศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกายภาพของโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ในระดับควอนตัมแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ซึ่งได้แบ่งอภิปรายเป็นหัวข้อดังนี้

1. ลักษณะเชิงโครงสร้าง (Geometrical Features)

1.1 โครงสร้างของรอยต่อ (Interface Structures)

แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ถือว่าเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ (Macromolecule) มีจำนวนอะตอมคาร์บอนมากกว่า 10,000 อะตอมจัดเรียงต่อเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ลักษณะเป็นชั้นซ้อนกันหลายชั้นโดยระหว่างชั้นเชื่อมต่อกันด้วยท่อนาโนคาร์บอนหลายท่อ ดังภาพที่ 3(a) แต่ในการวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่ประกอบด้วยท่อนาโนคาร์บอนเพียงสองท่อหรือสองเสา ดังรูปที่ 2 และได้แบ่งโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ออกเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบ zigzag (6,0) (หรือ GNP(6,0)-[nly][kdiv]) แบบ armchair (6,6) (หรือ GNP(6,6)-[nly][kdiv]) และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) (หรือ GNP(hyb)(6,0)+(6,6)-[nly][kdiv]) ดังภาพที่ 2 เมื่อ n คือ ความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและ k คือ ระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอน จากแบบจำลองที่ได้สร้างตามขั้นตอนในวิธีการวิจัยพบว่า

- โครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ zigzag (6,0) มีรอยต่อ (Junction) ที่ประกอบด้วยวงเจ็ดเหลี่ยม (Heptagon Ring) เรียงชิดติดกัน ดังภาพที่ 3(b)
 - โครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ armchair (6,6) จะมีรอยต่อ (Junction) ที่ประกอบด้วยวงเจ็ดเหลี่ยม (Heptagon Ring) วางสลับกับวงหกเหลี่ยม (Hexagon Ring) ดังภาพที่ 3(c)
- สำหรับแกรฟีนนาโนฟิลลาร์แบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) มีทั้งรอยต่อของทั้งสองแบบข้างต้นในโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์เดียวกัน ดังภาพที่ 2(c)



ภาพที่ 3 (a) แสดงแบบจำลองรูปร่างโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ และรอยต่อของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มี
 ท่อนาโนคาร์บอน (b) แบบ zigzag (6,0) (c) armchair (6,6)

1.2 พลังงานการก่อรูป (Formation Energy)

พลังงานการก่อรูป (Formation Energy: ΔH) เป็นค่า enthalpy เพื่อศึกษาโอกาสการเกิดขึ้นของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์จากแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งได้แสดงผลของพลังงานการก่อรูปดังภาพที่ 4 พบว่าค่าพลังงานการก่อรูปของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์แบบ armchair GNP(6,6)-[nly][kdiv] แบบ zigzag GNP(6,0)-[nly][kdiv] และแบบผสม GNP(hyb)(6,0)+(6,6)-[nly][kdiv] (ดังตารางที่ 1) มีค่าลบซึ่งแสดงว่าทุกโครงสร้างมีการก่อรูปแบบคายพลังงานความร้อน (exothermal) จึงทำให้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทั้งสามรูปแบบสามารถก่อรูปได้เองโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอก เช่น จากสิ่งแวดล้อมหรือต้องคอยเติมพลังงานให้กับระบบ และเมื่อแกรฟีนนาโนฟิลลาร์มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น นั่นคือการเพิ่มค่า n และ k (หรือ $[n][k]$) จาก 1 – 5 จะมีการคายพลังงานในการก่อรูปที่ลดน้อยลงตามลำดับดังภาพที่ 4 นั่นอาจจะทำให้การสังเคราะห์แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีโครงสร้างของปริมาตรของช่องว่างขนาดใหญ่ทำได้ยากมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการจำกัดขนาดของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ไปโดยปริยาย โดยข้อจำกัดดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการนำแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ไปประยุกต์ใช้งาน เช่น อุปกรณ์กักเก็บประจุความจุสูง หรือใช้ทำเยื่อกรองน้ำทะเลเป็นน้ำจืด หรือแม้แต่ใช้เป็นส่วนประกอบในเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ เหมือนกับที่มีการนำฟูลเลอรีนหรือคาร์บอน 60 มาสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

2. สมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties)

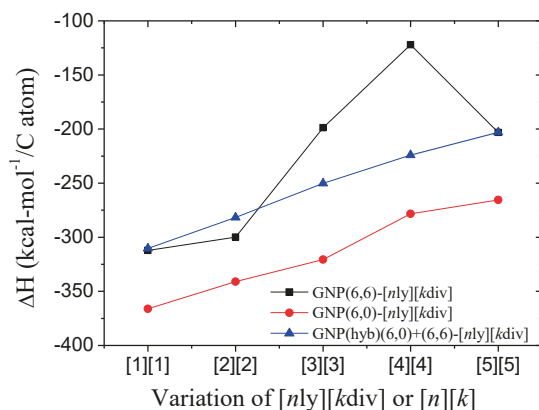
2.1 โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Structure)

ผลการคำนวณทางกลศาสตร์ควอนตัมของ DFTB ทำให้ทราบสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties) ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ armchair (6,6) zigzag (6,0) และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าระดับชั้นสถานะพลังงาน LUMO (จุดวงกลมและเส้นกราฟสีน้ำเงิน) ซึ่งเป็นชั้นพลังงานแรกหรือต่ำที่สุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนเติมเต็ม และ HOMO (จุดสี่เหลี่ยมและเส้นกราฟสีเขียว) ซึ่งเป็นชั้นพลังงานสุดท้ายหรือสูงสุดที่มีอิเล็กตรอนเติมเต็มของทั้งสาม โครงสร้างที่มีการเพิ่มค่า n และ k จาก 1 – 5 มีการกวัดแกว่งอยู่ในช่วงสถานะพลังงาน -4.50 ถึง -4.10 eV ซึ่งถือได้ว่าเป็นช่วงที่แคบมาก (ประมาณ 0.40 eV) จนไม่ส่งผลให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทั้งสามแบบ แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเฉพาะผลของโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ HOMO หรือ LUMO จะเห็นว่าทั้งสองระดับชั้นพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน ตามการขยายขนาดค่า n และ k จาก 1 – 5 โดยพิจารณาร่วมกับรูปแบบบริเวณรอยต่อระหว่างท่อนาโนคาร์บอนกับแผ่นแกรฟีนที่ต่างกัน จึงเป็นผลกระทบจากความเป็นโครงสร้างระดับควอนตัมของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสอง แต่หากพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงความยาว (n) และระยะห่าง (k) ระหว่างท่อนาโนคาร์บอนโดยรวมแล้ว ผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวถือได้ว่าไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์หรือจะมีผลก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเป็นผลยืนยันแรกที่ทำให้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์น่าจะนำไปใช้เป็น

ส่วนประกอบหนึ่งในการใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบสารอินทรีย์ได้ไม่ว่าจะมีขนาดหรือรูปแบบโครงสร้างของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์เป็นแบบใดก็ตาม

ตารางที่ 1 แสดงค่าพลังงานการก่อรูป (ΔH) ของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบ

n และ k ของโครงสร้าง แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์	พลังงานการก่อรูป (ΔH) (kcal-mol ⁻¹ /C atom)		
	GNP(6,6)-[nly][kdiv]	GNP(6,0)-[nly][kdiv]	GNP(hyb)(6,0)+(6,6)-[nly][kdiv]
[1ly][1div] หรือ [1][1]	-366.138	-312.271	-310.311
[2ly][2div] หรือ [2][2]	-341.014	-299.849	-281.706
[3ly][3div] หรือ [3][3]	-320.582	-198.750	-250.163
[4ly][4div] หรือ [4][4]	-278.270	-122.016	-224.081
[5ly][5div] หรือ [5][5]	-265.523	-203.120	-202.931

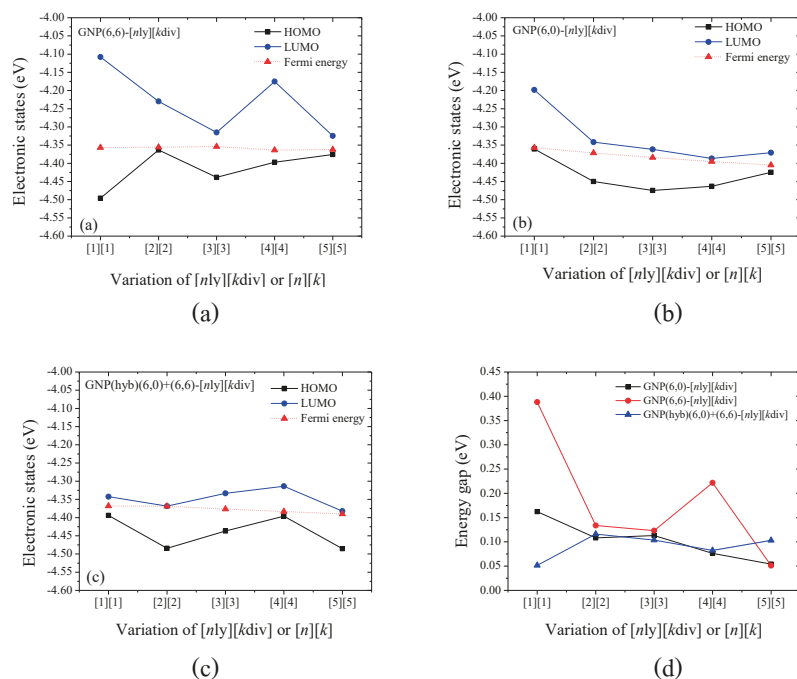


ภาพที่ 4 พลังงานการก่อรูปของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ (a) armchair (6,6) หรือ GNP(6,6)-[nly][kdiv] (b) zigzag (6,0) หรือ GNP(6,0)-[nly][kdiv] และ (c) zigzag (6,0) + armchair (6,6) หรือ GNP(hyb)(6,0)+(6,6)-[nly][kdiv]

2.2 ช่องว่างแถบพลังงาน (Energy Band Gap)

เมื่อพิจารณาช่องว่างพลังงานของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครงสร้างตามค่า n และ k จาก 1 – 5 พบว่าแต่ละโครงสร้างมีค่าช่องว่างพลังงานเปลี่ยนไปแตกต่างกันตามลักษณะของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์นั้นๆ (ดูภาพที่ 5(d)) โดยช่องว่างสถานะพลังงานสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของการกระโดดข้ามชั้นพลังงาน (transition) ของอิเล็กตรอนระหว่างระดับชั้นพลังงานสถานะ HOMO และ LUMO ภายในโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ได้ว่าเกิดได้ง่ายหรือยาก เช่น เมื่อพิจารณาค่าช่องว่างสถานะพลังงานของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์แบบผสม zigzag (6,0)+ armchair (6,6) พบว่ามีช่องว่างสถานะพลังงานเฉลี่ย (ค่า n และ k จาก 1 – 5) ประมาณ 0.05 eV ซึ่งใกล้เคียงกับแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์แบบ zigzag (6,0) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 eV ส่วนแบบ armchair (6,6) มีค่าช่องว่างสถานะพลังงานเฉลี่ย ประมาณ 0.35 eV และได้รับผลกระทบเชิงโครงสร้างอย่างชัดเจน (ลักษณะกราฟมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก) โดยจะเห็นว่าแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งหมดมีพฤติกรรมเชิงอิเล็กตรอนเป็นแบบกึ่งโลหะ (Semi-Metallic) ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนสามารถกระโดดข้ามระดับชั้นสถานะพลังงานได้จากง่ายไปยากโดย zigzag (6,0)+armchair (6,6) > zigzag (6,0) > armchair (6,6) แม้จะเป็นผลจากความถูกต้องแม่นยำที่ค่อนข้างต่ำ (Underestimate) จากวิธี DFTB เมื่อเปรียบเทียบกับแบบ (a) armchair(6,6) (b) zigzag(6,0)

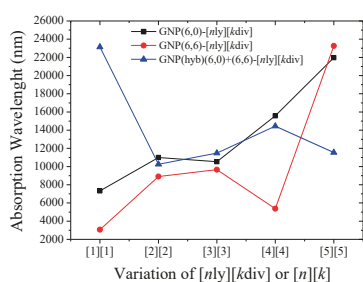
(c) zigzag(6,0)+armchair(6,6) และ (d) ช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) กับระเบียบวิธีของ Density Functional Theory (DFT) [11-12] แต่ที่เพียงพอต่อการยืนยันถึงความเป็นไปได้ของการใช้แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์เป็นส่วนประกอบของการใช้สร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ได้ในระดับหนึ่ง



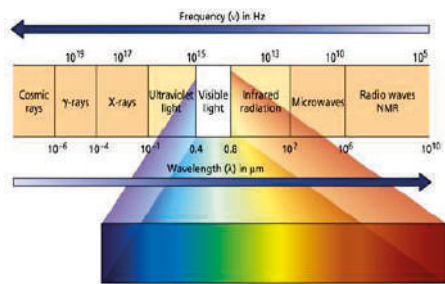
ภาพที่ 5 ค่าพลังงานสถานะ HOMO, LUMO และ Fermi Energy ของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอน

2.3 การดูดกลืนแสง (Optical Absorption)

ในการศึกษาการดูดกลืนแสงของโครงสร้างแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบ zigzag (6,0) แบบ armchair (6,6) และแบบผสม zigzag (6,0) + armchair (6,6) โดยใช้สมการที่ (2) ในการคำนวณค่าความยาวคลื่น (λ) และความถี่ (ν) จากสมการ $\nu = c/\lambda$ ของแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบระหว่างระดับชั้นสถานะพลังงาน HOMO และ LUMO ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 6(a) พบว่าแกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทั้งสามแบบมีแนวโน้มดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600 nm – 23,000 nm หรืออยู่ช่วงความถี่ 10^{12} - 10^{15} Hz ดังภาพที่ 6(b) ซึ่งเป็นในช่วงคลื่นแสงอินฟราเรด (Infrared) ถึงช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible Light) นอกจากนี้แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์ทุกโครงสร้างเมื่อพิจารณาในระดับชั้นสถานะพลังงานที่ไม่มีอิเล็กตรอนเติมเต็มที่สูงขึ้น (LUMO+n เมื่อ n เป็นลำดับชั้นสถานะพลังงานใดๆ ที่อยู่เหนือชั้น LUMO) พบว่าช่วงความถี่ของการดูดซับแสงขยายเพิ่มมากขึ้น (ค่าความยาวคลื่นมีค่าน้อยลง) ซึ่งยังอยู่ในช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดถึงย่านแสงที่ตามองเห็นได้ แต่จะเลื่อนไปทางช่วงย่านแสงที่ตามองเห็นได้มากขึ้นจึงทำให้แกรฟีนนาโนฟิลเลอร์น่าจะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cells) ที่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานของแสง (Photon) ในช่วงความยาวคลื่นหรือความถี่ในช่วงแถบแสง (Light Spectrum) ที่กว้างขึ้นกว่าช่วงย่านแสงที่ตามองเห็นได้



(a)



(b)

ภาพที่ 6 (a) ช่วงความยาวคลื่นในการดูดซับเชิงแสงและ (b) แสดงการเปรียบเทียบแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง) ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่ (ที่มา: <http://www.neutron.rmutphysics.com/physics-glossary>)

สรุปผลการวิจัย

แกรฟีนนาโนฟิลลาร์เป็นโครงสร้าง 3 มิติที่มีอะตอมคาร์บอนจัดเรียงต่อกันโดยได้สร้างแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีชนิดของท่อนาโนคาร์บอนสองท่อหรือสองเสาแตกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบ zigzag (6,0) แบบ armchair (6,6) และแบบผสม zigzag (6,0)+armchair (6,6) โดยปรับเปลี่ยนโครงสร้างของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ด้วยการขยายขนาดความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอน ทำให้ได้แกรฟีนนาโนฟิลลาร์ที่มีรอยต่อของท่อนาโนคาร์บอนกับแกรฟีนที่แตกต่างกันสองแบบ คือ แบบที่มีรอยต่อเป็นวงเจ็ดเหลี่ยมเรียงชิดติดกันและแบบที่มีรอยต่อเป็นวงเจ็ดเหลี่ยมวางสลับกับวงหกเหลี่ยม โดยพบว่าแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทุกโครงสร้างสามารถก่อรูปได้โดยจะเกิดปฏิกิริยาแบบคายพลังงานความร้อน (Exothermal) เมื่อศึกษาด้วยระเบียบวิธีควอนตัมเชิงคำนวณของ DFTB ซึ่งทำให้สามารถศึกษาถึงสมบัติเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Properties) ได้อีกด้วย และพบว่าความยาวของท่อนาโนคาร์บอนและระยะห่างระหว่างท่อนาโนคาร์บอนที่ขยายออกไม่ทำให้โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (HOMO และ LUMO) ของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์โดยรวมเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยยะสำคัญแต่อย่างใด และเมื่อศึกษาการดูดกลืนแสงของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์พบว่ามีความไวต่อการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่น 1,600 nm – 23,000 nm (ช่วงความถี่ 10^{12} - 10^{15} Hz) ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นแสงในย่านอินฟราเรด (Infrared) ถึงย่านแสงที่ตามองเห็น (Visible)

ข้อมูลของผลกระทบเชิงโครงสร้างเชิงเรขาคณิตที่มีต่อโครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ในแกรฟีนนาโนฟิลลาร์ทั้งสามรูปแบบเป็นการยืนยันว่าแกรฟีนนาโนฟิลลาร์น่าจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของการใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ (Organic Solar Photovoltaic Cell) ได้ไม่ว่าจะมีขนาดหรือรูปแบบโครงสร้างของแกรฟีนนาโนฟิลลาร์เป็นแบบใดก็ตาม

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี. (2551). **พลังงานทดแทน**. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.ku.ac.th/e-magazine/jun51/know/know3.htm>.
- [2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2553). **“แกรฟีน” วัสดุแห่งโลกอนาคต**. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.nstda.or.th/news/2398-2010-11-01-02-36-30>.

- [3] วิชาการ.คอม. (2553). **กราฟีนวัสดุมหัศจรรย์**. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2558 , จาก <http://www.vcharkarn.com/varticle>.
- [4] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้. (2559). **ท่อนาโนคาร์บอน**. 15 ธันวาคม 2558, จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit3-8.html>.
- [5] Sumio Ijima. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. **Nature**. 354. 56-58.
- [6] Yu Zhu, Lei Li and other. (2012). “A seamless three-dimensional carbon nanotube graphene hybrid material”, **Nature communication**. 3, 1-7.
- [7] พิภู ฟูแล้ว และ อนุรักษ์ อุดมเวช. (2557). “กราฟีนนาโนฟิลลา: การศึกษาดัวยทฤษฎีเชิงคำนวณระดับเบื้องต้นของสมบัติเชิงโครงสร้างและเชิงอิเล็กทรอนิกส์”, **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**. 17(3), 185-193.
- [8] เพชรวิทย์ นรินทร์รัตน์ และ อนุรักษ์ อุดมเวช. (2558). “การศึกษาดัวยทฤษฎีเชิงคำนวณโครงสร้างเชิงเรขาคณิตและเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของกราฟีนนาโนฟิลลาร์: แบบนาโนคาร์บอนชนิดสองท่อ”, **ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25 ประจำปี 2558**. 1339-1346. วันที่ 10 - 12 มิถุนายน 2558. ณ หอประชุมปาริชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา.
- [9] U. Berkert and N.L. Allinger. (1982). “Molecular Mechanics”, **American Chemical Society Monograph**. 177. Washington, D.C.
- [10] Pekka Koskinen and Ville Mäkinen. (2009). “Density-functional tight-binding for beginners”, **Computational Materials Science**. 47. 237–253.
- [11] Zheng, G., Irle, S. and Morokuma, K. (2005). “Performance of the DFTB method in comparison to DFT and semiempirical methods for geometries and energies of C20–C86 fullerene isomers”, **Chemical Physics Letters**. 412. 210-216.
- [12] Li, W., Kotsisa, K. and Manzhos, S. (2016). “Comparative density functional theory and density functional tight binding study of arginine and arginine-rich cell penetrating peptide TAT adsorption on anatase TiO₂”, **Phys. Chem. Chem. Phys.** 18. 19902-19917.

การศึกษากระจุกดาวเปิดด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก

The Study of Open Cluster by Small Telescope

วิระภรณ์ ไหมทอง^{1*}, นาววรรณ บางโป่ง², เบญจภรณ์ ตุ่นภักดี² และสุวนิตย์ วุฒิสั่งข์³

Wiraporn Maithong^{1*}, Nawawan Bangpong², Benjaporn Thunpakdee² and Suwanit Wutsang³

บทคัดย่อ

การศึกษากระจุกดาวเปิดด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กในครั้งนี้ ได้ทำการคำนวณระยะทาง และอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR ผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ซึ่งทำการสังเกตการณ์ ในวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2560 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา จังหวัดฉะเชิงเทรา จากนั้นหาค่าความสว่างของดาวในกระจุกดาวเปิด M35 เพื่อสร้าง H-R Diagram แล้ววิเคราะห์อายุและระยะทาง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10%

คำสำคัญ: M35 กระจุกดาวเปิด ระยะทาง อายุ กล้องดิจิทัล DSLR

Abstract

The study of open cluster by small telescope in the work is the calculation of the distance and the age of an open cluster M35. It was observed by the digital DSLR via the 150 millimeters' diameter telescope at Regional Observatory for the Public, Cha Cheong Sao on 19th January 2017 and was analyzed the intensity to constructed an H-R Diagram. The distance and the age analysis show that the errors are less than 10%.

คำสำคัญ: M35, Open Cluster, Distance, Age, DSLR Camera

¹ อ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

² นักศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

³ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา 24190

¹ Lecturer, Dr., Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300

² Physics, Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300

³ National Research Institute of Thailand (Public Organization), Regional Observatory for the Public Chachoengsao, 24190

*Corresponding author: Tel. 053-885632. E-mail address: wiraporn.m@gmail.com

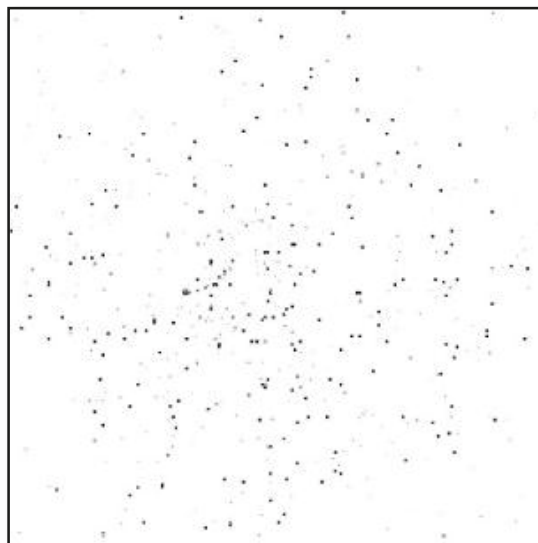
บทนำ

กระจุกดาวเปิด คือ กลุ่มดาวจำนวนมากที่รวมกลุ่มกันอยู่ในเมฆโมเลกุลชนิดเดียวกัน มีแรงโน้มถ่วงดึงดูดกันและกันอย่างหลวมๆ ไม่แน่นเท่ากับกระจุกดาวทรงกลม กระจุกดาวเปิดเป็นกระจุกดาวที่ส่วนใหญ่เป็นกระจุกดาวเกิดใหม่กว่าร้อยล้านปี ดาวฤกษ์ในกระจุกดาวเดียวกันจะมีอายุใกล้เคียงกันและมีลักษณะทางเคมีคล้ายคลึงกัน มีความสัมพันธ์กันในทางกายภาพ และด้วยเหตุนี้ระยะทางจึงสมควรให้เท่ากันทั้งกระจุกดาว [1]

ในงานนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 (หรือเรียกว่า NGC2168) มีค่าความสว่างปรากฏเท่ากับ 5.3 มีตำแหน่งอยู่ที่ RA= 6h 08.9m และ Dec= +24° 20' ในงานนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาอายุและระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 จากภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล DSLR และ CCD โดยวิเคราะห์ H-R Diagram เทียบกับ H-R Diagram มาตรฐาน ซึ่งเป็นแผนภาพที่บอกความสัมพันธ์ระหว่าง ไซโตมาตรหรืออันดับความสว่าง และดัชนีสีมาตรฐาน และสามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณระยะทางและอายุของกระจุกดาวได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ตอน โดยตอนที่ 1 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR และตอนที่ 2 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจาก CCD ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 30 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2559 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา ได้ตัวอย่างภาพถ่ายของกระจุกดาวเปิดดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระจุกดาวเปิด M35 ในช่วงความยาวคลื่นสีแดง

จากภาพถ่ายกระจุกดาว ทำการวิเคราะห์หาค่า Intensity ด้วยโปรแกรม IRIS เพื่อนำไปคำนวณหาค่าไซโตมาตรปรากฏ แล้วนำมาสร้าง H-R Diagram และวิเคราะห์หาค่าไซโตมาตรสัมบูรณ์ โดยใช้วิธี Main Sequence Fitting หรือการเปรียบเทียบลำดับหลัก จาก H-R Diagram ที่ได้ เทียบกับ H-R diagram มาตรฐาน [2] โดยคำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวได้ดังสมการ [3]

$$m - M = -2.5 \log(10 \text{ pc} / d)^2 \quad (1)$$

เมื่อพิจารณาระยะทางของกระจุกดาว จะได้

$$d = 10^{\left(\frac{m-M+5}{5}\right)} \quad (2)$$

เมื่อ	d	คือ ระยะทางในหน่วยพาร์เซก
	m	คือ โชติมาตรปรากฏของดาว
	M	คือ โชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน

การหาอายุของกระจุกดาวสามารถหาได้จากสมการ [4]

$$t = 10^{10} \text{ years} \left[\frac{m}{m_{\text{sun}}} \right]^{-2.5} \quad (3)$$

เนื่องจากค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบลำดับหลักคือค่าโชติมาตรปรากฏ จึงต้องทำการแปลงค่าดังกล่าวเป็นมวลของดาวฤกษ์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับกำลังส่องสว่าง เพื่อใช้ในการคำนวณหาอายุในสมการที่ (3) การคำนวณหาอัตราส่วนกำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ ดังสมการ

$$m - m_{\text{sun}} = -2.5 \log \left[\left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) \left(\frac{d_{\text{sun}}}{d} \right)^2 \right] \quad (4)$$

เมื่อ	m	คือ โชติมาตรปรากฏของกระจุกดาวที่จุดพ้นลำดับหลัก
	m_{sun}	คือ โชติมาตรปรากฏของดวงอาทิตย์ ประมาณ -26.5*
	L	คือ กำลังส่องสว่างของดาว
	L_{sun}	คือ กำลังส่องสว่างของดวงอาทิตย์
	d	คือ ระยะทางของดาว
	d_{sun}	คือ ระยะทางของดวงอาทิตย์ 4.848132 x 10 ⁻⁶ พาร์เซก

จากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ พบว่ามวลของดาวแปรผันตามกำลังส่องสว่างของดาว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับกำลังส่องสว่างของดาวได้ดังนี้

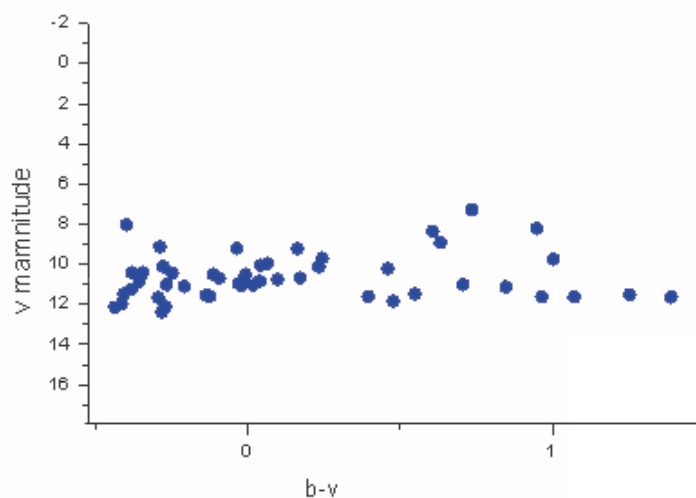
$$\log \left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) = 3.5 \log \left(\frac{M_s}{M_{\text{sun}}} \right) \quad (5)$$

เมื่อ	M_s	คือ มวลของดาว
	M_{sun}	คือ มวลของดวงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

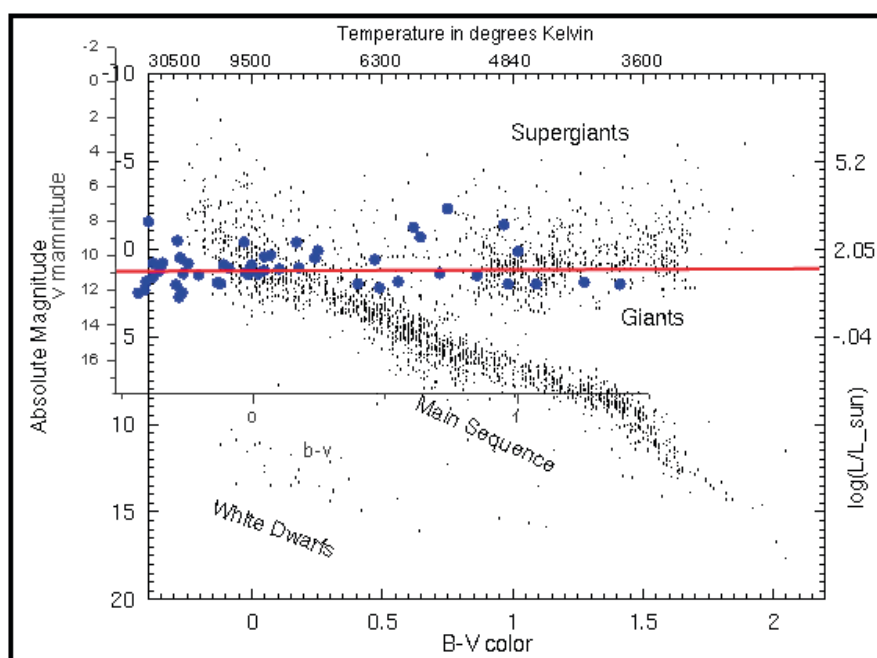
ตอนที่ 1 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากการวิเคราะห์หาค่า Intensity ของกระจุกดาวจากข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์ กระจุกดาวเปิด M35 ด้วยโปรแกรม IRIS จะได้กราฟ ดังภาพที่ 2



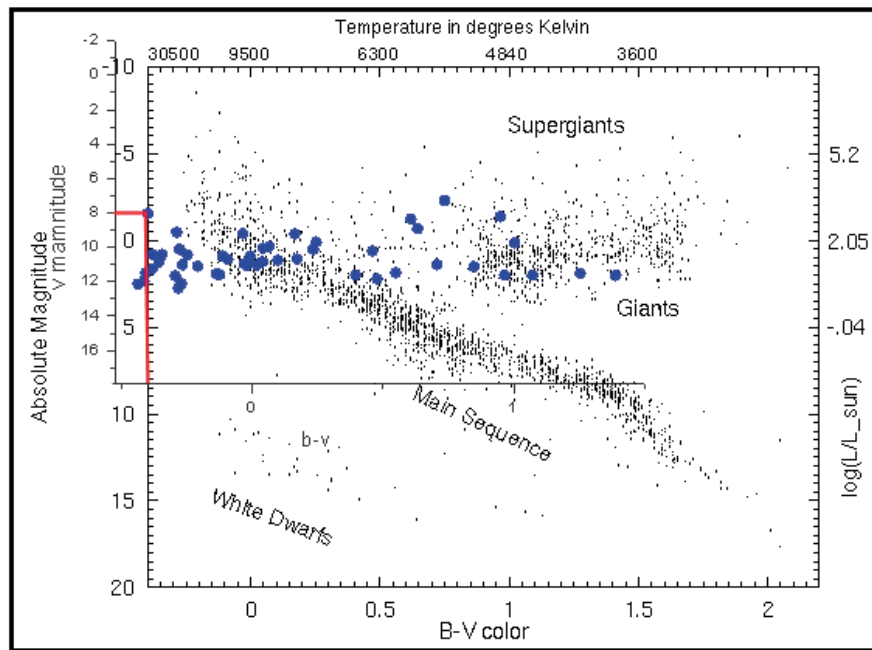
ภาพที่ 2 H-R Diagram ของกระจุกดาวเปิด M35 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากภาพที่ 2 สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวโดยใช้วิธีการช้อนลำดับหลัก ด้วยการนำข้อมูลในภาพที่ 2 มาเทียบลำดับหลักของกระจุกดาวกับลำดับหลักของ H-R Diagram มาตรฐาน เพื่อหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Magnitude) ซึ่งจะได้อัตราผลดังแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเทียบ H-R Diagram ของกระจุกดาวเปิด M35 กับ H-R Diagram มาตรฐาน
เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากภาพที่ 3 แสดงผลการช้อนลำดับหลักของโชติมาตรปรากฏของกระจุกดาวเปิด M35 กับค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นผลการช้อนทับจะได้โชติมาตรปรากฏของดาว (m) มีค่าประมาณ 11 และ ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน (M) มีค่าประมาณ 1.3 เมื่อคำนวณหาระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 ตามสมการที่ (2) พบว่าระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 มีค่าประมาณ 871 พาร์เซก หรือประมาณ 2,839 ปีแสง



ภาพที่ 4 จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลักของกระจุกดาวเปิด M35
เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจากกล้องดิจิทัล DSLR

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นตำแหน่งที่ค่าโชติมาตรปรากฏของดาวที่จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลัก (m) มีค่าประมาณ 8 เนื่องจากค่าที่ได้ คือค่าโชติมาตรปรากฏจึงต้องเปลี่ยนค่าโชติมาตรปรากฏ เป็นค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ดังสมการที่ (4) จะได้

$$8 - (-26.5) = -2.5 \log \left[\left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) \left(\frac{4.848132 \times 10^{-6}}{871} \right)^2 \right]$$

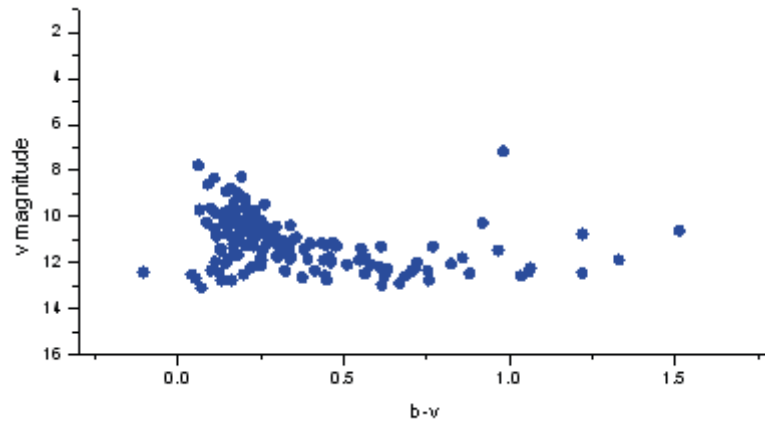
เมื่อนำค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์มาคำนวณหามวลของดาวฤกษ์ ต่อมวลดวงอาทิตย์ จากสมการที่ (5) จะได้มวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ของกระจุกดาวเปิด M35 (M/M_{sun}) = 5.94232697 จากนั้นคำนวณหาอายุของกระจุกดาวโดยแทนค่ามวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ ลงในสมการที่ (3) จะได้

$$\begin{aligned} t &= 10^{10} \text{ years} \left[\frac{m}{m_{\text{sun}}} \right]^{-2.5} \\ t &= 10^{10} \text{ years} [5.94232697]^{-2.5} \\ t &= 0.0116173918 \times 10^{10} \\ t &= 116 \text{ ล้านปี} \end{aligned}$$

นั่นคือ กระจุกดาวเปิด M35 มีอายุ 116 ล้านปี

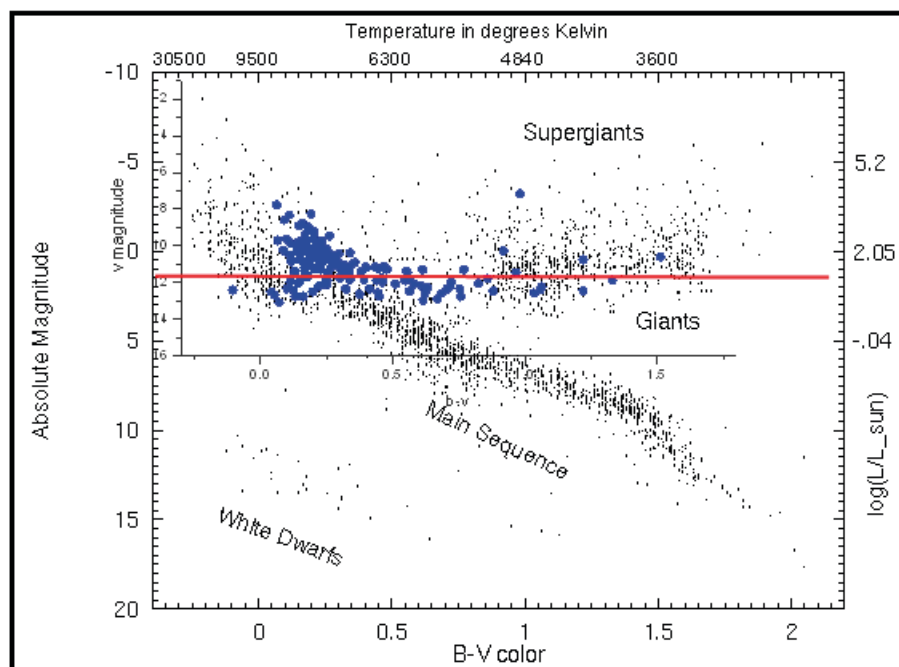
ตอนที่ 2 วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวจากกล้อง CCD

จากการวิเคราะห์หาค่า Intensity ของระจุกดาวจากข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์ ระจุกดาวเปิด M35 ด้วยโปรแกรม IRIS จะได้กราฟ ดังภาพที่ 5



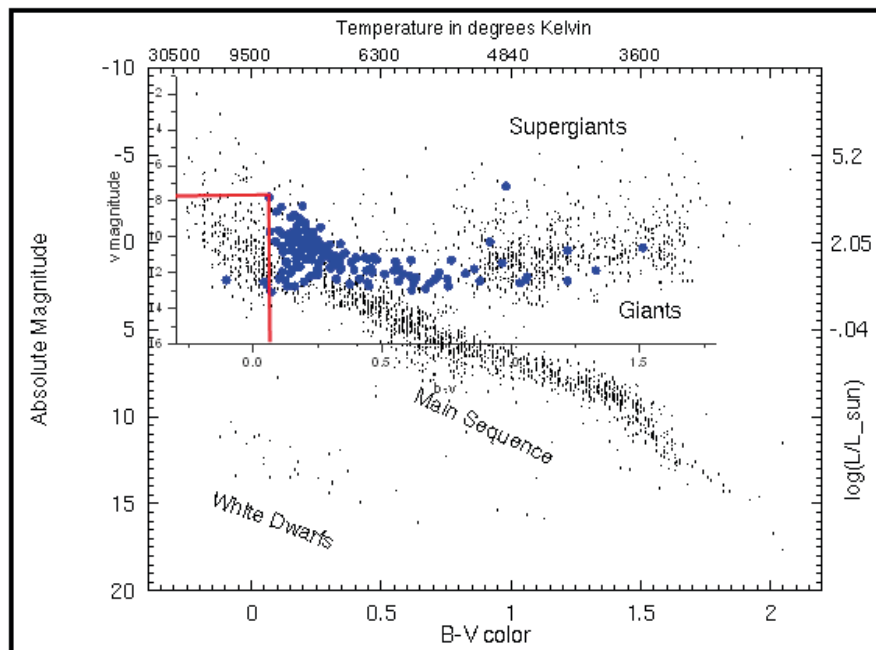
ภาพที่ 5 H-R Diagram ของระจุกดาวเปิด M35 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจาก CCD

จากภาพที่ 5 สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางของระจุกดาวโดยใช้วิธีการช้อนลำดับ ซึ่งจะได้อัตราการลดลงของโชติมาตรปรากฏของระจุกดาวเปิด M35 กับค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นผลการช้อนทับจะได้โชติมาตรปรากฏของดาว (m) มีค่าประมาณ 11.4 และ ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์มาตรฐาน (M) มีค่าประมาณ 1.5



ภาพที่ 6 การเทียบ H-R Diagram ของระจุกดาวเปิด M35 กับ H-R Diagramมาตรฐาน
เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจาก CCD

เมื่อกำหนดหาระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 ตามสมการที่ (2) ซึ่งผลการคำนวณพบว่าระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 มีค่าประมาณ 871 พาร์เซก หรือประมาณ 2,839 ปีแสง



ภาพที่ 7 จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลักของกระจุกดาวเปิด M35

เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายดาวจาก CCD

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นตำแหน่งที่ค่าโชติมาตรปรากฏของดาวที่จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลัก (m) มีค่าประมาณ 7.8 เนื่องจากค่าที่ได้คือค่าโชติมาตรปรากฏจึงต้องเปลี่ยนค่าโชติมาตรปรากฏ เป็นค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์ดังสมการที่ (4) จะได้

$$7.8 - (-26.5) = -2.5 \log \left[\left(\frac{L}{L_{\text{sun}}} \right) \left(\frac{4.848132 \times 10^{-6}}{871} \right)^2 \right]$$

เมื่อนำค่ากำลังส่องสว่างของดาวกับดวงอาทิตย์มาคำนวณหามวลของดาวฤกษ์ ต่อมวลดวงอาทิตย์ จากสมการที่ (5) จะได้มวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ของกระจุกดาวเปิด M35 (M/M_{sun}) = 6.263615423 จากนั้นคำนวณหาอายุของกระจุกดาวโดยแทนค่ามวลของดาวฤกษ์ต่อมวลดวงอาทิตย์ ลงในสมการที่ (3) จะคำนวณอายุของกระจุกดาวเปิด M35 นี้ได้ 102 ล้านปี

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อกำหนดหาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้ ผลการวิเคราะห์อายุของกระจุกดาวเปิด M35 พบว่า มีอายุประมาณ 116 ล้านปี มีระยะทางประมาณ 871 พาร์เซก หรือ 2,839 ปีแสง กำหนดหาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจาก CCD สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้ ผลการวิเคราะห์อายุของกระจุกดาวเปิด M35 พบว่า มีอายุประมาณ 102 ล้านปี มีระยะทางประมาณ 871 พาร์เซก หรือ 2,839 ปีแสง

จากงานวิจัยอื่นที่ได้วิเคราะห์หาอายุของกระจุกดาวเปิด M35 มีอายุประมาณ 100 - 110 ล้านปี มีระยะทาง คือ 2,800 ปีแสง [4] จากผลการวิเคราะห์หาระยะทางและอายุของกระจุกดาวเปิด M35 โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัล DSLR มีค่าความคลาดเคลื่อน 1.4% และ 5.45% ตามลำดับ และภาพจากกล้อง CCD มีค่าความคลาดเคลื่อน 1.4% และ 2% ตามลำดับ จากผลที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายทั้งจากกล้องดิจิทัล DSLR และ CCD ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่ถึง 10% จึงอาจสรุปได้ว่า ภาพถ่ายกระจุกดาวจากกล้อง ดิจิทัล DSLR และ CCD สามารถนำมาวิเคราะห์และให้ผลใกล้เคียงกัน

คำขอบคุณ

ขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบคุณหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา จังหวัดพะเยา สำหรับสถานที่และอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุทธิดา เชื้อนแก้ว. (2557). การศึกษา **Initial Mass Function** ของกระจุกดาวเปิด. THE 1st THAI ASTRONOMICAL CONFERENCE (STUDENT SESSION).
- [2] Gigerich,O. (1990). **Exercises in Practical Astronomy Using Photograph with Solution**. Great Britain: The Bath Press.
- [3] Karttunen, H., Kroger, K., Oja, H., Poutanen, M. and Donner, K.J. (1987). **Fundamental Astronomy**: Germany: Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- [4] Carrol, B.W. and Ostle, D.A. (1996). **An Introduction to Modern Astrophysics**. United State of America: Addison - Wesley Publishing Company.
- [5] ไพโรบลย์ ทองเชื้อ. (2549). การสร้างและวิเคราะห์แผนภาพเฮช-อาร์ของกระจุกดาวเปิด M35. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมในบริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่น

กรณีศึกษา: จังหวัดพัทลุง

Knowledge-based System of Art and Culture in the Context of Folk Wisdom

Case Study: Phatthalung Province

อาจารย์ นาโค^{1*}

Ajaree Naco^{1*}

บทคัดย่อ

จังหวัดพัทลุงเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมที่เป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นอย่างต่อเนื่อง ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับศิลปะและวัฒนธรรมที่ชัดเจนจะถูกจัดเก็บในรูปแบบที่เผยแพร่ เช่น หนังสือ หรือเอกสาร ซึ่งเสี่ยงกับการชำรุด และบางเรื่องเป็นความรู้ที่ฝังอยู่ในตัวบุคคล งานวิจัยนี้นำเสนอฐานความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงที่เชื่อมโยงกับภูมิปัญญาของบุคคลโดยใช้กระบวนการดังนี้ 1) การสร้าง แสวงหา และรวบรวมความรู้ 2) การจัดการความรู้ให้เป็นระบบ 3) การปรับปรุงและกลั่นกรองความรู้เพื่อนำไปจัดเก็บในฐานความรู้ และ 4) การเข้าถึงความรู้ และการแลกเปลี่ยนความรู้ ผ่านทางเว็บไซต์ที่พัฒนาด้วยภาษา PHP โดยจัดเก็บข้อมูลด้วย MySQL ผลการทดสอบระบบโดยการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน 30 คน พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจการใช้งานระดับดี (4.21/5) กล่าวคือ เว็บไซต์สามารถนำเสนอความรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เชื่อมโยงกับศิลปะและวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงได้ผ่านการสืบค้นจากคำสำคัญ และการเลือกหมวดหมู่ที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้

คำสำคัญ: ระบบฐานความรู้ ศิลปะและวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น ปราชญ์ชาวบ้าน พัทลุง

Abstract

Phatthalung is one of the southern provinces that continuously preserves the arts and culture of the province. Some explicit knowledge related to art and cultural is stored in a published format such as books or documents which are vulnerable to damage while others are tacit knowledge embedded in the person. This research presents the knowledge base website on art and culture of Phatthalung province which can be linked to the wisdom of the person using the following process: 1) knowledge create and acquisition; 2) knowledge organization; 3) knowledge improving and refinement for storing in a knowledge base; 4) knowledge access and sharing through a website developed with the PHP language and storing data in the MySQL. The results of the system testing by 30 users satisfaction evaluation showed that the satisfaction level were good. (4.21 of 5). The website can offer local wisdom information linked to the arts and culture of Phatthalung province through keyword searches or browsing form categories that meets the needs of the user.

Keywords: Knowledge Based System, Art and Culture, Local Wisdom, Folk Philosophy, Phatthalung

¹ อ., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: ajaree@scholar.tsu.ac.th, najaree@gmail.com

บทนำ

จังหวัดพัทลุงเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีประวัติศาสตร์ยาวนานตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ ตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ฝั่งตะวันตกของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครตามเส้นทางทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 41 ประมาณ 856 กิโลเมตร มีรูปร่างลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทิศเหนือติดกับจังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดสงขลา ทิศใต้ติดต่อกับจังหวัดสงขลา และจังหวัดสตูล ทิศตะวันออกติดต่อกับจังหวัดสงขลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ทิศตะวันตกติดต่อกับจังหวัดสตูล และจังหวัดตรัง [6] จากอาณาเขตของพื้นที่ใกล้เคียงทำให้จังหวัดพัทลุงมีรูปแบบของศิลปะและวัฒนธรรม เช่นเดียวกับจังหวัดนครศรีธรรมราช ตรัง สงขลา และสตูล แต่อาจมีความแตกต่างในส่วนของการเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัด ศิลปะและวัฒนธรรมของภาคใต้ในภาพรวมมีการสืบทอดจากอดีตจนถึงปัจจุบันซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากความเชื่อ ศาสนา ภูมิประเทศ และการใช้ชีวิตประจำวัน และถูกถ่ายทอดในรูปแบบของศิลปะการแสดง งานช่างฝีมือ การละเล่น กีฬา พิธีกรรมหรืองานเทศกาล เป็นต้น ศิลปะและวัฒนธรรมเป็นสิ่งที่กำหนดรูปแบบของของสถาบัน สร้างระเบียบให้กับสังคม และเป็นสิ่งที่บ่งบอกเอกลักษณ์ของท้องถิ่นและประเทศชาติ การอนุรักษ์และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องส่งเสริมให้เกิดขึ้นในสังคมไทย

การอนุรักษ์ศิลปะและวัฒนธรรมให้ดำรงอยู่อย่างยั่งยืน จะต้องทำให้ทุกคนรับรู้และเข้าใจ ความเป็นมาและความสำคัญของศิลปะและวัฒนธรรมเหล่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นความรู้ที่มีการบันทึกไว้ในสื่อต่างๆ และสามารถรวบรวมเพื่อเผยแพร่ความรู้ได้โดยง่าย นอกจากนั้นแล้วยังต้องค้นหาความรู้อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรมในแง่มุมต่าง ๆ อาทิ เช่น องค์ประกอบของศิลปะการแสดงที่มักจะประกอบด้วย การขับร้อง ทำรำ เครื่องแต่งกาย เป็นต้น ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบเหล่านี้มักจะฝังอยู่ในตัวบุคคล เช่น ผู้เชี่ยวชาญด้านการตัดเย็บเครื่องแต่งกาย ผู้เชี่ยวชาญการออกแบบท่ารำ เป็นต้น เหล่านี้ถือได้ว่าเป็นภูมิปัญญาที่เชื่อมโยงกับศิลปวัฒนธรรมและสร้างเอกลักษณ์ของงานให้โดดเด่นยิ่งขึ้น การจัดการความรู้ทางด้านภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้องจึงถือได้ว่าเป็นการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมได้อีกทางหนึ่ง

การนำเสนอความรู้และการแบ่งปันความรู้สามารถนำเสนอทั้งในรูปแบบแผ่นพับ เอกสาร หรือสื่อโทรทัศน์แต่ปัจจุบันสื่อต่างๆ ถูกนำไปนำเสนอบนอินเทอร์เน็ต ดังนั้นเว็บไซต์จึงเป็นรูปแบบที่ถูกนำมาประยุกต์ในการนำเสนอความรู้ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากประชาชนสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา ทุกสถานที่ และสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการรวบรวมความรู้ใหม่ได้อีกด้วย เว็บไซต์ที่นำเสนอความรู้ทางศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงส่วนใหญ่จะเป็นการรวบรวมข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ที่ยังคงสืบทอดในปัจจุบัน เว็บไซต์เหล่านี้มีทั้งที่จัดทำโดยหน่วยงานราชการ ชุมชน หรือส่วนบุคคล การนำเสนอความรู้ทางด้านศิลปวัฒนธรรมบนเว็บประกอบด้วย ข้อความ รูปภาพ หรือวิดีโอ ส่วนใหญ่เป็นการรวบรวมข้อมูลหรือสารสนเทศของเนื้อหาที่จัดทำการค้นหาข้อมูลในเว็บไซต์เหล่านี้จะมีข้อจำกัดคือ ผู้ใช้สามารถเลือกดูข้อมูลตามหมวดหมู่ที่จัดไว้ให้เท่านั้น ไม่มีฟังก์ชันของการสืบค้นข้อมูล เนื่องจากเว็บไซต์เหล่านั้นไม่ได้ถูกออกแบบในรูปแบบของฐานข้อมูล [6] ในขณะที่เว็บไซต์ภูมิปัญญาที่มีอยู่มักจะเน้นการนำเสนอภูมิปัญญาของผลิตภัณฑ์ OTOP การนำเสนอความรู้จะเฉพาะเจาะจงไปยังตัวบุคคลหรือกลุ่มบุคคล ตัวอย่างเช่น ถั่วฝักยาวแม่แดง จะนำเสนอประวัติความเป็นมา และความรู้ของการทำถั่วฝักยาว เทคนิคพิเศษ และความเป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งความรู้เหล่านี้จะถูกนำเสนออย่างกระจัดกระจาย โดยไม่มีการแสดงความเชื่อมโยงระหว่างภูมิปัญญากับรายละเอียดปลีกย่อยของข้อมูลศิลปวัฒนธรรม ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของความรู้ที่ซ่อนอยู่ในศิลปวัฒนธรรม

มหาวิทยาลัยทักษิณเป็นมหาวิทยาลัยที่จัดตั้งในพื้นที่ของจังหวัดพัทลุง มีปณิธานในการเป็นมหาวิทยาลัยรับใช้สังคม พันธกิจหลักที่สำคัญด้านหนึ่งคือ การส่งเสริม สนับสนุนการทำนุบำรุง รักษา และพัฒนาด้านศิลปะ วัฒนธรรม ภูมิปัญญา ให้เกิดคุณค่า มูลค่าเพิ่มแก่การพัฒนาท้องถิ่น ประเทศ และอาเซียน การพัฒนาฐานความรู้ในที่นี้หมายถึง การพัฒนาระบบฐานข้อมูลที่จัดเก็บความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีความเชื่อมโยงกับศิลปวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุง ซึ่งถือได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่จะใช้องค์ความรู้ทางเทคโนโลยีสารสนเทศมาสร้างนวัตกรรมใหม่ในการเรียนรู้ โดยจัดเก็บ ประมวลผล และ

นำเสนอข้อมูลความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมบนบริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัด ทั้งนี้เพื่อสร้างแหล่งเรียนรู้ตามอรรถาธิบายในการเรียนรู้ด้วยตนเอง หรือผ่านปราชญ์ชาวบ้านที่อ้างอิงไว้ในระบบ การอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาของท้องถิ่น นำมาซึ่งการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสังคมท้องถิ่นในรูปแบบต่างๆ เช่น การท่องเที่ยวเชิงภูมิปัญญา ซึ่งสามารถส่งเสริมท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็งบนฐานภูมิปัญญาของท้องถิ่น นอกจากนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นยังทำหน้าที่เป็นคุณเฝ้าให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการเสนอแนะเนื้อหาภูมิปัญญาท้องถิ่นใหม่ ๆ หรือเจ้าของภูมิปัญญาท้องถิ่นรายใหม่ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมภูมิปัญญาทั่วทั้งจังหวัดพัทลุง

เอกสารฉบับนี้เริ่มต้นด้วยการนำเสนอความสำคัญของการทำงานวิจัยครั้งนี้ ความรู้พื้นฐานที่ใช้ในการแสวงหาและจัดเก็บข้อมูลความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญา วิธีการพัฒนาระบบ การอภิปรายผลการดำเนินงาน การสรุปผลและงานในอนาคต

ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ได้นิยามความหมายของความรู้ (Knowledge) ไว้ว่า คือสิ่งที่สั่งสมมาจากการศึกษาเล่าเรียน การค้นคว้า หรือจากประสบการณ์ รวมทั้งความสามารถเชิงปฏิบัติและทักษะ ความเข้าใจหรือสารสนเทศที่ได้รับมาจากประสบการณ์ องค์วิชาในแต่ละสาขา [5] จากความหมายดังกล่าวขยายความได้ว่า ความรู้เกิดขึ้นจากการเชื่อมโยงเนื้อหาต่างๆ เช่น ข้อมูลหรือข้อเท็จจริง สารสนเทศที่ผ่านการกลั่นกรอง การปฏิบัติด้วยตนเองจนเกิดทักษะหรือความชำนาญ เป็นต้น การเชื่อมโยงเนื้อหาต่าง ๆ จะต้องดำเนินการผ่านการศึกษาในระบบ หรือการศึกษาด้วยตนเองเรียนรู้จากบุคคล และได้มาซึ่งสิ่งที่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ความรู้สามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มคือ ความรู้ที่ฝังอยู่ในตัวบุคคล (Tacit Knowledge) และความรู้ชัดแจ้ง (Explicit Knowledge) ความรู้ที่ฝังในตัวบุคคลเป็นความรู้ของบุคคลนั้นๆ ซึ่งอาจเกิดจากพรสวรรค์ หรือจากประสบการณ์ที่ยังไม่สามารถนำเสนอหรือถ่ายทอดในรูปแบบที่ชัดเจนได้ ความรู้กลุ่มนี้อาจเกิดการสูญหายไปพร้อมกับบุคคลหากไม่มีการถ่ายทอด ความรู้ชัดแจ้ง เป็นความรู้ที่ชัดเจนสามารถรวบรวมและนำเสนอในรูปแบบของสื่อต่างๆ เช่น เอกสาร การบันทึกเสียง เป็นต้น การจัดการความรู้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในองค์กรจึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่ง ภูมิปัญญาท้องถิ่น (Local Wisdom) หรือภูมิปัญญาชาวบ้าน ถือเป็นความรู้ชนิดหนึ่งซึ่งเฉพาะเจาะจงถึง ความรู้ของชาวบ้านในท้องถิ่น ซึ่งส่วนใหญ่จะได้มาจากการรู้ที่ถ่ายทอดมาจากรุ่นบรรพบุรุษ และอาจมีการปรับเปลี่ยนหรือประยุกต์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพดีขึ้น การปรับเปลี่ยนหรือประยุกต์มักเกิดขึ้นจากสภาวะการณ์ของสังคมและเศรษฐกิจหรือการประยุกต์ความรู้ทฤษฎีสู่การปฏิบัติจริง ภูมิปัญญาเหล่านี้มีทั้งเป็นความรู้ฝังลึก และความรู้ชัดแจ้ง การหลอมรวมความรู้แบบฝังลึกและแบบชัดแจ้งของภูมิปัญญาท้องถิ่นตามโมเดลเชกกีที่นำเสนอโดย [9] จะช่วยทำให้ความรู้เกิดการไหลเวียน และอาจก่อให้เกิดภูมิปัญญาใหม่ ๆ ที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับชุมชน

คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุ [2] ได้แนะนำการแบ่งประเภทของเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมและการจำแนกภูมิปัญญาท้องถิ่นไว้ใน หนังสือ วัฒนธรรม พัฒนาการทางประวัติศาสตร์ เอกลักษณ์และภูมิปัญญา จังหวัดพัทลุง โดยทำการแบ่งหมวดหมู่เอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงแบ่งออกเป็น 1) การละเล่นพื้นบ้าน ได้แก่ หนังตะลุง โนรา เพลงบอก และลิเกป่า 2) ศิลปกรรมพื้นบ้าน 3) ประเพณีพื้นบ้าน เช่น สงกรานต์ ชิงเปรต ลากพระแข่งโพน เป็นต้น และ 4) อาหารพื้นบ้าน เช่น กาละแม ก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น และจำแนกภูมิปัญญาชาวบ้านและเทคโนโลยีท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงออกเป็น 1) ภูมิปัญญาเพื่อการยังชีพ เป็นความรู้ในการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อการดำรงอยู่ของชีวิต เช่น เครื่องสีข้าวเปลือก อุปกรณ์ดักจับสัตว์น้ำ การทำแป้งข้าวหมาก การประดิษฐ์เครื่องทอผ้า การใช้สมุนไพรรักษาโรค 2) ภูมิปัญญาในการพิทักษ์ชีวิตและทรัพย์สิน เกี่ยวข้องกับความรู้ที่ใช้ในการป้องกันตัวเอง เช่น การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศ เพื่ออพยพย้ายถิ่น หรือการประดิษฐ์ดาบหรือมีดเพื่อป้องกันตัว 3) ภูมิปัญญาเกี่ยวกับการสร้างและพิทักษ์อำนาจ เกี่ยวข้องกับแนวคิด หรือธรรมเนียมปฏิบัติของครอบครัว เช่น การอบรมลูกหลานมีนิสัยกล้าหาญ รักความยุติธรรม 4) ภูมิปัญญาในการ

จัดการเพื่อสาธารณประโยชน์ เป็นความรู้ในการสร้างจิตสาธารณะเพื่อให้กิจกรรมของชุมชนดำรงอยู่ต่อไป เช่น การร่วมรับผิดชอบในงานประเพณีต่างๆ ในวัด และ 5) ภูมิปัญญาที่เป็นการสร้างสรรค์พิเศษ เป็นความรู้ที่อาจจะเกิดจากพรสวรรค์ของบุคคล หรือเป็นการสืบทอดกันของตระกูล เช่น การทำลวดลายต่างๆ การแสดงหนังตะลุง โนรา การผลิตกะลามะพร้าว กระจุก งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาแนวทางการแบ่งหมวดหมู่และการเชื่อมโยงภูมิปัญญาท้องถิ่นของข้อมูลศิลปวัฒนธรรมจังหวัดพัทลุงตามที่เสนอใน คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุ [2]

รูปแบบการเข้าถึงและแบ่งปันความรู้จะศึกษาจากเว็บไซต์ของกระทรวงวัฒนธรรม และเว็บไซต์ของส่วนงานราชการเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความรู้ที่น่าเชื่อถือและสามารถอ้างอิงได้ เว็บไซต์จังหวัดพัทลุง [6] เป็นเว็บไซต์หลักของจังหวัดพัทลุงเพื่อประชาสัมพันธ์ข้อมูลของจังหวัดสู่สาธารณะ โดยมีสำนักงานจังหวัดพัทลุงเป็นผู้บำรุงรักษา เว็บไซต์จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอข้อมูลความรู้ทางด้านศิลปวัฒนธรรมที่โดดเด่นของจังหวัด 5 เรื่องคือ โนรา หนังตะลุง ประเพณีชิงเปรต การละเล่นซัดคัม และงานประเพณีแข่งโพนลากพระ เนื้อหาภายในประกอบด้วยความเป็นมา รูปแบบและส่วนประกอบต่างๆ และนำเสนอภูมิปัญญาของบุคคลหรือกลุ่มบุคคลในผลิตภัณฑ์ OTOP เช่นเดียวกับการนำเสนอใน [4] เว็บไซต์นี้ไม่สามารถสืบค้นข้อมูล การเข้าถึงความรู้ในเว็บไซต์สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดพัทลุง [1] แบ่งองค์ความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมออกเป็น 1) ความรู้ของประเพณีท้องถิ่นพัทลุง ประกอบด้วยความรู้ทั้ง 5 ด้านตามที่เสนอใน [6] 2) อาหารพื้นเมือง 3) โบราณสถานและ โบราณวัตถุ และ 4) ทำเนียบศิลปินพื้นบ้านที่การเชื่อมโยงกับองค์ความรู้ในศิลปะการแสดง เว็บไซต์นี้สามารถค้นหาข้อมูลได้เฉพาะหมวดของโบราณสถานและโบราณวัตถุ การนำเสนอความรู้ทางภูมิปัญญาใน [3, 7] จะนำเสนอในรูปแบบข้อความเชิงพรรณนาและภาพประกอบ โดย [3] จัดหมวดหมู่ของการนำเสนอภูมิปัญญาเป็น 5 ด้านคือ ประเพณีความเชื่อ ศิลปะการแสดง สิ่งของเครื่องใช้พื้นบ้าน กีฬาการละเล่น และอาหารการกิน ในขณะที่สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง [7] นำเสนอฐานข้อมูลภูมิปัญญาชาวบ้านจังหวัดลำปางในรูปของการสืบค้น ผู้ใช้จะต้องเลือกตัวเลือกหลักเป็นอำเภอ และตัวเลือกย่อยอีกหนึ่งตัวเลือก ผลที่ได้จากการสืบค้นเป็นการนำเสนอภูมิปัญญาจากตัวเลือกอำเภอเพียงมิติเดียว ส่วนตัวเลือกย่อยอื่น ๆ เป็นการนำเสนอข้อมูลในภาพรวมโดยกรองตามชื่อตัวเลือก สุनिया และอัจฉริย์ [8] ออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง โดยเน้นเจ้าของภูมิปัญญา สื่อต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับกระบวนการภายในของงานฝีมือ ผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลตามที่กำหนด หรือสืบค้นข้อมูลภูมิปัญญาผ่านคำสำคัญ ฐานข้อมูลนี้ยังไม่มีเชื่อมโยงร่วมกับเนื้อหาของศิลปะและวัฒนธรรม รูปแบบการนำเสนอความรู้ด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาผ่านทางเว็บไซต์ตามที่กล่าวมาสามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการเข้าถึงความรู้และแบ่งปันความรู้ในงานวิจัยครั้งนี้

วิธีการวิจัย

ระบบฐานความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมในงานวิจัยนี้ หมายถึง ระบบฐานข้อมูลที่จัดเก็บความรู้ทางด้านศิลปะและวัฒนธรรม และเชื่อมโยงกับภูมิปัญญาท้องถิ่นของความรู้นั้น ๆ วิธีการดำเนินการประกอบด้วย

1) การกำหนดความรู้ที่จะใช้ในการจัดทำฐานความรู้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำฐานข้อมูลความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เชื่อมโยงกับศิลปวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุง เพื่อให้สอดคล้องและเป็นไปตามยุทธศาสตร์ของคณะและมหาวิทยาลัย โดยมีเป้าหมายให้มหาวิทยาลัยเป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านศิลปวัฒนธรรมของจังหวัด มีระบบสารสนเทศที่สนับสนุนการเรียนรู้ศิลปวัฒนธรรมและ ภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง และการให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการนำเสนอภูมิปัญญาของตนเองหรือชุมชนเข้าไปในระบบ บอ

2) การสร้างและแสวงหาความรู้ในการจัดทำฐานความรู้

การค้นหาและรวบรวมข้อมูลความรู้จะใช้ข้อมูล 2 ประเภทร่วมกันคือ ข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งได้มาจากการศึกษาคำรา เอกสารเผยแพร่ เว็บไซต์ ซึ่งนำเสนอความรู้แบบชัดทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญา และการเก็บข้อมูลภาคสนาม เพื่อรวบรวม

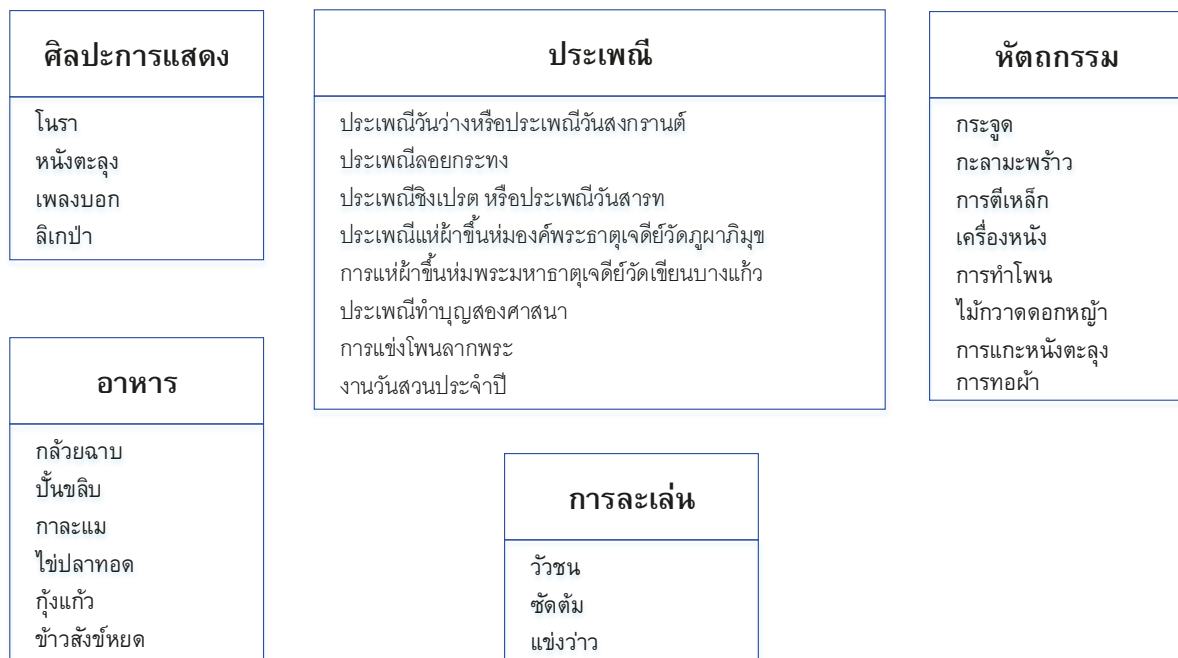
ความรู้ที่ฝังในผู้คนให้เป็นความรู้แบบชัดแจ้ง โดยการสัมภาษณ์ กลุ่มเป้าหมายที่เลือกไว้ ผลจากการค้นหาความรู้พบว่า ความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมที่ต้องการจัดเก็บจะเป็นความรู้ที่จับต้องไม่ได้เนื่องจากเป็นความรู้ที่จำเป็นต่อการอนุรักษ์ให้ยั่งยืน นอกจากนี้ได้กำหนดขอบเขตของการรวบรวมความรู้ 4 อำเภอ คือ อำเภอป่าพะยอม อำเภอเมือง อำเภอกวนขนุน และอำเภอเขาชัยสน

3) การจัดการความรู้ให้เป็นระบบ

การจัดหมวดหมู่ความรู้ทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นจะใช้แนวทางตามที่น่าสนใจใน [2] การศึกษาข้อมูลพบข้อสังเกต ดังนี้

- ข้อมูลการละเล่นพื้นบ้าน เช่น โนรา หนังตะลุง จะประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไป ประวัติความเป็นมา ความเชื่อ รายละเอียดของการละเล่น เช่น เครื่องแต่งกาย คนตรีที่ใช้ ขั้นตอนการแสดง เพลงที่ใช้ ส่วนละคร เป็นต้น โดยในส่วนของรายละเอียดของการละเล่นสามารถเชื่อมโยงกับภูมิปัญญาเพื่อการยังชีพ
- ข้อมูลประเพณีพื้นบ้าน ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไป ประวัติความเป็นมา และอาจมีขั้นตอนของประเพณี สามารถเชื่อมโยงเข้ากับภูมิปัญญาในการจัดการเพื่อสาธารณประโยชน์
- ข้อมูลศิลปกรรมพื้นบ้าน ไม่ได้มีการจัดเก็บข้อมูลในส่วนนี้ เนื่องจากจะเกี่ยวข้องกับวรรณกรรม และภาษา ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ละเอียดอ่อน จึงไม่ถูกนำมานำเสนอในงานวิจัยนี้
- ข้อมูลอาหารพื้นบ้าน ส่วนใหญ่มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับ ข้อมูลทั่วไป วัตถุดิบ ขั้นตอนการประกอบอาหาร เทคนิคพิเศษ โดยสามารถเชื่อมโยงกับภูมิปัญญาทางด้านอาหารหรือโภชนาการ

การแบ่งประเภทความรู้ในฐานความรู้แสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานระบบซึ่งแบ่งออกเป็น ผู้จัดการข้อมูลความรู้ ซึ่งหน้าที่ในการบันทึกความรู้ และเมทาตาของความรู้ลงในระบบ และผู้มีส่วนร่วมในการเสนอแนะภูมิปัญญา



ภาพที่ 1 การจำแนกหมวดหมู่ของความรู้

4) การปรับปรุงและกลั่นกรองความรู้เพื่อนำไปจัดเก็บในฐานความรู้

การจัดเก็บความรู้ให้เป็นรูปแบบเดียวกันเริ่มต้น โดยการออกแบบการตารางข้อมูลเพื่อจัดเก็บความรู้ในฐานข้อมูล และจัดเก็บเมทาตา (Metadata) ของข้อมูลเพื่อนำไปสร้างมิติของการสืบค้นความรู้

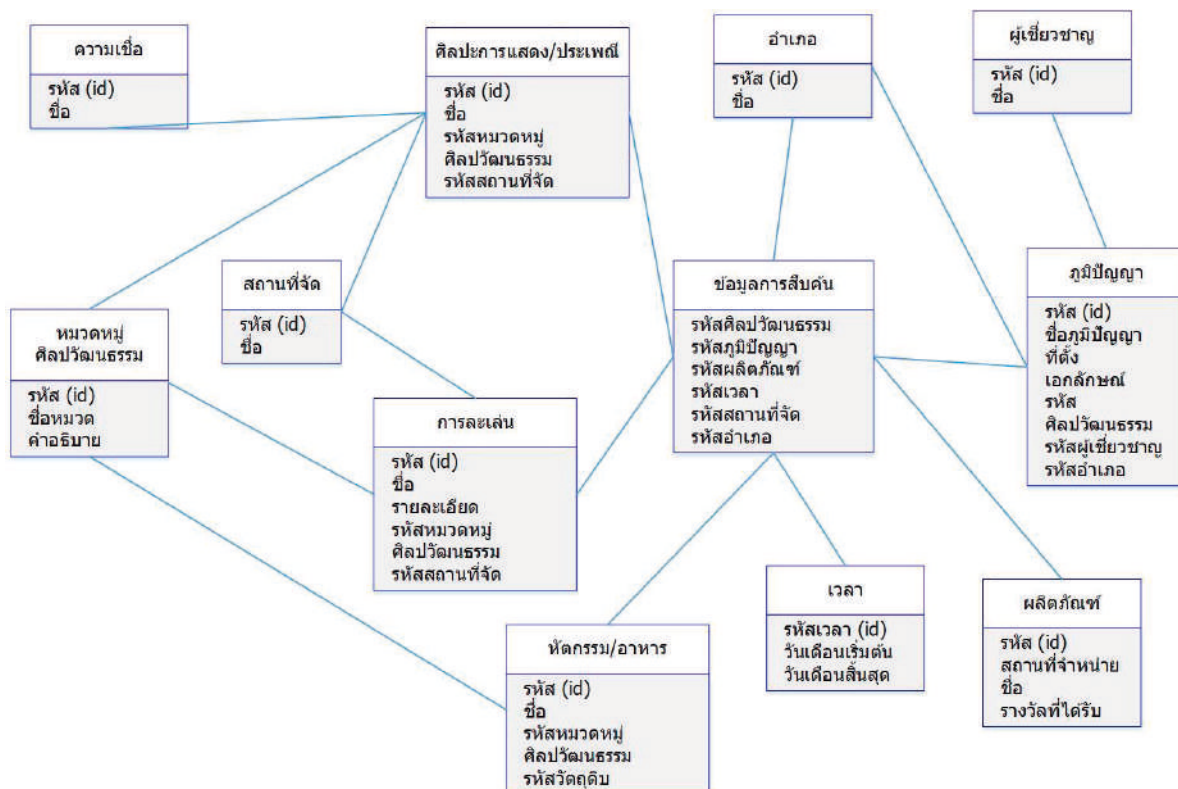
5) การเข้าถึงความรู้

การเข้าถึงความรู้ทำได้โดยการจัดเก็บความรู้ไว้ในเว็บไซต์และสื่อสารผ่านทางอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้สนใจสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา การนำเสนอข้อมูลจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ การเรียกดูข้อมูลผ่านทางหมวดหมู่ที่จำแนกไว้ โดยจะนำเสนอความรู้ของศิลปวัฒนธรรมนั้น ๆ และภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้อง และการเข้าถึงผ่านการสืบค้น ซึ่งผู้ใช้สามารถสืบค้นผ่านทางคำสำคัญหรือจากการเลือกเงื่อนไขที่ระบุไว้

6) การแลกเปลี่ยนเรียนรู้

ฐานข้อมูลความรู้ที่จัดทำขึ้นเป็นการนำเสนอและปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ผ่านทางเว็บไซต์ เน้นให้ผู้สนใจเรียนรู้สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ผู้ใช้งานระบบอาจจะผู้ที่มีภูมิปัญญาในด้านเดียวกัน ผู้ที่ต้องการบอกเล่าภูมิปัญญาของชุมชน หรือผู้สนใจทั่วไปที่ต้องการศึกษาเรื่องนั้นๆ การแลกเปลี่ยนหรือแบ่งปันความรู้ทำได้ผ่านการเสนอแนะความรู้ตามแบบฟอร์มที่กำหนดในระบบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงมิติต่างๆ สำหรับการสืบค้นข้อมูล

ระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุงถูกพัฒนาให้นำเสนอความรู้ในรูปของเว็บไซต์ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา PHP ร่วมกับการจัดรูปแบบด้วย CSS และมีการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล MySQL การเชื่อมโยงความรู้เพื่อการสืบค้นความรู้ศิลปวัฒนธรรมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นแสดงดังภาพที่ 2 ตัวอย่าง



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลจากการเลือกความรู้ภูมิปัญญาจากศิลปวัฒนธรรมต่างหมวด

การนำเสนอข้อมูลความรู้ของขั้นตอนแสดงดังตัวอย่างในภาพที่ 3 โดยระบบจะนำเสนอรูปภาพของขั้นตอนแต่ละขั้นตอน รวมถึงผู้เชี่ยวชาญของขั้นตอนนั้นๆ (ถ้ามี) และสามารถเชื่อมโยงไปยังรายละเอียดของผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	รายละเอียดขั้นตอนการทำให้	รูปภาพขั้นตอนการทำให้	ผู้เชี่ยวชาญ
1	เป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ คือ ต้นกระจุยขนาดต่าง ๆ ซึ่งชาวบ้านจะเตรียมที่ทุ่งกระจุย การกอบดินกอบที่ละ 2.3 ตัน รับหน้ากระจุยประมาณ 10-15 กำฟา ปิดกระจุย ที่ปิดมาจากแหลมกระจุย เรียก 1 กำฟา ใหญ่ขนาดเท่าต้นตาลโตด 1 กำฟา นำมาแยกเป็นกำฟาบิดประมาณ 4-5 กำฟาบิด (1 กำฟาบิด สานเพื่อผู้นั่งใส่ 1 ผืน)		ม.นิก พ.นิก เชว จวด
2	การคลุกโคลนต้นกระจุย เพื่อความเหนียวให้กับเส้นใย ชาวบ้านจะใช้น้ำโคลนขาว คลุกกระจุยให้เปียกทั่วก่อนนำไปตากแดด ช่วยให้การกระจุยแห้งตัว ไปแก้มกรอบ เขียวปิดจบบใช้กับไปได้ นำน้ำมาผสมกับดินเหนียวขาวจะได้น้ำโคลนสีขาว การผสมน้ำกับโคลน ต้องไม่เหลวหรือข้นจนเกินไป ทดสอบโดยจับมือนำไปให้น้ำโคลนเกาะนิ้วมือ		

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการนำเสนอขั้นตอนการทำกระจุย

การประเมินการใช้งานระบบฐานความรู้ที่พัฒนาขึ้น จะใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 30 คน โดยสอบถามการนำเสนอความรู้จากการเลือกหมวดหมู่ การแสดงผลของการค้นคืนข้อมูลจากคำสำคัญ และการค้นคืนจากการตั้งคำถามแล้วเลือกจากตัวเลือก ผลการทดสอบพบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจการใช้งานในภาพรวม 4.21 จาก 5 นั่นคือ เว็บไซต์สามารถนำเสนอข้อมูลของภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เชื่อมโยงกับศิลปะและวัฒนธรรมโดยการเรียกดูข้อมูล สืบค้นจากคำสำคัญ และสืบค้นผ่านมิติต่าง ๆ ของตัวเลือก การจัดแบ่งหมวดหมู่ทำให้เรียกดูข้อมูลได้ง่าย มีการนำเสนอผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการและมีรายละเอียดปลีกย่อยในส่วนข้อมูลปราชญ์ชาวบ้านที่นอกเหนือจากความต้องการและเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอระบบฐานความรู้ทางศิลปะและวัฒนธรรมของจังหวัดพัทลุง ภายใต้บริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลความรู้แบบฝังลึกและแบบชัดแจ้งจากสื่อสิ่งพิมพ์ และการลงพื้นที่ นำความรู้ที่ได้มาจัดระบบโดยการจัดหมวดหมู่ความรู้ ปรับปรุงรูปแบบความรู้ให้เป็นมาตรฐานโดยการทำฐานข้อมูลและจัดเก็บเมตาดาตาของความรู้เพื่อสร้างมิติของความรู้ แล้วนำมาจัดทำตารางสำหรับการสืบค้นข้อมูล การเข้าถึงความรู้จะใช้วิธีการของการจัดทำฐานความรู้ในรูปแบบของเว็บไซต์ด้วยภาษา php โดยจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล MySQL ผู้ใช้ทั่วไปสามารถเรียกดูข้อมูลตามหมวดหมู่ที่กำหนดไว้ และสืบค้นข้อมูลผ่านทางตัวเลือกที่กำหนดให้ หรือใส่คำสำคัญ เช่น ชื่อของศิลปะและวัฒนธรรม ชื่อภูมิปัญญา ชื่อเจ้าของภูมิปัญญา ผลลัพธ์จากการสืบค้นจะนำเสนอข้อมูลทั้งส่วนที่เป็นศิลปวัฒนธรรม ภูมิปัญญา และเจ้าของภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ได้รับข้อมูลที่เชื่อมโยงกับประเด็นการค้นห การแบ่งปันความรู้จะ

เป็นการเสนอแนะข้อมูลภูมิปัญญาเข้าไปในฐานความรู้ ซึ่งทำได้โดยสมาชิกของระบบหรือโดยผู้ดูแลระบบ ความรู้ที่ถูกเสนอแนะโดยสมาชิกจะไม่ถูกนำเสนอในระบบโดยทันที แต่จะต้องผ่านการกลั่นกรองโดยผู้ดูแลระบบ การมีส่วนร่วมของสมาชิกในการเสนอแนะข้อมูลจะทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุมข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นในจังหวัดพัทลุง การต่อยอดงานวิจัยนี้ทำได้โดยการขยายขอบเขตของการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของออนโทโลยี และใช้วิธีการของเว็บเชิงความหมายในการสืบค้นข้อมูล ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการในการค้นหาข้อมูลในประเด็นต่าง ๆ ที่เชื่อมโยงกันมากขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาคลังความรู้ดิจิทัลทางศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่น จังหวัดพัทลุงและได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2558 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และขอขอบคุณเจ้าของเนื้อหา และบทความที่รวบรวมจากสื่อทุกประเภท

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงวัฒนธรรม. (2558). **เว็บไซต์สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดพัทลุง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.m-culture.go.th/phatthalung/main.php>.
- [2] คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุ. (2544). **วัฒนธรรม พัฒนาการทางประวัติศาสตร์ เอกลักษณ์และภูมิปัญญา จังหวัดพัทลุง**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว.
- [3] ปนัดดา ทองศรีจันทร์. (มปป). **เว็บไซต์วัฒนธรรมภูมิปัญญาภาคใต้** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2560, จาก <https://sites.google.com/site/looknampattalung/home>.
- [4] ภูมิปัญญาท้องถิ่นพัทลุง. (2558). **เว็บไซต์ภูมิปัญญาพัทลุง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2560, จาก <https://sites.google.com/site/phumipayyacanghwadphatthlung/>.
- [5] ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). **พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542**. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่น.
- [6] สำนักงานจังหวัดพัทลุง. (2556). **เว็บไซต์จังหวัดพัทลุง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.phatthalung.go.th>.
- [7] สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. (2550). **ฐานข้อมูลภูมิปัญญาจังหวัดลำปาง** (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2560, จาก <http://www.wisdom.lpru.ac.th/>.
- [8] สุนิษา นวลจันทร์ และอัจฉริย์ สมุทรสาร. (2557). **ต้นแบบระบบฐานข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่น กรณีศึกษาจังหวัดพัทลุง**. รายงานโครงการวิจัยทางวิชาการคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [9] Nonaka, I. and H. Takeuchi. (1995). **The Knowledge Creating Company**. Oxford University Press New York.

การจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยแบบอัตโนมัติโดยวิธีการทางเหมืองข้อมูล

Automatic Thai Folk Wisdom Classification using Data Mining Approach

นพมาศ ปักเข็ม^{1*}, ชนิตา จันมณี² และศิวักร อุยสุย²

Noppamas Pukkhem^{1*}, Chanida Junmanee² and Sivakorn Ouisui²

บทคัดย่อ

ในบทความนี้นำเสนอวิธีการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการทางเหมืองข้อมูล เพื่อให้สามารถจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นจากข้อมูลแบบพรรณนาโวหารด้วยการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ได้ ช่วยลดเวลาในการจับใจความรวมถึงแก้ปัญหาการจำแนกประเภทโดยมนุษย์ได้ โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1) การสกัดคำจากข้อความบรรยายและกำจัดคำหยุด 2) การคัดเลือกคุณลักษณะคำสำคัญ 3) การสร้างแบบจำลองการจำแนกประเภท 4) การทดสอบความแม่นยำ จากผลการทดสอบด้วยวิธี K-Folds Cross Validation ด้วยตัวอย่างข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย จำนวน 500 ข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการจำแนกประเภทด้วยอัลกอริทึม Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Distance-Weight K-Nearest Neighbor และ Naïve Bayes พบว่าอัลกอริทึม Naïve Bayes ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุด คือ 93.5% ดังนั้นจึงนำแบบจำลองดังกล่าวมาพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านทางหน้าเว็บด้วยภาษา PHP เชื่อมต่อกับตัวประมวลผลเหมืองข้อมูลผ่าน WEKA API เพื่ออำนวยความสะดวกในการเรียกใช้งานแบบจำลองการจำแนกประเภทข้อมูลใหม่ผ่านทางเว็บได้โดยง่าย

คำสำคัญ: การจำแนกประเภท, ภูมิปัญญาท้องถิ่น, เหมืองข้อมูล

Abstract

This research aims to propose the automatic Thai folk wisdom classification using data mining approaches from text description. The process consists of 4 steps, 1) word extraction and stop words elimination 2) feature selection 3) classification of model construction and 4) model evaluation. In order to compare the accuracy results of Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Distance-Weight K-Nearest Neighbor and Naïve Bayes, K-folds cross validation technique over 500 Thai folk wisdom data were used. The comparison result of this study showed that the highest performance is Naïve Bayes with accuracy 93.5%. As this result, we selected the Naïve Bayes classifier for implementing a web-based application using WEKA API and PHP. This tool supports the ease of use when predicting the unseen data.

Keywords: Classification, Thai Folk Wisdom, Data Mining

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof. Dr., Division of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Undergraduate Students, Division of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: E-mail addresses: n_nop@hotmail.com

บทนำ

ภูมิปัญญาท้องถิ่น มีความสำคัญต่อสังคมและประเทศชาติ เพราะเป็นเครื่องชี้ถึงความเจริญรุ่งเรืองของสังคมนั้น ซึ่งความหมายของภูมิปัญญาท้องถิ่น คือ ความสามารถในการใช้พื้นความรู้สร้างสรรค์งานเพื่อพัฒนา และดำรงชีวิตของคนในท้องถิ่น ดังนั้นถือว่าภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นนั้น ๆ ซึ่งจะต้องมีการอนุรักษ์ และถ่ายทอดองค์ความรู้จากคนรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นหนึ่ง

จากความสำคัญของการดำรงไว้ซึ่งภูมิปัญญาท้องถิ่น ในปัจจุบันจึงมีการเก็บข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นในรูปแบบที่หลากหลาย โดยส่วนใหญ่ มุ่งเน้นในการให้รายละเอียดข้อมูลเชิงพรรณนา ไม่ได้ระบุหมวดหมู่หรือประเภทที่ชัดเจน ซึ่งหากต่อไปมีการพัฒนาระบบการสืบค้นอาจไม่มีข้อมูลในส่วนของการจำแนกประเภท เช่น 1) เว็บไซต์ภูมิปัญญาท้องถิ่น [1] ที่มีการบอกความหมายภูมิปัญญาท้องถิ่น ลักษณะภูมิปัญญาท้องถิ่น และประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นที่จำแนกออกเป็นลักษณะต่างๆ 10 ลักษณะตามความรู้ของผู้จัดการข้อมูล โดยข้อมูลในเว็บไซต์จะแสดงผลเป็นไฟล์นามสกุล .pdf 2) เว็บไซต์วัฒนธรรมภูมิปัญญาท้องถิ่นภาคใต้ [2] ที่มีภูมิปัญญาในด้านต่างๆของภาคใต้ ซึ่งพบว่ามีหลากหลายในการจำแนกประเภทของภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ต่างออกไปจากการจำแนกประเภทของกรมทรัพย์สินทางปัญญา 3) บล็อกภูมิปัญญาท้องถิ่น [3] ที่นำเสนอในรูปแบบของการเขียนบล็อกเกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่น เรื่องสมุนไพรพื้นบ้าน และ 4) เว็บไซต์ประเพณี 4 ภาค [4] โดยการแสดงข้อมูลแบ่งตามหมวดหมู่ ประกอบไปด้วย ประเพณีท้องถิ่น วัฒนธรรมไทย การละเล่นพื้นบ้าน พิธีกรรม ความเชื่อต่าง ๆ ในงานนี้จึงได้นำแนวคิดของการจำแนกประเภท (Classification) ทางเหมืองข้อมูลมาใช้ค้นหาความรู้สำหรับการสร้างตัวแบบการจำแนกประเภทภูมิปัญญาแบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยลดเวลา และแก้ปัญหาการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นโดยมนุษย์หรือบุคคลที่ไม่มีความเชี่ยวชาญ จากการสร้างตัวแบบการจำแนกประเภทจากข้อมูลที่สกัดความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ เว็บไซต์และข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ ที่มีการบันทึกไว้ โดยจะช่วยสนับสนุนการทำงานของระบบการสืบค้นข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นมีประสิทธิภาพและเป็นระบบมากขึ้น และเป็นการช่วยส่งเสริมและอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยในด้านการจัดการความรู้ โดยมีการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยการหาค่าความแม่นยำ (Accuracy) จากข้อมูลสอนและข้อมูลทดสอบซึ่งใช้จากกรณีศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภูมิปัญญาท้องถิ่น

ภูมิปัญญา หรือ Wisdom หมายถึง พื้นฐานความรู้ ความสามารถ ความคิด ความเชื่อทางพฤติกรรม ความสามารถในการแก้ไขปัญหา [1] โดยใช้ประสบการณ์ที่สั่งสมไว้ในการปรับตัวและดำรงชีพในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมทางสังคมและวัฒนธรรมที่ได้มีการพัฒนาสืบสานกันมา อันเป็นผลของการใช้สติปัญญาปรับตัวให้เข้ากับสภาพต่างๆ ในพื้นที่ ที่กลุ่มชนเหล่านั้นตั้งถิ่นฐานอยู่ รวมทั้งได้มีการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมกับกลุ่มอื่น

จากการสำรวจข้อมูลจากเว็บไซต์ของการจำแนกภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย [1] มีการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นออกเป็น 9 ประเภท ดังนี้

1) ภูมิปัญญาที่เกี่ยวกับความเชื่อและศาสนา ภูมิปัญญาประเภทนี้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ในแต่ละท้องถิ่นเนื่องจากมีพื้นฐานทางความเชื่อในศาสนาที่แตกต่างกัน

2) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับประเพณีและพิธีกรรม เนื่องจากประเพณีและพิธีกรรมเป็นสิ่งที่ฝังรากลึกในท้องถิ่น สร้างขึ้นมาเป็นการเพิ่มขวัญและกำลังใจคนในสังคม จึงมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตในสังคมเป็นอย่างมาก

3) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับศิลปะพื้นบ้าน เป็นการสร้างสรรค์งานศิลปะต่างๆ โดยการนำ ทรัพยากรที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน หลังจากนั้นได้สืบทอดโดยการพัฒนาอย่างไม่ขาดสาย กลายเป็นศิลปะที่มีคุณค่าเฉพาะถิ่น

4) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับอาหารและผักพื้นบ้าน นอกจากมนุษย์จะนำอาหารมาบริโภค เพื่อการอยู่รอดแล้ว มนุษย์ยังได้นำเทคนิคการถนอมอาหารและการปรุงอาหารมาใช้ เพื่อให้อาหารที่มีมากเกินไปเกินความต้องการสามารถเก็บไว้บริโภคได้เป็นเวลานาน

5) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับการละเล่นพื้นบ้าน การละเล่นถือว่าเป็นการผ่อนคลายโดยเฉพาะในวัยเด็ก ซึ่งชอบความสนุกสนานเพลิดเพลิน ภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ ในการละเล่นที่ประดิษฐ์มาจากธรรมชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นวิถีชีวิตที่ผูกพันกับธรรมชาติและรู้จักปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมอย่างกลมกลืน

6) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับศิลปวัฒนธรรม ประเทศไทยมีวัฒนธรรมที่หลากหลาย ซึ่งเกิดจากการสร้างสรรค์ของแต่ละภาค เราสามารถพบหลักฐานจากร่องรอยของศิลปวัฒนธรรมที่ปรากฏกระจายอยู่ทั่วไป เช่น สถาปัตยกรรม ประติมากรรม จิตรกรรม เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเทคนิค ความคิด ความเชื่อของบรรพบุรุษเป็นอย่างดี

7) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับเพลงพื้นบ้าน ภูมิปัญญาประเภทนี้ส่วนมากแสดงออกถึงความ สนุกสนาน และยังเป็นคติสอนใจสำหรับคนในสังคม ซึ่งมีส่วนแตกต่างกันออกไปตามโลกทัศน์ของ คนในภาคต่างๆ

8) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับสมุนไพรและตำรายาพื้นบ้าน ภูมิปัญญาประเภทนี้เกิดจากการ สังสมประสบการณ์ของคนในอดีตและถ่ายทอดให้กับคนรุ่นหลัง

9) ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวกับการประดิษฐ์กรรม เทคโนโลยีและสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ที่เกิดจาก ภูมิปัญญาของคนไทยในแต่ละภาคนั้น ถือเป็นการประดิษฐ์กรรมและหัตถกรรมชั้นเยี่ยม

การจำแนกประเภท (Classification)

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือกระบวนการที่กระทำกับข้อมูลจำนวนมากเพื่อค้นหารูปแบบและความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในชุดข้อมูลนั้น [5] ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการจัดเก็บและตีความหมายข้อมูล จากเดิมที่มีการจัดเก็บข้อมูลอย่างง่าย มาสู่การจัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูลที่สามารถดึงข้อมูลสารสนเทศมาใช้ มีเทคนิคที่นิยมใช้ คือ การจำแนกประเภทข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างโมเดล เพื่อทำนายกลุ่มของข้อมูลใหม่ โดยข้อมูลทั้งหมดจะมีการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มข้อมูลสอน (Training Data) เป็นชุดข้อมูลที่มีบทบาทในการสร้างโมเดลจำแนกประเภทข้อมูลขึ้นมา และกลุ่มข้อมูลทดสอบ (Test Data) เป็นชุดข้อมูลประเมินความถูกต้องของโมเดล โดยกระบวนการสร้างตัวโมเดลจำแนกประเภทข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1) การสร้างโมเดลการจำแนกประเภทเป็นขั้นตอนที่อาศัยการเรียนรู้จากข้อมูลสอนที่ได้กำหนดประเภทไว้เรียบร้อยแล้ว 2) การประเมินผลโมเดล เป็นขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ข้อมูลทดสอบ และปรับปรุงโมเดลจำแนกประเภทจนกว่าจะได้ค่าความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ 3) การนำโมเดลไปใช้งาน เป็นขั้นตอนการนำโมเดลจำแนกประเภทที่สร้างขึ้นมากับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อนเพื่อทำนายและกำหนดกลุ่มให้กับข้อมูลนั้น

การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree)

ต้นไม้การตัดสินใจ คือ กราฟต้นไม้ที่ประกอบไปด้วย จุดยอด ด้านและใบ โดยที่จุดยอดภายในแทนลักษณะประจำ (Attribute) ที่ไม่ใช่คลาสผลลัพธ์ กิ่งแทนค่าหรือผลการทดสอบ และใบแทนค่าประเภทของข้อมูลที่ต้องการจำแนก ซึ่งต้นไม้ตัดสินใจนี้ง่ายต่อการเข้าใจและการปรับเปลี่ยนเป็นกฎการจำแนก (Classification Rules) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อัลกอริทึม C4.5 ซึ่งใช้ค่า Gain Ratio ในการประมวลผลโดยค่า Gain Ratio [6] มีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับค่า Information Gain แต่จะมีการ

แก้ปัญหาในเรื่องความเอนเอียงในการคำนวณ โดยการเพิ่มการหาค่าสารสนเทศการแบ่งแยก (Split Information) [7] ซึ่งจะมีการคำนวณที่ละเอียดมากขึ้น ดังสมการที่ (3) และ (4)

$$\text{GainRatio} (S, V) = \frac{\text{Gain} (S, V)}{\text{SplitInfo} (S, V)} \quad (3)$$

$$\text{SplitInfo} (S, V) = \sum_{i=1}^m -\frac{|S_i|}{S} \times \log_2 \frac{|S_i|}{S} \quad (4)$$

เมื่อ S คือ คุณลักษณะที่ใช้ในการตัดสินใจ และ V คือ ประเภทการทำนาย

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบเบย์อย่างง่าย (Naïve Bayes Classification)

ตัวจำแนกประเภทแบบเบย์อย่างง่าย คือ โมเดลการจำแนกประเภทข้อมูลที่ใช้หลักความน่าจะเป็นซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ Bayes' Theorem [8] และสมมติฐานที่ให้การเกิดของเหตุการณ์ต่าง ๆ เป็นอิสระต่อกัน ถ้า กำหนดให้ P(h) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ h และ P(h|D) คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ h เมื่อเกิดเหตุการณ์ D จากตัวแปรที่กำหนด เราสามารถทำนายเหตุการณ์ที่พิจารณาจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (5)

$$P(h | D) = [P(D | h) * P(h)] / P(D) \quad (5)$$

จากสมการข้างต้นสามารถสร้างคำนวณความน่าจะเป็นของการจำแนกประเภทแบบเบย์อย่างง่ายได้ดังสมการที่ (6)

$$P(d | h) = P(a_1, ..., a_T | h) = \prod_t P(a_t | h) \quad (6)$$

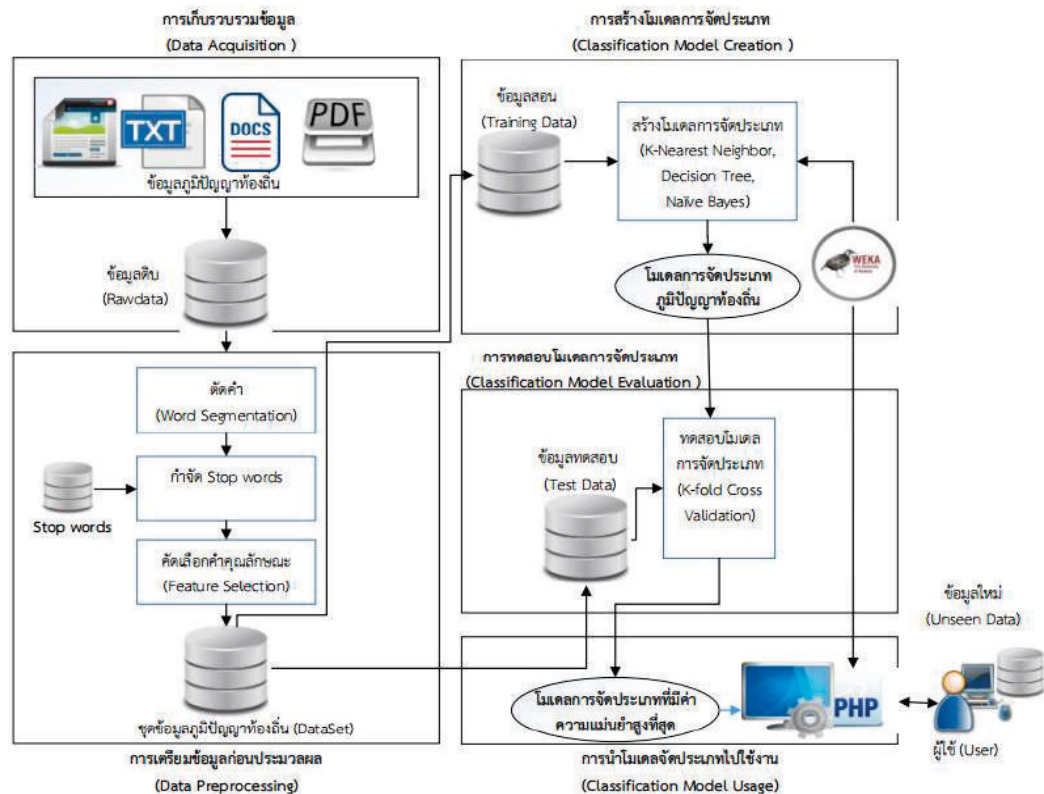
การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors-KNN)

เทคนิคของ K-NN นั้นเป็นการหาระยะห่างระหว่างแต่ละคุณลักษณะในข้อมูลและคำนวณค่าออกมา ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับข้อมูลแบบตัวเลข เป็นการรวมกันของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าระยะห่างโดยทำการเรียงลำดับค่าระยะทางจากน้อยไปมาก หลังจากนั้นดูจากค่า “k” ว่ากำหนดเป็นเท่าไร แล้วนำลำดับที่เรียงได้มาเทียบกับคลาสข้อมูลที่เรียงแล้วนำมาตอบ [9] ระยะห่างแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance) นิยามตัวอย่าง x ด้วยเวกเตอร์คุณลักษณะ $x = \langle a_1(x), a_2(x), \dots, a_n(x) \rangle$ และสามารถคำนวณระยะห่างระหว่างตัวแปรตัวอย่าง x_i และ x_j ที่แทนด้วย $d(x_i, x_j)$ ได้ดังสมการที่ (7)

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{r=1}^n (a_r(x_i) - a_r(x_j))^2} \quad (7)$$

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานเพื่อพัฒนากระบวนการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นแบบอัตโนมัติ มีภาพรวมการทำงานของแต่ละขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพรวมการทำงานของระบบการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นด้วยเทคนิคทางเหมืองข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition)

การรวบรวมข้อมูลดิบ (Raw Data) จากแหล่งสารสนเทศทางภูมิปัญญาท้องถิ่น ได้แก่ บล็อกภูมิปัญญาท้องถิ่น [3] เว็บไซต์ประเพณี 4 ภาค [4] และแหล่งข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Data Preprocessing)

การสร้างชุดข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่น (Folk Wisdom Dataset) ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

- 1) การสกัดคำ ในงานนี้ได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับการตัดคำที่เชื่อมโยงฟังก์ชันเลกซ์โต (LexTo) [10] ซึ่งเป็นฟังก์ชันสำหรับการตัดคำภาษาไทยโดยใช้เทคนิคการเลือกคำที่ยาวที่สุด (Longest Matching) โดยอ้างอิงจากพจนานุกรมเล็กชิ ทรอนซ์ ด้วยการเพิ่มข้อมูลพจนานุกรมเกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่นลงไป ตัวอย่างการตัดคำจากคำอธิบายข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่น แสดงดังภาพที่ 2
- 2) การกำจัดคำที่ไม่มีผลต่อการเป็นตัวแทนของประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่น (Stop Words Elimination)
- 3) การคัดเลือกคำคุณลักษณะ (Feature Selection)

ผลลัพธ์จากการตัดคำจะถูกนำมาหาความถี่ของการปรากฏขึ้นจากข้อมูลตัวอย่าง 500 ชุด เพื่อคัดคำที่ปรากฏบ่อยสำหรับเป็นตัวแทนประเภทของภูมิปัญญาท้องถิ่น (ประเภท A B C D E F G H และ I) หลังจากนั้นระบบจะเรียงลำดับความถี่ของคำต่างๆ โดยจะคัดเลือกคุณลักษณะคำที่ถูกใช้บ่อยที่สุด 5 ลำดับแรก พร้อมทั้งกำหนดสัญลักษณ์สำหรับการนำไปสร้างไฟล์ข้อมูลเข้าของการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมทางเหมืองข้อมูล เช่น (A1, 20) หมายถึง “ความเชื่อ” เป็นคำที่ปรากฏขึ้น 20 ครั้ง ในภูมิปัญญาประเภทความเชื่อและศาสนา (A)

การจําแนกภูมิปัญญาท้องถิ่น

หนังตะลุง คือ ศิลปะการแสดงประจำท้องถิ่นอย่างหนึ่งของภาคใต้ เป็นการเล่าเรื่องราวที่ผูกร้อยเป็นนิยายดำเนินเรื่องด้วยบทหรือกรองที่ขับร้องเป็นสำเนียงท้องถิ่น หรือที่เรียกกันว่ากร "ว่วบท" มีบทสนทนาแทรกเป็นระยะ และใช้การแสดงเงาบนจอผ้าเป็นสิ่งที่ดึงดูดสายตาของผู้ชม ซึ่งการว่วบท การสนทนา และการแสดงเงา นายหนังตะลุงเป็นคนแสดงเองทั้งหมด

ตัดคำ

ผลการตัดคำ

หนังตะลุง คือ ศิลปะการแสดง ประจำ ท้องถิ่น อย่างหนึ่ง ของ ภาคใต้ เป็นการ เล่าเรื่อง ราว ที่ ผูก ร้อย เป็น นิยาย ดำเนินเรื่อง ด้วย บท ร้อยกรอง ที่ ขับร้อง เป็น สำเนียง ท้องถิ่น หรือ ที่ เรียก กัน ว่ากร ว่วบท มี บทสนทนา แทรก เป็น ระยะ และ ใช้ การแสดง เงา บน จอผ้า เป็น สิ่ง ดึงดูด สายตา ของ ผู้ชม ซึ่ง การ ว่วบท การ สนทนา และ การแสดง เงา นี้ นาย หนังตะลุง เป็น คน แสดง เอง ทั้งหมด

ภาพที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลเข้าและข้อมูลผลลัพธ์จากการตัดคำ

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การคัดเลือกคำคุณลักษณะที่ปรากฏบ่อยและการให้สัญลักษณ์เพื่อนำไปประมวลผลในอัลกอริทึมทางเหมืองข้อมูล

อันดับ	ความเชื่อและศาสนา (A)	ประเพณีและพิธีกรรม (B)	เพลงพื้นบ้าน (C)	ศิลปะพื้นบ้าน (D)	ศิลปะวัฒนธรรม (E)	การเล่นพื้นบ้าน (F)	อาหารและผักพื้นบ้าน (G)	ประเพณีธรรม (H)	สมุนไพรและตำรายาพื้นบ้าน (I)
1	ความเชื่อ (A1,20)	ประเพณี (B1,21)	เพลง (C1,15)	การแสดง (D1,9)	สันนิษฐาน (E1,9)	ละเล่น (F1,22)	อาหาร (G1,25)	ลวดลาย (H1,18)	สมุนไพร (I1,24)
2	พิธีกรรม (A2,18)	พิธีกรรม (B2,9)	ลูกคู่ (C2,11)	โนรา (D2,4)	เก่าแก่ (E2,7)	วิธีการ (F2,9)	รสชาติ (G2,18)	ความประณีต (H2,9)	ตำรา (I2,11)
3	บูชา (A3,15)	ทำบุญ (B3,8)	แม่เพลง (C3,6)	การร้อง (D3,3)	รูปแบบ (E3,6)	อุปกรณ์ (F3,9)	รับประทาน (G3,13)	सान (H3,7)	ยา (I3,6)
4	เคราะห์ (A4, 5)	ออกพรรษา (B4,5)	พ่อเพลง (C4,5)	เครื่องดนตรี (D4,3)	จิตกรรม (E4,6)	การเล่น (F4,9)	กิน (G4,9)	รูปทรง (H4,7)	อาการ (I4,6)
5	เทวดา (A5, 2)	ทำพิธี (B5,4)	จังหวัด (C5,5)	การรำ (D5,2)	โบราณสถาน (E5,5)	ฝ่ายตรงข้าม (F5,6)	เครื่องปรุง (G5,9)	ผลิตภัณฑ์ (H5,7)	สรรพคุณ (I5,4)

การสร้างโมเดลการจำแนกประเภท (Classification Model Creation)

หลังจากนั้นชุดข้อมูลสอนภูมิปัญญาท้องถิ่นจะถูกระบบแปลงเป็นรูปแบบไฟล์ .arff สำหรับเป็นข้อมูลเข้าในโปรแกรม WEKA [11] เพื่อนำไปทดสอบการสร้างโมเดลการจำแนกประเภทด้วยอัลกอริทึมแบบต่างๆ ได้แก่ Naïve Bayes, Decision Tree, K-Nearest Neighbor (K= 3 5 7 9)

การทดสอบโมเดลการจำแนกประเภท (Classification Model Evaluation)

นำชุดข้อมูลทดสอบเข้าทำการทดสอบความแม่นยำในการทำนายของแต่ละตัวจำแนกประเภทที่สร้างจากอัลกอริทึมประเภทต่าง ๆ โดยใช้วิธี K-Folds Cross Validation [6] คือการแบ่งข้อมูล เป็น K ส่วนเท่าๆกันแล้วทำการทดสอบ โดยเปลี่ยนข้อมูลชุดทดสอบตั้งแต่ส่วนที่ 2 เป็นชุดทดสอบและส่วนที่ 1-(K-1) เป็นชุดข้อมูลสอน ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงชุดทดสอบที่ K เป็นชุดทดสอบ และส่วนที่ 1-(K-1) เป็นชุดข้อมูลสอน โดยจะจำเอาจุดความแม่นยำที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

การนำโมเดลการจำแนกประเภทไปใช้งาน (Construction Model Usage)

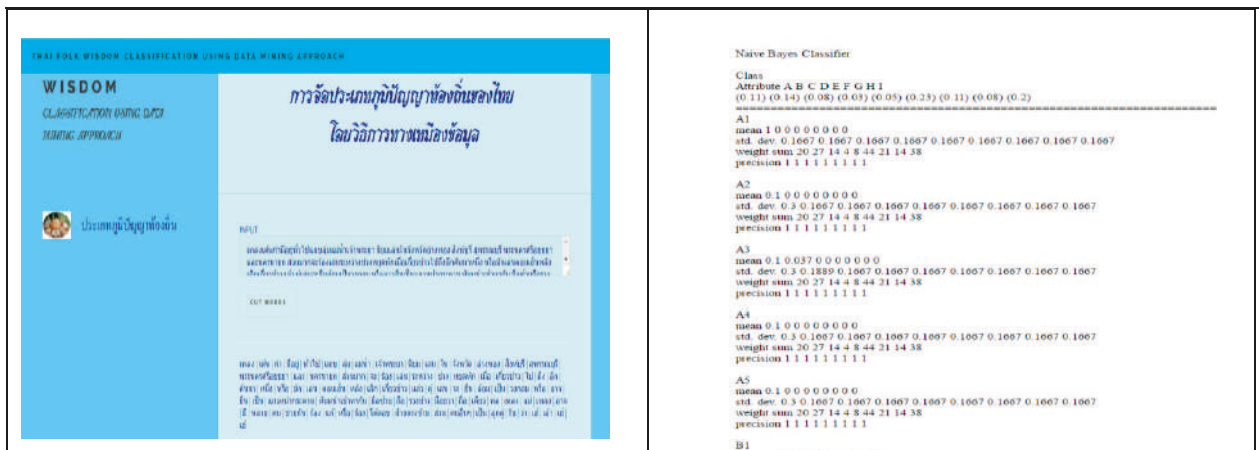
จากขั้นตอนการทดสอบโมเดล หลังจากได้โมเดลที่มีความแม่นยำสูงสุดแล้ว จะนำโมเดลดังกล่าวมาเชื่อมต่อกับส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านเว็บด้วย WEKA API ร่วมกับภาษา PHP ดังนั้นผู้ใช้งานจะสามารถทำนายข้อมูลใหม่ที่ต้องการทราบประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นผ่านทางเว็บได้โดยสะดวก

ผลการวิจัย

จากการใช้ข้อมูลบรรยายของภูมิปัญญาท้องถิ่นจำนวน 500 ชุด นำมาสกัดคุณลักษณะที่สำคัญและด้วยกระบวนการทางการประมวลผลค่า ได้ผลการคัดเลือกแสดงดังตารางที่ 2 นั้น จากนั้นนำมาสร้างโมเดลการจำแนกประเภท และประเมินความแม่นยำในการจัดประเภทโดยใช้ K-Folds Cross Validation ด้วยการกำหนด K= 3 5 7 9 และ 11 ตามลำดับ ผลจากการวิเคราะห์ในการทดสอบโมเดลเพื่อสร้างโมเดล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการจำแนกประเภทโดยใช้อัลกอริทึมประเภทต่าง ๆ

Classifiers	K-Folds Cross Validation (Folds)				
	3	5	7	9	11
Naïve Bayes	93.0%	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%
Decision Tree (J48)	87.0%	88.0%	89.5%	89.0%	89.0%
K-Nearest Neighbor (k=3)	86.0%	86.5%	87.5%	86.5%	87.5%
K-Nearest Neighbor (k=5)	85.5%	85.5%	86.0%	85.5%	85.5%
K-Nearest Neighbor (k=7)	85.5%	85.5%	86.0%	85.5%	85.5%
K-Nearest Neighbor (k=9)	85.0%	85.5%	86.0%	85.5%	85.5%



ภาพที่ 3 ตัวอย่างหน้าจอของระบบจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นไทยแบบอัตโนมัติ

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการนำข้อมูลการเรียนรู้มาทดสอบกับอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึมพบว่า อัลกอริทึม Naïve Bayes มีค่าความแม่นยำสูงสุด ที่ 93.5% และมี Root Mean Squared Error เท่ากับ 0.0892 ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัลกอริทึม Naïve Bayes เป็นแบบจำลองโมเดล หลังจากนั้นนำโมเดล Naïve Bayes เชื่อมต่อผ่าน WEKA API มาพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ผ่านทาง Web Application ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังภาพที่ 3

สรุปและอภิปรายผล

การจำแนกประเภทภูมิปัญญาของไทยแบบอัตโนมัติโดยวิธีการทางเหมืองข้อมูลนี้ นำเสนอวิธีการในการจำแนกประเภทภูมิปัญญาท้องถิ่นด้วยวิธีการทางเหมืองข้อมูลด้วยการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แทนมนุษย์ โดยมีการสร้างฐานความรู้ในรูปแบบตัวจำแนกประเภท ด้วย 3 อัลกอริทึม ได้แก่ Decision Tree, K-Nearest Neighbor และ Naïve Bayes พบว่าจากข้อมูลทดสอบ 500 ข้อมูล อัลกอริทึม Naive Bayes ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุดคือ 93.5% โดยการกำหนด 7-folds cross validation จะให้ค่าการทำนายสูงสุดในทุกโมเดล จึงเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการแบ่งข้อมูลในการทดสอบ จากนั้นมีการพัฒนาการใช้งานโมเดลผ่านทาง Web Application โดยการพัฒนาด้วยภาษา PHP ร่วมกับ WEKA API ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้โดยง่าย ในอนาคตจะพัฒนาให้มีการเพิ่มข้อมูลสอนผ่านทาง Web Application ได้ และสามารถนำพัฒนาไปสู่ระบบแหล่งรวมสารสนเทศทางภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2557). **ระบบฐานข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นไทย**. สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2559, จาก <http://www.ipthailand.go.th/>
- [2] ภูมิปัญญาท้องถิ่น. (2555). สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2559, จาก <http://www.corps2.com/km/05/5601151.pdf>.
- [3] บล็อกภูมิปัญญาท้องถิ่น. (2556). สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2559, จาก http://supapan-kednom.blogspot.com/2008/02/blog-post_24.html.
- [4] เว็บไซต์ประเพณี 4 ภาค (2555). สืบค้นเมื่อ มกราคม 2559, จาก <http://www.prapayneethai.com/>.
- [5] บุญเสริม กิจศิริกุล. (2547). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “อัลกอริทึมเหมืองข้อมูล”. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] Tan, P. N., Steinbach, M. and Kumar, V. (2006). **Introduction to Data Mining**. Addison-Wesley, USA.
- [7] Matthew, N. A. and Sajjan G. S. (2011). “Comparative Analysis of Serial Decision Tree Classification Algorithms”, **International Journal of Computer Science and Security**. 3, 230-240.
- [8] Richard, J. R. and Geatz, M. W. (2003). **Data Mining a Tutorial-Based Primer**. Pearson Education Inc.
- [9] Han, J., Kamber, M. and Pei, J. (2011). **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3rd ed., Morgan Kaufmann Publishers.
- [10] เล็กซ์โต. (2012). **LexTo**. สืบค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://sansarn.com/lexto/>.
- [11] WEKA Tutorial. (2016). สืบค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/documentation.html>.

โปรแกรมต้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถ ของผู้สอบ โดยใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ

กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน

A Prototype of Online Adaptive Testing System Using Sequential Probability Ratio Test Model Case Study: Basic English

ธนาวุธ บุญลิปตานนท์¹ กมลชนก ขำแก้ว² อรยา ปรีชาพานิช^{3*} และสุดา เจริญมนตรี³

Thanawut Bunliptanon¹, Kamolchanok Khamkaew², Oraya Preechapanich^{3*} and Suda Thernmontri³

บทคัดย่อ

ระบบแบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการคัดเลือกและนำเสนอข้อสอบที่สอดคล้องกับผลการประเมินระดับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ ซึ่งเหมาะกับการสร้างแบบทดสอบตามระดับความสามารถของผู้สอบแต่ละคนจากคลังข้อสอบขนาดเล็ก ระบบนี้ได้พัฒนาโดยใช้โปรแกรมภาษา PHP Javascript และ CSS ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL และได้สร้างคลังข้อสอบภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐานจากข้อสอบ O-NET เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตามหลักการวิศวกรรมซอฟต์แวร์และข้อกำหนดคุณลักษณะความต้องการใช้งานระบบ จากนั้นจึงได้ทำการประเมินผลการใช้งานระบบโดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ความสะดวกในการใช้งาน ความถูกต้อง และความสอดคล้องของระบบกับความต้องการใช้งาน สรุปได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับน่าพึงพอใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: การทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ ระบบแบบทดสอบออนไลน์ แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ

¹ ครูพิเศษสอน วิทยาลัยสารพัดช่างภูเก็ต ภูเก็ต 83000

² ครูพิเศษสอน วิทยาลัยการอาชีพตะกั่วป่า พังงา 82110

³ ผศ., สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Contract Teacher, Phuket Polytechnic College, Phuket, 83000

² Contract Teacher, Takuapa Industrial and Community Education, Phang-nga, 82110

³ Asst. Prof., Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600 ext. 2567. E-mail address: ms_oraya@yahoo.com

Abstract

Computerized adaptive testing (CAT) system is a method of assessment which the computer selects and presents test items to examinees according to the estimated examinee's ability levels. The objective of this research aims to develop the CAT system with Sequential Probability Ratio Test (SPRT) model that has ability to generate the customize test items from a small-scale item bank. This proposed system was developed by PHP, JavaScript, CSS and MySQL. The Basic English item bank in this prototype is constructed from O-Net examination for system performance testing based on software engineering principles and system requirement specifications. This system was assessed using a questionnaire examining user interface, ease of use, validation and functional requirement. The result of the questionnaires showed that the efficiency of this system is satisfied and it is possible to deploy this system for our students practically.

Keywords: Adaptive Testing, Online Testing System, Sequential Probability Ratio Test Model

บทนำ

แบบทดสอบเป็นเครื่องมือประเภทหนึ่งที่มีใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา เนื่องจากแบบทดสอบจะเป็นตัวแทนเนื้อหาการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เปรียบเสมือนสิ่งเร้าที่นำไปกระตุ้นผู้เรียนให้แสดงพฤติกรรมตอบสนองออกมา แบบทดสอบที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ แบบทดสอบประเพณีนิยมหรือเรียกว่าแบบทดสอบใช้กระดาษและดินสอ (Paper-Pencil Test : P&P Test) ที่ผู้สอบจะได้รับแบบทดสอบชุดเดียวกันและมีจำนวนข้อสอบเท่ากัน ทำให้ผู้สอบบางคนจะต้องทำข้อสอบที่ยากหรือง่ายเกินไป ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องและแม่นยำในการวัดผล [1] จากข้อจำกัดของทฤษฎีการทดสอบแบบมาตรฐานเดิม จึงได้มีการพัฒนาเป็นการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ (Adaptive Testing) ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้งผู้สอบจะได้แบบทดสอบที่เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน โดยมีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีระดับความยากง่ายแปรผันไปตามผลที่ได้จากการประเมินความสามารถในการทำข้อสอบข้อที่ผ่านมา จนกว่าเงื่อนไขของการยุติการทดสอบจะเป็นจริง [2]

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยและประเทศสมาชิกอาเซียนได้มีการเตรียมพร้อมในการจัดตั้งประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community หรือ AEC) โดยกฎบัตรอาเซียนข้อ 34 ได้บัญญัติไว้ว่า ภาษาที่ใช้ในการทำงานของอาเซียนคือภาษาอังกฤษ (The Working Language of ASEAN Shall be English.) ดังนั้นภาษาอังกฤษจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับพลเมืองอาเซียนในการสื่อสารสร้างสัมพันธ์สู่โลกกว้างของภูมิภาคอาเซียน โลกแห่งการแข่งขันไร้ขอบเขตภูมิศาสตร์และวัฒนธรรม [3] จากผลสำรวจทักษะความสามารถของคนไทยในการใช้ภาษาอังกฤษซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการแข่งขันบนเวทีภูมิภาคอาเซียนและในตลาดโลกหลายครั้งพบว่า ประเทศไทยยังอยู่ในอันดับท้าย ๆ เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ เช่น ในปี พ.ศ. 2559 ดัชนีวัดระดับความรู้ทางภาษาอังกฤษของ Education First (EF English Proficiency Index- EPI) ของคนไทยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีความสามารถด้านภาษาอังกฤษระดับต่ำมาก นั่นคืออยู่ในลำดับที่ 56 จากทั้งหมด 72 ประเทศที่ได้รับการสำรวจ [4]

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมค้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน เพื่อให้ระบบสร้างแบบทดสอบโดยการคัดเลือกข้อสอบที่เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน ส่งผลให้สามารถลดจำนวนข้อสอบและลดระยะเวลาในการทดสอบให้น้อยลง เนื่องจากผู้สอบไม่จำเป็นต้องทำข้อสอบจนครบทุกข้อเหมือนในอดีต การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ (Sequential Probability Ratio Test : SPRT) ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Computer Adaptive Testing : CAT)

และเป็นการทดสอบที่ใช้การวิเคราะห์ตามทฤษฎีการตอบสนองรายข้อที่มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างแบบทดสอบด้วยวิธีการสุ่มจากคลังข้อสอบขนาดเล็ก (Small-Scale Item Bank) [5-6] โดยคาดหวังว่าโปรแกรมค้นแบบนี้จะเป็นช่องทางหนึ่งสำหรับนิสิตเพื่อปรับพื้นฐานและฝึกทักษะภาษาอังกฤษของตนเองให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นแล้วอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาภาษาอังกฤษหรือในรายวิชาอื่น ๆ ที่ต้องการสร้างระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ

แบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ (Adaptive Testing) หมายถึง แบบทดสอบที่ประกอบด้วยชุดของข้อสอบที่แตกต่างกันสำหรับผู้สอบแต่ละคน โดยใช้หลักการคัดเลือกข้อสอบตามระดับความสามารถที่มุ่งวัดของบุคคลนั้น [7] นั่นคือการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบจะมีความแตกต่างที่สำคัญจากการทดสอบแบบประเมินซึ่งมีการสร้างแบบสอบขึ้นมาชุดเดียวให้ครอบคลุมองค์ประกอบของคุณลักษณะหรือเนื้อหาที่ต้องการวัด มีค่าความยากของข้อสอบที่หลากหลายโดยไม่มีการกำหนดสัดส่วนของค่าความยากที่แน่นอน โดยทั่วไปนิยมให้มีค่าความยาก (p) อยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 สำหรับนำไปใช้สอบกับผู้สอบกลุ่มใดก็ได้ไม่ว่าผู้สอบจะมีความสามารถสูง ปานกลาง หรือต่ำ นั่นคือผู้สอบทุกคนจะต้องทำข้อสอบชุดเดียวกันที่มีจำนวนข้อเท่ากันและเหมือนกันหมดทุกข้อ แต่การทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบเป็นการใช้ข้อสอบจากคลังข้อสอบมาสร้างแบบสอบแบบสอบแต่ละชุด โดยมีการออกแบบให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคน การทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบจะช่วยลดจำนวนข้อสอบและเวลาของการสอบ ทั้งนี้การคัดเลือกข้อสอบที่มีระดับความยากพอเหมาะกับผู้สอบตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (Item Response Theory Models : IRT) ย่อมให้สารสนเทศที่สำคัญเกี่ยวกับความสามารถที่แท้จริงของผู้สอบ ข้อสอบแต่ละข้อจากคลังข้อสอบที่นำมาใช้แต่ละคนจึงถูกเลือกหรือเสมือนเป็นการปรับให้เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบ ดังนั้นในขณะที่มีการทดสอบผู้สอบแต่ละคนจึงทำข้อสอบแตกต่างกันและจำนวนข้อของการสอบไม่จำเป็นต้องเท่ากัน [2, 8]

แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ

แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ (Sequential Probability Ratio Test Model : SPRT Model) เป็นแบบจำลองหนึ่งสำหรับระบบ CAT ที่มีการวิเคราะห์ตามทฤษฎีการตอบสนองรายข้อ มีการจัดข้อสอบให้เหมาะสมกับผู้สอบแต่ละคน และการบริหารการสอบทุกขั้นตอนทำโดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยแบบจำลอง SPRT จะเหมาะสมกับการสร้างแบบทดสอบด้วยวิธีการสุ่มจากคลังข้อสอบขนาดเล็ก ในขณะที่แบบจำลองอื่น ๆ เช่น แบบจำลองโลจิสติกแบบหนึ่งพารามิเตอร์ สองพารามิเตอร์ หรือสามพารามิเตอร์ เหมาะสำหรับระบบที่มีคลังข้อสอบขนาดใหญ่และจำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคลังข้อสอบ [5-6] โดยแบบจำลอง SPRT ใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$LBM \text{ (Lower Bound Mastery)} = \frac{1-\beta}{\alpha}$$

$$UBN \text{ (Upper Bound Non — mastery)} = \frac{\beta}{1-\alpha}$$

$$\text{ความน่าจะเป็นที่จะตอบถูก } PR = \frac{P_m^s (1 - P_m)^f}{P_{nm}^s (1 - P_{nm})^f}$$

โดยที่

- P_m คือ ความน่าจะเป็นที่รู้จริงและตอบคำถามถูก
 P_{nm} คือ ความน่าจะเป็นที่ไม่รู้จริงแต่ตอบคำถามถูก
 s คือ จำนวนข้อสอบที่ตอบถูกจากข้อสอบทั้งหมด
 f คือ จำนวนข้อสอบที่ตอบผิดจากข้อสอบทั้งหมด
 α คือ ข้อผิดพลาดแบบที่ 1 คือ ตัดสินว่า “รู้จริง” แต่ในความเป็นจริงแล้ว “ไม่รู้จริง”
 β คือ ข้อผิดพลาดแบบที่ 2 คือ ตัดสินว่า “ไม่รู้จริง” แต่ในความเป็นจริงแล้ว “รู้จริง”

เมื่อผู้สอบตอบคำถามระบบก็จะทำการประมวลผลหาค่า PR ในทันที ถ้าค่า PR มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ LBM ผลที่ได้จากการสอบจะตัดสินว่า “รู้จริง” และการสอบก็จะสิ้นสุดลง ในทางกลับกัน ผลการสอบจะถูกตัดสินว่า “ไม่รู้จริง” โดยถ้าค่า PR มีค่ามากกว่า UBN แต่น้อยกว่า LBM ระบบจะทำการสุ่มข้อสอบมาให้ทำอีกครั้ง แต่ถ้าค่า PR มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ UBN ผู้สอบจะถูกตัดสินว่า “ไม่รู้จริง”

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการพัฒนาระบบ CAT ที่หลากหลาย เช่น การทดสอบแบบปรับเหมาะที่มีการสะท้อนข้อมูลย้อนกลับในการทดสอบมาตรฐานวิชาชีพไอที [9] ถัดมาคือ การพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับมาตรวัดความสุขของคนไทย [10] และการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดสอบ O-NET ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 [11] งานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมักจะใช้ทฤษฎี IRT ที่จำเป็นจะต้องมีการใช้ข้อสอบและจำนวนผู้สอบค่อนข้างมากเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการจัดการคลังข้อสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบของระบบ CAT โดยใช้แบบจำลอง SPRT ซึ่งสามารถประยุกต์กับการสร้างและการจัดการคลังข้อสอบขนาดเล็กสำหรับใช้ในระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อสอบให้สอดคล้องกับความสามารถของผู้สอบแต่ละคนได้เช่นกัน

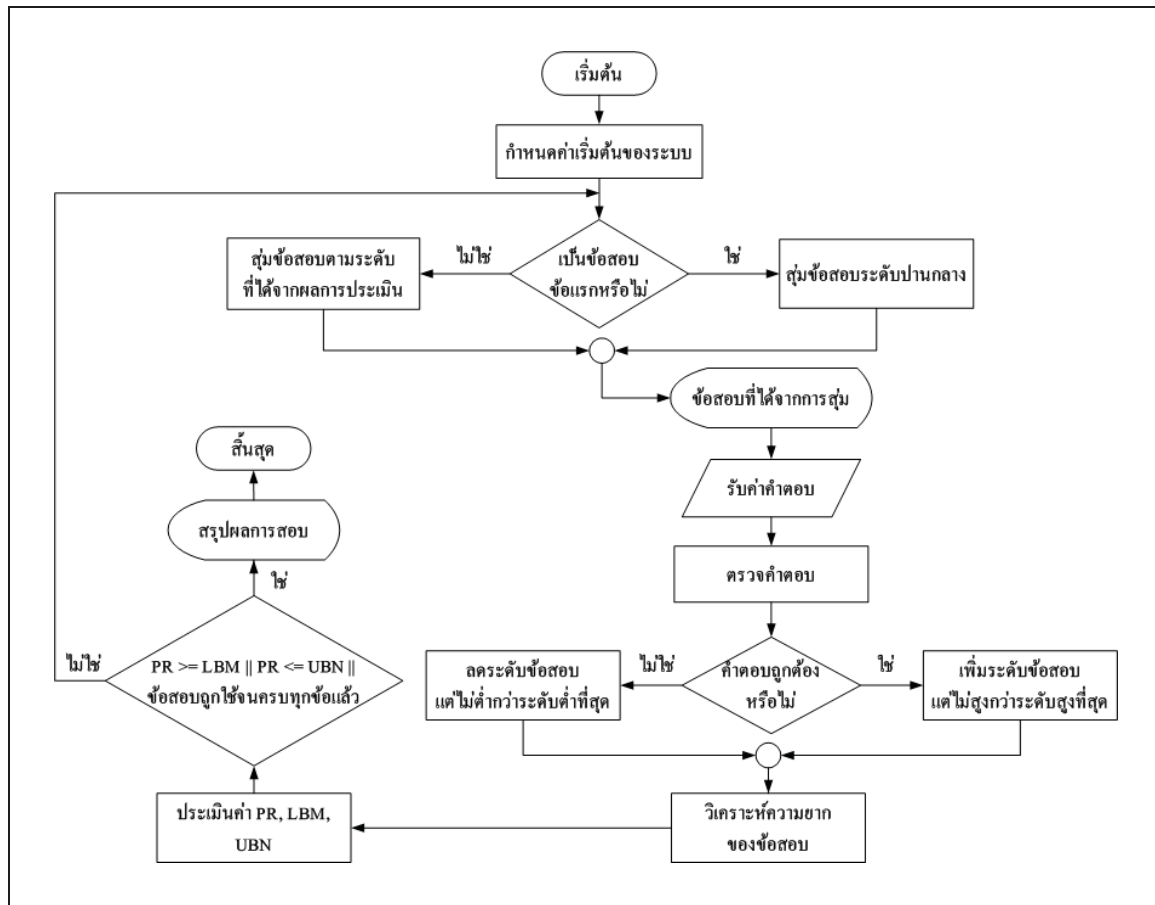
การดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย การวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบ รวมไปถึงการพัฒนาและการทดสอบโปรแกรมต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมต้นแบบ

จากการทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของทฤษฎีและแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบของระบบ CAT ในส่วนของโมดูลการทำข้อสอบซึ่งเป็นโมดูลหลักของงานวิจัยนี้ในรูปแบบของผังงานโปรแกรม (Program Flowchart) เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงาน โมดูลการทำข้อสอบซึ่งใช้อัลกอริทึมที่มีพื้นฐานจากแบบจำลอง SPRT (ภาพที่ 1) เริ่มต้นจากการกำหนดค่าเริ่มต้นของโมดูลการทำข้อสอบ จากนั้นจึงเป็นการสร้างชุดข้อสอบโดยการตรวจสอบสถานะในการทำข้อสอบว่าเป็นการทำข้อสอบข้อแรกหรือไม่ เพื่อทำการสุ่มข้อสอบจากคลังข้อสอบตามหลักการที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้านี้ หลังจากนั้นเมื่อผู้สอบได้ส่งคำตอบของข้อสอบแต่ละข้อแล้ว โปรแกรมต้นแบบจะประเมินการตอบสนองข้อสอบด้วย ค่า θ_j และค่า PR ซึ่งในกรณีที่ผู้สอบตอบคำถามได้ถูกต้อง โปรแกรมต้นแบบจะเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีระดับความยากเพิ่มขึ้นอีก 1 ระดับ ในทางตรงกันข้ามหาก

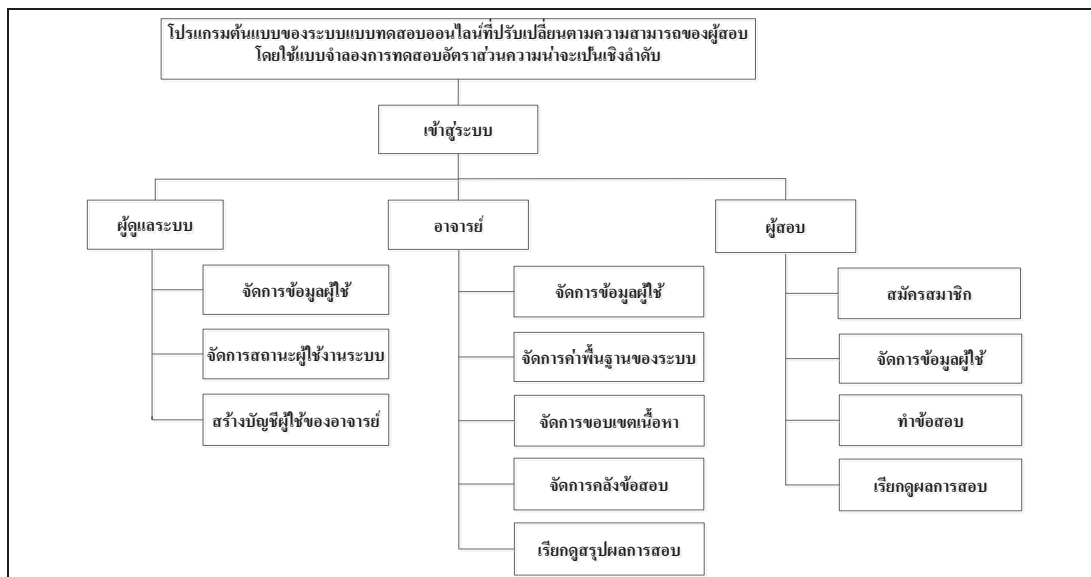
ผู้สอบตอบคำถามผิด ข้อสอบข้อถัดไปก็จะมีระดับความง่ายลดลงไปอีก 1 ระดับ การทำข้อสอบของผู้สอบแต่ละคนจะมีจำนวนข้อสอบมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลที่ได้จากการตรวจสอบเงื่อนไขที่ใช้ในการยุติการทดสอบนั่นคือ $PR \geq LBM$ หรือ $PR \leq UBN$ หรือจนกว่าข้อสอบในคลังข้อสอบได้ถูกใช้จนครบทุกข้อแล้ว



ภาพที่ 1 ฟังก์ชันโปรแกรมของโมดูลการทำข้อสอบ

การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมต้นแบบ

จากขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบ ผู้วิจัยได้กำหนดโครงสร้างระบบของโปรแกรมต้นแบบ โดยมีโมดูลต่างๆ จำแนกตามกลุ่มของผู้ใช้งานได้เป็น 3 กลุ่มคือ ผู้ดูแลระบบ อาจารย์ และผู้สอบ (ภาพที่ 2) จากนั้นผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมต้นแบบโดยใช้โปรแกรมภาษา PHP Javascript และ CSS ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL และได้สร้างคลังข้อสอบจำลองจากข้อสอบ O-NET ของสถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในรายวิชาภาษาอังกฤษ จำนวน 300 ข้อ เพื่อใช้ในการทดสอบ โปรแกรมต้นแบบตามหลักการวิศวกรรมซอฟต์แวร์และข้อกำหนดเกี่ยวกับความต้องการของระบบ

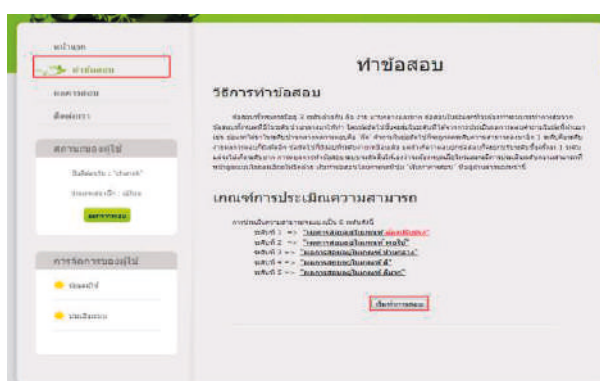


ภาพที่ 2 โครงสร้างของโปรแกรมต้นแบบในภาพรวม

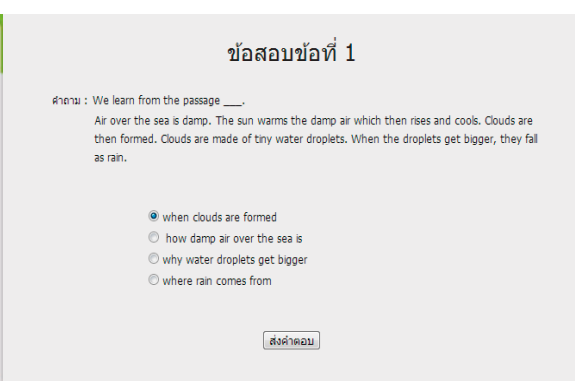
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

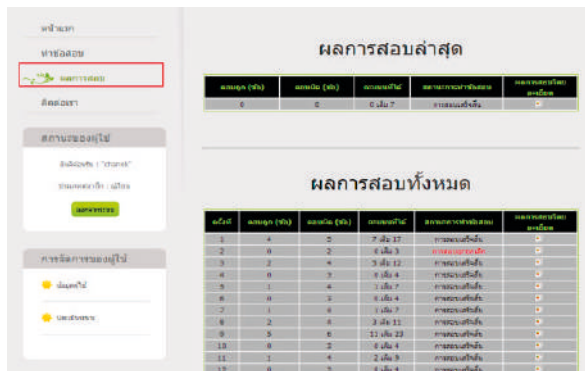
ผลที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ กรณีศึกษา: ภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน สามารถแสดงตัวอย่างหน้าจอการใช้งานของผู้สอบได้ดังนี้ หน้าหลักสำหรับการใช้งานโมดูลการทำข้อสอบ (ภาพที่ 3) หน้าจอการทำข้อสอบและส่งคำตอบ (ภาพที่ 4) หน้าจอสำหรับเรียกดูผลการสอบที่ผ่านมาของตนเอง (ภาพที่ 5) และหน้าจอแสดงรายละเอียดของผลการสอบแต่ละครั้ง (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 3 หน้าหลักของการทำข้อสอบ



ภาพที่ 4 หน้าจอการทำข้อสอบและส่งคำตอบ



ภาพที่ 5 หน้าจอเรียกดูผลการสอบที่ผ่านมา



ภาพที่ 6 หน้าจอแสดงรายละเอียดผลการสอบแต่ละครั้ง

ผลการประเมินการใช้งานโปรแกรมต้นแบบ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการประเมินผลการใช้งานโปรแกรมต้นแบบคือ นิสิตปริญญาตรีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จำนวน 96 คน มีหลักเกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับจากระดับน้อยที่สุดไปหาระดับมากที่สุด มีคะแนนตั้งแต่ 1-5 คะแนนตามลำดับ ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ของลิเคิร์ต (Likert) ในการสรุปผลคะแนนจากแบบสอบถาม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินการใช้งานโปรแกรมต้นแบบ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน	
	Mean	S.D.
1. ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ใช้งาน	4.42	0.58
2. ความสะดวกในการใช้งาน	4.52	0.57
3. ความถูกต้องของระบบ	4.51	0.57
4. ความสอดคล้องของระบบกับความต้องการใช้งาน	4.62	0.51

ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบพบว่าผู้มีความพึงพอใจในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ใช้งานอยู่ในระดับมาก ส่วนประเด็นด้านความสะดวกในการใช้งาน ความถูกต้องของระบบ และความสอดคล้องของระบบกับความต้องการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งจากความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในแบบสอบถามพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ง่าย เนื่องจากมีคำอธิบายประกอบการใช้งานอย่างชัดเจน และมีการเชื่อมโยงหน้าจอต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ส่วนในเรื่องของส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ใช้งานพบว่า การใช้สี รวมไปถึงขนาดและตำแหน่งของวัตถุที่ใช้ในบางหน้าจอยังไม่สอดคล้องกับขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล

ผลการประเมินคุณภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินคุณภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ด้วยวิธีการประเมินผลระบบแบบฮิวริสติก (Heuristic Evaluation) โดยแบ่งประเด็นการสอบถามออกเป็น 3 ประเด็นหลักคือ คุณภาพของสารสนเทศ คุณภาพของระบบ และคุณภาพของการบริการ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินคุณภาพของระบบ

ประเด็นที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของระบบ	ผลการประเมิน	
	Mean	S.D.
1. คุณภาพของสารสนเทศ (ความแม่นยำ (Accuracy) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ความสมบูรณ์ (Completeness) และความตรงประเด็น (Relevance))	4.58	0.49
2. คุณภาพของระบบ (การใช้งานได้ (Usability) สภาพพร้อมใช้งาน (Availability) การออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface Design) และความยืดหยุ่น (Flexibility))	4.42	0.49
3. คุณภาพของการบริการ (ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว (Security and Privacy) และความสามารถในการตอบสนอง (Responsiveness))	4.67	0.50

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าผลการประเมินคุณภาพของระบบในประเด็นด้านคุณภาพของสารสนเทศและคุณภาพของการบริการจะอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนประเด็นด้านคุณภาพของระบบจะอยู่ในระดับมาก โดยผู้เชี่ยวชาญได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ว่า ระบบควรมีการใช้สีสันทันและการแบ่งพื้นที่ในหน้าจอให้มีความสมดุล และมีจุดเด่นมากกว่านี้ ซึ่งผู้วิจัยจะนำผลสะท้อนกลับเหล่านั้น ไปวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงระบบให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมค้นแบบของระบบแบบทดสอบออนไลน์ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ เพื่อสร้างโมเดลการทดสอบแบบปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบโดยใช้คอมพิวเตอร์และเป็นการทดสอบที่ใช้การวิเคราะห์ตามทฤษฎีการตอบสนองรายข้อที่มีความเหมาะสมกับคลังข้อสอบขนาดเล็ก โดยผู้สอบจะต้องสมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานระบบ ระบบจะสุ่มข้อสอบข้อแรกที่มีความยากในระดับปานกลางเพื่อประเมินระดับความสามารถของผู้สอบ จากนั้นระบบจะทำการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปที่มีระดับความยากง่ายแปรผันไปตามผลที่ได้จากการประเมินความสามารถในการทำข้อสอบข้อที่ผ่านมาวนรอบไปโดยอัตโนมัติ จนกว่าเงื่อนไขของการยุติการทดสอบจะเป็นจริงหรือจนกว่าข้อสอบในคลังข้อสอบจะถูกใช้จนครบทุกข้อแล้ว ระบบจึงทำการสรุปผลการสอบเพื่อแจ้งให้ผู้สอบรับทราบ จากผลการประเมินคุณภาพของระบบพบว่าโปรแกรมค้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพและมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดเกี่ยวกับความต้องการของระบบ ดังนั้นในอนาคตจึงอาจประยุกต์โปรแกรมค้นแบบนี้เพื่อสร้างแบบทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบในรายวิชาพื้นฐานที่มีผู้สอบเป็นจำนวนมากและใช้ข้อสอบในรูปแบบปรนัยหลายตัวเลือก (Multiple Choices) เช่น รายวิชาพื้นฐานทางด้านภาษา ศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ รวมไปถึงด้านมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ทำให้การทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lord, F. M. (1980). **Application of Item Response Theory to Practical Testing Problems**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- [2] Kanjanawasee, S. (2012). **Modern Test Theories**. Ed 4. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- [3] Onwimon, S. (2011). **ASEAN Diary** (Online). Retrieved 15 August 2015, from <http://blog.eduzones.com/wigi/81880>.
- [4] EF Education First. **The World's Largest Ranking of Countries by English Skills** (Online). Retrieved 12 March 2017, from <http://www.ef.co.th/EPI>.
- [5] Frick, T.W. (1990). A comparison of three decision models for adapting the length of computer-based mastery test. **Journal of Educational Computing Research Systems**. 5(1), 89-114.
- [6] Tao, Y.H., Wu, Y.L. and Chang, H.Y. (2008). A Practical Computer Adaptive Testing Model for Small-Scale Scenarios. **Educational Technology & Society**. 11, 259-274.
- [7] Weiss, D.J. (1983). **New Horizons in Testing: Latent Trait Test Theory and Computerized Adaptive Testing**. New York, NY: Academic Press.
- [8] Wong, K., Leung, K., Kwan, R. and Tsang, P. (2010). E-Learnig: Developing a Simple Web-Based Intelligent Tutoring System Using Cognitive Diagnostic Assessment and Adaptive Testing Technology. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**. 23-34.
- [9] Chaimongkol, N., Pasiphol, S. and Kanjanawasee, S. (2016). Computerized Adaptive Testing with Reflective Feedback in Information Technology Professional Examination. **Information Technology Journal**. 12(2), 58-64.
- [10] Sakolkijrunroj, S., Chadcham, S. and Sudhasani, S. (2015). The Development of Computerized Adaptive Testing Program for Thai Happiness Scale. **Research Methodology & Cognitive Science**. 13(1), 1-17.
- [11] Plumjai, N., Tinnaworn, P. and Sukhanonsawat, S. (2015). Development of Computerized Adaptive Testing Program for O-NET at the Grade Twelve Level. **Research Methodology & Cognitive Science**. 13(2), 109-125.

การทดสอบการแจกแจงปกติโดยแผนภาพของเศษตกค้างในการถดถอยเชิงเส้น

Graphical Normality Tests on Residuals in Linear Regression

วันเพ็ญ จันทรังษี^{1*}

Wanpen Chantarangsi^{1*}

บทคัดย่อ

ลักษณะที่ไม่ปกติของการแจกแจงประชากร เช่น ความเบ้ ความโด่ง หางยาวหรือหางสั้นนั้นสามารถระบุได้ง่ายจากแผนภาพความน่าจะเป็นปกติซึ่งการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติแบบไม่ใช้แผนภาพจะไม่สามารถใช้วินิจฉัยลักษณะเหล่านี้ได้ สำหรับการทบทวนวรรณกรรมทางสถิติ ช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้นขนาด $1 - \alpha$ บนแผนภาพความน่าจะเป็นปกติสำหรับตัวอย่างสุ่มอย่างง่ายมีใช้กันอยู่แล้ว เมื่อ α คือ ระดับนัยสำคัญ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือการสร้างช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้นบนแผนภาพความน่าจะเป็นปกติสำหรับเศษตกค้างจากการถดถอยเชิงเส้นเพื่อก่อให้เกิดการตัดสินใจที่เชื่อถือได้ว่าเศษตกค้างนั้นเรียงกันเป็นเส้นตรงหรือไม่ อันจากการทดสอบสำหรับวิธีการทดสอบโดยใช้ภาพจะถูกเปรียบเทียบกับการทดสอบแบบไม่ใช้แผนภาพเพื่อประเมินว่าแบบใดจะมีอำนาจการทดสอบที่ดีกว่ากัน ท้ายที่สุดตัวอย่างจะถูกแสดงเพื่อสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการทดสอบ

คำสำคัญ: การทดสอบโดยใช้ภาพ แผนภาพความน่าจะเป็นปกติ เศษตกค้าง ช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้น

Abstract

Non-normal features of the population distribution such as skewness, kurtosis, long or short tails can be easily identified from the normal probability plot. The non-graphical hypotheses tests of normality do not have this diagnostic feature. For the statistical literature, $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals for augmenting a normal probability plot for a simple random sample are available where α is a significance level. The main objective of this research is on construction of simultaneous probability intervals on normal probability plots for residuals from linear regression providing objective judgements whether on residuals fall close to a straight line. We then compare the powers of these graphical tests and some non-graphical tests for residuals in order to assess the power performances of the graphical tests and to identify the ones that have better power. Finally, the example is provided to illustrate the effectiveness of the tests.

Keywords: Graphical Test, Normal Probability Plot, Residuals, Simultaneous Probability Interval

¹ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

¹Dr., Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

*Corresponding author: Tel.: 063-6415942. E-mail address: wanpen@webmail.npru.ac.th

Introduction

First of all, the theoretical background of a linear regression model is introduced so that it enables to extend the tests of normality for a simple random sample to the vector of residuals from a linear regression model. It is more convenient to deal with multiple regression models if they are expressed in matrix notation. The model is given by $\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$ or in terms of matrix form as

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$\text{where } \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}_{n \times 1}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}_{n \times (p+1)}, \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}_{(p+1) \times 1}, \text{ and } \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}_{n \times 1}.$$

In general, $\mathbf{y}$ is an $n \times 1$ vector of the observations, $\mathbf{X}$ is an $n \times (p+1)$ matrix of the levels of the regressor variables or the design matrix, $\boldsymbol{\beta}$ is a $(p+1) \times 1$ vector of the regression coefficients, and $\boldsymbol{\varepsilon}$ is an $n \times 1$ vector of random errors.

The least squares estimator of $\boldsymbol{\beta}$ results from minimizing the sum of squared residuals is given by $\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}$ provided that the inverse matrix $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$ exists. Therefore, the vector of fitted values ($\hat{\mathbf{y}}$) corresponding to the vector of observed values ($\mathbf{y}$) is

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{y}$$

where $\mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T$ is called the hat matrix. The vector of residuals can be written in matrix form as

$$\mathbf{e} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{y} = (\mathbf{I} - \mathbf{H})\mathbf{y} = (\mathbf{I} - \mathbf{H})\boldsymbol{\varepsilon}$$

then the residuals $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_n)^T$ have the multivariate normal distribution since

$$\text{Var}(\mathbf{e}) = \text{Var}[(\mathbf{I} - \mathbf{H})\boldsymbol{\varepsilon}] = (\mathbf{I} - \mathbf{H})\text{Var}(\boldsymbol{\varepsilon})(\mathbf{I} - \mathbf{H})^T = \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H})$$

where $\text{Var}(\boldsymbol{\varepsilon}) = \sigma^2 \mathbf{I}$ and $\mathbf{I} - \mathbf{H}$ is symmetric and idempotent.

This leads to residuals which follow the normal distribution $N(0, \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H}))$. Therefore, the regression residuals are neither independent nor homoscedastic because the covariance matrix $\sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H})$ is not a diagonal matrix. The variance of the k^{th} residual is $\text{Var}(e_k) = \sigma^2 (1 - h_{kk})$ where h_{kk} is the k^{th} diagonal element of the hat matrix for $k = 1, \dots, n$. The unknown error variance σ^2 is assumed to be estimated by the mean residual sum of

squares $S_e = \sqrt{\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{e}}{n-p-1}}$. Note that the studentized residuals can be defined as $r_k = \frac{e_k}{S_e \sqrt{1-h_{kk}}}$ for $k = 1, \dots, n$

which replaces the standardized residuals $\frac{e_k}{S_e}$.

As known in general statistical textbooks, one of the major assumptions of the linear regression model which we have concerned is the normality of random errors (ϵ). Our objective is to test normality of the error vector with the hypothesis

$$H_0 : \epsilon \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I}).$$

However, ϵ is unobservable data, the residuals $\mathbf{e}$ will be the estimator of ϵ to construct the tests on normality.

Basically, there are two types of procedures for assessing whether a population has a normal distribution based on a random sample. One of them is the graphical tests (e.g., normal probability plots) and the other is non-graphical tests (e.g., the Anderson-Darling and Shapiro-Wilk tests). The normal probability plot is a graphical technique for assessing whether or not a data set is approximately normally distributed. The data are plotted against a theoretical normal distribution in such a way that the points should form an approximate straight line. Specifically, the normal probability plot of the residuals is a simple graphical method to detect the normality assumption in linear regression if and only if the n points of residuals fall close to a straight line, the random errors are claimed to be normally distributed. As concerned, the graphical tests are more intuitive and more easily interpretable than non-graphical ones. However, the drawback is that different people can make different interpretations of the plots. Thus, graphical tests are usually regarded as informal techniques because the conclusions arrived at may be influenced by the subjectivity of users.

In methodology section, the construction of graphical tests on normal probability plot are developed to provide the $1-\alpha$ simultaneous probability intervals for the residuals as objective judgement. Then, we compare the powers of graphical tests on normal probability plot and non-graphical tests to identify the tests shown in results and discussion section. Finally, the conclusion of this research is presented in the subsequent section.

Methodology

Let $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_n)^T$ be the vector of residuals from a normal error in linear regression with $\mathbf{e} \sim N(0, \sigma^2 (\mathbf{I} - \mathbf{H}))$ and $e_{[1]} \leq \dots \leq e_{[n]}$ be the residual arranged in ascending order. In addition, the unknown error variance σ^2 is estimated by $S_e = \sqrt{\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{e}}{n-p-1}}$ as before.

Normal probability plot for residuals consists of the n points $(z_k, e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$. There are several ways to choose the reference values z_k . Denote that $\Phi(\cdot)$ is the cumulative distribution function of the standard normal distribution and $\Phi^{-1}(\cdot)$ is the inverse function of $\Phi(\cdot)$. One can be used a set of plotting positions $0 < p_1 < \dots < p_n < 1$, that is, $\Phi(z_k) = p_k$ for $k = 1, \dots, n$. According to [1], plotting position proposed by Blom (1958) is most suitable in the normal distribution. Thus, through this research we will use $p_k = \frac{k-0.375}{n+0.25}$ for $k = 1, \dots, n$ as plotting positions [2].

We introduced two graphical tests considered in this article as follows:

1. The first test on normal probability plot based on Kolmogorov-Smirnov (1933) statistic [3] is

$$D = \max_{1 \leq k \leq n} \left| \Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right) - \frac{k - 0.375}{n + 0.25} \right|.$$

Let c_D be a critical constant so that $P\{D < c_D\} = 1 - \alpha$ under H_0 . The probability statement $P\{D < c_D\} = 1 - \alpha$ can be rewritten as

$$\begin{aligned} 1 - \alpha &= P\{D < c_D\} \\ &= P\left\{ \max_{1 \leq k \leq n} \left| \Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right) - \frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \right| < c_D \right\} \\ &= P\left\{ e_{[k]} \in S_e \sqrt{1 - h_{kk}} \Phi^{-1} \left(\frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \pm c_D \right) \text{ for } k = 1, \dots, n \right\}. \end{aligned}$$

Therefore, the simultaneous intervals of $e_{[k]}$ for $k = 1, \dots, n$ is given by

$$S_e \sqrt{1 - h_{kk}} \Phi^{-1} \left(\frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \pm c_D \right).$$

2. The second test on normal probability plot constructed based on Michael [4] is

$$D_{sp} = \max_{1 \leq k \leq n} \left| \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)} - \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{k - 0.375}{n + 0.25}} \right|.$$

Let c_{sp} be a critical constant so that $P\{D_{sp} < c_{sp}\} = 1 - \alpha$ under H_0 . The $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals associated with the probability statement $P\{D_{sp} < c_{sp}\} = 1 - \alpha$ can be rewritten as

$$\begin{aligned} 1 - \alpha &= P\{D_{sp} < c_{sp}\} \\ &= P\left\{ \max_{1 \leq k \leq n} \left| \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)} - \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{k - 0.375}{n + 0.25}} \right| < c_{sp} \right\}. \end{aligned}$$

Therefore, the simultaneous intervals of $e_{[k]}$ for $k = 1, \dots, n$ is given by

$$S_e \sqrt{1 - h_{kk}} \Phi^{-1} \left(\sin^2 \left(\arcsin \sqrt{\frac{(k - 0.375)}{(n + 0.25)} \pm \frac{\pi}{2} c_{sp}} \right) \right).$$

In power comparison, we include the Anderson-Darling [5] and Shapiro-Wilk [5] tests as the non-graphical based tests. That is, the Anderson-Darling statistic is

$$AD = -\frac{1}{n} \left[\sum_{k=1}^n (2k-1) \left\{ \ln Z_k + \ln(1 - Z_{n-k+1}) \right\} \right] - n$$

where $z_k = \Phi \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)$. The critical constant c_{AD} which corresponding to $P\{AD < c_{AD}\} = 1 - \alpha$ can be

determined by simulation as the critical constant c_D .

The Shapiro-Wilk statistic is

$$SW = \left\{ \sum_{k=1}^n a_k \frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right\}^2 \bigg/ \sum_{k=1}^n \left(\frac{e_{[k]}}{S_e \sqrt{1 - h_{kk}}} \right)^2$$

where a_k are coefficients tabulated by Shapiro and Wilk. The critical constant c_{SW} which corresponding to $P\{SW < c_{SW}\} = 1 - \alpha$ can be determined by simulation as the critical constant c_D .

To compute power results among graphical and non-graphical tests when standardized and studentized residuals are applied for linear regression with one explanatory variable, 10,000 simulations are used. Similarly, the $\varepsilon_1^*, \dots, \varepsilon_n^*$ are drawn from the given distribution. Note that μ is the mean of the given distribution as shown in the next section. Then the error vector is $\varepsilon = (\varepsilon_1^* - \mu, \dots, \varepsilon_n^* - \mu)$. The residual vector can be computed by $e = (I - H)\varepsilon$ applying to test e . The proportion of times that H_0 is rejected taking as the power of the test when compare with critical values in [6].

In our simulation study, we use $\alpha = 0.05$ and the two different forms of design matrix X which are presented by [6]. For the symmetrical design matrix (say Design 1), we generate the first $\frac{n}{2}$ observations of column vector for explanatory variable in X are set to be -1 and the remaining $\frac{n}{2}$ observations are set equal to 1. Conversely, for the asymmetrical design matrix (say Design 2) the first observation is set equal to -1 and the remaining observations are set equal to 1.

Group I of the given distributions is asymmetric on the support $(0, \infty)$ including χ_1^2 , exponential(0,1) and χ_4^2 . Group II of three distributions is on interval $(0,1)$ and includes uniform(0,1), beta(1,2) and beta(2,2). In addition, Group III of distributions are symmetric on the support $(-\infty, \infty)$ consisting of t(1), t(3) and t(6).

In practice, the $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals can then be used to test H_0 based on corresponding graphical tests in the following procedure:

1. Choose a significance level α and the graphical test.
2. Calculate the critical constant which depends on α , sample size n and the number of simulation.
3. Sort e_k 's in ascending order $e_{[1]} \leq \dots \leq e_{[n]}$ and plot $(\Phi^{-1}(p_k), e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$. This step produces normal probability plot.
4. For each k , plot the vertical intervals corresponding to $e_{[k]}$ based on the graphical test considered for $k = 1, \dots, n$.
5. Join the upper bounds and the lower bounds of all n vertical intervals from step 4 which becomes the bands.
6. Reject the null hypothesis H_0 at level α if at least one point $(\Phi^{-1}(p_k), e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$ falls outside the bands.

Results and Discussion

From the power comparison among all alternative distributions in Group I, II and III given in Table 1 and 2, the following observations can be made as follows:

For overall results of power comparison in Table 1, D test performs quite badly in comparison with the other tests but the performance of D test seems better on other situations (especially Group III). The reason is because the characteristics of $\mathbf{X}$ is choose as in Methodology section. In General, SW test gives highest power among all tests for Group I, but it performs as good as AD test based on distributions in Group II and III. Although the D_{sp} test is not the best test for all cases, it still gives higher powers than the D test in almost all cases.

Table 1 Power comparison among D, D_{sp} , AD and SW tests where $\mathbf{X}$ comes from Design 1

Distributions	n	D	D_{sp}	AD	SW
χ_1^2	8	22.94	23.28	31.52	35.04
	12	47.53	49.13	56.68	60.11
	24	86.14	93.41	94.08	95.79
	48	99.68	99.98	99.95	99.97
	60	99.97	100	100	100
exponential(0,1)	8	13.75	13.71	17.13	20.15
	12	27.50	27.52	35.36	38.74
	24	59.99	73.31	76.12	81.10
	48	92.43	99.09	98.57	99.41
	60	97.29	99.92	99.70	99.94
χ_4^2	8	8.71	8.53	10.42	11.86
	12	15.35	15.29	19.92	22.38
	24	33.86	41.40	46.90	54.09
	48	64.23	86.67	83.98	90.71
	36	75.97	95.12	92.40	96.51
uniform(0,1)	8	6.60	7.16	7.24	7.40
	12	8.27	8.82	8.90	7.84
	24	12.50	14.31	19.70	18.84
	48	26.88	39.39	51.56	59.26
	60	34.45	56.37	65.34	75.45
beta(1,2)	8	7.22	7.27	8.13	8.40
	12	10.34	10.24	11.89	11.79
	24	20.22	24.17	27.78	29.06
	48	43.27	73.21	63.93	71.06
	60	54.84	88.83	78.82	86.05
beta(2,2)	8	4.99	5.11	5.21	5.21
	12	5.63	5.45	5.69	4.71
	24	6.31	5.96	7.21	5.66
	48	9.10	9.06	13.46	12.34
	60	10.55	12.38	16.59	17.11
t(1)	8	24.98	26.68	32.35	35.91
	12	48.41	51.85	55.10	57.52
	24	83.41	86.53	88.78	88.86

Distributions	n	D	D_{sp}	AD	SW
	48	98.69	98.93	99.50	99.41
	60	99.56	99.63	99.87	99.86
t(3)	8	6.72	7.04	7.85	8.11
	12	12.48	13.78	15.76	12.77
	24	23.52	28.67	31.78	26.11
	48	43.34	50.00	56.42	44.52
	60	49.85	55.73	63.52	51.62
t(6)	8	5.48	5.43	5.66	6.14
	12	6.61	6.90	8.24	9.17
	24	9.32	12.08	13.17	16.59
	48	13.36	18.03	20.18	26.73
	60	15.70	20.45	23.49	31.06

Table 2 power comparison among D, D_{sp} , AD and SW tests where **X** comes from Design 2

Distributions	n	D	D_{sp}	AD	SW
χ_1^2	8	25.54	13.83	17.80	15.25
	12	45.78	37.14	42.04	32.76
	24	85.51	86.23	90.73	77.61
	48	99.64	99.99	99.97	99.40
	60	100	100	100	99.91
exponential(0,1)	8	14.69	6.82	8.32	6.31
	12	26.64	19.57	20.62	14.57
	24	58.96	55.69	60.36	40.20
	48	91.51	95.15	96.79	82.21
	60	97.08	99.37	99.37	93.50
χ_4^2	8	9.65	4.76	5.24	3.76
	12	16.17	10.55	10.10	6.27
	24	32.73	28.47	28.18	14.58
	48	64.72	61.04	70.70	37.80
	36	75.93	76.22	84.63	52.22
uniform(0,1)	8	6.26	3.50	4.98	4.07
	12	6.74	4.24	5.43	2.79
	24	10.58	10.97	9.77	0.95
	48	23.22	33.98	33.80	1.12
	60	31.89	50.75	49.98	2.20
beta(1,2)	8	7.59	3.26	3.97	3.5
	12	9.11	5.58	4.59	4.82
	24	18.30	14.49	10.93	14.38
	48	40.48	31.82	41.14	40.13
	60	51.86	45.65	58.19	56.80
beta(2,2)	8	5.25	3.94	4.47	4.20
	12	4.40	3.33	3.30	3.60
	24	5.80	4.95	3.70	4.03
	48	7.44	6.93	6.44	6.10
	60	9.95	9.45	9.91	9.87

Distributions	n	D	D _{sp}	AD	SW
t(1)	8	29.01	32.09	34.01	32.50
	12	54.44	59.44	60.32	56.61
	24	86.59	88.50	90.87	87.40
	48	99.10	99.03	99.69	99.14
	60	99.76	99.80	99.93	99.84
t(3)	8	8.75	11.83	10.88	8.76
	12	13.86	18.93	18.39	13.64
	24	26.13	31.26	34.62	26.16
	48	45.44	52.65	59.98	43.10
	60	54.14	62.24	69.47	50.63
t(6)	8	6.55	7.71	6.76	6.88
	12	7.59	10.00	9.32	10.14
	24	9.98	12.75	14.61	16.98
	48	14.20	20.20	23.28	26.24
	60	17.34	24.64	28.01	31.66

For the conclusion made by Table 2, It is very interestingly that there is a slight difference among D_{sp} , AD and SW tests in several cases. Obviously, the D test performs well in χ_1^2 , exponential(0,1), χ_4^2 and beta(2,2). The D_{sp} test shows impressive powers for the rest even though it is a graphical test.

Montgomery [7] studied on the rocket propellant and the authors suspected whether the shear strength is related to the age in weeks of the batch of sustainer propellant or not. The twenty observations on shear strength and the age of the corresponding batch of propellant have been collected when shear strength is a dependent variable and age of propellant (weeks) is an explanatory variable in simple linear regression. To estimate the model parameter, least squares method is applicable to obtain the least squares equation as $\hat{y} = 2627.82 - 37.15x$.

Now, we will apply the procedure of $1 - \alpha$ simultaneous probability intervals in the methodology section to produce the vertical intervals for each residual. The objective judgement on normal probability plot is that if at least one point $(\Phi^{-1}(p_k), e_{[k]})$, $k = 1, \dots, n$ in the normal probability plot is not included in the corresponding vertical interval, ones can claim that H_0 is not supported by the observed data.

To draw the conclusion that the random errors follow normal assumption by Figure 1, all residuals must lie within the corresponding intervals. The top panel of Figure 1 shows that each residual $e_{[k]}$ $k = 1, \dots, n$ falls inside the corresponding vertical interval based on the D test. Hence, the inference is that the random errors are normally distributed under the D test. However, from the bottom panel of Figure 1, $e_{[2]} = -213.6$ does not lie inside the corresponding interval $(-204.9496, -72.5683)$. Thus, we can draw the conclusion that the errors do not follow a normal distribution based on the D_{sp} test. Additionally, by the statistical software, we also make a conclusion that the null hypothesis H_0 is rejected at $\alpha = 0.05$ under AD and SW tests.

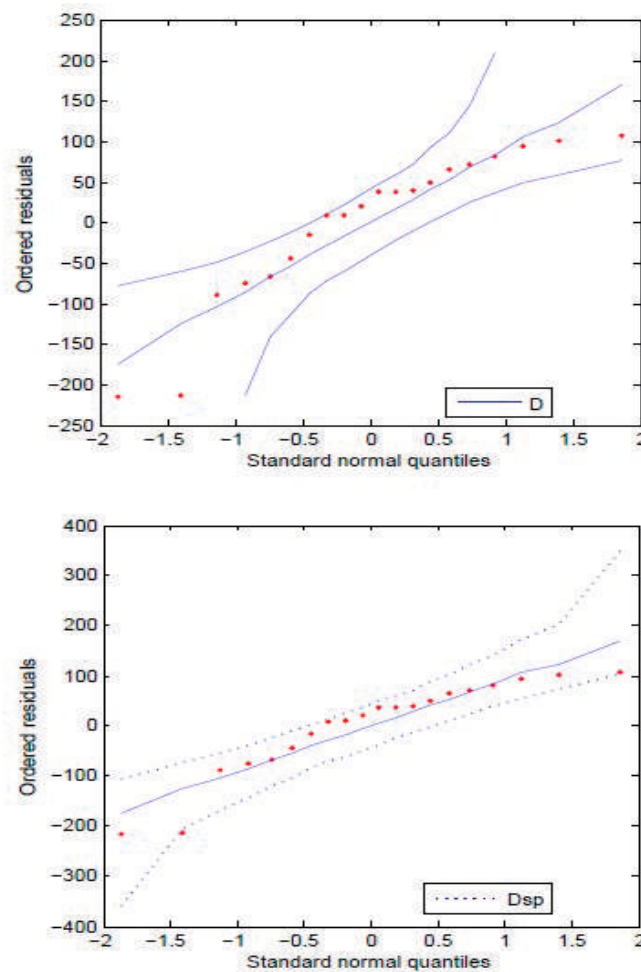


Figure 1 Simultaneous intervals for testing normality of residuals based on rocket propellant data for graphical based D and D_{sp} tests at $\alpha = 0.05$

Conclusion

Based on the investigations set out in the previous sections, the SW and AD tests are non-graphical tests, they may not be more powerful than the graphical tests. In general, the D_{sp} test, which is effectively graphical test for normality based on residuals in linear regression, is good enough to detect normality on residuals as shown in above figure similar to the SW and AD tests. Therefore, the graphical test on normal probability plot becomes a useful tool for practitioners who look for the objective judgement on the normal probability plot.

Acknowledgment

The author would like to express my sincere thanks to the Research and Development Institute, Nakhon Pathom Rajabhat University for their financial support. Moreover, the author is extremely grateful to all the referees, associate editor, and editor for constructive comments.

References

- [1] Blom, G. (1958). **Statistical Estimates and Transformed Beta-variates**. Wiley, New York.
- [2] Lozano-Aguilera, E.D., Estudillo-Martinez, M.D., and Castillo-Gutierrez, S. (2014). “A Proposal for Plotting Positions in Probability Plots”, **Journal of Applied Statistics**. 41(1), 118-126.
- [3] Kolmogorov, A.N. (1933). “Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione”, **Giorna. Ist. Attuari**. 4, 83-91.
- [4] Michael, J.R. (1983). “The Stabilized Probability Plot”, **Biometrika**. 70, 11-17.
- [5] Shapiro, S.S. and Wilk, M.B. (1965). “An Analysis of Variance Test for Normality (complete samples)”, **Biometrika**. 52, 591-611.
- [6] Chantarangsi, W., Liu, W., Bretz, F., Kiatsupaibul, S., and Hayter, A.J. (2017). “Normal Probability Plots with Confidence for the Residuals in Linear Regression”, **Communication in Statistics-Simulation and Computation**. (Article in Press).
- [7] Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vinning, G.G. (2001). **Introduction to Linear Regression Analysis**. John Wiley & Sons, Inc. New York.

การศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกในไซโลฐานแบนเรียบ

The Study of the Impact of Displacing Insert in Flat-Bottomed Silo

วาเรียม ช่วยจันทร^{1*} และสุทธิวัฒน์ ทองนาค¹

Wariam Chuayjan^{1*} and Sutthiwat Thongnak¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการออกแบบโครงสร้างของไซโลฐานแบนเรียบที่ใช้สำหรับเก็บเมล็ดถั่วเหลือง ในการจำลองการไหลของเมล็ดถั่วเหลืองจะใช้หลักการของกฎอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้นและโมเมนตัมเชิงมุม รวมถึงใช้วิธีดิสครีทอีลิเมนต์ เพื่อหาผลเฉลยเชิงตัวเลข สำหรับศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกที่มีรูปร่างเป็นกรวยคว่ำ และตำแหน่งของกรวยคว่ำต่อรูปแบบการไหล เวกเตอร์ความเร็ว และแรงดันที่ผนังไซโล ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า สิ่งแทรกมีอิทธิพลต่อรูปแบบการไหลของเมล็ดถั่วเหลืองในไซโลและสามารถปรับปรุงรูปแบบการไหลจากการไหลแบบท่อระบายไปสู่การไหลแบบทั้งมวล นอกจากนี้การเพิ่มสิ่งแทรกยังสามารถลดแรงดันที่ผนังไซโลได้ และยังพบว่าการวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการกระจายแรงไปยังอนุภาคที่ใกล้ผนังของไซโลช่วยให้ลดบริเวณที่อนุภาคหยุดเคลื่อนที่ได้ ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบไซโลและสิ่งแทรกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เมล็ดถั่วเหลือง ไซโล วิธีดิสครีทอีลิเมนต์

Abstract

In this paper, we developed a mathematical model to study silo structure design of flat-bottomed silo for storing soybeans. The model bases on both conservative linear momentum and conservative angular momentum. The Discrete Element Technique is used to obtain the numerical solutions for studying how insert, installed in silo, affects the flow pattern, the velocity profile and the wall pressure in silo. The results indicated that the inverted cone insert influences flow pattern of soybean in silo. The simulation reveals that the appropriately position of the insert in a flat bottom silo can improve the flow pattern from funnel flow to mass flow. Moreover, the wall pressure and dead zone decrease when the insert is installed. The knowledge has led to the effective design of flat-bottomed silo with insert.

Keywords: Soybeans, Silo, Discrete Element Method

¹ อ.ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: E-mail address: wariam_chuayjan@hotmail.com, Tel.: 074-609600 ext. 2578

บทนำ

การเก็บรักษาวัสดุเม็ด (Granular Materials) มีความสำคัญเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเหมืองแร่ และอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น เนื่องจากวัตถุดิบส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมเหล่านี้มักจะอยู่ในรูปของวัสดุเม็ด เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถ่านหิน ซิเมนต์ เป็นต้น โดยทั่วไป วัสดุเม็ดเหล่านี้จะถูกเก็บในไซโล (Silos) ซึ่งเป็นถังขนาดใหญ่ที่ใช้เก็บรักษาหรือขนส่งสินค้าอุตสาหกรรม ไซโลมีหลายชนิด ได้แก่ ไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Storage Silos) ไซโลถุง (Bag Silos) แท็งก์ (Tanks) และถัง (Bin) รูปร่างของไซโลอาจจะเป็นทรงกระบอก สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขนาดความจุตั้งแต่ 1 ตัน ถึง 100,000 ตัน ดังนั้น การออกแบบไซโลสำหรับเก็บวัสดุเม็ดเพื่อให้มีโครงสร้างที่เหมาะสม สามารถใช้งานได้ดีและปลอดภัย จำเป็นต้องพิจารณารูปร่างของไซโล และปัจจัยที่กระทำต่อการไหลภายในไซโล ซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมการณ์การไหลของวัสดุเม็ด และแรงดันบนผนังไซโล กระบวนการหลักที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบในไซโลประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ การบรรจุ (Filling Process) และการปล่อยออก (Discharging Process) ในกระบวนการปล่อยออก เมื่อเปิดช่องทางออก (Outlet) ของไซโล วัสดุเม็ดจะเริ่มไหลออกจากไซโลภายใต้แรงโน้มถ่วง รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดมี 2 รูปแบบ คือ การไหลแบบทั้งมวล (Mass Flow) และการไหลแบบท่อระบาย (Funnel Flow) [1] สำหรับการไหลแบบทั้งมวลพบว่าวัสดุเม็ดทั้งหมดภายในไซโลอยู่ในสภาพเคลื่อนที่ออกจากไซโลอย่างสม่ำเสมอ รูปแบบการไหลประเภทนี้มีความเหมาะสมสำหรับการทำงานของไซโล และกรณีการไหลแบบท่อระบายเป็นการไหลในลักษณะที่เฉพาะวัสดุเม็ดที่อยู่บริเวณส่วนตรงกลางของไซโลเท่านั้นที่เคลื่อนที่ออกจากไซโลได้ ในขณะที่มีวัสดุเม็ดบางส่วนติดเกาะติดผนังไซโลและไม่สามารถไหลออกจากไซโลได้ ทำให้เกิดบริเวณที่วัสดุเม็ดหยุดนิ่ง (Dead Zone) ขึ้นภายในไซโล รูปแบบการไหลขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุเม็ดและรูปร่างไซโล

ปัจจุบันพบปัญหาหลายอย่างที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม เช่น ปัญหาการอุดตัน (Arching Problem) ที่เกิดขึ้นเหนือช่องทางออกของไซโล ปัญหาเกิดบริเวณหยุดเคลื่อนที่ของวัสดุเม็ดใกล้กับผนังไซโล และการออกแบบที่ไม่เหมาะสมของไซโลมักเป็นสาเหตุทำให้ไซโลพังทลาย ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ ก่อให้เกิดความเสียหายในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยให้วัสดุเม็ดที่บรรจุในไซโลสามารถเคลื่อนที่ออกจากไซโลได้ง่าย สิ่งแทรก (Insert) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาและออกแบบให้มีการติดตั้งภายในไซโล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการไหล และลดความเค้นของผนังไซโล (Wall Stress) ซึ่งเป็นสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดการอุดตันหรือการเกิดโคมในระหว่างการปล่อยวัสดุออกจากไซโล สิ่งแทรกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สิ่งแทรกแบบวัสดุเม็ดไหลผ่านไม่ได้ (Displacing Inserts) และสิ่งแทรกแบบวัสดุเม็ดไหลผ่านได้ (Non-Displacing Inserts) [5] ตัวอย่างเช่น กรวยคว่ำ (Inverted Cone) กรวยคู่ (Double Cone) และแผ่นแนวนอน (Horizontal Plate) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ว สิ่งแทรกจะถูกวางในบริเวณกรวย (Hopper) ของไซโล เพื่อช่วยแก้ปัญหาการไหล การออกแบบสิ่งแทรกที่มีประสิทธิภาพและวางในตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง ทำให้ลดบริเวณที่วัสดุเม็ดไม่เคลื่อนที่ (Stagnant Zone) ในไซโลได้ทั้งหมด ซึ่งจะนำไปสู่การไหลแบบทั้งมวล ดังนั้น การศึกษาพฤติกรรมการณ์การเคลื่อนที่ของวัสดุเม็ด แรงดันที่ผนังไซโล และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลในไซโลระหว่างกระบวนการปล่อยออกจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในไซโลซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้

โดยที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการณ์การเคลื่อนที่ของวัสดุเม็ดในไซโลด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การทดลอง [1-3] และวิธีเชิงตัวเลข [4-9] เนื่องจากวัสดุเม็ดมีจำนวนมากและมีขนาดเล็ก การศึกษาด้วยวิธีการทดลองทำให้เสียเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง ปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคเชิงตัวเลขได้ถูกพัฒนาเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์ของวัสดุเม็ดและแรงดันในไซโล โดยวิธีเชิงตัวเลขประกอบด้วย 2 วิธี คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) [6-7] และวิธีดิสรีทเอลิเมนต์

(Discrete Element Method: DEM) [4-5, 9] โดยทั่วไปแล้ว วิธีดิสครีทเอลิเมนต์เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เพราะสามารถอธิบายปรากฏการณ์การไหลของแต่ละอนุภาคในโซโลได้อย่างชัดเจน

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของวัสดุเม็ดและเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีดิสครีทเอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของสิ่งแทรกต่อพฤติกรรมการไหลของวัสดุเม็ด รูปแบบการไหล เวกเตอร์ความเร็ว และแรงดันที่ผนังฐานของโซโล ในงานวิจัยนี้ใช้โซโลฐานแบบเรียบที่มีสิ่งแทรกแบบกรวยคว่ำ และทำการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในโซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกและมีสิ่งแทรก

วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งได้พัฒนามาจากแบบจำลองของ Cundall และ Strack [9] โดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน สมการควบคุมสำหรับอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาค i อยู่ภายใต้หลักการของโมเมนตัมเชิงเส้นและหลักการโมเมนตัมเชิงมุม คือ

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i(t)}{dt^2} = m_i \mathbf{g} + \mathbf{F}_i(t) \quad (1)$$

$$I_i \frac{d^2 \boldsymbol{\theta}_i(t)}{dt^2} = \mathbf{M}_i(t) \quad (2)$$

เมื่อ $\mathbf{r}_i$ และ $\boldsymbol{\theta}_i$ แทนเวกเตอร์ตำแหน่ง (Position Vector) และเวกเตอร์เชิงมุม (Rotation Vector) ที่จุดศูนย์กลางของอนุภาค i ตามลำดับ $\mathbf{g}$ คือแรงโน้มถ่วงโลก m_i และ I_i คือมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของอนุภาค i ตามลำดับ เวกเตอร์ $\mathbf{F}_i$ และ $\mathbf{M}_i$ คือแรงและทอร์กรวมทั้งหมดที่กระทำกับอนุภาค i ตามลำดับ โดยนิยามดังนี้

$$\mathbf{F}_i(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_p} \mathbf{F}_{i,j} + \sum_{k=1}^{N_w} \mathbf{F}_{i,w_k} \quad (3)$$

$$\mathbf{M}_i(t) = \sum_{j=1}^{N_p} \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_{i,j} + \sum_{k=1}^{N_w} \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_{i,w_k} \quad (4)$$

เมื่อ N_p แทนจำนวนของอนุภาคทั้งหมด และ N_w แทนจำนวนผนังทั้งหมดที่กระทำบนอนุภาค i และ $\mathbf{F}_{i,j}$ แทนแรงที่กระทำกันระหว่างอนุภาค i และ j และ $\mathbf{F}_{i,w_k}$ แทนแรงที่กระทำกันระหว่างอนุภาค i และผนัง w_k นิยามดังนี้

$$\mathbf{F}_{i,j}(t) = F_{ijn}(t) \mathbf{n} + F_{ijs}(t) \mathbf{s} \quad (5)$$

$$\mathbf{F}_{i,w}(t) = F_{iwn}(t) \mathbf{n} + F_{iws}(t) \mathbf{s} \quad (6)$$

เมื่อ $\mathbf{n}$ และ $\mathbf{s}$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศตั้งฉากและทิศสัมผัส ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้ $\mathbf{v}_i = \frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt}$ และ

$\boldsymbol{\omega}_i = \frac{d\boldsymbol{\theta}_i(t)}{dt}$ สำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, N_p$ เราจะได้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญอันดับหนึ่ง คือ

$$\begin{aligned}\frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt} &= \mathbf{v}_i \\ \frac{d\boldsymbol{\theta}_i(t)}{dt} &= \boldsymbol{\omega}_i \\ \frac{d\mathbf{v}_i(t)}{dt} &= \mathbf{g} + \frac{\mathbf{F}_i(t)}{m_i} \\ \frac{d\boldsymbol{\omega}_i(t)}{dt} &= \frac{\mathbf{M}_i(t)}{I_i}\end{aligned}\tag{7}$$

จากระบบสมการดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการต่อไปนี้

$$\frac{d\boldsymbol{\psi}(t)}{dt} = \boldsymbol{\phi}(t)\tag{8}$$

$$\frac{d\boldsymbol{\phi}(t)}{dt} = \mathbf{P}(t)\tag{9}$$

เมื่อ $\boldsymbol{\psi}(t) = [\mathbf{r}_1(t) \ \boldsymbol{\theta}_1(t) \ \dots \ \mathbf{r}_{N_p}(t) \ \boldsymbol{\theta}_{N_p}(t)]^T$, $\boldsymbol{\phi}(t) = [\mathbf{v}_1(t) \ \boldsymbol{\omega}_1(t) \ \dots \ \mathbf{v}_{N_p}(t) \ \boldsymbol{\omega}_{N_p}(t)]^T$

และ $\mathbf{P}(t) = \left[\mathbf{g} + \frac{\mathbf{F}_1(t)}{m_1} \quad \frac{\mathbf{M}_1(t)}{I_1} \quad \dots \quad \mathbf{g} + \frac{\mathbf{F}_{N_p}(t)}{m_{N_p}} \quad \frac{\mathbf{M}_{N_p}(t)}{I_{N_p}} \right]^T$

โดยประยุกต์ใช้วิธีผลต่างกลาง (Central Differencing Scheme) กับสมการ (9) และพิจารณาบนช่วงเวลา

$$\Delta t = \left[t_{n-\frac{1}{2}}, t_{n+\frac{1}{2}} \right] \text{ จะได้ว่า } \frac{\phi^{n+\frac{1}{2}} - \phi^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \mathbf{P}^n$$

$$\text{ดังนั้น } \phi^{n+\frac{1}{2}} = \phi^{n-\frac{1}{2}} + \Delta t \mathbf{P}^n\tag{10}$$

โดยที่ $\phi^{n+\frac{1}{2}} = \phi\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ และ $\phi^{n-\frac{1}{2}} = \phi\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$ สำหรับบนช่วง $\Delta t = [t_n, t_{n+1}]$ เราใช้วิธีผลต่างกลางอีกครั้ง

$$\text{กับสมการ (8) ที่เวลา } t_{n+\frac{1}{2}} \text{ จะได้ว่า } \frac{\boldsymbol{\psi}^{n+1} - \boldsymbol{\psi}^n}{\Delta t} = \phi^{n+\frac{1}{2}}$$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \boldsymbol{\psi}^{n+1} = \boldsymbol{\psi}^n + \Delta t \phi^{n+\frac{1}{2}}\tag{11}$$

โดยการแทนสมการ (10) ลงในสมการ (11) จะได้ค่าของ $\mathbf{r}_i$ และ $\boldsymbol{\theta}_i$ ที่เวลา $t = n+1$ ดังนี้ 5

$$\boldsymbol{\psi}^{n+1} = \boldsymbol{\psi}^n + \Delta t \phi^{n-\frac{1}{2}} + (\Delta t)^2 \mathbf{P}^n \quad (12)$$

ดังนั้น เราสามารถคำนวณค่าเวกเตอร์ความเร็ว $\mathbf{v}_i$ และความเร็วเชิงมุม $\boldsymbol{\omega}_i$ ที่เวลา $t = n+1$ ได้จากสมการ

$$\frac{d}{dt}(\boldsymbol{\psi}^{n+1}) = \phi^{n+1} \quad (13)$$

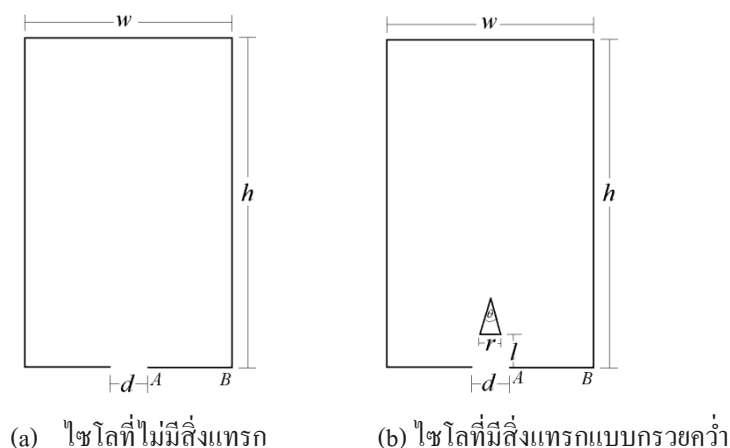
สำหรับแรงทั้งหมดที่กระทำบนผนังโซโลที่เวลา t สามารถคำนวณจากสูตร

$$\mathbf{F}_w(t) = -\frac{1}{L} \sum_{i=1}^N \mathbf{F}_{i,w}(t) \quad (14)$$

เมื่อ L คือความยาวของผนังโซโล และ N คือจำนวนของอนุภาคที่กระทำบนผนังที่เวลา t

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เราจำลองแบบเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบ 2 มิติ โดยออกแบบโครงสร้างโซโลเป็นรูปทรงกระบอกฐานเบนเรียบซึ่งทำจากแผ่นโลหะ มีความสูง (h) 100 เซนติเมตร กว้าง (w) 40 เซนติเมตรและขนาดช่องทางออก (d) มี 2 ขนาด คือ 8 และ 4 เซนติเมตร สิ่งแทรกมีรูปร่างเป็นกรวยคว่ำซึ่งมีขนาดมุมยอด (θ) ต่างกัน 2 ขนาด คือ 30 องศา และ 90 องศา และฐานกรวย (r) กว้าง 4 เซนติเมตร โดยสิ่งแทรกจะถูกวางที่ระดับความสูงจากฐานโซโลเป็นระยะ (l) ต่างกัน คือ 3 4 6 และ 8 เซนติเมตร เพื่อศึกษาค่าแรงดันที่กระทำบนฐานของโซโล ค่าแรงดันจะถูกบันทึกที่บริเวณ A ถึง B ดังภาพที่ 1 เราพิจารณาอนุภาคที่มีรูปร่างกลม โดยสมมติให้วัสดุเม็ดเป็นเมล็ดถั่วเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน สองขนาดคือ 0.6 และ 0.75 เซนติเมตร มีจำนวนเท่ากัน รวมทั้งสิ้น 4,000 เมล็ด มีความหนาแน่น (ρ) $1,033 \text{ kg/m}^3$ ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ช่วงเวลาการคำนวณ (Δt) เท่ากับ 5.271×10^{-6} วินาที และ คุณสมบัติของอนุภาคแสดงในตารางที่ 1



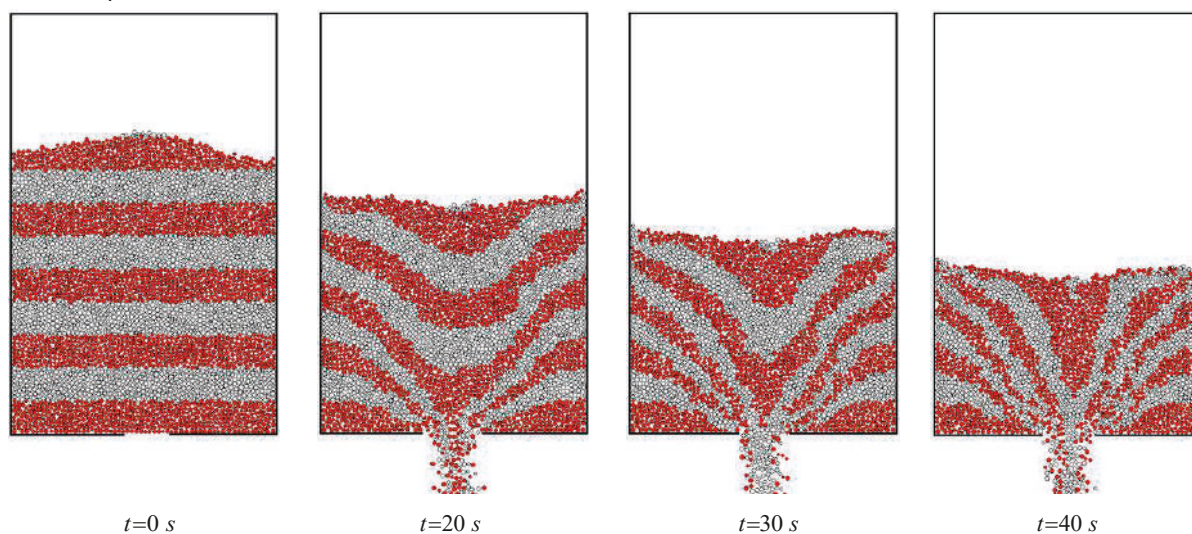
ภาพที่ 1 โครงสร้างโซโลฐานเบนเรียบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอนุภาค

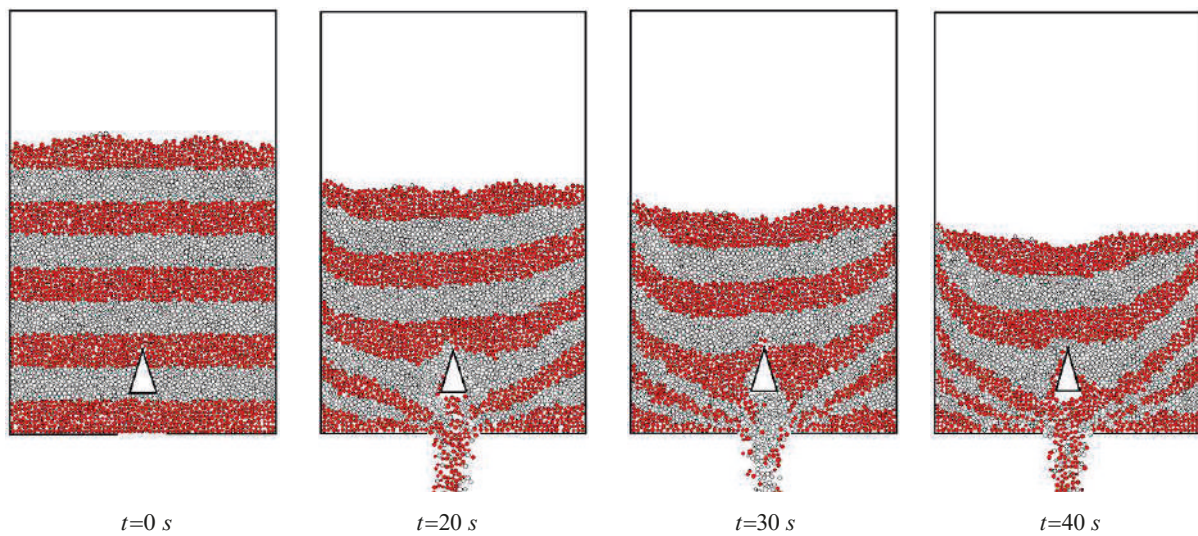
คุณสมบัติ	อนุภาค – อนุภาค	อนุภาค – ผนัง
Frictional coefficient, μ	0.33	0.35
Normal contact stiffness, k_n	$2.8322 \times 10^4 \text{ N/m}$	$5.6645 \times 10^4 \text{ N/m}$
Normal damping constant, η_n	$1.3048 \times 10^2 \text{ N/m}$	$1.3962 \times 10^2 \text{ N/m}$
Tangential contact stiffness, k_s	$2.5740 \times 10^4 \text{ N/m}$	$4.5314 \times 10^4 \text{ N/m}$

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม DEV-C++ เวอร์ชัน 4.9.9.2 สำหรับประมวลผลเฉลยเชิงตัวเลขของการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคในไซโล และใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7.8.0.347(R2009a) ในการวาดกราฟ การศึกษาการไหลของอนุภาคระหว่างกระบวนการปล่อยออก เมื่อเปิดช่องทางออกของไซโล เมล็ดถั่วเหลืองจะไหลออกจากไซโลภายใต้แรงดึงดูดของโลก ในงานวิจัยนี้เราทำการศึกษารูปแบบการไหลของอนุภาคในไซโล ดังนั้นจึงกำหนดให้อนุภาคในไซโลที่มีความสูงต่างกันมีสีแตกต่างกัน โดยใช้สีต่างกัน 2 สี คือ สีแดงและสีเทา การศึกษาผลกระทบของสิ่งแทรกต่อรูปแบบการไหล โดยพิจารณาไซโลมีช่องทางออกกว้าง 8 เซนติเมตร และสิ่งแทรกมีมุมยอดขนาด 30° ซึ่งวางสูงจากช่องทางออก (I) 6 เซนติเมตร ที่เวลาต่างๆ รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรก และไซโลที่มีสิ่งแทรกแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ตามลำดับ ผลการจำลองพบว่า การไหลแบบที่อธิบายเกิดขึ้นในไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรก และบริเวณมุมของไซโลจะมีอนุภาคบางส่วนไม่เคลื่อนที่ออกจากไซโล จึงทำให้เกิดบริเวณอนุภาคหยุดไหล สำหรับรูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดไซโลที่มีสิ่งแทรก พบว่า การเพิ่มสิ่งแทรกทำให้เกิดการกระจายแรงดันไปยังอนุภาคที่อยู่ใกล้ผนังไซโลมากขึ้น จึงทำให้ลดบริเวณที่เมล็ดถั่วเหลืองไม่เคลื่อนที่ในไซโลได้ ซึ่งจะนำไปสู่การไหลแบบทั้งหมด

นอกจากนี้ เรายังศึกษาผลกระทบของตำแหน่งสิ่งแทรกต่อรูปแบบการไหล โดยพิจารณาไซโลมีช่องทางออกกว้าง 4 เซนติเมตร และสิ่งแทรกมีมุมยอดขนาด 90° ซึ่งถูกวางในตำแหน่งที่สูงเหนือช่องทางออก (I) แตกต่างกัน 3 ตำแหน่ง คือ 3 4 และ 8 เซนติเมตร ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า การวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่ใกล้ช่องทางออก คือ ระยะสูง 3 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความกว้างช่องทางออกของไซโล ทำให้เกิดการอุดตันของอนุภาคในไซโลที่เวลา 65 วินาที และปิดกั้นการไหลของอนุภาคในไซโล ดังแสดงในภาพที่ 4(a) หรือการวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่สูงเป็นสองเท่าของความกว้างช่องทางออกของไซโลคือตำแหน่งสูง 8 เซนติเมตร ทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของอนุภาคในไซโลที่วินาทีที่ 5 ดังแสดงในภาพที่ 4(c) แต่การวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่ความสูงเท่ากับ ความกว้างช่องทางออกของไซโลคือตำแหน่งสูง 4 เซนติเมตร จะไม่เกิดการอุดตันของอนุภาคในไซโล ดังแสดงในภาพที่ 4(b)

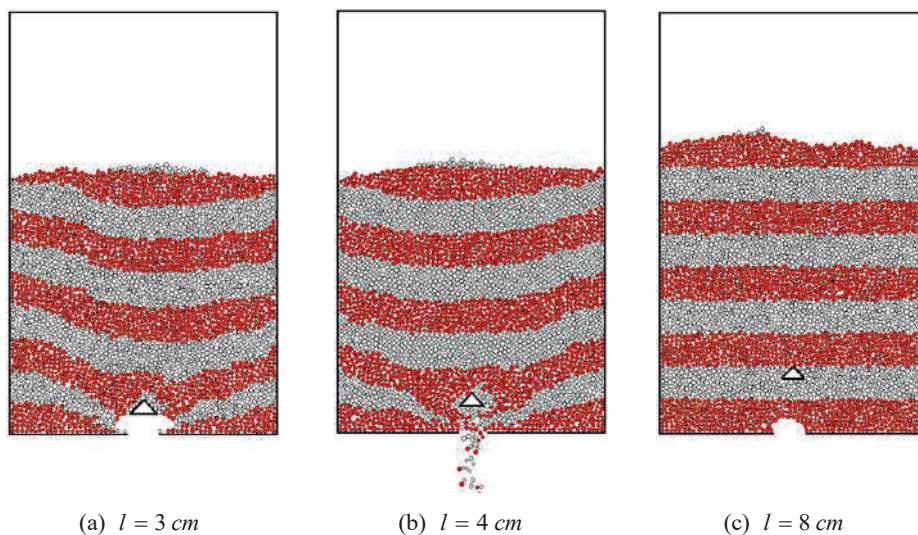


ภาพที่ 2 รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรก ($d = 8 \text{ cm}$)

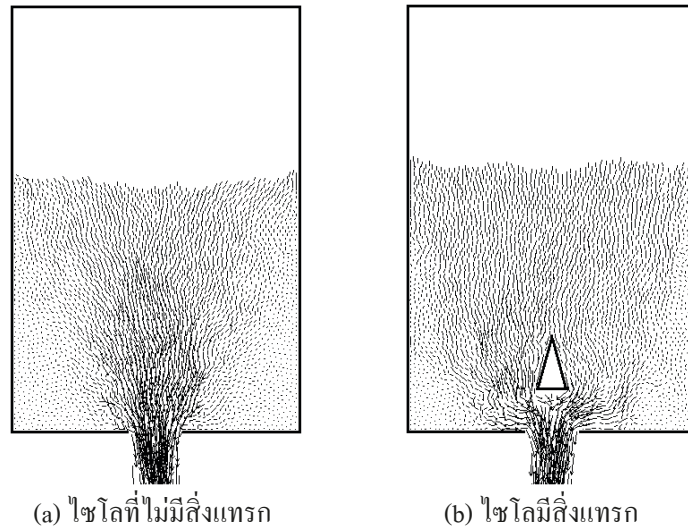


ภาพที่ 3 รูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลที่มีสิ่งแทรก ($d = 8\text{ cm}$)

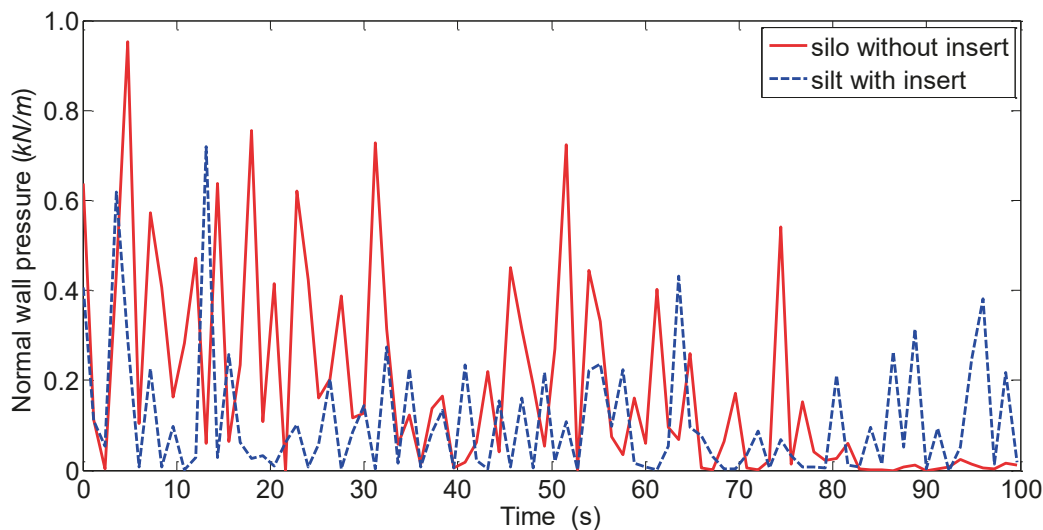
เวกเตอร์ความเร็วของวัสดุเม็ดในไซโลแสดงในภาพที่ 5 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกจะมีบริเวณที่มีเวกเตอร์ความเร็วต่ำซึ่งอยู่ใกล้บริเวณมุมของไซโลมากกว่าไซโลที่มีสิ่งแทรก ดังนั้น การเพิ่มสิ่งแทรกในไซโลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการไหลออกของวัสดุเม็ดจากไซโล ทำให้เมล็ดถั่วเหลืองเคลื่อนที่ออกจากไซโลได้ง่ายและสามารถลดบริเวณการหยุดนิ่งของเมล็ดถั่วเหลืองได้เป็นอย่างดี การคำนวณค่าแรงดันของวัสดุเม็ดที่กระทำบนผนังไซโลในบริเวณ A ถึง B แสดงในภาพที่ 6 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกจะมีค่าแรงดันสูงกว่าไซโลที่มีสิ่งแทรก ดังนั้น การเพิ่มสิ่งแทรกในไซโลสามารถลดแรงดันที่ผนังของไซโลได้



ภาพที่ 4 การอุดตันของอนุภาคในไซโลที่มีสิ่งแทรก ($d = 4\text{ cm}$, $\theta = 90^\circ$) ที่ระดับความสูง (l) ต่าง ๆ



ภาพที่ 5 เวกเตอร์ความเร็วของวัสดุเม็ดในไซโล ($d = 8 \text{ cm}$, $l = 6 \text{ cm}$, $\theta = 30^\circ$) ที่เวลา 20 วินาที



ภาพที่ 6 ค่าแรงดันบนผนังของไซโล ($d = 8 \text{ cm}$, $l = 6 \text{ cm}$, $\theta = 30^\circ$) ในช่วงเวลา 100 วินาที

การอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และการจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้วิธีดิสครีทอีลิเมนต์ การออกแบบไซโลที่ไม่มีสิ่งแทรกและมีสิ่งแทรกสำหรับเก็บเมล็ดถั่วเหลือง สามารถสรุปได้ว่า สิ่งแทรกมีอิทธิพลต่อรูปแบบการไหลของวัสดุเม็ดในไซโลและสามารถปรับปรุงรูปแบบการไหลจากการไหลแบบท่อระบายไปสู่การไหลแบบทั้งมวล สำหรับการศึกษผลกระทบของตำแหน่งของสิ่งแทรกในไซโล เราพบว่า การวางสิ่งแทรกในตำแหน่งที่เหมาะสมทำให้เกิดการกระจายแรงไปยังอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงของไซโล ทำให้ลดบริเวณที่อนุภาคหยุดเคลื่อนที่ได้ ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบไซโลและสิ่งแทรกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการวิจัยเงินรายได้ มหาวิทยาลัยทักษิณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัย ประเพณีทุนยุทธศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

เอกสารอ้างอิง

- [1] H $\ddot{a}$ rtl, J., Ooi, J. Y., Rotter, J. M. and Wojcik, M. (2008). "The influence of a cone-in-cone insert on flow pattern and wall pressure in a full-scal silo", **Chemical engineering research and design**. 86, 370-378.
- [2] Enstad, G.G., Eiksaa, O.E. and Mosby, J. (1995). "Experimental investigations on the use of inserts in order to obtain mass flow in silos", **Rosemont Convention Center**. Chicago.
- [3] Yang, S.C. and Hsiau, S.S. (2001). "The simulation and experimental study of granular materials discharged from a silo with the placement of inserts", **Powder Technology**. 120, 244-255.
- [4] Chuayjan, W., Pothiphan, S., Wiwatanapataphee, B. and Wu, Y. H. (2010). "Numerical simulation of granular flow during filling and discharging of a silo", **International Journal of Pure and Applied Mathematics**. 63(2), 347-364.
- [5] Matuszek, D. and Tukiendorf, M. (2008). "Application of roof shaped and double cone inserts in mixing of granular elements in the flow process", **International Agro physics**. 22, 147-150.
- [6] Wojcik, M. and Tejchman, J. (2008). "Application of an Uncoupled ALE-formulation to Confined Granular Flow in Silos", **The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)**. 1-6 October, Goa, India.
- [7] Volpato, S., Artoni, R. and Santomaso, A. C. (2014). "Numerical study on the behavior of funnel flow silos with and without inserts through a continuum hydrodynamic approach", **Chemical Engineering Research and Design**. 92(2), 256-263.
- [8] Chou, C. S., Lee, A. F. and Yeh, C. K. (2009). "Placement of a non-isosceles-triangle insert in an asymmetrical two-dimensional bin-hopper", **Advanced Powder Technology**. 20, 80-88.
- [9] Cundall, P.A. and Strack, O.D.L. (1979). "Discrete numerical model for granular assemblies", **Geotechnique**. (29), 47-65.

การซ่อนข้อความ และการสกัดพร้อมการทวนสอบข้อความที่ได้ในภาพใบหน้าด้านหน้า

Concealing and Extracting with Verifying Text in Frontal Face Image

ไพจิตร กชกรจรรพงค์¹ และศิริพล ปัญญาธิโป²

Paijit Kochakornjarupong¹ and Siriphon Panyathipo²

บทคัดย่อ

การส่งผ่านข้อมูลผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์สาธารณะเป็นสิ่งที่จำเป็น แต่ข้อมูลอาจเกิดความเสียหายได้หากมีการเปลี่ยนหรือคัดแปลงข้อความโดยการเข้าถึงจากผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาต ดังนั้นการซ่อนข้อความไว้ในภาพจะเป็นการป้องกันข้อมูลไว้ไม่ให้ข้อมูลเปิดเผยต่อบุคคลทั่วไปโดยตรง ในบทความนี้ได้อธิบายขั้นตอนวิธีการที่ใช้สำหรับซ่อนข้อความไว้ในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของรูปภาพที่ต้องการ โดยผลลัพธ์การซ่อนข้อความจะได้รูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ที่มีลักษณะเหมือนกับรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งขั้นตอนวิธีจะเริ่มจากการอ่านภาพใบหน้าด้านหน้าและอ่านข้อความที่ต้องการซ่อนแล้วนำมาคำนวณค่าแฮชของข้อความ จากนั้นข้อความและค่าแฮชจะนำมาเข้าสู่กระบวนการซ่อนข้อมูลลงในภาพที่ต้องการ เมื่อต้องการอ่านค่าข้อมูลจะนำภาพที่ซ่อนข้อมูลไว้มาเข้าสู่กระบวนการถอดข้อมูลโดยได้ผลลัพธ์เป็นค่าข้อความและค่าแฮชของข้อความ นอกจากนี้วิธีการนี้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ซ่อนไว้ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของข้อความที่ซ่อนไว้ต่างไปจากข้อความต้นฉบับหรือไม่จากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อความที่ได้กับค่าแฮชที่อยู่ในภาพ จึงทำให้ข้อมูลที่ซ่อนอยู่มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือสำหรับการป้องกันการเสียหายจากข้อมูลถูกปลอมแปลง จากการทดลองโดยใช้ภาพใบหน้าที่แตกต่างกันจำนวน 10 คนและข้อความเดียวกันพบว่าได้ผลลัพธ์รูปภาพที่ซ่อนข้อมูลไม่ต่างจากรูปภาพต้นฉบับและเมื่อถอดข้อมูลก็ได้ข้อความที่ถูกต้องครบถ้วนทั้งหมด โดยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่นๆ ต่อไปได้ เช่น การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่สำคัญ หรือการป้องกันทรัพย์สินทางปัญญา

คำสำคัญ: การซ่อนข้อความ การสกัดข้อความ การทวนสอบข้อความ ภาพใบหน้าด้านหน้า ค่าแฮช

Abstract

The transmission of data via public networks is often necessary, but such data may be easily compromised. One solution is to hide the true message in an innocent-looking image transmitted as the data. This paper describes an algorithm for concealing and extracting text in a frontal face image based around the hiding of the message. We can easily validate the hidden text by using the included hash. Our experiments use different facial images and the same hidden text to produce images that are exactly the same as the originals. This method can be easily applied to other areas, such as the protection of intellectual property.

Keywords: Concealing Text, Extracting Text, Verifying Text, Frontal Face Image, Hash Value

¹ อ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Lecturer, Dr., Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla, 90112

² Student, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla, 90112

* Corresponding author: Tel.: 074-287342. E-mail address: paijit@coe.psu.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตมีความครอบคลุมหลากหลายช่วยอำนวยความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น จึงเป็นวิธีการสื่อสารข้อมูลที่สำคัญที่บุคคลต่างๆ ใช้เป็นช่องทางหลักในการส่งข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกันที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ต เช่น อีเมล, การส่งข้อมูลทางเว็บไซต์, การสนทนาทางสื่อสังคมออนไลน์ เป็นต้น ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ง่าย สะดวกและ รวดเร็ว แต่ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต คือ การคุกคามความปลอดภัยของข้อมูลสำคัญ เช่น ข้อมูลส่วนบุคคลหรือข้อมูลที่เป็นความลับอาจจะถูกขโมย หรือโดนเปลี่ยนแปลงทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนเสียหายได้ ดังนั้นการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการป้องกันข้อมูลและการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลจึงได้มีการนำวิธีที่จะซ่อนข้อความในภาพ ซึ่งจะเป็วิธีที่ทำให้ไม่ต้องใช้การส่งข้อมูลที่มีการเข้ารหัสข้อมูลเป็นพิเศษทำให้ข้อมูลเปลี่ยนไปจากเดิมจนอาจทำให้เกิดความสงสัยให้ผู้ดักจับข้อมูลที่ส่งได้ โดยการใช้วิธีการอำพรางข้อมูล (Steganography) กับภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลมาใช้ในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การใช้และส่งภาพใบหน้าของบุคคลได้ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อเป็นการแนะนำบุคคลและเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้สำหรับระบุตัวตนของบุคคลในการใช้งานระดับนานาชาติอย่างแพร่หลาย [1] ภาพใบหน้าเป็นส่วนหนึ่งที่จะต้องมีการบันทึกไว้ในหนังสือเดินทาง หรือ บัตรประจำตัวของบุคคลทุกคน

วิธีการอำพรางข้อมูลสามารถที่จะซ่อนข้อความที่ต้องการให้เป็นความลับไว้ในรูปภาพได้โดยไม่ทำให้ภาพมองเห็นเปลี่ยนไปจากเดิม [2-4] ซึ่งจะททำให้ยากต่อการสังเกตเห็นได้ จึงทำให้ลดโอกาสสำหรับการถูกขโมย หรือเปลี่ยนแปลงข้อความ อันจะเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับข้อมูล

ในการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเหมือนกันระหว่างข้อมูลที่ได้รับกับต้นฉบับเป็นการยืนยันได้ว่าข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้อง วิธีที่จะตรวจสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความปลอดภัยสูงเป็นการใช้ค่าแฮช (Hash Value) ที่ได้จากขั้นตอนวิธีแฮช (Hash Algorithm) [6-7] ที่สามารถยืนยันความเหมือนกันของข้อมูลได้

วิธีการที่น่าสนใจนี้เป็นการศึกษาข้อมูลและทดลองพัฒนาจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีมาก่อนหน้านี้ ซึ่งได้มีการซ่อนข้อความในภาพและมีการเพิ่มเติมให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อความที่ซ่อนหลังจากได้รับว่ามีค่าถูกต้องตามขั้นตอนวิธีแฮช วิธีการซ่อนข้อความที่ทวนสอบได้ในภาพใบหน้าด้านหน้านี้เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ในการนำไปใช้ในหลายด้าน เช่น ใช้สำหรับการรักษาความปลอดภัยข้อมูลอื่น ๆ ต่อไป การใช้ประยุกต์สำหรับการป้องกันการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา เป็นต้น วิธีการที่น่าสนใจนี้เป็นหัวข้อที่น่าสนใจเพื่อที่จะนำไปใช้ในงานอื่น ๆ ที่ประยุกต์เกี่ยวข้องกับใช้การประมวลผลภาพเพื่อรักษาความปลอดภัยของข้อมูลต่อไป

งานที่เกี่ยวข้อง

มีผู้นำเสนอการซ่อนข้อมูลในภาพด้วยการซ่อนไว้ในจุดภาพ [2-5] ซึ่งผลที่ได้ทำให้สามารถซ่อนข้อความในภาพต้นฉบับได้โดยผู้ใช้ทั่วไปไม่ทราบว่ามีข้อมูลซ่อนอยู่ วิธีการ LSB (Least Significant Bit) เป็นการเลือกตำแหน่งที่จะใส่ข้อมูลลงในจุดภาพทำให้ภาพที่ซ่อนข้อมูลแล้วยังเหมือนกับภาพต้นฉบับ [2-5] ทั้งนี้เมื่อเทียบกับวิธีอื่นวิธีการ LSB มีจุดเด่นที่มีการประมวลผลที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งภาพผลลัพธ์มีขนาดเท่าเดิมและภาพที่ได้ไม่แตกต่างกับภาพต้นฉบับเมื่อมองด้วยตา [2, 5] อย่างไรก็ตามข้อความที่ซ่อนไว้ในภาพที่ได้รับอาจเกิดการผิดพลาดหรือเปลี่ยนแปลงจากข้อความเดิมเมื่อมีการส่งภาพไปยังบุคคลอื่นจากการสื่อสารหรือการถูกแก้ไข

สำหรับการใช้ภาพใบหน้าสำหรับการซ่อนข้อมูล มีผู้นำเสนอการใส่ค่าของกุญแจลับ (Secret Key) ที่ได้จากภาพใบหน้าใส่ลงในรหัส QR (Quick Response Code) ซึ่งจะต้องใช้ทั้งภาพใบหน้าและรหัส QR เพื่อส่งข้อมูล [7] ซึ่งไม่สามารถประมวลผลข้อมูลที่ต้องการภายในภาพเดียวได้

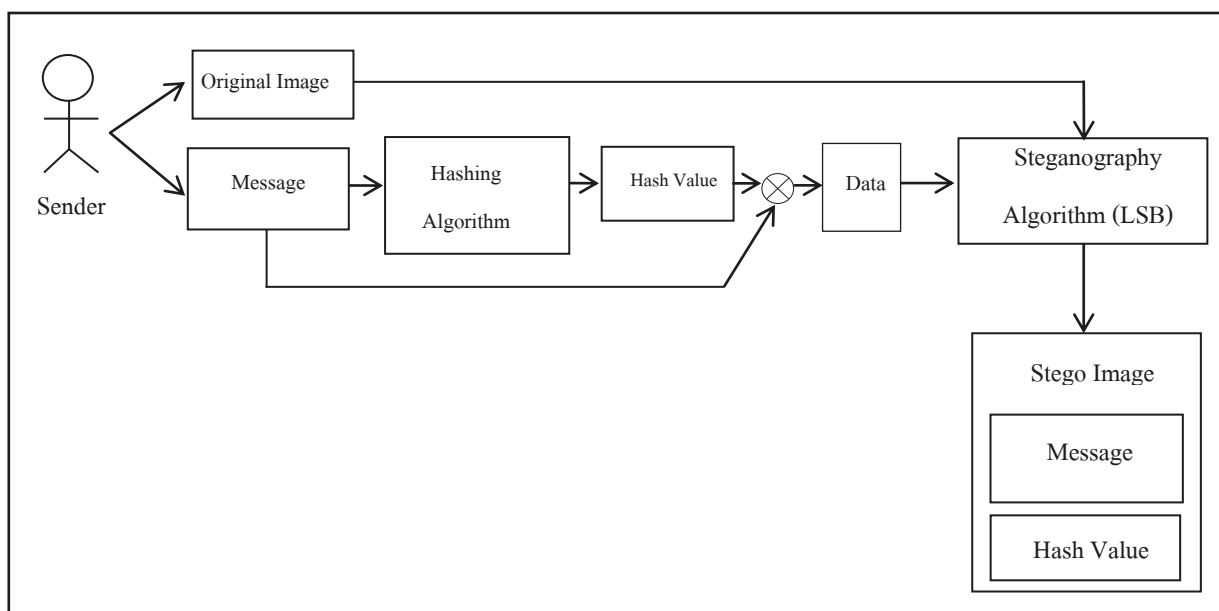
บทความนี้จะนำเสนอวิธีการซ่อนข้อความในภาพที่รูปภาพที่ซ่อนข้อมูลอยู่จะมีลักษณะเหมือนกับรูปภาพต้นฉบับ และสามารถยืนยันความถูกต้องของข้อความที่ซ่อนไว้ได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อความที่ซ่อนไว้หรือไม่โดยใช้เพียงการตรวจสอบจากภาพผลลัพธ์ที่ได้

วิธีการซ่อนและตรวจสอบข้อมูล

วิธีการซ่อนและตรวจสอบข้อมูลจะเป็นการซ่อนข้อความลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลแบบอัตโนมัติ โดยการนำข้อความที่ต้องการซ่อนลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคล ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะเป็รูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ (Stego Image) ที่มีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากรูปภาพต้นฉบับ ซึ่งวิธีการทำงานที่นำเสนอประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการซ่อนข้อมูล (Hiding Process) และขั้นตอนการถอดข้อมูล (Extraction Process)

1. ขั้นตอนการซ่อนข้อมูล

การซ่อนข้อมูลมีขั้นตอนขั้นตอนเฉพาะส่วนของการซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลแบบอัตโนมัติที่เสนอดังภาพที่ 1



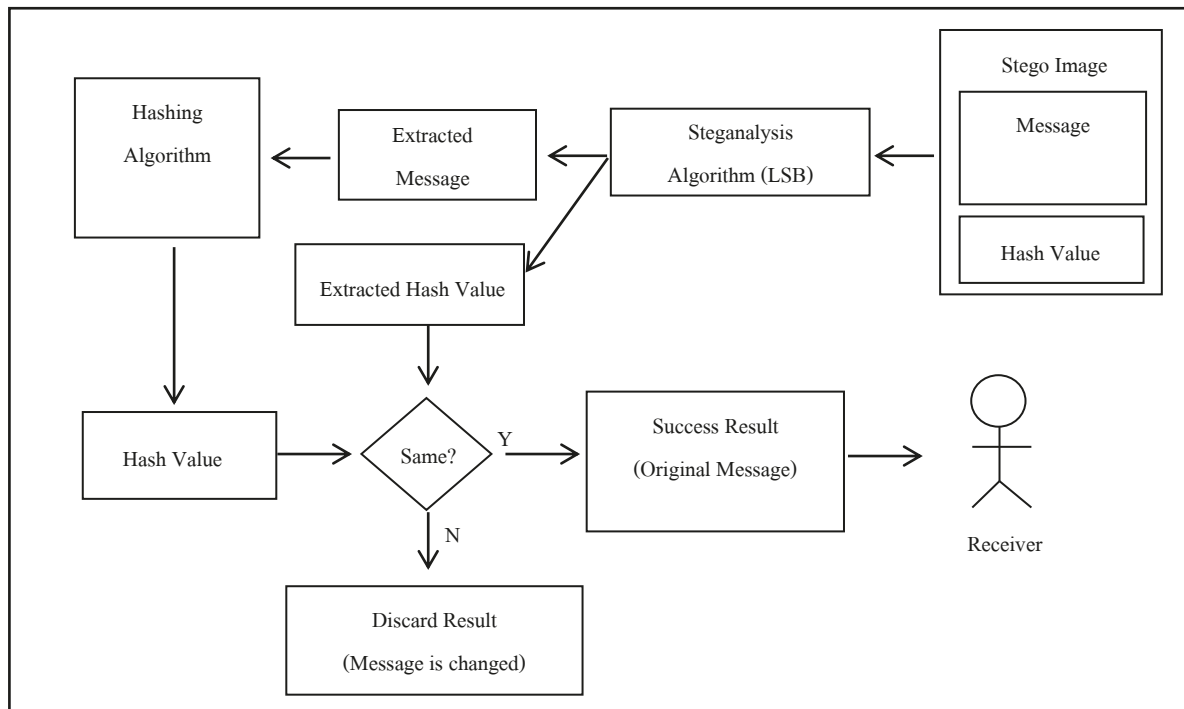
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการซ่อนข้อมูล

สรุปขั้นตอนการซ่อนข้อมูล

- เริ่มจากผู้เลือกรูปภาพใบหน้าที่ต้องการซ่อนข้อมูลและข้อความที่ต้องการซ่อน
- คำนวณค่าแฮช (Hash Value) ด้วยวิธีแฮช โดยวิธีแฮชแบบ SHA (Secure Hash Algorithm) เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยม และได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และเป็นวิธีที่มีความสามารถรับสายอักขระได้จำนวนมากที่มีขนาดต่างกันแต่ได้ผลลัพธ์ค่าแฮชที่มีความยาวเท่ากัน การใช้ SHA256 จะได้ค่าแฮชจำนวน 256 บิต และโอกาสที่เกิปัญหการซ้ำกันของค่าแฮชน้อยกว่าแบบ MD5 [8]
- รวมข้อความที่ต้องการซ่อนกับค่าแฮช
- ทำการซ่อนข้อความโดยการอำพรางข้อมูลด้วย วิธี LSB โดยการซ่อนข้อมูลไว้ที่บิตสุดท้ายของแต่ละจุดภาพในรูปภาพ โดยจะใส่ใน LSB (Least Significant Bit) ของค่า Pixel สีของรูปภาพ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าบิตสุดท้ายของจุดภาพจะไม่สามารถมองเห็นถึงความแตกต่างของภาพไปจากเดิม [2] จึงทำให้สามารถนำเอาข้อมูลมาใส่ไว้ในภาพโดยไม่เพิ่มขนาดของภาพซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นภาพที่มีการซ่อนข้อความและค่าแฮชไว้แล้ว

2. ขั้นตอนการถอดข้อมูล

การถอดข้อมูลจะนำภาพที่มีการซ่อนข้อมูลแล้วมาประมวลผลกับขั้นตอนเฉพาะส่วนของการถอดข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการถอดข้อมูล

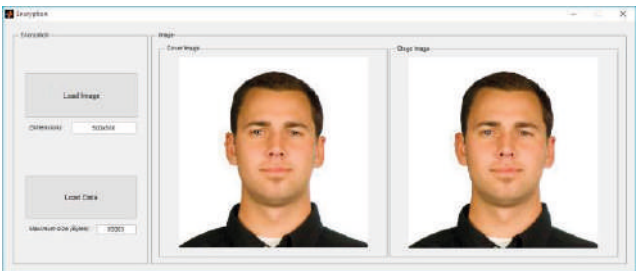
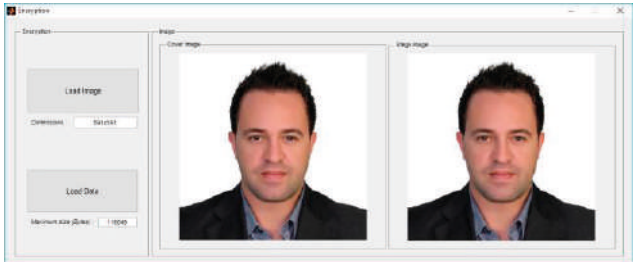
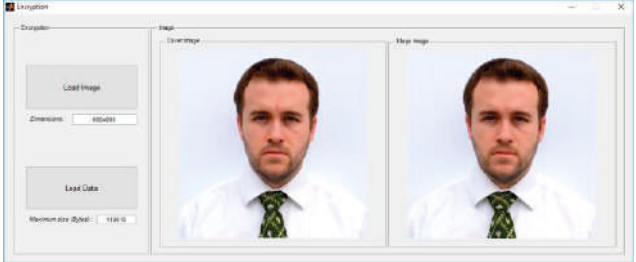
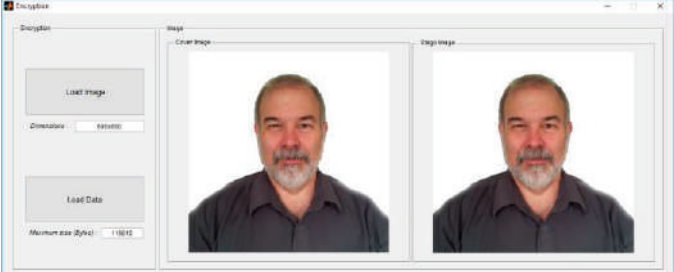
สรุปขั้นตอนการถอดข้อมูล

- เริ่มนำรูปภาพใบหน้าที่มีการซ่อนข้อมูลมาเข้าวิธีถอดข้อมูลที่อ้างไว้ด้วยวิธี LSB ที่นำข้อมูลบิตสุดท้ายของแต่ละจุดภาพในรูปภาพมาเป็นข้อความและค่าแฮช
- คำนวณค่าแฮช (Hash Value) ของข้อความที่ถอดข้อมูลออกมาด้วยวิธีแฮช โดยวิธีแฮชแบบ SHA256
- เปรียบเทียบค่าแฮชที่ได้จากการถอดข้อมูลกับค่าแฮชที่คำนวณจากข้อความที่ถอดข้อมูลออกมา
 - หากมีค่าเหมือนกันแสดงว่าข้อความถูกต้องตามต้นฉบับให้แสดงเพื่อนำไปใช้ต่อได้
 - หากมีค่าต่างกันแสดงว่าเกิดข้อผิดพลาดของข้อความที่ถอดได้กับข้อความต้นฉบับมีค่าแฮชต่างกันให้ยกเลิกการใช้งานข้อความที่ถอดข้อมูล

ผลการทดสอบ

ในการทดสอบวิธีการ ซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลแบบอัตโนมัติได้นำรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลจำนวน 10 คน มาใช้ในการทดสอบซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพ ข้อมูลที่สอบเป็นรูปแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Group) โดยข้อมูลเดียวกันที่ใช้ซ่อนจะประกอบไปด้วยตัวอักษรทั้งภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และตัวเลข ผลลัพธ์จะได้รูปภาพที่ไม่บีบอัดข้อมูลในรูปแบบ PNG (Portable Network Graphics) ที่เป็นที่ยอมรับสำหรับการประมวลผลภาพขั้นสูง [9] สำหรับการแสดงผล 4 ตัวอย่างรูปภาพต้นฉบับและรูปภาพผลลัพธ์จากการซ่อนข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

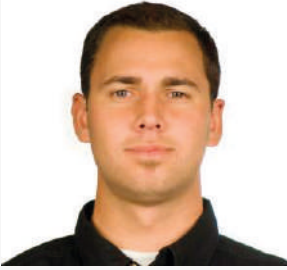
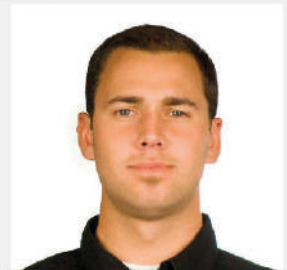
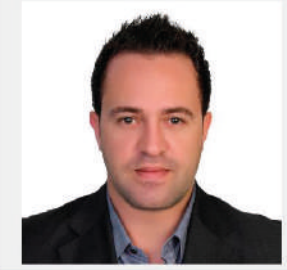
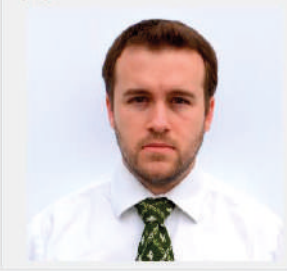
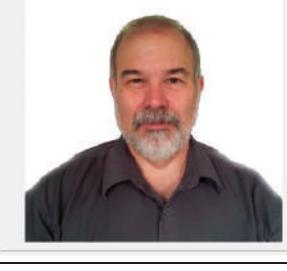
ตารางที่ 1 ผลการทดลองซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้า

รูปที่	รูปภาพต้นฉบับ	ผลลัพธ์ของการทดลอง
1		
2		
3		
4		

จากตารางที่ 1 แสดงว่าผลการทดลองสามารถซ่อนข้อมูลลงในรูปภาพใบหน้าด้านหน้าของบุคคลได้ โดยได้ผลลัพธ์เป็นรูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ มีลักษณะไม่ต่างไปจากรูปภาพต้นฉบับ หรือเปลี่ยนแปลงน้อยในลักษณะที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

สำหรับการทดลองถอดข้อมูลจากภาพที่มีการซ่อนข้อมูลของตัวอย่าง 4 ภาพแสดงได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองถอดข้อมูลจากรูปภาพใบหน้าด้านหน้าที่มีการซ่อนข้อมูล

รูปที่	รูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่	ผลลัพธ์ของการทดลอง
1		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890
2		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890
3		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890
4		 Hidden Data การซ่อนข้อมูลลงในภาพใบหน้า Hiding data in face image ตัวเลข 1234567890

ผลการทดลองได้ผลลัพธ์ค่าแฮชเดียวกันทั้งหมด คือ 79bd6c691e51332d13904671f91883d7 ซึ่งจากตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ซ่อนอยู่เป็นค่าเดียวกันทั้งหมด แสดงว่าวิธีการถอดข้อมูลสามารถถอดข้อมูลออกจากรูปภาพที่มีข้อมูลซ่อนอยู่ ได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน สมบูรณ์ และได้ภาพผลลัพธ์ที่ถูกต้องในทุกภาพ

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนการซ่อนข้อมูลที่ต้องการและข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องในภาพ โดยจะการอ่านภาพใบหน้าด้านหน้าที่ต้องการซ่อนข้อความและอ่านข้อความที่ต้องการซ่อนแล้วจะมีการคำนวณค่าแฮชของข้อความ จากนั้นข้อความและค่าแฮชจะนำมาเข้าสู่กระบวนการซ่อนข้อมูลลงในภาพที่ต้องการ ผลลัพธ์จะได้เป็นภาพที่ซ่อนข้อมูลที่มองเห็นไม่ต่างไปจากภาพต้นฉบับและสามารถนำไปใช้สำหรับใช้งานต่อไปได้ เมื่อต้องการจะอ่านข้อความก็จะนำภาพที่ซ่อนข้อมูลไว้มาเข้าสู่กระบวนการถอดข้อมูลโดยได้ผลลัพธ์เป็นข้อความและค่าแฮชของข้อความ จากการทดลองกับ

ภาพใบหน้าที่แตกต่างกันจำนวน 10 คนและใช้ข้อความที่ซ่อนเหมือนกันพบว่าได้ผลลัพธ์รูปภาพที่ซ่อนข้อมูลไม่ต่างจากรูปภาพต้นฉบับและเมื่อถอดข้อมูลก็ได้ข้อความที่ถูกต้องครบถ้วนและได้ค่าแฮชตรงกันกับข้อความที่ซ่อนกับค่าแฮชที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมด

ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถซ่อนข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ซ่อนถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อความที่ซ่อนไว้กับภาพหรือไม่ได้อย่างถูกต้อง จึงทำให้ข้อมูลที่ซ่อนอยู่มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือสำหรับการป้องกันการปลอมแปลงหรือคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่นๆ ต่อไปได้ เช่น การส่งข้อมูลที่สำคัญ หรือการตรวจสอบการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาเป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีที่นำเสนอนี้ไม่ได้รวมถึงการระบุความผิดปกติของข้อมูลว่ามีการผิดพลาดอย่างไร ดังนั้นการระบุความผิดปกติของข้อมูลจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มเติมวิธีการวิเคราะห์อื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hirzer, M., Urschler, M., Bishof, H., and Birchbauer, J. A. (2009). "An automatic hybrid segmentation approach for aligned face portrait images", In **Proceedings of the workshop of the Austrian association for pattern recognition**. 49-60.
- [2] K.Thangadurai and G.Sudha Devi. (2014). "An analysis of LSB Based Image Steganography Techniques", In **International Conference on Computer Communication and Informatics**. 1-4.
- [3] Chi-Kwong Chan and L.M. Cheng. (2004). "Hiding data in images by simple LSB substitution", **Pattern Recognition**. 37(3), 469-474.
- [4] M. S. Sutaone and M. V. Khandare. (2008). "Image based steganography using LSB insertion technique", In **2008 IET International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks**. 146-151.
- [5] G. Vanjare and S. Gharge. (2015). "Performance Evaluation of LSB Substitution and DWT Method for Steganography", **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**. 5(3), 699-705.
- [6] P. Vadhera and B. Lall. (2014). "Review Paper on Secure Hashing Algorithm and Its Variants", **International Journal of Science and Research**. 3(6), 629-632.
- [7] S. Aygün and M. Akçay. (2015). "Securing biometric face images via steganography for QR code", In **8th International Conference on Information Security and Cryptology**, 128-133.
- [8] S. Aggarwal, N. Goyal, and K. Aggarwal. (2014). "A review of Comparative Study of MD5 and SHA Security Algorithm", **International Journal of Computer Applications**. 104(14), 1-4.
- [9] H. Mao, Z. Hu, L. Zhu and H. Qin. (2012). "PNG File Decoding Optimization Based Embedded System", In **8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing**. 1-4.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

กชกร เพชรสุวรรณ	Kochakorn Petchsuwan	133
กนกกร สินมา	Kanokkorn Sinma	95
กนกวรรณ ชุมอินทร์	Kanokwan Chum-in	159
กมล ทัลวัลย์	Kamon Tanlawan	245
กมลชนก ขำแก้ว	Kamolchanok Khamkaew	308
กมลชนก ฤทธิเดช	Kamonchanok Rittidech	184
กิตติพงษ์ น้ำจันทร์	Kittipong Namjan	269
เกรียงไกร แสงไข่	Kriangkrai Saengkai	86
เกษม เปรมประยูร	Kasem Premprayool	245
จอมภพ แวศักดิ์	Jompob Waewsak	261
จารุณี เขียววาริสัจจะ	Jarunee Chiayvaresajja	43
จิตรรา จันโสด	Jitra Jansote	103, 109
จิรารัตน์ สองสี	Jirarat Songsri	169
จิราวรรณ คำธร	Jirawan Khamthorn	8
ฉัตร ผลนาค	Chat Pholnak	261
ชนิดา จันมณีย์	Chanida Junmanee	300
ชัชวาล วงศ์ชูสุข	Chatchawal Wongchoosuk	114
ชากรณ์ ขันแก้ว	Chakorn Kunkaew	70
โชคชัย เหมือนมาศ	Chokchai Mueanmas	201
ณัฐนันท์ เทียงธรรม	Nattanan Tiengtam	8
ดวงใจ พิสุทธิธาราชัย	Duangjai Pisuttharachai	1, 34
ดวงดาว อุปสิทธิ์	Duangdao Upasit	43
เดือนตา ร่าหมาน	Tueanta Ramarn	51
ถาวร จันทโชติ	Thavorn Juntachote	141
ทวี นิยมอ้อย	Tawee Chimoye	269
ธงชัย มาลา	Thongchai Mala	95

ธัญญา เสาวภาคย์	Thanunya Saowapark	193
ธนากร เหมะสกล	Tanakorn Haemasaton	1, 34
ธนาวุธ บุญลิปตานนท์	Thanawut Bunliptanon	308
ธนิกันต์ ไชยโห้ะ	Thanikarn Chaiho	184
ธัญรัตน์ มะเสน	Thanyarat Masen	17
นพมาศ ปักเข็ม	Noppamas Pukkhem	300
นพฤทธิ์ ช่างคิด	Nopparit Changkit	220
นริศรา จำปา	Naritsara Champa	95
นววรรณ บางโป่ง	Nawawan Bangpong	284
นันทน์กัศ เพชรmani	Nannapas Pengmanee	254
น้ำผึ้ง ชมภูเขียว	Namphueng Chomphukhiao	77
นิคม ชูศิริ	Nikom Choosiri	211
นิรันดร์ กองเงิน	Nirundorn Kongngoen	70
นุจรี เกตุราช	Nudcharee Kadrat	124
นุรดินา จารง	Nurdina Charong	176
บุษกร อุตริชาติ	Bussakorn Utarapichat	133
เบญจภรณ์ ตุ่นภักดี	Benjaporn Thunpakdee	284
ปฐมา กนกนาค	Pattama Koknak	133
ปนัดดา พรหมจรรย์	Panadda Promjan	133
ประสงค์ เกษราธิคุณ	Prasong Kessaratikoon	211, 220
ปราณี หนูทองแก้ว	Pranee Nutongkaew	261
ปวีณา ตปนิยวรวงศ์	Paveena Tapaneeyaworawong	17
ปิยะวิทย์ อรชร	Piyawit Orachorn	168
เปลื้อง สุวรรณmani	Plaung Suwanmanee	103, 109, 114
พรพิมล มะยะเขียว	Pornpimon Mayachiew	124
พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง	Pornpairin Rungcharoenthong	86
พรสุดา กรดสัน	Pornsuda Krodsan	236
พิไลวรรณ ประพฤติ	Pilaiwan Prapruit	159

พีรนาฏ คิด้ดี	Peeranart Kiddee	51
ไพจิตร กชกรจารุงพงศ์	Paijit Kochakornjarupong	336
ภัทรกร วัฒนกุล	Pattarakorn Watanakul	133
มนู เฟื่องฟู้ง	Manu Fuangfoong	269
มลธิรา พรหมกันท์	Moltira Promkan	176
มะลิวัลย์ คุตะโค	Maliwan Kutako	17
มารีนา มะหนิ	Marina Mani	254
มูรณี ดาโอะ	Murnee Daoh	211
รวมพร นิคม	Ruamporn Nikhom	201
รังสิตา หาญพันธุ์	Rangsita Hanphan	114
รัชฎาภรณ์ ทองจันทร์แก้ว	Ratchadaporn Thorngjankeaw	124
รุ่งทิwa กองเงิน	Rungtiwa Kongngoen	149
ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ	Ruthairat Boonkrongcheep	211, 220
วรพงษ์ นลินานนท์	Warrapong Nalinanon	25, 61
วารangkana ช้างลก	Warangkana Chunglok	176
วราภรณ์ ผาลี	Waraporn Phalee	8
วันชาติ สุวตธี	Wanchart Suwatthee	70
วันเพ็ญ จันทรังษิ	Wanpen Chantarangsi	317
วศพล สมใจ	Wassapon Somjai	245
วานิด รอดเนียม	Wanit Rotnium	103, 109
วาเรียม ช่วยจันทร์	Wariam Chuayjan	327
วิระภรณ์ ไหมทอง	Wiraporn Maithong	284
วิรัตน์ ช่วยชุมชาติ	Virat Charychumchat	103
ศักดิ์ เพชรสุข	Sak Pechsuk	103
ศิริพล ปัญญาธิโป	Siriphon Panyathipo	336
ศิริลักษณ์ ช่วยพ้ง	Sirilak Chuaypanang	51
สิวกร อุยสุย	Sivakorn Ouisui	300
ศุภกร กตาทิการกุล	Supagone Katathikarnkul	254
ศุภชัย นิตินันท์	Supachai Nitipan	133

ศุภชัย อำคา	Suphachai Amkha	86, 95
สมพล ชีวมงคลกานต์	Somphol Cheewamongkolkarn	261
สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ	Sommaï Chiayvareesajja	43
สรวิศ เผ่าทองสุข	Sorawit Powtongsook	17
สรารุท คำพูน	Sarawut Khampush	8
สายชล เลิศสุวรรณ	Saichon Lerdsuwan	25, 61
สิทธิพงษ์ พลธรรม	Sitthipong Polthum	220
สิริรัตน์ พึ่งชมภู	Sirirat Pungchompoo	184
สุชิน อุดมสมพร	Suchin Udomsomporn	211
สุดา เจริมนตริ	Suda Thernmontri	308
สุทธิวัฒน์ ทองนาค	Sutthiwat Thounak	327
สุพรรณิ ลีโทชาลิต	Supanee Leethochavalit	17
สุมนชา กล้าคง	Sumonta Klakong	168
สุริยาพร หอมเขียน	Suriyaporn Homkeing	193
สุวนิตย์ วุฒสังข์	Suwanit Wutsang	284
สุวิทย์ คงภักดี	Suwit Khongpugdee	254
โสภณ อุไรชื่น	Sopon Uraichuen	77
วันตัสกีน ปะดุกา	Wantaskeen Paduka	168
อดิเทพชัยการณ ภาชนะวรรณ	Adithepchaikarn Pachanawan	8
อนวัทย์ ชาติ	Anawat Phalee	8
อนุรักษ์ อุดมเวช	Anurak Udomvech	15, 228, 228, 236, 245
อนุสา แก้วสมทอง	Anusa Kaewsomtong	228
อภิชาติ สุขสำราญ	Apichart Suksamrarn	176
อรยา ปรีชาพานิช	Oraya Preechapanich	308
อรอนงค์ ชุมพล	Onanong Chumpon	275
อาจารย์ นาโค	Ajaree Naco	292
อาชีเย๊ะ หะมะ	Arseeyoh Ha-ma	168
อุดร ยังช่วย	Udom Youngchaury	220

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
<i>Bacillus subtilis</i>	95
<i>bla</i> _{OXA-25}	168
DFTB	275
Fuse Deposition Manufacturing	245
M35	284
<i>Rhizoctonia solani</i>	95
<i>Sclerotium rolfsii</i>	95
SKBR-3	176
Unity3D	236
กรดไขมันอิสระ	201
กระจุกดาวเปิด	284
กล้วยไข่	141
กล้องดิจิทัล DSLR	284
กัมมันตภาพจำเพาะ	211, 220
กากกาแฟ	201
กากน้ำตาล	70, 193
การออก	86
การจำแนกประเภท	300
การเจริญเติบโตและผลผลิต	109
การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต	103
การช้อนข้อความ	336
การดูดกลืนแสง	275
การทดสอบโดยใช้ภาพ	317
การทดสอบที่ปรับเปลี่ยนตามความสามารถของผู้สอบ	308
การทวนสอบข้อความ	336
การทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน	201
การบำบัดแอมโมเนีย	17
การฟัรฟิรทเมนต์	141
การพิมพ์สามมิติ	245
การรับมือ	159
การวัดความจุไฟฟ้า	254
การวัดระดับน้ำ	254

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงชั้น	184
การศึกษาที่สนุกสนาน	236
การศึกษาแบบ STEAM	245
การสกัดข้อความ	336
เกมสมรรถนะประจุไฟฟ้า	236
เกมมาสเปกโตรเมตรี	220
แกรฟีน	269
แกรฟีนนาโนฟิลลาร์	275
ไก่อเนื้อ	61
ขนมขบเคี้ยว	149
ข้าวเคมี	114
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	103
ข้าวสังข์หยด	109, 124
ข้าวสังข์หยดพัทลุง	114
ข้าวหอมนิล	124
ข้าวอินทรีย์	114
ครัวเรือนเกษตรกร	159
ความชุก	8
ความเปราะบาง	159
ความหนาแน่น	8
ค่าการหดตัว	141
ค่าแฮช	336
คุณภาพ	124, 133
คุณภาพซาก	25, 61
เครื่องพิมพ์สามมิติ	245
แคดเมียม	34
โคนมรุ่น	70
จมูกอิเล็กทรอนิกส์	114
จลนพลศาสตร์	17
จังหวัดนครพนม	8
จำนวนต้นกล้าต๋อ	106
จุลชีววิทยา	133
ช่วงความน่าจะเป็นหลายชั้น	317

ชาลโคน	176
ชีววิทยาการสืบพันธุ์	43
ซิลิคอน	86
เซลล์แสงอาทิตย์	261, 275
โซ่อุปทานกุ้งแช่แข็งไทย	184
โซ่อุปทานความร่วมมือ	184
ไซโล	327
ดินตะกอน	17
ต้นกล้าพริก	86
ด๊ับ	34
เต้าคว่ำ	133
ไทรโคเดอร์มา	82, 211
ทรายชายหาดผิวหน้า	211
เทคนิคการพับฟิง	141
เทคโนโลยีดิจิทัล	236
น้ำมันสกัดจากกากกาแฟ	201
นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น	211
เนื้อสัมผัส	141
บ่อเลี้ยงกุ้งขาว	17
บ้านโหล๊ะหาร	159
แบบจำลองการทดสอบอัตราส่วนความน่าจะเป็นเชิงลำดับ	308
ใบกระถินป็น	61
ไบโอดีเซล	201
ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต	25
ประสิทธิภาพของระบบ	261
ปราชญ์ชาวบ้าน	292
ปลาจวด <i>Johnius carouna</i> (Cuvier, 1830)	43
ปลานิล	25, 34
ป่าชายเลน	51
ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า	95
ปุ๋ยอินทรีย์	103
ปุทะเล	1
ปูนา	8

แป้งขุบทอด	124
โปรแกรม Pvsyst	261
ผงคาร์บอน	193
ผลผลิต	1
แผนภาพความน่าจะเป็นปกติ	317
แผนภาพทางรังสี	211
พยาธิใบไม้ลำไส้ขนาดเล็ก	8
พัทลุง	292
พื้นที่ต้นน้ำ	159
เพลงคั่นคอนเสิร์ต	51
ฟิสิกส์ของประจุไฟฟ้า	236
ภาพใบหน้าด้านหน้า	336
ภูมิปัญญาท้องถิ่น	292, 300
มะเขือเทศ	95
มะเร็งเต้านม	176
มูลสุกรแห้ง	70
เมล็ดถั่วเหลือง	327
โมเมนต์ของแรง	228
ไมโครเวฟพลาสมา	269
ยางไนไตรล์	193
ซินเมทัลโลไซโอเนิน	34
ระบบฐานความรู้	292
ระบบแบบทดสอบออนไลน์	308
ระยะทาง	284
ระยะปลูก	103
รามานสเปกโตรสโคปี	269
วงจรรีดิจ์	254
วัสดุหลบซ่อน	1
วิธีดิสกรีทอิลิเมนต์	327
ศิลปะและวัฒนธรรม	292
เศษตกค้าง	317
สเคลอโรเทียม	86
สมรรถภาพการผลิต	61

สับปะรด	149
สารตัวเดิม	193
สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์	114
หนอนหัวด้ามะพร้าว	77
หม้ออบลมร้อน	149
หัวคั้วรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง	220
เหมืองข้อมูล	300
องค์ประกอบในกระเพาะอาหาร	51
อีอกซาซาลินีส	168
อะซีนีโดแบคเตอร์ บอแมนนิไอ	168
อัตราส่วนสมรรถนะ	261
อายุ	284
อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกริด	261
เอนไซม์ย่อยเยื่อใย	25
แอนดรอยด์	228
แอปพลิเคชัน	228

Keywords Index	Page
3D Printer	246
3D Printing	246
<i>Acinetobacter baumannii</i>	169
Adaptive Testing	309
Age	284
Ammonia Treatment	18
Amusement Educational Game	237
Android	229
Anthropogenic Radionuclide	212
Applications	229
Art and Culture	292
<i>Bacillus subtilis</i>	96
Banana	142
Biodiesel	201
Black Rice Crab	8

<i>bla</i> _{OXA-25}	169
<i>Bracon hebetor</i>	78
Breast Cancer	177
Bridge Circuit	254
Broilers	62
Cadmium	35
Capacitance Measurement	254
Carbon Powder	194
Carcass Quality	26, 62
Caroun Croaker	44
CFA	185
Chalcone	177
Chemical Rice	115
Classification	300
Concealing Text	336
Convection Oven	150
Coping Capacity	160
Copper	35
Crispy	150
Data Mining	300
DFTB	276
Discrete Element Method	327
Distance	284
Dried Pig Manure	70
DSLR Camera	284
Electronic Nose	115
Extracted Oil from Waste Coffee Grounds	201
Extracting Text	336
Farming Households	160
Fibrolytic Enzyme	26
Filler	194
Folk Philosophy	292
Free Fatty Acid	201

Fried Batter	125
Frontal Face Image	336
Fuse Deposition Manufacturing	246
Gamma Spectrometry	221
Geological Index	115
Germination	87
<i>Goniozus nephantidis</i>	78
Graphene	269
Graphene Nanopillars	276
Graphical Test	317
Grid-Connected Inverter	262
Grower Dairy Cattle	70
Growth and Yield	109
Growth and Yield Components	104
Growth Performance	26
Hash Value	336
High-Purity Germanium Detector (HPGe)	221
Homnil Rice	125
Intensity	9
<i>Johnius carouna</i> (Cuvier, 1830)	44
Kinetics	18
Knowledge Based System	292
Leucaena Leaf Meal	62
Liver	35
Lo Han Village	160
Local Wisdom	292
M35	284
Mangrove	52
Metallothionein	35
Microbiology	134
<i>Microphaloides</i> spp.	9
Microwave Plasma	229
Molasses	70, 194

Moment of Force	229
Mud Crab	1
Nakhon Phanom Province	9
Nile Tilapia	26
Nitrile Rubber	194
Normal Probability Plot	317
Numbers of Seedlings per Hill	109
Online Testing System	309
Open Cluster	284
<i>Opisina arenosella</i>	78
Optical Absorption	276
<i>Oreochromis niloticus</i>	35
Organic Fertilizer	104
Organic Rice	115
Oxacillinase	169
Pepper Seedling	87
Performance Ratio	262
Phatthalung	292
Photovoltaic Cells	276
Physics Education	237
Physics of Electric Charges	237
Pineapple	150
Pretreatment	142
Prevalence	9
Productivity	1
Prouction Performance	62
Puffing	142
PVsyst Program	262
Quality	125, 134
Radioactive Contour Map	212
Raman Spectroscopy	269
Reproductive Biology	44
Residuals	317

<i>Rhizoctonia solani</i>	96
Riceberry	104
Sangyod Rice	109, 125
Sangyod Rice of Phattalung	115
<i>Sclerotium</i>	87
<i>Sclerotium rolfsii</i>	96
Sediment	18
Sequential Probability Ratio Test Model	309
Shelter	1
Shrinkage	142
Silicon	87
Silo	327
Simultaneous Probability Interval	317
SKBR-3	177
Slow-released Fertilizer	96
Snack	150
Solar Cell	262
<i>Somaniathelphusa</i> sp.	9
Soybeans	327
Specific Activity	212, 221
STEAM Study	246
Stomach Content	52
Supply Collaboration	185
Surface Beach Sand	212, 221
System Efficiency	262
Tao-Kua	134
Technology Digital	237
Texture	142
Thai Folk Wisdom	300
Thai Frozen Shrimp Supply Chain	185
Tomato	96
Transplanted Spacing	104
<i>Trichoderma</i>	87

Two-Step Reaction	201
Unity3D	237
Verifying Text	336
Vulnerability	160
Waste Coffee Grounds	201
Water Level Measurement	254
Watershed Area	160
White Shrimp Pond	18
Zooplankton	52

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ต้นฉบับบทความวิจัย บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 20 ฉบับที่ 3 (สืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2560 และงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ ครั้งที่ 3) ได้รับการตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิ มีรายนามดังต่อไปนี้

1. ศ.ดร.เนลิยา ศาลากิจ	คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ	คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. ศ.ดร.สมบูรณ์ ธนาสุวัฒน์	คณะเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. ศ.ดร.เสาวภา อังสุภานิช	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. รศ.ดร.จำป็น อ่อนทอง	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
7. รศ.ดร.จิตติมา กันตนามัลลกุล	สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
8. รศ.ดร.ณสรณ์ ผลโลก	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
9. รศ.ดร.ณัฏฐา จินดาเพชร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
10. รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11. รศ.ดร.ธนัญญา ทรพน์นันทน์	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12. รศ.ดร.นันทวัน เทอดไทย	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
13. รศ.ดร.ประสพชัย พสุนนท์	คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร
14. รศ.ดร.มานพ เจริญไชยตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
15. รศ.ดร.ยุพธนา ภิระวณิชกุล	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
16. รศ.ดร.วัชรินทร์ ชื่นสุวรรณ	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
17. รศ.ดร.วัฒนพงศ์ เกิดทองมี	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
18. รศ.ดร.วันชัย จันทรประเสริฐ	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

19.	รศ.ดร.วาริน อินทนา	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
20.	รศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
21.	รศ.ดร.วินัย พุทธิกุล	คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
22.	รศ.ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
23.	รศ.ดร.ศิริชัย เทพา	คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
24.	รศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภักตะกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
25.	รศ.ดร.สงวนศรี เจริญเหรียญ	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
26.	รศ.ดร.สมเกียรติ ปรัชญาวารากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
27.	รศ.ดร.สมจิตร อาจอินทร์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
28.	รศ.ดร.สมบัติ ชนะวันต์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
29.	รศ.ดร.สมหมาย เขียววารีสังจะ	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
30.	รศ.ดร.สหพัฒน์ บรรีรักษ์	คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
31.	รศ.ดร.สิรินดา ยุ่นฉลาด	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
32.	รศ.ดร.สุบัณฑิต นิมรัตน์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
33.	รศ.ดร.สุภาวดี พุ่มพวง	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
34.	รศ.ดร.เสาวณิต สุขภารังษิ	คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
35.	รศ.ดร.ไสว บุรณพานิชพันธุ์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
36.	รศ.ดร.อวรรณ โอภาสพัฒนกิจ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
37.	รศ.นพ.จิตติ หาญประเสริฐพงษ์	คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
38.	รศ.จินตนา เหล่าไพบูลย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
39.	รศ.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
40.	รศ.มนู เพื่องฟู	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
41.	รศ.อุทัย คัน โธ	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
42.	ผศ.ดร.กษมา ศิริสมบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

43.	ผศ.ดร.กานต์ ปาทานคม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
44.	ผศ.ดร.กิจจา จิตรภิมย์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
45.	ผศ.ดร.จารุโลจน์ จงสถิตย์วัฒนา	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
46.	ผศ.ดร.ชลธิ์ ชีวะเศรษฐธรรม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
47.	ผศ.ดร.ชเนศ ไชยชนะ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
48.	ผศ.ดร.ธารทิพย์ บุญส่ง	คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
49.	ผศ.ดร.ธีระศักดิ์ วีระภาสพงษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50.	ผศ.ดร.นริศ ท้าวจันทร์	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
51.	ผศ.ดร.นิวัติ เมืองแก้ว	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
52.	ผศ.ดร.นุกูล อินทระสังขา	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
53.	ผศ.ดร.ภัทรสินี ภัทรโกศล	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
54.	ผศ.ดร.มานัดถ์ คำกอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
55.	ผศ.ดร.เมธิ แก้วเนิน	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
56.	ผศ.ดร.ระพีพร เรืองช่วย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
57.	ผศ.ดร.วาริน เชาวทัต	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
58.	ผศ.ดร.ศิริระ สายศร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
59.	ผศ.ดร.สุปราณี มนุรักษ์ชินากร	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
60.	ผศ.ดร.สุกญา ศิริรัฐนิคม	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
61.	ผศ.ดร.สุภาภรณ์ กานต์สมเกียรติ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
62.	ผศ.ดร.สุวิทย์ คงภักดี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
63.	ผศ.ดร.เสกสม อาตมางกูร	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
64.	ผศ.ดร.อาแว มะแส	คณะพัฒนสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
65.	ผศ.ดร.อำนาจ เปาะทอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
66.	ผศ.ดร.อุดม ทิพรารช	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
67.	ผศ.ดร.เอรัชวัฒน์ คำมณี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ข้อมูลทั่วไปของวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ลักษณะของวารสาร

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นวารสารผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ และผลงานวิชาการรับใช้สังคม สาขาวิชาสหวิทยาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่าง ๆ

ข้อแนะนำทั่วไป

1. เรื่องที่รับพิมพ์ในวารสารวิจัยนี้ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสาร รายงานหรือสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน
2. ผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณเท่านั้น ยกเว้นบทความพิเศษที่กองบรรณาธิการพิจารณาให้ได้รับการยกเว้น
3. ต้นฉบับจะเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
4. เนื้อหา บทความ หรือข้อคิดเห็นที่พิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
5. ต้นฉบับจะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์

ประเภทของผลงานที่จะรับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Articles)
2. บทความวิชาการ (Academic Articles)
3. บทความรับใช้สังคม (Socially-Engaged Articles)
4. จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letter to Editor) เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุนหรือโต้แย้งความเห็นของนักวิจัยอื่น ๆ ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่น่าสนใจ

รูปแบบการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์บนกระดาษขาว ขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียว ใส่เลขหน้ากำกับหน้าทุกหน้า โดยใช้แบบอักษร Angsana New ขนาดตัวอักษร 14 ความยาวของเนื้อหา รวมภาพ ตาราง ไม่ควรเกิน 8 หน้า
2. การตั้งค่าหน้ากระดาษ
 - ระยะขอบบน (Top margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
 - ระยะขอบล่าง (Bottom margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
 - ระยะขอบซ้าย (Left margin) ขนาด 1.5" หรือ 3.00 เซนติเมตร
 - ระยะขอบขวา (Right margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
3. การส่งต้นฉบับ ดังนี้

ส่งทางระบบวารสารออนไลน์ Thai Journals Online (ThaiJO) สามารถเข้าไปได้ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>

4. การสมัครสมาชิก มี 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 บุคคลทั่วไป ที่ไม่ประสงค์ส่งบทความ สามารถสมัครสมาชิกได้เลย

กรณีที่ 2 บุคคลที่ต้องการส่งบทความ เพื่อขอรับการพิจารณาบทความ เมื่อบทความได้รับการ

พิจารณาแล้วจะต้องสมัครสมาชิกพร้อมชำระเงิน จำนวน 200 บาท **ผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์**

ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัย

ทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ทางระบบ

ออนไลน์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> หรือติดต่อกองจัดการวารสารฯ สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 074-609600

ดอ 7242 หรือ 081-5407304 โทรสาร 074-609654-5 อีเมล tsujournal@gmail.com

5. การยกเลิกบทความ หรือ การถอนบทความ มีรายละเอียดดังนี้

การยกเลิกบทความ คือ การเพิกถอนบทความก่อนที่จะมีการตีพิมพ์เผยแพร่

การถอนบทความ คือ การถอนบทความที่ดำเนินการตีพิมพ์และเผยแพร่เรียบร้อยแล้ว

ในกรณี การยกเลิกหรือการถอนบทความ สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ใน [https://www.tci-](https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal)

[thaijo.org/index.php/tsujournal](https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal) และ **หากมีการส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความแล้วเจ้าของ**

บทความต้องเป็นผู้รับผิดชอบคำตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ

รายละเอียดการเตรียมต้นฉบับ

บทความวิจัยให้เรียงลำดับตามองค์ประกอบดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ต้องมีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษ อักษรตัวแรกของทุกคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 20 ตัวหนา
2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ครบทุกคน และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดอยู่กึ่งกลางของ หน้ากระดาษ โดยให้กำกับหมายเลขยกกำลังไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อตำแหน่งหรือตำแหน่งวิชาการและ หน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนของเชิงอรรถ (หน้าที่ 1) โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดระดับภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย หรือจากงานย่อย ถึงระดับสูงให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกัน ทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ
3. **บทคัดย่อ และ Abstract** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกิน 200 คำ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ
4. **คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้เลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความไม่เกิน 5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อ และ Abstract ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดชิดซ้าย ของหน้ากระดาษ Keywords ให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ
5. **เนื้อเรื่อง (Main Body)** ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1) บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและอาวรวมการ

สำรวจเอกสาร (Review of Related Literature)

2) วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

3) ผลการวิจัย (Results)

4) อภิปรายผล (Discussion)

5) สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

* 4) และ 5) อาจเขียนรวมกันได้

6) เอกสารอ้างอิง (References) ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข (Numeric) และต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น

6. แบบเอกสาร แสดงการได้รับอนุญาตให้ทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ จรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลอง หรือจริยธรรมของการทดลองในมนุษย์มาพร้อมกับบทความวิจัย

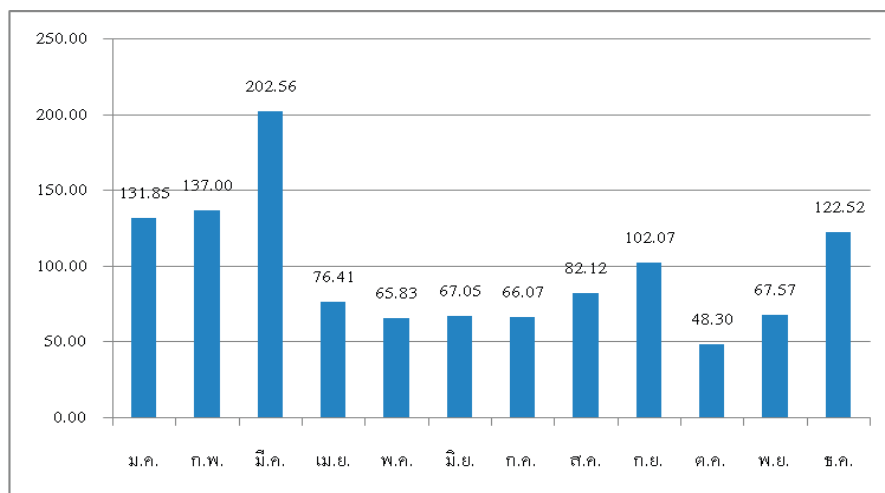
7. การใช้คำย่อ สัญลักษณ์ คำย่อที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำเต็มเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นสามารถใช้คำย่อเหล่านั้นได้ตามปกติ ควรใช้ให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการใช้คำย่อที่ชื่อเรื่องและในบทคัดย่อ ไม่แนะนำให้ใช้คำย่อที่ใช้ไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 บทความ สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบายเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบาย

8. รูปภาพ จัดกึ่งกลาง คำบรรยายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี คำบรรยายใต้ภาพ ใช้คำว่า ภาพที่ เป็นตัวหนา และคำบรรยายเป็นตัวอักษรปกติ และจัดกลางหน้ากระดาษ

ถ้ามีภาพประกอบ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี และถ้ามีภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาว โดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

ตัวอย่างเช่น

กิโกลรัม/ไร่



ภาพที่ 1 การร่วงหล่นของซากส่วนใบในแต่ละเดือน

9. ตาราง จัดชิดซ้ายของคอลัมน์ คำบรรยายตารางพิมพ์ไว้ด้านบนของหัวข้อตาราง และใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ถ้ามีตารางใช้คำบรรยายบนตารางคำว่า ตารางที่ เป็นตัวหนา และจัดชิดขอบซ้าย

ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 เปรอ์เซ็นต์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมในซากพืชส่วนใบที่เหลือจากการย่อยสลาย ในระยะต่าง ๆ

สัปดาห์ที่	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

ถ้าเป็นภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาวโดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

การอ้างอิง (References) แบบตัวเลข (Numeric) **ต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น**

การอ้างอิงแบบตัวเลข ใช้วิธีการดังนี้

- ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในเครื่องหมาย [] ท้ายข้อความหรือชื่อบุคคลที่อ้างอิง โดยให้ตัวเลขอยู่ในระดับบรรทัดเดียวกันกับเนื้อหา เช่น [1]
- ให้ใส่ตัวเลขอ้างอิงเรียงลำดับตั้งแต่เลข 1 เป็นต้นไป ต่อเนื่องกัน และในกรณีที่มี การอ้างอิงซ้ำให้ใช้ตัวเลขเดิมที่เคยใช้อ้างมาก่อนแล้ว
- แหล่งที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดในบทความจะไปปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิง (references) ทำบทความ โดยการเรียงลำดับตามหมายเลข และพิมพ์หมายเลขอยู่ในเครื่องหมาย []
- กรณีที่อ้างอิงเอกสารหลายรายการในคราวเดียวกัน
 - อ้างอิงไม่เกิน 2 รายการให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างอิงเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น [1, 5]
 - อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการที่ต่อเนื่องกันให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างอิงเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่น เช่น [1-3] หรือ [1-5]

4.3 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นในกรณีไม่ต่อเนื่อง และเครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นในกรณีต่อเนื่อง เช่น [1, 4-5]

การอ้างอิง ในเนื้อเรื่อง

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ใช้ระบบตัวเลขอยู่ในวงเล็บ “[]” หลังข้อความที่อ้างถึง โดยตัวเลขดังกล่าวเรียงตามลำดับการอ้างอิง

ตัวอย่าง

1. การใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยเชิงเคียบบางชนิดนานและมากเกินไปมีผลทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลน [1]...
2. Scherer [2] รายงานว่า...
3. และยังทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชในดินเสียไปด้วย [3-4]...

การอ้างอิงเอกสารอ้างอิง

ภาษาต่างประเทศ คนแรกให้ขึ้นด้วยนามสกุล, ตามด้วยอักษรย่อของชื่อน้ำ ชื่อกลาง (ถ้ามี) คนถัดไปจะเขียนระบบเดียวกับคนแรก และต้องเหมือนกันทุกรายการ เช่น

ประสงค์ เกษราธิคุณ นิคม ชูศิริ และฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ

Kessaratikoon, P., Choosiri, N. and Boonkrongcheep, R.

1) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ./ค.ศ.)// ชื่อหนังสือ.// สถานที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [1] Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. (2005). **Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management**. New Jersey. Pearson Education, Inc.,

ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อหนังสือ.// (ครั้งที่พิมพ์).// เมืองที่พิมพ์.// สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [2] Satirajinda, M. (2000). **Iron & Steel Heat Treatment Engineering** (7th ed) . Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage.

2) บทความในวารสาร

ชื่อผู้เขียน.// (ปี พ.ศ./ค.ศ.)// “ชื่อบทความ”, ชื่อวารสาร.// ปีที่/ (ฉบับ)/ หน้า.

ตัวอย่าง

- [3] Ukonmaanaho, L., Merila, P., Nojd, P. and Nieminen, T.M. (2008). “Litterfall Production and Nutrient Return to the Forest Floor in Scots Pine and Norway Spruce Stands in Finland”, **Boreal Environment Research**. 13, 67-91.

3) บทความในรายงานการประชุมวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีที่พิมพ์)/ “ชื่อเรื่อง”, ใน/ชื่อการประชุม./ เลขหน้า./ วันที่/เดือน/ปี./ สถานที่ประชุม./ เมืองที่พิมพ์./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [4] Boonkrongcheep, R., Maeha, A. and Kessaratikoon, P. (2016). “Measurement and Analysis of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Thai Rice Bag Samples”, In **The 24th Thaksin University National Academic Conference**. 18. May 21-24, 2016, The 60th Anniversary of His Majesty the King’s Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla : Thaksin University.

4) บทความในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีที่พิมพ์)/ “ชื่อบทหรือบทความในหนังสือ”, ใน/ชื่อผู้แต่งหรือผู้รวบรวมหรือบรรณาธิการ(ถ้ามี)/ ชื่อหนังสือ./ เลขหน้า./ เมืองที่พิมพ์./ สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [5] Lawrence, J. A. and Dodds, A. E. (2003). “Goal-directed activities and life-span development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.)”, **Handbook of developmental psychology**. 517-533. London, England: Sage Publications.

5) บทความในหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ./ (ปีที่พิมพ์, วันที่/เดือน)/ “ชื่อบทความ”, ชื่อหนังสือพิมพ์./ เลขหน้า.

ตัวอย่าง

- [6] Schultz, S. (2005, December 28). “Calls made to strengthen state energy policies”, **The Country Today**. 1A, 2A.

6) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์./ (ปีที่พิมพ์)/ ชื่อวิทยานิพนธ์./ ระดับของวิทยานิพนธ์/ชื่อปริญญา./ เมืองที่พิมพ์./ ชื่อสถานการศึกษา.

ตัวอย่าง

- [7] Paungfoo, C. (2003). **Use of Molecular Biology Techniques in Studying the Nitrifying Bacteria Community from Shrimp Farming System**. Doctoral Dissertation, Prince of Songkla University.

7) เอกสารที่ค้นได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้รูปแบบเดียวกับบรรณานุกรมของสื่อสิ่งพิมพ์โดยทั่วไปก่อนที่จะนำมาใส่ในเว็บไซด์ต่าง ๆ เช่น เมื่อนำข้อมูลมาจากหนังสือ สามารถเขียนเอกสารอ้างอิงโดยประกอบด้วย ชื่อผู้แต่ง ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่อง และสถานที่พิมพ์ และเพิ่มข้อมูลที่อาจช่วยในการสืบค้น คือ วันที่สืบค้น และ URL โดยภาษาอังกฤษใช้ว่า Retrieved...from... หรือถ้านำข้อมูลมาจากบทความที่เขียนเอกสารอ้างอิงของบทความก่อน

ชื่อผู้แต่ง./ (ปีที่พิมพ์)./ชื่อเรื่อง (ออนไลน์)./เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./สืบค้นเมื่อ...../
จาก <http://www.....>

ตัวอย่าง

- [8] Department of Foreign Trade. (2012). **The Situation of Sawn Rubber Wood Thailand** (Online). Retrieved 3 August 2016, from <http://www.dft.go.th/en-us/Information-Service/PR-Materials/ctl/DetailUserContent/mid/660/conternted/4252>.

8) รูปแบบการเขียนบุคคลานุกรม

ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ตำแหน่ง./สถานที่สัมภาษณ์./วันเดือนปีที่สัมภาษณ์./สัมภาษณ์.

ตัวอย่าง

- [9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.



ใบสมัครสมาชิก
วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ
THAKSIN UNIVERSITY JOURNAL

วันรับสมัคร.....

หมายเลขสมาชิก.....

(สำหรับเจ้าหน้าที่)

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ทางไปรษณีย์ที่ต้องการให้จัดส่ง.....ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

มีความประสงค์เป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ จำนวน.....ปี (ปีละ 200 บาท)

พร้อมนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน.....บาท (.....)

โดย ชำระเงินผ่านทาง ธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9
สาขา มหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารฯ
ทางระบบออนไลน์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>

(ลงชื่อ).....

(.....)

...../...../.....

สำนักงานวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242, 081-5407304 โทรสาร 0-7460-9654-5

E-mail Address: tsujournal@gmail.com หรือ research.tsu@gmail.com



ปัญญา จริยธรรม นำการพัฒนา

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ
222 หมู่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210
โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242 โทรศัพท์/โทรสาร 0-7460-9655
E-mail Address : tsujournal@gmail.com, research.tsu@gmail.com

