

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ Thaksin University Journal



ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 (ฉบับพิเศษ)

สืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28 ประจำปี 2561
(เดือนพฤษภาคม – ตุลาคม 2561)

ISSN 0859-9807 (print)

ISSN 2651-0693 (online)



รูปแบบวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ชื่อวารสาร	วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal)	
เจ้าของ	มหาวิทยาลัยทักษิณ	
ที่ปรึกษา	อธิการบดี	(รศ.ดร.วิชัย ชำนิ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รองอธิการบดี	(รศ.เกษม อัสวดีรัตนกุล) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	(อ.ดร.วันลก คิชสุวรรณ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.นิคม ชูศิริ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองบรรณาธิการ	ศ.ดร.จรัญ จันทลักษณ์	(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
	ศ.ดร.วิสุทธิ์ ไบไม่	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน	(มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)
	ศ.ดร.วัชรินทร์ รุกขไชยศิริกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุทธวัฒน์ เบญจกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุรินทร์ เศรษฐมานิต	(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
	ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทาส์	(เลขที่ 422 ถ.เทศบาลรังรักษ์เหนือ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร)
	รศ.ดร.ครรชิต มาลัยวงศ์	(สภာวิจัยแห่งชาติ)
	รศ.ดร.หิรัญ เพชรมั่ง	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.บุญญพัฒน์ ไชยเมล์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.กรวิกา ก้องกุล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.พญ.ภัทรวลัย ดลิ่งจิตร	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	อ.ดร.ศิริรัตน์ สีนประจักษ์ผล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองจัดการ	นางสาวอรกมล ไกรวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวพิมพ์ผดามณีวงศ์	(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.) ปกอาร์ตมัน 250 แกรม พิมพ์ 4 สี เคลือบด้าน เคลือบสปกดยูวีเฉพาะจุด เนื้อใน กระดาษปอนด์ 80 แกรม พิมพ์ 1 สี 112 หน้า
การเผยแพร่	จัดจำหน่ายและสมัครสมาชิก มอบเป็นอภินันทนาการแก่ห้องสมุดของหน่วยงานรัฐและเอกชน สถาบันการศึกษา
การบอกรับเป็นสมาชิก	ค่าสมาชิก ปีละ 200 บาท ชำระผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายัง กองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 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 มิดีเย โทรศัพท์ 089-925-8455, 085-440-5398

บรรณาธิการแถลง

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal) ฉบับนี้ เป็นวารสารฉบับพิเศษที่ออกโดยมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นปีที่ 21 ฉบับที่ 3 (เดือนพฤษภาคม – ตุลาคม 2561) วารสารฉบับนี้ ประกอบด้วยบทความวิจัยที่ได้รับการคัดเลือกจากบทความวิจัยที่ส่งเข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิชาการในที่ประชุมวิชาการระดับชาติของ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28 ประจำปี 2561 ภายใต้หัวข้อ: งานวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสังคมที่มั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน (Research and Innovation for Social Stability, Prosperity and Sustainability) ในระหว่างวันที่ 8-9 พฤษภาคม 2561 ณ โรงแรมบีพี สมิหลาบีช อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา บทความวิจัยทั้งหมดนี้เป็นบทความวิจัยทางด้านสหวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น และสามารถจัดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังต่อไปนี้ 1) บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพและเกษตรศาสตร์ จำนวน 12 เรื่อง 2) บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์เคมี และเภสัช จำนวน 3 เรื่อง 3) บทความวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษา ฟิสิกส์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 13 เรื่อง 4) บทความวิจัยทางด้านคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ จำนวน 6 เรื่อง และ 5) บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ จำนวน 5 เรื่อง รวมทั้งหมด 39 เรื่อง บทความวิจัยทั้งหมดนี้มีคุณภาพและความน่าสนใจในระดับที่ดีมากและสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลและเอกสารอ้างอิงในอนาคต

ข้าพเจ้าและคณะทำงานประจำกองบรรณาธิการขอขอบคุณเจ้าของบทความทุกท่านที่ได้ส่งผลงานทางวิชาการเหล่านี้มาเข้าร่วมนำเสนอผลงานวิชาการในที่ประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28 ประจำปี 2561 และได้แสดงความจำนงที่จะส่งบทความวิจัยที่เข้าพิจารณาคัดเลือกเพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้ ข้าพเจ้าถือว่าทุกท่านได้มีส่วนร่วมในการพัฒนาวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้เกียรติและเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการกลั่นกรองพิจารณาแก้ไขและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ต่อผลงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น เพื่อประโยชน์สูงสุดทางวิชาการที่ได้นำเสนอ ในวารสารฉบับดังกล่าวนี้

หากสมาชิกและท่านผู้อ่านมีข้อเสนอแนะหรือคำแนะนำเกี่ยวกับวารสารฉบับดังกล่าวนี้ กรุณาส่งคำแนะนำของท่านมายังกองบรรณาธิการเพื่อจะได้นำสิ่งที่ท่านแนะนำไปพิจารณาแก้ไขและปรับปรุงในฉบับต่อไป นอกจากนี้ยังขอเชิญชวนท่านผู้อ่านส่งบทความวิชาการและบทความวิจัยที่ยังไม่เคยเผยแพร่ที่ไหนมาก่อนไปให้ทางกองบรรณาธิการพิจารณาตีพิมพ์ โดยที่ท่านผู้อ่านสามารถดูรูปแบบการพิมพ์บทความได้ที่ website <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> หรือดูได้ในรายละเอียดตอนท้ายของวารสารนี้ได้อีกด้วย พบกันใหม่ฉบับต่อไปครับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ เกษราธิคุณ
บรรณาธิการประจำฉบับ

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Articles)

Session 1 ด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพและเกษตรศาสตร์

- 1.ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อสิวของเจลแต้มสิวที่มีส่วนผสมของชีวสารจาก เชื้อ *Brevibacillus laterosporus*
Anti-Acne Causing Bacteria Activity of Acne Gel Composed with Biocompounds Produced from *Brevibacillus laterosporus*
กมลทิพย์ เต๊ะชวน Kamonthip Tehsuan ปัทมาสน์ ลีมวรพันธ์ Pattamas Limvorapan
อัญชลี สงวนพงศ์ Aunchalee Sahoyngpong มณฑล เลิศคณาวณิชกุล Monthon Lertcanawanichakul.....1
2. การสำรวจการต้านอนุมูลอิสระของน้ำพริกในจังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน และลำปาง
Survey of the Antioxidant Activity of Nam Prik Larb Sold in the Chiang Mai, Lamphun and Lampang
อานง ใจแน่น Anong Jainan.....8
3. การพัฒนาสูตรน้ำปรุงรสผัดพริกสำหรับหิมเบตงกิ่งสำเร็จรูป
Formulation of Pud Prik Flavoured Sauce for Instant Betong Noodle
วิภาดา มุนินทร์พนม Wipada Muninnopamas กมลทิพย์ กรรไพบระ Kamontip Kanpairo สุธีรา ศรีสุข Suteera Srisuk
จิรวุฒ มุนินทร์พนม Jeerawoot Muninnopamas อับดุลนาเซร์ ฮายีสาเมาะ Abdunaser Hayeesamoh.....17
4. สภาวะที่เหมาะสมในการลดค่ากรดที่สูงของน้ำมันยีสต์ *Pseudozyma parantarctica* CHC28
เพื่อการผลิตไบโอดีเซลจุลินทรีย์
**Optimization on Decreasing High Acid Value of Yeast Oil *Pseudozyma parantarctica* CHC28
for Microbial Biodiesel Production**
อัยลาวัณ อารีศิริสุข Atsawut Areesirisuk กนกภรณ์ สุขมาก Kanokporn Sukmark จิตินธรณ์ บุญขึ้น Jatintorn Boonchuen
สุญา ฤทธิศร Sujaya Ritthisorn จันทิมา ทีมะ Jantima Teeka.....26
5. ผลของสายพันธุ์สับปะรดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชอร์เบต
Effects of Pineapple Varieties on Sensory Quality of Sorbet Ice Cream Product
รุ่งทิwa กองเงิน Rungtiwa Kongngoen ชีรวัฒน์ เทพไจกาศ Teeravat Tepjaikad.....35
6. ผลของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นบ้านจังหวัดพัทลุงต่อคุณภาพของข้าวหมกในระหว่างกระบวนการหมัก
**Effect of Indigenous Black Glutinous Rice of Phatthalung Province on the Quality of Sweet Fermented Rice
(Khaomak) during Fermentation**
วิไลลักษณ์ กล่อมพงษ์ Vilailak Klompong.....43
7. ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพริกหวาน
The Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Growth of Sweet Chilli
ชีวะ ทักนา Chewa Thassana นิคม ผิงคำ Nikom Phuenkum สมยศ ศรีคงรักษ์ Somyot Srikongrug
จันทนีย์ เพ็ชรไพบุลย์ Jantane Patpirboon วิลาสินี เน้นริมหนอง Wilasinee Noenrimnong.....51
8. ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูและไพลเพื่อใช้เป็นยาสลบสำหรับแมลงหวี่
**Efficacy of Essential Oils from Clove (*Syzygium aromaticum*) and Cassumunar Ginger (*Zingiber montanum*) as
Anesthetic Agents for Fruit Fly (*Drosophila melanogaster*)**
ณัฐธินิชา คำโสกา Natthanicha Khamsopa อรุณรัตน์ วนิชชานนท์ Arunrut Vanichanon
นพดล สุกระกาญจน์ Noppadon Sukrakanchana.....58

9	ติดตามการแพร่กระจายของหญ้าใบมะกรูด (<i>Halophila ovalis</i> (R.Br.) Hook. f.) ในพื้นที่ฟื้นฟูหญ้าทะเลโดยการย้ายปลูก: กรณีศึกษา อ่าวบุญคง จังหวัดตรัง	
	Evaluation on Distribution of <i>Halophila ovalis</i> (R.Br.) Hook. f. in Seagrass Restoration Area by Transplants: A Case Study of Aow Boon Kong, Trang Province	
	หทัยภัทร พลากุล Hataipat Palakul พรพิมล เชื้อดวงสุข Pornpimon Chuaduangpui นุชนาถ คงช่วย Nootchanath Kongchouy.....	65
10	ลักษณะทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบทางโภชนาการ และการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกเพื่อสุขภาพ	
	Physicochemical Characteristics, Nutritional Composition and Antioxidative Properties of Healthy <i>Centella asiatica</i> Crispy Crackers	
	วราศรี แสงกระจ่าง Warasri Saengkrajang จุริภรณ์ นวนมุสิก Jureeporn Nounmusig ปวีณา ปรวัฒน์กุล Paweena Porrawatkul สุรีย์พร วุฒิमानพ Sureeporn Wuttimanop.....	73
11	ลักษณะคุณภาพของเมล็ดและโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดขุ่นและใส	
	Grain Quality Characteristics and Structure of Opaque and Translucent Endosperm in Sang Yod Rice Variety	
	นันทิยา พนมจันทร์ Nantiya Panomjan เสาวคนธ์ จันทรคำ Saowakon Jandum วราภรณ์ เพชรแก้ว Waraporn Petkaew.....	82
12	การลดปริมาณแอมโมเนียรวมด้วยสาหร่ายพวงองุ่น <i>Caulerpa lentillifera</i> และสาหร่ายพมนาง <i>Gracilaria fisheri</i> ในการเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาว <i>Amphiprion ocellaris</i>	
	Reduction of Total Ammonia Nitrogen by <i>Caulerpa lentillifera</i> and <i>Gracilaria fisheri</i> in <i>Amphiprion ocellaris</i> Cultivation	
	ธิญาภรณ์ แก้วทวี Teeyaporn Keawtawee สุพัทธญา นวทองแก้ว Supatchada Nauntongkaew อรวรรณ คงสุวรรณ Orawan Kongsuwan ยุทธพงษ์ สังข์น้อย Yutthapong Sangnoi อานนท์ อุปปบลลึงก์ Arnon Uppabullung.....	91
Session 2 ด้านวิทยาศาสตร์เคมี และเภสัช		
13	ความว่องไวของ Ni/SiO ₂ ในกระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วนของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	
	Catalytic Activity of Ni/SiO ₂ Supported on Partial Hydrogenation of Biodiesel from Waste Cooking Oil	
	จักรพงษ์ จิตต์จำนงค์ Jakkrapong Jitjamnong สุห์ดี นิเซ็ง Suhdee Niseng นลพรณ ชันติกุลานนท์ Nonlapan Khantikulanon ณปภัช สมนางค์ Napaphat Samanwong.....	99
14	การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงโดยวิธีไฟฟ้าเคมี	
	A Synthesis of Copper Nanoparticles by Electrochemical Method	
	นินนาท จันทรสุรีย์ Ninna Jansoon สุภกร กตาทิการกุล Supagorn Katathikarnkul สุเจนต์ พรหมเหมือน Suchane Prommuan.....	107
15	การตรวจวัดไฮบริไดเซชันของพีเอ็นเอ-ดีเอ็นเอโดยใช้วัสดุนาโนโมดิฟายด์อิเล็กโทรดทองคำด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าชั้นตอนเดียว	
	PNA-DNA Hybridization Detection with One-Step Electrodeposition using Nanomaterial Modified Gold Electrode	
	อรวรรณ ทิพย์มณี Orawan Thipmanee.....	115
Session 3 ด้านฟิสิกส์ศึกษา ฟิสิกส์ประยุกต์ และวิศวกรรมศาสตร์		
16	มาตรดัชนีหักเหแบบคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ใช้สมาร์ทโฟนเป็นฐาน	
	Surface Plasmon Resonance Refractometer Based on Smartphone Platforms	
	สวรรณยา บุญช่วย Sawanya Boonchuay ศุภลักษณ์ อำลอย Supaluck Amloy ปกรณ์ ปรีชาบุรณะ Pakorn Preechaburana....	124

17	การพัฒนารามานสเปกโตรสโกปีแบบส่งผ่านสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี Development of a Transmission Raman Spectroscopy for Chemical Analysis ปิยะวัฒน์ แก้วใจจง Piyawat Kaewjaijong ศุภลักษณ์ อำลอย Supaluck Amloy ปกรณ ปรีชาบุรณะ Pakorn Preechaburana.....	132
18	การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันจากกากกาแฟโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง A Study of Influence Factors Affecting to Esterification Reaction of Waste Coffee Grounds Oil using Response Surface Methodology โชคชัย เหมือนมาศ Chokchai Mueanmas รวมนพร นิกม Ruamporn Nikhom จีรวัดน์ โสภจารย์ Jerawat Sopajarn อนิดา เพ็ชรแก้ว Anida Petchkaew	140
19	คุณภาพรังไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า Quality of Cocoons Dried by Solar and Electrical Drying วีรวิธ เลพล Wirawut Lephon.....	149
20	ผลของความเร็วมวลต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน The Effect of Inlet Air Velocity on Efficiency of the Heat Pump Dryer เอกกฤษ แก้วเจริญ Eakrit Kaewcharoen เอกภูมิ บุญธรรม Eakpoom Boonthum.....	158
21	แนวโน้มการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า Earthquake Trends in Thailand and Myanmar โชติ เนื่องนันท์ Chote Nuangnun นิกม ผึ้งคำ Nikom Phuengkum สมยศ ศรีคงรักษ์ Somyot Srikongrug ดวงกมล มามีชัย Duangkamon Mameechai พลรัตน์ ทองเพิ่ม Polrat Thongperm วิฑูรย์ หนูเล็ก Witoon Nuleg.....	167
22	การศึกษาการโพลาไรเซชันของแสงจากแว่นกันแดดโพลาไรซ์โดยใช้สมาร์ทโฟน A Study on Polarization of Light from Polarized Sunglasses Using Smartphones อาทิตย์ หมวดคงจันทร์ Arthit Muadkongchan ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon สุวิทย์ คงภักดี Suwit Khongpakdee.....	174
23	การพัฒนาชุดทดลองการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) Development of Experimental Set on Resonance of Sound Using Smartphones and Polyvinyl Chloride (PVC) Tube ธวัชชัย นาคช่วย Thawatchai Nakchuay ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon สุวิทย์ คงภักดี Suwit Khongpakdee.....	183
24	ผลการเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงในเตาเผาเชื้อเพลิงระบบหั่วเผาจากการอัดอากาศของพัดลมหอยโข่ง The Direct Effect Combustion of Biomass in Burner System by Compressed Air from the Centrifugal Blower วัชรกร ใจตรง Wacharakron Jaitong มนตรี วงศ์ศิริวิทยา Montree Wongsiriwittaya.....	191
25	การพัฒนาชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย Development of Experimental Set on Color Light Mixing for High School Students ศักดิ์มงคล ยี่มี Sakmongkhon Yeemee สุวิทย์ คงภักดี Suwit Khongpakdee ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon.....	199
26	การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนอสัตราเร็วรอบต่ำด้วยแม่เหล็กแรงสูง, NdFeB N35 Development of Low-Speed Synchronous Generator with Permanent Magnet, NdFeB N35 กานต์ธิดา บุญมา Kantida Boonma ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล Chainuson Kasagepongsarn.....	206

27	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาดบริเวณชายหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี ประเทศไทย Specific Activities of Natural Radionuclides in Beach Sand Samples from Ratchadapisek Beach Nong Chik District in Pattani Province, Thailand มูรณี ดาโอ๊ะ Murnee Daoh ประสงค์ เกษราธิคุณ Prasong Kessaratikoon ปุรินทร จันทร์เลิศ Purintorn Chanlert ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ Ruthairat Boonkrongcheep.....	216
28	การศึกษาความชื้นของดินโดยอาศัยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลและการตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเอง: กรณีศึกษาจังหวัดพัทลุง The Study of Soil Moisture Using Remote Sensing Data and Ground-Based Measurement: A Case Study in Phatthalung Province สุเจนต์ พรหมเหมือน Suchane Prommuan จอมภพ แวศักดิ์ Jompob Waewsak ศุภกร กตาทิการกุล Supagone Katathikarnkul สุทธิยา ก้อนเรือง Sutthisa Konruang.....	224
Session 4 ด้านคณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์		
29	กิจกรรมการเรียนรู้การสอนเรื่องสถิติในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS Instructional Activities on Statistics in High School By Using Graphing Calculator TI Nspire CX CAS สาธิตน์ ไสยะโร Sayun Sotaro กาญจนา พานิชการ Karnchana Panichakarn รวีวรรณ งานสันติกุล Raweewan Ngamsuntikul.....	233
30	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดเก็บและสืบค้นข้อมูล Log ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ (ALIST) ระหว่าง ORACLE และ SOLR Performance Comparison of Storing and Retrieving for Automated Library System (ALIST) Data Logs between ORACLE and SOLR ชำนาญ อินทสโร Chumnann Inthasaro.....	241
31	การพัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ The Development of a Learning Management Model to Promote Mathematical Problem Solving Skills วิษณุ นภาพันท์ Vishnu Napaphun.....	249
32	การพัฒนาออนโทโลยีด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง Ontology Development for Intangible Cultural Heritage and Folk Wisdom of Phatthalung Province สิริยา สิทธิสาร Siraya Sitthisarn นพมาศ ปักเข็ม Noppamas Pukkhem อาจรี นาโค Ajaree Naco.....	259
33	โปรแกรมต้นแบบของแอปพลิเคชันบริการข้อมูลจอดรถตามตำแหน่งของผู้ใช้ กรณีศึกษา: จังหวัดภูเก็ต A Prototype of Location-Based Garage Information Service Application Case Study: Phuket Province ธนวิชญ์ พันธุ์ฉลาด Tanawit Panchalad มะลิวัลย์ เหมสลาหามาต Maliwan Hamsalamad อรยา ปรีชาพานิช Oraya Preechapanich สุดา เขียวมนตริ Suda Thernmontri.....	267
34	การพัฒนาโปรแกรมช่วยจัดแผนการเลือกวิชาลงทะเบียนโดยใช้เทคนิคการค้นหาเฉพาะที่และรายการทาบู Registration Assistant Application using Local Search and Tabu List Technique ธาดา หวังธรรมมั่ง Thada Wangthammang เสกสรรค์ สุวรรณมณี Seksun Suwanmanee รัชชัย เอ่งฉ้วน Touchai Angchuan แสงสุรีย์ วสุพงษ์อัยยะ Sangsuree Vasupongayya.....	275

Session 5 ด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ

35 ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดงสัมพันธ์กับองค์ประกอบของกลุ่มอาการเมตาบอลิกในผู้สูงอายุ: การศึกษานำร่อง

Pulse Wave Velocity Associated with Metabolic Syndrome Component in the Elderly: A Pilot Study

รุชดา ศรีอำมหัด Ruchada Sri-amad ปิยะพงษ์ ประเสริฐศรี Piyapong Prasertsri

ปรพร ศรีวรรณวิทย์ Porraporn Sriwannawit ฐาปนี เรืองฤทธิ์ Thapanee Roengrit.....284

36 ผลของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรต่อการขนส่งไอออนในเซลล์เยื่อบุทางเดินหายใจมนุษย์

Effect of *Andrographis paniculata* on Ion Transport in Human Respiratory Epithelium

นวิยา สุขเป้า Nawiya Huipao.....292

37 การจัดการของเสียอันตรายและการมีส่วนร่วมของประชาชนในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

People Participation in Hazardous Waste Management in Pa-payom District, Phatthalung Province

โสมศิริ เดชารัตน์ Somsiri Decharat.....299

38ฤทธิ์ของ [6]-shogaol และ demethyl-[6]-shogaol ในการยับยั้งการเจริญและชักนำการตายของเซลล์มะเร็งเต้านม

Effects of [6]-shogaol and demethyl-[6]-shogaol on Growth Inhibition and Apoptotic Induction in Breast Cancer Cell Lines

นุรดีนา จารง Nurdina Charong อนันต์ อธิพรชัย Anan Athipornchai มลธิรา พรหมกันท์ Moltira Promkan

กมลชนก เส็งโศก Kamonchanok Sengsod พงศ์พิสิษฐ์ พระธาตุ Phongphisit Phrathart สุตรรัก ช่างเรือ Sutrak Changruea

อภิชาติ สุขสำราญ Apichart Suksamrarn.....308

39 ค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกลัวการหกล้มในผู้สูงอายุ

Gait Speed Cut-Off Point as a Predictor of Fear of Falling in Older Adults

จิรพัฒน์ นาวารัตน์ Jiraphat Nawarat มูรณีย์ ดารามัน Murnee Daraman วันวิสาข์ สุตระ Wanwisa Suttara

จุฬาลักษณ์ จิตรสว่าง Julalak Jitsawang อรพรรณ มีเงิน Orapan Mee-Ngern.....317

Session 1

ด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพและเกษตรศาสตร์

๕๐ ปี มหาวิทยาลัยทักษิณ
50th TSU Anniversary



ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อสิวของเจลแต้มสิวที่มีส่วนผสมของชีวสารจาก เชื้อ *Brevibacillus laterosporus*

Anti-Acne Causing Bacteria Activity of Acne Gel Composed with Biocompounds Produced from *Brevibacillus laterosporus*

มนทล เลิศคนวานิชกุล^{1,2*}, กมลทิพย์ เต๊ะชวน¹, ปัทมาสน์ ลิ้มวรพันธ์¹ และอัญชลี สงวนพงศ์¹

Monthon Lertcanawanichakul^{1,2*}, Kamonthip Tehsuan¹, Pattamas Limvorapan¹ and Aunchalee Sahoyngpong¹

บทคัดย่อ

เจลแต้มสิวที่มีส่วนผสมของโปรตีนชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ที่เตรียมได้มาจากน้ำเลี้ยงเชื้อ *Brevibacillus laterosporus* ที่ความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากับ 0.087 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงฤทธิ์ในระดับหลอดทดลองต้าน *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis* ที่มีรายงานว่าเป็นสาเหตุของการเกิดสิว ได้ดีกว่า *Propionibacterium acne* และให้ผลใกล้เคียงกับเจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดอาการผื่นแพ้เมื่อทดสอบด้วยวิธี open patch test จึงน่าจะเป็นไปได้ที่จะมีการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จะใช้ผสมลงในเจลแต้มสิว รวมทั้งอาจเพิ่มสารที่มีฤทธิ์ที่ดีในการต้านแบคทีเรียก่อสิวเพื่อประโยชน์ในการรักษาแลสุขภาพผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เจลแต้มสิว *Brevibacillus laterosporus* แบคทีเรียก่อสิว

Abstract

Anti-acne gel composed with partially purified biocompounds (PPBs) prepared from culture broth of *Brevibacillus laterosporus* at a protein concentration of 0.087 mg/ml could *in-vitro* dominantly inhibit bacteria causing acne in a group of Staphylococci (*Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*) but did not inhibit *Propionibacterium acnes*. Moreover, it revealed anti-acne gel composed with PPBs could inhibit the growth of Staphylococci similar to commercial anti-acne product composed with Clindamycin. Interestingly, anti-acne gel with of PPBs did not cause contact dermatitis. It is possible to study the appropriate concentration to mix in acne gel. In addition, it may add the active ingredients to increase anti-bacterial activity against bacteria causing acne for acne treatment on healthy skin.

Keywords: Acne Gel, *Brevibacillus laterosporus*, Acne-Causing Bacteria

¹ รศ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ และหน่วยวิจัยการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² นักวิจัย, สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

¹ Assoc. Prof. Dr., Department of Medical Technology and The Research Unit of Natural Products Utilization, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

² Researcher, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

* Corresponding author: Tel.: 075-672180. E-mail address: lmonthon55@gmail.com

บทนำ

สิวเป็นโรคผิวหนังชนิดหนึ่งที่พบได้บ่อยมากโดยไม่ได้อำกัจะเกิดในวัยรุ่นหากแต่สามารถพบเห็นได้บ่อยขึ้นในผู้ที่พ้นการเป็นวัยรุ่นไปแล้ว สาเหตุของการเกิดสิวมักมาจากความผิดปกติของระบบต่อมไขมัน (Sebaceous) ของรูขุมขนที่ผิวหนังและอาจมีสาเหตุอื่นๆ ที่แตกต่างกันออกไป อีกทั้งจากฮอร์โมน การผลิตไขมันมากขึ้นและร่วมกับเซลล์ผิวหนังและเชื้อแบคทีเรียโดยเฉพาะ *Propionibacterium acnes* โดยตำแหน่งที่เกิดสิวเป็นบริเวณที่มีไขมันมากได้แก่ หน้า ไหล่ หลัง ออก ซึ่งหากมีการอุดตันของทางเดินไขมันจากต่อมไขมันก็จะทำให้เกิดสิวหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ สิวธรรมดาหรือที่เรียกว่า “acne vulgaris” สิวหัวดำ สิวที่มีการอักเสบเป็นหนอง และมีตุ่มหนองที่เกิดจากการอุดตันที่เริ่มมาจากสิวดูดตัน (Comedone) ซึ่งหากเกิดการอุดตันจะทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนในรูขุมขนและมีผลทำให้ *P. acnes* เจริญเติบโตได้ดีและย่อยสลายไขมันก่อเกิดเป็นสารที่มีความสามารถชักนำเม็ดเลือดขาวมาที่บริเวณนั้นและก่อให้เกิดการอักเสบตามมาจึงเกิดเป็นสิวกอักเสบ [1-2] นอกจากแบคทีเรียดังกล่าวแล้วยังมีกลุ่มแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่อาศัยอยู่บนผิวหนัง เช่น *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis* ที่สามารถสร้างเอนไซม์ต่างๆ ออกฤทธิ์กระตุ้นการก่อเกิดสิวได้ สำหรับการรักษาสิวทำได้โดยการใชยาปฏิชีวนะต่างๆ ซึ่งมีทั้งผลดีและผลข้างเคียงจากยาปฏิชีวนะนั้น เช่น คลินดามัยซิน (Clindamycin) เป็นยาแต้มสิวที่หากใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการดื้อยา ไม่เกิดผลในการรักษาทำให้การรักษาเกิดได้ยากขึ้น [3] จึงมีความพยายามนำเอาสารสกัดจากสมุนไพรมาพัฒนาใช้เป็นเจลในการรักษาสิว เช่น เจลรักษาสิวจากสารสกัดของเปลือกมังคุด [4] เจลรักษาสิวจากการสกัดน้ำมันหอมระเหยของยูคาลิปตัสและฝรั่ง [5] เจลรักษาสิวจากการสกัดของกระบือเจ็ดตัว [2] แต่รายงานการวิจัยรักษาสิวที่มีส่วนผสมของชีวสารที่ผลิตออกมาจากเชื้อจุลินทรีย์อยู่น้อย ซึ่งทางกลุ่มวิจัยได้สนใจศึกษาการเตรียมเจลแต้มสิวที่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์จาก *Brevibacillus laterosporus* ในการนำมาใช้รักษาสิว เนื่องจากได้มีรายงานเกี่ยวกับเชื้อดังกล่าวที่แยกออกมาได้จากอากาศสามารถผลิตชีวสารออกฤทธิ์ปฏิชีวนะทำลายยีสต์ *Candida albicans* และกลุ่ม viridans *Streptococci* รวมไปถึงทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำลายได้ และออกฤทธิ์ได้ดีในการต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus* ที่ดื้อยา methicillin และ *S. aureus* [6] ที่ได้เคยถูกรายงานว่าอาจเป็นสาเหตุร่วมของการเกิดสิว [2] ดังนั้นจึงสนใจนำชีวสารดังกล่าวจากแบคทีเรีย *Brevibacillus laterosporus* มาศึกษาถึงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดสิวในกลุ่ม *Staphylococci* และ *P. acnes* เพื่อศึกษาความคงตัวของฤทธิ์ปฏิชีวนะของชีวสารเมื่อผสมอยู่ในสารเคมีที่เป็นส่วนผสมในการเตรียมเจลแต้มสิวและเพื่อทราบข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมสำหรับพัฒนาเป็นเจลแต้มสิวที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

การเตรียมน้ำเลี้ยงเชื้อจากแบคทีเรีย *Brevibacillus laterosporus*

แบคทีเรีย *Brevibacillus laterosporus* ที่ใช้เป็นแหล่งของชีวสารบริสุทธิ์ในการทดลองนี้ ถูกคัดแยกได้มาจากตัวอย่างอากาศภายในมหาวิทยาลัยทักษิณ โดยทีมวิจัยของ รศ. ดร.มณฑล เลิศคนาวินิชกุล

นำโคโลนีเดียวของแบคทีเรีย *B. laterosporus* ไปเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Luria-Bertani (LB) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (มล.) ในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร (มม.) บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (°ซ) ในตู้บ่มเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าได้ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง (ชม.) จากนั้นนำสารแขวนลอยเชื้อ (1 %) ไปถ่ายใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว LB ปริมาตร 150 มล. ในขวด Duran ขนาด 500 มล. บ่มเพาะเชื้อที่สภาวะเดิมดังกล่าวข้างต้นและปั่นแยกตะกอนเชื้อด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 30 นาที แยกเก็บน้ำเลี้ยงเชื้อ (Culture Broth) เพื่อเตรียมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์

การเตรียมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ [7]

นำน้ำเลี้ยงเชื้อที่เตรียมได้ในขั้นต้นไปตกตะกอนด้วยผงแอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นอิ่มตัว 50 % โดยค่อยๆ เติมผงแอมโมเนียมซัลเฟตครั้งละเล็กน้อย และกวนปั่นสารจนกระทั่งผงแอมโมเนียมซัลเฟตละลายจนหมดและตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 24 ชม. โดยกวนปั่นเบาๆ ตลอดทั้งคืน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 30 นาที แยกเก็บตะกอนและละลายตะกอนด้วย 0.85 % NaCl ปริมาตร 3-4 มล. หรือจนตะกอนละลายหมดแต่ไม่ควรเกิน 10 มล. แล้วนำไปกำจัดแอมโมเนียมซัลเฟตด้วยการแยกสารผ่านเยื่อ (Dialysis) และตรวจวัดปริมาณโปรตีนโดยวิธี Bradford [8]

การทำเจลที่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์จาก *Brevibacillus laterosporus* [4]

เติมสารตัวภาคที่ 1 ได้แก่ Carbopols 940 (ร้อยละ 0.25), sterile distilled water (ร้อยละ 94.00) และ Polysorbate 20 (ร้อยละ 1) ลงในปิกเกอร์แล้วผสมให้เข้ากันที่ 70 °ซ จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเย็นลงเหลือ 50 °ซ แล้วเติมสารในวัตถุภาคที่ 2 ได้แก่ Triethanolamine (ร้อยละ 0.25) ลงไปจนสารเข้ากันเป็นเนื้อเดียว จึงค่อยๆ เติมวัตถุภาคที่ 3 ได้แก่ Panthenol (ร้อยละ 0.5) และชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ที่เตรียมได้จาก *B. laterosporus* (ร้อยละ 4) ลงไปจนเบาๆ จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

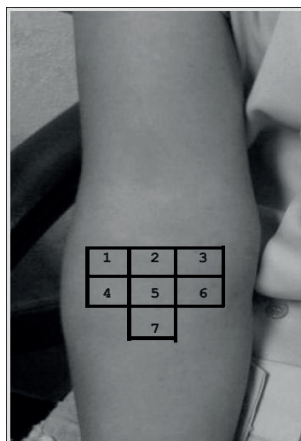
การทดสอบฤทธิ์ด้านแบคทีเรียโดยชีวสารกึ่งบริสุทธิ์และเจลที่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ [ดัดแปลงจาก 9]

นำแบคทีเรียก่อสิวทั้ง 3 ชนิด คือ *S. aureus*, *S. epidermidis*, *P. acnes* มาแยกปรับเทียบความขุ่นให้เท่ากับ McFarland No. 0.1 (มีปริมาณเชื้อ 3×10^7 CFU/ ml) แยกเก็บใส่ในหลอด Microcentrifuge Tube หลอดละ 500 มล. แล้วใช้ลูปมาตรฐานขนาด 0.001 มล. ที่ปราศจากเชื้อจุ่มสารแขวนลอยเชื้อที่เตรียมไว้ข้างต้นจำนวน 1 ลูป มาป้ายให้ทั่วพื้นผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MHA (Control Plate)

ใช้กระบอกฉีดขนาด 1 มล. ฉีดสารทดสอบ (ชีวสารกึ่งบริสุทธิ์และเจล) ที่ความเจือจาง 3 ระดับ คือ ความเข้มข้นตั้งต้นและที่เจือจาง 2 เท่าอีก 2 ระดับปริมาตรหลอดละ 500 มล. ใส่ในหลอด Microcentrifuge Tube ที่มีแบคทีเรียก่อสิวแล้วผสมส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที แล้วใช้ลูปมาตรฐานดังกล่าวข้างต้นไปจุ่มส่วนผสมจำนวน 1 ลูป ไปเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MHA บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °ซ เป็นเวลา 48 ชม. (*P. acnes* ต้องบ่มใน Candle Jar) ทำการบันทึกจำนวนโคโลนีทั้งหมดคูณด้วย 10^3 และคำนวณร้อยละการต้านแบคทีเรียดัชนีของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ เจลที่มีส่วนผสมของชีวสารและเจลแฉะผิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน แล้ววิเคราะห์ค่าทางสถิติเพื่อหาค่าความแตกต่างของการต้านแบคทีเรียดัชนีทั้ง 3 ชนิดด้วยวิธี One-Way Anova

การทดสอบผลข้างเคียงของเจลแฉะผิวที่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ ด้วยวิธี Open patch test [10-11]: เอกสารรับรองโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เลขที่ 013/ปี พ.ศ. 2552

นำสารทดสอบทุกรูปแบบ (ชีวสารกึ่งบริสุทธิ์/ เจลที่มีหรือไม่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์) ที่ระดับความเข้มข้นตั้งต้นและที่เจือจาง 2 เท่าคือไปอีก 2 ความเข้มข้นๆ ละ 20 มล. มาหยดบนผิวหนังใต้ท้องแขนดังภาพที่ 1 ปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีจึงสังเกตผื่นแพ้บนผิวหนังหรือรวมถึงมีอาการคันว่ามีปรากฏหรือไม่



ภาพที่ 1 การทดสอบผลข้างเคียงที่เกิดจากเจลแต้มสิวที่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์จาก *Brevibacillus laterosporus*

ด้วยวิธี patch test แบบ open patch test

1, 2, 3 คือ ชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ตั้งต้นและเจือจาง 1:2, 1:4 ตามลำดับ

4, 5, 6 คือ เจลผสมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ตั้งต้นและเจือจาง 1:2, 1:4 ตามลำดับ

7 คือ เจลที่ไม่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์

ผลการวิจัย

การทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อผิวของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์และเจลที่มีชีวสารกึ่งบริสุทธิ์

จากการทดสอบเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียดัชนีของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ เจลที่มีชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ และเจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน โดยใช้ loop มาตรฐาน 0.001 มาขีด และนับจำนวนโคโลนีเปรียบเทียบกับ control ซึ่งมีปริมาณเซลล์ตั้งต้นเท่ากับ 3×10^7 CFU/ ml พบว่าชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นของโปรตีนตั้งต้นเท่ากับ 2.3 มก./ มล. สามารถออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียดัชนีในกลุ่ม Staphylococci ได้ดีกว่า *P. acnes* และออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียดัชนีทั้ง 3 ชนิดได้ดีกว่าเจลแต้มสิวผสมชีวสารและเจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน ดังแสดงในตารางที่ 1 และสามารถคำนวณเป็นร้อยละของการยับยั้งเชื้อ (% inhibition) ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเจลแต้มสิวผสมชีวสารมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียดัชนีได้ใกล้เคียงกับเจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน

ตารางที่ 1 ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียดัชนีของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ เจลแต้มสิวผสมชีวสาร และเจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน

แบคทีเรียดัชนี	จำนวนโคโลนี ($\times 10^3$) CFU/ ml (mean $\pm$ SD)								
	Control	ชีวสารกึ่งบริสุทธิ์			เจลแต้มสิวผสมชีวสาร			เจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน	
		ความเข้มข้น			ความเข้มข้น			ความเข้มข้น	
		1:2	1:4	1:8	1:2	1:4	1:8	1:2	1:4
<i>Staphylococcus aureus</i>	1576	0	224	960	496	584	648	312	440
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	2608	0	0	0	456	640	872	224	760
<i>Propionibacterium acnes</i>	3168	120	160	168	160	360	480	168	216

หมายเหตุ control คือ จำนวนแบคทีเรียตั้งต้นที่ไม่ได้ผสมสารทดสอบ (3×10^7 CFU/ ml)

ตารางที่ 2 ร้อยละการต้านแบคทีเรียดัชนี (% inhibition) ของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ เจลแต้มสิวผสมชีวสาร และเจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน

แบคทีเรียดัชนี	% inhibition*								
	ชีวสารกึ่งบริสุทธิ์						เจลแต้มสิวทางการค้า		
	เจลแต้มสิวผสมชีวสาร						ที่มีส่วนผสมของ		
							ยาคลินดามัยซิน		
	ความเข้มข้น ตั้งต้น	1:2	1:4	ความเข้มข้น ตั้งต้น	1:2	1:4	ความเข้มข้น ตั้งต้น	1:2	1:4
Staphylococcus aureus	100	86	40	69	63	59	81	70	42
Staphylococcus epidermidis	100	100	100	90	76	67	92	71	67
Propionibacterium acnes	96	95	95	95	89	85	95	93	84

จากการวิเคราะห์ทางค่าสถิติด้วยวิธี One-Way Anova พบว่า ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อสิวทั้ง 3 ชนิด (*S. aureus*, *S. epidermidis* และ *P. acnes*) โดยเจลแต้มสิวผสมชีวสาร และเจลแต้มสิวทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน ให้ค่าร้อยละในการต้านแบคทีเรียไม่ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 95 % ($p < 0.05$)

$$* \% \text{ inhibition} = 100 \times \left[\frac{\text{ปริมาณเชื้อตั้งต้น} - \text{ปริมาณเชื้อหลังจากผ่านการทดสอบด้วยสาร}}{\text{ปริมาณเชื้อตั้งต้น}} \right]$$

การทดสอบผลข้างเคียงของเจลแต้มสิวที่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ ด้วยวิธี Patch test แบบ Open patch test

เจลแต้มสิวผสมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ที่มีปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากับ 0.087 มก./ มล. ไม่แสดงผลข้างเคียงในการก่อผื่นแพ้ในอาสาสมัครจำนวน 15 ราย เมื่อทดสอบด้วยวิธี open patch-test

การอภิปรายผล

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียโดยชีวสารกึ่งบริสุทธิ์และเจลแต้มสิวผสมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์

ชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ที่มีปริมาณโปรตีนตั้งต้นเท่ากับ 2.3 มก./ มล. มีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์เจลแต้มสิทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน และเจลแต้มสิวผสมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ ความเข้มข้น 0.087 มก./ มล. ตามลำดับ โดยยังคงมีฤทธิ์ในการต้าน *S. epidermidis* ดีที่สุด แต่เมื่อมีการเจือจางลงมาถึง titer 1:4 พบว่าตัวอย่างสารทดสอบทั้ง 3 ชนิด ให้ค่าร้อยละในการต้านแบคทีเรียได้ไม่ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 95 % ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่าเจลแต้มสิวผสมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ให้ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ใกล้เคียงกับเจลแต้มสิทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน่าจะเป็นไปได้หากมีการศึกษาให้มากขึ้นในแง่ของความคงตัวของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่ผสมในเจลแต้มสิวที่เตรียมขึ้น ดังที่ได้มีการพัฒนาใช้เจลแต้มสิวที่ผสมสารแบคทีริโอซิน Jensenin P จาก *Propionibacterium jensenii* B1264 ไปเป็นยารักษาสิว [12] อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้เชื่อมีการผลิตสารสำคัญออกมาให้ได้ปริมาณมากเพียงพอในการนำไปเป็นส่วนผสมของเจลแต้มสิวเพื่อให้ได้สูตรเจลแต้มสิวที่มีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

การทดสอบผลข้างเคียงของเจลแต้มสิวที่มีส่วนผสมของชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ด้วยวิธี Open Patch Test

เจลแต้มสิวผสมชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ไม่แสดงผลข้างเคียงในลักษณะของการก่อผื่นแพ้ในอาสาสมัครจำนวน 15 ราย เมื่อทดสอบด้วยวิธี open patch test อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าวิธีดังกล่าว เหมาะกับการทดสอบเครื่องสำอางที่เป็นสารเคมีที่ก่ออันตรายต่อผิวและมักใช้กับสารที่มีประวัติให้ความระคายเคืองหรือเกิดการแพ้ได้บ่อย เช่น ผงซักฟอก สบู่ น้ำยาคัดผมสารที่ทำให้เกิดการแพ้ขึ้นจะแสดงปฏิกิริยาภายใน 48 ถึง 72 ชั่วโมง จึงควรมีการทดสอบการแพ้ของผิวหนังแบบ prick- puncture test ร่วมด้วย โดยเป็นการทดสอบโดยหยดสารที่จะทดสอบแล้วมีการสะกิดผิวหนังให้เกิดแผลเพื่อดูการแพ้จึงน่าจะเหมาะกับการนำไปทดสอบการแพ้ของเจลแต้มสิวเนื่องจากการนำไปใช้จริงๆ นั้นสิวลอาจทำให้มีการอักเสบและเกิดเป็นแผลได้ [10-11]

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ที่มีความเข้มข้นของโปรตีนตั้งต้นเท่ากับ 2.3 มก./ มล. ที่เตรียมได้จากการตกตะกอนโปรตีนของน้ำเลี้ยงเชื้อ *B. laterosporus* ในวันที่ 4 ด้วย 80% แอมโมเนียมซัลเฟตมีฤทธิ์ปฏิชีวนะต้านแบคทีเรียได้กับ *S. aureus* และ *S. epidermidis* (Titer 1:16) ดีกว่า *P. acnes* (Titer 1:8) และฤทธิ์ปฏิชีวนะดังกล่าวจะลดลงเมื่อนำไปผสมในรูปของเจลแต้มสิวลอาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนของชีวสารที่ถูกเจือจางลดลงเหลือเพียง 0.087 มก./ มล. ซึ่งระดับความเข้มข้นดังกล่าวแบคทีเรียกลุ่ม Staphylococci ถูกต้านการเจริญได้ดีกว่า *P. acnes* โดย *S. epidermidis* (Titer 1:4) ถูกต้านการเจริญได้ดีกว่า *S. aureus* (Titer 1:2) เจลแต้มสิวดังกล่าวแสดงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ค่อนข้างดีเทียบเท่ากับเจลแต้มสิทางการค้าที่มีส่วนผสมของยาคลินดามัยซิน และไม่ส่งผลก่อให้เกิดอาการแพ้ใดๆ บริเวณผิวหนังได้ทั้งแขนของมนุษย์ จึงเป็นที่น่าสนใจหากจะนำชีวสารกึ่งบริสุทธิ์ดังกล่าวมาเพิ่มความเข้มข้นก่อนใช้เป็นส่วนผสมของเจลแต้มสิวเพื่อพัฒนาให้ได้สูตรเจลแต้มสิวที่มีประสิทธิภาพต่อไป แต่ควรคำนึงถึงผลข้างเคียงต่อผู้ใช้งานจึงควรเพิ่มการทดสอบแบบ prick puncture test [11] ในกลุ่มอาสาสมัครร่วมด้วย เพื่อยืนยันผลข้างเคียงที่อาจจะเกิดขึ้นในกรณีที่ผิวหนังเป็นแผลเลียนแบบสภาวะการเกิดสิวลอักเสบ

คำขอบคุณ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัย (RSA5080008) และทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ร่วมกับสถาบันการศึกษา (GSB Startup University Model) ภายใต้โครงการชื่อ “TriOCIN” ขอขอบคุณสำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และวัสดุอุปกรณ์บางส่วนในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] US Patent Application 20090143295. (2009). **Peptide-Based Antiacne Reagents** (Online). Retrieved 1 December 2009, from <http://www.patentstorm.us/applications/20090143295.html>.
- [2] Ubonsak, V. (2009). **Development of Cosmetic Gels for Acne from the Extract of *Excoecaria cochinchinensis* Lour** (Online). Retrived 18 January 2013, from, http://eoffice.pharmacy.cmu.ac.th/mis/student/student_detail.asp?id=4630016.
- [3] Swanson, I.K. (2003). “Antibiotic Resistance of *Propionibacterium acnes* in Acnes Vulgaris”, **Dermatology Nursing**. 5. 359–361.
- [4] Sukatta, U., Rugthaworn, P., Pitpiangchan, P. and Dilokkunanant, U. (2008). “Development of Anti-Acne Gel from Mangosteen Crude Extract”, **Kasetsart Journal (Natural Science)**. 42, 163-168.
- [5] Athikomkulchai, S., Wathanachaiyingcharoen, R., Tunvichien, S., Vayumhasuwan, P., Karnsomkiet, P., Sae-Jong, P. and Ruangrunsi, N. (2008). “The Development of Aanti-Acne Products from Eucalyptus Globulus and Psidium Guajava Oil”, **Journal of Health Research**. 22(3), 109-113.
- [6] Lertcanawanichakul, M., Choopan, A., Nakbud, K. and Dawveerakul, K. (2009). **Study on *Brevibacillus laterosporus*. Strain SA14 for Associated Anti-Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus*** (Online). Retrieved 18 January 2016, from: http://www.scisoc.or.th/stt/34/paper/STT34_B2_B0001.pdf.
- [7] Volesky, B., Luong J.H.T. and Aunstrup, K. (1984). “Microbial Enzymes: Production, Purification, and Isolation”, **Critical Reviews in Biotechnology**. 2(2), 119-146.
- [8] Bradford, M.M. (1976). “A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding”, **Analytical Biochemistry**. 72, 248-254.
- [9] Prasantn. M. (2011). “Antimicrobial Efficacy of Different Toothpastes and Mouth Rinses: An *In Vitro* Study”, **Dental Research Journal**. 8(2), 85-94.
- [10] Siriraj Piyamaharajkarun Hospital. (2009). **Allergic Contact Dermatitis Tested by Patch Test** (Online). Retrieved 22 January 2015, from: <http://www.biopluschem.com/index.php=show&ac=article&Id=17805>.
- [11] Triyasut, V., Itharat, A., Chakkavittumrong, P. and Kanokkangsadai, P. (2016). “Irritant Reaction on Skin of Long Pepper Extract in Healthy Volunteers (Clinical Trial Phase I)”, **Thammasat Medical Journal**. 16(4), 608-615.
- [12] US Patent 5981473. (1999). **Composition and Method for Treating Acne** (Online). Retrieved 1 December 2009, from <http://www.patentstorm.us/patents/5981473/fulltext.html>.

การสำรวจการต้านอนุมูลอิสระของน้ำพริกลาบในจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และลำปาง

Survey of the Antioxidant Activity of Nam Prilk Larb Sold in the Chiang Mai, Lamphun and Lampang

อานง ไจแน่น^{1*}

Anong Jainan^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสำรวจฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของพริกลาบในจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และลำปาง โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตามความสะดวกมีจำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งน้ำพริกลาบแต่ละตัวอย่างจำนวน 100 กรัม มาวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่า ตัวอย่างน้ำพริกลาบลำดับที่ 10 จากจังหวัดเชียงใหม่มีปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์สูงสุด (324.11 mg GAE / 100 g DW และ 253.31 mg CAE / 100 g DW) ได้แก่ DPPH (745.59 mg ascorbic acid / 100 g DW) พบว่ามีค่า ABTS และ FRAP สูงสุดตามลำดับจากสารสกัดหยาบจากตัวอย่างน้ำพริกลาบลำพูนลำดับที่ 6 ซึ่งมีปริมาณแอสคอร์บิกเป็น 465.04 มิลลิกรัม / 100 กรัมและ 29.51 ไมโครลิตร Fe^{2+} / g DW ตามลำดับ สารสกัดจากน้ำพริกลาบแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่จะมีสารฟีนอลและฟลาโวนอยด์สูงรวมกับสารต้านอนุมูลอิสระดังนั้นจึงเป็นส่วนผสมในอาหารไทยที่มีประโยชน์ในรสชาติหรือกลิ่นหอมของเครื่องเทศเพื่อสุขภาพ

คำสำคัญ: สารต้านอนุมูลอิสระ น้ำพริกลาบ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์

Abstract

This research was conducted to survey the antioxidant activity and total phenolic content of Nam Prilk Larb from Chiang Mai, Lamphun and Lampang. Ten convenience samplings with 100 grams of Nam Prilk Larb each was analyzed for antioxidant activities. Ten Larb seasonings from different area in Chiang Mai, Lamphun and Lampang of Thailand were evaluated for total phenolic and flavonoid content including the antioxidant activity (DPPH, ABTS and FRAP). The 10th Larb seasoning from Chiang Mai had the highest total phenolic and flavonoid content (324.11 mg GAE/100 g DW and 253.31 mg CAE/100 g DW), including DPPH activity (745.59 mg ascorbic acid/100 g DW). The highest ABTS and FRAP activity was obtained from the crude extract of 6th Larb seasoning from Lamphun, which was 465.04 mg ascorbic acid/100 g DW and 29.51 $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ /g DW, respectively. All of crude extracts from each Larb seasoning tend to have high content of the total phenolic and flavonoid, incorporate with the antioxidant activity. Thus Larb seasoning is a kind of ingredient in Thai food which contains in the benefits of flavors or aroma culinary spices for health.

Keywords: Antioxidant, Nam Prilk Larb, Phenolic Compound, Flavonoid Compound

¹ อ., โรงเรียนการเรือน สาขาเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ มหาวิทยาลัยสวนดุสิตศูนย์การศึกษานอกที่ตั้งลำปาง 52100

¹ Lecturer, School of Culinary Arts, Program in Culinary Technology and Service, Suan Dusit University, Lampang Center, 52000

* Corresponding author: Tel.: 062-1946-293. E-mail address: noi.boy@hotmail.com

Introduction

Thai food is presently appealing to be interest due to the health benefits from the flavors and aroma of culinary spices. As the northern Thai food are commonly made from vegetables, herbs and spices, which are the sources of phytochemicals possess effect of human health. Spicy mincemeat or Larb in Thai, is an identity food in northern Thailand. The main ingredient or seasoning in it is Larb seasoning (Num Prilk Larb). Larb seasoning components include chilli, garlic, shallot, galangal, lemongrass, makwaen, long peper, coriander seed and shrimp paste, almost 80% of whole seasoning. The 20% remaining of Larb seasoning are spices such as cumin, cinnamon, clove, star anise, cardamom, nutmeg, mace, fennel, black pepper, sand ginger, and so on. Owing to Larb seasoning's major ingredients have various bioactivities such as antioxidant, antibacterial, antitumor, antimutagenicity, antidiabetic and anticancer etc [1-2].

The relationship between antioxidant food and health has been widely examined. Numerous diseases such as aging, coronary heart disease, cancer, alzheimer and so on came from the oxidative and free radical reactions in body [3]. There are many researches that report phytochemicals in culinary vegetables and spices have accepted to be the great sources of antioxidant, to prevent diseases caused as a result of oxidative stress which releases reactive oxygen species such as singlet oxygen and various radicals as damaging side effect of aerobic metabolism. These radicals are possibly the reason of disorders including cardiovascular malfunctions, tissue injury, DNA damage and tumor promotion [4]. Antioxidants found in food are heterogeneous category of molecules that can safely interact with free radicals and terminate the reaction before vital molecules are damaged [5].

Culinary herbs and spices have been used for thousands years in medicine and also as preservative agents to extend the shelf-life of food and enhance or improve the flavor and organoleptic properties of different types of food due to their sensory properties [6-7]. The bioactive compounds of these plant-based products have been evaluated, including vitamins, flavonoids, terpenoids, carotenoids, phenolic compounds and minerals [7]. Moreover, there are many researches report that phytochemicals that are beneficial for human, especially polyphenols, such as antioxidant activity, digestive stimulant action, anti-inflammatory, antimicrobial, hypolipidemic, antimutagenic, anticarcinogenic potential etc [8]. Additionally, polyphenols can extend the shelf-life of rich lipid foods [9].

Therefore, Larb seasoning (Num Prilk Larb) consists of many spices and herbs may possess antioxidant activity and medicinal properties. The different source of Larb seasoning was collected and investigated the total phenolic and flavonoid contents, including antioxidant activity of each sample.

The antioxidant activities in Larb seasoning or Nam Prilk Laab from different areas in the northern of Thailand were compared by three different methods such as DPPH radical scavenging assay, ABTS radical cation decolorization assay and Ferric reducing antioxidant power assay. Moreover, the total phenolic and total flavonoid contents of each sample were also determined and related to their antioxidant activity.

Materials and Methodology

Materials

(2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)) (Diammonium Salt) ABTS, (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), gallic acid, catechin and ascorbic acid were purchased from Sigma-Aldrich Co. (St Louis, MO). 2,4,6-Tripyridyl-s-triazine (TPTZ) were purchased from Fluka (Germany). Folin-Ciocalteu reagent, ethanol, sodium

carbonate, di-sodium hydrogen phosphate, sodium dihydrogen phosphate, potassium dihydrogen phosphate and dipotassium hydrogen phosphate were all obtained from Merck (Germany). Ferrous chloride was obtained from QREC (Malaysia).

Sample Collection and Extraction

Total 10 commercially Larb seasoning were purchased from the local market in the north of Thailand. Ten gram of each sample was extracted with 200 ml of 95 % ethanol at 50 °C in a shaking water bath for 8 hours. The supernatants were stored in capped bottles and stored at -20 °C until use to determine total phenolic content, total flavonoid content and antioxidant activity.

Determination of Total Phenolic Content (TPC)

Total phenolic content of the extracts was determined by the Folin-Ciocalteu method with a minor modification from Singleton and Rossi [10]. Briefly, 20 µl of the extract, dissolved in ethanol was mixed with 100 µl of Folin-Ciocalteu's solution, then 80 µl of 7.5 % (w/v) sodium carbonate solution was added. The reaction mixture was incubated at room temperature in dark for 90 minutes and the absorbance was measured at 765 nm. Gallic acid was used as a standard and the total phenolic content was expressed as mg of gallic acid equivalents per gram dry weight of sample (mg GAE/100 g DW).

Determination of Total Flavonoids Content (TFC)

Total flavonoids content was determined according to the method of Mariniva *et al.* [2]. The extract 100 µl was mixed well with 400 µl of deionized water and 30 µl of 3 % sodium nitrite and stood for 5 minutes. Then, 30 µl aluminum chloride solution was added into the mixture, incubated for 6 minutes. After that, sodium hydroxide solution 200 µl was added and adjusted the volume with deionized water. The mixture was measured the absorbance at 510 nm. Catechin was used as a standard and the total flavonoids content was expressed as mg of catechin equivalents per gram dry weight of sample (mg CAE /100 g DW).

Determination of Antioxidant Activity

DPPH radical scavenging assay

The free radical scavenging activity was determined DPPH assay according to the method of Duan *et al.* [11]. The extract of 20 µl was mixed with 200 µl of 0.3 mM DPPH in methanol and then incubated at 37 °C for 30 min in the dark. Immediately, the absorbance was measured at 515 nm. Absorbance decreases were calculated as DPPH values by comparing with standard curves created by ascorbic acid, and the results were reported as mg ascorbic acid equivalent per gram dry weight of sample (mg ascorbic acid equivalent/100 g DW).

ABTS Radical Cation Decolorization Assay

ABTS radical scavenging activity was determined according to the method of Re *et al.* [12] with some modifications. The radical ABTS^{•+} was produced by reacting 7 mM ABTS and 2.45 mM potassium persulfate buffer (1:1) and kept for 16 h in dark at room temperature. After 16 hours, ethanol was used to adjust the absorbance of the radical ABTS^{•+} to 0.70 ± 0.05 at 734 nm. 1.9 ml of the radical ABTS^{•+} was added to 50 µl of sample at different concentrations. The mixture was stored at room temperature for 6 min, and then the absorbance was measured against the blank at 734 nm. The calibration curve was constructed using different concentration of ascorbic acid. The results were expressed in mg ascorbic acid equivalent/100 g DW.

Ferric Reducing Antioxidant Power Assay

The total antioxidant potential of a sample was determined using the ferric reducing ability of FRAP assay by Benzie and Strain [13] as a measurement of antioxidant power. The assay was based on the reducing power of a compound (antioxidant). A potential antioxidant will reduce the ferric ion (Fe^{3+}) to the ferrous ion (Fe^{2+}); the latter forms a blue complex ($\text{Fe}^{2+}/\text{TPTZ}$), which had increased the absorption at 593 nm. Briefly, the FRAP reagent was prepared by mixing acetate buffer (300 mM, pH 3.6), a solution of 10 mM TPTZ in 40 mM HCl, and 20 mM FeCl_3 at 10:1:1 (v/v/v). The reagent (190 μl) and sample solutions (10 μl) were added to each well and mixed thoroughly. The absorbance was taken at 593 nm after 15 min. Standard curve was prepared using different concentrations of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. All solutions were used on the day of preparation. The results were expressed in $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g DW}$. The standard curve of DPPH and ABTS (mg standard equivalent per 100 gram of dry weight sample) was constructed by the concentration of standard and percentage inhibition.

$$\% \text{ inhibition} = \frac{(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}})}{A_{\text{control}}} \times 100$$

Statistical Analysis

Data were presented as mean value $\pm$ standard deviation (three replicate experiments). Analysis of variance and significant differences among means were determined by one-way ANOVA using SPSS (version 17, SPSS Inc., Chicago, USA). Student's t-test and value of $p < 0.05$ were considered to be significant.

Results and Discussion

Total Phenolic and Flavonoid Content in the Larb Seasoning

Larb seasoning or Nam Prilk Larb usually composes of many culinary herbs and spices, which are interested for their content of phytochemicals important substance because of health-related benefits [14]. The antioxidant property in many culinary herbs and spices is related to the presence of phenolic compounds. The phenolic and flavonoids have been proven to increase the shelf life of foods as well as slowing the lipid, protein and enzymatic oxidation. Moreover, phenolic and flavonoid compounds reduce the rancidity development, which could prevent off-flavor of foods [2].

Total phenolic content (TPC) is an important parameter of total antioxidant capacity (TAC), and widely used for evaluation of herbs, spices, fruits, cereals and natural sources extract [3]. The Folin-Ciocalteu assay is based on the reduction of the Folin-Ciocalteu reagent by phenolic compounds under alkaline condition, the principle of assay is the reduction of the Folin-Ciocalteu reagent in the presence of phosphomolybdic/phosphotungstic acid complexes that are reduced to yield a blue-coloured chromophore with maximum absorption at 765 nm [3-4]. The commonly used reference standard is gallic acid [5]. Due to the diversity and complexity of natural mixtures of phenolic compounds in plant extracts, it is rather difficult to characterize every phenolic compound, thus the Folin-Ciocalteu assay, it is a simple and rapid method, widely used to determined the total concentration of phenolic compounds [6-7].

The total phenolic content (TPC) was determined in comparison with standard gallic acid and the results expressed in terms of mg GAE/ 100 g DW. Among all samples extracts investigated, total phenolic content ranged from 104.94 to 324.11 mg GAE/ 100 g DW (Table 1). The highest total phenolic content is the Nam Prilk Larb (No.10) which was collected from Chiang Mai area, because the main ingredient or seasoning components is it long peper, coriander seed and cardamom, nutmeg of but the lowest sample (No. 2) was collected from Lampang area. The total flavonoid content (TFC)

was determined in comparison with standard catechin and the results expressed in terms of mg CAE/ 100 g DW. The total flavonoid content of crude Nam Prilk Larb extracts were in the range of 35.01-253.31 mg CAE/ 100 g DW, respectively (Table 1). The highest and lowest total flavonoid content of Nam Prilk Larb was similar to the total phenolic content (No. 10 and 2, respectively). The total phenolic content was different because of the difference types of plant, geographic locations, environment, season, part used, processing and storage and plant extract contained lower total flavonoid content than total phenolic content, due to the presence of non-flavonoid phenolic substances in herbs and spices [7-15].

The phenolic compounds have been widely investigated to be responsible for the antioxidant activity of plant materials, also the potential models for developing the new primary antioxidants, which can prevent or delay *in vitro* and/or *in vivo* oxidation processes [16-18]. Flavonoids are the largest class of phenolic compounds, which are plentiful in the plants, and essential for human health because of their high pharmacological activities as radical scavengers [19-20]. Flavonoids are the one interested substances because of the health benefits, which it could arise the antioxidant activity, free radical scavenging capacity, coronary heart disease prevention and anticancer activity, while some flavonoids show the potential for anti-human immunodeficiency virus functions [21]. These results indicated that the phenolic and flavonoid compounds primarily contributed to the antioxidant capacity of Nam Prilk Larb. Moreover, it is apparent that Larb seasoning in Thai northern foods supplies antioxidant compounds.

Antioxidant Activity of the Extracts from Larb Seasoning

The determination of antioxidant capacity of natural materials *in vitro* as several analytical methods. The antioxidant activity of plant extracts or natural product extracts cannot be evaluated using only one method, because of the complex composition of phytochemical and oxidative processes [22]. Thus, the antioxidant activities of Nam Prilk Larb extracts were focused on three common assays, which are DPPH, ABTS and FRAP, were based on different radicals and mechanism of reactions.

Table 1 Total Phenolic and Flavonoid Content of Each Larb Seasoning Extracts.

Sample	Total phenolic content (mg GAE/100 g DW)	Total flavonoid content (mg CAE /100 g DW)
1	106.12 ± 3.08 ^a	50.34 ± 7.69 ^b
2	104.94 ± 4.69 ^a	35.01 ± 5.46 ^a
3	145.90 ± 3.35 ^b	66.93 ± 1.27 ^c
4	185.22 ± 5.46 ^d	123.94 ± 2.86 ^c
5	160.99 ± 3.90 ^c	64.33 ± 2.73 ^c
6	257.90 ± 1.89 ^f	113.46 ± 0.39 ^d
7	223.82 ± 5.23 ^e	111.23 ± 2.30 ^d
8	262.46 ± 6.69 ^f	165.12 ± 3.29 ^g
9	320.93 ± 5.38 ^g	134.37 ± 2.99 ^f
10	324.11 ± 2.89 ^g	253.31 ± 1.14 ^h

GAE: gallic acid equivalent; CAE: catechin equivalent

Mean (± S.D.) with different superscripts in each column are significantly different ($p < 0.05$).

a, b, c, d, e, f, g, h values in a column followed by different superscripts letters are significantly different ($p < 0.05$).

2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay is a single electron transfer (ET) reaction-based method with hydrogen atom transfer (HAT) reaction mechanism that has been widely used to determine the free radical scavenging ability of various sample [23-24]. The reaction is accompanied with color change of the DPPH from purple to yellow by the formation of DPPH upon absorption of hydrogen from an antioxidant, and the discolouration acts as an indicator of the antioxidant efficacy [20-21]. The DPPH activity of ten Nam Prilk Larb extracts are presented in Table 2. It was ranged from 142.44 to 745.59 mg ascorbic acid/100 g DW ($p < 0.05$). Significant differences of DPPH activity among ten Nam Prilk Larb samples extracts were found ($p < 0.05$). The No.10 sample extract showed the strongest inhibition activity with 745.59 mg ascorbic acid/100 g DW, followed by No.9 (549.11 mg ascorbic acid/100 g DW) and No. 8 (505.85 mg ascorbic acid/100 g DW), respectively.

The ABTS assay measures the ability of antioxidants to scavenge the stable radical cation $ABTS^{+•}$ (2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)), a blue-green chromophore with maximum absorption at 734 nm which decreases in its intensity in the presence of antioxidants [25]. The use of ABTS radicals for measuring radical quenching, redirecting antioxidants instead to distinguishing electron transfer reaction mechanism [3]. The ATBS activity of each Nam Prilk Larb extract is shown in Table 2. The results of ABTS activity are not significantly different in the extract of 6th – 10th ($p > 0.05$). It was ranged from 460.06-465.04 mg ascorbic acid/100 g DW. The lowest ABTS activity (287.11 mg ascorbic acid/100g DW) is obtained from the extract of 1st Nam Prilk Larb.

The FRAP assay determines the ability of the extracts to reduce ferric ions, which is the reducing potential of antioxidant reacting with ferric tripyridyltriazine (Fe^{3+} -TPTZ) complex to the intensely blue colored ferrous tripyridyltriazine (Fe^{2+} -TPTZ) complex in acidic media [13, 25]. The ferric reducing ability powers of the extracts from Nam Prilk Larb sample expressed as FRAP values ($\mu\text{mol } Fe^{2+}/\text{g DW}$) are shown in Table 2. The No.6 sample extract had the highest FRAP value of 29.51 $\mu\text{mol } Fe^{2+}/\text{g DW}$, followed by the 4th, 1th and 9th (19.63, 17.22 and 17.19 $\mu\text{mol } Fe^{2+}/\text{g DW}$), respectively. Thus, the 6th Nam Prilk Larb stands out as having significantly strongest FRAP activity ($p < 0.05$).

The antioxidant activities of Nam Prilk Larb are shown in Table 2. The phenolic compounds and flavonoids are mainly contributed in herbs and spices, which are consisted in Nam Prilk Larb. Generally, Thai culinary herbs, spices or vegetables have been recognized to contain excellent source of antioxidant compounds, which contain high phenolic compounds content, e.g., gallic acid, caffeic acid, catechins, anthocyanin, quercetin and rutin [6]. They could inhibit oxidative stress by antioxidant mechanism which are known to be a powerful chain breaking antioxidant, radical scavengers, metal chelators, reducing agents, hydrogen donors, and singlet oxygen quenchers, is acting as primary antioxidants or free radical terminators, so it was widely to evaluate their content in plant extracts [6, 26].

Table 2 Antioxidant Activities of Each Larb Seasoning Extracts.

Sample	DPPH (mg ascorbic acid/ 100g DW)	ABTS (mg ascorbic acid/ 100g DW)	FRAP ($\mu\text{mol Fe}^{2+}$ /g DW)
1	205.43 $\pm$ 1.20 ^b	287.11 $\pm$ 4.40 ^a	17.22 $\pm$ 0.34 ^c
2	142.44 $\pm$ 5.99 ^a	290.54 $\pm$ 5.24 ^a	13.06 $\pm$ 0.76 ^a
3	279.10 $\pm$ 9.24 ^c	420.27 $\pm$ 5.00 ^b	16.67 $\pm$ 0.86 ^d
4	384.55 $\pm$ 3.34 ^c	449.44 $\pm$ 3.19 ^c	19.63 $\pm$ 0.68 ^c
5	298.59 $\pm$ 2.47 ^d	460.06 $\pm$ 3.96 ^d	17.14 $\pm$ 0.96 ^d
6	492.67 $\pm$ 7.89 ^f	465.04 $\pm$ 1.29 ^d	29.51 $\pm$ 1.05 ^e
7	485.22 $\pm$ 2.53 ^f	463.08 $\pm$ 1.04 ^d	14.33 $\pm$ 0.61 ^b
8	505.85 $\pm$ 1.86 ^g	462.14 $\pm$ 0.68 ^d	14.89 $\pm$ 0.69 ^b
9	549.11 $\pm$ 6.59 ^h	462.69 $\pm$ 1.07 ^d	17.19 $\pm$ 0.19 ^c
10	745.59 $\pm$ 4.00 ⁱ	465.01 $\pm$ 4.01 ^d	14.36 $\pm$ 0.09 ^b

Mean ($\pm$ S.D.) with different superscripts in each column are significantly different ($p < 0.05$).

a, b, c, d, e, f, g, h, i values in a column followed by different superscripts letters are significantly different ($p < 0.05$).

Conclusion

Nam Prilk Larb is consists of various herbs and spices. The antioxidant activity by three different methods DPPH radical scavenging assay, ABTS radical cation decolorization assay and Ferric reducing antioxidant power assay. The result showed that 10th Larb seasoning had total phenolic and total flavonoid contents higher 324.11 mg GAE/100 g DW and 253.31 mg CAE/100 g DW where as antioxidant capacity was 745.59 mg ascorbic acid/100 g DW for DPPH. The highest ABTS and FRAP activity was obtained from the crude extract of 6th Larb seasoning, which was 465.04 mg ascorbic acid/100 g DW and 29.51 $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ /g DW, respectively. Moreover, the total phenolic and total flavonoid contents of each sample were also determined and related to their antioxidant activity.

References

- [1] Lako, J., Trenerry, V., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S. and Premier, R. (2007). . . “Phytochemical Flavonols, Carotenoids and the Antioxidant Properties of a Wide Selection of Fijian Fruit, Vegetables and Other Readily Available Foods”, **Journal of Food Chemistry**. 102, 777-783.
- [2] Kähkönen, M., Hopia, A., Vuorela, H., Rauha, J., Pihlaja, K., Kujala, T. and Heinonen, M. (1999). “Antioxidant Activity of Plants Extracts Containing Phenolic Compounds”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 47, 3954-3962.
- [3] Shahidi, F. and Zhong, Y. (2015). “Measurement of Antioxidant Activity”, **Journal of Functional Foods**. 18, 757-781.

- [4] Magalhaes, L. M., Segundo, M. A., Reis, S. and Lima, J. L. F. C. (2008). “Methodological Aspects about in Vitro Evaluation of Antioxidant Properties”, **Analytica Chimica Acta**. 613, 1-19.
- [5] Karadag, A., Ozcelik, B. and Saner, S. (2009). “Review of Methods to Determine Antioxidant Capacities”, **Food Analytical Methods**. 2, 41-60.
- [6] Maisuthisakul, P. (2012). **Phenolic Constituents and Antioxidant Properties of Some Thai Plants**. Croatia: Intech Open.
- [7] Prior, R. L., Wu, X. and Schaich, K. (2005). “Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Food and Dietary Supplements”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53, 4290-4302.
- [8] Perez-Jimenez, J. and Saura-Calixto, F. (2005). “Literature Data May Underestimate the Actual Antioxidant Capacity of Cereals”, **Journal of Agricultural Food Chemistry**. 53(12), 5036-5040.
- [9] Kaisoon, O., Siriamornpun, S., Weerapreeyakul, N. and Messo, N. (2011). “Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Edible Flowers from Thailand”, **Journal of Functional Foods**. 3, 88-99.
- [10] Slinkard, K. and Vernon, L. S. (1997). “Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods”, **American Journal Enology and Viticulture**. 28, 49-55.
- [11] Duan, S.W. and Bianchi, T.S. (2006). “Seasonal Changes in the Abundance and Composition of Plant Pigments in Particulate Organic Carbon in the Lower Mississippi and Pearl Rivers (USA)”, **Estuaries and Coasts**. 29, 427-442.
- [12] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. (1999). “Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. Free Rad”, **Biology and Medicine**. 26, 1231-123.
- [13] Benzie, I. F. and Strain, J. J. (1996). “The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay”, **Biochemistry**. 239, 70-76.
- [14] Maisuthisakul, P., Suttajit, M. and Pongsawatmanit, R. (2007). “Assessment of Phenolic Content and Free Radical-Scavenging Capacity of Some Thai Indigenous Plants”, **Food Chemistry**. 100, 1409-1418.
- [15] Pietta, P. (2000). “Flavonoids as Antioxidants”, **Journal of Natural Products**. 63, 1035-1042.
- [16] Rice-Evans, C., Miller, N. and Paganga, G. (1996). “Structure–Antioxidant Activity Relationships of Flavonoids and Phenolic Acids. Free Radical”, **Biology and Medicine**. 20, 933-956.
- [17] Barreira, C. M. J., Ferreira, C. F. R. I., Beatriz, M., Oliveira, P. P. J. and Pereira, A. (2008). “Antioxidant Activities of the Extracts from Chestnut Flower, Leaf, Skins and Fruit”, **Food Chemistry**. 107, 1106-1113.
- [18] Siquet, C., Paiva Martins, F., Lima, J. L. F. C., Reis, S. and Borges, F. (2006). “Antioxidant Profile of dihydroxy- and trihydroxyphenolic acids-A structure–activity Relationship Study”, **Free Radical Research**. 40, 433-442.
- [19] Abu Bakar, M. F., Mohamed, M., Rahmat, A. and Fry, J. (2009). “Phytochemicals and Antioxidant Activity of Different Parts of Bambangan (*Mangifera Pajang*) and Tarap (*Artocarpus Odoratissimus*)”, **Food Chemistry**. 113, 479-483.

- [20] Nugboon, K. and Intarapichet, K. (2015). “Antioxidant and Antibacterial Activities of Thai Culinary Herb and Spice Extracts and Application in Pork Meatballs. International”, **Food Research Journal**. 22(5), 1788-1800.
- [21] Yao, L. H., Jiang, Y. M., Shi, J., Tomas-baeberan, F. A., Datta, N., Singanusong, R., et al. (2004). “Flavonoids in Food and Their Health Benefits. Plant”, **Foods for Human Nutrition**. 59, 113-122.
- [22] Inchuen, S., Narkruga, W. and Pornchaloempong, P. (2010). “Effect of Drying Methods on Chemical Composition, Color and Antioxidant Properties of Thai Red Curry Powder”, **Kasetsart Journal (Natural Science)**. 44, 142-151.
- [23] Amarowicz, R., Pegg, R. B., Rahimi-Moghaddam, P., Barl, B. and Weil, J. A. (2004). “Free-Radical Scavenging Capacity and Antioxidant Activity of Selected Plant Species from the Canadian Prairies”, **Food Chemistry**. 84, 551-561.
- [24] Schaich, K. M., Tian, X. and Xie, J. (2015). “Hurdles and Pitfalls in Measuring Antioxidant Efficacy: A Critical Evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC Assays”, **Journal of Functional Foods**. 14, 111-125.
- [25] Moon, J. K. and Shibamoto, T. (2009). “Antioxidant Assays for Plant and Food Components”, **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. 57, 1655-1666.
- [26] Adewusi, E.A. and Steenkamp, V. (2011). “*In Vitro* Screening for Acetylcholinesterase Inhibition and Antioxidant Activity of Medicinal Plants from Southern Africa”, **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**. 10, 829-835.

การพัฒนาสูตรน้ำปรุงรสผัดพริกสำหรับหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูป

Formulation of Pud Prik Flavoured Sauce for Instant Betong Noodle

วิภาดา มุณินทรนพมาศ^{1*}, กมลทิพย์ กรรไพบระ², สุธีรา ศรีสุข², จีรวุฒ มุณินทรนพมาศ³ และอับดุลนาเซอร์ ฮายีสามะ⁴

Wipada Muninnopamas^{1*}, Kamontip Kanpairo², Suteera Srisuk², Jeerawoot Muninnopamas³

and Abdulnaser Hayeesamoh⁴

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อพัฒนาน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูป สูตรที่พัฒนาขึ้นนี้มีส่วนผสมประกอบด้วยน้ำตาล ซีอิ๊วดำ ซีอิ๊วขาว น้ำมันพืช กระเทียม ซอสหอยนางรม หอมหัวใหญ่ และพริกหยวก คิดเป็นร้อยละ 12 1.5 20 36 4 6 10.25 และ 10.25 ตามลำดับ ปริมาณน้ำปรุงรสผัดพริกที่เหมาะสมต่อเส้นหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูป 117 กรัม พบว่า น้ำปรุงรสผัดพริกปริมาณ 50 กรัมต่อเส้นหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูป 117 กรัม ผู้บริโภคให้ลำดับความชอบเป็นอันดับหนึ่ง คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูปสูตรที่ตรวจวัด ได้แก่ ค่าสี ($L^* a^* b^*$) และค่า Water Activity (a_w) มีค่าเท่ากับ (16.83 10.27 23.84) และ 0.53 ตามลำดับ คุณลักษณะทางเคมีที่ตรวจวัด ได้แก่ ค่าพีเอช มีค่าเท่ากับ 4.77 ส่วนองค์ประกอบเป็นร้อยละของเกลือ น้ำตาล ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เชื้อใย และคาร์โบไฮเดรต มีค่าเท่ากับ 2.81 1.16 7.22 0.54 38.05 9.33 2.34 และ 44.86 ตามลำดับ ผลการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 31.8 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ในระดับชอบมากและมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.30 ± 1.49

คำสำคัญ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ หมีเบตง น้ำปรุงรสผัดพริก

Abstract

The purpose of this study was to develop the Pud Prik Flavoured Sauce for instant Betong Noodle. The developed sauce formula consisted of sugar, black soy sauce, soy sauce, vegetable oil, garlic, oyster sauce, onion and bell pepper at the percentage ratio of 12, 1.5, 20, 36, 4, 6, 10.25 and 10.25, respectively. The optimum quantity of Pud Prik Flavoured sauce to the instant Betong noodle at the weight of 117 g was determined to be at the weight of 50 g, which was the most favorite recommended by panelist. The physical characteristics of the developed flavored sauce determined such as color value ($L^* a^* b^*$) and water activity (a_w) were (16.83, 10.27, 23.84) and 0.53 respectively. The chemical characteristics of the developed sauce determined for pH was 4.77, as the percentage of salt, sugar, moisture, protein, fat, ash, fiber and carbohydrate were 2.81, 1.16, 7.22, 0.54, 38.05, 9.33, 2.34 and 44.86, respectively. The results of consumer survey for flavored sauce found that 31.8 % of the respondents were very favorably with the average score of 7.30 ± 1.49 .

Keywords: Product Development, Betong Noodle, Pud Prik Sauce

¹ ผศ., สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

² อ., สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

³ ผศ., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

⁴ รศ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

¹ Asst. Prof., Food Science and Technology, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 95000

² Lecturer, Food Science and Technology, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 95000

³ Asst. Prof., Computer Science, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 95000

⁴ Assoc. Prof. Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 95000

* Corresponding author: Tel. 086-9566595, E-mail address: wipada.m@yru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันการดำรงชีวิตของคนวัยทำงานเต็มไปด้วยความรีบเร่ง ทำให้มีเวลาในการจัดเตรียมอาหารน้อยลง ผู้บริโภคจึงหันมารับประทานอาหารที่มีความสะดวก รวดเร็ว ซื้อง่ายสามารถรับประทานได้ทันทีและราคาต้องไม่แพง เพื่อให้เหมาะกับสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน [1] ดังนั้นจึงมีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่สอดคล้องกับวิถีชีวิตของผู้บริโภค ในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น ได้แก่ อาหารกึ่งสำเร็จรูป โดยอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่เป็นที่นิยมได้แก่ อาหารจานเดียวแช่เยือกแข็ง และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น โดยเฉพาะบะหมี่เป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันทั่วไปในหมู่ชาวเอเชีย มีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ การผสม การรีดให้เป็นแผ่นบางและการตัดเป็นเส้นได้บะหมี่สดที่มีความชื้นสูงและเก็บรักษาได้ไม่นาน การนำบะหมี่สดมาอบแห้งได้บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นต่ำและสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน [2] โดยหมีเบตงจัดเป็นผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักและเป็นที่นิยมบริโภคใน 3 จังหวัดชายแดนใต้ มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่โดดเด่นคือเส้นเหนียว และนุ่ม [3] ผลจากการนำแป้งสาลี น้ำ และเกลือ อาจแต่งด้วยสีที่ได้จากธรรมชาติแล้วนวดผสมให้เข้ากันแล้วรีดให้เป็นแผ่นตัดเป็นเส้น นึ่งให้สุก จับเส้นรวมกันแล้วมัดเป็นก้อน ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น ก่อนบริโภคต้องคืนรูปโดยการต้มในน้ำร้อนให้เส้นนิ่มเสียก่อน [4] จากนั้นจึงนำไปผลิตเป็นอาหารจานด่วนได้หลายชนิด เช่น ก๋วยเตี๋ยว รวดยก และผัดหมี เป็นต้น การนำหมีเบตงมาผลิตเป็นอาหารโดยวิธีใดก็ตามจำเป็นต้องมีการเติมเครื่องปรุงรสในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รสชาติตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งหากผู้ปรุงมีการเติมเครื่องปรุงรสในปริมาณที่ไม่เหมาะสม อาจพบปัญหาปรุงแล้วได้รสชาติไม่ดี หรือได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่สม่ำเสมอ มีวิธีการปรุงค่อนข้างยุ่งยาก และไม่สะดวกในการเตรียมส่วนผสม ดังนั้นผู้เสนอโครงการวิจัยจึงมีความสนใจศึกษาพัฒนาสูตรน้ำปรุงรสผัดพริกให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แล้วนำไปถ่ายทอดให้กับผู้ประกอบการผลิตหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูปในจังหวัดยะลา และผู้สนใจทั่วไป โดยส่งเสริมให้ผู้ประกอบการทำการจำหน่ายเส้นบะหมี่และน้ำปรุงรสในซองเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการปรุงอาหารของผู้บริโภค และสามารถพกพาในระหว่างการเดินทางไปยังที่ต่างๆ ได้ง่าย เช่น พกพาระหว่างการเดินทางไปประกอบพิธีฮัจย์ที่ประเทศซาอุดีอาระเบียซึ่งประชาชนในสามจังหวัดมักนิยมนำอาหารแห้งและปรุงรับประทานง่ายพกติดตัวไปด้วย หรือภูมิภาคอื่นของประเทศ หรือจำหน่ายไปยังประเทศใกล้เคียง เช่น ประเทศมาเลเซีย เนื่องจากอาหารไทยมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้คนทั่วโลก ถือเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความเข้มแข็งของชุมชนและสังคมให้เป็นรากฐานที่มั่นคงของท้องถิ่นและประเทศชาติได้

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบในการผลิตน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตง

1. กระเทียม (*Allium sativum* L.) จากตลาดเสรี อำเภอเมือง จังหวัดยะลา
2. หอมหัวใหญ่ (*Alium cepa* L.) จากตลาดเสรี อำเภอเมือง จังหวัดยะลา
3. พริกหยวก (*Capsicum annuum* L.) จากตลาดเสรี อำเภอเมือง จังหวัดยะลา
4. น้ำตาลทราย ตราลิน ผลิตโดยบริษัท ไทยรุ่งเรือง ประเทศไทย จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
5. ซีอิ๊วดำ ตราดี้กสมบูรณ์ บริษัท หยั่น หว่อ หยุ่น จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร ประเทศไทย
6. ซีอิ๊วขาว ตราดี้กสมบูรณ์ บริษัท หยั่น หว่อ หยุ่น จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร ประเทศไทย
7. น้ำมันพืช ตรารุ่งนบุรี บริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด (มหาชน) จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
8. ซอสหอยนางรม ตรามะนาว บริษัทจี๊วฮวด จำกัด จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาสูตรน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ศึกษาสูตรของน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปจำนวน 5 สูตร (ตัวแปรต้น) ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำน้ำปรุงรสผัดพริกมาผัดกับเส้นหมีเบตง โดยนำเส้นหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที หรือแช่น้ำร้อน 3 นาที แล้วสะเด็ดน้ำ จากนั้นนำกระทะตั้งไฟเติมน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูป จำนวน 40.37 กรัม ใส่หมีเบตงกิ่งรูปจำนวน 117 กรัม ผัดให้เข้ากันแล้วเติมน้ำมันไก่และผักคะน้าอย่างละ 23.5 กรัม ผัดจนสุก แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วย วิธี 9 Point Hedonic ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวม (ตัวแปรตาม) เสริฟตัวอย่างขณะอุ่น ๆ (45-50 องศาเซลเซียส) ให้ผู้ชิมคนละ 30 กรัม วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี DMRT (Duncan' Multiple – Range Test) แล้วคัดเลือกสูตรน้ำปรุงรสผัดพริกที่มีคะแนนความสูงสุดไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปทั้ง 5 สูตร

ส่วนผสม	ปริมาณของส่วนผสมสูตรที่ (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
น้ำตาลทราย	12	12	12	12	12
ซีอิ๊วดำ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ซีอิ๊วขาว	20	20	20	20	20
น้ำมันพืช	36	36	36	36	36
กระเทียม	4	4	4	2	4
ซอสหอยนางรม	4	5	6	7	8
หอมหัวใหญ่	6	3	10.25	18.5	16.5
พริกหยวก	16.5	18.5	10.25	3	2

ขั้นตอนการผลิตน้ำปรุงรสผัดพริก

การผลิตน้ำปรุงรสผัดพริก โดยนำพริกหยวกมาล้างแล้วล้างให้สะอาด ตั้งให้สะเด็ดน้ำและนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตรา National ด้วยความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 3 นาที ส่วนหอมหัวใหญ่นำล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตรา National ด้วยความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 3 นาที กระเทียมปอกเปลือก และล้างให้สะอาด นำมาซอยเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำกระทะตั้งไฟ เติมน้ำมันพืช แล้วเติมกระเทียมพริกหยวก หอมหัวใหญ่ น้ำตาลทราย ซีอิ๊วขาว ซีอิ๊วดำ และซอสหอยนางรม ผัดให้เข้ากันจนส่วนผสมมีอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที บรรจุน้ำปรุงรสผัดพริกขณะร้อนในขวดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (ขวดแก้ว และฝาผ่านการฆ่าเชื้อในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที) แล้วปิดฝาให้สนิท

2. ศึกษาอัตราส่วนของน้ำปรุงรสผัดพริกต่อเส้นหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ศึกษาอัตราส่วนของน้ำปรุงรสผัดพริกต่อเส้นหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภค (เป็นปริมาณอาหารที่ผู้ผลิตแนะนำให้ผู้บริโภครับประทานผลิตภัณฑ์นั้นๆ ในแต่ละครั้ง) โดยผลิตภัณฑ์หมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปมีปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภค คือ 50 กรัม จากนั้นนำหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปจำนวน 50 กรัม ไปคืนรูปด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาทีหรือแช่น้ำร้อน 3 นาที แล้วตั้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ พบว่า มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 117 ± 1.15 กรัม จากนั้นทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำปรุงรสผัดพริก 5 ระดับ คือ 30 35 40 45 และ 50 กรัม ต่อเส้นหมีเบตงคืนรูปปริมาณ 117 กรัม

(ตัวแปรต้น) และนำน้ำปรุงรสที่ได้มาผัดเส้นหมีเบตง แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบทางสัมผัสด้วยวิธี Ranking Test (ตัวแปรตาม) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน คัดเลือกสูตรที่ผู้ทดสอบให้ลำดับความชอบอันดับที่ 1 ไปใช้ในข้อต่อไป

3. ศึกษาคุณลักษณะของน้ำปรุงรสผัดพริกหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูป

ศึกษาคุณลักษณะด้านกายภาพและเคมีของน้ำปรุงรสผัดพริกหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปสูตรพัฒนาด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าสี $L^* a^* b^*$ (Colour Flex รุ่น CX 1471) ค่า a_w (ตรา Aqualab รุ่น Ss 36090) และด้านเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณเกลือ น้ำตาลทั้งหมด ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เชื้อใย และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) [5]

4. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อน้ำปรุงรสผัดพริก

ทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปสูตรพัฒนาโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปในสามจังหวัดชายแดนใต้จำนวน 600 คน จังหวัดละ 200 คน ทดสอบเพื่อหาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรส และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางสัมผัสใช้วิธี 9 Point Hedonic Scale (ให้คะแนนความชอบ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด จนถึง 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ประเมินผลโดยการหาร้อยละจากคะแนนการประเมินของผู้บริโภค

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาสูตรน้ำปรุงรสผัดพริกที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ศึกษาสูตรน้ำปรุงรสผัดพริกที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 5 สูตร โดยนำน้ำปรุงรสผัดพริกมาผัดกับเส้นหมีเบตงให้เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ทดสอบทางด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวมพบว่า สูตรของน้ำปรุงรสผัดพริกมีผลต่อคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวมทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ด้านสี พบว่า น้ำปรุงรสผัดพริกสูตรที่ 1 2 3 4 และ 5 เมื่อนำไปผัดกับผลิตภัณฑ์หมีเบตงจนได้ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคแล้วมีคะแนนความชอบด้านสีเท่ากับ 5.93 6.47 6.37 6.30 และ 6.60 ตามลำดับ ซึ่งน้ำปรุงรสผัดพริกที่บรรจุในขวดแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็งตกตะกอนอยู่ด้านล่างของขวดซึ่งมีสีน้ำตาลดำเป็นส่วนประกอบของพืชสมุนไพร ได้แก่ กระเทียม หอมหัวใหญ่ พริกหยวกและสารให้รสชาติ ได้แก่ น้ำตาลทราย ซิอิ้วดำ ซิอิ้วขาว และซอสหอยนางรมที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำมัน เมื่อนำมาผสมกันและผ่านการเคี่ยวจึงมีสีน้ำตาลดำ และส่วนของน้ำมันลอยหน้ามีสีเหลืองเขียว ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันที่มีสีเหลืองและรงควัตถุหลักที่มาจากพริกหยวกสีเขียวซึ่งเป็นสารประเภท Chlorophyll a และ b ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวและสีเหลืองส้ม [6-7] โดยน้ำปรุงรสสูตรที่ 5 มีคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุดเนื่องจากประกอบด้วยส่วนผสมที่ให้สีในปริมาณที่เหมาะสมประกอบด้วยน้ำตาลทราย ซิอิ้วดำ ซิอิ้วขาว น้ำมันพืช กระเทียม ซอสหอยนางรม หอมหัวใหญ่ และพริกหยวก ร้อยละ 12 1.5 20 36 4 8 16.5 และ 2 ตามลำดับ

ด้านลักษณะปรากฏ พบว่า น้ำปรุงรสผัดพริกสูตรที่ 1 2 3 4 และ 5 เมื่อนำไปผัดกับผลิตภัณฑ์หมีเบตงจนได้ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคแล้วมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏเท่ากับ 6.23 6.27 6.53 6.23 และ 6.37 ตามลำดับ โดยน้ำปรุงรสผัดพริกสูตรที่ 3 มีแนวโน้มว่าจะได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏสูงสุด

ด้านกลิ่นรสและรสชาติ พบว่า น้ำปรุงรสผัดพริกสูตรที่ 1 2 3 4 และ 5 เมื่อนำไปผัดกับหมีเบตงจนได้ผลิตภัณฑ์หมีเบตงพร้อมบริโภคที่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและคะแนนความชอบด้านรสชาติที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยน้ำปรุงรสผัดพริกสูตรที่ 1 2 3 4 และ 5 ทำให้ผลิตภัณฑ์หมีเบตงพร้อมบริโภคมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสเท่ากับ 6.03 6.20 6.90 6.53 และ 6.47 ตามลำดับ ส่วนคะแนนความชอบด้านรสชาติ พบว่า น้ำปรุงรสผัดพริกสูตร 1 2 3 4 และ 5 ทำให้ผลิตภัณฑ์หมีเบตงพร้อมบริโภคมีคะแนนความชอบด้านรสชาติเท่ากับ 5.73 6.37 7.03 6.60 และ 6.37 ตามลำดับ ซึ่ง

น้ำปรุงรสสูตร 3 เมื่อนำไปสกัดกับหมีเบตงได้ผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทานที่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติสูงสุด โดยน้ำปรุงรสผักพริกทั้ง 5 สูตรมีส่วนผสมของน้ำตาลทราย ซิอิ้วดำ ซิอิ้วขาว และน้ำมันพืชที่ให้รสหวาน เค็มและความมันในปริมาณที่เท่ากัน ส่วนผสมที่มีปริมาณที่แตกต่างคือ พริกหยวกสีเขียว หอมหัวใหญ่ กระเทียม และซอสหอยนางรม หากใส่ส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดนี้ในปริมาณมากไป หรือน้อยไปทำให้น้ำปรุงรสมีกลิ่นรสและรสชาติของผักพริกที่อ่อนหรือเข้มข้นมากเกินไป ซึ่งน้ำปรุงรสผักพริกสูตรที่ 3 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสและรสชาติสูงสุด เนื่องจากประกอบด้วยปริมาณของหอมหัวใหญ่ กระเทียมและซอสหอยนางรมในปริมาณที่เหมาะสม โดยมีปริมาณพริกหยวกสีเขียว หอมหัวใหญ่ กระเทียม และซอสหอยนางรมร้อยละ 10.25 10.25 4 และ 6 ตามลำดับ โดยพริกหยวก มีสารที่ให้กลิ่นรส คือ (E)-2-pentenal, hexanal, (E)-2-hexenal, (Z)-4-heptenal, Heptanal, (Z)-2-heptenal, benzaldehyde, (E,E)-2,4-heptadienal, (E)-2-octenal, (E, Z)-2,6-nonadienal, 1-octen-3-ol, benzyl alcohol, (E,Z)-3,6-nonadienol, 6-methyl-5-hepten-2-one, (E,E)-3,5-octadien-2-one, (Z)-jasmone, methyl salicylate, linalool, menthol, β -cyclocitral, α -ionone, β -ionone, β -ionone epoxide, 2-isobutyl-3-methoxypyrazine, o-guaiacol, eugenol [8] ส่วนหอมหัวใหญ่มีสารที่ให้กลิ่นรส คือ 2-methyl-2-pentenal, (E)-methyl 1-propenyl disulfide, methyl propyl trisulfide, and propanethiol [9] Methylpropyl disulfide, methyl propyl trisulfide, dipropyl trisulfide [10] ส่วนสารที่ให้กลิ่นรสในกระเทียม ได้แก่ 2-vinyl-4H-1,3-dithiin, 3-vinyl-4H-1,2-dithiin, และ di-2-propenyl trisulfide [11] และสารที่ให้กลิ่นรสและรสชาติในซอสหอยนางรม ได้แก่ สารที่ละลายน้ำได้มีโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วย กรดอะมิโนอิสระ ได้แก่ aspartic acid, threonine, serine, glutamic acid, glycine, alanine, cystine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylamine, lysine, histidine, arginine และเกลืออนินทรีย์ ได้แก่ phosphate, sodium, potassium [12]

ด้านความชอบรวม พบว่า น้ำปรุงรสผักพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปสูตรที่ 3 ทำให้ผลิตภัณฑ์หมีเบตงพร้อมรับประทานมีคะแนนความชอบสูงสุด เนื่องจากมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และรสชาติสูงสุด เมื่อนำมาผัดเป็นหมีเบตงพร้อมบริโภคทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสวย มีกลิ่นรสและรสชาติที่ดี ดังนั้น จึงเลือกน้ำปรุงรสผักพริกหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปสูตร 3 เป็นสูตรพัฒนาและนำไปใช้ในข้อต่อไป

ตารางที่ 2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสูตรผักพริกที่เหมาะสมในการผลิตน้ำปรุงรสหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูป

สูตรที่	การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9 Point hedonic scale ⁿ				
	สี	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบรวม
1	5.93 ^a ± 1.08	6.23 ^a ± 0.86	6.03 ^a ± 1.10	5.73 ^a ± 0.83	6.27 ^a ± 1.05
2	6.47 ^b ± 0.82	6.27 ^a ± 0.87	6.20 ^a ± 1.27	6.37 ^b ± 1.07	6.73 ^{ab} ± 1.28
3	6.37 ^{ab} ± 0.89	6.53 ^a ± 0.93	6.90 ^b ± 1.27	7.03 ^c ± 1.07	7.80 ^c ± 1.06
4	6.30 ^{ab} ± 0.99	6.23 ^a ± 0.89	6.53 ^{ab} ± 1.07	6.60 ^{bc} ± 1.04	6.80 ^{ab} ± 1.42
5	6.60 ^b ± 0.93	6.37 ^a ± 1.03	6.47 ^{ab} ± 1.31	6.37 ^b ± 1.13	7.07 ^b ± 1.55

หมายเหตุ^{a, b, c, ab, bc} ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ⁿ จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

2. ศึกษาอัตราส่วนของน้ำปรุงรสผักพริกต่อเส้นหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ศึกษาอัตราส่วนของน้ำปรุงรสผักพริก 5 ระดับ 30 35 40 45 และ 50 กรัม ต่อเส้นหมีเบตงคีนรูปปริมาณ 117 กรัม และนำน้ำปรุงรสที่ได้มาผัดเส้นหมีเบตงจนสุกได้หมีเบตงพร้อมบริโภคแล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเรียงลำดับความชอบ (Ranking Test) โดย 1 หมายถึง ลำดับความชอบอันดับ 1 และ 5 หมายถึง ลำดับความชอบอันดับ 5 และใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่า อัตราส่วนน้ำปรุงรสผักพริกต่อเส้นหมีเบตงทั้ง 5 ระดับ

มีคะแนนอันดับความชอบรวมระหว่าง 55-145 ดังตารางที่ 3 ซึ่งอัตราส่วนที่ 5 คือน้ำปรุงรสปริมาณ 50 กรัมต่อเส้นหมีเบงกิ้งรูปปริมาณ 117 กรัม ผู้บริโภคชอบเป็นอันดับที่ 1 จึงทำการคัดเลือกอัตราส่วนของน้ำปรุงรสต่อเส้นหมีเบงกิ้งรูประดับนี้สำหรับการบรรจุในภาชนะบรรจุเพื่อผลิตสำหรับการจำหน่ายต่อไป

ตารางที่ 3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบเรียงลำดับความชอบ (Ranking Test) ของน้ำปรุงรสผักพริกของหมีเบงกิ้งสำเร็จรูป

ผู้ทดสอบ	ลำดับความชอบเฉลี่ย ^a				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
คะแนนอันดับความชอบ	145	132	97	93	55
คะแนนระดับความชอบเฉลี่ย*	4.14 ^a	3.77 ^a	2.77 ^b	2.66 ^b	1.57 ^c

หมายเหตุ 1 หมายถึง ลำดับความชอบอันดับ 1 และ 5 หมายถึงลำดับความชอบอันดับ 5

* คะแนนลำดับความชอบรวมที่มีอักษร^{a, b, c} เหมือนกัน ในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^a จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

3. ศึกษาคุณลักษณะของน้ำปรุงรสผักพริกของหมีเบงกิ้งสำเร็จรูปสูตรพัฒนา

นำผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผักพริกของหมีเบงกิ้งสำเร็จรูปสูตรพัฒนามาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L^* , a^* และ b^* และค่า a_w คุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณเกลือ น้ำตาลทั้งหมด ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต [12] ได้ผลดังตารางที่ 4

3.1 คุณลักษณะทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผักพริกมีค่าความสว่าง L^* เท่ากับ 16.83 ค่าความเป็นสีเขียว a^* เท่ากับ 10.27 และค่าความเป็นสีเหลือง b^* เท่ากับ 23.84 เนื่องจากมีส่วนผสมที่ประกอบด้วยน้ำตาลทราย ซีอิ้วดำ ซีอิ้วขาว น้ำมันพืช กระเทียม ซอสหอยนางรม หอมหัวใหญ่ และพริกหยวก ร้อยละ 12 1.5 20 36 4 6 10.25 และ 10.25 ตามลำดับ ส่วนค่า a_w เท่ากับ 0.53 ซึ่งค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุด ในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เราสามารถใช้ค่า a_w ในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่า a_w ที่จำกัด โดยเราจะทำให้อาหารมีค่า a_w ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ [13] อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจัดอยู่ในประเภทที่มีค่า a_w สูง ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.00 ได้แก่ อาหารสดทั้งหลาย เช่น เนื้อสัตว์ และผักสด เป็นต้น อาหารที่จัดอยู่ในจำพวกอาหารกึ่งแห้ง มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.9 ได้แก่ แยม และกึ่งแห้ง เป็นต้น ส่วนอาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ได้แก่ อาหารแห้ง ธัญชาติ นมผงและกาแฟ [14] โดยผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผักพริก มีค่า a_w เฉลี่ยเท่ากับ 0.53 จัดเป็นอาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงของอาหารแห้งจึงสามารถเก็บรักษาได้เวลานาน ซึ่งน้ำปรุงรสผักพริกมีค่า a_w ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ซอสกะเพราจากงานวิจัยของ สมโภช พงษ์พิมล [15] และซอสผัดกะเพราจากงานวิจัยของ ศันสนีย์ อุดมอ่าง [16] ที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.90 และ 0.89 ตามลำดับ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ซอสกะเพรา มีการเติมส่วนผสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w สูงรวมกันถึงร้อยละ 67.0 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วย ใบโหระพา เนยแข็ง กระเทียม และน้ำมันงา เท่ากับร้อยละ 35.7 23.2 4.5 และ 3.6 ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์ซอสผัดกะเพรา มีการเติมส่วนผสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w สูงรวมกันถึงร้อยละ 37.05 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วย พริกขี้หนู กระเทียม และน้ำ เท่ากับร้อยละ 12.35 12.35 และ 12.35 ตามลำดับ

3.2 คุณลักษณะทางเคมี

ผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูปมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.77 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดปานกลาง [17] มีค่า a_w ก่อนข้างต่ำ คือ 0.53 รวมทั้งผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้วิธีในการถนอมอาหารหลาย ๆ อย่างร่วมกันหรือที่เรียกว่า เฮอร์เคิลเทคโนโลยี (Hurdle Technology) [18] ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานได้ ส่วนปริมาณเกลือ น้ำตาลทั้งหมด ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ เยื่อใย และเพคติน (ร้อยละ) 2.81 1.16 7.22 0.54 38.05 9.33 2.34 และ 44.86 ตามลำดับ เนื่องจากมีส่วนผสมที่ประกอบด้วยน้ำตาลทราย ซีอิ๊วดำ ซีอิ๊วขาว น้ำมันพืช กระเทียม ซอสหอยนางรม หอมหัวใหญ่ และพริกหยวก ร้อยละ 12 1.5 20 36 4 6 10.25 และ 10.25 ตามลำดับ

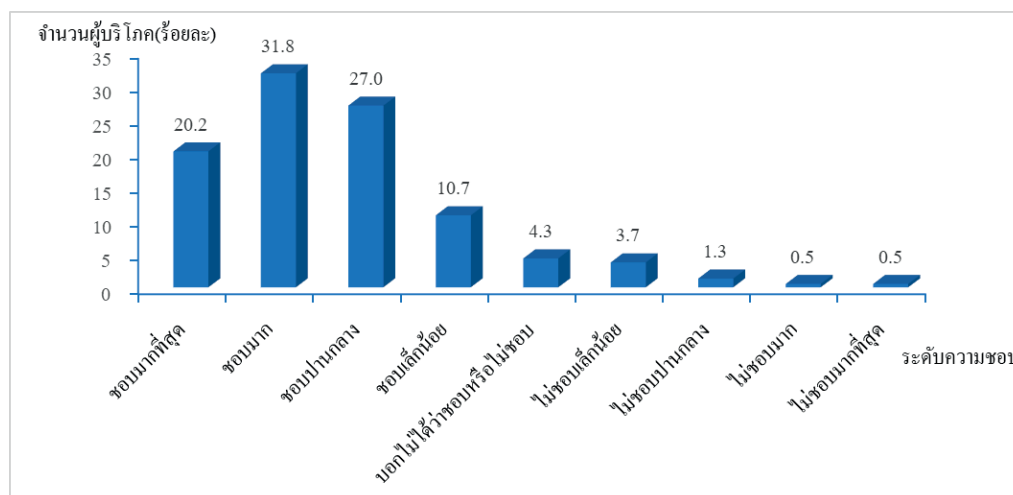
ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูป

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรส ^ก	น้ำปรุงรสผัดพริก
ทางกายภาพ	
ค่าสี	
L*	16.83 ± 0.83
a*	10.27 ± 0.24
b*	23.84 ± 1.11
Water Activity (a_w)	0.53 ± 0.02
ทางเคมี	
ปริมาณพีเอช	4.77 ± 0.05
ปริมาณเกลือ (ร้อยละ)	2.81 ± 0.06
ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)	1.16 ± 0.04
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	7.22 ± 1.08
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	0.54 ± 0.03
ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	38.05 ± 0.08
ปริมาณเกลือ (ร้อยละ)	9.33 ± 0.03
ปริมาณเยื่อใย (ร้อยละ)	2.34 ± 0.16
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	44.86

^ก จากการทดลอง 3 ซ้ำ

4. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผัดพริก

จากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 600 คน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกึ่งสำเร็จรูปในระดับความชอบปานกลางถึงระดับชอบมากที่สุดรวมกันถึงร้อยละ 79 โดยมีคะแนนระดับความชอบปานกลางร้อยละ 27.0 ระดับความชอบมากร้อยละ 31.8 และระดับความชอบมากที่สุดร้อยละ 20.2 รวมทั้งมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.30 ± 1.49 ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระดับการยอมรับของผลิตภัณฑ์น้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปของผู้บริโภคทั่วไป

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาน้ำปรุงรสผัดพริกของหมีเบตงกิ่งสำเร็จรูปเพื่อให้ความสะดวกในการปรุงอาหารของผู้บริโภค และสามารถพกพาในระหว่างการเดินทางไปยังที่ต่าง ๆ ได้ง่าย พบว่า น้ำปรุงรสผัดพริกสูตรพัฒนาประกอบด้วยน้ำตาล ซีอิ้วดำ ซีอิ้วขาว น้ำมันพืช กระเทียม ซอสหอยนางรม หอมหัวใหญ่ และพริกหยวกร้อยละ 12 1.5 20 36 4 6 10.25 และ 10.25 ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมคือน้ำปรุงรสผัดพริกปริมาณ 50 กรัม ต่อเส้นหมีเบตงกึ่งรูปปริมาณ 117 กรัม เมื่อนำน้ำปรุงรสผัดพริกไปผัดกับหมีเบตงจนเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคและนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 31.8 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ในระดับชอบมากและมีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.30 ± 1.49

เอกสารอ้างอิง

- [1] Paniangvait, B. and Taweekul, P. (2017). "The Study on Marketing Mix of Instant Noodles in the Working-Age Buyers in Bangkok", **SUTHIPARITHAT**. 31(97), 47-62.
- [2] Naivikul, O. (1989). **Wheat: Science and Technology**. 2nd ed. Bangkok: Kasetsart University Press.
- [3] E-sor, A. and Kachornkittiya, N. (2009). **Research Report of The Development of Community Products Packaging in Yala Province**. Yala: Yala Rajabhat University.
- [4] Community Product Standards. (2006). **Betong Noodle (TCPS 1326/2549)**. Bangkok: Ministry of Industry.
- [5] A.O.A.C. (2000). **Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16th ed. Washington. DC: The Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- [6] Kaewprasit, C. (2013). **Prig (Chili) Section 3** (Online). Retrieved 19 April 2017, from http://library.uru.ac.th/webdb/images/charp_a_chili_3.html.
- [7] Taksinamanee, A. (2005). **Effect of Precooling and Package on Quality of Red Hot Chili (Capsicum Annuum L. cv. Superhot)**. Master of Science Thesis, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

- [8] Silva, L.R., Azevedo, J., Perira, M.J., Carro, L., Velazquez, E., Peix, A., Valentao, P. and Andrade, P.B. (2014). “Inoculation of the Nonlegume *Capsicum annuum* L. with *Rhizobium* Strains 2 Changes in Sterols, Triterpenes, Fatty Acids and Volatile Compounds”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 62, 565-573.
- [9] Schulz, H., Kruger, H., Liebmann, J. and Peterka, H. (1998). “Distribution of Volatile Sulfur Compounds in an Interspecific Hybrid between Onion (*Allium cepa* L.) and Leek (*Allium porrum* L.)”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 46, 5220-5224.
- [10] Pussaramalai, P. (2007). **Affects on After the Launching of the Thai-Chinese Free Trade Area: A Case Study on Onion Cultivation in Maewang, Chiangmai Province**. Master Thesis. Chiang Mai: Maejo University.
- [11] Abu-Lafi, S., Dembicki, J.M, Goldshlag, P., Hamus, L.O. and Dembitsky, V.M. (2004). “The Use of the Cryogenic GC/MS and on-Column Injection for Study of Organosulfur Compounds of the *Allium sativum*”, **Journal of Food Composition and Analysis**. 17, 235-245.
- [12] Nguyen, T.H.D., Wang, X.C. and Zhu, Y.Z. (2009). “Volatile Components and Sensory Characteristics and Consumer Liking of Commercial Brand Oyster Sauces”, In **Symposium of Food Consumer Insights In Asia: Current Issues and Future**. 123-139. Hochiminh-city: Institute of Biotechnology and Food Technology, University of Industry (HUI), Vietnam.
- [13] Postharvest Technology Innovation Center. (2018). **Aw with Food Storage Shelf Life Control** (Online). Retrieved 8 June 2018, from <http://www.phtnet.org/2003/09/26/>.
- [14] Pongsawatmanit, R. and Wuttijumnong, P. (2002). **Shelf Life Evalutaion of Food Products**. Nakhon Pathom: Kasetsart University.
- [15] Pojjanapimol, S. (2010). “Development of Pad Kaprao Sauce Production for Industrial Procuction Model”, **Journal of Science and Technology**. 17(1), 40-54.
- [16] Uttama-ang, S. (2011). **Research Report of Development of Pad Kaprao Sauce Production for Industrial Production Model**. Phetchabun: Phetchabun Rajabhat University.
- [17] Muninnoppamas, W. (2017). **Food Processing and Preservation**. Yala: Faculty of Science and Agriculture Yala Rajabhat University.
- [18] Rungsardthong, V. (2009). **Food Processing Technology**. 5th ed. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

สถานะที่เหมาะสมในการลดค่ากรดที่สูงของน้ำมันยีสต์ *Pseudozyma parantarctica* CHC28 เพื่อการผลิตไบโอดีเซลจุลินทรีย์

Optimization on Decreasing High Acid Value of Yeast Oil

Pseudozyma parantarctica CHC28 for Microbial Biodiesel Production

อัสาดวูท อารีศิริสุข^{1*}, กนกภรณ์ สุขมาก², จิตินธรณ์ บุญชื่น², สุจยา ฤทธิสร¹ และจันทิมา ทีฆะ¹

Atsadawut Areesirisuk^{1*}, Kanokporn Sukmark², Jatintorn Boonchuen², Sujaya Ritthisorn¹ and Jantima Teeka¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันไบโอดีเซลได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในฐานะพลังงานทดแทนที่สำคัญในการแก้ปัญหาวิกฤติพลังงานและสถานะโลกร้อน โดยน้ำมันจุลินทรีย์ได้รับความสนใจนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนวัตถุดิบดั้งเดิมในการผลิตไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามน้ำมันจุลินทรีย์เป็นน้ำมันที่มีค่ากรดสูงเนื่องจากมีกรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบหลักทำให้ไม่สามารถใช้ผลิตไบโอดีเซลได้โดยตรง โดยในขั้นตอนแรกเป็นการเพาะเลี้ยงยีสต์น้ำมัน *Pseudozyma parantarctica* CHC28 ในถังหมักขนาด 10 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน พบว่ายีสต์สามารถผลิตชีวมวล และน้ำมันได้เท่ากับ 11.39 และ 5.48 g/L ตามลำดับ คิดเป็นการสะสมน้ำมันภายในเซลล์เท่ากับ 48.10 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง จากนั้นทำการสกัดน้ำมันในเซลล์ยีสต์ด้วยสารละลายกรด HCl (4.0 N) ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 31.80 g ซึ่งมีค่ากรดเท่ากับ 28.14 mgKOH/g และนำมาศึกษากระบวนการลดค่ากรดด้วยวิธีการทางสถิติโดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการลดค่ากรด ซึ่งมีตัวแปรในการศึกษาคือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) อุณหภูมิ และอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ซึ่งสถานะที่เหมาะสมคือ การใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.2 N ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 °C และใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน เท่ากับ 5:1 ทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงเป็น 2.04 mgKOH/g (ลดลง 92.74 %) ค่ากรดของน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพใกล้เคียงกับระดับที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล (2.0 mgKOH/g) โดยงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดค่ากรดของน้ำมันที่ผลิตจากยีสต์ CHC28

คำสำคัญ: น้ำมันยีสต์ *Pseudozyma parantarctica* ไบโอดีเซลจุลินทรีย์ การทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ

Abstract

Currently, biodiesel has been received much attention for as an important renewable energy for resolving the energy crisis and global warming problems. The microbial oil is interested to use as an alternative raw material in biodiesel production instead of conventional oils. However, the microbial oil has high acid value (AV) oil because it contained the free fatty acid as a main component which cannot convert to biodiesel directly. Firstly, oleaginous yeast *Pseudozyma*

¹ อ.ดร., สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

² นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

¹ Lecturer, Dr., Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110

² Undergraduate Student, Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110

* Corresponding Author: Tel. 02-5494177, E-mail Address: atsadawut_a@rmutt.ac.th

parantarctica CHC28 was cultured in a 10-L fermenter for 5 days. The result showed that yeast could produce the biomass and oil concentration for 11.39 and 5.48 g/L, respectively. The oil accumulation was expressed as oil content for 48.10 % of dry cell weight. The oil in yeast biomass was extracted by using HCl solution (4.0 N) with ratio of 1:1. The extracted oil was obtained for 31.80 g which had the AV was 28.14 mgKOH/g. Then, the simple pretreatment process for decreasing the AV by statistical methods based on 2-level factorial experimental design was studied. The independent variables were amount of H_2SO_4 , temperature, and ratio of methanol to oil. The AV was reduced to 2.04 mgKOH/g (92.74 % decreasing) under optimum condition: 0.2 N H_2SO_4 , 65 °C of temperature, and 5:1 of methanol to oil ratio. The AV of pretreated oil was in suitable level for producing biodiesel (2.0 mgKOH/g). This research demonstrated the high efficiency of pretreatment process to decrease AV of oil produced by yeast CHC28.

Keywords: Yeast Oil, *Pseudozyma parantarctica*, Microbial Biodiesel, 2-Level Factorial Experiment

บทนำ

ในปัจจุบันทั่วโลกมีความต้องการใช้พลังงานมากยิ่งขึ้น ประกอบกับปริมาณของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง และราคาน้ำมันในตลาดโลกมีความผันผวนตลอดเวลา [1] ทำให้มีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานใหม่มาทดแทนพลังงานจากฟอสซิล ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล เนื่องจากสามารถผลิตได้จากทรัพยากรหมุนเวียน (Renewable Resource) เช่น น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ใช้แล้ว สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และมีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อย [2] โดยนำน้ำมันหรือไขมันมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์สายสั้น เช่น เมทานอล หรือเอทานอล ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ในสถานะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Alkaline Catalyst) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ในน้ำมันจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบเมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester or Ethyl Ester) [3] ซึ่งเป็นไบโอดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้

อย่างไรก็ตามเนื่องจากวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันยังมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงมีการศึกษาเพื่อหาแหล่งวัตถุดิบอื่น ๆ มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลทดแทนวัตถุดิบเดิม จากการวิจัยในปัจจุบันพบว่า จุลินทรีย์บางชนิดมีความสามารถในการสร้างและสะสมน้ำมันไว้ภายในเซลล์ได้มากกว่า 20 % (Oleaginous Microorganism) [4] จุลินทรีย์เหล่านี้จึงได้รับความสนใจนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยเฉพาะยีสต์ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้เร็ว และสะสมน้ำมันในเซลล์ได้สูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น จึงนิยมนำยีสต์มาใช้ในการศึกษา ซึ่ง Areesirisuk และคณะ [5] ได้รายงานว่ายีสต์ *Pseudozyma parantarctica* CHC28 เป็นยีสต์ที่มีความสามารถในการสะสมน้ำมันภายในเซลล์ได้เท่ากับ 50 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง และสามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งคาร์บอนหลายชนิด จึงเลือกยีสต์ดังกล่าวมาใช้ในการวิจัยนี้ นอกจากนี้การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันจุลินทรีย์นั้นต้องสกัดน้ำมันภายในเซลล์ยีสต์ออกมาโดยทำให้เซลล์แตกก่อนด้วยวิธีการทางเคมี หรือวิธีการทางกายภาพ เช่น การใช้สารละลายกรด การใช้แรงดันสูง (High Pressure) และการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) จากนั้นจึงใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แยกน้ำมันออกมา ทั้งนี้การย่อยเซลล์ด้วยสารละลายกรดเป็นวิธีการที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพ จึงนิยมใช้กรดในการย่อยเซลล์ [6] นอกจากนี้การผลิตไบโอดีเซลจะต้องใช้น้ำมันที่มีค่ากรด (Acid Value) น้อยเป็นวัตถุดิบ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาซาโปนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งเกิดสบู่เป็นผลิตภัณฑ์หลักทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลลดลง ทั้งนี้ น้ำมันที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์เป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) และค่ากรดสูง ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ได้โดยตรง [1, 7] ต้องใช้วิธีการผลิตแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกต้องลดค่ากรดของน้ำมันให้ลดลงด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์ในสภาวะที่เป็นกรด (Acidification) จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันต่อไป ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลายชนิดเพื่อลดค่ากรดของน้ำมันด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) [8] ซัลโฟเนตแอคทีเวตคาร์บอน (Sulfonated Activated Carbon) [9] ซีโอไลต์ (Zeolite) [10] หรือ เอนไซม์ (Enzyme) [11] อย่างไรก็ตามการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นวิธีการที่ง่าย และมีต้นทุนต่ำ โดยสามารถลดค่ากรดของน้ำมันให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการทำไบโอดีเซลได้

งานวิจัยนี้จะทำให้ทราบวิธีการลดกรดของน้ำมันยีสต์และความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันยีสต์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลทดแทนวัตถุดิบดั้งเดิม ช่วยลดมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพของน้ำมันยีสต์ *P. parantarctica* CHC28 ให้มีค่ากรดลดลง โดยการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ ก่อนนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

จุลินทรีย์ การเก็บรักษาจุลินทรีย์ และการเพาะเลี้ยงกล้าเชื้อ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ยีสต์น้ำมัน *P. parantarctica* CHC28 ซึ่งเก็บรักษาไว้ในกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ -80°C จากนั้นถ่ายเชื้อยีสต์ดังกล่าวปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Yeast Maintenance (YM) broth ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เพื่อกระตุ้นการเจริญ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C อัตราการเขย่าที่ 180 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเชื้อที่กระตุ้นการเจริญแล้ว ปริมาตร 30 มิลลิลิตร มาถ่ายลงในอาหารเลี้ยงกล้าเชื้อ Seed Medium [5] ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ทำการเพาะเลี้ยงในสภาวะเดิม นาน 24 ชั่วโมง และนำไปใช้เป็นกล้าเชื้อในการทดลองขั้นต่อไป

การเพาะเลี้ยงยีสต์ *P. parantarctica* เพื่อผลิตน้ำมันด้วยการหมักแบบกะในถังหมักขนาด 10 ลิตร

ถ่ายกล้าเชื้อยีสต์ ปริมาตร 0.3 ลิตร ลงในอาหาร Oil Production Medium [5] ปริมาตร 5.7 ลิตร ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว โดยบรรจุในถังหมักขนาด 10 ลิตร ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30°C อัตราการกวน 200 rpm อัตราการให้อากาศ 1.0 vvm เป็นเวลา 5 วัน เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงนำอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าวมา นำตัวอย่างส่วนหนึ่งมาศึกษาการสะสมน้ำมันในเซลล์ได้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พร้อมบันทึกภาพ จากนั้นนำตัวอย่างที่เหลือมาปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเซลล์ยีสต์ออกจากอาหาร ทำการล้างเซลล์ด้วยน้ำปลอดเชื้อและปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บเกี่ยวเซลล์อีกครั้ง นำเซลล์ยีสต์ที่ได้ทั้งหมดมาย่อยเซลล์ด้วยการเติมสารละลายกรด HCl เจือจาง ความเข้มข้น 4.0 N และทำการย่อยเซลล์ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาสกัดน้ำมันด้วยวิธีการของ Bligh และ Dyer [12] นำน้ำมันที่ได้มาตกตะกอนโปรตีนออกด้วยการเติมสารละลาย KCl ความเข้มข้น 0.1 M ลงไปเท่ากับปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ และแยกตะกอนโปรตีนออกด้วยการปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง นำน้ำมันยีสต์ที่ได้มาศึกษาในขั้นตอนถัดไป

การศึกษาการลดค่ากรดของน้ำมันยีสต์โดยการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ

นำน้ำมันยีสต์มาผสมกับเมทานอล และกรดซัลฟูริกนำไปทำปฏิกิริยาโดยควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนด ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 และวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ ดังตารางที่ 2 เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิห้องเพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงให้แยกชั้น แล้วแยกส่วนน้ำมันในชั้นล่างสุดมาผสมกับ 2-โพรพานอล (2-Propanol) นำไปวัดค่ากรดของน้ำมันยีสต์ที่เหลือด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลาย KOH ความเข้มข้น 1.0 N โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ และคำนวณค่ากรด

ของน้ำมันยีสต์ในหน่วย mgKOH/g [13] ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และนำข้อมูลที่ได้อมาหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการพหุนาม (Polynomial Equations) ด้วยโปรแกรม Design Expert V7.0

ตารางที่ 1 ระดับของปัจจัยที่กำหนดในการศึกษาการลดค่ากรดของน้ำมันยีสต์โดยการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ

Variables	Code	Experimental Level	
		-1 (Low)	1 (High)
H ₂ SO ₄ Concentration (N)	A	0.05	0.20
Temperature (°C)	B	55.0	65.0
Methanol to Oil Ratio (Volume to Weight)	C	5:1	20:1

ผลการวิจัย

การสะสมน้ำมันของยีสต์ และค่ากรดของน้ำมันยีสต์ที่สกัดได้

ยีสต์ *P. parantarctica* CHC28 เป็นยีสต์ที่มีความสามารถในการสะสมน้ำมันไว้ในเซลล์ ดังภาพที่ 1 ยีสต์ชนิดนี้ จะมีการสะสมน้ำมันภายในเซลล์เมื่อเจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มีแหล่งคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่แหล่งไนโตรเจน และธาตุอาหารบางชนิดมีอยู่อย่างจำกัด และจากการเพาะเลี้ยงยีสต์ *P. parantarctica* CHC28 ในถังหมักขนาด 10 ลิตร เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยีสต์สามารถผลิตชีวมวล และน้ำมัน ได้เท่ากับ 11.39 และ 5.48 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นการสะสมน้ำมันภายในเซลล์เท่ากับ 48.10 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง และเมื่อนำเซลล์ยีสต์ที่ได้มาสกัดน้ำมันด้วยสารละลายกรด HCl ได้ ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 31.80 g และมีค่ากรดเท่ากับ 28.14 mgKOH/g



ภาพที่ 1 การสะสมน้ำมันภายในเซลล์ของยีสต์ *P. parantarctica* CHC28 ในสภาวะจำกัดแหล่งไนโตรเจน (ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด Light Microscope ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า บริเวณลูกศรชี้หยดนํ้ามัน (Oil Droplet) ภายในเซลล์ยีสต์)

การลดค่ากรดของน้ำมันยีสต์โดยการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดค่ากรดของน้ำมันยีสต์ ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่า การทดลองที่ 3 สามารถลดค่ากรดได้น้อยที่สุด และการทดลองที่ 4 สามารถลดค่ากรดได้มากที่สุด ซึ่งการทดลองในสภาวะดังกล่าวสามารถทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงจนเท่ากับ 7.64 และ 2.04 mgKOH/g ตามลำดับ แสดงว่าการใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ในการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ

Run	H ₂ SO ₄ Concentration (N)	Temperature (°C)	Methanol to Oil Ratio (v/w)	Acid Value (mgKOH/g)
1	0.05 (-1)	55.00 (-1)	5.00 (-1)	5.03 ± 1.03*
2	0.20 (+1)	55.00 (-1)	5.00 (-1)	6.21 ± 0.11
3	0.05 (-1)	65.00 (+1)	5.00 (-1)	7.64 ± 0.05
4	0.20 (+1)	65.00 (+1)	5.00 (-1)	2.04 ± 0.17
5	0.05 (-1)	55.00 (-1)	20.00 (+1)	3.14 ± 0.43
6	0.20 (+1)	55.00 (-1)	20.00 (+1)	3.90 ± 0.68
7	0.05 (-1)	65.00 (+1)	20.00 (+1)	2.32 ± 0.03
8	0.20 (+1)	65.00 (+1)	20.00 (+1)	2.78 ± 0.79

*Mean ± Standard Deviation (SD).

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของปัจจัยต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (A) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (B) ส่งผลต่อการลดลงของค่ากรดในน้ำมันยีสต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.0190 และ 0.0125 ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ (C) มีอิทธิพลต่อการลดลงของค่ากรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.0001 นอกจากนี้ยังพบว่า ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกกับอุณหภูมิ (AB) และความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกกับอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ (AC) ยังแสดงอิทธิพลร่วมต่อการลดลงของค่ากรดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % เช่นกัน โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.0002 และ 0.0009 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของปัจจัย (Code) และผลกระทบต่อการลดลงของค่ากรดของน้ำมันยีสต์

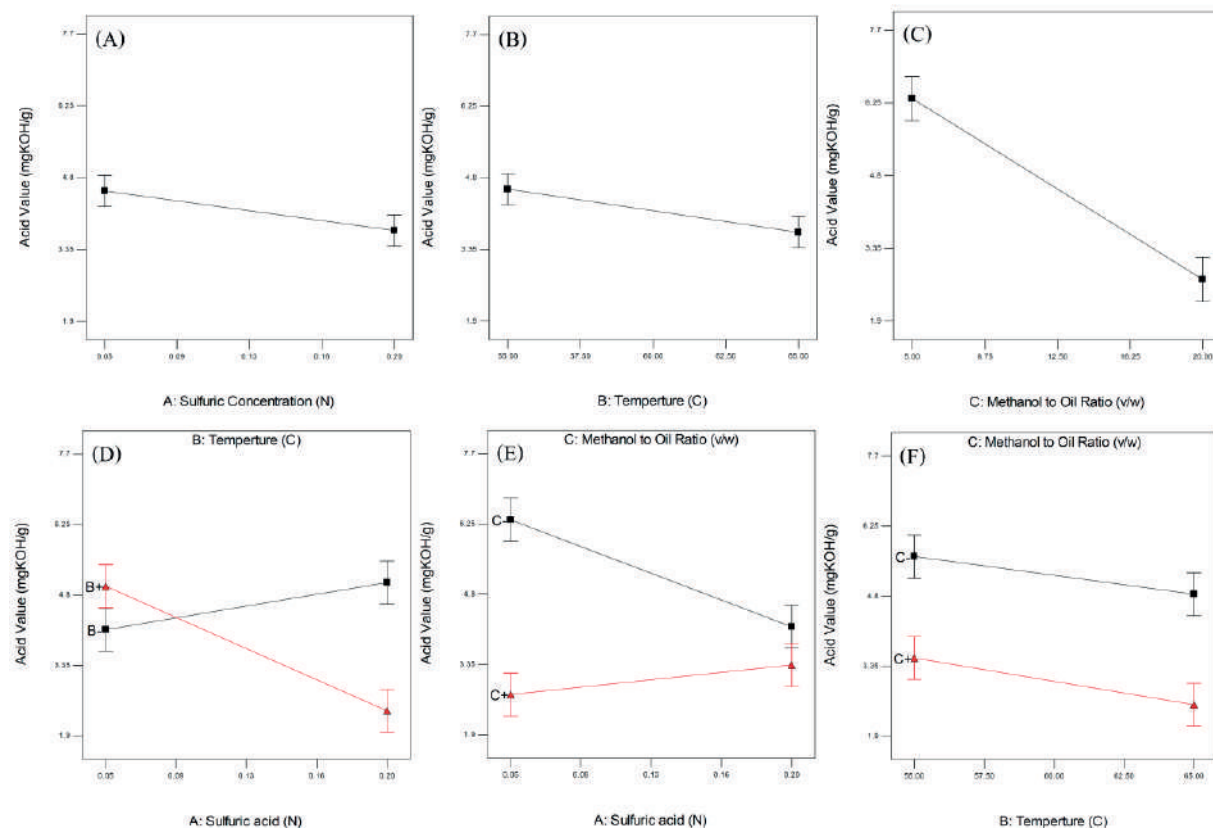
Source	SE	Coefficient	SS	df	MS	F-value	p-value
Model		4.13	55.86	7	7.98	26.89	0.0001
A: Sulfuric acid	-0.80	-0.40	2.54	1	2.54	8.58	0.0190*
B: Temperture	-0.87	-0.44	3.05	1	3.05	10.28	0.0125*
C: Methanol to oil ratio	-2.20	-1.10	19.27	1	19.27	64.96	0.0001**
AB	-1.77	-0.88	12.51	1	12.51	42.15	0.0002**
AC	1.44	0.70	7.92	1	7.92	26.69	0.0009**
BC	-0.093	-0.047	0.035	1	0.035	0.12	0.7403
ABC	1.62	0.81	10.53	1	10.53	35.48	0.0003**

SE is Standardized Effect, SS is Sum of Square, df is Degree of Freedom, MS is Mean Square, *Significant at $\alpha \leq 0.05$. **Significant at $\alpha \leq 0.01$.

อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อการลดลงของค่ากรดในน้ำมันยีสต์

อิทธิพลความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ แสดงดังภาพที่ 2A-2F ผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ชนิดมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่ากรดของน้ำมันยีสต์แบบแปรผกผัน โดยเมื่อระดับของแต่ละปัจจัยเพิ่มขึ้นทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงมาก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ ส่งผลต่อการลดลงของค่ากรดมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ และความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก ตามลำดับ อิทธิพลหลัก (Main Effect) ของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (A) แสดงดังภาพที่ 2A โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของกรด เท่ากับ 0.2 N จะทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.05 N เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิ (B)

ดังภาพที่ 2B พบว่า การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 °C จะทำให้ค่ากรดลดลงมากกว่าการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 55 °C นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ (C) ดังภาพที่ 2C ส่งผลต่อการลดลงของค่ากรดของน้ำมันยีสต์ โดยเมื่ออัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลง



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่ากรดของน้ำมันยีสต์

อิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction Effect) ระหว่างความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิ (AB) แสดงดังภาพที่ 2D จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยทั้งสองชนิดแสดงอิทธิพลร่วมต่อค่ากรดของน้ำมันยีสต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่กรดความเข้มข้นต่ำ ค่ากรดจะลดลงมากเมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อใช้กรดความเข้มข้นสูง ค่ากรดจะลดลงมากเมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมของปัจจัยระหว่างความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกกับอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน (AC) พบว่าปัจจัยทั้งสองชนิดแสดงอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 2E โดยพบว่าเมื่อใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.05 N และใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ 20:1 จะสามารถลดค่ากรดได้ดีกว่าที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ 5:1 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเป็น 0.2 N พบว่าให้ผลการทดลองในทางตรงกันข้าม แสดงว่าเมื่อปัจจัยหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่มีต่อการลดลงของค่ากรดก็จะเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน

อภิปรายผลการวิจัย

ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ที่สกัดได้

น้ำมันที่สกัดได้จาก خمยีสต์มีค่ากรดเริ่มต้นเท่ากับ 28.14 mgKOH/g ซึ่งค่ากรดดังกล่าวสูงกว่าค่ากรดของน้ำมันที่ใช้ในการทำไบโอดีเซลโดยทั่วไป [14] ทำให้ไม่สามารถใช้น้ำมันยีสต์นี้ในการผลิตไบโอดีเซลได้ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งได้ โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลจะใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ใน

น้ำมันกับแอลกอฮอล์สายสั้น เช่น เมทานอล หรือเอทานอล เกิดเป็นสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์ (Ester Compound) หรือไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามหากในน้ำมันนั้นมีค่ากรดสูงกว่า 2.0 mgKOH/g จะเกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน และเกิดสบู่หรือสารประเภทเกลือแทนการเกิดเอสเทอร์ การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีกรดสูงจึงไม่สามารถทำได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการลดค่ากรดของน้ำมันยีสต์ให้ลดลงก่อนโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนแรกแทนสารละลายต่าง เมื่อค่ากรดลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสมจึงใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นตอนถัดไปตามปกติ [15]

อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อการลดลงของค่ากรดในน้ำมันยีสต์

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดสูงขึ้นทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ghadge and Raheman [14] ซึ่งศึกษาความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในการลดความเป็นกรดของน้ำมันจากเมล็ดพืช พบว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้กรดไขมันอิสระเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซลมากขึ้น อย่างไรก็ตามหากความเข้มข้นของกรดสูงเกินไปจะเกิดผลิตภัณฑ์อื่นที่มีสีเข้มจนถึงดำทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ลดลง ในขณะที่การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) เมื่ออุณหภูมิของสูงขึ้นจะปฏิกิริยาจะเกิดมากขึ้น [15] โดยผลการทดลองยังสอดคล้องกับรายงานของ Marchetti and Errazu [15] ซึ่งรายงานแนวโน้มอิทธิพลของอุณหภูมิในลักษณะเดียวกันกับการทดลองนี้ และผลการทดลองยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลง เนื่องจากกรดไขมันอิสระถูกเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ ค่ากรดจึงลดลงมากกว่าการใช้อัตราส่วนต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramadhas และคณะ [8] ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเปลี่ยนกรดไขมันให้เป็นสารประกอบเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ซึ่งในทางทฤษฎีหากใช้วัตถุดิบที่มีน้ำมันอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ จะใช้เมทานอล 3 mole ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ 1 mole และในกรณีที่น้ำมันนั้นมีกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบ จะใช้เมทานอล 1 mole ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ 1 mole อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันควรจะสูงกว่าอัตราส่วนตามหลักของ Stoichiometry เพื่อเร่งให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าอย่างสมบูรณ์ ซึ่ง Canakci และ Van Gerpan [16] รายงานว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันควรจะอยู่ในช่วง 15:1 ถึง 35:1 โดยเมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ (ภาพที่ 2C) พบว่า ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์เท่ากับ 20:1 ทำให้ค่ากรดลดลงมากกว่าที่อัตราส่วน 5:1

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction Effect) ต่อการลดลงของน้ำมันยีสต์ พบว่าความเข้มข้นของกรดกับอุณหภูมิ (AB) และ ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกกับอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน (AC) แสดงอิทธิพลร่วมต่อค่ากรดของน้ำมันยีสต์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดย Ramadhas และคณะ [8] รายงานว่าอัตราส่วนของของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการลดค่ากรดของน้ำมันจากเมล็ดยางพารา (Rubber Seed Oil) ที่มีค่ากรดเริ่มต้นเท่ากับ 34 mgKOH/g จนเหลือค่ากรดน้อยกว่า 2 mgKOH/g ซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากกรดไขมันอิสระถูกเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซลในสภาวะที่มีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ค่ากรดของน้ำมันลดลง โดยในการวิจัยนี้พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 5:1 ทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงมากที่สุด

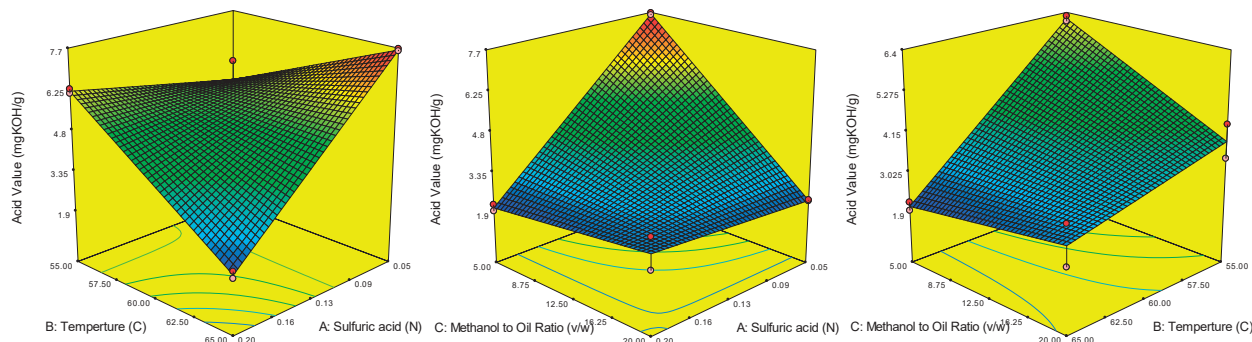
สภาวะที่เหมาะสมต่อการลดค่ากรดของน้ำมันยีสต์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยในรูปแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3 โดยพบว่า ปัจจัยทั้งสามชนิดมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่ากรด ซึ่งระดับของปัจจัยที่แตกต่างกันทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์แตกต่างกันออกไป ซึ่งระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดลงของค่ากรดของน้ำมันยีสต์จะอยู่ในบริเวณพื้นที่สี

น้ำเงินของภาพที่ 3 นอกจากนี้ผลการทดลองข้างต้นสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามชนิดกับค่าการตอบสนอง (ค่ากรดของน้ำมันยีสต์) ในรูปแบบสมการพหุนาม (Polynomial Equation) ได้ดังสมการที่ (1)

$$AV = 4.13 - 0.40A - 0.44B - 1.10C - 0.88AB + 0.70AC - 0.047BC + 0.81ABC \quad (1)$$

AV คือ ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ (mgKOH/g), A คือ ความเข้มข้นของกรด B คือ อุณหภูมิ และ C คือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน โดย A B และ C อยู่ในรูปของ Code (-1 ถึง +1)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ในรูปแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) ระหว่างปัจจัยกับค่ากรดของน้ำมันยีสต์

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 3 ชนิดต่อการลดลงของค่ากรดของน้ำมันยีสต์ พบว่าสภาวะที่สามารถลดค่ากรดได้สูงที่สุดคือ ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกเท่ากับ 0.2 N (Code Value = 1) อุณหภูมิ 65 °C (Code Value = 1) และอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์เท่ากับ 5:1 (Code Value = -1) ซึ่งเมื่อนำสภาวะนี้มาทำการทวนสอบ (Validation) ประสิทธิภาพของสมการที่ (1) โดยการแทนค่าลงในสมการ พบว่าได้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ (Predicted Result) เท่ากับ 2.05 mgKOH/g และเมื่อนำสภาวะดังกล่าวมาทดลองใช้จริงในการทำปฏิกิริยา พบว่าน้ำมันยีสต์มีค่ากรด (Experimental Result) เท่ากับ 2.04 mgKOH/g แสดงว่าสมการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการทำนายสภาวะในการลดกรดของน้ำมันยีสต์ได้ โดยค่ากรดลดลงเท่ากับ 92.74 % ของค่ากรดในน้ำมันยีสต์เริ่มต้น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นกรดซัลฟูริกที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์ ที่มีต่อค่ากรดของน้ำมันยีสต์ *P. paratractica* CHC28 โดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ระดับ พบว่าปัจจัยทั้ง 3 ชนิดมีอิทธิพลต่อการลดลงของค่ากรดของน้ำมันยีสต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และยังพบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นกรดซัลฟูริกกับอุณหภูมิ และความเข้มข้นกรดซัลฟูริกกับอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันยีสต์แสดงอิทธิพลร่วมต่อการลดลงของค่ากรดของน้ำมันยีสต์อีกด้วย และสภาวะที่ทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงมากที่สุดคือการใช้กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.2 N ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 °C และใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน เท่ากับ 5:1 ซึ่งทำให้ค่ากรดของน้ำมันยีสต์ลดลงจากเดิม 28.14 mgKOH/g เป็น 2.04 mgKOH/g คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 92.74 % โดยค่ากรดดังกล่าวใกล้เคียงกับค่ากรดที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ตลอดการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Vicente, G., Fernando, B.L., Rodríguez, R., Javier, G.F., Sádabaa, I., Ruiz-Vázquez, R.M., Torres-Martínez, S. and Garreb, V. (2009). “Biodiesel Production from Biomass of an Oleaginous Fungus”, **Biochemical Engineering Journal**. 48, 22–27.
- [2] Thliveros, P., Uçkun, K.E. and Webb, C. (2014). “Microbial Biodiesel Production by Direct Methanolysis of Oleaginous Biomass”, **Bioresource Technology**. 157, 181–187.
- [3] Chisti, Y. (2007). “Biodiesel from Microalgae”, **Biotechnology Advances**. 25, 294–306.
- [4] Duarte, S. H., Ansolin, M. and Maugeri, F. (2014). “Cultivation Of *Candida* sp. LEB- M3 in Glycerol: Lipid Accumulation and Prediction of Biodiesel Quality Parameters”, **Bioresource Technology**. 161, 416–422.
- [5] Areesirisuk, A., Chiu, C.H., Yen, S.B. and Guo, J.H. (2015). “A Novel Oleaginous Yeast Strain with High Lipid Productivity and Its Application to Alternative Biodiesel Production”, **Applied Biochemistry and Microbiology**. 51, 411–418.
- [6] Halim, R., Danquah, M.K. and Webley, P.A. (2012). “Extraction of Oil from Microalgae for Biodiesel Production: A Review”, **Biotechnology Advances**. 30, 709–732.
- [7] Nakpong, P. and Wootthikanokkhan, S. (2010). “High Free Fatty Acid Coconut Oil as a Potential Feedstock for Biodiesel Production in Thailand”, **Renewable Energy**. 35, 1682–1687.
- [8] Ramadhas, A.S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. (2005). “Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil”, **Fuel**. 84, 335–340.
- [9] Niu, S., Ning, Y., Lu, C., Han, K., Yu, H. and Zhou, Y. (2018). “Esterification of Oleic Acid to Produce Biodiesel Catalyzed by Sulfonated Activated Carbon from Bamboo”, **Energy Conversion Management**. 163, 59–65.
- [10] Prinsen, P., Luque, R. and González-Arellano, C. (2018). “Zeolite Catalyzed Palmitic Acid Esterification”, **Microporous and Mesoporous Materials**. 262, 133–139.
- [11] Mata, T.M., Correia, D., Pinto, A., Andrade, S., Trovisco, I., Mato, E., Martins, A.A. and Caetano, N.S. (2017). “Fish Oil acidity Reduction by Enzymatic Esterification”, **Energy Procedia**. 136, 474–480.
- [12] Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959). “A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification”, **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**. 37, 911–917.
- [13] Ofoefule, A.U., Ibeto, C.N., Okoro, U.C. and Onukwuli, O.D. (2013). “Biodiesel Production from Tigernut (*Cyperus esculentus*) Oil and Characterization of Its Blend with Petro- Diesel”, **Physical Review and Research International**. 3, 145–153.
- [14] Ghadge, S.V. and Raheman, H. (2005). “Biodiesel Production from Mahua (*Madhuca indica*) Oil Having High Free Fatty Acids”, **Biomass and Bioenergy**. 28, 601–605.
- [15] Marchetti, J.M. and Errazu, A.F. (2008). “Esterification of Free Fatty Acids Using Sulfuric Acid as Catalyst in The Presence of Triglycerides”, **Biomass and Bioenergy**. 32, 892–895.

ผลของสายพันธุ์สับปะรดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบท

Effects of Pineapple Varieties on Sensory Quality of Sorbet Ice Cream Product

รุ่งทิwa กองเงิน^{1*} และธีรวัฒน์ เทพใจกา²

Rungtiwa Kongngoen^{1*} and Teeravat Tepjaikad²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานและสายพันธุ์สับปะรดที่มีความเหมาะสมในการผลิตไอศกรีมซอร์เบท โดยคัดเลือกสูตรที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมซอร์เบทจำนวน 6 สูตร ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น สัมผัส และรสชาติ พบว่าสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจะมีส่วนผสมประกอบด้วย น้ำสับปะรด น้ำเชื่อม และน้ำ ปริมาณร้อยละ 62 22 และ 16 ตามลำดับ โดยมีคะแนนประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสดังกล่าวในช่วง 7.10-7.63 เมื่อศึกษาถึงสายพันธุ์สับปะรดที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมซอร์เบทจากสับปะรดสายพันธุ์ต่าง ๆ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ภูเก็ต ภูเก็ต และปัตตาเวีย พบว่าการใช้สับปะรดพันธุ์ภูเก็ต จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงสุด โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 7.20-7.70 มีค่าสี $L^* a^* b^*$ 73.79 -1.03 17.44 ค่าโอเวอร์รันร้อยละ 19.03 อัตราการละลาย 0.63 กรัมต่อนาที ค่าพีเอช 4.12 ร้อยละปริมาณกรดทั้งหมด 0.50 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ 34.13 องศาบริกซ์ เมื่อทดสอบความชอบของผู้บริโภคจำนวน 200 คนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซอร์เบทสับปะรดภูเก็ต ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น สัมผัส และรสชาติและความชอบรวมในช่วง 7.39-8.01 คะแนนซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง-มาก

คำสำคัญ: สับปะรด ไอศกรีม ซอร์เบท

Abstract

This research aimed to study the basic formulation and pineapple varieties optimized for sorbet ice cream production. The six formulations used for sorbet ice cream were evaluated in sensory quality for appearance, color, aroma, texture and overall preference of pineapples. It was found that the selected formula contained the percentage of pineapple juice syrup and water for 62 22 and 16 respectively with sensory evaluation scores in the range of 7.10 to 7.63. To evaluate the optimal pineapple varieties in sorbet production from three varieties of pineapple; Phulae, Phuket and Pattavia, It was indicated that Phulae showed the highest sensory quality scores in the range of 7.20 to 7.70. Furthermore, the color value $L^* a^* b^*$ was 73.79 -1.03 17.44. The percentage of overrun value was 19.03 together with 0.63 g/min of melting rate. The value of pH was 4.12 with 0.50 % total acidity and 34.13 °Brix of total soluble solids. After having evaluated 200 consumers at amphor Mueang in Lampang province for preference test of Phulae pineapple

¹ ผศ., คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

² อ., คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

¹ Asst. Prof., Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, 52000

² Lecturer, 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

sorbet, the result showed the consumer preference scores in terms of appearance, color, pineapple aroma, texture and overall preference of pineapples with the scores in the range of 7.39 to 8.01 which were in moderate to high liking scores level.

Keywords: Pineapple, Ice Cream, Sorbet

บทนำ

ไอศกรีมซอร์เบต (Sorbet) หรือซอร์เบโต้ (Sorbetto) เป็นของหวานแช่แข็งที่ทำจากน้ำและน้ำตาล ไม่มีส่วนผสมที่ทำจากผลิตภัณฑ์นม อาจมีส่วนผสมหลักเป็นผลไม้สด ผลไม้แช่แข็ง ผลไม้กระป๋องและผลไม้เชื่อม [1] มีการแต่งกลิ่นด้วยน้ำหวานซึ่งอาจเป็นกลิ่นที่ได้จากน้ำผลไม้ เนื้อผลไม้ อาจมีการเติมสารให้ความคงตัว มีปริมาณอากาศแทรกในผลิตภัณฑ์ไม่เกินร้อยละ 20 จากลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงทำให้เหมาะกับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนักหรือเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ สืบเนื่องจากการที่จังหวัดลำปางมีการปลูกสับปะรดเป็นจำนวนมากและมักประสบปัญหาของภาวะการล้มตายของวัตถุดิบสับปะรด ทำให้สับปะรดมีราคาตกต่ำ แต่ด้วยคุณสมบัติของสับปะรดที่เป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี สามารถนำมาปรุงหรือประกอบอาหารได้หลากหลายชนิดและยังมีคุณสมบัติช่วยร่างกาย โดยในสับปะรดมีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ เช่น โปรตีน ใยอาหาร น้ำตาล วิตามินซี เบต้าแคโรทีน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส เป็นต้น และยังมีเอนไซม์โบรมีเลนที่ช่วยในการย่อยอาหารประเภทโปรตีนได้ดี ทำให้มีสรรพคุณในการช่วยย่อยอาหาร และเสริมการดูดซึมอาหาร ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการนำวัตถุดิบสับปะรดมาผลิตเป็นไอศกรีมซอร์เบตซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับผู้บริโภคที่อาศัยในประเทศไทยที่มีอากาศร้อนตลอดทั้งปี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานและสายพันธุ์สับปะรดที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยคาดว่าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่สามารถบริโภคได้ในกลุ่มผู้บริโภคทุกเพศทุกวัยและยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มและเพิ่มความหลากหลายในการใช้วัตถุดิบสับปะรดได้อีกทางหนึ่ง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

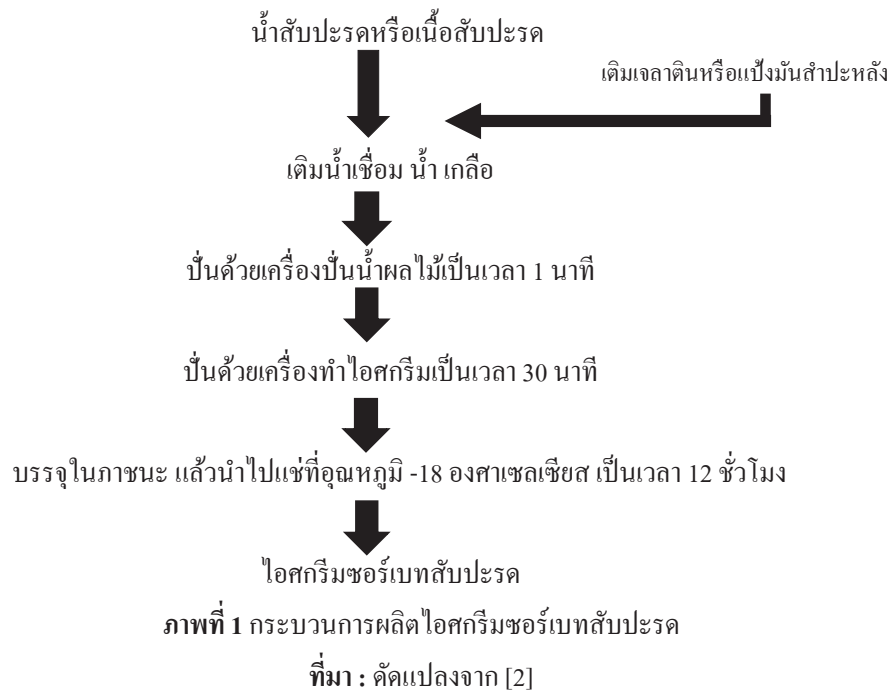
วัสดุอุปกรณ์

สับปะรดทั้ง 3 สายพันธุ์มีระยะการสุกโดยมีค่าสีเหลืองไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 สับปะรดพันธุ์ภูแลจากไร่ตำบลท่าสุต อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ซื้อจากผู้รับมาจำหน่ายที่ตลาดโลตัส สาขาปงสนุก อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง สับปะรดพันธุ์ภูเก็ต จากไร่ตำบลท้ายเหมือง อำเภอกะปง จังหวัดพังงา ซื้อจากผู้รับมาจำหน่ายตลาดหน้าวัดศรีชุม อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง และสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียซื้อจากแปลงปลูกตำบลบ้านเสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เครื่องสกัดแยกกากน้ำระบบไฮดรอลิก (Sakaya Model12) เครื่องปั่นน้ำผลไม้ (Phillips Model HR2118) เครื่องทำไอศกรีม (Staff Ice System Model DAL1959) และตู้แช่แข็ง (Sanden Model SGF-210AY)

วิธีดำเนินการ

1. คัดเลือกสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมซอร์เบตสับปะรด

นำน้ำสับปะรดที่สกัดได้มาทำการผลิตเป็นไอศกรีมซอร์เบตตามกระบวนการผลิตดังภาพที่ 1 และมีส่วนผสมตามสูตรต่าง ๆ ดังตารางที่ 1



ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมซอร์เบตสับปะรด

ร้อยละส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
น้ำสับปะรด	63.13	-	43.75	18.24	62.11	61.58
เนื้อสับปะรด	-	61.58	-	30.40	-	-
น้ำเชื่อม	33.67	22.00	-	12.15	37.27	22.00
น้ำ	2.95	16.42	39.06	37.70	-	16.42
เจลาตินแผ่น	0.25	-	-	-	-	-
น้ำตาลทราย	-	-	17.19	-	-	-
แป้งมันสำปะหลัง	-	-	-	1.21	-	-
เกลือ	-	-	-	0.30	0.62	-

ที่มา: สูตรที่ 1 [3] สูตรที่ 2 [4] สูตรที่ 3 [5] สูตรที่ 4 [5] สูตรที่ 5 [6] สูตรที่ 6 ดัดแปลงจาก [4]

นำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบตสับปะรดทั้ง 6 สูตรมาทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) โดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น สัมผัส และรสชาติ และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's Multiple Range Test : DMRT) การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจะพิจารณาจากผลวิเคราะห์ด้านประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ดังกล่าวที่มีค่าคะแนนความชอบสูงสุดเพื่อใช้เป็นสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบตสับปะรดต่อไป

2. ศึกษาสายพันธุ์สับปะรดที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมซอร์เบต

นำสูตรพื้นฐานที่ได้มาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้สับปะรดที่แตกต่างกัน 3 สายพันธุ์ได้แก่พันธุ์ภูแล ภูเก็ต และปัตตาเวีย นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพด้านสี $L^*a^*b^*$ โดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter ยี่ห้อ

Hunter Lab รุ่น Color Quest XE อัตราการละลายของไอศกรีมจากวิธีของ Geilman and Schmidt [7] ค่าโอเวอร์รัน โดยใช้วิธีของวรรณ และวินูลย์ศักดิ์ [8] คุณสมบัติทางเคมีด้านค่าพีเอช ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Five Easy Plus, Mettler Toledo, Japan) ร้อยละปริมาณกรดทั้งหมด ตามวิธีการ AOAC (2005) ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด โดย Hand Refractometer ATAGO Model N-1α และ Model N-2E, Japan

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมี วางแผนการทดลองที่มีแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสจะดำเนินการตามแผนการทดลองเช่นเดียวกันกับวิธีการทดลองในข้อ 1 พันธุ์สับประรดที่เหมาะสมจะพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสประกอบกัน เพื่อนำพันธุ์สับประรดที่ได้รับการพิจารณาดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

3. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชอร์เบตสับประรด

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตโดยใช้สับประรดพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกจากตอนที่ 2 มาศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีต่อผลิตภัณฑ์โดยทดสอบผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 200 คน ที่อยู่ในอำเภอเมือง บริเวณถนนวัฒนธรรม และถนนคนเดินกาดกองต้า จังหวัดลำปาง ใช้แบบสอบถามตามวิธี Central Location Test ให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน (9-Point Hedonic Scale) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นสับประรด เนื้อสัมผัส และความชอบรวม นำข้อมูลที่ได้หาค่าเฉลี่ยแต่ละคุณลักษณะที่ทำการประเมิน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. คัดเลือกสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมชอร์เบตสับประรด

จากการคัดเลือกเพื่อหาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมจากสูตรที่รวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ 6 สูตรโดยการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชอร์เบตสับประรดจากสูตรที่รวบรวมได้

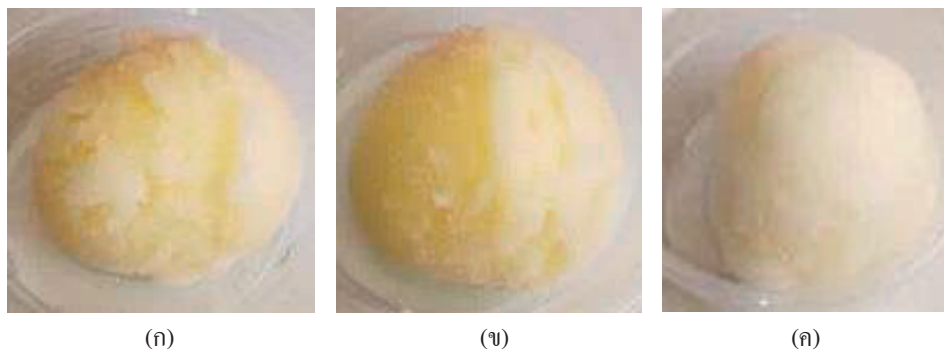
สูตรที่	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นสับประรด	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1	7.07 ± 1.11 ^{bc}	7.07 ± 1.25 ^{ab}	7.07 ± 1.68 ^a	7.17 ± 1.46 ^a	7.17 ± 1.36 ^{ab}	7.27 ± 1.28 ^a
2	7.40 ± 0.85 ^{ab}	7.23 ± 1.43 ^{ab}	6.97 ± 1.37 ^a	6.97 ± 1.35 ^a	7.17 ± 0.98 ^{ab}	7.27 ± 1.01 ^a
3	7.47 ± 0.93 ^{ab}	7.03 ± 0.85 ^{ab}	6.67 ± 0.95 ^{ab}	7.27 ± 0.86 ^a	7.30 ± 0.95 ^a	7.50 ± 0.90 ^a
4	6.97 ± 1.18 ^c	6.77 ± 1.00 ^b	6.33 ± 1.32 ^b	6.30 ± 1.17 ^b	6.80 ± 1.27 ^b	6.80 ± 1.09 ^b
5	7.46 ± 0.67 ^{ab}	7.13 ± 0.77 ^{ab}	6.97 ± 0.76 ^a	7.13 ± 1.10 ^a	7.47 ± 0.81 ^a	7.33 ± 0.84 ^a
6	7.63 ± 0.66 ^a	7.40 ± 0.72 ^a	7.10 ± 0.96 ^a	7.27 ± 0.82 ^a	7.60 ± 0.85 ^a	7.53 ± 0.68 ^a

หมายเหตุ: ^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จะเห็นได้ว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะของไอศกรีมชอร์เบตสูตรที่ 2 3 5 และ 6 มีคะแนนสูงไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาถึงส่วนผสมของสูตรที่ 6 ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของน้ำสับประรดที่มากกว่าสูตรอื่นและมีแนวโน้มของคะแนนทดสอบสูงกว่าสูตรอื่น ๆ ในทุกคุณลักษณะจึงได้คัดเลือกสูตรที่ 6 ที่ประกอบด้วยน้ำสับประรด น้ำเชื่อมและน้ำปริมาณร้อยละ 61.58 22.00 และ 16.42 ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการผลิตไอศกรีมชอร์เบตสับประรดต่อไป

2. สายพันธุ์สับปะรดที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมชอร์เบต

นำสับปะรดทั้ง 3 สายพันธุ์ได้แก่ สายพันธุ์ภูแล ภูเก็ทซึ่งเป็นพันธุ์สับปะรดในกลุ่ม ‘Queen’ และปัตตาเวีย ซึ่งเป็นพันธุ์สับปะรดในกลุ่ม ‘Smooth Cayenne’ โดยทั้งสองกลุ่มเป็นกลุ่มของสับปะรดที่นิยมปลูกในประเทศไทย [10] และหาซื้อได้ในจังหวัดลำปาง มาผลิตเป็นไอศกรีมชอร์เบตจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีในด้านต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 3 โดยจะเห็นได้ว่าไอศกรีมชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดภูแลมีค่าความสว่าง (L^*) น้อยที่สุดซึ่งแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดพันธุ์ภูเก็ทและปัตตาเวีย ($p \leq 0.05$) มีค่า a^* ที่มีค่าไปทางโทนสีเขียว ซึ่งไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดภูเก็ท ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดปัตตาเวียซึ่งมีค่าไปในโทนสีเขียวมากกว่า ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า b^* จะให้ค่าไปในโทนสีเหลืองที่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดภูเก็ทและปัตตาเวีย ($p \leq 0.05$) โดยชอร์เบตจากสับปะรดภูแลจะมีค่าไปในโทนสีเหลืองน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดภูเก็ทแต่มากกว่าชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย การที่ชอร์เบตที่ทำจากสับปะรดต่างสายพันธุ์มีค่าสีที่แตกต่างกันเนื่องจากสายพันธุ์สับปะรดที่ต่างกันมีปริมาณสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์แตกต่างกันโดยเฉพาะเบตาแคโรทีนซึ่งเป็นสารที่พบในผลไม้ที่มีสีเหลืองและสีส้ม [11] โดยในสับปะรดภูเก็ทจะมีปริมาณเบตาแคโรทีน 150 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม [12] ส่วนสับปะรดปัตตาเวียจะมีปริมาณเบตาแคโรทีนในช่วง 1.54-5.66 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม [13] ดังนั้นจึงทำให้ค่าสี b^* ซึ่งมีค่าไปทางโทนสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสับปะรดภูเก็ทและภูแลที่เป็นสับปะรดในกลุ่ม ‘Queen’ มีค่ามากกว่าค่าสี b^* ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสับปะรดปัตตาเวียซึ่งเป็นสับปะรดในกลุ่ม ‘Smooth Cayenne’ โดยให้ค่าสี b^* ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 3 และมีลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของไอศกรีมชอร์เบตที่ได้จากสับปะรดทั้ง 3 สายพันธุ์
(ก) พันธุ์ภูแล (ข) พันธุ์ภูเก็ท (ค) พันธุ์ปัตตาเวีย

ตารางที่ 3 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของไอศกรีมชอว์เบทสับประรดในด้านต่าง ๆ

สายพันธุ์สับประรด	คุณภาพทางกายภาพ			คุณภาพทางเคมี		ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)		
	L*	a*	b*	ค่าไอเวอร์รีน (%)	อัตราการละลาย (กรัมต่อนาที)		ค่าพีเอช	ปริมาณกรด (%)
ภูแล	73.79 ± 3.22 ^b	-1.03 ± 0.17 ^a	17.44 ± 2.18 ^b	19.19 ± 0.48 ^{ns}	0.63 ± 0.01 ^{ns}	4.12 ± 0.10 ^a	0.50 ± 0.01 ^a	34.13 ± 0.15 ^{ns}
ภูเก็ด	76.34 ± 0.68 ^a	-1.10 ± 0.03 ^a	20.51 ± 0.60 ^a	19.03 ± 0.60 ^{ns}	0.63 ± 0.01 ^{ns}	4.09 ± 0.15 ^a	0.49 ± 0.01 ^b	35.23 ± 0.05 ^{ns}
ปัตตาเวีย	76.98 ± 0.57 ^a	-1.85 ± 0.05 ^b	10.31 ± 0.58 ^c	20.00 ± 0.74 ^{ns}	0.63 ± 0.01 ^{ns}	3.93 ± 0.15 ^b	0.49 ± 0.01 ^b	33.13 ± 0.05 ^{ns}

หมายเหตุ: ^{a, b, c} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ^{ns} ตามแนวตั้งหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

สำหรับค่าโอเวอร์รันจะเห็นได้ว่าไอศกรีมชอร์เบตจากสับปะรดทั้ง 3 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ซึ่งค่าโอเวอร์รันของไอศกรีมชอร์เบตจะมีค่าประมาณร้อยละ 20 [14] โดยค่าโอเวอร์รันจะเป็นร้อยละของปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของส่วนผสม การเพิ่มปริมาตรจะเป็นผลเนื่องมาจากการปั่นไอศกรีมที่มีการผสมเอาอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีม การผสมอากาศมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไอศกรีม หากอากาศมากเกินไปไอศกรีมจะเบา โปร่ง แต่ถ้ามีอากาศน้อย เนื้อไอศกรีมจะแน่น หนัก [8] การที่ไอศกรีมชอร์เบตมีส่วนผสมของน้ำผลไม้เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้โครงสร้างกักเก็บอากาศได้น้อย ค่าโอเวอร์รันจึงมีค่าอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 ซึ่งเป็นคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ชอร์เบตในด้านอัตราการละลายพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ซึ่งอัตราการละลายของไอศกรีมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น อัตราการขึ้นโฟม (ค่าโอเวอร์รัน) ลักษณะผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำให้แข็งตัว เป็นต้น ผลึกน้ำแข็งที่เกิดจากการปั่นเป็นไอศกรีมชอร์เบตจะเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอจะส่งผลให้ชอร์เบตมีเนื้อสัมผัสที่เนียนละเอียดทำให้โครงสร้างกักอากาศได้ดีแต่อย่างไรก็ตามไอศกรีมชอร์เบตจัดเป็นไอศกรีมที่มีโอเวอร์รันต่ำจึงมีอัตราการละลายเร็วกว่าไอศกรีมที่มีองค์ประกอบของนมในส่วนผสมซึ่งจะมีค่าโอเวอร์รันที่สูงกว่า โดยปริมาณฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่จะมีผลทำให้ค่าโอเวอร์รันสูง ซึ่งฟองอากาศจะช่วยขัดขวางการถ่ายเทความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการละลายได้ [15] สำหรับค่าพีเอชของไอศกรีมชอร์เบตมีค่าในช่วง 3.93-4.12 และร้อยละปริมาณกรดมีค่าในช่วง 0.49-0.50 ซึ่งเป็นค่าพีเอชและปริมาณกรดในช่วงเดียวกันกับน้ำสับปะรดที่ใช้ในการผลิต (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เมื่อนำผลิตภัณฑ์ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ พบว่าได้ผลดังตารางที่ 4 โดยจะเห็นได้ว่าคุณสมบัติด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบรวมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันในด้านกลิ่นสับปะรดและเนื้อสัมผัส ($p \leq 0.05$) โดยจะเห็นว่าไอศกรีมชอร์เบตที่ผลิตโดยใช้สับปะรดพันธุ์ภูแลและมีแนวโน้มของกลิ่นสับปะรดที่มีความชัดเจนและมีเนื้อสัมผัสที่ได้คะแนนคุณภาพที่สูงกว่าไอศกรีมที่ใช้สับปะรดพันธุ์ภูเก็ดและปัตตาเวีย ดังนั้นสับปะรดพันธุ์ภูแลจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตไอศกรีมชอร์เบตสับปะรด และเมื่อนำชอร์เบตที่ได้จากสับปะรดพันธุ์ภูแลทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นสับปะรด เนื้อสัมผัส และความชอบรวมในช่วง 7.39 - 8.01 คะแนนซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง-มากโดยจะเห็นได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชอร์เบตที่ใช้สับปะรดสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

สายพันธุ์ สับปะรด	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นสับปะรด	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ รวม
ภูแล	7.70 ± 0.70 ^{ns}	7.60 ± 0.75 ^{ns}	7.20 ± 0.84 ^{ab}	7.33 ± 0.99 ^{ns}	7.70 ± 0.59 ^a	7.53 ± 0.73 ^{ns}
ภูเก็ด	7.57 ± 0.67 ^{ns}	7.57 ± 0.67 ^{ns}	7.50 ± 0.73 ^a	7.48 ± 0.74 ^{ns}	7.37 ± 0.92 ^b	7.43 ± 0.72 ^{ns}
ปัตตาเวีย	7.53 ± 0.68 ^{ns}	7.13 ± 0.73 ^{ns}	6.97 ± 0.85 ^b	7.20 ± 0.84 ^{ns}	7.77 ± 0.77 ^a	7.27 ± 0.78 ^{ns}

หมายเหตุ^{abc} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร^{ns}ตามแนวตั้งหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชอร์เบตสับปะรด

คุณลักษณะ	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นสับปะรด	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
คะแนนความชอบ	7.39 ± 1.24	7.45 ± 1.30	7.78 ± 1.23	8.01 ± 1.05	7.58 ± 1.29	7.80 ± 1.04

สรุปผลการวิจัย

การใช้สับปะรดพันธุ์ภูแลในการผลิตไอศกรีมชอร์เบตจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงสุด โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 7.20 – 7.70 มีค่าสี $L^* a^* b^*$ 73.79-1.03 17.44 ค่าโอเวอร์รันร้อยละ 19.03 อัตราการละลาย 0.63 กรัม ต่อหน้าที่ ค่าพีเอช 4.12 ร้อยละปริมาณกรดทั้งหมด 0.50 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ 34.13 องศาบริกซ์ เมื่อทดสอบความชอบของผู้บริโภคจำนวน 200 คนที่มีต่อผลิตภัณฑ์พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น สัมผัส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมในช่วง 7.39-8.01 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง-มาก ผลการวิจัยจะเป็นแนวทางในการส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัตถุดิบสับปะรดอีกทั้งยังเป็นการยกระดับการใช้วัตถุดิบในการแปรรูปให้มีความหลากหลายและเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพประจำท้องถิ่นได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chanasith, K., Paemongkol, P. and Dangsungwal, N. (2014). **Product Development of Ice Cream Yogurt Added Aloe Vera** (Online). Retrieved 18 April 2017, from https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1495/HEC_58_03.
- [2] Jitjaroen, W. (2013). **The Principle of Analysis and Calculation for Dairy Product**. Nan: Center of Printing and Textbook Rajamangala University of Technology Lanna Nan.
- [3] Subsin, P. (2013). **Fruit Ice Cream**. Amarin Printing and Publishing. Bangkok. 10.
- [4] Leah short. (2011). **Pineapple Sorbet** (Online). Retrieved 1 February 2017, from <http://www.sohowsittaste.com/2011/04/pineapple-sorbet.html>.
- [5] Boonkrong, J. (n.d.). **Lemon Sherbet Formula** (Online). Retrieved 5 March 2017, from <https://sites.google.com/site/xitimkathi/home/sutr-chexrbeth>.
- [6] Anonymous. (2015). **Raspberry Sorbet** (Online). Retrieved 1 March 2517, from <https://cooking.kapook.com/view113633.html>.
- [7] Geilman, W.G. and Schmidt, D.E. (1992). “Physical Characteristics of Frozen Desserts Made from Ultrafiltered Milk and Various Carbohydrates”, **Journal of Dairy Science**. 75(10), 2670-2675.
- [8] Tangcharoenchai, W. and Kawila, V. (1988). **Milk and Dairy Product**. O S Printing House Bangkok. 323.
- [9] AOAC. (2005). **Official Methods of AOAC International**. 9th ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC International.
- [10] Sittirak, J. (2014). **Year Round Weather Effect on Internal Browning of ‘Smooth Cayenne’ and ‘Queen’ Pineapple after Storage at 10 °C**. Special Problem in Department of Horticulture. Faculty of Agriculture at Kamphaengsaen, Kasetsart University.
- [11] Niyomdech, A. and Kongsan, M. (2013). “Metabolism and Nutritional Values of Carotenoids on Egg Yolk Color”, **Princess of Naradhiwas University Journal**. 5(4), 112-121.
- [12] Thonginla, V., Wanwimolruk, C. and Chuaybamroong, P. (2014). “Correlation between Antioxidant Capacities of Fruits Analyzed with DMPD and Phenolic Contents Vitamin C Vitamin E and Beta-Carotene”, **Burapha Science Journal**. 19(2), 93-104.
- [13] Kongsuwan, A., Srilaong, V. and Setha, S. (2010). “Variation of Bioactive Components and Antioxidant Activities in ‘Pattawia’ Pineapple in Thailand”, **Agricultural Science Journal**. 41(3/1) (Suppl.), 385-388.
- [14] Boonyamalee, M. (2006). **Development of Sherbet Ice Cream from Thai Fruits by Using Sweeteners**. Special Problem in Food Science and Nutrition. Home Economics Department. Faculty of Science. Srinakharinwirot University.
- [15] Danviriyakul, S. (2012). **Goat milk Ice Cream**. Chandrakasem Rajabhat University. Bangkok.

ผลของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นบ้านจังหวัดพัทลุงต่อคุณภาพของข้าวหมาก ในระหว่างกระบวนการหมัก

Effect of Indigenous Black Glutinous Rice of Phatthalung Province on the Quality of Sweet Fermented Rice (Khaomak) During Fermentation

วิไลลักษณ์ กล่อมพงษ์^{1*}

Vilailak Klompong^{1*}

บทคัดย่อ

ข้าวเหนียวดำจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากอุดมไปด้วยสารสำคัญประเภทสารประกอบฟีนอลิก งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของข้าวเหนียวดำต่อคุณภาพของข้าวหมากโดยทดแทนข้าวเหนียวขาว (*Oryza sativa* var. *Glutinosa*) ด้วยข้าวเหนียวดำ หรือข้าวเหนียวดำกล้อง (*Oryza sativa* Linn.) ในสัดส่วนของข้าวเหนียวขาวต่อข้าวเหนียวดำร้อยละ 75:25 (PB₂₅) 50:50 (PB₅₀) และ 0:100 (PB₁₀₀) หรือต่อข้าวเหนียวดำกล้องในสัดส่วน 75:25 (UB₂₅) 50:50 (UB₅₀) และ 0:100 (UB₁₀₀) เปรียบเทียบกับข้าวเหนียวขาวทั้งหมด (100:0, W₁₀₀) และตรวจติดตามคุณภาพของข้าวหมากในระหว่างกระบวนการหมักทุกวัน เป็นเวลา 3 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าพีเอชลดลง PB₂₅ ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส และเมื่อศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชัน (DPPH Radical Scavenging Activity, Ferric Reducing Antioxidant Power, Metal Chelating Activity) พบว่า UB₁₀₀ มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ดังนั้นคุณภาพของข้าวหมากขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้าวเหนียวดำที่ใส่ทดแทนข้าวเหนียวขาว

คำสำคัญ: ข้าวเหนียวดำ พัทลุง คุณภาพ ข้าวหมาก กระบวนการหมัก

Abstract

Black glutinous rice is known as a healthy food because of its richness in bioactive phenolic compounds. The objective of this research was to study the effect of black glutinous rice on the quality of sweet fermented rice during fermentation. White glutinous rice (*Oryza sativa* var. *Glutinosa*) was substituted by polish black glutinous rice (*Oryza sativa* Linn.) in the ratio of 75:25 (PB₂₅), 50:50 (PB₅₀) and 0:100 (PB₁₀₀) or unpolished black glutinous rice in the ratio of 75:25 (UB₂₅), 50:50 (UB₅₀) and 0:100 (UB₁₀₀) in comparison with white rice (ratio 100:0, W₁₀₀). The qualities of all sweet fermented rices during fermentation were monitored daily for 3 days. Total soluble solid and alcohol content were increased when fermentation time increased, while pH decreased. PB₂₅ exhibited the highest overall liking score from sensory evaluation. UB₁₀₀ showed the highest antioxidant activity (DPPH Radical Scavenging Activity, Ferric Reducing Antioxidant Power, Metal Chelating Activity). Thus, qualities of sweet fermented rice were governed by type and amount of black glutinous rice substituted.

Keywords: Black Glutinous Rice, Phatthalung, Quality, Khaomak, Fermentation

¹ ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Food Science and Technology, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609605 ext. 3312. E-mail address: klompong@hotmail.com

บทนำ

ข้าวหมากเป็นอาหารหวานเพื่อสุขภาพ ผลิตจากภูมิปัญญาไทย เป็นอาหารหมักที่ทำมาจากข้าวเหนียวหมักด้วยลูกแป้งที่มีหัวเชื้อของยีสต์และรา มีการเติมสมุนไพรลงไปในลูกแป้งเพื่อเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ เช่น พริกไทย กระเทียม กานพลู จิง ดอกจันทร์ อบเชย และข่า ลักษณะของข้าวหมากมีรสหวานอมเปรี้ยว และน้ำหมักมีลักษณะปรากฏเป็นสารแขวนลอยสีขาวขุ่น แต่ดั้งเดิมข้าวหมากผลิตจากข้าวเหนียวขาว [1]

ข้าวเหนียวดำและข้าวกล้องได้รับการยอมรับว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระประเภทแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก พบมากในรงควัตถุสีแดง ดำ หรือม่วง ซึ่งสะสมอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดข้าว [1-2] สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติมีการใช้อย่างกว้างขวางเพื่อส่งเสริมสุขภาพ เนื่องจากอนุมูลอิสระสามารถเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกาย และมาจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ อาหาร ยา และมลพิษจากสิ่งแวดล้อม รวมทั้งรังสียูวีซึ่งกระตุ้นให้เกิดความแก่ ทำลายดีเอ็นเอ และกระตุ้นการเกิดมะเร็ง [1]

ข้าวหมากสามารถใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ และใช้เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของเด็ก เนื่องจากมีโปรไบโอติกส์ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เมื่อรับประทานเข้าไปในปริมาณที่เพียงพอ [1] โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการหมักข้าว ได้แก่ ยีสต์ รา และแบคทีเรียแลคติก นอกจากนี้กระบวนการหมักยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ทำให้อาหารปลอดภัย ปรับปรุงเนื้อสัมผัส รส กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากกลุ่มของจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์มาย่อยข้าวทำให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ กรดอินทรีย์ วิตามิน โปรไบโอติกส์ และใยอาหาร รวมทั้งสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [3] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวดำกล้องสายพันธุ์พื้นบ้านจังหวัดพัทลุงต่อคุณภาพของข้าวหมากในระหว่างกระบวนการหมัก และวิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสำคัญในผลิตภัณฑ์ข้าวหมาก เพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัสดุท้องถิ่น และพัฒนาอาหารท้องถิ่นเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

ผลิตข้าวหมากโดยนำข้าวเหนียวขาว สายพันธุ์เขียว ข้าวเหนียวดำสายพันธุ์เปลือกดำ และข้าวเหนียวดำกล้องสายพันธุ์เปลือกดำที่ซื้อมาจากตลาดป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง จำนวน 500 กรัม มาแช่น้ำ 12 ชั่วโมง นึ่งข้าวเหนียวให้สุกพอดี ผึ่งข้าวให้เย็นในภาชนะสะอาด ล้างเมล็ดข้าวด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง จนหมดยางข้าว เกลี่ยข้าวให้กระจาย ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ โรยลูกแป้งข้าวหมากที่บดละเอียด 1 กรัม บนข้าวให้สม่ำเสมอ นวดให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้แบ่งขึ้น 20 นาที บรรจุใส่ถุงพลาสติก บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน โดยสัปดาห์การทดแทนข้าวเหนียวขาวด้วยข้าวเหนียวดำ และข้าวเหนียวดำกล้องแสดงดังตารางที่ 1

ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการหมักของข้าวหมากเป็นเวลา 3 วัน โดยสุ่มตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์ทุก 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุมที่ผลิตด้วยข้าวเหนียวขาว โดยวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) ด้วย Refractometer ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้ Ebulliometer และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหมากแล้วทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (1-9 Point Hedonic Scale Test) [4] โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่บริโภคข้าวหมาก จำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกตัวอย่างที่มีศักยภาพในการผลิตข้าวหมากเพื่อสุขภาพ นำตัวอย่างที่คัดเลือกมาวิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Activity [5] Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) [6] และ Metal Chelating Activity [7] โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลตามวิธี ANOVA (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 [8] ด้วยโปรแกรม SPSS (เวอร์ชัน 11.5)

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตข้าวหมาก

สูตร	สัดส่วน (ร้อยละ)		
	ข้าวเหนียวขาว (เจียววู)	ข้าวเหนียวดำ (เปลือกดำ)	ข้าวเหนียวดำกล้อง (เปลือกดำ)
W ₁₀₀	100	0	0
PB ₂₅	75	25	0
PB ₅₀	50	50	0
PB ₁₀₀	0	100	0
UB ₂₅	75	0	25
UB ₅₀	50	0	50
UB ₁₀₀	0	0	100

ผลการวิจัย

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

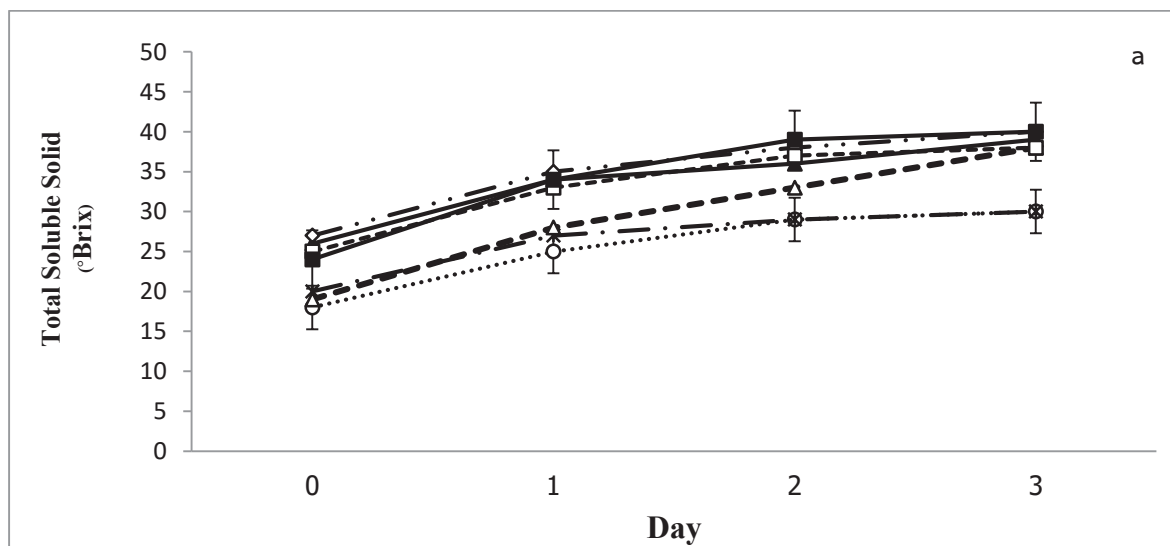
เมื่อศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจากการหมักข้าวหมากพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากช่วง 19-27 มาอยู่ในช่วงประมาณ 30-40 °Brix (ภาพที่ 1a) โดยเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก

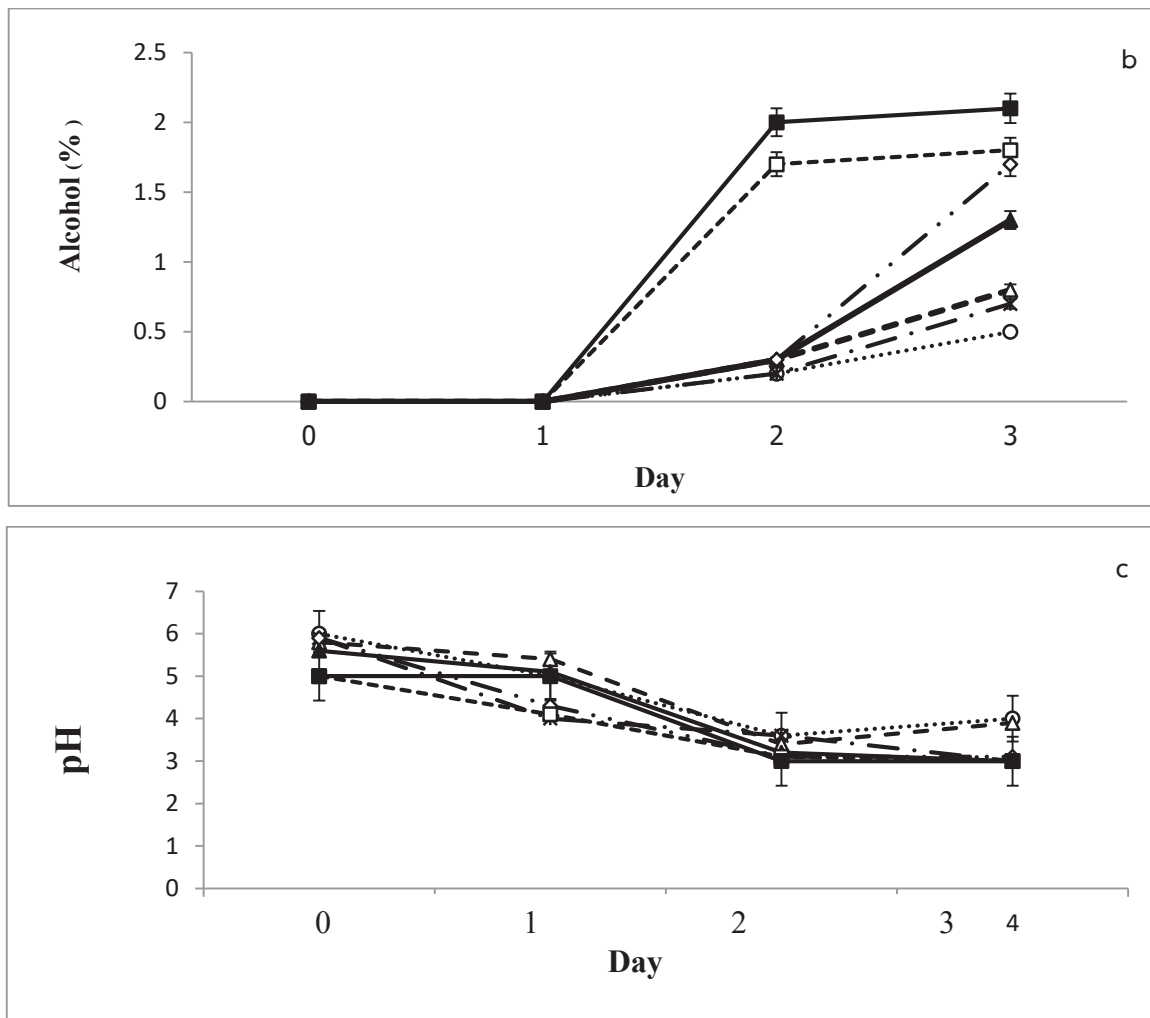
ปริมาณแอลกอฮอล์

เมื่อตรวจติดตามปริมาณแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมักข้าวหมากพบว่า เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณแอลกอฮอล์ในข้าวหมากทั้ง 7 สูตร มีปริมาณเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1b) โดย UB₁₀₀ มีแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเร็วที่สุด โดยเริ่มเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 เช่นเดียวกับสูตรอื่นๆ ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการหมัก ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-2.1 ซึ่งแต่ละสูตรสามารถหยุดกระบวนการหมักได้เมื่อปริมาณแอลกอฮอล์ถึงร้อยละ 0.5 ตามมาตรฐาน มพช.162/2546

พีเอช

เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นค่า pH ของข้าวหมากทั้ง 7 สูตรเริ่มลดลง โดยในวันที่ 3 pH ลดลงจากช่วง 5-5.9 ไปอยู่ในช่วง 3-3.6 หลังจากนั้น pH ของข้าวหมากบางสูตรเริ่มคงที่ ในขณะที่บางสูตรในช่วงปลายของการหมักค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 1c)

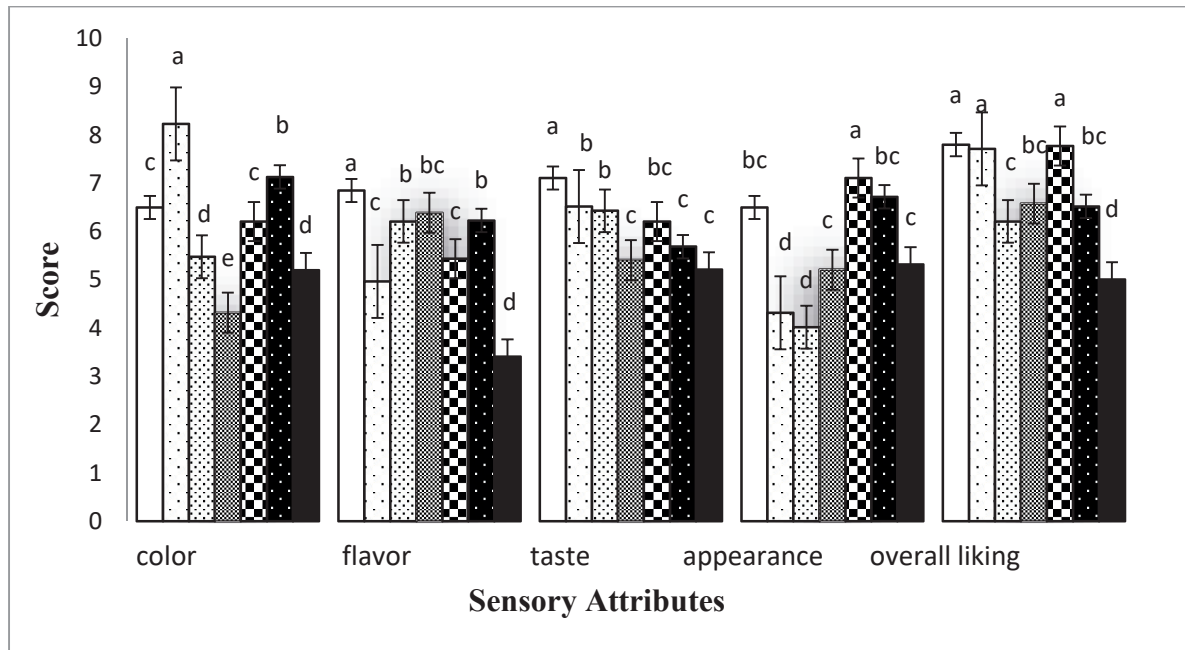




ภาพที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (a) แอลกอฮอล์ (b) และค่า pH (c) ของข้าวหมาก W₁₀₀ (···○···), PB₂₅ (··★··), PB₅₀ (··△··), PB₁₀₀ (—▲—), UB₂₅ (··◇··), UB₅₀ (--□--), UB₁₀₀ (—■—) ในระหว่างกระบวนการหมัก

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหมากแต่ละสูตร ด้านสี กลิ่นรส รส ลักษณะปรากฏ และความชอบรวม พบว่า PB₂₅ ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในด้านสี และความชอบรวม ในขณะที่ W₁₀₀ ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รส และความชอบรวมสูงที่สุด ส่วน UB₂₅ ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความชอบรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$) (ภาพที่ 2) แม้ UB₁₀₀ ได้รับคะแนนความชอบค่อนข้างต่ำ แต่อาจมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ในขั้นตอนนี้จึงคัดเลือก PB₂₅, UB₂₅ และ UB₁₀₀ เพื่อศึกษาในขั้นต่อไป



ภาพที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหมาก W₁₀₀ □ PB₂₅ □ PB₅₀ ▨ PB₁₀₀ ▩ UB₂₅ ▤ UB₅₀ ■ UB₁₀₀ ■

^{a-c} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในแต่ละลักษณะ

กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน

DPPH Radical Scavenging Activity

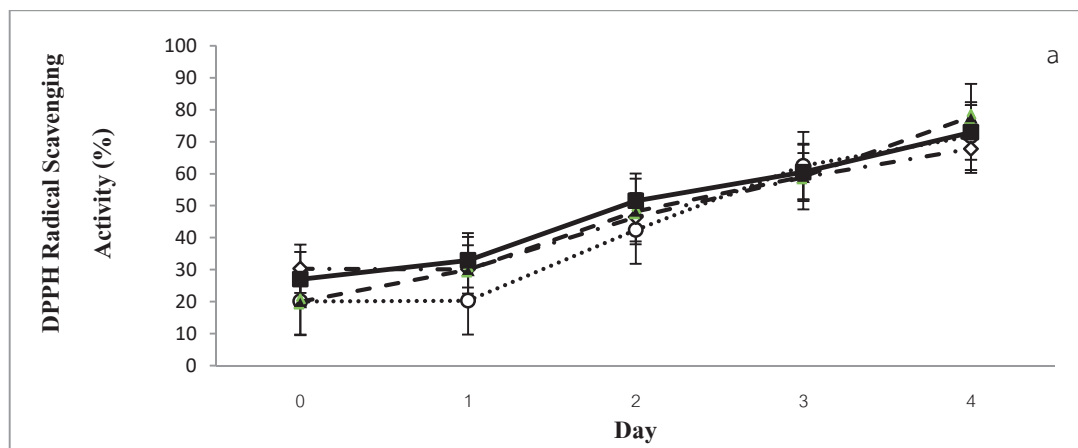
จากการศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวหมาก พบว่า เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น DPPH Radical Scavenging Activity ของข้าวหมากในแต่ละสูตรเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก ($p < 0.05$) (ภาพที่ 3a) โดยทั่วไปแล้ว DPPH Radical Scavenging Activity ของ UB₁₀₀ มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ UB₂₅, PB₂₅ และ W₁₀₀ ตามลำดับ ($p < 0.05$)

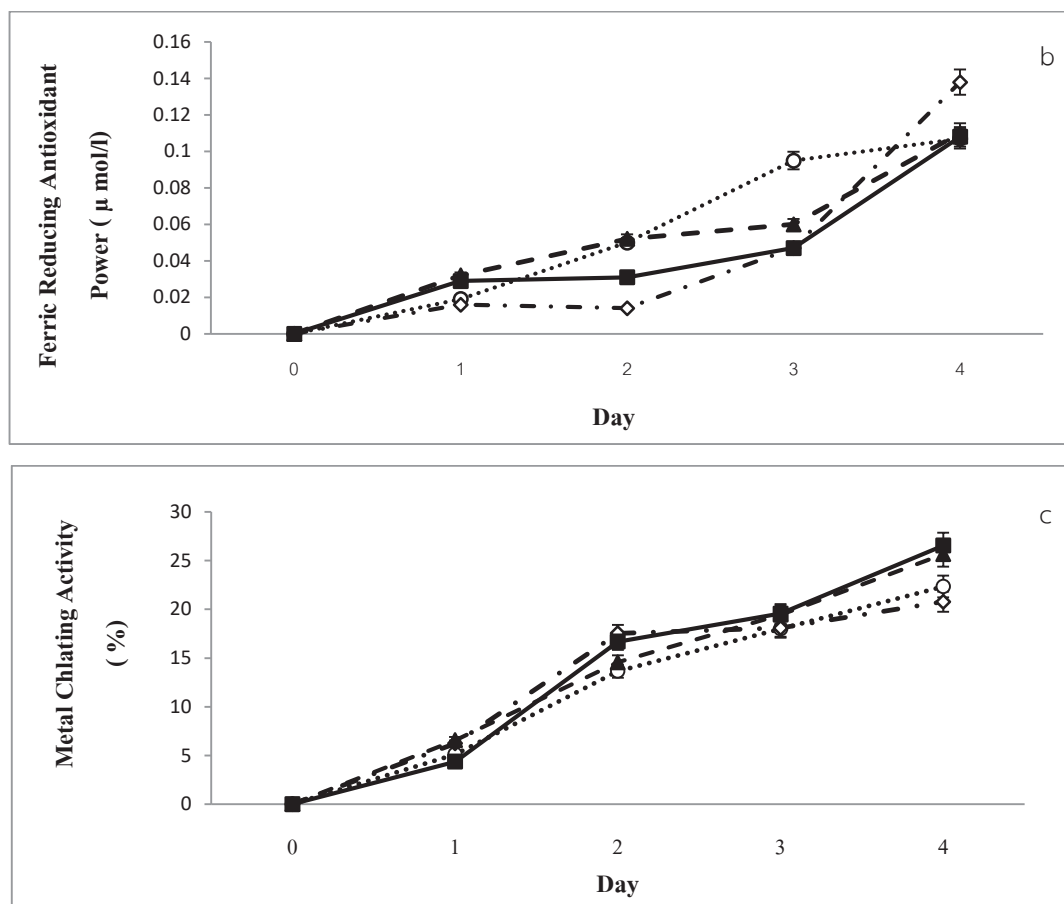
Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

จากการศึกษาผลของระยะเวลาการหมักต่อ FRAP พบว่า เมื่อระยะเวลาหมักข้าวหมากเพิ่มขึ้น FRAP ของข้าวหมากทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก ($p < 0.05$) (ภาพที่ 3b)

Metal Chelating Activity

จากการศึกษาผลของระยะเวลาการหมักต่อ Metal Chelating Activity หรือกิจกรรมการจับโลหะของข้าวหมากแต่ละสูตร พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น Metal Chelating Activity ของข้าวหมากทั้ง 4 สูตรเพิ่มขึ้น โดย UB₁₀₀ มีกิจกรรมสูงสุดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก รองลงมาคือ UB₂₅ และ PB₂₅, W₁₀₀ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 3c)





ภาพที่ 3 DPPH Radical Scavenging Activity (a) Ferric Reducing Antioxidant Power (b) และ Metal Chelating Activity (c) ของน้ำหมักข้าวหมาก W₁₀₀ (○····), PB₂₅ (◇--), UB₂₅ (▲--) และ UB₁₀₀ (■—)

การอภิปรายผล

ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจากการหมักข้าวหมากเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก โดยอัตราการเพิ่มลดลงในระยะหลังของการหมัก ซึ่งอาจเนื่องมาจากในระหว่างกระบวนการหมัก ราในลูกแป้งเริ่มแบ่งตัวเพิ่มจำนวนและสร้างเอนไซม์ α -อะไมเลสและกลูโคสอะไมเลสเพื่อย่อยแป้งในข้าวเหนียวให้เป็นน้ำตาล โดย α -อะไมเลส ย่อยแป้งได้เด็คตรินและกลูโคสอะไมเลสย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ได้กลูโคส นอกจากนี้ยีสต์ยังสามารถผลิตเอนไซม์กลูโคสอะไมเลสออกมาย่อยแป้งที่เหลือเป็นน้ำตาลได้อีกด้วย [3, 9] ในขณะที่มีรายงานว่าข้าวกล้องมีอัตราการย่อยสลายแป้งช้ากว่าข้าวขัดขาว [9]

แอลกอฮอล์

ปริมาณแอลกอฮอล์ในข้าวหมากทั้ง 7 สูตร เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้น เนื่องจากยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ [3] โดยปริมาณแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับชนิดของสับสเตรทที่หัวเชื้อยีสต์และราใช้ได้ ซึ่งแหล่งคาร์บอนในข้าวถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลและแอลกอฮอล์ตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องมีส่วนประกอบของแป้งต่ำกว่าข้าวขัดขาว แต่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เถ้า และโปรตีนสูงกว่า [9] ซึ่งอาจมีผลต่อการสร้างแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์ข้าวหมาก

พีเอช

เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นค่า pH ของข้าวหมากทั้ง 7 สูตรเริ่มลดลง หลังจากนั้น pH ของข้าวหมากบางสูตรเริ่มคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบคทีเรียแลคติกแอซิดและใช้น้ำตาลเพื่อเปลี่ยนเป็นกรด [3] และมีรายงานว่าหัวเชื้อและอุณหภูมิในการหมักมีผลต่อปริมาณกรดในการหมักข้าวเหนียว [10] โดยลักษณะของน้ำหมักขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว และค่า pH ที่ต่ำของข้าวหมากที่ทำจากข้าวกล้อง อาจเนื่องมาจากปริมาณของ Acidic Phenol ในรำข้าวที่หมักเมล็ดข้าวกล้อง รวมทั้ง

Protocatechuic Acid, P-Coumaric Acid, Caffeic Acid, Ferulic Acid, Sinapic Acid, Vanillic Acid, Methoxycinnamic Acid และ Tricin [1] ในขณะที่บางสูตรในช่วงปลายของการหมักค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยีสต์ใช้น้ำตาลหมด จึงเริ่มหันมาใช้แหล่งอาหารที่ซับซ้อนประเภทโปรตีนในข้าวมากขึ้น [9] ทำให้มีแอมโมเนียเกิดขึ้น จึงทำให้ pH เพิ่มขึ้น [11] ซึ่งข้าวกล้องมีโปรตีนสูงจึงเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญของยีสต์และรา [9]

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข้าวหมากที่ได้คะแนนความชอบสูงจากผู้บริโภคคือข้าวหมากที่ทดแทนด้วยข้าวเหนียวดำร้อยละ 25 การทดแทนด้วยข้าวเหนียวดำในสัดส่วนที่มากกว่านี้มีผลทำให้ได้คะแนนความชอบจากผู้บริโภคลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดแทนด้วยข้าวเหนียวดำทั้งหมด (ร้อยละ 100) ทั้งข้าวเหนียวดำขัดสีและข้าวเหนียวดำกล้องได้คะแนนความชอบในด้านต่างๆ ค่อนข้างน้อย ดังจะเห็นได้ใน UB₂₅ และ UB₁₀₀ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง UB₁₀₀ เนื่องจากข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการขัดขาวยังคงมีเชื้อหุ้มเมล็ด และรำข้าวทำให้มีสมบัติทางประสาทสัมผัสเฉพาะตัว โดยเฉพาะกลิ่นรส เช่น Cereal, Buttery, Sweetness, Nutty Aroma นอกจากนี้สีของเชื้อหุ้มเมล็ดยังมีผลต่อกลิ่นและกลิ่นรสของข้าว และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องหลังการหุงสุกยังมีลักษณะเฉพาะเนื่องจากยังมีเชื้อหุ้มเมล็ดหรือชั้นของรำข้าวหุ้มอยู่ จึงมีผลต่อการดูดน้ำและการขยายตัวของเมล็ดข้าว เนื่องจากชั้นของเพอริคาร์ปป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เอนโดสเปิร์ม ทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้น และข้าวสุกมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็ง [2] ส่วนกลิ่นรสที่ดีของข้าวหมากสูตรที่มีสัดส่วนข้าวเหนียวดำเหมาะสมเกิดจากยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลบางส่วนเป็นเอสเทอร์ซึ่งให้กลิ่นรสที่ดีในผลิตภัณฑ์ข้าวหมาก [3] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าหัวเชื้อยีสต์มีผลต่อสารให้กลิ่นรส จำพวกแอลกอฮอล์ เอสเทอร์ อัลดีไฮด์ ฟีนอล ลิโอดิน และกรด [12] และสายพันธุ์ของข้าวมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารหมักแอลกอฮอล์ ได้แก่ ลักษณะและสมบัติของอาหารหมัก เช่น ปริมาณน้ำตาล แอลกอฮอล์ กรด และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รส และความชอบรวม [13]

กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน

DPPH Radical Scavenging Activity

เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น DPPH Radical Scavenging Activity ของข้าวหมากในแต่ละสูตรเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสำคัญในน้ำหมักข้าวหมากสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลในไตรเจน DPPH [5]

Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

เมื่อระยะเวลาหมักข้าวหมากเพิ่มขึ้น FRAP ของข้าวหมากทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสำคัญในน้ำหมักข้าวหมากสามารถรีดิวซ์ Fe^{3+} ไปเป็น Fe^{2+} โดยให้อิเล็กตรอนกับ Fe^{3+} [6]

Metal Chelating Activity

Metal Chelating Activity หรือความสามารถในการจับโลหะของข้าวหมากทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น เนื่องจากโลหะเป็น Prooxidant ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การจับโลหะสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ [7]

เมื่อหมักนานขึ้น สารสำคัญประเภทสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น [1, 3] โดยข้าวเหนียวดำมีสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าข้าวเหนียวขาว และข้าวกล้องมีสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าข้าวขัดขาว [1] โดยเมล็ดข้าวสีม่วงประกอบด้วยรงควัตถุแอนโทไซยานิน Cyanidin 3-Glucoside และ Peonidin 3-Glucoside ซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพ ส่วนเชื้อหุ้มเมล็ดของข้าวกล้องมีสารสำคัญ เช่น Ferulic Acid, Vanillic Acid, Protocatechuic Acid, Phenolic Acid Ester, γ -Oryzanol, Phytic Acid และ Inositol นอกจากนี้ ข้าวกล้องยังมีโปรตีน กรดอะมิโน วิตามิน เหล็ก และแคลเซียมมากกว่าข้าวที่ผ่านการขัดขาว [1]

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพของข้าวหมากในระหว่างกระบวนการหมักขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้าวเหนียวดำที่ใช้ทดแทนข้าวเหนียวขาว การทดแทนด้วยข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวดำกล้องร้อยละ 25 ยังคงได้คะแนนความชอบจากผู้บริโภคในระดับสูง ส่วนการทดแทนในสัดส่วนที่มากกว่านี้มีผลทำให้ได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคลดลง อย่างไรก็ตามการทดแทนด้วยข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวดำกล้องส่งผลให้เกิดกระบวนการหมักเร็วขึ้นซึ่งอาจช่วยลดระยะเวลาการผลิตได้ และผลิตภัณฑ์ข้าวหมากมีสารต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ดังนั้นข้าวหมากที่ทดแทนด้วยข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นบ้านจังหวัดพัทลุงอาจมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยเฉพาะการทดแทนด้วยข้าวเหนียวดำกล้องทั้งหมด แต่ควรศึกษาในขั้นต่อไปถึงวิธีการกำจัดกลิ่นรำข้าวเพื่อการยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

- [1] Manosroi, A., Ruksiriwanich, W., Kietthanakorn, B., Manosroi, W. and Manosroi, J. (2011). “Relationship between Biological Activities and Bioactive Compounds in the Fermented Rice Sap”, **Food Research International**. 44, 2757–2765.
- [2] Tikapunya, T., Henry, R.J. and Smyth, H. (2018). “Evaluating the Sensory Properties of Unpolished Australian Wild Rice”, **Food Research International**. 103, 406-414.
- [3] Ghosh, K., Ray, M., Adak, A., Dey, P., Halder, S.K., Das, A. Jana, A., Parua, S., Mohapatra, P.K.D., Pati, B.R. and Mondal, K.C. (2015). “Microbial, Saccharifying and Antioxidant Properties of an Indian Rice Based Fermented Beverage”, **Food Chemistry**. 168, 196–202.
- [4] Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T. (1990). **Sensory Evaluation Techniques**. Florida, USA: CRC Press, Inc.
- [5] Yen, G., and Wu, J. (1999). “Antioxidant and Radical Scavenging Properties of Extract from *Ganoderma tsugae*”, **Food Chemistry**. 65, 375–379.
- [6] Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. (1996). “The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The Assay”, **Analytical Biochemistry**. 239, 70-76.
- [7] Decker, E.A., and Welch, B. (1990). “Role of Ferritin as a Lipid Oxidation Catalyst in Muscle Food”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 38, 674–677.
- [8] Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach**. New York. McGraw-Hill.
- [9] Favaro, L., Cagnina, L., Basaglia, M., Pizzocchero, V., Van Zyl, W.H. and Casella, S. (2017). “Production of Bioethanol from Multiple Waste Streams of Rice Milling”, **Bioresour. Technol.** 224, 151-159.
- [10] Gui-you, L., Sheng, Y. and Chuan-chao, D. (2004). “Factors Affecting G-Linolenic Acid Content in Fermented Glutinous Rice Brewed by *Rhizopus* sp.”, **Food Microbiology**. 21, 299–304.
- [11] Klompong, V., Benjakul, S., Kantachote, D. and Shahidi, F. (2012). “Use of Protein Hydrolysate from Yellow Stripe Trevally (*Selaroides leptocephalus*) as Microbial Media”, **Food Bioprocess Technology**. 5, 1317-1327.
- [12] Yang, Y., Xia, Y., Wang, G., Yu, J. and Ai, L. (2017). “Effect of Mixed Yeast Starter on Volatile Flavor Compounds in Chinese Rice Wine during Different Brewing Stages”, **LWT - Food Science and Technology**. 78, 373-381.
- [13] Wang, Q.J., Sun, D.W., Jeong, S.T., Yeo, S.H., Choi, J.H. and Choi, H.S. (2014). “Screening of Rice Cultivars for Brewing High Quality Turbid Rice Wine”, **LWT - Food Science and Technology**. 56, 145-152.

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพริกหวาน

The Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Growth of Sweet Chilli

ชีวะ ทศนา^{1*}, นิคม ผึ้งคำ², สมยศ ศรีคงรักษ์², จันทนีย์ เพ็ชรไพบูลย์³ และวิลาสินี เนนริมหนอง³

Chewa Thassana^{1*}, Nikom Phuengkum², Somyot Srikongrug², Jantane Petpaiboon³ and Wilasinee Noenrimnong³

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ผลของปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพริกหวานถูกศึกษา โดยการวัดความสูงของลำต้น ความยาวของราก และปริมาณความชื้นของพริกหวานที่รดด้วยน้ำที่ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า พริกหวานที่รดด้วยน้ำที่ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 มิลลิกรัม มีการเจริญเติบโตมากที่สุด โดยมีความสูงของลำต้นและความยาวของรากเฉลี่ย 22.36 ± 0.70 และ 18.20 ± 1.30 เซนติเมตรตามลำดับ และมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 84.02 ในขณะที่พริกหวานที่รดด้วยน้ำที่ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 มิลลิกรัม และพริกหวานที่รดด้วยน้ำบริสุทธิ์มีความสูงของลำต้นใกล้เคียงกันโดยมีค่าความสูงเฉลี่ย 19.76 ± 2.03 และ 19.48 ± 2.62 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ความยาวเฉลี่ยของรากค่อนข้างมีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ: อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ การเจริญเติบโต พริกหวาน

Abstract

In this research, the effects of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) on the growth of the sweet chilli which sprayed with water containing different concentrations of zinc oxide nanoparticles, were studied by measuring the stem length, the root length and the moisture content. The results showed that the sweet chilli, which sprayed with water containing 20 mg of ZnO NPs, had the highest growth. The average of the stem length and the root length was 22.36 ± 0.70 and 18.20 ± 1.30 cm, respectively as well as moisture content found to be about 84.02 %. Whereas, the height and a number of the leaves of sweet pepper sprayed with water containing 10 mg of ZnO NPs and with pure water, were similar. They have an average length of the stem approximately 19.76 ± 2.03 and 19.8 ± 2.62 cm, respectively. However, the average length of the roots was rather different.

Keywords: ZnO Nanoparticle, Growth, Sweet Chilli

¹ ผศ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

² อ., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

³ นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

² Lecturer, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

³ Undergraduate Student, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

* Corresponding author: Tel.: 097 1526017. E-mail address: ct2709@gmail.com

บทนำ

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่พบเห็นได้ในธรรมชาติ มีคุณสมบัติพิเศษทางแสง ไม่ละลายน้ำ จึงลดปัญหาการปนเปื้อนของซิงค์ออกไซด์ต่อแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการป้องกันและยับยั้งแบคทีเรียตามธรรมชาติไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ ด้านเวชสำอางและผลิตภัณฑ์กันแดดมีการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาเป็นส่วนผสมเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันรังสียูวีเอและยูวีบี นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และขาก็นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มอัตราการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงมีผู้สนใจนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านเกษตรกรรม ตัวอย่างเช่น การนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ในการฉีดพ่นต้นมะนาวในอัตราส่วน 50 กรัมต่อน้ำ 200 ลิตร โดยฉีดพ่นทุกๆ 10 ถึง 15 วันต่อครั้ง ปรากฏว่า ผลมะนาวมีขนาดใหญ่ขึ้น ผิวเขียวมันเงางาม ไม่พบรอยจุดบนสีน้ำตาลตามผลและไม่ถูกทำร้ายจากเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคแคงเกอร์ในมะนาว—รวมถึงผลผลิตที่ได้มีปริมาณมากกว่าที่ไม่ได้ใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ถึงร้อยละ 20 [1]

ปัจจุบันมีการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น การปลูกข้าวซึ่งได้มีการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้นต่างๆ ต่อการงอก จำนวนและความยาวของรากของข้าว[2] การเจริญเติบโตของข้าวโพด[3] การเติบโตของหอมและขนาดของหัวหอมซึ่งใช้ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แตกต่างกัน คือ 0 10 20 30 และ 40 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร พบว่า ข้าวที่รดด้วยปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 ไมโครกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร มีอัตราการงอกของเมล็ดและอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด [4] นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของถั่ว [5] การเจริญเติบโตและน้ำหนักของมันฝรั่ง [6] และแครอท [7] ตลอดจนยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีต่อจำนวนและขนาดของใบ ความยาวรากและลำต้นพริก [8] และพืชอื่นๆ [9]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพริกหวานเนื่องจากพริกหวานเป็นพืชสวนครัวชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบหลักของอาหารหลายชนิดและยังเป็นพืชที่มีราคาสูงเหมาะแก่การสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพริกหวานนั้นคณะผู้วิจัยแบ่งเป็น 4 เงื่อนไข คือ น้ำบริสุทธิ์ (ชุดควบคุม) และน้ำผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อน้ำสะอาดปริมาตร 1 ลิตร โดยแต่ละเงื่อนไขจะใช้เมล็ดพันธุ์และดินที่มาจากแหล่งเดียวกัน ขั้นตอนแรกจะนำเมล็ดพริกหวานที่เตรียมไว้มาแช่ในน้ำปริมาตร 1 ลิตร ที่มีปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็น 0 10 20 และ 30 มิลลิกรัม ตามลำดับเป็นระยะเวลา 1 คืน แล้วนำเมล็ดพันธุ์ในแต่ละเงื่อนไขมาทำการเพาะต้นกล้าโดยจะนำดินใส่ในถุงปลูก จำนวน 4 ถุง ถุงละ 10 เมล็ด แล้วทำการรดด้วยน้ำทุกวัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ด้วยเงื่อนไขน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เช่นเดียวกับตอนแช่เมล็ดพันธุ์ โดยจะทำการสังเกตและตรวจวัดปริมาณการงอกของเมล็ดพันธุ์ ความสูงในระยะต้นอ่อนจำนวนใบและโรคพืชในระยะต้นอ่อน

ผู้ทำวิจัยทำการย้ายต้นกล้าจากถุงเพาะเมล็ดทั้ง 4 เงื่อนไขโดยเลือกต้นกล้าที่สมบูรณ์ มีความสูงใกล้เคียงกันมากที่สุด เงื่อนไขละ 5 ต้น แล้วนำไปปลูกในถุงทดลองจำนวน 20 ถุง โดยปลูกถุงละหนึ่งต้น แต่ละวันจะทำการรด น้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ แล้วทำการวัดความสูงของลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้งของใบและลำต้น

ผลการวิจัย

การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพริกหวานแบ่งเป็น 4 เงื่อนไขประกอบด้วย น้ำบริสุทธิ์ 1 ลิตร และน้ำ 1 ลิตรผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 20 และ 30 มิลลิกรัม โดยคณะผู้ทำวิจัยแบ่ง การศึกษาออกเป็น 2 ตอน คือ ระยะต้นอ่อนและระยะเพาะปลูกหลังย้ายต้นกล้า

1. ผลการเจริญเติบโตของต้นพริกหวานในช่วงระยะต้นอ่อน

ผลการศึกษาการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวานที่ถูกแช่ในน้ำและน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 20 และ 30 มิลลิกรัม เป็นเวลา 1 คืน แล้วนำเมล็ดพันธุ์เงื่อนไขละ 10 เมล็ด มาเพาะในถาดดิน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยรดด้วย น้ำและน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 20 และ 30 มิลลิกรัม พบว่า เมล็ดพริกหวานที่แช่และรดด้วยน้ำ ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม มีจำนวนการงอกของเมล็ดมากที่สุดตั้งแต่ในสัปดาห์แรก โดยมีจำนวนเมล็ดที่งอกจำนวน 9 เมล็ด แต่เมล็ดพริกหวานที่แช่และถูกรดด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 30 มิลลิกรัม มีจำนวนเมล็ดที่งอกน้อยที่สุด โดยในช่วงสัปดาห์แรกมีจำนวนเมล็ดที่งอกเพียง 5 เมล็ด และในสัปดาห์ที่สาม เมล็ดงอก เพิ่มขึ้น 6 เมล็ด เท่านั้น ในขณะที่เมล็ดพันธุ์พริกหวานที่แช่และถูกรดด้วยน้ำที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 10 มิลลิกรัม และเมล็ดพันธุ์ที่แช่และรดด้วยน้ำบริสุทธิ์ (ชุดควบคุม) มีจำนวนเมล็ดงอกเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และจำนวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ของพริกหวาน

ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (มิลลิกรัม)	จำนวนการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน (เมล็ด)		
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
ต่อน้ำ 1 ลิตร			
0	7	7	8
10	7	8	8
20	9	9	9
30	5	5	6

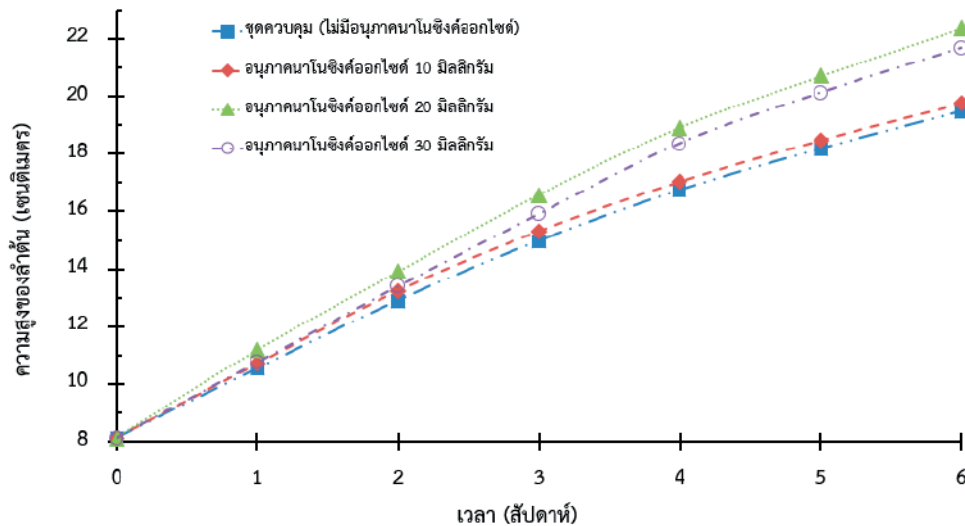
ตารางที่ 2 แสดงความสูงเฉลี่ยของลำต้นของพริกหวานที่ถูกรดด้วยน้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ ออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ กัน พบว่า พริกหวานที่ถูกรดด้วยน้ำผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 มิลลิกรัม ความสูง เฉลี่ยของลำต้นมากที่สุด ตั้งแต่สัปดาห์แรก โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 1.83 ± 0.07 เซนติเมตร และสัปดาห์ที่สามมีความสูง เฉลี่ยเท่ากับ 5.79 ± 0.08 เซนติเมตร ในขณะที่พริกหวานที่ถูกรดด้วยน้ำผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 30 มิลลิกรัม มีความสูงเฉลี่ยของลำต้นน้อยที่สุด โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 1.58 ± 0.08 เซนติเมตร ในช่วงสัปดาห์แรก หลังจากงอกจากเมล็ด และสัปดาห์ที่สามมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 5.62 ± 0.18 เซนติเมตร

ตารางที่ 2 ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และความสูงเฉลี่ยของลำต้นระยะต้นอ่อน

ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (มิลลิกรัม)	ความสูงเฉลี่ยของลำต้น (เซนติเมตร)		
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
ต่อน้ำ 1 ลิตร			
0	1.66 ± 0.05	3.60 ± 0.07	5.68 ± 0.08
10	1.73 ± 0.08	3.76 ± 0.10	5.67 ± 0.08
20	1.83 ± 0.07	3.81 ± 0.08	5.79 ± 0.08
30	1.58 ± 0.08	3.42 ± 0.11	5.62 ± 0.18

2. ผลการเจริญเติบโตของพริกหวานในระยะเพาะปลูกหลังย้ายต้นกล้า

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของพริกหวานที่รดด้วยน้ำสะอาดและน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ปริมาณ 10 20 และ 30 มิลลิกรัม หลังย้ายต้นกล้าที่มีความสูงของลำต้นใกล้เคียงกันมาปลูกในถุงเพาะเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ และรดด้วยน้ำสะอาด (ชุดควบคุม) และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 10 20 และ 30 มิลลิกรัม ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสูงเฉลี่ยของลำต้นพริกหวานที่รดด้วยน้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณต่างกัน

เมื่อพิจารณาภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า พริกหวานที่รดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 มิลลิกรัม มีการเจริญเติบโตดีกว่าพริกหวานที่รดด้วยน้ำและน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เงื่อนไขอื่นๆ โดยสามารถสังเกตได้จากความสูงของลำต้นของพริกหวานที่ถูกรดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 มิลลิกรัม มีค่าสูงกว่าความสูงของลำต้นของพริกหวานที่ถูกรดด้วยน้ำและน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 และ 30 มิลลิกรัม ตั้งแต่สัปดาห์แรกจนถึงสัปดาห์สุดท้าย

อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าต้นพริกหวานที่รดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 มิลลิกรัมและ 30 มิลลิกรัม มีค่าอัตราการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันโดยพบว่าหลังนำต้นกล้าพริกหวานมาปลูกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พริกหวานมีความสูงของลำต้น ความยาวของรากและจำนวนใบเฉลี่ยมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3 ในขณะที่ต้นพริกหวานที่รดด้วยน้ำสะอาดและน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 10 มิลลิกรัมมีค่าอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยรากค่อนข้างสั้นและจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น 6 - 7 ใบ นอกจากนี้ยังพบว่า ใบของต้นพริก มีลักษณะเหลืองต่าง หัก ใบไหม้ บริเวณปลายยอดมีสีน้ำตาล ไม่แตกยอด ใบร่วงและใบเหลืองต่างดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 3 ความสูงเฉลี่ยของลำต้น ความยาวเฉลี่ยของรากและจำนวนใบของพริกหลังปลูกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (มิลลิกรัม)	ความสูงเฉลี่ยของลำต้น (เซนติเมตร)	ความยาวเฉลี่ยของราก (เซนติเมตร)	จำนวนใบเฉลี่ย ต่อต้น
0	19.48 ± 2.62	11.30 ± 1.80	6
10	19.76 ± 2.03	8.20 ± 2.02	7
20	22.36 ± 0.07	18.20 ± 1.50	10
30	21.68 ± 1.23	18.20 ± 1.30	9



ภาพที่ 2 ลักษณะ โรคพืชที่พบในพริกหวานที่รดด้วยน้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 10 มิลลิกรัม

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะและความยาวของรากของพริกหวานที่รดด้วยน้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณรากและความยาวของรากของพริกหวานที่รดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 และ 30 มิลลิกรัม มีความยาวเฉลี่ยใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณ 18.2 เซนติเมตร ในขณะที่รากของพริกหวานที่รดด้วยน้ำบริสุทธิ์มีความยาวเฉลี่ย 11.30 เซนติเมตร และรากของพริกหวานที่รดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 10 มิลลิกรัม มีความยาวเฉลี่ยสั้นที่สุดโดยมีค่าประมาณ 8.20 เซนติเมตร



ภาพที่ 3 ความยาวรากของต้นพริกหวานที่ถูกรดด้วยน้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณต่างกัน

ตารางที่ 4 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและร้อยละปริมาณความชื้นของต้นพริกหวานหลังอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (มิลลิกรัม)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ร้อยละของปริมาณความชื้น (%)
0	8.8746	1.6999	80.83
10	10.1821	1.8946	81.39
20	13.7211	2.1921	84.02
30	11.8423	2.0034	83.08

ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและร้อยละปริมาณความชื้นของต้นพริกหวาน หลังจากนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จะเห็นว่า น้ำหนักสด (น้ำหนักก่อนอบ) และน้ำหนักแห้ง (น้ำหนักหลังอบ)

ของต้นพริกหวานที่รดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม มีค่า 13.7211 และ 2.1921 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าร้อยละปริมาณความชื้น 84.02 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเงื่อนไขอื่นๆ

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพริกหวาน โดยเมล็ดพันธุ์ พริกหวาน มาแช่ในน้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 20 และ 30 มิลลิกรัม เป็นเวลา 1 คืน แล้วนำเมล็ดพันธุ์แต่ละเงื่อนไขมาเพาะในถุงดินเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พร้อมกับรดด้วยน้ำบริสุทธิ์และน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ตามแต่ละเงื่อนไข ซึ่งคณะผู้วิจัยพบว่าเมล็ดพริกหวานที่แช่และรดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 มิลลิกรัมมีจำนวนการงอกของเมล็ดมากที่สุดตั้งแต่สัปดาห์แรก ในขณะที่เมล็ดพริกหวานที่แช่และรดด้วยน้ำผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 30 มิลลิกรัมต่อ มีจำนวนเมล็ดที่งอกน้อยที่สุด แสดงว่าปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์น่าจะส่งผลต่อการงอกของเมล็ดของพริกหวาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Laware และ Raskar [4] ที่ได้ทำการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการแบ่งเซลล์และการงอกของหัวหอม โดยจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เกินกว่า 30 มิลลิกรัมจะส่งผลให้จำนวนของรากและความยาวของรากและใบของหอมแดงลดลง เนื่องมาจากการสะสมรบกวนที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงในพืชมีค่าลดลงจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช [2] ยิ่งไปกว่านั้น ผลการศึกษากการเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อนและการเจริญเติบโตในระยะเพาะปลูกหลังย้ายกล้ายังแสดงให้เห็นว่า ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 20 มิลลิกรัม มีผลทำให้ต้นพริกหวานเจริญเติบโตได้ดีที่สุดสังเกตได้จากความสูงของลำต้น ปริมาณและความยาวของรากและจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ในระยะต้นอ่อนจนถึงระยะหลังย้ายกล้าซึ่งบ่งบอกถึงการขยายขนาดและพื้นที่ในการรับแสงของต้นพริกหวาน ความยาวรากที่บ่งบอกถึงความกว้างของบริเวณที่ต้นพริกหวานจะได้สารอาหาร ปริมาณความชื้นที่มากที่สุดซึ่งบ่งบอกถึงกระบวนการต่างๆ ที่สมบูรณ์และสามารถป้องกันโรคพืชได้ทั้งในระยะต้นอ่อนและระยะเพาะปลูกหลังย้ายกล้า ทั้งนี้ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 30 มิลลิกรัมมีผลต่อการป้องกันโรคพืชมาตั้งแต่ในระยะต้นอ่อนจนถึงระยะหลังย้ายกล้า แต่ในส่วนของการเจริญเติบโตนั้นพบว่าพริกหวานมีการเจริญเติบโตช้า มีจำนวนการงอกเมล็ดน้อยที่สุดซึ่งน่าจะเกิดจากการผิดปกติของโครโมโซม ทำให้มีการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติ ในขณะที่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 มิลลิกรัม ช่วยให้พืชในระยะต้นอ่อนเจริญเติบโตได้ดี แต่ไม่สามารถป้องกันโรคได้ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโต และต้นพริกขาดควบคุม (ไม่ใช่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์) มีปัญหาโรคพืชตั้งแต่ในระยะต้นอ่อนจนถึงสัปดาห์สุดท้ายทำให้ต้นพริกหวานไม่สามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Charoenboon, W. (2556), **Nano-zinc Oxide Particles Eliminate Canker, Which is a Major Problem of Lime Grower, College of Nanotechnology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang** (Online). Retrieved 7 January 2560, from <http://www.manager.co.th>.
- [2] Boonyanitipong, P., Kumar, P., Kositsup, B., Baruah, S. and Dutta, J. (2011). "Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Roots of Rice *Oryza Sativa* L.", **International Conference on Environment and bioscience IPCBEE**. 21, IACSIT Press, Singapore, 172-176.
- [3] Taheri, M., Ataie, Q.H., Qarache, A. A. and Yoosefi, M. (2015). "The Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Growth Parameters of Corn (SC704)", **STEM Fellowship Journal**. 1(2), 17-20.

- [4] Laware, S.L. and Shilpa, R. (2014). “Influence of Zinc Oxide Nanoparticles on growth, Flowering and Seed Productivity in Onion”, **International Journal of Current Microbiology and Applied Science**. 3(7), 874-881.
- [5] Prasad T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreennivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanalal, P.R. and Pradeep, T. (2012). “Effect of Nanoscale Zinc Oxide Particles on Germination, Growth and Yield of Peanut”, **Journal of Plant Nutrition**. 35, 905-927
- [6] Panwar, J., Jain, N., Bhargaya, A., Akhtar, M.S. and Yeoung-Song, Y. (2012). “Positive Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Tomato Plants : A Step Towards Developing Nano- Fertilizers”, **International conference on Environmental Research and Technology**. 348-352.
- [7] Elizabeth, A., Bahadur, V., Misra, P., Prasad, V.M. and Moham, T.T. (2017). “Effect of Different Concentration of Iron Oxide and Zinc Oxide Nanoparticles on Growth and Yield of Carrot (*Daucus carota* L.)”, **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. 6(4), 1266-1269.
- [8] Afrayem, S.M. and Chaurasia, A.K. (2017). “Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Seed Germination and Seed Vigour in Chilli (*Capsicum annum* L.)”, **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. 6(5), 1654-1566.
- [9] Sturikova, H., Krystofova, O., Hedbravny, J. and Vojtech, A. (2017). “The Comparison of Effect of Zinc Sulphate and Zinc Oxide Nanoparticles on Plants”, **Mendel Net Conference Brno 2018**. November 8-9, Brno, Czech Republic. 932-936.

ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูและไพล เพื่อใช้เป็นยาสลบสำหรับแมลงหวี่

Efficacy of Essential Oils from Clove (*Syzygium aromaticum*) and Cassumunar Ginger (*Zingiber montanum*) as Anesthetic Agents for Fruit Fly (*Drosophila melanogaster*)

ณัฐณิชา คำโสภา^{1*} อรุณรัตน์ วนิชชานนท์ และนพดล สุกระกาญจน์³

Naathanicha Khamsopa^{1*}, Arunrut Vanichanon² and Noppadon Sukrakanchana³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูและไพล ความเข้มข้น 100 % เพื่อใช้เป็นยาสลบแมลงหวี่ในปฏิบัติการพันธุศาสตร์ โดยเปรียบเทียบกับไดเอทิลอีเทอร์ ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันหอมระเหยไพล สามารถสลบแมลงหวี่ได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู โดยน้ำมันหอมระเหยไพลสามารถทำให้แมลงหวี่สลบครึ่งหนึ่ง ภายในเวลา 5 นาที แมลงหวี่สลบทั้งหมดภายในเวลา 10 นาที และแมลงหวี่ใช้เวลาในการเริ่มฟื้นตัวประมาณ 30 นาที แมลงหวี่ฟื้นทั้งหมดภายใน 55 นาที ขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากกานพลูทำให้แมลงหวี่สลบทั้งหมดภายในเวลา 25 นาที และใช้เวลาในการเริ่มฟื้นตัวประมาณ 30 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสลบแมลงหวี่ของ ไดเอทิลอีเทอร์ พบว่า สาร ไดเอทิลอีเทอร์ ให้ผลดีกว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชทั้งสองชนิด โดยทำให้แมลงหวี่เริ่มสลบภายในเวลา 3 นาที และใช้เวลาในการเริ่มฟื้นตัวในเวลา 10 - 35 นาที จากผลการทดลองสรุปได้ว่าน้ำมันหอมระเหยไพล เป็นยาสลบที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำมาใช้ทดแทนไดเอทิลอีเทอร์ในปฏิบัติการพันธุศาสตร์ได้

คำสำคัญ: น้ำมันหอมระเหยไพล น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู ไดเอทิลอีเทอร์ ยาสลบ แมลงหวี่

Abstract

Efficacy of essential oils from clove (*Syzygium aromaticum*) and cassumunar ginger (*Zingiber montanum*) 100 % intensity as anesthetic agents to fruit fly (*Drosophila melanogaster*) in genetic laboratory compared with diethyl ether. The results revealed that fruit flies were better anesthetized by cassumunar ginger essential oil, compared to clove essential oil. Fifty percent and 100 percent of flies can be anesthetized by cassumunar ginger essential oil within 5 and 10 minutes respectively. Some flies started recovery at 30 minutes then all of them recovered after

¹ นิสิตหลักสูตรการศึกษามัธยมศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์-ชีววิทยา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผศ., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Undergraduate Student, B.Ed., Science-Biology, Faculty of Education, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Lecturer, Dr., Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Asst. Prof., Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel.: 08-5655-3132, E-mail address: okhamsopa@outlook.com

55 minutes while clove essential oil anesthetized all flies within 25 minutes and recovery time started at 30 minutes. However, anesthetic efficacy investigation showed that diethyl ether exhibited better anesthetic property, compared to both herb essential oils. All flies were anesthetized by diethyl ether within 3 minutes and recovered within 10-35 minutes. This study suggested that cassumunar ginger essential oil can be used as an anesthetic agent instead of diethyl ether in genetic laboratory.

Keywords: Cassumunar Ginger Essential Oil, Clove Essential Oil, Diethyl Ether, Anesthetic Agents, Fruit Fly

บทนำ

การจัดการเรียนรู้รายวิชาปฏิบัติการพันธุศาสตร์ในหลักสูตรระดับปริญญาตรี โดยทั่วไปจะนำแมลงหวี่มาใช้เป็นสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพันธุกรรม การศึกษาแมลงหวี่สายพันธุ์ต่างๆ รวมถึงการตรวจสอบลักษณะของแมลงหวี่ จำเป็นต้องทราบและเข้าใจกระบวนการต่าง ๆ ที่จำเป็น เพื่อให้การศึกษาและวิจัยประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ เทคนิคการสลบแมลงหวี่เป็นเทคนิคที่จำเป็นเพื่อตรวจนับจำนวน หรือศึกษาลักษณะของแมลงหวี่ โดยปัจจุบันนิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นยาสลบสำหรับแมลงหวี่ แต่การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีราคาแพง อีกทั้งเป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น อาจเกิดการรั่วไหลของก๊าซออกจากถัง หรือท่อต่าง ๆ ได้ ส่วนไดเอทิลอีเทอร์ เป็นสารเคมี อาจเหมาะกับห้องปฏิบัติการขนาดเล็ก หรือการปฏิบัติงานเฉพาะบุคคล เนื่องจากอาจก่อให้เกิดไอระเหย พุ้งกระจาย มีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้

จากการศึกษาก่อนหน้านี้มีรายงานว่าในธรรมชาติมีพืชหลากหลายชนิดที่มีสารออกฤทธิ์ที่มีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ป้องกัน และกำจัดแมลงได้ หรือมีสารออกฤทธิ์เป็นยาระงับความรู้สึก จึงได้นำสารสกัดจากพืชสมุนไพร หรือน้ำมันหอมระเหย ที่สกัดจากพืช ได้แก่ กานพลู (*Syzygium aromaticum*) และไพล (*Zingiber montanum*) เป็นแนวทางในการหาสารจากธรรมชาติมาใช้ทดแทนสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยพืชสมุนไพรต่าง ๆ เหล่านี้ มนุษย์ใช้เป็นทั้งอาหาร และเป็นยารักษาโรค รวมทั้งเป็นสมุนไพรที่มีความปลอดภัย สลายตัวได้ดีในธรรมชาติ และไม่ก่อให้เกิดมลพิษในสิ่งแวดล้อม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของสารต่อการสลบและการฟื้นตัวของแมลงหวี่ ซึ่งใช้น้ำมันหอมระเหยทางการค้าที่มีความเข้มข้น 100 % โดยก่อนเริ่มการทดลองให้สลบแมลงหวี่โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นแยกแมลงหวี่ไปเลี้ยงในขวดเลี้ยงแมลงหวี่ ขวดละ 10 ตัว เลี้ยงแมลงหวี่ต่อไปอีก 1 ชั่วโมง จึงเริ่มทำการทดลองคัดแปลงตามวิธีของนางนุช [1] แบ่งเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

1. การหาระยะเวลาสลบแมลงหวี่ แบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1.1 ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู น้ำมันหอมระเหยไพล และไดเอทิลอีเทอร์ สังเกตการสลบของแมลงหวี่ทุก 5 นาที จนครบ 30 นาที

- 1) หยดสารที่ใช้ทดสอบแต่ละชนิด 0.1 มิลลิลิตร ลงบนสำลีที่ไว้ผูกปิดปากขวดวางยาสลบ ทำจำนวน 3 ข้าง
- 2) เอาขวดวางยาสลบเบาๆ เพื่อให้แมลงหวี่ร่วงลงไปอยู่ก้นขวด
- 3) ปิดปากขวดด้วยสำลีที่หยดสารที่ใช้ทดสอบโดยเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงหวี่หนีออก และไม่ให้กลิ่นพุ้งกระจาย
- 4) สังเกตการสลบของแมลงหวี่ทุก 5 นาที จนครบ 30 นาที และบันทึกผล

ตอนที่ 1.2 ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยไพล และไดเอทิลอีเทอร์ สังเกตการสลบของแมลงหวี่
ทุก 1 นาที จนครบ 10 นาที (ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1.1 แต่สังเกตการสลบของแมลงทุก 1 นาที จนครบ 10 นาที)

2. การหาระยะเวลาที่พื้นตัวของแมลงหวี่ แบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 2.1 สลบแมลงหวี่ทุก 5 นาที จนครบ 30 นาที ด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลู น้ำมันหอมระเหยไพล และ
ไดเอทิลอีเทอร์

- 1) สลบแมลงหวี่ที่ระยะเวลา 5 10 15 20 25 และ 30 นาที
- 2) ถ่ายแมลงหวี่ที่ทดสอบแล้วไปในขวดเลี้ยงแมลงหวี่ขวดอื่น
- 3) สังเกตการฟื้นตัวของแมลงหวี่ ทุก 5 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง และบันทึกผล

ตอนที่ 2.2 สลบแมลงหวี่ทุก 1 นาที จนครบ 10 นาที ด้วยน้ำมันหอมระเหยไพล และไดเอทิลอีเทอร์ (ทำการ
ทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2.1 แต่สลับแมลงหวี่ที่ระยะเวลา 1 2 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 นาที)

ในกรณีที่ไม่ต้องการใช้แมลงหวี่ต่อไป ให้กำจัดทิ้งโดยใส่ในขวดฆ่า หรือ ขวดน้ำมันที่เตรียมไว้

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาระยะเวลาสลบแมลงหวี่



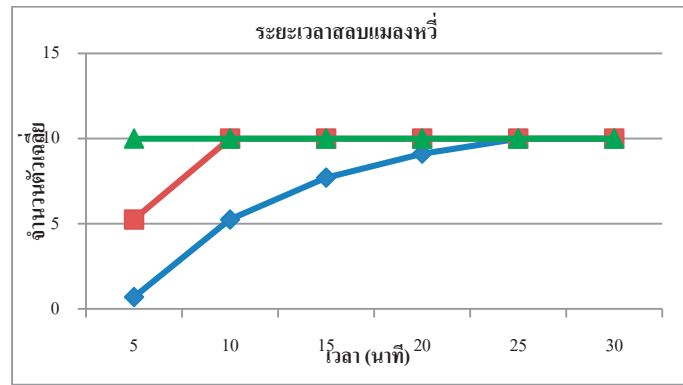
(ก)



(ข)

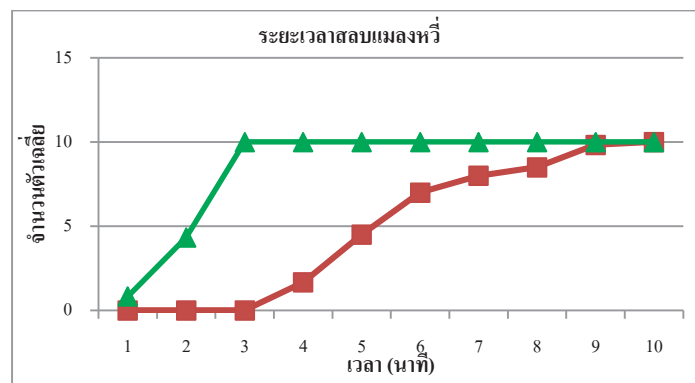
ภาพที่ 1 แมลงหวี่สลบ (ก) และ QR Code อาการสลบของแมลงหวี่ (ข)

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพตอนที่ 1.1 ของน้ำมันหอมระเหยกานพลู (*Syzygium aromaticum*) และน้ำมัน
หอมระเหยไพล (*Zingiber montanum*) ความเข้มข้น 100 % ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร พบว่า เมื่อสลับแมลงหวี่ด้วยน้ำมัน
หอมระเหยกานพลู ระยะเวลา 5 10 15 และ 20 นาที แมลงหวี่สลบจำนวนเฉลี่ย 0.7 5.61 7.71 และ 9.12 ตัว ตามลำดับ
และระยะเวลา 25 นาที แมลงหวี่สลบหมดทุกตัว เมื่อสลับแมลงหวี่ด้วยน้ำมันหอมระเหยไพล ระยะเวลา 5 นาที
แมลงหวี่สลบจำนวนเฉลี่ย 5.26 ตัว และระยะเวลา 10 นาที แมลงหวี่สลบหมดทุกตัว จะเห็นว่าน้ำมันหอมระเหยไพลมี
ประสิทธิภาพในการสลบแมลงหวี่ให้ผลดีกว่าน้ำมันหอมระเหยกานพลู เนื่องจากสามารถสลบแมลงหวี่ได้เร็วกว่า แต่
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดกับไดเอทิลอีเทอร์ พบว่า ไดเอทิลอีเทอร์มีประสิทธิภาพในการ
สลบแมลงหวี่ให้ผลดีกว่าน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด โดยไดเอทิลอีเทอร์ทำให้แมลงหวี่สลบทุกตัวภายในเวลา 5 นาที
ซึ่งสามารถสลบแมลงหวี่ได้เร็วกว่าน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 จำนวนเฉลี่ยของแมลงหวี่สลบ ที่สลบด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลู (◆)
น้ำมันหอมระเหยไพล (▲) และไดเอทิลอีเทอร์ (■)

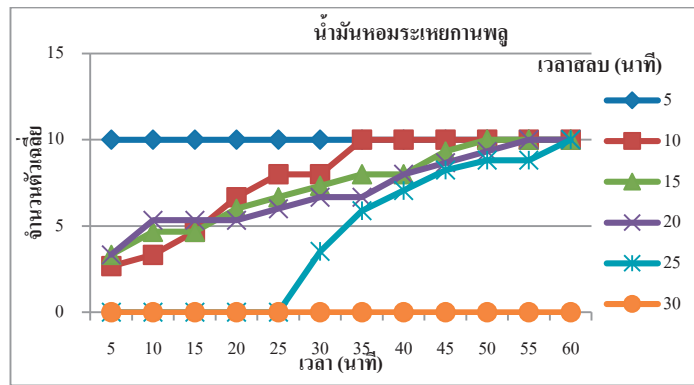
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพตอนที่ 1.2 ของน้ำมันหอมระเหยไพล ความเข้มข้น 100 % ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร พบว่า ระยะเวลา 4 นาที แมลงหวี่สลบจำนวนเฉลี่ย 1.67 ตัว ระยะเวลา 5 นาที แมลงหวี่สลบจำนวนเฉลี่ย 4.5 ตัว หรือประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนแมลงหวี่ทั้งหมด ระยะเวลา 6 7 8 และ 9 นาที แมลงหวี่สลบจำนวนเฉลี่ย 7 8 8.5 และ 9.83 ตัว ตามลำดับ และระยะเวลา 10 นาที แมลงหวี่สลบหมดทุกตัว เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างน้ำมันหอมระเหยไพลกับ ไดเอทิลอีเทอร์ พบว่า ไดเอทิลอีเทอร์มีประสิทธิภาพในการสลบแมลงหวี่ให้ผลดีกว่าน้ำมันหอมระเหยไพล เนื่องจาก ไดเอทิลอีเทอร์ทำให้แมลงหวี่สลบทุกตัวได้เร็วกว่าน้ำมันหอมระเหยไพล โดยระยะเวลา 1 นาที แมลงหวี่เริ่มสลบจำนวนเฉลี่ย 0.83 ตัว ระยะเวลา 2 นาที แมลงหวี่สลบจำนวนเฉลี่ย 4.33 ตัว และแมลงหวี่สลบทุกตัวภายในเวลา 3 นาที ดังภาพที่ 3



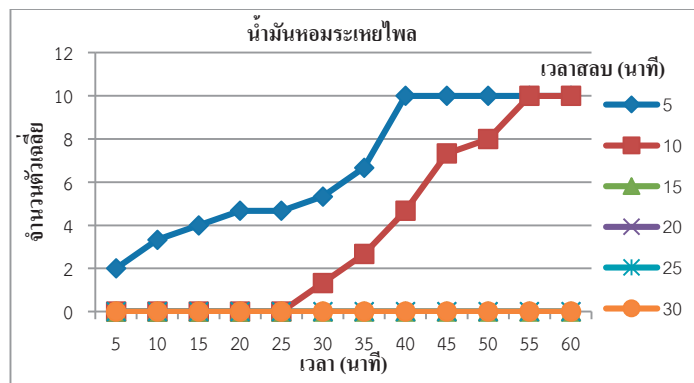
ภาพที่ 3 จำนวนเฉลี่ยของแมลงหวี่สลบ ที่สลบด้วยน้ำมันหอมระเหยไพล (■) และ ไดเอทิลอีเทอร์ (▲)

2. ผลการศึกษาระยะเวลาฟื้นตัวของแมลงหวี่

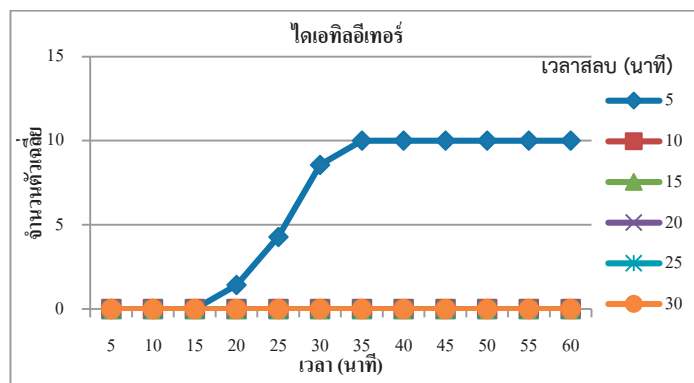
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพตอนที่ 2.1 ของน้ำมันหอมระเหยกานพลู และน้ำมันหอมระเหยไพล ซึ่งมีความเข้มข้น 100 % ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร พบว่า เมื่อสลบแมลงหวี่ด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลูระยะเวลา 5 นาที น้ำมันหอมระเหยกานพลูไม่มีผลต่อการสลบและการฟื้นตัวของแมลงหวี่ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 10 15 และ 20 นาที แมลงหวี่ที่สลบเริ่มฟื้นตัวที่เวลา 5 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 25 นาที แมลงหวี่สลบทุกตัว แมลงหวี่เริ่มฟื้นตัว ที่เวลา 30 นาที และฟื้นครบทุกตัว ที่เวลา 60 นาที ส่วนการสลบแมลงหวี่ด้วยน้ำมันหอมระเหยไพล พบว่า ระยะเวลาสลบ 5 นาที แมลงหวี่ที่สลบเริ่มฟื้นตัวที่เวลา 5 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 10 นาที แมลงหวี่สลบทุกตัว แมลงหวี่เริ่มฟื้นตัว ที่เวลา 30 นาที และฟื้นครบทุกตัว ที่เวลา 55 นาที เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด กับ ไดเอทิลอีเทอร์ พบว่า ไดเอทิลอีเทอร์สลบแมลงหวี่ทุกตัวได้ภายในเวลา 5 นาที แมลงหวี่เริ่มฟื้นตัวที่เวลา 20 นาที และฟื้นครบทุกตัว ที่เวลา 35 นาที ซึ่งน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดใช้เวลาในการสลบและใช้เวลาในการฟื้นตัวนานกว่าไดเอทิลอีเทอร์ ดังภาพที่ 4



(ก)



(ข)

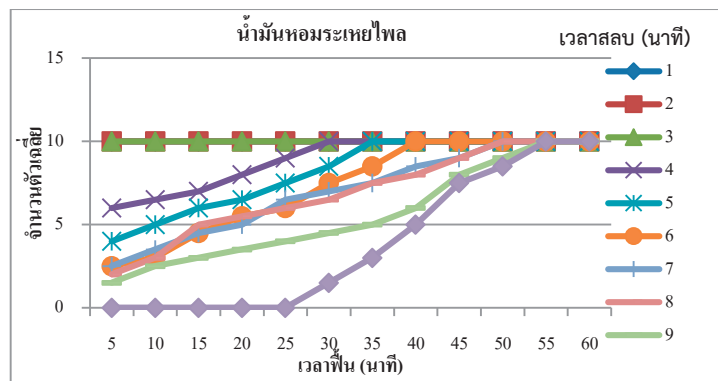


(ค)

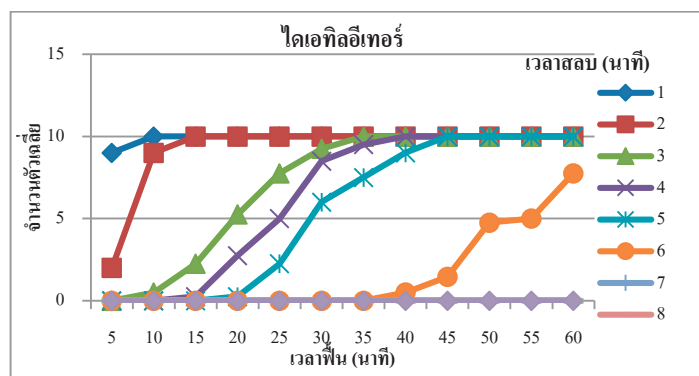
ภาพที่ 4 จำนวนเฉลี่ยของแมลงหวี่พื้นตัว ที่สลบด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลู (ก) น้ำมันหอมระเหยไพล (ข) และไคเอทิลอีเทอร์ (ค) ทุก 5 นาที จนครบ 30 นาที

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพตอนที่ 2.2 ของน้ำมันหอมระเหยไพล ความเข้มข้น 100 % ปริมาตร 0.1 มิลลิตร พบว่า ระยะเวลา 1-3 นาที น้ำมันหอมระเหยไพลไม่มีผลต่อการสลบและการพื้นตัวของแมลงหวี่ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 4 5 6 7 8 และ 9 นาที แมลงหวี่ที่สลบเริ่มพื้นตัวที่เวลา 5 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 10 นาที แมลงหวี่สลบทุกตัว แมลงหวี่จะเริ่มพื้นตัว ที่เวลา 30 นาที และพื้นครบทุกตัวที่เวลา 55 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับไคเอทิลอีเทอร์ พบว่า เมื่อสลบแมลงหวี่ด้วยไคเอทิลอีเทอร์ระยะเวลา 1 และ 2 นาที แมลงหวี่ที่สลบเริ่มพื้นตัวที่เวลา 5 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 3 นาที แมลงหวี่สลบทุกตัว แมลงหวี่เริ่มพื้นตัวที่เวลา 10 นาที และพื้นครบทุกตัวที่เวลา 35 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 4 และ 5 นาที แมลงหวี่เริ่มพื้นตัวที่เวลา 20 และ 25 นาที เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสลบเป็น 6 นาที แมลงหวี่สลบทุกตัว จะเริ่มพื้นตัวที่เวลา 40 นาที แต่พื้นไม่ครบทุกตัวภายใน 1 ชั่วโมง

หากเพิ่มระยะเวลาในการสลับมากกว่า 6 นาที แมลงหีจะไม่มีการฟื้นตัว ซึ่งน้ำมันหอมระเหยไพลใช้เวลาในการสลับ และใช้เวลาในการฟื้นตัวนานกว่าไดเอทิลอีเทอร์ ดังภาพที่ 5



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 จำนวนเฉลี่ยของแมลงหีฟื้นตัว ที่สลับด้วยน้ำมันหอมระเหยไพล (ก) และไดเอทิลอีเทอร์ (ข) ทุก 1 นาที
จนครบ 10 นาที

อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู น้ำมันหอมระเหยไพล ความเข้มข้น 100 % และ ไดเอทิลอีเทอร์ ต่อระยะเวลาสลับแมลงหี พบว่า น้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดมีผลต่อการสลับของแมลงหี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khater [2] ซึ่งสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชในวงศ์ต่าง ๆ นำมาใช้ประโยชน์ทั้งในทางอาหาร ยา และนำมาใช้ในการกำจัดแมลง โดยพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากโรสแมรี่ (*Rosmarinus officinale*) ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus globulus*) กานพลู และไทม์ (*Thymus vulgaris*) ให้ผลดีในการนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดยุง และแมลงวันบ้าน นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Makhaik *et al.* [3] พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู ให้ผลในการป้องกันกำจัดตัวเต็มวัยยุงลายบ้าน และยุงรำคาญดีที่สุด อีกทั้งในงานวิจัยของอัญชนา และคณะ [4] พบว่า สมุนไพรที่ใช้ในการไล่ยุงได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 100 % คือ ไพล โดยน้ำมันหอมระเหยไพล มีประสิทธิภาพในการสลับแมลงหีดีกว่าน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดกับไดเอทิลอีเทอร์ พบว่า ไดเอทิลอีเทอร์มีประสิทธิภาพในการสลับแมลงหีให้ผลดีกว่าน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิด เนื่องจากทำให้แมลงหีสลับและฟื้นตัวได้เร็วกว่า

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู น้ำมันหอมระเหยไพล ความเข้มข้น 100 % และ ไดเอทิลอีเทอร์ ต่อระยะเวลาฟื้นตัวของแมลงหี พบว่า เมื่อสลับแมลงหีด้วยน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู แมลงหีสลับทุกตัวภายในเวลา 25 นาที และใช้เวลาฟื้นตัว 30-60 นาที และเมื่อสลับแมลงหีด้วยน้ำมันหอมระเหยไพล แมลงหีสลับทุกตัวภายในเวลา 10 นาที และใช้เวลาฟื้นตัว 30-55 นาที แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดกับไดเอทิลอีเทอร์

พบว่า น้ำมันหอมระเหยทั้งสองชนิดใช้เวลาในการฟื้นตัวนานกว่าไดเอทิลอีเทอร์ โดยไดเอทิลอีเทอร์สลบแมลงหวี่ทุกตัวได้ภายในเวลา 3 นาที และใช้เวลาฟื้นตัว 10-35 นาที หากสลบแมลงหวี่เป็นระยะเวลานานก็จะทำให้แมลงหวี่มีระยะเวลาฟื้นตัวที่นานขึ้น จนอาจตายได้ จึงควรสลบแมลงหวี่ด้วยเวลาที่เหมาะสม แมลงหวี่จึงสามารถมีชีวิตอยู่รอดและขยายพันธุ์ต่อไปได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของทัศนีย์ [5] ประเมินประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลูเพื่อใช้เป็นยาสลบสำหรับปลาทอง พบว่าระยะเวลาฟื้นตัวของปลาทองหลังจากการสลบจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ปลาได้รับยาสลบ นอกจากนี้ค่าลิที่หยคน้ำมันหอมระเหยสามารถใช้สลบแมลงหวี่ซ้ำได้ แต่เพื่อการสลบแมลงหวี่อย่างมีประสิทธิภาพจึงไม่ควรเตรียมสารทิ้งไว้เป็นเวลานาน สอดคล้องกับงานวิจัยของทัศนีย์ [6] ศึกษาอัตราการเสื่อมของน้ำมันกานพลูในการใช้เป็นยาสลบปลาทอง พบว่า น้ำมันกานพลูให้ผลดีที่สุดในการใช้ครั้งแรก

ผลการทดลองในครั้งนี้จึงชี้ให้เห็นว่า ไดเอทิลอีเทอร์ ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ใช้เวลาสลบแมลงหวี่ 3 นาที จะทำให้แมลงหวี่ฟื้นตัวได้ภายใน 10 นาที ส่วนน้ำมันหอมระเหยไพล ความเข้มข้น 100 % ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร สามารถใช้ทดแทนไดเอทิลอีเทอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการได้ โดยใช้เวลาสลบ 8-10 นาที จะทำให้แมลงหวี่ฟื้นตัวได้ภายใน 30 นาที ซึ่งการใช้น้ำมันหอมระเหยไพลเป็นยาสลบแมลงหวี่ เป็นแนวทางเลือกที่ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของมยุรา [7] ซึ่งพบว่า น้ำมันหอมระเหยไพล มีแนวโน้มสูงที่จะสามารถนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงวันบ้านได้ และควรจะนำน้ำมันหอมระเหยไพลไปทำการทดลองในการป้องกันกำจัดแมลงวันบ้านในสภาพนอกห้องปฏิบัติการ เนื่องจากไพลเป็นพืชสมุนไพรวงศ์จิงข่าที่หาได้ง่าย และปลูกได้ทั่วไป ทุกพื้นที่ของประเทศ มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคทดลองไม่ก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจเหมือนการใช้สารเคมี รวมทั้งเป็นสมุนไพรที่ย่อยสลายง่ายและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Euawong, N. (2012). **Drosophila Melanogaster with Genetic Experiments**. Bangkok: Silpakorn University.
- [2] Khater, H.F. (2012). “Ecosmart Biorational Insecticide: Alternative Insect Control Strategies”, **Insecticide Advances in Integrated Pest Mangement**. 1-60. Egypt: Faculty of Veterinary Medicine, Bentia University.
- [3] Makhaik, M., Naik, S.N. and Tewary, D.K. (2005). “Evaluation of Anti-Mosquito Properties of Essential Oils”, **Journal of Scientific and Industrial Research**. 64, 129-133.
- [4] Prasartvit, A., Aemsopana, P. and Cheewakriengkrai, S. (2008). **In Vitro Method of Local Specific Herb against Chigger Mite (Acari: Trombiculidae) and Mosquito (Diptera: Culicidae)**. Complete Research Report. Bangkok: Bureau of General Communicable Department of Disease Control.
- [5] Nonwachai, T. (2016). **Evaluation of Clove Oil as an Anesthetic for Goldfish (Carassius auratus)**. Complete Research Report, Bachelor of Science Program in Fisheries Science. Ayutthaya: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.
- [6] Nonwachai, T. (2018). “Degradation Rate of Clove Oil as an Anesthetic for Goldfish (Carassius auratus)”, **Khon Kaen Agriculture Journal**. 46(1), 1019-1025.
- [7] Soonwera, M. (2015). **Insecticidal Activity of Essential Oils from Native Plants against House Fly (Musca domestica L.: Muscidae: Diptera)**. Complete Research Report, Department of Plant Production Technology. Bangkok: King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang.

ติดตามการแพร่กระจายของหญ้าใบมะกรูด (*Halophila ovalis* (R.Br.) Hook. f.)
ในพื้นที่ฟื้นฟูหญ้าทะเลโดยการย้ายปลูก: กรณีศึกษา อ่าวบุญคง จังหวัดตรัง

Evaluation on Distribution of *Halophila ovalis* (R.Br.) Hook. f.
in Seagrass Restoration Area by Transplants: A Case Study of
Aow Boon Kong, Trang Province

หทัยภัทร พลากุล^{1*}, พรพิมล เชื้อดวงผุย² และนุชนาถ คงช่วย³
Hataipat Palakul^{1*}, Pompimon Chuaduangpui² and Nootchanath Kongchouy³

บทคัดย่อ

หญ้าใบมะกรูด (*Halophila ovalis*) เป็นหญ้าทะเลที่มีขนาดเล็ก เป็นชนิดที่ใช้ปลูกเพื่อฟื้นฟูแหล่งหญ้าทะเลในอ่าวบุญคง จ.ตรัง ซึ่งเคยเป็นพื้นที่หญ้าทะเลที่เสื่อมโทรม ในการศึกษาจะประเมินค่าร้อยละการปกคลุมพื้นที่ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมคุณภาพน้ำคุณภาพดินที่มีผลต่อการแพร่กระจายของหญ้าใบมะกรูดในอ่าวบุญคง เพื่อติดตามผลหลังการฟื้นฟูแหล่งหญ้าทะเล พบว่าหญ้าใบมะกรูด (*H. ovalis*) มีการปกคลุมพื้นที่สูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ที่ร้อยละ 25.59 ± 28.77 และลดลงต่ำสุดในเดือนสิงหาคมที่ร้อยละ 17.92 ± 20.70 เนื่องจากเป็นช่วงฤดูมรสุม ลักษณะตะกอนดินพบว่าเป็นดินร่วนปนทราย ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมที่ร้อยละ 2.99 ± 1.11 ซึ่งสอดคล้องกับค่าไนโตรเจนในดิน 0.79 ± 0.88 mg-N/kg dry sediment การตรวจสอบคุณภาพน้ำพบว่ามีอุณหภูมิระหว่าง 30.17 - 26.94 องศาเซลเซียส มีค่าความเค็ม 34.10 - 23.4 ppt และมีค่าความขุ่นสูงที่สุดในเดือนสิงหาคมคือ 5.63 NTU จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าหญ้าทะเลที่มีการย้ายปลูกในอ่าวบุญคงมีการเจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมและจะเป็นพื้นที่ต้นแบบการฟื้นฟูหญ้าทะเลที่ประสบความสำเร็จต่อไป

คำสำคัญ: หญ้าทะเล *Halophila ovalis* (R.Br.) Hook.f. เปรอ์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ การปลูกหญ้าทะเล

Abstract

The small seagrass *Halophila ovalis* is a target species for restoration programs of seagrass transplants at Aow Boon Kong, Trang Province, where seagrass beds have been degraded. This study is estimation of percentage of coverage and environmental factors are water quality, soil quality which affects the distribution of *H. ovalis*. The purpose is follow up the result after the restoration of seagrass beds. *H. ovalis* had high coverage in February 25.59 ± 28.77 % and decreased in August 17.92 ± 20.70 % because of the monsoon season. Sediment characteristics are loamy sand and

¹ นักศึกษามัธยมศึกษา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² อ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

³ อ.ดร., ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Graduate Student, Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University, Songkla, 90112

² Lecturer, Dr., Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University, Songkla, 90112

³ Lecturer, Dr., Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkla, 90112

* Corresponding author: Tel.: 088-8258566, E-mail address: hataipat.f@gmail.com

organic matter is highest in August 2.99 ± 1.11 % consistent with nitrate 0.79 ± 0.88 mg-Nkg dry sediment. Water quality monitoring is a temperature between 30.17 to 26.94 ° C, salinity $34.1 - 34.1$ ppt., and the highest turbidity in August 5.63 NTU. These studies concluded that seagrasses have been transplanted in Aow Boon Kong are growing well due to suitable environmental factors and will be the model area of successful seagrass restoration.

Keywords: Seagrass, *Halophila ovalis* (R.Br.) Hook. f., Percentage of Coverage, Seagrass Transplants

บทนำ

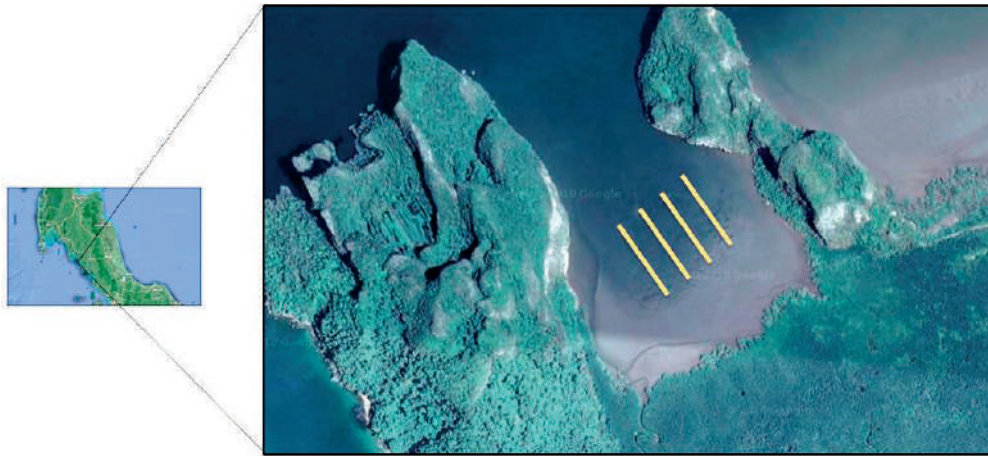
หญ้าทะเลเป็นพืชดอก (Angiosperm) มีลำต้นทั้งแบบทอดยาวไปตามพื้นดินและตั้งตรง มีส่วนของข้อ (Node) ปล้อง (Internode) ส่วนของลำต้นทอดราบไปตามพื้นดินและอยู่ใต้ดินเรียกว่าไรโซม (Rhizome) ทำหน้าที่ชูก้านใบ และเป็นตำแหน่งที่ออกของราก รากหญ้าทะเลทำหน้าที่ดูดเอาน้ำและแร่ธาตุไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของลำต้น ช่วยพยุงลำต้นยึดเหนี่ยวกับพื้นดินไว้ไม่ให้หลุดลอยไปกับกระแสน้ำ [1] ทั่วโลกมีรายงานว่าพบหญ้าทะเลประมาณ 60 ชนิด 13 สกุลใน 5 ครอบครัว [2] จากการสำรวจชนิดและการแพร่กระจายของหญ้าทะเลในน่านน้ำไทยพบหญ้าทะเล 3 วงศ์ (Family) 7 สกุล (Genus) 13 ชนิด (Species) [3] ระบบนิเวศหญ้าทะเล (Seagrass Ecosystem) แพร่กระจายอยู่ทั่วไปทั้งในเขตร้อน และเขตอบอุ่นมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของสัตว์น้ำหลากหลายกลุ่ม โดยเฉพาะในช่วงที่เป็นตัวอ่อนเนื่องจากหญ้าทะเลมีลักษณะใบและโครงสร้างที่ซับซ้อนเอื้อให้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กเข้ามาอาศัย หลบซ่อนตามใบข้อหรือไรโซมของหญ้าทะเลรวมทั้งใบหญ้าหรือเศษซากของใบและต้นหญ้าทะเลเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญให้กับสัตว์ขนาดเล็กเหล่านี้และเป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมที่อาศัยบริเวณชายฝั่งทะเล เต่าทะเล และสัตว์ป่าชนิดต่างๆ [4] นอกจากนี้หญ้าทะเลเป็นพืชทะเลที่ช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากสามารถกักเก็บ คาร์บอนได้ค่อนข้างสูงเป็นส่วนสำคัญในวัฏจักรคาร์บอนในทะเลและมหาสมุทร [5]

ในช่วงที่ทศวรรษที่ผ่านมาพื้นที่ของหญ้าทะเลบริเวณชายฝั่งลดลงจำนวนมากทั่วโลก [6] มีรายงานว่าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 หญ้าทะเลทั่วโลกลดลงในอัตรา 7 % ต่อปี [7] โดยมีสาเหตุหลายด้าน เช่น กิจกรรมของมนุษย์ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม การเกิดตะกอนจากการไหลบ่าการพัฒนาเมือง ท่าเรือ การเกษตร ภัยธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของหญ้าทะเล อ่าวบุญคง จ.ตรัง เป็นพื้นที่หนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ในอดีตเคยมีทรัพยากรหญ้าทะเลที่อุดมสมบูรณ์แต่เนื่องจากปัญหาการทำประมงที่ใช้เครื่องมือประมงทำลายล้างทำให้สูญเสียพื้นที่หญ้าทะเล ส่งผลให้อ่าวบุญคงตกอยู่ในสถานะเสื่อมโทรม คนในชุมชนได้เห็นถึงความสำคัญของระบบนิเวศหญ้าทะเล นำโดยกลุ่มอนุรักษ์บ่อหินฟาร์มสเตย์ได้ริเริ่มทำธนาคารต้นกล้าหญ้าทะเลและการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ได้มีการฟื้นฟูโดยการปลูกหญ้าทะเลในพื้นที่อ่าวบุญคงเรื่อยมาเป็นเวลากว่า 6 ปี การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการแพร่กระจายของหญ้าใบมะกรูด (*Halophila ovalis*) ซึ่งเป็นหญ้าทะเลขนาดเล็กหลังจากการฟื้นฟูหญ้าทะเลด้วยวิธีการย้ายปลูก โดยการประเมินร้อยละการครอบคลุมพื้นที่ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้งคุณภาพน้ำและดินในพื้นที่อ่าวบุญคง เพื่อติดตามผลหลังจากมีการฟื้นฟูแหล่งหญ้าทะเล และเพื่อประโยชน์สำหรับการอนุรักษ์และฟื้นฟูหญ้าทะเลโดยการปลูกต่อไป

วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการ

พื้นที่ศึกษาอ่าวบุญคงตั้งอยู่ในพื้นที่ ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรังได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นลมที่มีความรุนแรงและทำให้เกิดฝนตกชุก ลมมีกำลังแรงมากในช่วงเดือนสิงหาคมและกันยายน ส่วนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดผ่านในช่วงกลางเดือน

ตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ จะไม่มีฝนตกทะเลค่อนข้างเจิบสงบ มีคลื่นลมเล็กน้อย เมื่อประมาณปี 2553 ได้มีการเริ่มการปลูกหญ้าทะเลในอ่าวบุญคง โดยชนิดของหญ้าทะเลที่ปลูกคือ หญ้าใบมะกรูด หรือ หญ้าอำพัน (*H. ovalis*) ซึ่งมีการเพาะต้นกล้าหญ้าทะเลโดยชุมชน



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาอ่าวบุญคง ตำบลไม้ฝาด อำเภอลิเกา จังหวัดตรัง [8]

ในการศึกษาจะดำเนินการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ครั้ง ในทุกๆ 3 เดือน และใช้ GPS (Global Positioning System) หรือเครื่องมือกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก ในการเก็บพิกัดพื้นที่วางเส้นแนวเก็บตัวอย่าง (Line Transect) ออกไปทางด้านนอกเป็นแนวตั้งฉากกับชายฝั่งกำหนดเส้นแนวเก็บตัวอย่าง 4 แนว ห่างกันแนวละ 100 เมตร กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างทุกๆ 50 เมตร ของ Line Transect ในแต่ละ Line Transect มี 7 สถานีเก็บตัวอย่าง รวมทั้งหมด 28 สถานีเก็บตัวอย่าง

การประเมินค่าร้อยละการปกคลุมพื้นที่ (Percentage of Coverage) ของหญ้าใบมะกรูด ในแต่ละสถานีจะเก็บตัวอย่างโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมเก็บตัวอย่าง (Quadrat) ขนาด 50 x 50 เซนติเมตร ประเมินสถานีละ 3 ซ้ำ โดยประเมินได้เป็นร้อยละ 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 และ 100 ในการประเมินใช้ “Seagrass Percent Cover Photo Guide” [9] ในการเปรียบเทียบร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของหญ้าใบมะกรูด

เก็บตัวอย่างตะกอนดินใช้ Core ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรเก็บตัวอย่างสถานีละ 3 ซ้ำ ที่ความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร นำตัวอย่างตะกอนดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโดยนำตะกอนดินที่เก็บได้ในแต่ละสถานีแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตัวอย่างตะกอนดินส่วนที่หนึ่งอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 3 วัน นำดินที่แห้งมาร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคตะกอนดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Method) ตะกอนดินส่วนที่สองจะนำไปวิเคราะห์หาอินทรีย์วัตถุโดยวิธีของด้วยวิธีการเผา (Ignition Loss Method) ในเตาเผาไฟฟ้า อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมงและตะกอนดินส่วนที่สามจะใช้ตะกอนดินแบบเปียกไม่ผ่านการอบมาวิเคราะห์หาไนโตรเจน ไนเตรท และฟอสเฟต [10]

การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำในพื้นที่อ่าวบุญคงจะเก็บช่วงที่น้ำขึ้นสูงสุดโดยตรวจสอบคุณภาพน้ำทั้งบริเวณใกล้ชายฝั่งตรงกลาง และไกลชายฝั่ง ทุกแนว Line Transect โดยใช้ เครื่องวัดห้วงรวม ยี่ห้อ Horiba รุ่น U-52G เป็นเครื่องมือเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และวัดความลึกโดยใช้ไฟฉายวัดระดับความลึกของน้ำยี่ห้อ Hondex รุ่น PS-7

จากนั้นนำข้อมูลมาหาค่าความแปรปรวนของค่าร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของหญ้าใบมะกรูดเพื่อหาค่าความแตกต่างทางสถิติในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม พฤศจิกายน และกุมภาพันธ์ และทดสอบการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละเดือน เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจึงใช้ การทดสอบ Kruskal-Wallis H ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของหญ้าไบนะกรูด ต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อหญ้าไบนะกรูด ด้วยการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 3.4.2

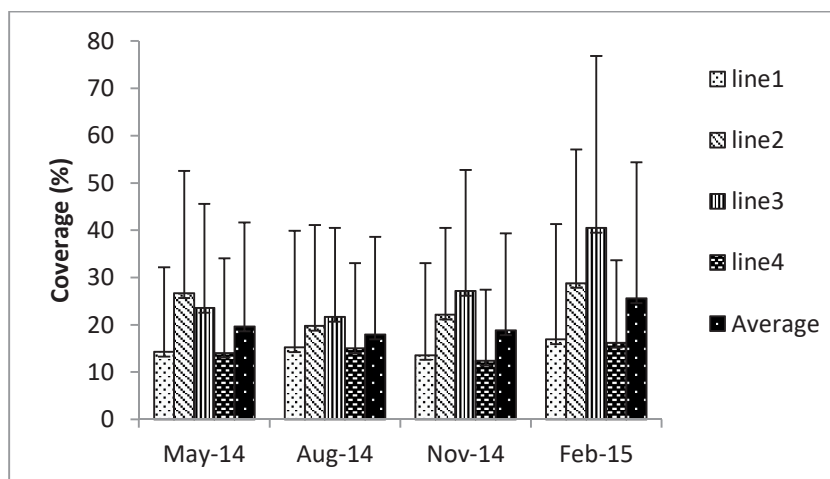
ผลการวิจัย

จากการประเมินร้อยละของการปกคลุมพื้นที่ของหญ้าไบนะกรูด (*H. ovalis*) ในพื้นที่ปลูกเพื่อฟื้นฟูป่าหญ้าทะเล อ่าวบุญคง ซึ่งได้เก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม 2557 สิงหาคม 2557 พฤศจิกายน 2557 และกุมภาพันธ์ 2558 พบว่าหญ้าไบนะกรูด (*H. ovalis*) มีลักษณะเด่นคือมีต้นสูง 1.8 - 6.0 เซนติเมตร ตัวใบรีรูปไข่ ความยาว 0.8 - 2.9 เซนติเมตร ความกว้าง 3.0 - 8.1 มิลลิเมตร ปลายใบมนกลม ขอบใบเรียบ มีเส้นกลางใบ 1 เส้น และเส้นขวางใบแยกจากเส้นกลางใบ จำนวน 12-19 คู่ [11] ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หญ้าไบนะกรูด หรือ หญ้าอำพัน (*Halophila ovalis*)

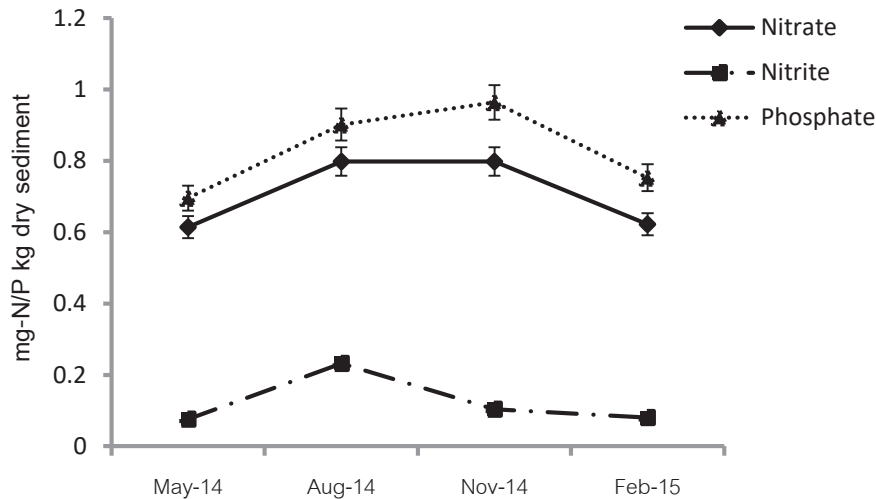
การปกคลุมพื้นที่ของหญ้าไบนะกรูด (*H. ovalis*) เฉลี่ย ร้อยละ 20.49 ± 23.00 ในเดือนกุมภาพันธ์มีการปกคลุมพื้นที่สูงสุด ร้อยละ 25.60 ± 28.77 และต่ำสุดในเดือนสิงหาคม ร้อยละ 17.92 ± 20.70 ซึ่งร้อยละของการปกคลุมเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่เก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนแตกต่างกันแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 (ภาพที่ 3) แนวเก็บตัวอย่างที่ 3 มีค่าร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของหญ้าทะเลสูงที่สุด 28.21 ± 25.70 และมีค่าต่ำสุดในแนวเก็บตัวอย่างที่ 4 เฉลี่ยร้อยละ 14.40 ± 17.64



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของหญ้าไบนะกรูดในเดือน พฤษภาคม 2557 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2558 แยกเป็น 4 แนวเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่อ่าวบุญคง จ.ตรัง

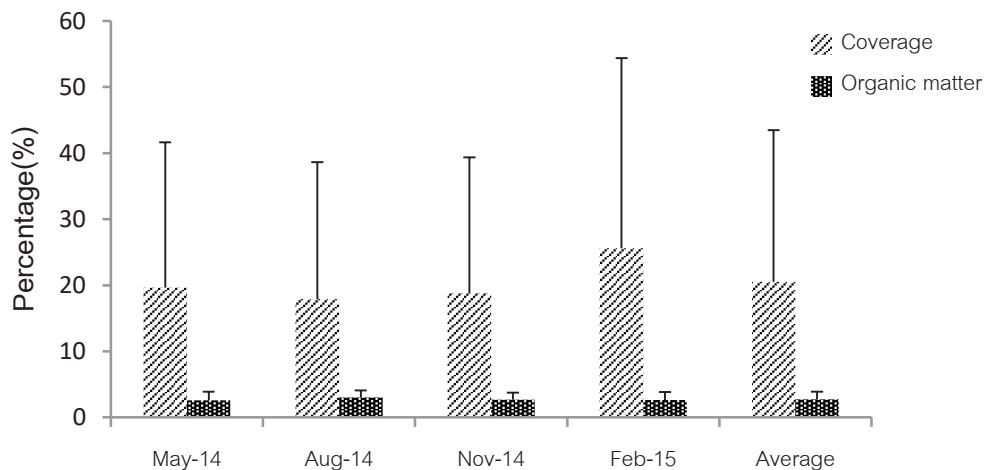
จากการศึกษาค่าไนโตรเจนในดิน พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนสิงหาคม 0.23 ± 0.29 mg-N kg dry sediment และ 0.80 ± 0.88 , mg-N kg dry sediment ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของดินเหนียวร้อยละ 2.90 ± 1.18

ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนและไนเตรทในดินพบว่ามีความต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม 0.08 ± 0.08 mg-N kg dry sediment และ 0.61 ± 0.26 mg-N kg dry sediment ตามลำดับ ส่วนฟอสเฟตมีความเฉลี่ยสูงสุดในเดือนสิงหาคม 2.99 ± 1.11 mg-P kg dry sediment ฟอสเฟตในดินโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคม 0.96 ± 1.63 และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม 0.69 ± 0.40 (ภาพที่ 4) ซึ่งค่าไนโตรเจน ไนเตรท และฟอสเฟตมีความแตกต่างกันในแต่ละเดือน แต่ไม่มีความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05



ภาพที่ 4 ค่าไนโตรเจน ไนเตรท และฟอสเฟตในดินตะกอนในเดือน พฤษภาคม 2557 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2558

อินทรีย์วัตถุในดินเฉลี่ยมีความสูงสุดในเดือนสิงหาคมที่ร้อยละ 2.99 ± 1.11 และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคมที่ร้อยละ 2.58 ± 1.29 ลักษณะตะกอนดินโดยเฉลี่ย มีอัตราส่วนดินเหนียวร้อยละ 2.51 ± 1.13 ดินร่วนร้อยละ 15.65 ± 7.68 ดินทรายร้อยละ 81.84 ± 7.78 ลักษณะตะกอนดินในอ่าวบุญคงส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งลักษณะตะกอนดินในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม พฤศจิกายน และกุมภาพันธ์ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 5 ร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของหญ้าทะเล และค่าร้อยละของอินทรีย์วัตถุในดิน
เดือนพฤษภาคม 2557 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2558

คุณภาพน้ำในพื้นที่อ่าวบุญคงมีความลึกเฉลี่ย 1.19 เมตร ความขุ่นของน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 3.30 NTU ค่าความขุ่นสูงที่สุดในเดือนสิงหาคมมีความขุ่นเฉลี่ย 7.46 ± 1.96 NTU มีความลึกของน้ำเฉลี่ย 1.20 เมตร ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เฉลี่ยทั้งปี 6.57 (mg/L) มีค่าความเค็มตั้งแต่ 25.58 - 33.80 (ppt) ค่า pH ระหว่าง 7.67 - 8.14 อุณหภูมิระหว่าง 7.39 - 30.12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำในพื้นที่อ่าวบุญคง

Time	Deep (m.)	Turbidity (NTU)	DO (mg/L)	Salinity (ppt)	pH	Temp (°C)
May-14	1.16 ± 0.27	0.89 ± 1.37	6.32 ± 1.09	33.80 ± 0.24	7.90 ± 0.11	30.12 ± 0.39
Aug-14	1.21 ± 0.28	7.46 ± 1.96	6.53 ± 0.30	25.58 ± 0.39	7.69 ± 0.11	29.77 ± 0.29
Nov-14	1.24 ± 0.28	4.75 ± 2.95	6.44 ± 0.23	25.67 ± 0.25	7.67 ± 0.10	27.92 ± 0.23
Feb-15	1.18 ± 0.27	0.11 ± 0.35	6.99 ± 0.20	32.32 ± 0.63	8.14 ± 0.09	27.39 ± 0.17

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

จากการประเมินค่าร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของหอยไบนะกรูด (*H. ovalis*) ในพื้นที่ปลูกเพื่อฟื้นฟูหอยทะเลอ่าวบุญคง ซึ่งได้เก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม 2557 สิงหาคม 2557 พฤศจิกายน 2557 และกุมภาพันธ์ 2558 มีค่าการปกคลุมพื้นที่เฉลี่ยร้อยละ 20.49 ± 23.00 ในเดือนกุมภาพันธ์มีการปกคลุมพื้นที่สูงสุดร้อยละ 25.60 ± 28.77 อาจเนื่องมาจากเป็นช่วงฤดูร้อน มีแสงแดดส่องถึงตลอด และไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทำให้หอยทะเลเจริญเติบโตได้ดี การปกคลุมพื้นที่ของหอยไบนะกรูด (*H. ovalis*) พบที่ต่ำสุดในเดือนสิงหาคมร้อยละ 17.92 ± 20.70 ซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียทำให้มีฝนตกหนัก มีคลื่นลม และการไหลบ่าของน้ำจากชายฝั่งที่พัดเอาดินตะกอนลงมาสู่ชายฝั่งทำให้เป็นอุปสรรคต่อการแพร่กระจายของหอยทะเล [11]

ค่าอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งเป็นธาตุอาหารที่หอยทะเลใช้ในการเจริญเติบโตเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 2.72 ± 1.17 (ภาพที่ 5) ค่าอินทรีย์วัตถุในดินในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม พฤศจิกายน และกุมภาพันธ์ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักและไม่มีมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งใกล้เคียงกับศึกษาของ [12] ศึกษาการแพร่กระจายความหนาแน่นมวลชีวภาพของหอยทะเลและปัจจัยสิ่งแวดล้อม บริเวณอ่าวทุ่งคา-สวี จังหวัดชุมพร พบหอยทะเลเพียงชนิดเดียวคือหอยไบนะกรูด (*Halophila beccarii*) คุณลักษณะของตะกอนดินในพื้นที่ทำการศึกษามีลักษณะเป็นพื้นทรายปนโคลนสำหรับปริมาณสารอินทรีย์ในดินพบว่ามีค่าสูงสุด 5.6 % อยู่ที่อยู่ติดกับตัวอย่างที่มีหอยทะเลขึ้นอย่างหนาแน่น ในขณะที่บริเวณที่มีหอยทะเลขึ้นกระจายบางๆมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำสุด 2.0 % อินทรีย์วัตถุในดินมีค่ามากสุดในเดือนสิงหาคมเนื่องจากมีฝนตกมาก จึงเกิดการไหลบ่าของสารอินทรีย์จากป่าชายเลนที่อยู่รอบล้อมพื้นที่ซึ่งส่งผลให้ค่าไนโตรเจนและไนเตรตเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละพื้นที่จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดอนุภาคตะกอนดิน โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคตะกอนดินเล็กลงบริเวณที่มีปริมาณโคลนเหลวจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง [12] ในพื้นที่อ่าวบุญคงลักษณะตะกอนดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายไม่มีดินโคลนเลนมาก เช่นเดียวกับการศึกษาประชาคมแหล่งหอยทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดสงขลาประเภทของตะกอนดินเป็นทรายและมีเศษเปลือกหอยพบว่ามีหอยทะเล *H. ovalis* งามากกว่าบริเวณอื่นมีปริมาณอินทรีย์สาร 1.27 ± 0.02 และ 1.79 ± 0.69 ตามลำดับ [1] เนื่องมาจากเป็นช่วงฤดูมรสุมมีฝนตกหนัก ทำให้มีการไหลบ่าของน้ำจากป่าชายเลนในบริเวณชายฝั่งมาสู่แนวหอยทะเล และส่งผลให้น้ำมีความเค็มเฉลี่ยลดลงเช่นกัน 25.58 ± 0.39 ดังในตารางที่ 1 มีค่า DO เฉลี่ยทั้งปี 6.57 ± 0.45 mg/L มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 28.8 ± 0.27 การวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของหอยไบนะกรูด ต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายของหอยไบนะกรูด พบว่าค่าลักษณะดินตะกอน % Clay % Silk % Sand มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละการปกคลุมพื้นที่มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

การปลูกหอยไบนะกรูดในพื้นที่อ่าวบุญคงประสบความสำเร็จเนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสม ทั้งลักษณะพื้นที่ที่สามารถกักเก็บคลื่นลมที่มีกระแสน้ำที่แรงเนื่องจากหอยไบนะกรูด (*H. ovalis*) มีดินขนาดเล็กและรากบอบบางจึงไม่สามารถยึดเกาะพื้นได้มั่นคงเหมือนหอยทะเลชนิดอื่น ประกอบกับดินมีขนาดเล็กละเอียดถูกทรายหรือโคลนกลบ แต่ใน

บริเวณที่คลื่นลมสงบจะขึ้นหนาแน่นและแผ่ขยายเป็นบริเวณกว้าง หญ้าทะเลชนิดนี้เป็นอาหารของพะยูนและเต่าทะเล และพบว่ามีการแพร่กระจายตั้งแต่พื้นที่ที่เป็นโคลน โคลนปนทรายและซากปะการังหายา จนถึงระดับความลึกประมาณ 2 เมตร [11] แม้จะมีการแพร่กระจายลดลงในช่วงที่มีมรสุมเนื่องจากลดต่ำลงของความเค็มอันเป็นผลมาจากปริมาณน้ำฝนที่มีมากและปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงมาจากบริเวณชายฝั่งประกอบกับตะกอนดินที่ถูกพัดให้ฟุ้งกระจายในมวลน้ำ และชะล้างให้หญ้าทะเลหลุดออกมาได้ [12] แต่เนื่องจากมีภูเขาล้อมรอบและมีปากอ่าวไม่กว้างมากทำให้ลดแรงกระทำของคลื่นลมได้ และหญ้าทะเลสามารถฟื้นตัวได้เองหลังหมดช่วงมรสุม นอกจากนี้ในพื้นที่อ่าวบุญคงยังมีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมห่างไกลจากชุมชนที่มีการปล่อยน้ำเสีย รวมทั้งการได้รับความร่วมมือจากชุมชนในการอนุรักษ์ โดยห้ามมิให้การทำประมงทำลายล้างในพื้นที่ เมื่อมีพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยทำให้มีความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์น้ำมากขึ้น เช่น หอยชนิดต่างๆ ลูกปลา หมึก ปู หอย และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดต่างๆ ที่มาอาศัยเพิ่มขึ้น ทำให้อ่าวบุญคงกลับมาอุดมสมบูรณ์อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tirasattayawong, W., Ruensirikul, S. and Duangjinda, T. (2005). "Preliminary Study on Communities of Seagrass Beds in Coastal of Songkhla Province", **Thaksin University Journal**. 2(2), 90-109.
- [2] Short, F.T., Carruthers, T., Dennison, W. and Waycott, M. (2007). "Global Seagrass Distribution and Diversity: A Gioregional Model", **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 35, 3-20.
- [3] Tuntiprapasa, T., Shimadab, S., Pongparadonc, S. and Prathepc, A. (2015). "Is *Halophila major* (Zoll.) Miquel a Big *H. ovalis* (R. Brown) J.D. Hooker? An Evaluation Based on Age, Morphology, and ITS Sequence", **ScienceAsia**. 41, 79-86.
- [4] Hemminga, M.A. and Duarte, C.M. (2000). **Seagrass Ecology**. United Kingdom: Cambridge University Press.
- [5] Duarte, C.M., J.J. Middleburg and N. Caraco. (2005). "Major Role of Marine Vegetation on the Oceanic Carbon Cycle", **Biogeosciences**. 2(1), 1-8.
- [6] Orth, R.J., Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, A.R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Olyarnik, S., Short, F.T., Waycott, M. and Williams, S.L. (2006). "A Global Crisis for Seagrass Ecosystems", **Bioscience**. 56, 987-996.
- [7] Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, A.R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Short, F.T. and Williams, S.L. (2009). "Accelerating Loss of Seagrasses Across the Globe Threatens Coastal Ecosystems", **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 106, 12377-12381.
- [8] Google Map. (2013). **Aow Bhunkong: Ttang Satellite Photos from Google Map** (Online). Retrieved 17 June 2013, from <http://maps.google.co.th/maps?hl=th&tab=w1>.
- [9] Short, F.T., McKenzie, L.J., Coles, R.G., Vidler, K.P. and Gaeckle, J.L. (2006). **Seagrass Net Manual for Scientific Monitoring of Seagrass Habitat, Worldwide Edition**. University of New Hampshire Publication.
- [10] La-ongsiriwong, N. and Predalumpaburt, Y. (2003). **Methods of Water Analysis for Coastal Aquaculture**. Coastal Aquaculture Farming System Research and Management Group, Coastal Aquaculture Research and Development Regional Center 6 (Songkhla), Coastal Research and Development Division, Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives.

- [11] Lewmanomont, K., Deetae, S. and Srimanophat, W. (1991). **Taxonomy and Ecological Studies of Seagrasses of Thailand**. Bangkok (Thailand). Faculty of Fisheries, Kasetsart University.
- [12] Nokkate, N. (2008). **Species, Density and Biomass of Seagrass in Thungka-Sawi Chumphon Province**. Technical Paper no. 14/2008. Phuket Marine Biological Center Department of Marine and Coastal Resources Ministry of Natural Resources and Environment.

ลักษณะทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบทางโภชนาการ และการต้านอนุมูลอิสระของ ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกเพื่อสุขภาพ

Physicochemical Characteristics, Nutritional Composition and Antioxidative Properties of Healthy *Centella asiatica* Crispy Crackers

วารสารี แสงกระจ่าง^{1*} จุรีภรณ์ นวนมุสิก² ปวีณา ปรวัฒน์กุล³ และสุรีย์พร วุฒิमान⁴

Warasri Saengkrajang^{1*}, Jureeporn Nounmusig², Paweena Porrawatkul³ and Sureeporn Wuttimanop⁴

บทคัดย่อ

การทดแทนผงบัวบก (2.5 % 5.0 % 7.5 % และ 10.0 %) ลงในแป้งมันสำปะหลังสำหรับการผลิตข้าวเกรียบบัวบกเพื่อสุขภาพ มีผลทำให้อัตราการพองตัว ความหนาแน่นรวม การดูดซับไขมัน และความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนผงบัวบก ($p < 0.05$) และเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า การเพิ่มปริมาณผงบัวบกลงในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีผลต่อลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการ พบว่า เมื่อทดแทนผงบัวบกในปริมาณเพิ่มขึ้น (2.5 %-10.0 %) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบของโปรตีนเพิ่มขึ้น (1-2 เท่า) ใยอาหารเพิ่มขึ้น (1-2.5 เท่า) เถ้าเพิ่มขึ้น (1-2 เท่า) และมีแร่ธาตุสำคัญ (แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และเหล็ก) เพิ่มขึ้น 2-7 เท่า และมีปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง 1-2 เท่า ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (0 %) นอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกเพื่อสุขภาพ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนผงบัวบก โดยสารสกัดของผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และมีความสามารถรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกได้ดีขึ้นเมื่อทดแทนผงบัวบกเพิ่มขึ้น การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการทดแทนผงบัวบกในแป้งมันสำปะหลัง สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบได้ โดยผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกที่มีระดับการทดแทนผงบัวบกได้ไม่เกิน 5.0 %

คำสำคัญ: ผักพื้นบ้าน ขนมอบเกี่ยว การพองตัว ใยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The substitution of *Centella asiatica* powder with different contents (2.5 %, 5.0 % 7.5 % and 10.0 %) on tapioca flour rendered the crispy crackers with decreased expansion index, bulk density, oil absorption and crispness. Surface and internal structure of crispy crackers were markedly affected by the amount of *Centella asiatica* powders added as visualized by Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM). For nutritional composition, crispy crackers with *Centella asiatica* powders showed higher protein (1-2-fold), total dietary fiber (1-2.5-fold), ash (1-2-fold), and 2-7-fold of macro mineral

¹ อ., สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 80280

² อ.ดร., สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 80280

³ อ., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 80280

⁴ ผศ., สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 80280

¹ Lecturer, Food and Nutrition Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 80280

² Lecturer, Dr., Public Health Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 80280

³ Lecturer, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 80280

⁴ Asst. Prof., Food and Nutrition Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 80280

*Corresponding author: Tel: 095-438-8928. E-mail Address: warasri_sae@nstru.ac.th

(Ca, K, P, Mg and Fe) with lower fat content (1-2-fold) when compared to those control sampling ($p < 0.05$). The total phenolic content increased with increasing *Centella asiatica* powder replacement. Moreover, the increased amount of *Centella asiatica* powder in the flour formulation resulted in higher DPPH radical scavenging activity as well as the power of ferric ion reducing antioxidant in the final product crude extracts. The present study suggested that the substitution of *Centella asiatica* powder was a potential food ingredient for nutrients value added of crispy crackers. Finally, in sensory tests, acceptable crispy crackers with pleasant overall-liking were obtained by incorporating up to 5.0 % *Centella asiatica* powder into the cracker's formula.

Keywords: Indigenous Vegetables, Crispy Crackers, Expansion Index, Dietary Fiber, Antioxidant

บทนำ

ข้าวเกรียบ เป็นขนมขบเคี้ยวที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก และอาจมีส่วนประกอบอื่น เช่น เนื้อสัตว์ ผัก หรือผลไม้บดผสมให้เข้ากับเครื่องปรุงรส ทำให้มีสี กลิ่น รส และชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามส่วนประกอบและชนิดของวัตถุดิบที่เติมลงไปเป็นส่วนผสม เช่น ข้าวเกรียบกุ้ง ข้าวเกรียบปลา เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่มีกุ้ง และปลา เป็นส่วนประกอบตามลำดับ อย่างไรก็ตามนอกจากมีการเติมเนื้อสัตว์ดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบแล้ว ยังพบว่า มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ โดยการเติมผักและผลไม้เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม เช่น พักทอง เห็ดหอม เผือก สาหร่ายเกลียวทอง กล้วยพืชและสมุนไพรชนิดต่างๆ [1-4] โดยวัตถุดิบที่ใช้ทดแทนเหล่านั้นมีผลต่อการลดปริมาณไขมันและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ เป็นการตอบสนองต่อผู้บริโภคที่รักสุขภาพ และเป็นการนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบการรายงานเกี่ยวกับการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากผักพื้นบ้านของประเทศไทย ซึ่งเป็นพืชท้องถิ่นที่อุดมด้วยวิตามิน แร่ธาตุ เส้นใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีผลต่อการต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยมีการรายงานแล้วว่า เป็นพืชท้องถิ่นที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และป้องกันการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ [5-8]

บัวบก (*Centella asiatica*) เป็นผักพื้นบ้านในท้องถิ่นภาคใต้ นิยมนำส่วนของต้นและใบใช้เป็นอาหาร รับประทานเป็นผักสดคู่กับน้ำพริกหรือพริกน้ำปลา ยำ ลาบ ส้มตำ ซุปหน่อไม้ เมนูสลัด หมี่กรอบ หรือ ก๋วยเตี๋ยวผัดไทย จากการศึกษาทางด้านโภชนาการเกี่ยวกับปริมาณสารอาหารและสารพฤกษเคมีที่พบในใบบัวบกบริเวณเกาะอันดามันของ Singh, et al. [9] พบว่า ใบบัวบกมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย มีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด (1354.9-2870.8 มิลลิกรัม/100 กรัมผักแห้ง) รองลงมาคือ แมกนีเซียม โซเดียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า ใบบัวบกประกอบด้วยสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอล สารฟลาโวนอยด์ แทนนิน แอนโทไซยานิน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และ วิตามินซี ในปริมาณที่มากตามลำดับ ซึ่งพบว่า สารสกัดจากใบบัวบกมีฤทธิ์ในการต้าน สารอนุมูลอิสระ ได้ และจากการศึกษาทางเภสัชวิทยา เพื่อค้นหาสารออกฤทธิ์ต่างๆที่มีอยู่ในใบบัวบกพบว่า ใบบัวบกมีสารไกลโคไซด์หลายชนิดที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีผลต่อการลดความเสื่อมของเซลล์อวัยวะต่างๆ ของร่างกาย โดยใบบัวบกมีสารไกลโคไซด์ที่สำคัญ คือ กรดมาดีคาสสิก (Madecassic Acid) และกรดเอเชียติก (Asiatic Acid) ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการสมานแผล มีผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน และช่วยส่งเสริมการสร้างคอลลาเจนในร่างกายได้ ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระในบัวบกสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการหืนของไขมันและมีบทบาทในการจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชัน และด้านการเกิดมะเร็ง [10-13] รวมทั้งยังพบว่า สารสำคัญในใบบัวบกมีผลต่อระบบประสาทและพัฒนากายทางสมองของหนูทดลองในทิศทางที่ดีขึ้น และสารสกัดจากใบบัวบกมีผลต่อการยับยั้งประสาทในหนูทดลองที่ถูกกระตุ้นให้มีภาวะเครียดอีกด้วย [14-15]

ดังนั้นการทดแทนผงบัวบกลงในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ อาจเป็นแนวทางการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบและสามารถใช้เป็นขนมขบเคี้ยวทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่นิยมบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพได้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนผงบัวบกในแป้งมันสำปะหลังต่อลักษณะทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบทางโภชนาการ และการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกเพื่อสุขภาพ

วัตถุดิบ และวิธีดำเนินการ

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบก

1.1 การเตรียมผงบัวบก โดยอบแห้งส่วนใบและลำต้นบัวบกด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 7 ชม.) เพื่อให้ความชื้นสุดท้ายเหลือ 8-10 % และนำไปบดหยาบด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง

1.2 เตรียมแผ่นข้าวเกรียบดิบ โดยการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยผงบัวบก 0 % (สูตรควบคุม) 2.5 % 5.0 % 7.5 % และ 10.0 % โดยน้ำหนักแป้ง คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นเติมส่วนผสมอื่นๆ ที่ได้จากการดัดแปลงตามสูตรมาตรฐาน การผลิตข้าวเกรียบสำหรับเกลียวทองของ ลลิตา และคณะ [3] และนวดแป้งด้วยน้ำอุ่นจนเนื้อแป้งเนียนเป็นก้อนโดที่มีความยืดหยุ่นและเป็นเนื้อเดียวกัน นำแป้งผสมมาคลึงและปั้นเป็นรูปทรงกระบอก และนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส (1 ชั่วโมง) เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส (24 ชั่วโมง) หั่นเป็นแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร และอบแห้งให้มีความชื้นประมาณ 10 % ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

1.3 เตรียมแผ่นข้าวเกรียบพร้อมบริโภคร โดยนำแผ่นข้าวเกรียบดิบทอดด้วยน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที พักทิ้งไว้บนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำมันนาน 5 นาที แล้วเก็บในภาชนะบรรจุปิดสนิท

2. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบก

2.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าสีตามระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) อัตราการฟองตัว (ดัดแปลงวิธีการจาก Abd El-Ghany, *et al.*) [15] ค่าความหนาแน่นรวม [16] ปริมาณการดูดซับไขมัน (ดัดแปลงวิธีการตาม Kaewmanee, *et al.*) [17] ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (ปริมาณแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดครั้งแรก) และค่าความกรอบ (ปริมาณแรงที่จุดยอดแรกซึ่งทำให้ตัวอย่างแตกในช่วงการกดครั้งที่ 1) ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยใช้หัวกดชนิด ball probes (p/0.25S) มีค่าความเร็วขณะทดสอบเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นระยะทาง 2.5 มิลลิเมตร (ดัดแปลงวิธีการตาม Kaewmanee, *et al.*) [17] และศึกษาโครงสร้างในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) โดยใช้กำลังขยาย 35 เท่า

2.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น คุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นและคุณค่าทางโภชนาการของตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมันหยาบ ใยอาหารหยาบ โดยวิธีมาตรฐาน AOAC Method [18] คำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดตามวิธีการของ Ahmed and Abozed [19] วิเคราะห์แร่ธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และเหล็ก ด้วยเครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุชนิดใช้ความร้อนจากพลาสมา (Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu method และทดสอบฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH method เพื่อรายงานร้อยละของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH inhibition) ดัดแปลงวิธีการตาม Ahmed and Abozed [19] และทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์โลหะได้โดยอาศัยการรีดิวซ์เฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) (1-10 phenanthroline assay) เพื่อคำนวณหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากกราฟมาตรฐานเพอร์รัสซัลเฟต ดัดแปลงวิธีการตาม Szydłowska-Czerniak, *et al.* [20]

2.3 การศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกด้านสี กลิ่นรส ความกรอบ รสชาติ และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale จำนวน 50 คน

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way Analysis of Variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบก

การทดแทนผงบัวบก 2.5 % 5 % 7.5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก ลงในแป้งมันสำปะหลัง มีผลทำให้อัตราการพองตัวและความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมและความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามระดับการเพิ่มปริมาณผงบัวบกแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (0 %) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1) ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Kaewmanee, *et al.* [17] พบว่า ความแข็งของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับอัตราการพองตัวในแนวเส้นของแผ่นข้าวเกรียบปลาทอด โดยความแข็งของผลิตภัณฑ์คือปริมาณการกระจายตัวของรูพรุนที่เกิดในผลิตภัณฑ์หลังทอด ดังนั้นแผ่นข้าวเกรียบที่มีรูพรุนมาก จะมีความกรอบมาก แต่ความแข็งน้อย การพองตัวของแผ่นข้าวเกรียบเกิดขึ้นระหว่างการทอดด้วยน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง (180-200 องศาเซลเซียส) ทำให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดแรงดันไอน้ำภายในเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งขยายตัวออกในระหว่างการทอด ส่งผลให้เกิดเป็นโพรงอากาศที่มีลักษณะเป็นรูพรุนแทรกระหว่างโครงสร้างของเนื้อแป้งมันสำปะหลัง ลักษณะดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเกิดความกรอบ และอัตราการพองตัวของแผ่นข้าวเกรียบจะสัมพันธ์กับความกรอบของผลิตภัณฑ์ [17, 21-22] จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การทดแทนผงบัวบกลงในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีความสัมพันธ์เชิงลบต่ออัตราการพองตัวและความกรอบของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากบัวบกมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่สามารถขัดขวางการเกิดโพรงอากาศที่มีลักษณะเป็นรูพรุนแทรกระหว่างโครงสร้างผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักได้ [19, 23-25]

ตารางที่ 1 ลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบก

ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์*	อัตราส่วนการ พองตัว (เท่า)	ความหนาแน่น โดยรวม (g/cm^3)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		ปริมาณน้ำอิสระ ในอาหาร (a_w)	การดูดซับ ไขมัน (%)
			ความแข็ง (N)	ความกรอบ ^{ns} (N)		
บัวบก-0%	12.10 ± 0.26^a	0.12 ± 0.01^c	16.26 ± 4.46^c	0.35 ± 0.04	0.37 ± 0.01^c	8.71 ± 0.01^a
บัวบก-2.5%	11.80 ± 0.21^b	0.13 ± 0.26^b	16.50 ± 2.35^c	0.36 ± 0.02	0.38 ± 0.01^c	8.28 ± 0.11^b
บัวบก-5.0%	11.40 ± 0.39^c	0.14 ± 0.02^a	16.70 ± 2.73^c	0.39 ± 0.05	0.41 ± 0.02^b	7.12 ± 0.07^c
บัวบก-7.5%	10.50 ± 0.33^d	0.15 ± 0.11^a	20.12 ± 2.87^b	0.41 ± 0.02	0.42 ± 0.02^b	6.54 ± 0.06^d
บัวบก-10.0%	10.10 ± 0.21^c	0.15 ± 0.01^a	25.01 ± 4.46^a	0.46 ± 0.09	0.44 ± 0.01^a	5.22 ± 0.02^c

* แสดงถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและตัวอักษร^{a-c} ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และอักษร^{ns} แสดงถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

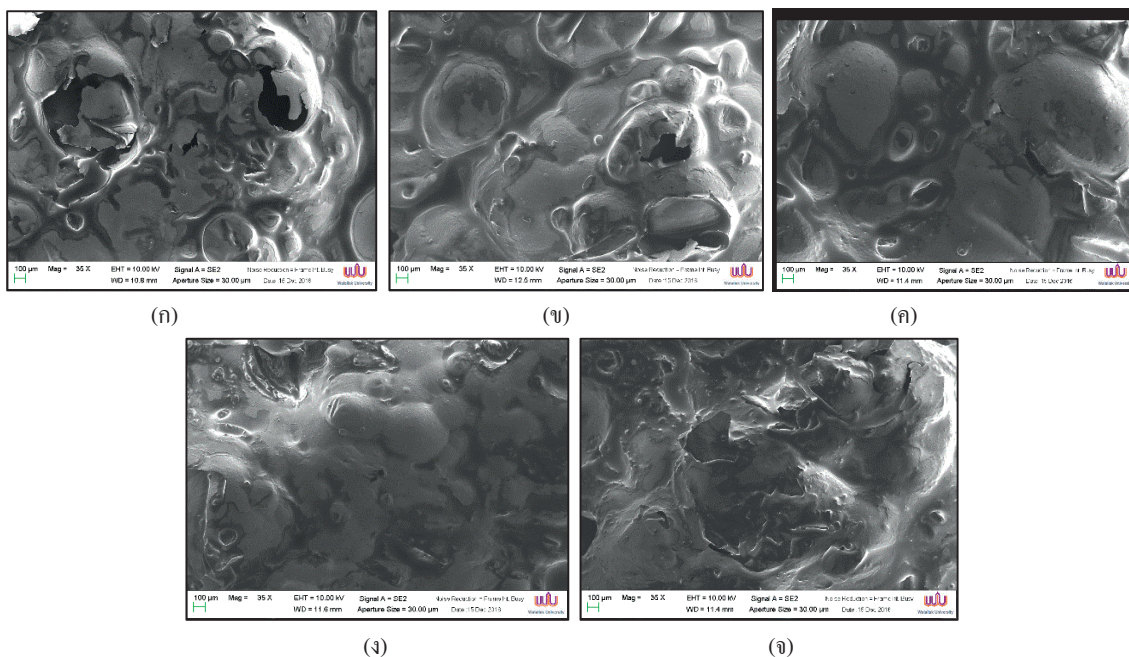
ทั้งนี้พบว่า การดูดซับไขมันในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกทอดลดลงเมื่อทดแทนผงบัวบกเพิ่มขึ้น การทดแทนผงบัวบก 10 % สามารถลดการดูดซับไขมันของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบทอดได้ประมาณ 1.5 เท่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (0 %) แสดงให้เห็นว่าการทดแทนวัตถุดิบที่มีใยอาหารลงไปผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ส่งผลต่อการดูดซับไขมันของแป้งที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอด ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือในผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง ประกอบกับอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง ทำให้รูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดและปริมาณน้อยกว่าแผ่นข้าวเกรียบที่มีองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังทั้งหมด [24] การทดแทนปริมาณผงบัวบกที่เพิ่มขึ้น (2.5 %-10.0 %) ทำให้ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) คงเหลือของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (0.37 0.38 0.41 0.42 และ 0.44 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นผลมาจากการพองตัวของผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อย การระเหยของไอน้ำในกระบวนการทอดจึงเกิดขึ้นน้อยตามลำดับ โดยปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบและมีผลต่อค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่มีปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) มาก จะมีความกรอบของผลิตภัณฑ์หลังทอดลดลง [19] อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคน้ำที่เพิ่มขึ้น มีปริมาณน้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของอาหารแห้ง จึงไม่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารให้สั้นลง ในทางกลับกันปริมาณการดูดซับไขมันในผลิตภัณฑ์ที่ลดลงสามารถช่วยลดปัจจัยการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบทอดที่อาจเกิดจากปฏิกิริยาการหืนของไขมันและน้ำมันได้

ตารางที่ 2 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกที่มีการทดแทนผงบัวบกลงในแป้งมันสำปะหลังที่ปริมาณต่างกัน

ค่าสีของ ผลิตภัณฑ์	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์*				
	บัวบก -0 %	บัวบก -2.5 %	บัวบก -5.0 %	บัวบก -7.5 %	บัวบก -10.0 %
L*	50.39 ± 0.48 ^a	41.78 ± 0.36 ^b	40.76 ± 0.11 ^c	37.11 ± 0.11 ^d	36.51 ± 0.20 ^c
a*	0.87 ± 0.29 ^a	-0.98 ± 0.15 ^b	-1.31 ± 0.12 ^c	-1.46 ± 0.17 ^c	-1.66 ± 0.16 ^d
b*	20.85 ± 0.28 ^b	23.21 ± 0.64 ^a	23.51 ± 0.20 ^a	23.16 ± 0.36 ^a	23.55 ± 0.32 ^a

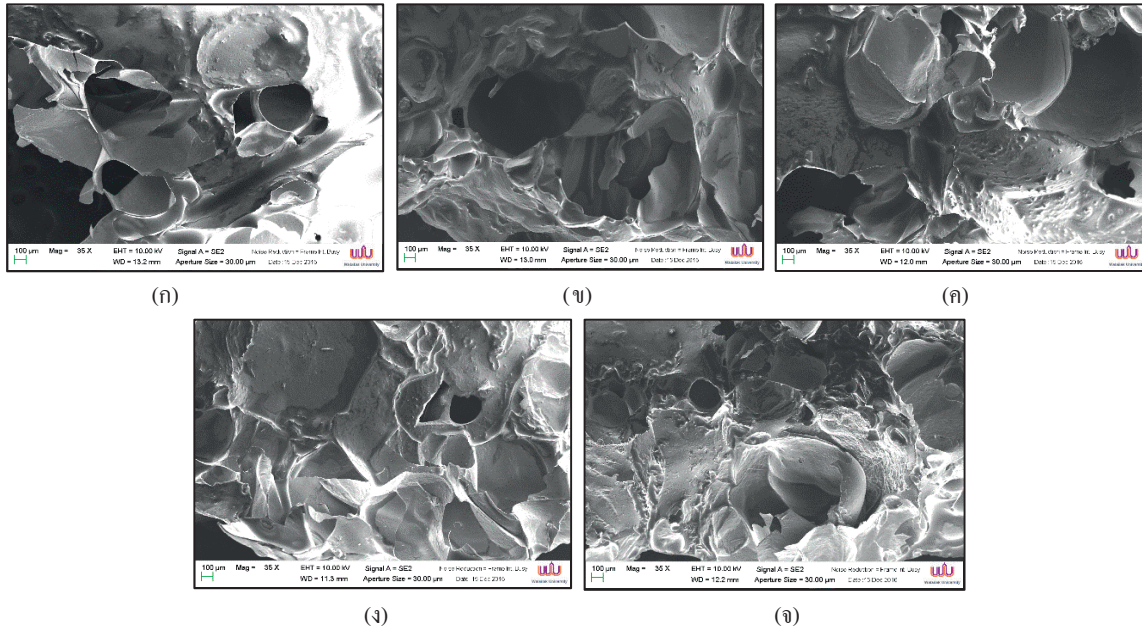
* แสดงถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและตัวอักษร^{a-c} ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผงบัวบกมีรงควัตถุสีเขียวของสารประกอบคลอโรฟิลล์ ดังนั้นเมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ทำให้ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และลดค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ (L^*) ลงอย่างชัดเจน รวมทั้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุชีวภาพที่ใช้เติมลงไป รวมทั้งชนิดของแป้งที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบ ปริมาณการเติมผงปรุงแต่งรสอาหาร และขนาดแผ่นข้าวเกรียบก่อนทอด ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคน [17, 22, 26]



ภาพที่ 1 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นข้าวเกรียบทอดที่มีการทดแทนผงบัวบกในปริมาณที่แตกต่างกัน

โดยที่ (ก) ทดแทนผงบัวบก 0 %; (ข) ทดแทนผงบัวบก 2.5 %; (ค) ทดแทนผงบัวบก 5.0 %; (ง) ทดแทนผงบัวบก 7.5 %;
(จ) ทดแทนผงบัวบก 10.0 %



ภาพที่ 2 ลักษณะผิวหน้าตัดภายในของแผ่นข้าวเกรียบทอดที่มีการทดแทนผงขี้ผึ้งในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยที่ (ก) ทดแทนผงขี้ผึ้ง 0 %; (ข) ทดแทนผงขี้ผึ้ง 2.5 %; (ค) ทดแทนผงขี้ผึ้ง 5.0 %; (ง) ทดแทนผงขี้ผึ้ง 7.5 %; (จ) ทดแทนผงขี้ผึ้ง 10.0 %

เมื่อพิจารณาพื้นผิวและ โครงสร้างหน้าตัดของแผ่นข้าวเกรียบที่มีปริมาณการทดแทนผงขี้ผึ้งในปริมาณที่แตกต่างกัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) ตาม ภาพที่ 1-2 พบว่า ปริมาณการเติมผงขี้ผึ้งมีผลต่อพื้นผิวภายนอกของแผ่นข้าวเกรียบอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากแผ่นข้าวเกรียบ ที่ไม่มีการเติมผงขี้ผึ้งทดแทนแป้งมันสำปะหลังจะมีอัตราการพองตัวและความกรอบมากที่สุด (ตารางที่ 1) ทำให้ผิวของ ตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะบางและกรอบ จนทำให้ผิวของตัวอย่างแตกและมีรูพรุนปรากฏบนผิวของตัวอย่างอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 1ก) เช่นเดียวกับการทดแทนผงขี้ผึ้งในปริมาณน้อย (2.5 %) ที่แสดงให้เห็นพื้นผิวของเนื้อสัมผัสตัวอย่างในลักษณะ เดียวกัน (ภาพที่ 1ข) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มการทดแทนผงขี้ผึ้ง (5.0 %-10.0 %) ลักษณะพื้นผิวของแผ่นข้าวเกรียบจะมี ความเรียบและไม่ปรากฏรูพรุนบนผิวตัวอย่างแตกต่างจากพื้นผิวตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีการพองตัวและ เกิดรูพรุนภายในน้อย สอดคล้องกับค่าความแข็งของตัวอย่างที่วัดได้ (ตารางที่ 1) สำหรับโครงสร้างหน้าตัดของตัวอย่าง (ภาพที่ 2) พบว่า ปริมาณการเติมผงขี้ผึ้งมีผลต่อโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ โดยแผ่นข้าวเกรียบที่ไม่มีการเติมผงขี้ผึ้ง (0 %) จะมีขนาดรูพรุนภายในใหญ่กว่ารูพรุนของแผ่นข้าวเกรียบที่การเติมผงขี้ผึ้งลงไปปริมาณต่างกัน (2.5 %-10.0 %) สอดคล้องกับผลของการเพิ่มใยอาหารลงในผลิตภัณฑ์ ทำให้ขัดขวางการพองตัวของแผ่นข้าวเกรียบ และส่งผลให้รูพรุนที่ เกิดขึ้นมีขนาดและปริมาณน้อยกว่าแผ่นข้าวเกรียบที่มีแป้งมันสำปะหลังทั้งหมด [24]

2. องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น คุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบขี้ผึ้ง

การทดแทนผงขี้ผึ้งในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ตั้งแต่ 2.5-10.0 % สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ผลิตภัณฑ์ ข้าวเกรียบได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบสูตรมาตรฐาน ($p < 0.05$) โดยพบว่า มีผลต่อการ เพิ่มปริมาณโปรตีน (2.09-3.27 กรัมต่อ 100 กรัม) ใยอาหาร (1.13-2.06 กรัมต่อ 100 กรัม) และเถ้า (2.00-3.01 กรัมต่อ 100 กรัม) แต่ในทางกลับกัน ทำให้ปริมาณไขมันหยابในผลิตภัณฑ์ลดลงประมาณ 1-2 เท่า อย่างไรก็ตามปริมาณองค์ประกอบของ ไขมันหยาบที่ลดลงเป็นผลมาจากอัตราการพองตัวและปริมาณน้ำในอาหารของของแผ่นข้าวเกรียบในระหว่างการทอด เนื่องจากเมื่อน้ำในอาหารเกิดการระเหยออกอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำในช่องว่างระหว่างเซลล์ของแผ่น ข้าวเกรียบเพื่อแทนที่น้ำที่ระเหยออกไปและแทรกอยู่ในระหว่างรูพรุนที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวของแผ่นข้าวเกรียบ [17, 27] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในตารางที่ 1 เมื่ออัตราการการพองตัวของแผ่นข้าวเกรียบลดลงทำให้แผ่นข้าวเกรียบมีการดูด ขั้บไขมันลดลงตามระดับการเพิ่มปริมาณผงขี้ผึ้ง

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกพร้อมบริโภค

องค์ประกอบทางโภชนาการ (หน่วย)	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์*				
	บัวบก -0 %	บัวบก -2.5 %	บัวบก -5.0 %	บัวบก -7.5 %	บัวบก -10.0 %
ความชื้น (g/100 g)	2.57 ± 0.01 ^c	3.47 ± 0.03 ^d	3.74 ± 0.03 ^c	4.03 ± 0.02 ^b	4.31 ± 0.05 ^a
เถ้า (g/100 g)	1.47 ± 0.01 ^c	2.00 ± 0.02 ^d	2.47 ± 0.05 ^c	2.87 ± 0.04 ^b	3.01 ± 0.03 ^a
คาร์โบไฮเดรต (g/100 g)	62.08 ± 0.87 ^d	66.26 ± 0.23 ^c	69.14 ± 0.25 ^b	71.57 ± 0.83 ^a	72.00 ± 0.54 ^a
ไขมันหยาบ (g/100 g)	31.37 ± 0.85 ^c	25.04 ± 0.06 ^d	20.71 ± 0.25 ^c	16.98 ± 0.72 ^b	15.35 ± 0.57 ^a
โปรตีน (g/100g)	1.68 ± 0.01 ^c	2.09 ± 0.01 ^d	2.50 ± 0.02 ^c	2.88 ± 0.02 ^b	3.27 ± 0.03 ^a
ใยอาหารหยาบ (g/100 g)	0.83 ± 0.01 ^c	1.13 ± 0.01 ^d	1.43 ± 0.02 ^c	1.66 ± 0.07 ^b	2.06 ± 0.03 ^a
แคลเซียม (mg/kg)	247.70 ± 0.63 ^c	419 ± 0.98 ^d	591.95 ± 0.43 ^c	762.76 ± 2.18 ^b	941.16 ± 6.58 ^a
โพแทสเซียม (mg/kg)	520.85 ± 2.84 ^c	1337.30 ± 6.17 ^d	2147.36 ± 2.82 ^c	2953.39 ± 9.85 ^b	3762.52 ± 7.61 ^a
ฟอสฟอรัส (mg/kg)	129.78 ± 2.65 ^c	188.38 ± 0.17 ^d	248.38 ± 1.97 ^c	309.37 ± 1.27 ^b	365.35 ± 0.88 ^a
แมกนีเซียม (mg/kg)	59.96 ± 0.24 ^c	111.45 ± 0.74 ^d	160.51 ± 1.66 ^c	217.39 ± 3.70 ^b	265.97 ± 1.57 ^a
เหล็ก (mg/kg)	4.51 ± 0.01 ^c	9.55 ± 0.36 ^d	13.91 ± 0.11 ^c	18.52 ± 0.11 ^b	23.60 ± 0.23 ^a

* แสดงถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและตัวอักษร^{a-c} ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เนื่องจากบัวบกเป็นผักพื้นบ้านที่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุหลักที่สำคัญ ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โซเดียม แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ในปริมาณที่สูง [9] จากผลการศึกษา (ตารางที่ 3) พบว่า การทดแทนผงบัวบกลงในแป้งมันสำปะหลังสามารถเพิ่มปริมาณแร่ธาตุแคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และเหล็ก ในผลิตภัณฑ์ได้สูงถึง 2-7 เท่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (0 %) แสดงให้เห็นว่า การทดแทนผงบัวบกในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในส่วนของผู้บริโภค เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ahmed and Abozed [19] ที่ได้รายงานว่า การนำเศษเหลือจากกระบวนการคั้นน้ำกระเจี๊ยบมาเติมลงในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ สามารถช่วยเพิ่มปริมาณใยอาหารและแร่ธาตุ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก และสังกะสีในผลิตภัณฑ์ได้ และพบว่าการทดแทนกากกระเจี๊ยบลงในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันต่ำกว่าสูตรควบคุม

นอกจากบัวบกเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการเด่นทั้งในกลุ่มสารอาหารหลักและสารอาหารรองแล้ว จากการรายงานผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า บัวบกประกอบด้วยสารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์และมีบทบาทสำคัญในการจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ รวมทั้งด้านการเกิดมะเร็ง ส่งเสริมการสร้างคอลลาเจน และผลต่อระบบประสาทและพัฒนาระบบทางสมองโดยให้ผลต่อการกระตุ้นประสาทได้ [9-14] จากการทดแทนผงบัวบกในการผลิตข้าวเกรียบ พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวเกรียบสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนผงบัวบก โดยสารสกัดของผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และสามารถรีดิวซ์โลหะได้โดยอาศัยการรีดิวซ์เฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ให้ไปเป็นเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ได้ดีกว่าสารสกัดของข้าวเกรียบสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนผงบัวบก (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบก

สารสกัด ผงข้าวเกรียบบัวบก*	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100g DW)	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ	
		DPPH Inhibition (%)	1-10 Phenanthroline activity (mol Fe^{2+} /g DW)
บัวบก-0 %	85.57 ± 0.10 ^c	32.33 ^d	0.02 ± 0.01 ^c
บัวบก-2.5 %	159.47 ± 0.14 ^d	36.36 ^c	3.50 ± 0.01 ^d
บัวบก-5.0 %	174.64 ± 0.70 ^c	36.86 ^c	3.66 ± 0.01 ^c
บัวบก-7.5 %	199.47 ± 0.24 ^b	38.93 ^b	3.90 ± 0.02 ^b
บัวบก-10.0 %	241.65 ± 0.56 ^a	42.66 ^a	4.11 ± 0.01 ^a

* แสดงถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและตัวอักษร^{a-c} ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบก พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสี (7.02-7.46) กลิ่นรส (6.89-7.36) ความกรอบ (6.24-7.48) รสชาติ (6.86-7.42) และความชอบรวม (6.38-7.84) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ไม่ได้แสดงข้อมูล) โดยผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกที่มีระดับการทดแทนผงบัวบกไม่เกิน 5.0 % (ความชอบรวมมากกว่า 7 คะแนน) และผู้บริโภคจะมีความชอบผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงบัวบกลงในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเป็น 7.5 % และ 10.0 % ตามลำดับ ทั้งนี้การทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยผงบัวบก 2.5 % ได้รับการยอมรับโดยรวมจากผู้บริโภค สูงที่สุด (7.84 คะแนน)

สรุปผลการวิจัย

การทดแทนผงบัวบกลงในแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตข้าวเกรียบบัวบกเพื่อสุขภาพ ทำให้อัตราการพองตัว ความหนาแน่นรวม การดูดซับไขมัน และความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่สามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบของโปรตีนเพิ่มขึ้น 1-2 เท่า ใยอาหารเพิ่มขึ้น 1-2.5 เท่า เกล็ดเพิ่มขึ้น 1-2 เท่า เพิ่มแร่ธาตุสำคัญ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และเหล็ก ได้ 2-7 เท่า และช่วยลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ได้ 1-2 เท่า นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกยังมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยสารสกัดของผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และมีความสามารถรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริกได้ดีกว่าสารสกัดข้าวเกรียบสูตรมาตรฐาน การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สามารถทดแทนผงบัวบกลงในแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตข้าวเกรียบบัวบกเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เป็นขนมขบเคี้ยวทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่นิยมผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบบัวบกที่มีระดับการทดแทนผงบัวบกได้ไม่เกิน 5.0 %

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุน โครงการวิจัยจากสำนักบริหาร โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2559 (HERP 2559)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yimto, C., Pooksuksakul, A. and Puengkham, O. (2012). Development of Cereals Cracker Product. **Complete Research Report**. Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani.
- [2] Dholvitayakhun, A. (2007). **Quality Development of Black Sesame Crispy Crackers with Herbs** (Online). Retrieved 18 December 2016, from <http://www.rtir.rmutt.ac.th/handle/123456789/316>.
- [3] Suraratchai, L., Sarakun, R. and Phoophat, N. (2009). **Production of Spirulina snack food (Khao Krieb)** (Online). Retrieved 18 December 2016, from http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/01-celebrate/lalida/celebrate_00.html.
- [4] Suriya, P., Thamaragsa, N., Kaewtein, S., Pocarar, R. and Arkanit K. (2011). Product Development of Burma Bean Chip. **Proceeding of the 2nd MJU-Phrae National Research Conference**. 1st-2nd September 2011, Prae.
- [5] Nanasombat, S. and Teckchuen, N. (2009). "Antimicrobial, Antioxidant and Anticancer activities of Thai Local Vegetables", **Journal of Medicinal Plants Research**. 3(5), 443--449.
- [6] Panpipat, W., Suttirak, W. and Chaijan M. (2010). "Free Radical Scavenging Activity and Reducing Capacity of Five Southern Thai Indigenous Vegetable Extracts", **Walailak Journal of Science and Technology**. 7(1), 51-60.
- [7] Thummajitasakul, S., Tumchalee, L., Koolwong, S., Deetae, P., Kaewsri, W. and Lertsiri, S. (2014). "Antioxidant and Antibacterial Potentials of Some Thai Native Plant Extracts", **International Food Research Journal**. 21(6), 2393-2398.
- [8] Kongkachuichai, R., Charoensiri, R., Yakoh, K., Kringkasemsee, A. and Insung, P. (2015). "Nutrients Value and Antioxidant Content of Indigenous Vegetables from Southern Thailand", **Food Chemistry**. 173, 838-846.

- [9] Singh, S., Singh, D.R., Shajeeda Banu, V. and Avinash, N. (2014). “Functional Constituents (Micronutrients and Phytochemicals) and Antioxidant Activity of *Centella asiatica* (L.) Urban Leaves”, **Industrial Crops and Products**. 61, 115–119.
- [10] Wang, X.S., Liu, L. and Fang, J.N. (2005). “Immunological Activities and Structure of Pectin from *Centella asiatica*”, **Carbohydrate Polymers**. 60, 95–101.
- [11] Subhasree, B., Baskar, R., Keerthana, R.L., Susan, R.L. and Rajasekaran, P. (2009). “Evaluation of Antioxidant Potential in Selected Green Leafy Vegetables”, **Food Chemistry**. 115, 1213–1220.
- [12] Maulidiani, A.F., Khatiba, A., Shaari, K. and Lajis N.H. (2014). “Chemical Character Apiaceae species Industrial”, **Crops and Products**. 55, 238–247.
- [13] Rao, S.B., Chetana, M. and Uma Devi P. (2005). “*Centella asiatica* Treatment During Postnatal Period Enhances Learning and Memory in Mice”, **Physiology & Behavior**. 86, 449–457.
- [14] Wanasuntronwong, A., Tantisira, M.H., Tantisira, B. and Watanabe, H. (2012). “Anxiolytic Effects of Standardized Extract of *Centella asiatica* (ECa 233) after Chronic Immobilization Stress in Mice”, **Journal of Ethnopharmacology**. 143, 579–585.
- [15] Abd El-Ghany, I.H., El-Asser, M.A., Nagy, K.S. and Abd El-Maksoud, A.A. (2013). “Effect of Milk Proteins on Physical and Chemical Characteristics of Crispy Puff Snacks”, **Journal of Agricultural Science and Technology**. 3, 633–645.
- [16] Keeratipibul, S., Luangsakul, N. and Lertsatchayam T. (2008). “The Effect of Thai Glutinous Rice Cultivars, Grain Length and Cultivating Locations on the Quality of Rice Cracker (Arare)”, **LWT - Food Science and Technology**. 41, 1934–1943.
- [17] Kaewmanee, T., Karrila, T.T. and Benjakul, S. (2015). “Effects of Fish Species on the Characteristics of Fish Cracker”, **International Food Research Journal**. 22(5), 2078–2087.
- [18] AOAC. (2000). **Official method of analysis of AOAC International**. (18th edition). USA: Maryland.
- [19] Ahmed, Z.S. and Abozed, S.S. (2015). “Functional and Antioxidant Properties of Novel Snack Crackers incorporated with *Hibiscus sabdariffa* by-Product”, **Journal of Advanced Research**. 6, 79–87.
- [20] Szydłowska-Czerniak, A., Dianoczki, C., Recseg, K., Karlovits, G. and Szlyk, E. (2008). “Determination of Antioxidant Capacities of Vegetable Oils by Ferric-Ion Spectrophotometric Methods”, **Talanta**. 76, 899–905.
- [21] Saeleaw, M. and Schleining, G. (2010). “Effect of Blending Cassava Starch, Rice, Waxy Rice and Wheat Flour on Physico-Chemical Properties of Flour mixtures and Mechanical and Sound Emission Properties of Cassava Crackers”, **Journal of Food Engineering**. 100, 12–24.
- [22] Nurul, H., Boni, I. and Noryati, I. (2009). “The Effect of Different Ratios of Dory Fish to Tapioca Flour on the Linear Expansion, Oil Absorption, Colour and Hardness of Fish Crackers”, **International Food Research Journal**. 16, 159–165.
- [23] Wu, K.L., Sung, W.C. and Yang, C.H. (2009). “Characteristics of Dough and Bread as affected by the Incorporation of Sweet Potato Paste in the Formulation”, **Journal of Marine Science and Technology**. 17(1), 13–22.
- [24] Rohani, A. C., Salasiah, M. N. and Ashadi, Y. (2010). “Effect of Cereal Fibre on the Physico-Chemical Quality and Sensory Acceptability of Instant Fish Crackers”, **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**. 38(1), 39–49.
- [25] Rosell, C. M. and Santos, E. (2010). “Impact of Fibers on Physical Characteristics of Fresh and Staled Bake off Bread”, **Journal of Food Engineering**. 98, 273–281.
- [26] Nurul, H., Li Leng, A., Xian Yee, C. and Herpandi. (2010). “Chemical Composition, Colour and Linear Expansion Properties of Malaysian Commercial Fish Cracker (Keropok)”, **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. 3(05), 473–482.
- [27] Mellema, M. (2003). “Mechanism and Reduction of Fat Uptake in Deep-Fat Fried Foods”, **Trends in Food Science and Technology**. 14, 364–373.

ลักษณะคุณภาพของเมล็ดและโครงสร้างของส่วนสะสมอาหาร ในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดขุ่นและใส

Grain Quality Characteristics and Structure of Opaque and Translucent Endosperm in Sang Yod Rice Variety

นันทิยา พนมจันทร์^{1*}, เสาวคนธ์ จันทรดำ² และวารารณ์ เพชรแก้ว³

Nantiya Panomjan^{1*}, Saowakon Jandum² and Waraporn Petkaew³

บทคัดย่อ

ข้าวพันธุ์สังข์หยดมีเชื้อหุ้มเมล็ดสีแดง คุณภาพการหุงต้มดี และคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ แต่ข้าวสังข์หยดมีลักษณะความขุ่นและใสของเมล็ดเกิดขึ้นในสัดส่วนที่แตกต่างกันทั้งในและระหว่างประชากรและต่างพื้นที่ปลูก วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เพื่อประเมินลักษณะคุณภาพของเมล็ดและโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดขุ่นและใส เก็บตัวอย่างจากแปลงเกษตรกร 22 ตัวอย่าง ปลูกทดสอบในรุ่นลูก ทำการวัดความแตกต่างของเมล็ดขุ่นและใสจากลักษณะคุณภาพของเมล็ดทางกายภาพ ทางเคมี และศึกษาโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารเมล็ดขุ่นและใสภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเมล็ดใสมีความหนาแน่นมากกว่าเมล็ดขุ่น (1.59 และ 1.55 มิลลิเมตร ตามลำดับ) น้ำหนัก 100 เมล็ดของเมล็ดใส (1.50 กรัม) หนักกว่าเมล็ดขุ่น (1.43 กรัม) ปริมาณไขมัน (11.32-11.40 %) และอมิโลส (5.38-5.50 %) มีค่าไม่แตกต่างกัน โครงสร้างของแป้งในเมล็ดใสเกาะตัวกันแน่นกว่าเมล็ดขุ่น ขนาดเม็ดแป้งของเมล็ดใส (3.09-10.04 μm) ใหญ่กว่าเมล็ดขุ่น (2.66-9.49 μm) และเมล็ดใสมีช่องว่างภายในเซลล์มากกว่าเมล็ดขุ่น ดังนั้นความแตกต่างของน้ำหนักในเมล็ดขุ่นและใสจะส่งผลต่อคุณภาพการชื้อขาย ส่วนการเรียงตัวของเม็ดแป้งและช่องว่างของโครงสร้างแป้งภายในเมล็ดอาจเกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มซึ่งควรมีการศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: ลักษณะคุณภาพเมล็ด โครงสร้างส่วนสะสมอาหาร เมล็ดขุ่น เมล็ดใส พันธุ์สังข์หยด

Abstract

“Sang Yod” is a red rice variety, good cooking quality, high nutrition and most popular among health-conscious consumers. Sang Yod has opaque and translucent endosperm of seeds occurring in the different proportion, both within and between population and the different growing area. The objective of this study was to evaluate grain quality characteristics and structure of opaque and translucent endosperm. Samples (22) of Sang Yod rice were collected from farmer’s fields and planted to evaluate the proportion of opaque and translucent endosperm using physical and chemical characteristics, and endosperm structure under the scanning electron microscope (SEM).

¹ อ. ดร., สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิทยาศาสตร์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Plant Science, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

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

³ Scientist, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074693996 ext. 3317. E-mail address: n_numkum@hotmail.com, pnantiya@tsu.ac.th

Opaque seed was thicker than translucent endosperm (1.59 and 1.55 mm, respectively). The 100 seed weight of translucent endosperm (1.50 g) was significantly heavier opaque endosperm (1.43 g) ($p < 0.01$). There were no differences in fat (11.32-11.40 %) and amylose content (5.38-5.50 %). The starch granule arrangement of translucent grain was more compact than opaque grain, starch granule size of translucent seed (3.09-10.04 μm) was bigger than opaque seed (2.66-9.49 μm) and had higher internal cavity than opaque seed. Therefore, differentiation of opaque and transparent weight will affect the commercial quality. The starch granule arrangement and gaps in starch structure may be related to the cooking quality, which should be further studied.

Keywords: Grain Quality, Endosperm Structure, Opaque Endosperm, Translucent Endosperm, Sang Yod Variety

บทนำ

ข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองแหล่งปลูกดั้งเดิมอยู่ในจังหวัดพัทลุง ลักษณะข้าวกล้องมีสีแดง รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง 6.70 มิลลิเมตร ข้าวซ้อมมือสีแดงปนขาว ข้าวจากรวงเดียวกันเมื่อขัดสีแล้วบางเมล็ดมีสีขาวใส แต่ส่วนใหญ่มีลักษณะขาวขุ่น คุณสมบัติการหุงต้มดี ข้าวหุงสุกนุ่ม มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน (94 มิลลิเมตร) ปริมาณอมิโลสต่ำ (15.28 ± 2.08 %) ต้นสูง 140 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง และเป็นข้าวไวต่อช่วงแสง [1] ข้าวสังข์หยดขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication; GI) ใช้ชื่อว่า “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” และมีการใช้ระบบจัดการคุณภาพผลผลิตที่ดีและเหมาะสมของข้าว (Good Agricultural Practices; GAP) ร่วมด้วย [2] ปัจจุบันกระแสความนิยมบริโภคข้าวคุณภาพเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาเลือกซื้อข้าวอันดับที่ 1 คือคุณภาพข้าวเป็นหลัก ร้อยละ 51.89 [3] คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักเมล็ด สีของข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดรูปร่างเมล็ด ข้าวท้องไข่ ความเลื่อมมันของเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และความใส ซึ่งใช้สำหรับการจำแนกสายพันธุ์และเป็นดัชนีกำหนดราคาเพื่อการจำแนกเกรดข้าวในการซื้อขาย [4] ลักษณะสีข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดของเมล็ด และความใสของเมล็ดตรวจสอบจากคุณภาพการสีของข้าว [5-6] ส่วนคุณภาพข้าวทางเคมีเกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน มีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ทั้งนี้เพราะผู้บริโภคมีความชอบที่แตกต่างกัน คุณภาพการหุงต้มสามารถคาดคะเนจากคุณสมบัติทางเคมีของเมล็ด โดยปริมาณอมิโลสในแป้งข้าวเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ส่วนข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำดูดน้ำได้น้อยต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะแฉะและ [7]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะคุณภาพของเมล็ดและโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในข้าวสังข์หยดเมล็ดขุ่นและใส สามารถตรวจสอบลักษณะคุณภาพของเมล็ดข้าวได้จากลักษณะทางกายภาพซึ่งเป็นคุณสมบัติภายนอกของเมล็ดที่มองเห็นง่าย ตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า ใช้สำหรับการจำแนกเกรดข้าวสำหรับการซื้อขาย และลักษณะทางเคมีเพื่อประเมินคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน มีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ดังนั้นข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดขุ่นและใส น่าจะมีลักษณะคุณภาพทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเมล็ดขุ่นและใสสามารถช่วยหาสาเหตุและแนวทางการจัดการระบบการผลิตข้าวสังข์หยดให้ได้เมล็ดข้าวที่มีคุณภาพสูงสุด เพื่อรักษามั่นคงทางอาหาร อนุรักษ์ และใช้ประโยชน์เชื้อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีคุณค่าของท้องถิ่นด้วยระบบการผลิตที่ยั่งยืน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. การวางแผนการทดลองและการปลูก

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ นำตัวอย่างพันธุ์ข้าวสังข์หยดที่เก็บรวบรวม จำนวน 22 เชื้อพันธุ์ จาก 3 จังหวัด ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวหลักในภาคใต้ คือ จังหวัดนครศรีธรรมราช (อำเภอเมือง) จังหวัดพัทลุง (อำเภอควนขนุนและอำเภอศรีนครินทร์) และจังหวัดสงขลา (อำเภอสิงหนคร) นำเมล็ดพันธุ์

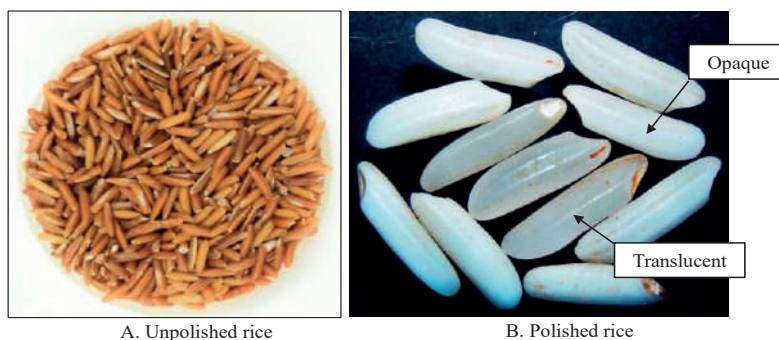
ที่รวบรวมทำการปลูกขยายในแปลงเพาะกล้า ขยายปลูกเมื่อต้นกล้าอายุ 25-30 วัน โดยการปักดำ 1 ต้นต่อหลุม ใช้ระยะปลูก 25x25 ซม. จำนวน 4-6 แถว แถวละ 12 ต้น ทำการใส่ปุ๋ย คูแกล และเขตกรรมตามระบบการปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง เก็บเกี่ยวผลผลิต เมล็ดที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของแต่ละแปลงย่อย นำเมล็ดข้าวเปลือกผ่านการกะเทาะ และคัดเมล็ดลักษณะปุ่นและใสที่ปรากฏในแต่ละตัวอย่างเชื้อพันธุ์ [9] คัดเลือกตัวอย่างจากเชื้อพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของเมล็ดปุ่นน้อยกว่า 70 % จำนวน 2 ตัวอย่าง คือ จากอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช (1 ตัวอย่าง) และ อำเภอสรีนครินทร์ จังหวัดพัทลุง (1 ตัวอย่าง) และมากกว่า 90 % จำนวน 2 ตัวอย่าง คืออำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง (1 ตัวอย่าง) และ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา (1 ตัวอย่าง) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่มาของตัวอย่างพันธุ์ข้าวสังข์หยดที่ใช้สำหรับการทดลอง

ตัวอย่าง	สถานที่	อำเภอ	จังหวัด	ลองจิจูด °E	ละติจูด °N	% เมล็ดปุ่น
SY01	แปลงเกษตรกร	เมือง	นครศรีธรรมราช	099.93902	08.48980	66 (< 70 %)
SY02	แปลงเกษตรกร	ศรีนครินทร์	พัทลุง	099.88548	07.565226	66 (< 70 %)
SY03	แปลงเกษตรกร	ควนขนุน	พัทลุง	099.99133	07.65809	98 (> 90 %)
SY04	แปลงเกษตรกร	สิงหนคร	สงขลา	100.45515	07.29392	93 (> 90 %)
SYPT	ศูนย์วิจัยข้าว	เมือง	พัทลุง	100.08224	07.57067	100

2. วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดเมล็ด (ความยาว ความกว้าง และความหนา) น้ำหนักเมล็ด และสีของเมล็ด และวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ชนิดของข้าวสาร ปริมาณไขมัน และปริมาณอมิโลส ใช้พันธุ์เปรียบเทียบกับ คือ พันธุ์สังข์หยดเมืองพัทลุง จากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง (ใช้ตรวจสอบลักษณะเมล็ดปุ่นที่เป็นข้าวเจ้า) การประเมินลักษณะปุ่นและใส (ภาพที่ 1) แยกด้วยสายตา (ตาเปล่า) จำนวน 30 กรัมต่อลักษณะ สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 1 ลักษณะปรากฏเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์สังข์หยด (A) และข้าวสารเมล็ดใส (Translucent Seeds) และเมล็ดปุ่น (Opaque Seeds)

2.1 การประเมินลักษณะคุณภาพทางกายภาพของข้าวสังข์หยดเมล็ดปุ่นและใส

2.2.1 **ขนาดเมล็ด** ขนาดเมล็ดเป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้สำหรับจำแนกพันธุ์ข้าว ประกอบด้วยความยาว (Length; L) ความกว้าง (Width; W) และความหนา (Thickness; T) ประเมินได้จากการเตรียมเมล็ดข้าวสังข์หยดในแต่ละตัวอย่างจำนวน 10 เมล็ด วัดความยาว ความกว้าง และความหนา ด้วยเวอร์เนียดิจิตอล [5-6]

2.2.2 **น้ำหนักเมล็ด** นับเมล็ดข้าวจำนวนทั้งหมด 100 เมล็ด ทำ 3 ซ้ำ และชั่งน้ำหนักเมล็ดด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง คำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนัก 100 เมล็ด [8] ประเมินความสัมพันธ์ของน้ำหนัก 100 เมล็ดกับเปอร์เซ็นต์เมล็ดปุ่นและใส โดยนำเมล็ดข้าวเปลือกจำนวน 22 ตัวอย่างเชื้อพันธุ์จากแปลงเกษตรกร ผ่านการกะเทาะและคัดแยกลักษณะเมล็ดปุ่นและใสที่ปรากฏในแต่ละตัวอย่างเชื้อพันธุ์ นับเมล็ด 100 เมล็ด และชั่งน้ำหนัก จำนวน 3 ซ้ำ ทั้งเมล็ดปุ่น

และใส โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ลักษณะที่พบและความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เมล็ดขุนและใสที่เกิดขึ้นในตัวอย่าง กับน้ำหนัก 100 เมล็ดต่อไป

2.2 การประเมินลักษณะคุณภาพทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมล็ดขุนและใส

2.2.1 ชนิดของข้าวสาร พิจารณาจากชนิดของแป้ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรต ตรวจสอบเมล็ดพันธุ์โดยการผ่าครึ่งเมล็ดแล้วนำมาเชื่อมด้วยสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ + ไอโอดีน (KI+I) เป็นเวลา 2-3 นาที ซึ่งจะติดสีน้ำเงินดำในส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด ทิ้งให้แห้งแล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้น ด้วยตาเปล่าที่ละเมล็ด จำนวน 100 เมล็ดของแต่ละตัวอย่างทุกซ้ำ และบันทึกผล [9]

2.2.2 ปริมาณไขมันวิเคราะห์ ด้วยวิธีซอกเลต (Soxhlet) เป็นวิธีการสกัดโดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เวลาในการสกัดขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันในตัวอย่าง และอัตราการให้ความร้อน ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 8-16 ชั่วโมง จากนั้นกำจัดตัวทำละลายออกให้หมด และชั่งหาปริมาณของไขมันที่สกัดได้ [9]

2.2.3 ปริมาณอมิโลส วิเคราะห์หาปริมาณอมิโลส โดยการวัดค่าสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งข้าว และสารละลายไอโอดีน วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 620 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ต่างกัน บ่งบอกถึงระดับ ปริมาณ อมิโลสในแป้งข้าว และวิเคราะห์หาปริมาณอมิโลส [10]

2.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในข้าวสังข์หยดเมล็ดขุนและใสภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM)

แยกเมล็ดข้าวสารแต่ละตัวอย่างออกเป็น 2 ลักษณะ (เมล็ดขุนและเมล็ดใส) จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำเตรียมตัวอย่างสำหรับการสังเกตด้วย SEM จำนวน 2 ซ้ำต่อตัวอย่าง แบ่งครึ่งตัวอย่างเมล็ดโดยใช้ใบมีดโกนช่วยกดเล็กน้อยแล้ว จึงหักครึ่งด้วยมือ นำตัวอย่างที่หักแล้ววางบนสติกเกอร์ที่ติดบนชิ้นส่วนของอลูมิเนียม (Sputtering Device, Balzers Union Limited, Liechtenstein) และนำไปเคลือบด้วยทองคำในระบบสุญญากาศโดยใช้เครื่องเคลือบผิวแบบ sputter ก่อนที่จะดูด้วยกล้อง SEM (XL20E SEM, Philips, Holland) ภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่ 20 kV ภายใต้กำลังขยายของกล้องที่ 50x และ 2,000x เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในเมล็ดและเมล็ดแป้ง [11]

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลของลักษณะคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8 (Statistix 8.0 Software, Analytical Software, Tallahassee, FL, USA) คำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแปรปรวนของวาเรียนซ์ เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) หาความแปรปรวนของตัวอย่าง ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (% CV) และเปรียบเทียบความสัมพันธ์แต่ละลักษณะโดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ผลการวิจัย

1. ลักษณะคุณภาพทางกายภาพของข้าวสังข์หยดเมล็ดขุนและใส

1.1 ขนาดเมล็ด ข้าวพันธุ์สังข์หยดวัดจากความกว้าง ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าวกล้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.79, 6.43 และ 1.57 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าข้าวสังข์หยดเมล็ดขุนและใสมีความหนาของเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยเมล็ดใสมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 1.59 มิลลิเมตร มากกว่าเมล็ดขุนและเมล็ดเปรียบเทียบ ซึ่งมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 1.55 และ 1.56 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าวสังข์หยดไม่มีความแตกต่างกันทั้งในเมล็ดขุน เมล็ดใส และเมล็ดพันธุ์เปรียบเทียบ (ตารางที่ 2)

1.2 น้ำหนักเมล็ด ข้าวพันธุ์สังข์หยดมีน้ำหนัก 100 เมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 1.46 กรัม พบว่าน้ำหนัก 100 เมล็ดของเมล็ดขุน เมล็ดใส และเมล็ดเปรียบเทียบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยเมล็ดใสมีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูงสุด เท่ากับ 1.50 กรัม รองลงมาคือ เมล็ดเปรียบเทียบ เท่ากับ 1.49 กรัม และเมล็ดขุนหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 1.43 กรัม

(ตารางที่ 2) นอกจากนั้นยังพบว่าตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ที่เก็บจากแปลงเกษตรกรจำนวน 22 ตัวอย่าง และผ่านการกะเทาะเมล็ดแยกหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดชุ่นและใสไว้แล้วนั้น มีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก 100 เมล็ด ของข้าวกล้องที่แยกออกจากกันในแต่ละตัวอย่าง โดยเปอร์เซ็นต์เมล็ดชุ่นมีความสัมพันธ์ทางลบกับน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวกล้อง ($r = -0.53, p < 0.05$) ขณะที่เมล็ดใสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.53, p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 3

ตารางที่ 2 ลักษณะคุณภาพทางกายภาพของข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดชุ่นและใส

ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด	เมล็ดชุ่น	เมล็ดใส	เมล็ดเปรียบเทียบ ^{1/}	ค่าเฉลี่ย	% CV	F-test
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	1.79	1.79	1.74	1.79 ± 0.04	8.22	ns
ความยาว (มิลลิเมตร)	6.44	6.42	6.42	6.43 ± 0.08	7.22	ns
ความหนา (มิลลิเมตร)	1.55 ^b	1.59 ^a	1.56 ^b	1.57 ± 0.02	8.09	**
น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)	1.43 ^b	1.50 ^a	1.49 ^{ab}	1.46 ± 6.00	2.39	**

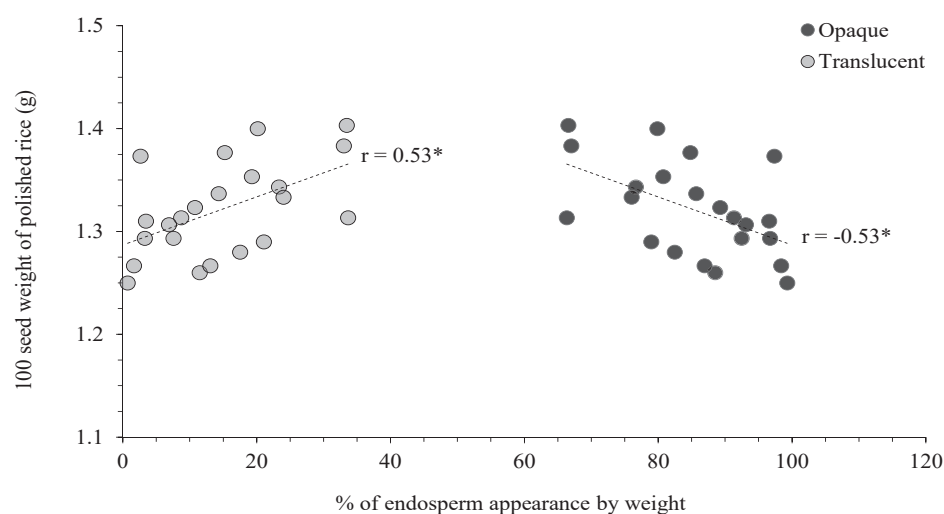
หมายเหตุ: ^{1/} เมล็ดเปรียบเทียบ คือ เมล็ดพันธุ์ “ข้าวสังข์หยดเมืองพัลุง” จากศูนย์วิจัยข้าวพัลุง จังหวัดพัลุง

^{a b} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

โดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns = Non-significant difference, ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก 100 เมล็ด กับเปอร์เซ็นต์เมล็ดชุ่นและเมล็ดใส (โดยน้ำหนัก) ของข้าวกล้องพันธุ์ สังข์หยดจำนวน 22 ตัวอย่างเชื้อพันธุ์

2. ลักษณะคุณภาพทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมล็ดชุ่นและใส

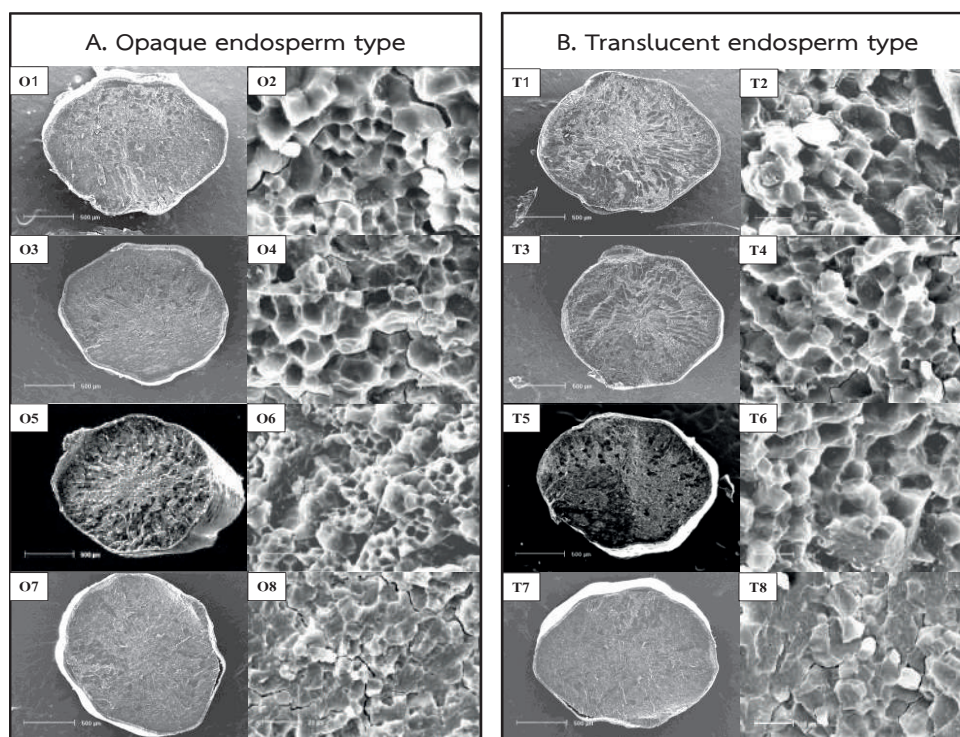
2.1 ชนิดของข้าวสาร หลังการข้อมเมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านการขัดสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าติดสีน้ำเงินดำทั้งเมล็ดชุ่นและเมล็ดใส แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์สังข์หยดทั้งลักษณะเมล็ดชุ่นและใสเป็นข้าวเจ้าในทุกตัวอย่าง (ตารางที่ 3)

2.2 ปริมาณไขมัน ข้าวพันธุ์สังข์หยดจากข้าวกล้องทุกตัวอย่างมีปริมาณไขมันไม่พบความแตกต่าง โดยปริมาณไขมันเฉลี่ยเท่ากับ $5.44 \pm 1.18\%$ แต่พบว่าแนวโน้มปริมาณไขมันในข้าวเมล็ดใส ($5.50 \pm 1.08\%$) สูงกว่าเมล็ดชุ่น ($5.38 \pm 1.29\%$) และเมล็ดเปรียบเทียบ ($5.12 \pm 1.88\%$) ดังนั้นความขุ่นใสของเมล็ดข้าวไม่มีผลต่อปริมาณไขมันในเมล็ดข้าว

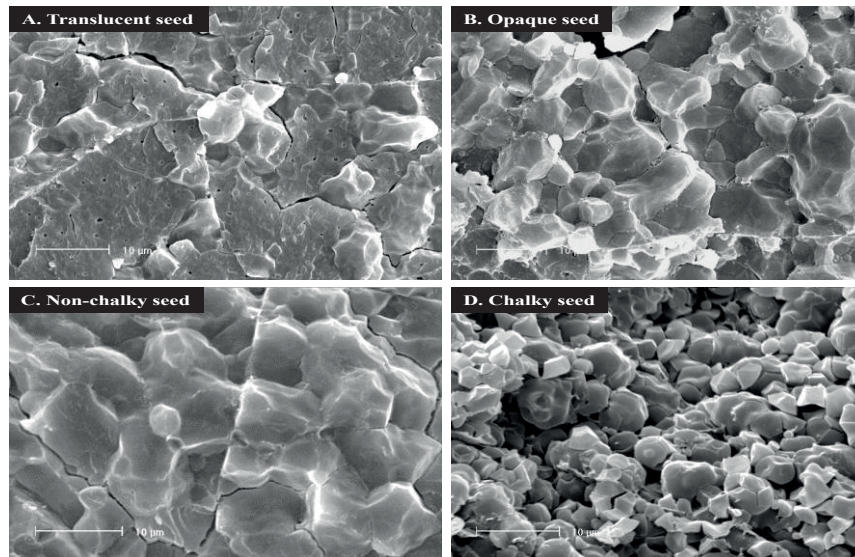
2.3 ปริมาณอมิโลส ข้าวพันธุ์สังข์หยดมีปริมาณอมิโลสเฉลี่ยเท่ากับ 11.36 ± 0.93 % ไม่พบความแตกต่างของปริมาณ อมิโลสในข้าวกล้องทุกตัวอย่าง แต่พบว่าแวนโนมีปริมาณอมิโลสในข้าวเมล็ดขุ่น (11.40 ± 1.14 %) มากกว่าเมล็ดใส (11.32 ± 0.71 %) ซึ่งทั้งสองลักษณะมีปริมาณไขมันสูงกว่าเมล็ดเปรียบเทียบกับ 8.91 ± 1.09 %

3. ลักษณะโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ลักษณะโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารภายในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดข้าวกล้องลักษณะเมล็ดขุ่นและใสสังเกตภายใต้กล้อง SEM พบว่าโครงสร้างแป้งในเมล็ดใสเกาะตัวกันแน่นกว่าเมล็ดขุ่น ขนาดเม็ดแป้งของเมล็ดใส ($3.09-10.04 \mu\text{m}$) ใหญ่กว่าเมล็ดขุ่น ($2.66-9.49 \mu\text{m}$) และเมล็ดใสมีช่องว่างภายในเซลล์มากกว่าเมล็ดขุ่น (ภาพที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเมล็ดขุ่นและใสของข้าวพันธุ์สังข์หยด (SY) ที่เกิดขึ้นกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (SPR1) ที่มีลักษณะข้าวท้องไข่และปกติ พบว่าลักษณะเมล็ดขุ่นและใสที่เกิดขึ้นในข้าวสังข์หยดแตกต่างจากลักษณะข้าวท้องไข่ที่เกิดขึ้นในข้าวพันธุ์ SPR1 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ปรับปรุง โดยพบว่าลักษณะข้าวท้องไข่ในข้าวพันธุ์ SPR1 มีการเกาะตัวกันของเม็ดแป้งค่อนข้างหลวม หลุดออกจากกันได้ง่าย ขนาดเล็ก และมีช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งค่อนข้างมาก ในขณะที่ลักษณะปกติ (ไม่เกิดข้าวท้องไข่) โครงสร้างของแป้งเกาะตัวกันค่อนข้างแน่น และเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่กว่า ส่วนข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดขุ่นมีโครงสร้างของแป้งเกาะตัวกันแน่นกว่าลักษณะท้องไข่ในพันธุ์ SPR1 แต่ขนาดของเม็ดแป้งเล็กกว่าข้าวปกติในพันธุ์ SPR1 ส่วนเมล็ดใสในข้าวสังข์หยดเม็ดแป้งจะเกาะตัวกันแน่นกว่าข้าวที่ไม่ใช่ท้องไข่ในพันธุ์ SPR1 เรียงลำดับการเกาะตัวกันของโครงสร้างของแป้งจากแน่นมากที่สุดไปหลวม คือ เมล็ดใส (SY) > เมล็ดขุ่น (SY) > ข้าวปกติ (SPR1) > ข้าวท้องไข่ (SPR1) และขนาดเม็ดแป้งจากใหญ่สุดไปน้อยสุด คือ ข้าวปกติ (SPR1) > เมล็ดใส (SY) > เมล็ดขุ่น (SY) > ข้าวท้องไข่ (SPR1) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 โครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดขุ่น (A; O1-O8) และเมล็ดใส (B; T1-T8) จำนวน 4 ตัวอย่าง SY01 (O1, O2, T1, T2), SY02 (O3, O4, T3, T4), SY03 (O5, O6, T5, T6) และ SY04 (O7, O8, T7, T8) สังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50x (O1, O3, O5, O7, T1, T3, T5, T7) และ 2,000x (O2, O4, O6, O8, T2, T4, T6, T8)



ภาพที่ 5 โครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดใส (A) และเมล็ดขุ่น (B) ของตัวอย่าง SY04 เปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ลักษณะปกติ (ไม่เกิดท้องไข) (C) และข้าวท้องไข (D) สังเกตภายใต้ จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,000x

การอภิปรายผล

1. ลักษณะคุณภาพทางกายภาพของข้าวสังข์หยดเมล็ดขุ่นและใส

ข้าวสังข์หยดเมล็ดใสมีความหนาและน้ำหนัก 100 เมล็ด มากกว่าเมล็ดขุ่น บ่งบอกถึงเมล็ดลักษณะใสมีการเจริญเติบโตและพัฒนาของเมล็ดดีและสุกแก่เต็มที่ [11] ก่อนหน้านี้นักวิจัยพบว่าความแปรปรวนของสัดส่วนเมล็ดขุ่นและใสจากแปลงเกษตรกรในกองเมล็ดพันธุ์เดียวกัน เกิดจากการควบคุมของยีนส์ที่เป็น heterozygous mutant (เมล็ดขุ่น) จะถ่ายทอดลักษณะเมล็ดขุ่นที่ไม่เป็นหมัน ตามหลักการของเมนเดล ในเมล็ดรุ่นแรก และปริมาณลักษณะด้อยจะเพิ่มขึ้นในรุ่นถัดไป [12] สังเกตได้จากความแปรปรวนของสัดส่วนเมล็ดขุ่นและใสของตัวอย่างข้าว [8] เนื่องจากเกษตรกรใช้เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์จากศูนย์วิจัยข้าวปลูกในฤดูแรก และเก็บเมล็ดไว้ทำพันธุ์ในรุ่นต่อไป จึงเป็นเหตุให้จำนวนเมล็ดใสเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อรักษาลักษณะขุ่นของเมล็ดข้าวพันธุ์สังข์หยดให้ตรงตามพันธุ์กรรมเดิม เกษตรกรควรเก็บเมล็ดข้าวสังข์หยดไว้ทำพันธุ์ไม่ควรเกิน 2 ฤดูปลูก นอกจากนี้ลักษณะขุ่นและใสสามารถเกิดจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิสูงเกินไป ขาดน้ำ ทำให้ลดประสิทธิภาพกระบวนการสังเคราะห์ การเคลื่อนย้าย และการสะสมอาหารไปยังเมล็ด [11-12] ส่งผลต่อราคาการซื้อขายทั้งในรูปข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารทุกห่วงโซ่ของระบบการค้าข้าวที่ใช้น้ำหนักเมล็ดเป็นดัชนีในการกำหนดราคา จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเกิดลักษณะเมล็ดขุ่นจำนวนมาก ๆ ทำให้น้ำหนักเมล็ดของผลผลิตที่ได้จริงลดลง เกิดการสูญเสียเม็ดเงินเป็นจำนวนมากในพื้นที่การผลิตข้าวขนาดใหญ่ ข้อมูลคุณภาพทางกายภาพจึงมีประโยชน์ต่อการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าว และหาแนวทางการส่งเสริมการผลิตเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพ

2. ลักษณะคุณภาพทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมล็ดขุ่นและใส

การทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนยืนยันว่าข้าวสังข์หยดเมล็ดขุ่นเป็นข้าวเจ้าเหมือนกับเมล็ดใส แต่แตกต่างจากลักษณะขุ่นในข้าวเหนียว สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ทำการย้อมเมล็ดด้วยสารละลายไอโอดีนเพื่อจำแนกชนิดข้าวเหนียวและข้าวเจ้า พบว่าเมล็ดย้อมติดสีน้ำเงินดำทั้งเมล็ดขุ่นและใส แต่เมล็ดขุ่นติดสีน้ำเงินดำสม่ำเสมอกว่าเมล็ดใส [8] เมล็ดขุ่นในข้าวพันธุ์สังข์หยดอาจเกิดจากหลายสาเหตุในช่วงหลังการผสมเกสร การสร้างเมล็ด การสะสมน้ำหนักแห้ง และการเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นลักษณะความผิดปกติที่คล้ายกับลักษณะการเกิดข้าวท้องไข [13] ผลการศึกษาก่อนหน้านี้บ่งชี้ว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลให้ลดเมล็ดน้อย อาจเกี่ยวกับการพัฒนาโครงสร้างและการเรียงตัวของเม็ดแป้งที่ต่างกัน ส่งผลให้ลดกิจกรรมของเอนไซม์ในการสังเคราะห์อะมิโลสและการสร้างชั้นของเม็ดแป้ง เกิดสัดส่วนของลักษณะ

เมล็ดพันธุ์และสีต่างกัน [13-14] ปริมาณไขมันและอมิโลสในข้าวสังข์หยดเมล็ดพันธุ์และสีไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีปริมาณไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 5.44 % และปริมาณอมิโลสเฉลี่ยเท่ากับ 11.36 % จัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณไขมันน้อย และอมิโลสต่ำ เนื่องจากปริมาณอมิโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงและความนุ่มลดลง [8] มีรายงานว่าเมล็ดพันธุ์เกี่ยวข้องกับปริมาณอมิโลส [15] เมล็ดพันธุ์มีปริมาณอมิโลส น้อยกว่าเมล็ดสี และเมล็ดพันธุ์ประกอบไปด้วยสายของอมิโลเปกตินในเมล็ดจำนวนมาก ซึ่งเป็นลักษณะเมล็ดพันธุ์ตามธรรมชาติและมีปริมาณอมิโลสต่ำ [16] ดังนั้นข้าวพันธุ์สังข์หยดจึงจัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ เมื่อหุงจะได้ข้าวสุกที่มีลักษณะเหนียวและนุ่ม ควรมีการศึกษาลักษณะคุณภาพทางเคมี และทางโภชนาการอื่น ๆ เพิ่มเติมที่น่าส่งผลให้คุณภาพการหุงต้มของข้าวเมล็ดพันธุ์และสีมีแตกต่างกัน

3. ลักษณะโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

โครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดสีมีเม็ดแป้งเกาะตัวกันแน่นกว่าเมล็ดพันธุ์ บ่งบอกถึงเมล็ดสีมีการเจริญเติบโตและพัฒนาของเมล็ดดีและสุกแก่เต็มที่ การเรียงตัวกันของเม็ดแป้งติดกันแน่น ส่วนเมล็ดพันธุ์จะเกาะตัวกันแบบหลวม ๆ เนื่องจากการสังเคราะห์และสร้างเม็ดแป้งยังไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งมากขึ้นทำให้น้ำหนักเมล็ดน้อย [14] แสดงให้เห็นว่าเมล็ดสีเกิดการสังเคราะห์แป้งได้ดีกว่าเมล็ดสี ขนาดของเม็ดแป้งในเมล็ดสีจึงใหญ่ เม็ดแป้งเกาะตัวกันแน่น และมีช่องว่างภายในเซลล์มากกว่าเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เกิดการส่องผ่านของแสงได้ง่ายจึงมองเห็นเป็นลักษณะเมล็ดสี แต่เมล็ดพันธุ์มีขนาดเม็ดแป้งเล็ก ลักษณะปรากฏที่มองเห็นจึงเป็นเมล็ดพันธุ์ แต่แตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่เกิดจากลักษณะข้าวท้องไขในตัวอย่างเปรียบเทียบกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยเมล็ดพันธุ์ (ข้าวท้องไข) และเมล็ด (ข้าวขาวปกติไม่เกิดท้องไข) การสังเกตภายใต้กล้อง SEM ช่วยให้เห็นโครงสร้างและลักษณะของเม็ดแป้งระหว่างเมล็ดพันธุ์ของข้าวพันธุ์สังข์หยดว่ามีลักษณะที่แตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ข้าวท้องไขพันธุ์สุพรรณบุรี 1 อย่างชัดเจน แม้ลักษณะเมล็ดพันธุ์ของข้าวสังข์หยดจะเหมือนกับลักษณะพันธุ์ในข้าวเหนียว แต่แป้งที่สะสมในเมล็ดกลับมีโครงสร้างเป็นข้าวเจ้า [15] ดังนั้นสิ่งที่ค้นพบใหม่เกี่ยวกับข้าวพันธุ์สังข์หยดลักษณะเมล็ดพันธุ์และสี คือ เมล็ดพันธุ์มีผลต่อการสูญเสีย น้ำหนักเมล็ด ปริมาณอมิโลสต่ำ และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของข้าวสังข์หยดลดลง [16] ข้อมูลนี้จึงมีประโยชน์ต่อการหาแนวทางยกระดับทั้งปริมาณและคุณภาพข้าวพันธุ์สังข์หยดให้มีราคาเพิ่มสูงขึ้นในพื้นที่ภาคใต้

สรุปผลการวิจัย

ลักษณะคุณภาพทางกายภาพข้าวพันธุ์สังข์หยดเมล็ดพันธุ์และสีแตกต่างกันเฉพาะความหนาของเมล็ดข้าวกล้องและน้ำหนัก 100 เมล็ด เมล็ดสีมีความหนาและน้ำหนัก 100 เมล็ดมากกว่าเมล็ดพันธุ์ เปอร์เซ็นต์เมล็ดพันธุ์มากส่งผลให้น้ำหนักผลผลิตลดลง ส่วนลักษณะคุณภาพทางเคมีเมล็ดพันธุ์และสีเป็นข้าวเจ้าทั้งสองลักษณะและมีปริมาณไขมันและอมิโลสไม่แตกต่างกัน แต่มีโครงสร้างของส่วนสะสมอาหารในเมล็ดแตกต่างกันโดยเมล็ดพันธุ์มีขนาดเม็ดแป้งใหญ่และเกาะตัวกันแน่นกว่าเมล็ดสี ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีสาเหตุมาจากการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ปัจจัยสภาพแวดล้อมระหว่างปลูก และระยะการพัฒนารสสุกแก่ของเมล็ดข้าวที่ไม่สม่ำเสมอร่วมด้วย ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักผลผลิตของข้าวพันธุ์สังข์หยดลดลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Saeton, S. (2010). **Southern Thai Rice Book 2**. Rice Research and Development Bureau, Department of Rice, Bangkok, Thailand.
- [2] Saeton, S. (2007). "Geographical indications (GI) Khao Sang Yod Muang Phatthalung", **Proceedings of Rice and Temperate Cereal Crops Annual Conference 2007**. on 19-21 February 2007, Bangkok. 237-244.
- [3] Maejo Poll. (2017). "Consumption Behavior of Thai People", **Center for Economic Research and Agricultural Forecasting**. 3, 1-5.

- [4] IRRI. (1996). **Standard Evaluation and Utilization System for Rice**. IRRI publisher, Manila, Philippines.
- [5] USDA. (1982). **Rice Inspection Hand Book**. FGIS, U.S. Department of Agriculture, Washington DC, USA.
- [6] Naivikul, O. (2007). **Rice: Science and Technology**. Publisher Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- [7] AOAC. (2016). **Official Method of Analysis 20th Edition**. The Association of Official Analytical Chemicals, Washington DC, USA.
- [8] Panomjan, N., S. Jamjod, B. Rerkasem, B. Dell and C. Prom-u-thai. (2016). “Variation in Seed Morphology of Sang Yod Rice Variety from Southern Thailand”, **Khon Kaen Agricultural Journal**. 44, 83-94.
- [9] Juliano, B.O. (1971). “A Simplified Assay for Milled Rice Amylase”, **Cereal Science Today**. 16, 334-338.
- [10] Egerton, R. F. (2005). **Physical Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM and AEM**. Springer, New York, USA.
- [11] Fujita, N., R. Satoh, A. Hayashi, M. Kodama, R. Itoh, A. Satomi and Y. Nakamura. (2011). “Starch Biosynthesis in Rice Endosperm Requires the Presence of Either Starch Synthase I or IIIa”, **Journal of Experimental Botany**. 62, 4819-4831.
- [12] Moose, S.P. and R.H. Mumm. (2008). “Molecular Plant Breeding as the Foundation for 21st Century Crop Improvement”, **Plant Physiology**. 147, 969-977.
- [13] Zhao X., V.D. Daygon, K.L. McNally, R.S. Hamilton, F. Xie, R.F. Reinke and M.A. Fitzgerald. (2016). “Identification of Stable QTLs Causing Chalk in Rice Grains in Nine Environments”, **Theoretical and Applied Genetics**. 129, 141-153.
- [14] Tsutsui, K., K. Kaneko, I. Hanashiro, K. Nishinari and T. Mitsui. (2013). “Characteristics of Opaque and Translucent Parts of High Temperature Stressed Grains of Rice”, **The Japanese Society of Applied Glycoscience**. 60, 61-67.
- [15] Mitsui, T., T. Shiraya, K. Kaneko and K. Wada. (2013). “Proteomics of Rice Grain under High Temperature Stress”, **Frontiers in Plant Science**. 4, 1-5.
- [16] Kim, S.S., S.E. Lee, O.W. Kim and D.C. Kim. (2000). “Physicochemical Characteristics of Chalky Kernels and Their Effects on Sensory Quality of Cooked Rice”, **Cereal Chemistry**. 77, 376–379.

การลดปริมาณแอมโมเนียรวมด้วยสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* และสาหร่าย
พมนาง *Gracilaria fisheri* ในการเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาว *Amphiprion ocellaris*
**Reduction of Total Ammonia Nitrogen by *Caulerpa lentillifera* and *Gracilaria*
fisheri in *Amphiprion ocellaris* Cultivation**

ธีญาภรณ์ แก้วทวี^{1*} สุพัชชา นวลทองแก้ว² อรวรรณ คงสุวรรณ² ยุตพงษ์ สังข์น้อย³

และอรอนันท์ อุปปบลึงก์⁴

Teeyaporn Keawtawee^{1*}, Supatchada Nauntongkaew², Orawan Kongsuwan², Yutthapong Sangnoi³

and Arnon Uppabullung⁴

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาการใช้สาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายพมนาง *Gracilaria fisheri* ลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาว *Amphiprion ocellaris* เป็นระยะเวลา 14 วัน ในระบบปิด ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยทำการศึกษากับปลา 2 ขนาดคือ ปลาขนาดเล็ก (2.0 cm) และขนาดใหญ่ (3.5 cm) ผลการศึกษาพบว่า *C. lentillifera* สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมได้ถึง 6 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ทั้งในชุดการทดลองปลาขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ส่วน *G. fisheri* สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมได้ประมาณ 6 เท่า ในปลาขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำเลี้ยงปลาขนาดเล็กทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อัตรารอดของปลาขนาดใหญ่ที่เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายทั้งสองชนิดทุกชุดการทดลอง เท่ากับ 100 % ส่วนชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายปลาตายทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตรารอดของปลาการ์ตูนขนาดเล็ก เท่ากับ 66.67 % 33.33 % และ 0 % ในการเลี้ยงร่วมกับ *C. lentillifera* *G. fisheri* และชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการลดปริมาณแอมโมเนียรวมเมื่อเลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาว *A. ocellaris* ในระบบปิดที่ไม่มีการถ่ายน้ำ

คำสำคัญ: แอมโมเนียรวม สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายพมนาง ปลาการ์ตูนส้มขาว

¹ อ.ดร., ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

³ ผศ.ดร., ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

⁴ อ., ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Lecturer, Dr., Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

² Undergraduate Student, Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

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

⁴ Lecturer, Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

*Corresponding author: Email address: teeyaporn.k@psu.ac.th. Tel.: 074-286204

Abstract

The objective of this study was to investigate the use of seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Gracilaria fisheri* to reduce total ammonia nitrogen (TAN) in *Amphiprion ocellaris* cultured in closed system aquarium (no water exchange) for 14 days. The results showed that *C. lentillifera* can reduce TAN up to 6 times in both small (2.0 cm) and large (3.5 cm) fish. Seaweed *G. fisheri* can reduce TAN up to 6 times in large fish. However, in the small fish, no significant differences were observed among treatments in TAN concentration. Large fish exhibited 100 % survival rate in all treatments except the control group (without seaweed) where the survival rate was 0 %. Survival rates of small fish were 66.67 %, 33.33 % and 0 % in *C. lentillifera*, *G. fisheri* and control, respectively. This result indicated that *C. lentillifera* and *G. fisheri* can reduce TAN and *A. ocellaris* can be cultured together with these seaweeds in closed system aquarium.

Keywords: Total Ammonia Nitrogen, *Caulerpa lentillifera*, *Gracilaria fisheri*, *Amphiprion ocellaris*

บทนำ

ปลาการ์ตูนส้มขาว *Amphiprion ocellaris* นิยมเลี้ยงเป็นปลาสวยงามทะเลกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน การศึกษาการเพาะขยายพันธุ์และการเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาวจึงต้องคำนึงถึงพฤติกรรมการอยู่อาศัยตามธรรมชาติ ซึ่งจะอาศัยอยู่ร่วมกับดอกไม้ทะเล [1] นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาว ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ หรือสร้างระบบ biological filtration ภายในตู้ เพื่อช่วยเปลี่ยนถ่ายและลดปริมาณของของเสีย โดยเฉพาะแอมโมเนียที่เกิดจากอาหารเหลือ และการขับถ่ายของปลาการ์ตูนส้มขาว ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและแรงงานเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าดอกไม้ทะเลจะสามารถดูดซับแอมโมเนียเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต แต่เนื่องจากดอกไม้ทะเลต้องนำมาจากธรรมชาติ จึงเป็นการยุ่งยากและทำให้เกิดผลกระทบต่อประชากรดอกไม้ทะเลอีกด้วย [2] ดังนั้นการใช้สาหร่ายทะเลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาเลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาวทดแทนดอกไม้ทะเล จากรายงานผลการใช้สาหร่ายสกุล *Gracilaria* ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำในระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ พบว่า *Gracilaria* สามารถลดปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบการเลี้ยงโดยช่วยลดระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรท เมื่อเลี้ยง *Gracilaria* ในกระชังบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง [3] และสามารถช่วยลดของเสียในรูปของธาตุไนโตรเจนได้มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์เมื่อเลี้ยงร่วมกับปลาแซลมอน [4] อย่างไรก็ตามยังมีสาหร่ายทะเลอีกหลายชนิด เช่น *Ulva reticulata* ที่นิยมนำมาเป็นระบบกรองชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อช่วยลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการเลี้ยง [5-6] ซึ่งปริมาณผลผลิตของสาหร่ายแต่ละชนิดที่เลี้ยงและระยะเวลาในการเลี้ยงนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมแล้วยังขึ้นอยู่กับปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นอีกด้วย

ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของการใช้สาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* และสาหร่ายพรรณาง *G. fisheri* เพื่อลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำระหว่างเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาว *A. ocellaris* และอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้สาหร่ายทั้งสองชนิดนี้เลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาวแทนดอกไม้ทะเลอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมน้ำทะเลความเค็ม 30 ppt ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนในตู้ทดลอง ตู้ละ 25 ลิตร จำนวน 18 ตู้ ใส่กระถางต้นไม้ขนาดจิ๋ว เส้นผ่าศูนย์กลางฐาน 1.0 เซนติเมตร และความสูง 1.5 เซนติเมตร ตู้ละ 2 กระถาง

2. ทำการเพาะเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาวร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่นเปรียบเทียบกับการเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายผสมนางแต่ละตู้ใส่ปลาการ์ตูนส้มขาว 4 ตัว โดยออกแบบการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ ดังนี้
ชุดควบคุม (CS1) เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดเล็ก 2.0 cm (อายุ 30 วัน) เพียงอย่างเดียว
ชุดการทดลองที่ 1 (TS1) เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดเล็กร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น จำนวน 200 กรัม น้ำหนักเปียก
ชุดการทดลองที่ 2 (TS2) เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดเล็กร่วมกับสาหร่ายผสมนาง จำนวน 200 กรัม น้ำหนักเปียก
ชุดควบคุม (CL1) เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดใหญ่ 3.5 cm (อายุ 120 วัน) เพียงอย่างเดียว
ชุดการทดลองที่ 3 (TL1) เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดใหญ่ร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น จำนวน 200 กรัม น้ำหนักเปียก
ชุดการทดลองที่ 4 (TL2) เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดใหญ่ร่วมกับสาหร่ายผสมนาง จำนวน 200 กรัม น้ำหนักเปียก
3. ให้ออกซิเจนแต่ละตู้ โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ในช่วง 5.0 - 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตรพี เอช 8.2 ± 0.2 และอุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส
4. ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วัน โดยให้อาหารสำเร็จรูป วันละ 2 ครั้ง เวลา 09.00 น. และ 17.30 น. และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดการทดลอง
5. เก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละตู้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ก่อนและหลังจากเริ่มทดลองเป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามวิธีของ Strickland and Parsons [7] โดยในแต่ละพารามิเตอร์วิเคราะห์ 3 ซ้ำ
6. ตรวจนับจำนวนปลาการ์ตูนส้มขาวทุกวันเพื่อคำนวณหาอัตราการรอดตายของปลาการ์ตูนเมื่อครบกำหนดการทดลอง โดยนำปลาที่ตายออกจากตู้ทดลองทันทีที่ตรวจพบ
7. ชั่งน้ำหนักของสาหร่ายในทุกชุดการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง
8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยนำข้อมูลการวิเคราะห์ TAN NO_2^- NO_3^- และอัตราการรอดของปลาการ์ตูนที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple-Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS V.15

ผลและการวิจารณ์ผล

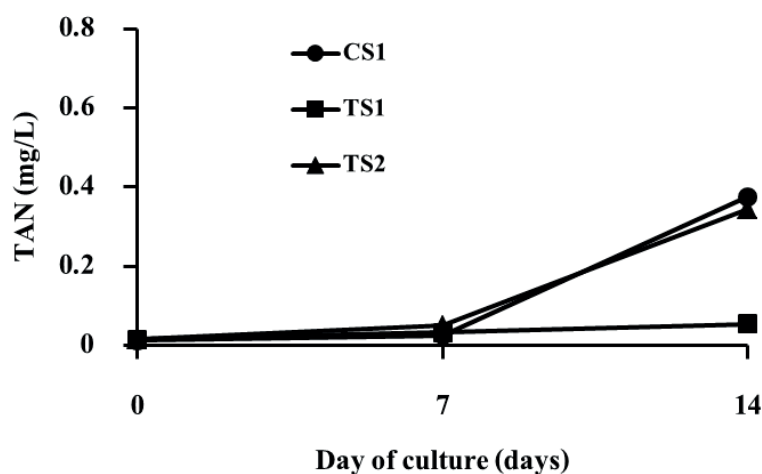
ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ TAN เริ่มต้นทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.012 – 0.015 mg/L ปริมาณ TAN มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน มีค่าเท่ากับ 0.025 ± 0.008 mg/L 0.033 ± 0.016 mg/L และ 0.050 ± 0.016 mg/L ในชุดควบคุม (CS1) ชุดทดลองที่เลี้ยงปลาพร้อมกับสาหร่ายพวงองุ่น (TS1) และชุดทดลองที่เลี้ยงปลาพร้อมกับสาหร่ายผสมนาง (TS2) ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณ TAN ชุดควบคุม CS1 ชุดทดลอง TS1 และ TS2 มีเท่ากับ 0.376 ± 0.032 mg/L 0.054 ± 0.025 mg/L และ 0.344 ± 0.033 mg/L ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณ TAN ของ CS1 มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับ TS2 (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดการทดลองทั้งในชุดควบคุม CS1 และชุดทดลองที่เลี้ยงปลาพร้อมกับสาหร่ายผสมนาง (TS2) ส่วนในชุดทดลอง TS1 ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 1) ส่วนปริมาณไนไตรท์ (NO_2^-) ในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาวขนาดเล็กทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำ และมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) เพิ่มขึ้น ทุกชุดการทดลองในวันที่ 7 โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.024 – 0.054 mg/L เป็น 0.094 0.123 และ 0.056 mg/L ใน CS1 TS1 และ TS2 ตามลำดับ และ NO_3^- ลดปริมาณลงเมื่อสิ้นสุดการทดลองในทุกชุดการทดลอง โดย CS1 มีปริมาณ NO_3^- ลดลงน้อยลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ TS1 และ TS2 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X} \pm SD$) ของปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ในไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำทะเลที่เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาด 2.0 cm (CS1: ปลาการ์ตูนเพียงอย่างเดียว TS1: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น และ TS2: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายผสมนาง)

Mean ($\bar{X} \pm SD$)				
Days	Trial	TAN (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
0	CS1	0.012 ± 0.003^a	0.000 ± 0.000^a	0.054 ± 0.006^b
	TS1	0.015 ± 0.008^a	0.000 ± 0.000^a	0.039 ± 0.012^{ab}
	TS2	0.015 ± 0.008^a	0.000 ± 0.000^a	0.024 ± 0.006^a
7	CS1	0.025 ± 0.008^a	0.007 ± 0.001^b	0.094 ± 0.009^a
	TS1	0.033 ± 0.016^a	0.001 ± 0.002^a	0.123 ± 0.107^a
	TS2	0.050 ± 0.016^a	0.000 ± 0.002^a	0.056 ± 0.047^a
14	CS1	0.376 ± 0.032^a	0.001 ± 0.001^a	0.060 ± 0.009^b
	TS1	0.054 ± 0.025^b	0.000 ± 0.000^a	0.013 ± 0.001^a
	TS2	0.344 ± 0.033^a	0.000 ± 0.000^a	0.015 ± 0.004^a

หมายเหตุ: ในแนวดิ่งที่ระยะเวลาเดียวกัน

- ตัวอักษร a, b แสดงว่า ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ S.D) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
- ตัวอักษร ab แสดงว่า ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ S.D) ไม่มีมีความแตกต่างกันจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 1 ปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนขนาด 2.0 cm (CS1: ปลาการ์ตูนเพียงอย่างเดียว TS1: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น และ TS2: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายผสมนาง)

ปริมาณ TAN ในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนขนาด 3.5 cm มีค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.014 - 0.016 mg/L และเพิ่มขึ้นในวันที่ 7 ของการเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 0.245 ± 0.023 0.026 ± 0.010 และ 0.061 ± 0.007 mg/L ในชุดการทดลอง CL1 TL1 และ TL2 ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 0.629 ± 0.003 0.104 ± 0.015 และ 0.106 ± 0.011 mg/L ในชุดการทดลอง CL1 TL1 และ TL2 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 2) ปริมาณ TAN และ NO_2^- ในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียวมีค่าสูงกว่าในชุดการทดลองที่เลี้ยงปลาร่วมกับสาหร่ายทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

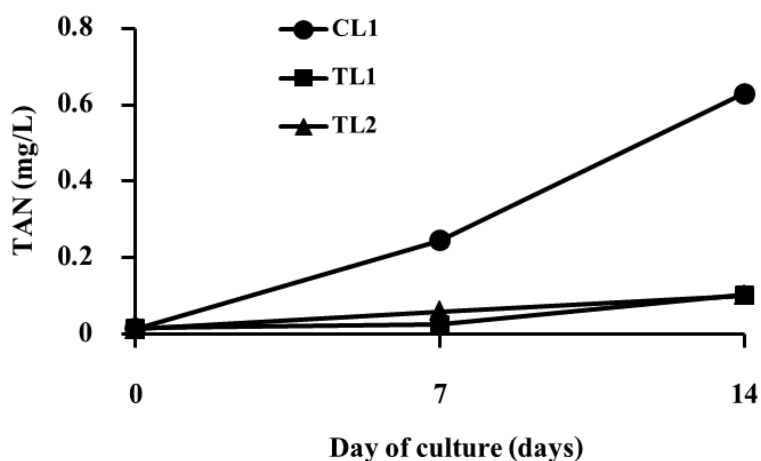
นั่นคือมีการสะสมของ TAN และ NO_2^- ในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณ TAN สูงกว่าน้ำที่เลี้ยงปลา
ร่วมกับสาหร่ายทั้งสองชุดการทดลองประมาณ 6 เท่า (ภาพที่ 2) และ NO_2^- ประมาณ 26.83 – 43.67 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X} \pm \text{SD}$) ของปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำทะเลที่เลี้ยง
ปลาการ์ตูนขนาด 3.5 cm (CL1: ปลาการ์ตูนเพียงอย่างเดียว TL1: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น
และ TL2: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพรรณนาง)

Mean ($\bar{X} \pm \text{SD}$)				
Days	Trial	TAN (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
0	CL1	0.015 ± 0.002^a	0.000 ± 0.000^a	0.043 ± 0.005^a
	TL1	0.016 ± 0.006^a	0.000 ± 0.000^a	0.035 ± 0.010^a
	TL2	0.014 ± 0.010^a	0.000 ± 0.000^a	0.035 ± 0.006^a
7	CL1	0.245 ± 0.023^b	0.117 ± 0.014^b	0.048 ± 0.006^b
	TL1	0.026 ± 0.010^a	0.008 ± 0.005^a	0.086 ± 0.041^b
	TL2	0.061 ± 0.007^a	0.002 ± 0.000^a	0.006 ± 0.003^a
14	CL1	0.629 ± 0.003^b	0.131 ± 0.017^b	0.158 ± 0.023^a
	TL1	0.104 ± 0.015^a	0.006 ± 0.001^a	0.187 ± 0.060^a
	TL2	0.106 ± 0.011^a	0.003 ± 0.002^a	0.147 ± 0.013^a

หมายเหตุ: ในแนวดิ่งที่ระยะเวลาเดียวกัน

- ตัวอักษร a, b แสดงว่า ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ S.D) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
- ตัวอักษร ab แสดงว่า ค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ S.D) ไม่มีความแตกต่างกันจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



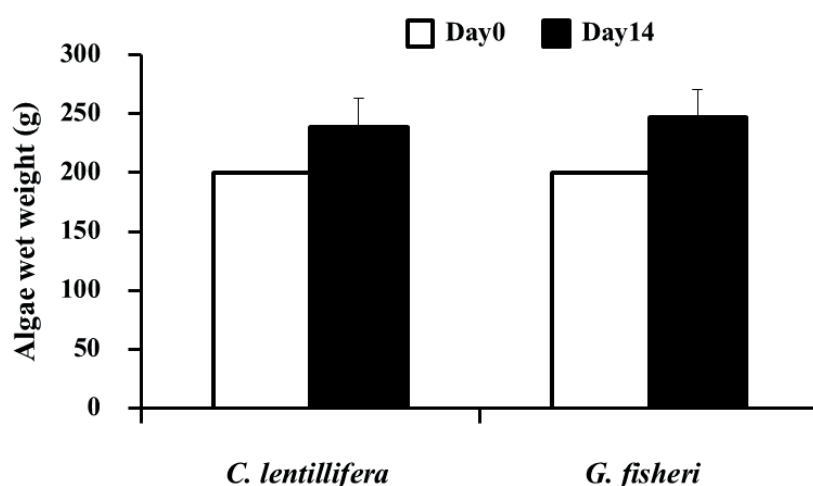
ภาพที่ 2 ปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนขนาด 3.5 cm (CL1: ปลาการ์ตูนเพียงอย่างเดียว
TL1: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น และ TL2: ปลาการ์ตูนเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพรรณนาง)

อัตราการรอดของปลาการ์ตูนขนาด 2.0 cm ในชุดการทดลองที่เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น (TS1) มีค่าสูงที่สุด
เท่ากับ 66.67 % ส่วนชุดการทดลองที่เลี้ยงปลาร่วมกับสาหร่ายพรรณนาง (TS2) และชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่าย (CS1) มีค่า
เท่ากับ 33.33 % และ 0 % ตามลำดับ ส่วนอัตราการรอดของปลาการ์ตูนขนาด 3.5 cm เท่ากับ 100 % เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทั้ง
ในชุดการทดลองที่เลี้ยงปลาการ์ตูนขนาดใหญ่ร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น (TL1) และในชุดการทดลองที่เลี้ยงปลาร่วมกับ
สาหร่ายพรรณนาง (TL2) ส่วนในชุดควบคุมที่เลี้ยงปลาการ์ตูนเพียงอย่างเดียว (CL1) ปลาตายทั้งหมด (ตารางที่ 3) ที่เป็นเช่นนี้

อาจเนื่องมาจากปริมาณแอมโมเนียรวมในชุดควบคุมทั้งสองชุด มีค่าสูงกว่าเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มียูเรียในน้ำได้ ของกรมประมง ปี พ.ศ. 2530 ที่กำหนดให้มีค่าแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ไม่เกิน 0.02 mg/L

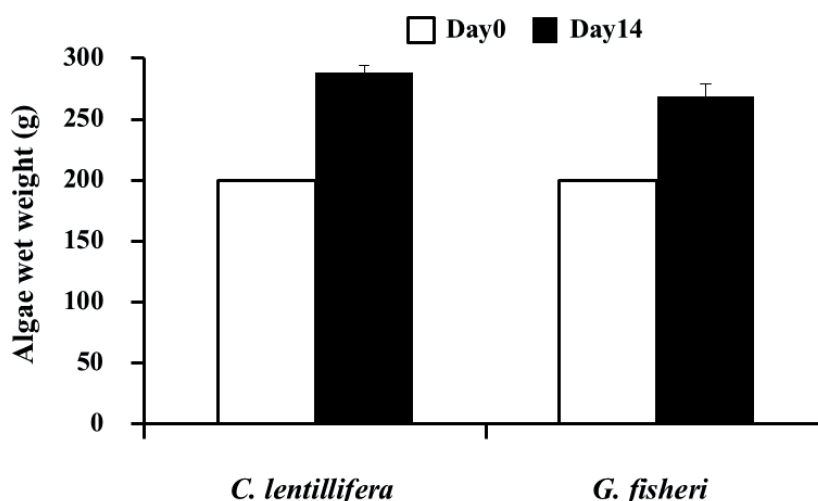
ตารางที่ 3 อัตรารอดของปลาการ์ตูนขนาดเล็ก 2.0 cm และขนาดใหญ่ 3.5 cm ในวันที่ 7 และ 14 ของการทดลอง

Trial	Survival rate (%)	
	7 days	14 days
CS1	83.33	0.00
TS1	83.33	66.67
TS2	75.00	33.33
CL1	100	0.00
TL1	100	100
TL2	100	100



ภาพที่ 3 น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายสาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* และสาหร่ายผมนาง *G. fisheri* ที่เลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาวขนาดเล็ก 2.0 cm

นอกจากนี้ น้ำหนักของสาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* และสาหร่ายผมนาง *G. fisheri* เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เพิ่มขึ้นจาก 200 กรัม เป็น 238.67 ± 24.19 และ 246.67 ± 15.28 กรัม น้ำหนักเปียก ในชุดการทดลองที่เลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาวขนาดเล็ก (ภาพที่ 3) และ 288.67 ± 5.13 และ 269.00 ± 9.64 กรัม น้ำหนักเปียก ในชุดการทดลองที่เลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาวขนาดใหญ่ (ภาพที่ 4) ตามลำดับ ผลการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* และสาหร่ายผมนาง *G. fisheri* มีความสามารถในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้เมื่อเลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาว โดยสาหร่ายพวงองุ่นสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ถึง 6 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่เลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาวเพียงอย่างเดียว ทั้งปลาดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำเลี้ยงปลาดขนาดเล็กที่เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายผมนางทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ปริมาณไนไตรท์มีค่าต่ำกว่าการเลี้ยงปลาการ์ตูนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4 น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* และสาหร่ายผมนาง *G. fisheri* ที่เลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนส้มขาวขนาดใหญ่ 3.5 cm

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนเตรททุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาการใช้สาหร่ายทะเล *G. birdiae* ในระบบกรองชีวภาพ (biofilter) เพื่อช่วยลดปริมาณธาตุอาหารจากการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบว่าระบบกรองชีวภาพที่มี *G. fisheri* สามารถช่วยลดปริมาณแอมโมเนียได้ 34 % ภายใน 4 สัปดาห์ [8] และสาหร่าย *G. edulis* สามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ 70 % [9] แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทะเลสามารถนำมาใช้ลดปริมาณสารอาหารที่สะสมอยู่ในน้ำเลี้ยงในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ [10-11] โดยเฉพาะการลดลงของปริมาณแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ในน้ำเลี้ยงปลา ร่วมกับสาหร่ายทะเล มีผลทำให้อัตรารอดของปลาสูงกว่าการเลี้ยงปลาเพียงอย่างเดียว ซึ่งสาหร่ายทะเลสกุล *Ulva* และ *Gracilaria* นิยมนำมาเลี้ยงในระบบ biofiltration mariculture ที่เลี้ยงร่วมกับสัตว์น้ำทั้งในระบบทะเลเปิด ในบ่อเลี้ยง และในระบบถัง [12-13]

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาว *A. ocellaris* ร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* และสาหร่ายผมนาง *G. fisheri* ในระบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมได้ประมาณ 6 เท่า ภายในระยะเวลา 14 วัน ในการเลี้ยงร่วมกับปลาการ์ตูนขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับปริมาณแอมโมเนียรวมในชุดการทดลองที่ไม่ได้เลี้ยงปลา ร่วมกับสาหร่าย โดยสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถนำธาตุอาหารที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไปใช้ในการเจริญเติบโต ปริมาณแอมโมเนียบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท อย่างไรก็ตามอัตราการรอดของปลาการ์ตูนส้มขาวขนาดเล็กที่เลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่นมีค่าสูงกว่าการเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาวขนาดเล็ก ร่วมกับสาหร่ายผมนาง ดังนั้นการศึกษารุ่นนี้สรุปได้ว่า ปลาการ์ตูนส้มขาว *A. ocellaris* สามารถเลี้ยงร่วมกับสาหร่ายพวงองุ่น *C. lentillifera* และสาหร่ายผมนาง *G. fisheri* ในระบบปิดที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้ โดยสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถช่วยดูดซับและลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาว ทำให้อัตรารอดของปลาการ์ตูนส้มขาวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้สาหร่ายทั้งสองชนิดนี้เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาเลี้ยงปลาการ์ตูนส้มขาวทดแทนดอกไม้ทะเล

เอกสารอ้างอิง

- [1] Frakes, T. and Hoff Jr. F. H. (2003). "Effect of high nitrate-N on the Growth and Survival of Juvenile and Larval Anemonefish, *Amphiprion ocellaris*", **Aquaculture**. 29, 155-158.
- [2] Roopin, M. and Chadwick, N. E. (2009). "Benefits to Host Sea Anemones from Ammonia Contributions of Resident Anemonefish", **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 370, 27-34.
- [3] Yang, Y.F., Fei, X.G., Song, J.M., Hu, H.Y., Wang, G.C. and Chung, I.K. (2006). "Growth of *Gracilaria lemaneiformis* Under Different Cultivation Conditions and Its Effects on Nutrient Removal in Chinese Coastal Water", **Aquaculture**. 254, 248-255.
- [4] Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A.H., Kautsky, N. and Kautsky, L. (1997). "Integrated Marine Cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Bangiophyceae) and Salmon Cages for Reduced Environmental Impact and Increased Economic Output", **Aquaculture**. 156, 45-61.
- [5] Flower, E., M. and Amir, N. (2002). "*Ulva reticulata* and *Gracilaria crassa*: Microalgae that Can Biofilter Effluent from Tidal Fishponds in Tanzania", **Western Indian Ocean Journal of Marine Science**. 1, 117-126.
- [6] Neori, A., Shpigel, M. and Ben-Ezra, D. (2000). "A Sustainable Integrated System for Culture of Fish, Seaweed and Abalone", **Aquaculture**. 186, 279-291.
- [7] Strickland, J.D.H. and T.R.Parsons. (1972). "A Practical Handbook of Seawater Analysis", **Fisheries Research Board of Canada Bulletin**. 167.
- [8] Marinho, S. E., Nunes, S.O., Carneiro, M.A.A. and Pereira, D.C. (2009). "Nutrients' Removal from Aquaculture Wastewater Using the Macroalgae *Gracilaria birdiae*", **Biomass and Bioenergy**. 33, 327-331.
- [9] Lavania, B., Shamila, A., Mohd, I.M.S., Faridahanin, A. and Muna, M. (2014). "Biofiltration Potential of Macroalgae for Ammonium Removal in Outdoor Tank Shrimp Wastewater Recirculation System", **Biomass and Bioenergy**. 66, 103-109.
- [10] Kang, Y.H., Park, S.R. and Chung, I.K. (2011). "Biofiltration Efficiency and Biochemical Composition of Three Seaweed Species Cultivated in A Fish-Seaweed Integrated Culture", **Algae**. 26, 97-108.
- [11] Abreu, M.H., Pereira, R., Buschmann, A.H., Sousa-Pinto, I. and Yarish, C. (2011). "Nitrogen Uptake Responses of *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss under Combined and Single Addition of Nitrate and Ammonium", **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 407, 190-199.
- [12] Buschmann, A.H., Troell, M., Kautsky, N., Kautsky, L. (1996). "Integrated Tank Cultivation of Salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta)", **Hydrobiologia**. 326-327, 75-82.
- [13] Hernandez, I., Fernandez-Engo, M.A. and Perez-Llorens, J.L. and Vergara, J.J. (2005). "Integrated Outdoor Culture of Two Estuarine Macroalgae as Biofilters for Dissolved Nutrients from *Sparus aurata* Waste Waters", **Journal of Applied Phycology**. 17, 557-567.

Session 2

ด้านวิทยาศาสตร์เคมี และเภสัช

๕๐ ปี มหาวิทยาลัยทักษิณ
50th TSU Anniversary



ความว่องไวของ Ni/SiO₂ ในกระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วนของไบโอดีเซล จากน้ำมันพืชใช้แล้ว

Catalytic Activity of Ni/SiO₂ Supported on Partial Hydrogenation of Biodiesel from Waste Cooking Oil

จักรพงษ์ จิตต์จำนงค์^{1*}, สุหดี นิเซ่ง², นลพรรณ ขันติกุลานนท์¹ และณปภัช สมานวงศ์¹

Jakkrapong Jitjamnong^{1*}, Suhdee Niseng², Nonlapan Khantikulanon¹ and Napaphat Samanwong¹

บทคัดย่อ

กระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของไบโอดีเซล โดยการเปลี่ยนโครงสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัวไปเป็นสารอิ่มตัว วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือศึกษาความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/SiO₂ ศึกษาความสามารถในการเลือกสรรการเกิด *cis-trans* ของตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วน โดยไบโอดีเซลสังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในเครื่องไมโครเวฟ ส่วนกระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วนทดลองที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดันของไฮโดรเจน 4 บาร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/SiO₂ ซึ่งสังเคราะห์ด้วยวิธีทำให้ชุ่ม ไบโอดีเซลวิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโตกราฟีและฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) ตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์จากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ การกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา (CO pulse chemisorption) จากผลการทดลองพบว่า Ni/SiO₂ ช่วยปรับปรุงผลผลิตไบโอดีเซลให้มีปริมาณ *cis*-C18:1 และ *trans*-C18:1 เพิ่มขึ้น ซึ่งความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงผลในค่า TOF โดยคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของ C18:2 พบว่าที่ 1 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยา มีค่า TOF สูงสุด เท่ากับ 486 h⁻¹ แสดงให้เห็นว่าช่วงแรกของปฏิกิริยามีโลหะนิกเกิลที่มีความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม TOF มีค่าลดลงที่ 4 ชั่วโมงของปฏิกิริยา มีค่าเท่ากับ 203 h⁻¹

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล น้ำมันพืชใช้แล้ว ตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วน นิกเกิล

Abstract

Partial hydrogenation can be used to improve biodiesel properties by transforming the polyunsaturated fatty acid methyl ester (FAME) to the saturated FAME. The aim of this research was to study the effect of catalytic performance of Ni supported on SiO₂ (Ni/ SiO₂) catalyst on the partial hydrogenation of polyunsaturated FAME. The effect of hydrogenation activity on *cis-trans* selectivity of the catalyst was also investigated. Biodiesel was synthesized by

¹ อ., สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

² อ., สาขาอุตสาหกรรม วิทยาลัยรัตนภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90180

¹ Lecturer, Department of Petroleum Technology, Faculty of Industrial Education and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, 90000

² Lecturer, Department of Industrial, Rattaphum College, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, 90180

* Corresponding author: Tel.: 074-317180 ext. 7000. E-mail address: Alekjakrapong@gmail.com

using waste cooking oil (WCO) as a feedstock via a transesterification with a microwave irradiation. Partial hydrogenation was performed with operating conditions of 100 °C and 4 bar hydrogen pressure. The Ni/SiO₂ catalyst was prepared by incipient wetness impregnation. Biodiesel was characterized by gas chromatography (GC-FID) and Fourier transform infrared absorption spectroscopy (FTIR). The catalyst was determined by X-ray diffraction (XRD) and CO pulse chemisorption. The results showed that the Ni/SiO₂ catalyst enhance the formation of both *cis*-monounsaturated and *trans*-monounsaturated FAME. The catalytic activity was represented by turnover frequency (TOF) as exhibited by C18:2 conversions. The highest TOF (486 h⁻¹) was exhibited at 1 h of hydrogenation, indicating that the abundance of Ni active sites. Nevertheless, TOF decreased within 4 h of reaction time (TOF; 203 h⁻¹).

Keywords: Biodiesel, Waste Cooking Oil, Catalyst, Partial Hydrogenation, Ni

Introduction

Nowadays, the energy demand rapidly increases since it dramatically rise of the population, industrial development, and transportation, which need to find an alternative fuels [1-2]. To solve these problems, biodiesel fuel seem appropriate for replace fossil fuel because of its biodegradability, non-toxicity, renewability, lower exhaust emissions, and higher cetane number as compared to petroleum based diesel [3-5]. Biodiesel or fatty acid methyl ester (FAME) synthesis is carried out from vegetable based oil or animal fats via transesterification in the presence of alcohol by means of alkaline or alkaline combined acid catalyst [6]. Due to the higher cost of the raw materials, waste cooking oil (WCO) have suggested as alternatives, compared to expensive first generation edible oils and also prevents environmental pollution [7-8]. In addition, biodiesel production was synthesized by microwave irradiation processes can accelerate the chemical reaction of transesterification, decrease the reaction time and also reduce the net energy [9-10].

The properties of biodiesel depend on the fatty acid composition of the feedstock. The highly amount of polyunsaturated fatty acid causes low oxidative stability and low cetane number of biodiesel. On the other hand, biodiesel with fully saturated fatty acid consequently influences to cold flow properties, which give poor quality biodiesel. Many researchers reported that the oil contains high content of monounsaturated fatty acid are the great feedstock for production of excellent quality biodiesel. Therefore, partial hydrogenation processes of polyunsaturated FAME to monounsaturated FAME especially the *cis*-isomer in biodiesel are a promising solution to solve this problem [4-5, 11-13]. The noble metal e.g. palladium (Pd) [4, 12-14] and platinum (Pt) [12-13, 15] are often used for catalyzed the hydrogenation of oil and FAME. Nevertheless, nickel catalyst (Ni) supported on silica was studied since it is cheaper than noble metal catalysts [12-13]. Silica (SiO₂) is mainly used as a support-catalyzed in partial hydrogenation, as it has high surface area, large pore volume, and has higher stability to reduction [13].

This paper was mainly focused on the catalytic activity of Ni/SiO₂ catalyst on the partial hydrogenation of biodiesel derived from WCO via transesterification reaction with a microwave irradiation. Additionally, the effect of hydrogenation activity on *cis-trans* selectivity of the catalyst was thoroughly discussed. The properties of biodiesel before and after partial hydrogenation and the characteristic of catalyst were determined by GC-FID, FTIR, XRD, and CO pulse chemisorption.

Materials and Methodology

Materials

WCO from the local areas of Songkhla, Thailand was used as a raw material for biodiesel production. WCO was heated in order to remove the leftover water. After that the residues matters in WCO were refined by filtration. The free fatty acid (FFA) content of the WCO was less than 2 mg KOH/oil. Silica with a mesoporous (pore diameter of 30 nm) procured from Fuji Silysia Chemical Company Ltd. was used as a solid support. The Nickel (II) nitrate hexahydrate (99.9 %) was applied as Ni precursor was purchased from Wako Pure Chemicals Industries Limited. All chemical reagents were of analytical grades obtained from RCI Labscan Company Ltd.

Transesterification of Waste Cooking Oil via Microwave Irradiation

WCO (200 mL) was carried out in 500 mL glass equipped and then placed on the hot plate, which was heated to 60 ± 5 °C. The solution of 2 g KOH and 40 mL methanol were mixed together under vigorous stirring. Heated WCO was reaches to desired temperature and then mixed solution of KOH and commercial methanol was added into the flask, it was vigorously stirred at 300 rpm for 10 min. The transesterification was operated under a microwave irradiation with a power of 300W for 3 min. After the reaction was completed, the resultant mixture was separated in a separatory funnel for one night. The mixture was separated into two phase: biodiesel (top) and glycerin (bottom). The biodiesel phase was decanted into a flask, which was washed with 65 °C of distilled water for several times in order to remove the residuals. The obtained pure biodiesel was kept in a glass bottle and the residual water was removed over anhydrous Na₂SO₄.

Synthesis of Ni/SiO₂ Catalyst

The incipient wetness impregnation method was conducted to prepare the catalyst. The commercial silica (SiO₂) support was dried in an oven over night to remove adsorbed water. An aqueous solution of Ni(NO₃)₂·6H₂O used as a Ni precursor was prepared by 10 wt % of Ni impregnated into the silica support and kept under vacuum for 24 h. The catalyst was dried at 60 °C for 6 h. After drying, the catalyst was calcined at 450 °C under an oxygen stream flow of 500 mL/min for 3 h. Finally, the catalyst was reduced at 400 °C under hydrogen gas flow of 5°C/min for 2 h.

Catalyst and Biodiesel Analysis

The chemical composition of catalyst was analyzed by using x-ray diffraction (XRD) measurement at 2 theta between 10° and 90° with a scanning speed of 1°/s. The XRD was carried out using Cu-K α radiation and operated at 40 kV and 30 mA. The XRD data was recorded on Rigaku DMAX 2200 HV.

The nickel dispersion was characterized by CO pulse adsorption method using temperature-programmed desorption/reduction/oxidation (TPD/R/O), Ohkura R6015 model. The catalyst was reduced with hydrogen gas at 400°C for 1 h and helium gas was purged at the same condition for 10 min. The Ni dispersion was determined by assuming a stoichiometry of CO:Ni was 1:1.

The FAME compositions of the feed biodiesel (WCO) and partially hydrogenation biodiesel were determined by gas chromatography (Hewlett Packard 5890 Series II) equipped with FID detector (GC-FID). A HP-88 silica capillary column (100 m X 0.25 mm) was examined. GC-FID conditions were helium as a carrier gas with a flow rate of 70 ml/min; injector temperature at 200°C with a split ratio of 75:1; detector temperature at 230°C. Sample was

injected into an oven temperature at 130°C. After 2 min of isothermal period, the GC oven was heated to 220°C with a heating rate of 2°C/min and held for 15 min. The running time of one cycle was 62 min.

In addition, the chemical functional group of the partial hydrogenated biodiesel was analyzed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The sample was placed on a Zn-Se crystal plate with a condition was as follows a 4 cm⁻¹ resolution over a scanning range of 650-4000 cm⁻¹.

Partial Hydrogenation of WCO Biodiesel

One hundred fifty milliliter of WCO-biodiesel and 1.30 g Ni-catalyst were placed in a batch reactor. Then, the nitrogen gas was purged in order to remove any residual air from the reactor. Subsequently 150 ml/min of hydrogen gas was flowed into the reactor and pressure was set at 4 bars. When the temperature was reached to 100°C, the stirrer was started at 500 rpm to mix biodiesel and catalyst. The biodiesel products were collected every 30 min, and reaction was carried out for 4 h.

Results and Discussion

Feed WCO Biodiesel Analysis

The fatty acid composition of feed WCO-biodiesel is given in Table 1. The carbon chain lengths of fatty acid were methyl myristate (C14:0) to methyl lignocerate (C24:0). The properties of biodiesel depend on the FAME composition. The saturated fatty acid found in WCO-biodiesel was 1.14 % C14:0, 33.31 % C16:0, and 4.72 % C18:0 which provide high oxidative stability but presents poor cold flow properties biodiesel [12-14, 16]. The mono-unsaturated fatty acid was methyl palmitoleate (2.59 %) and methyl oleate (33.56 %), which provided more stable against oxidative and cold flow properties. The content of *trans*-C18:1 (1.01 %), which is less favorable due to causes an increase in melting point [12-13]. The di- and triunsaturated fatty acid methyl ester was C18:2 (16.30 %) and C18:3 (3.10 %), exhibit low resistance to oxidation since it high oxidation rate [5, 12-13]. In addition, small amount (< 1 %) of *trans*-C16:1, C17:0, C20:0, *trans*-C20:1, *cis*-C20:1, C22:0, and C24:0 were also found in WCO-biodiesel.

The FTIR spectrum of WCO is shown in Fig. 1. The detected band at 3003 cm⁻¹ was the C-H stretching of CH=CH referred to tri-, di-, and monounsaturated FAME. The wavenumber at 2922 and 2853 cm⁻¹ related directly to the presence of aliphatic CH stretching of CH₂. The methyl esters was observed at 1741 cm⁻¹ (C=O ester), confirms the presence of WCO-based biodiesel via transesterification. The vibration at 1457 and 1361 cm⁻¹ were determined the -CH₂ scissor and -CH₃ anti symmetric, respectively. The absorbance peak at 1169 cm⁻¹ was characteristic of the C-O symmetric stretching band. The vibration peaks at 1015 and 721 cm⁻¹, which corresponding to C-O anti-symmetric stretching and *cis*-isomers of -CH, respectively.

Catalyst Characterization

An XRD was studied to identify the crystalline phase of catalyst. The Ni/SiO₂ catalyst was prepared by incipient wetness impregnation (IWI) method which was calcined and reduced at 450 °C and 400 °C, respectively. The XRD spectrum that was characterized peaks at 2 theta is illustrated in Fig. 2. The amorphous silica using as a supporting material was detected at 22.10°. As expected, the characteristic line of nickel metallic (44.60°, 51.92° and 76.16°) was appeared, which is in agreement with the data presented by Thunyaratchatanon *et al.* [12-13]. The metal dispersion was

recorded by using the pulse CO chemisorption technique to characterize the catalytic activity of Ni catalyst. Table 2 shows the Ni loading (10 wt % of Ni/SiO₂ catalyst) and Ni dispersion on the silica support (5.60 %) (Agree well with data characterized by XRD [13]).

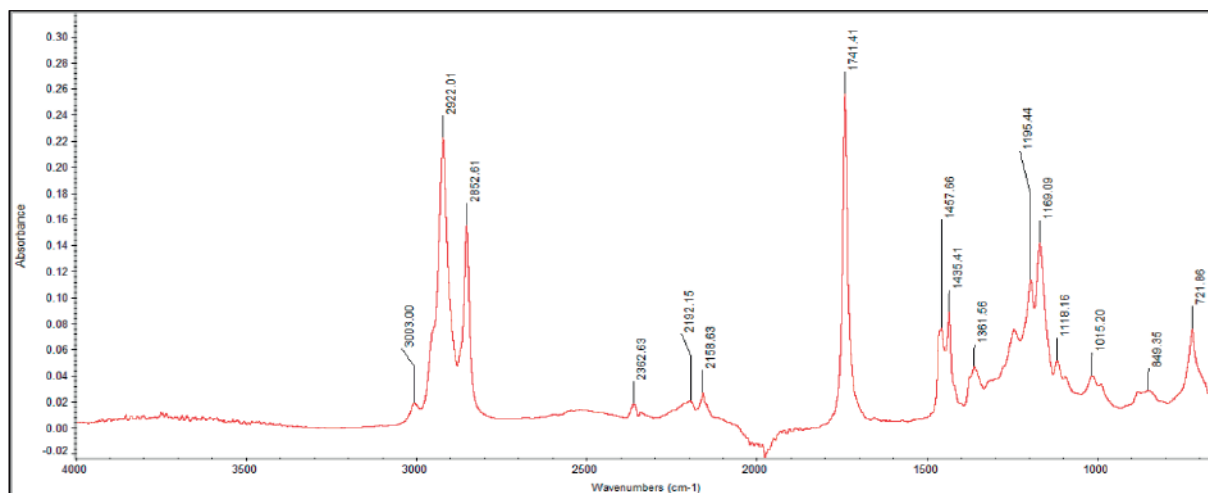


Figure 1 FTIR spectra of WCO-based biodiesel

Table 1 FAME Composition of Feed Biodiesel from WCO.

FAME	Structure	%
Methyl myristate	C14:0	1.14
Methyl palmitate	C16:0	33.31
Methyl palmitelaidate	<i>trans</i> -C16:1	0.29
Methyl palmitoleate	<i>cis</i> -C16:1	2.59
Methyl heptadecanoate	C17:0	0.20
Methyl stearate	C18:0	4.72
Methyl elaidate	<i>trans</i> -C18:1	1.01
Methyl oleate	<i>cis</i> -C18:1	33.56
Methyl linoleate	C18:2	16.30
Methyl linolenate	C18:3	3.10
Methyl arachidate	C20:0	0.34
Methyl <i>trans</i> -eicosenoate	<i>trans</i> -C20:1	0.38
Methyl <i>cis</i> -eicosenoate	<i>cis</i> -C20:1	0.11
Methyl behenate	C22:0	0.45
Methyl lignocerate	C24:0	0.06

Effect of Catalytic Activity and *cis-trans* Selectivity of Ni/SiO₂ Catalyst

The catalytic activity of Ni/SiO₂ catalyst was determined from the composition of FAME after partial hydrogenation 100 °C for 1 h and 4 h (Table 2). At these times, the conversions of diunsaturated FAME were about 7 and 23 %, respectively. It can be observed that, at 7 % of C18:2 conversion the total amount of saturated FAME and

monounsaturated FAME were raised to approximately 41.39 % and 39.24 %, respectively. While, the amounts of di- and triunsaturated were decreased. The similar trend of all fatty acid composition was also observed in the 23 % conversion of diunsaturated FAME. However, only 0.75 % triunsaturated FAME was detected indicating that C18:3 was more quickly hydrogenated than other unsaturated FAME.

The turnover frequency (TOF) of catalyst was calculated from the C18:2 conversion at 1 and 4 h of reaction time according to Hongmanorom et al and Thunyaratchatanon *et al.* [5, 13]. Surprisingly, the highest catalytic activity was obtained at 1 h (TOF=486 h⁻¹) since at the initial reaction, the Ni catalyst had high active sites and well dispersed. Hence, TOF value was decreased at the end of reaction (TOF=203 h⁻¹). It is worth to note that, the amount of catalyst at the beginning of hydrogenation reaction has a large number of vacant Ni active sites that are accessible to the reactant, after that; catalytic performance slightly deactivated.

The methyl elaidate (*trans*-C18:1) and methyl oleate (*cis*-C18:1) content determined by GC-FID was extensively compared between 1 and 4 h of hydrogenation (Fig. 3). The contents of *cis*-C18:1 was continuously increased from 35.50 % at 1 h to 38.68 % at 4 h of partial hydrogenation. Whereas, the amounts of *trans*-C18:1 was gradually raised from 1.23 % at 1 h to 1.39 % at 4 h of partial hydrogenation. Evidently, the ratio of *cis*-C18:1/total C18:1 of feed WCO-biodiesel and partially hydrogenated products does not change (approximately 0.97).

Table 2 FAME Composition and Turnover Frequency (TOF) of C18:2 in Partially Hydrogenated Biodiesel

FAME	Feed WCO	Ni/SiO ₂	
		Ni/SiO ₂ ^a	Ni/SiO ₂ ^b
Saturated FAME	40.22	41.39	41.63
Monounsaturated FAME	37.94	39.24	43.12
Diunsaturated FAME	16.30	15.19	12.59
Triunsaturated FAME	3.10	2.89	0.75
Total FAME	97.56	98.71	98.09
Ratio of <i>cis</i> -C18:1/total C18:1	0.965	0.967	0.970
TOF (h ⁻¹)	-	486	203

^a When diunsaturated fatty acid methyl ester conversion was approximately 7 %.

^b When diunsaturated fatty acid methyl ester conversion was approximately 23 %.

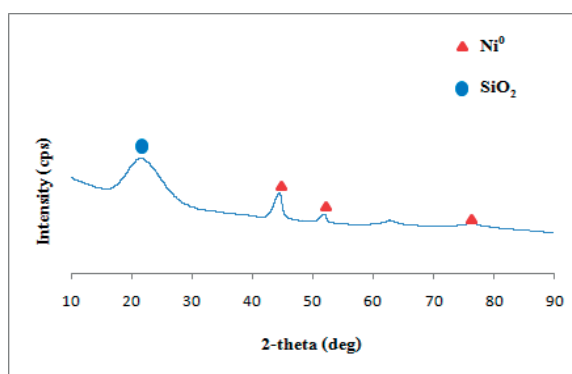


Figure 2 XRD Pattern of Reduced Ni Catalyst.

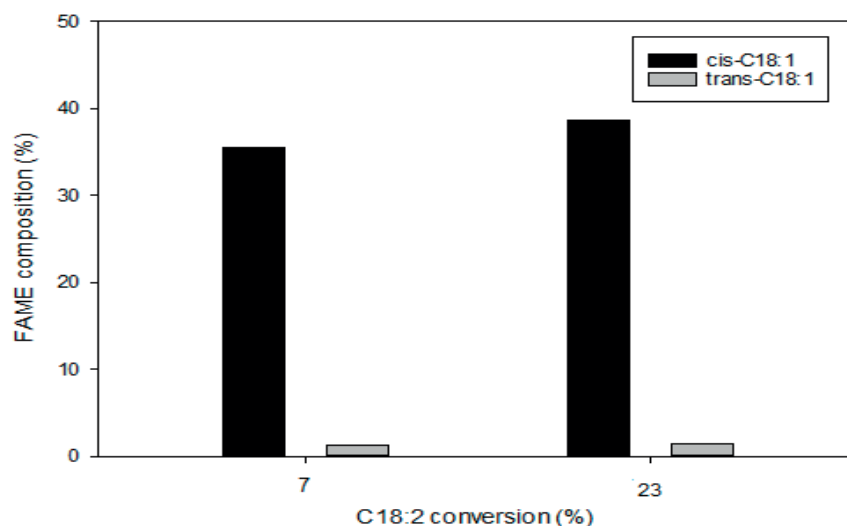


Figure 3 FAME Compositions of Both Percentage of Methyl *cis*-C18:1 and Methyl *trans*-C18:1 in Partial Hydrogenated Biodiesel at 1 and 4 h Reaction.

Conclusion

The Ni/SiO₂ catalyst prepared by incipient wetness impregnation was used to catalyst in partial hydrogenation for improving the WCO-based biodiesel. It was found that the Ni catalyst could enhance the formation of both *cis*-monounsaturated and *trans*-monounsaturated FAME. The highest turnover frequency was found at 1 h of reaction time due to abundance of active sites. Moreover, the biodiesel yield could be improved from 97.56 % of non-hydrogenated FAME to 98.09 % of hydrogenated FAME by using the prepared Ni/SiO₂ as catalyst.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge Rajamangala University of Technology Srivijaya and The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University was financially supported. We also deeply thank National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan for providing material and instrumental analysis. And sincerely thankful to Ms. Chachchaya Thunyaratchatanon and Ms. Chatrawee Direksilp, PhD students at the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Thailand for their helps on instrumental analysis.

References

- [1] Chen, J., Tyagi, R.D., Li, J., Zhang, X., Drogui, P. and Sun, F. (2018). "Economic Assessment of Biodiesel Production from Wastewater Sludge", **Bioresource Technology**. 253, 41-48.
- [2] Kaewdaeng, S., Sintuya, P. and Nirunsin, R. (2017). "Biodiesel Production Using Calcium Oxide from River Snail Shell Ash as Catalyst", **Energy Procedia**. 138, 937-942.
- [3] Hernández-Montelongo, R., García-Sandoval, J.P., González-Álvarez, A., Dochain, D. and Aguilar-Garnica, E. (2018). "Biodiesel Production in a Continuous Packed Bed Reactor with Recycle: A Modeling Approach for an Esterification System", **Renewable Energy**. 116, 857-865.

- [4] Numwong, N., Luengnaruemitchai, A., Chollacoop, N. and Yoshimura, Y. (2012). “Effect of SiO₂ Pore Size on Partial Hydrogenation of Rapeseed Oil-Derived FAMES”, **Applied Catalysis A**. 441-442, 72-78.
- [5] Hongmanorom, P., Luengnaruemitchai, A., Chollacoop, N. and Yoshimura, Y. (2017). “Effect of the Pd/MCM-41 Pore Size on the Catalytic Activity and *cis-trans* Selectivity for Partial Hydrogenation of Canola Biodiesel”, **Energy Fuels**. 31(8), 8202-8209.
- [6] Mansir, N., Teo, S.H., Rashid, U., Saiman, M.I., Tan, Y.P., Alsultan, G.A. and Taufiq-Yap, Y.H. (2018). “Modified Waste Egg Shell Derived Bifunctional Catalyst for Biodiesel Production from High FFA Waste Cooking Oil”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 82, 3645-3655.
- [7] Chen, G., Liu, J., Yao, J., Qi, Y. and Yan, B. (2017). “Biodiesel Production from Waste Cooking Oil in a Magnetically Fluidized Bed Reactor Using Whole-Cell Biocatalysts”, **Energy Conversion and Management**. 138, 556-564.
- [8] Pirouzmand, M., Anakhatoon, M.M. and Ghasemi, Z. (2018). “One-Step Biodiesel Production from Waste Cooking Oils Over Metal Incorporated MCM-41; Positive Effect of Template”, **Fuel**. 216, 296-300.
- [9] Xiang, Y., Xiang, Y. and Wang, L. (2017). “Microwave Radiation Improves Biodiesel Yields from Waste Cooking Oil in the Presence of Modified Coal Fly Ash”, **Journal of Taibah University for Science**. 11(6), 1019-1029.
- [10] Lin, J.J. and Chen, Y.W. (2017). “Production of Biodiesel by Transesterification of Jatropha Oil with Microwave Heating”, **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 75, 43-50.
- [11] Shin, H.Y., Ryu, J.H., Bae, S.Y. and Kim, Y.C. (2013). “Biodiesel Production from Highly Unsaturated Feedstock via Simultaneous Transesterification and Partial Hydrogenation in Supercritical Methanol”, **The Journal of Supercritical Fluids**. 82, 251-255.
- [12] Thunyaratchatanon, C., Luengnaruemitchai, A., Chollacoop, N. and Yoshimura, Y. (2016). “Catalytic Upgrading of Soybean Oil Methyl Esters by Partial Hydrogenation Using Pd Catalysts”, **Fuel**. 163, 8-16.
- [13] Thunyaratchatanon, C., Jitjamnong, J., Luengnaruemitchai, A., Numwong, N., Chollacoop, N. and Yoshimura, Y. (2016). “Influence of Mg Modifier on *cis-trans* Selectivity in Partial Hydrogenation of Biodiesel Using Different Metal Types”, **Applied Catalysis A**. 520, 170-177.
- [14] Numwong, N., Luengnaruemitchai, A., Chollacoop, N. and Yoshimura, Y. (2012). “Partial Hydrogenation of Polyunsaturated Fatty Acid Methyl Esters over Pd/Activated Carbon: Effect of Type of Reactor”, **Chemical Engineering Journal**. 210, 173-181.
- [15] McArdle, S., Girish, S., Leahy, J.J. and Curtin, T. (2011). “Selective Hydrogenation of Sunflower Oil over Noble Metal Catalysts”, **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 351, 179-187.
- [16] Farid, M.A.A., Hassan, M.A., Taufiq-Yap, Y.H., Shirai, Y., Hasan, M.Y. and Zakaria, M.R. (2017). “Waterless Purification Using Oil Palm Biomass-Derived Bioadsorbent Improved the Quality of Biodiesel from Waste Cooking Oil”, **Journal of Cleaner Production**. 165, 262-272.

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงโดยวิธีไฟฟ้าเคมี

A Synthesis of Copper Nanoparticles by Electrochemical Method

นินนา จันทรสุรีย์^{1*} ศุภกร กตาทิการกุล² และสุเจนต์ พรหมเหมือน³

Ninna Jansoon^{1*}, Supagorn Katathikarnkul² and Suchane Prommuean³

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมง่าย และลดต้นทุนการสังเคราะห์เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ ทองแดงนาโนสังเคราะห์ด้วย Plating & Nano-Synthesis Kit โดยใช้กรด L- แอสคอร์บิก และเคอร์คูมินเป็นตัวรีดิวซ์และสตาบิไลเซอร์ตามลำดับ ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ เช่น ศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า และปริมาณเคอร์คูมิน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คือศักย์ไฟฟ้า 12.0 โวลต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1.0 เซนติเมตร และปริมาณเคอร์คูมิน 2.0 มิลลิลิตร คอลลอยด์ทองแดงนาโนสีน้ำตาลแดงที่สังเคราะห์ได้เกิดปรากฏการณ์ทินดอลล์ และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพบว่าค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ความยาวคลื่น (λ_{max}) 595 นาโนเมตร และนำผงทองแดงนาโนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอนุภาคทองแดงนาโนมีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาด 250-300 นาโนเมตร

คำสำคัญ: อนุภาคนาโนทองแดง การสังเคราะห์ วิธีไฟฟ้าเคมี เคอร์คูมิน สื่อการเรียนรู้

Abstract

This article presents an eco-friendly, simple, and costly effective electrochemical method of copper nanoparticle for Learning Media. Copper nanoparticles were synthesized by Plating & Nano-Synthesis Kit, using L-ascorbic acid and curcumin as a reducing agent and stabilizer, respectively. The applied voltage of 12.0 V, electrode distance of 1.0 cm and curcumin volume of 2.0 ml, respectively were obtained as the optimums synthesis conditions. The colloidal copper nanoparticles were characterized by Tyndall effect and UV-visible spectrophotometry. The UV-visible spectroscopic analysis showed the maximum absorbance wavelength (λ_{max}) of 595 nm. The obtained powders were characterized by X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscope (SEM), which indicated the 250-300 nm diameter and spherical particle shape of copper nanoparticles.

Keywords: Copper Nanoparticles, Synthesis, Electrochemical Method, Curcumin, Learning Media

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² นักวิทยาศาสตร์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ นักวิทยาศาสตร์, สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Scientist, Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Scientist, Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Patthalung, 93210

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

บทนำ

นาโนเทคโนโลยีเป็นศาสตร์ที่บูรณาการองค์ความรู้วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ นาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้าง หรือการสังเคราะห์วัสดุที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร (1-100 นาโนเมตร) เนื่องจากวัสดุมีอนุภาคนาโนเล็กจึงส่งผลให้สัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าและผิวสัมผัสของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติทางแสงแตกต่างจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้นาโนเทคโนโลยีมีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในด้านต่างๆ เช่น เทคโนโลยีสารสนเทศ การแพทย์และสาธารณสุข วัสดุและการผลิต มนุษย์อวกาศและการสำรวจอวกาศ พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น กระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนในระดับนาโนถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเตรียมอนุภาคให้ได้ขนาดตามต้องการ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนมีหลายวิธี เช่น การบด (Grinding) ปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction) ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Method) โฟโตเคมีสตรี้ (Photochemistry) และโซโนเคมีสตรี้ (Sonochemistry) เป็นต้น โดยทั่วไปจะสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยวิธีปฏิกิริยาเคมี นำแคโทดของโลหะ (Met^0) มาทำปฏิกิริยากับตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) ไอออนของโลหะจะถูกรีดิวซ์ทำให้โลหะมีประจุเป็นศูนย์ และถูกควบคุมขนาดของอนุภาคด้วยสารสตาบิไลเซอร์ (Stabilizer) เกิดเป็นคอลลอยด์ (Met_{col}) นอกจากนี้ไฟฟ้าเคมีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ยังไม่ซับซ้อน ประหยัด และมีความจำเพาะ [1-2] ในกระบวนการสังเคราะห์ผ่านกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าที่ทำจากแผ่นโลหะบริสุทธิ์

ทองแดงนาโนเป็นอนุภาคโลหะในระดับนาโนที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ทองแดงนาโนสามารถนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น สารต้านจุลชีพ [3] สารเร่งปฏิกิริยา [4] หมึกพิมพ์ [5] และหมึกนำไฟฟ้า [6] เป็นต้น การสังเคราะห์ทองแดงนาโนด้วยปฏิกิริยาเคมีนำคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตมาเป็นสารตั้งต้น ในกระบวนการสังเคราะห์สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตถูกรีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิก [7-10] และควบคุมขนาดของอนุภาคด้วยสารสตาบิไลเซอร์ชนิดต่างๆ เช่น แป้ง [8] โคลิซาน [9] และขมิ้น [10] นอกจากนี้ทองแดงนาโนสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี [11-13] Theivasanthi และ Alagar [11] สังเคราะห์ทองแดงนาโนด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีใช้แผ่นทองแดงบริสุทธิ์เป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ผ่านกระแสไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่อุณหภูมิห้อง

ศตวรรษที่ 21 การจัดการศึกษานับพัฒนาเยาวชนให้มีความรู้ที่สามารถเชื่อมโยงความรู้สู่ชีวิตจริง สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ให้ความสำคัญกับเนื้อหาที่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการด้านต่างๆ ในสาระที่ 5 เคมี มาตรฐาน ว 5.2 และ ว 5.3 ศึกษาเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะและการบูรณาการความรู้กับสาขาวิชาอื่นๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่บูรณาการความรู้ทางเคมีเรื่องไฟฟ้าเคมีกับนาโนเทคโนโลยีโดยการศึกษากระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสใช้ Plating & Nano-Synthesis Kit ที่ออกแบบมาเพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนรู้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ใช้งานง่าย และลดต้นทุนการสังเคราะห์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ทองแดงนาโนด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

1.1 การศึกษาศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.25 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เติมนิโคตริลคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ 0.2 มิลลิลิตร สารละลายคอปเปอร์มิน 1.5 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำแผ่นทองแดงต่อกับขั้วบวก และเสียบดินสอดต่อกับขั้วลบของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2.0 เซนติเมตร และใส่ลงในบีกเกอร์ คนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารและผ่านกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 12.0 โวลต์นาน 8 นาที

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย การเกิดลำแสงเมื่อส่องด้วยปากกาเลเซอร์ และค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-1800 spectrophotometer ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าจาก 12.0 โวลต์ เป็น 3.0 6.0 และ 9.0 โวลต์ ตามลำดับ

1.2 การศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

การทดลองในหัวข้อนี้ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 1.1 โดยเปลี่ยนระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจาก 2.0 เซนติเมตร เป็น 1.0 1.5 และ 2.5 เซนติเมตร ตามลำดับ

1.3 การศึกษาปริมาณของเอร์คิวตัมในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

การทดลองในหัวข้อนี้ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 1.2 โดยเปลี่ยนปริมาณของเอร์คิวตัมจาก 1.5 มิลลิกรัม เป็น 0.0 1.0 2.0 และ 2.5 มิลลิกรัม ตามลำดับ

2. การออกแบบและการสร้าง Plating & Nano-Synthesis Kit

2.1 การออกแบบ และการสร้างฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้าและฐานวางบีกเกอร์

ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้าและฐานวางบีกเกอร์เป็นอุปกรณ์ช่วยในการยึดติดขั้วไฟฟ้าบีกเกอร์ และเครื่อง Plating & Nano-Synthesis ให้แน่นและใช้งานได้สะดวก ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้าออกแบบมาเพื่อให้สามารถศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (1.0 และ 2.0 เซนติเมตร) ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้าและฐานวางบีกเกอร์ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Designspark mechanical 2.0 และพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ

2.2 การออกแบบ และการสร้างเครื่อง Plating & Nano-Synthesis

เครื่อง Plating & Nano-Synthesis เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) และเครื่องกวนสาร (Stirrer) เครื่อง Plating & Nano-Synthesis ออกแบบโดยอาศัยข้อมูลการศึกษาศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน (3.0 6.0 9.0 และ 12.0 โวลต์)

3. การศึกษาการสังเคราะห์ทองแดงนาโนโดยใช้ Plating & Nano-Synthesis Kit

ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.25 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่น 30 มิลลิกรัม เติมน้ำเค็มคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ 0.2 มิลลิกรัม สารละลายเอร์คิวตัม 2.0 มิลลิกรัม และเติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตร 40 มิลลิกรัม นำแผ่นทองแดงต่อกับขั้วบวก และได้ดินสอดต่อกับขั้วลบของเครื่อง Plating & Nano-Synthesis โดยเลือกกระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1.0 เซนติเมตร ขณะสังเคราะห์คนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารและผ่านกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 12.0 โวลต์นาน 8 นาที ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย การเกิดลำแสงเมื่อส่องด้วยปากกาเลเซอร์ และค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-1800 spectrophotometer เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X' Pert MPO, PHILIPS) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวด (SEM-Quanta)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ทองแดงนาโนด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

1.1 การศึกษาศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

จากการศึกษาศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโนโดยผ่านกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 3.0 6.0 9.0 และ 12.0 โวลต์ ตามลำดับ นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร (λ_{max}) โดยใช้เครื่อง UV-1800 Spectrophotometer ได้ข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

การทดลอง	ความต่างศักย์ (V)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	3.0	0.0579
2	6.0	0.3871
3	9.0	0.8431
4	12.0	1.2743

1.2 การศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

นำทองแดงนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ที่ความต่างศักย์ 12.0 โวลต์ไปศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 เซนติเมตรตามลำดับ นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ($\lambda_{\max}$) โดยใช้เครื่อง UV-1800 Spectrophotometer ได้ข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

การทดลอง	ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (cm)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	1.0	1.3144
2	1.5	0.9631
3	2.0	0.7706
4	2.5	0.6634

1.3 การศึกษาปริมาณของเคอร์คูมินในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

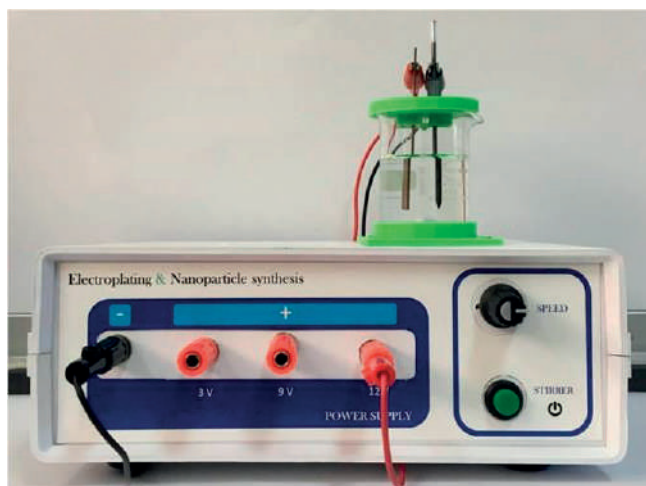
นำทองแดงนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1.0 เซนติเมตรไปศึกษาปริมาณเคอร์คูมิน 0.0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิกรัมตามลำดับ นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ($\lambda_{\max}$) โดยใช้เครื่อง UV-1800 Spectrophotometer ได้ข้อมูลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณของเคอร์คูมินในการสังเคราะห์ทองแดงนาโน

การทดลอง	ปริมาณของเคอร์คูมิน (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.0	0.0882
2	0.5	0.0664
3	1.0	1.0893
4	1.5	1.4989
5	2.0	2.2724

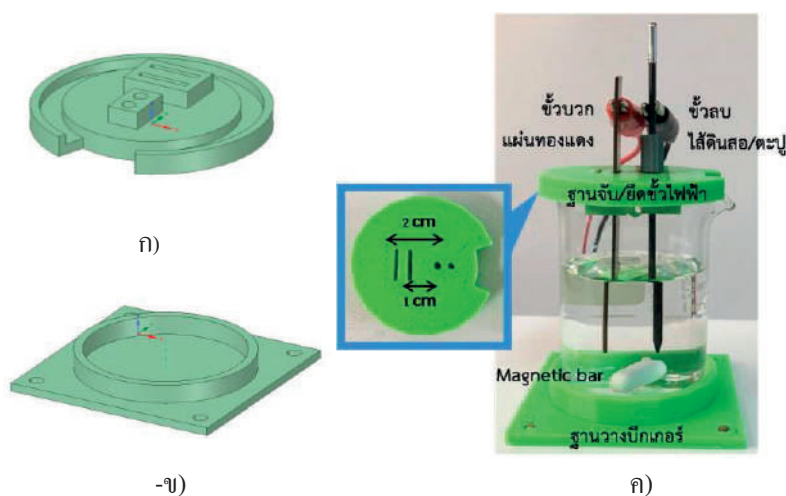
2. การออกแบบและการสร้าง Plating & Nano-Synthesis Kit

สื่อการเรียนรู้ “Plating & Nano-Synthesis Kit” ประกอบด้วยประกอบต่างๆ ดังนี้ (1) ขั้วแอโนดทำจากแผ่นทองแดง (2) ขั้วแคโทดทำจากไส้ดินสอ (3) ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้า (4) ฐานวางบีกเกอร์ (5) แท่งแม่เหล็กกวนสาร และ (6) เครื่อง Electroplating & Nanosynthesis ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 Plating & Nano-Synthesis Kit

เครื่อง Plating & Nano-Synthesis เป็นแหล่งให้ไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 3.0 6.0 9.0 และ 12.0 โวลต์ และสามารถคนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารละลาย ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้าและฐานวางบีกเกอร์ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Designspark mechanical 2.0 สามารถเลือกระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1.0 และ 2.0 เซนติเมตร และพิมพ์ โดยใช้เครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้าและฐานวางบีกเกอร์นำมาประกอบชุดอุปกรณ์ Plating & Nano-Synthesis Kit แสดงดังภาพที่ 2

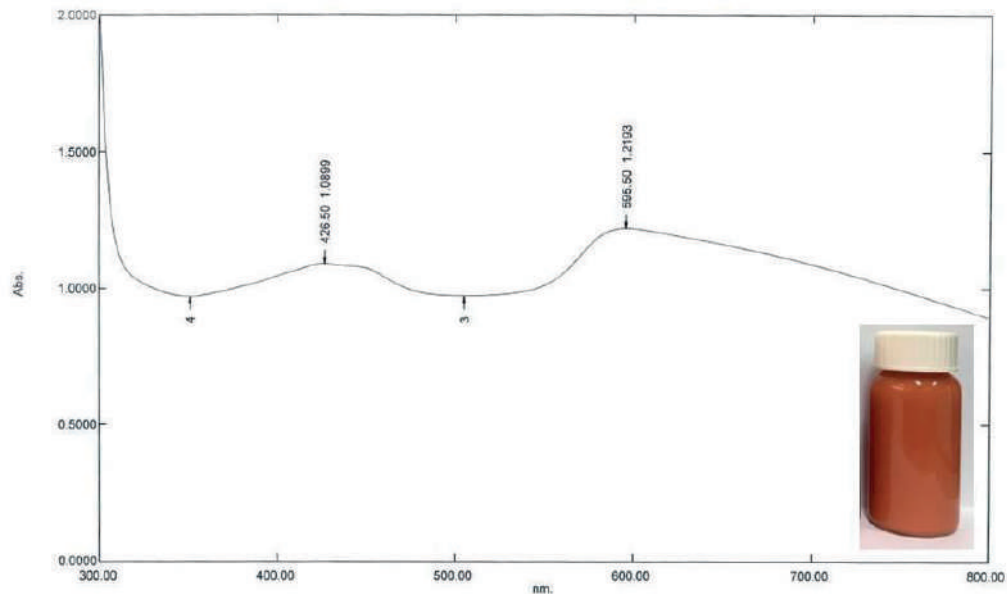


ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์ Plating & Nano-Synthesis Kit ก) แบบร่าง ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้า ข) แบบร่าง ฐานวางบีกเกอร์
ค) การประกอบชุดอุปกรณ์ Plating & Nano-Synthesis Kit

3. การศึกษาการสังเคราะห์ทองแดงนาโนโดยใช้ Plating & Nano-Synthesis Kit

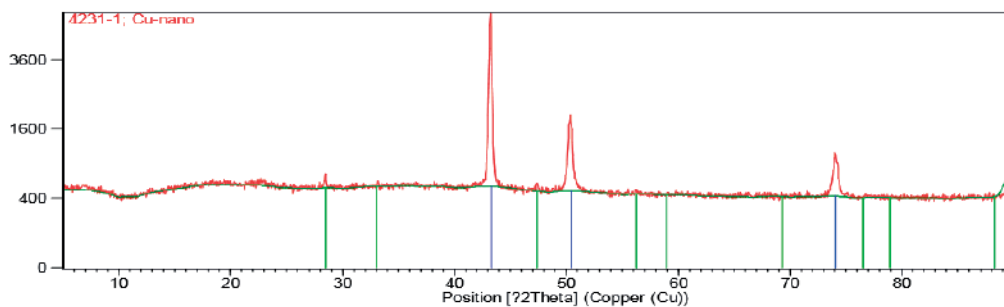
สังเคราะห์ทองแดงนาโนโดยใช้สภาวะในการทดลองในข้อ 1 ด้วยเครื่อง Plating & Nano-Synthesis เป็นแหล่งให้ไฟฟ้ากระแสตรงและคนสารละลายและใช้ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้าและฐานวางบีกเกอร์ นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-1800 Spectrophotometer สารดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 3 สเปกตรัมที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Jayandran และคณะ [10] ที่สังเคราะห์ทองแดงนาโนใช้น้ำมะนาวเป็นตัวรีดิวซ์และขม้นเป็นสารสเตบิไลเซอร์ ทองแดงนาโนที่สังเคราะห์ได้มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 585 นาโนเมตร และรูปร่างของอนุภาคทองแดงนาโนเป็นทรงกลม มีขนาด 60-100 นาโนเมตร และ Khanna และคณะ [13] สังเคราะห์

ทองแดงนาโนโดยใช้ PVA, HH และ SFS เป็นตัวรีดิวซ์และสารสแตบิไลเซอร์ ทองแดงนาโนที่สังเคราะห์ได้มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 595 นาโนเมตร

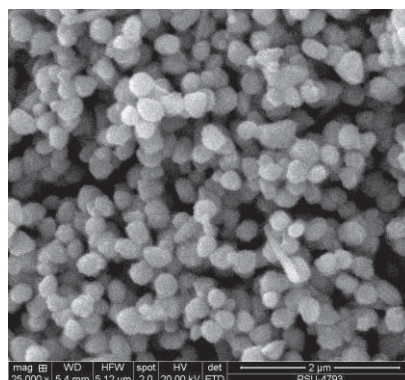


ภาพที่ 3 UV-Spectrum ของทองแดงนาโน

นำทองแดงนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze-dryer) และวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 XRD Spectrum ของผงทองแดงนาโน



ภาพที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของผงทองแดงนาโน

จากผลการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วย XRD สเปกตรัมแสดงตำแหน่งมุม 2 θ เท่ากับ 43.291 50.419 และ 74.078 เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลตาม JCPDS (Copper file No.04-0836) ตำแหน่งมุม 2 θ เท่ากับ 43.297 50.433 และ 74.130 ตรงกับระนาบ (111) (200) และ (220) ตามลำดับซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของทองแดงนาโนและมีโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์ [7, 11] และจากภาพถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่าอนุภาคมีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาด 250-300 นาโนเมตร

สรุปผลการวิจัย

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองแดงด้วย Plating & Nano-Synthesis Kit เพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนรู้วิชาเคมี เรื่องไฟฟ้าเคมี โดย Plating & Nano-Synthesis Kit ประกอบด้วยขั้วแอโนด ขั้วแคโทด ฐานจับ/ยึดขั้วไฟฟ้า ฐานวางบีกเกอร์ แท่งแม่เหล็กกวนสารละลาย และเครื่อง Plating & Nano-Synthesis สื่อการเรียนรู้สามารถศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ทองแดงนาโนอาทิเช่นระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (1.0 และ 2.0 เซนติเมตร) และศักย์ไฟฟ้า (3.0 6.0 9.0 และ 12.0 โวลต์) กระบวนการสังเคราะห์ทองแดงนาโนใช้กรดแอสคอร์บิก 0.25 กรัมและโซเดียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ 0.2 มิลลิลิตร ผ่านกระแสไฟฟ้าความศักย์ไฟฟ้า 12.0 โวลต์ ระยะห่างระหว่างขั้ว 1.0 เซนติเมตร และปริมาณแคโทดมิน 2.0 มิลลิลิตร คอลลอยด์สีน้ำตาลแดงที่สังเคราะห์ได้เกิดปรากฏการณ์ทินคอลล และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-1800 spectrophotometer ที่ $\lambda_{\max}$ 595 นาโนเมตร และวิเคราะห์ผงทองแดงนาโนด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าอนุภาคทองแดงนาโนเป็นทรงกลมขนาด 250-300 นาโนเมตร

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากเงินงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยทักษิณ ปี พ.ศ.2559 และผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลาที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Reetz, M. and Helbig, W. (1994). "Size-Selective Synthesis of Nanostructured Transition Metal Clusters", **Journal of the American Chemical Society**. 116, 7401-7402.
- [2] Khaydarov, R.A., Khaydarov, R.R., Gapurova, O., Estrin, Y. and Thomas Scheper, T. (2009). "Electrochemical Method for the Synthesis of Silver nanoparticles", **Journal of Nanoparticle Research**. 11, 1193-1200.
- [3] Nourbakhsh, S., Habibi, S. and Rahimzadeh, M. (2017). "Copper Nano-Particles for Antibacterial Properties of Wrinkle Resistant Cotton Fabric", **Materials Today: Proceedings**. 4, 7032-7037.
- [4] Ojha, N. K., Zyryanov, G.V., Majee, A., Charushin, V. N., Chupakhin, O.N. and Santra, S. (2017). "Copper Nanoparticles as Inexpensive and Efficient Catalyst: A Valuable Contribution in Organic Synthesis", **Coordination Chemistry Reviews**. 353, 1-57.
- [5] Son, Y., Jang, J., Kang, M. K., Ahn, S. and Lee, C.S. (2018). "Application of Flash-Light Sintering Method to Flexible Inkjet Printing using Anti-Oxidant Copper Nanoparticles", **Thin Solid Films**. 656, 61-67.
- [6] Tang, X., Yang, Z., Wang and W. (2010). "A Simple Way of Preparing High-Concentration and High-Purity Nano Copper Colloid for Conductive Ink in Inkjet Printing Technology", **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 360, 99-104.

- [7] Wu, S. (2007). "Preparation of Fine Copper Powder using Ascorbic Acid as Reducing Agent and Its Application in MLCC", **Materials Letters**. 61, 1125-1129.
- [8] Valodkar, M., Modi, S., Pal, A. and Thakore, S. (2011). "Synthesis and Anti-Bacterial Activity of Cu, Ag and Cu-Ag Alloy Nanoparticles: A Green Approach", **Materials Research Bulletin**. 46, 384-389.
- [9] Zain, M.N., Stapley, A.G.F. and Shama, G. (2014). "Green Synthesis of Silver and Copper Nanoparticles using Ascorbic Acid and Chitosan for Antimicrobial Applications", **Carbohydrate polymer**, 112, 195-202.
- [10] Jayandran, M., Haneefa, M.M. and Balasubramanian, V. (2015). "Green Synthesis of Copper Nanoparticles using Natural Reducer and Stabilizer and an Evaluation of Antimicrobial Activity", **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**. 7, 251-259.
- [11] Theivasanthi, T. and Alagar, M. (2011). "Nano Sized Copper Particles by Electrolytic Synthesis and Characterizations", **International Journal of the Physical Science**. 6, 3662-3671.
- [12] Nekouei, R. K., Rashchi, F. and Ravanbakhsh, A. (2013). "Copper Nanopowder Synthesis by Electrolysis Method in Nitrate and Sulfate Solutions", **Power Technology**. 250, 91-96.
- [13] Khanna, P.K., Gaikwad, S., Adhyapak, P.V., Singh, N. and Marimuthu, R. (2007). "Synthesis and Characterization of Copper Nanoparticles", **Materials Letters**. 61, 4711-4714.

การตรวจวัดไฮบริดไคเซนชันของพีเอ็นเอ-ดีเอ็นเอ
โดยใช้วัสดุนาโนโมดิฟายด์อิเล็กโทรดทองด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าขั้นตอนเดียว
PNA-DNA Hybridization Detection with One-Step Electrodeposition using
Nanomaterial Modified Gold Electrode

อรวรรณ ทิพย์มณี^{1*}

Orawan Thipmanee^{1*}

บทคัดย่อ

พารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญต่อประสิทธิภาพของดีเอ็นเอไบโอเซนเซอร์คือวัสดุสำหรับช่วยในการตรึงโพรบ วัสดุนาโนสำหรับโมดิฟายด์อิเล็กโทรดได้รับความสนใจเพราะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและมีการนำไฟฟ้าที่ดีช่วยให้ ความไววิเคราะห์สูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการตรวจวัดไฮบริดไคเซนชันของดีเอ็นเอโดยตรงด้วยพีโรลิดินิลเพปไทด์ นิวคลีอิกแอซิดโพรบหรือเอซีพีซีพีเอ็นเอโพรบด้วยดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี การเพิ่มความไววิเคราะห์โดยใช้ วัสดุนาโนโมดิฟายด์ขั้วทองและวัดกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันจากการส่งผ่านอิเล็กตรอนของแอนทราควิโนนซึ่งติดอยู่กับ พีเอ็นเอโพรบมายังขั้ว เมื่อตัดแปลงขั้วด้วยนาโนคอมโพสิตระหว่างพอลิอะนิลีน กราฟีนและอนุภาคนาโนเงินจะให้ความไววิเคราะห์ดีกว่าการตัดแปลงขั้วด้วยพอลิอะนิลีน คอมโพสิตระหว่างพอลิอะนิลีนกับกราฟีน และคอมโพสิต ระหว่างพอลิอะนิลีนกับอนุภาคนาโนเงิน เซนเซอร์นี้สามารถใช้งานได้ถึง 33 ครั้ง ด้วยสารละลายทำลายพันธะคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ การตัดแปลงขั้วทองด้วยวัสดุนาโนใช้วิธีเกาะติดทางไฟฟ้าขั้นตอนเดียวมีข้อดีคือ เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วอีกทั้งเซนเซอร์มีความจำเพาะสูง

คำสำคัญ: เพปไทด์นิวคลีอิกแอซิด แอนทราควิโนน วัสดุนาโน ไฮบริดไคเซนชัน การเกาะติดทางไฟฟ้า

Abstract

One of the important parameter that plays an important role in the performance of an electrochemical DNA biosensor is the supporting material for the immobilized probes. Using nanomaterials for electrode modification has gained a lot of attention with many advantages, such as large surface area and good electrical conductivity that can improve sensor sensitivity. The development of a direct PNA-DNA hybridization detection based on a novel pyrrolidinyI peptide nucleic acid or acpcPNA probe was studied using differential pulse voltammetric detections. Enhancement the sensitivity of DNA hybridization biosensor is presented using nanomaterial modified gold electrode. The oxidation current of an anthraquinone (AQ) tagged acpcPNA probe (acpcPNA-AQ) was measured from the electron transfer between the tagged AQ and the gold electrode based on differential pulse voltammetry (DPV). From various gold modified electrodes, polyaniline-Graphene-Ag nanocomposite coated electrode surface provided

¹ อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

¹ Lecturer, Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 95000

* Corresponding author: E-mail address : orawan.t@yru.ac.th

a higher sensitivity than polyaniline, polyaniline-Graphene and polyaniline-Ag due to its high surface area and good electrical conductivity of graphene and Ag nanoparticles. This DNA sensor can be used up to 33 times with 0.05 M of sodium hydroxide as the regeneration solution. Moreover, only one-step of electrodeposition of nanomaterial modification is very simple, cost-effective and fast detection of a specific DNA screening technique.

Keywords: Peptide Nucleic Acid, Anthraquinone, Nanomaterial, Hybridization, Electrodeposition

Introduction

The detection of specific-sequence DNA is increasingly important because of its potential applications in many areas such as clinical diagnostic of specific diseases [1], detection of gene mutation [2] and genetically modified organisms or GMOs analysis [3] and environmental monitoring [4]. Traditional methods that are currently used to detect specific DNA hybridization include Southern blot [5], dot blot [6] and fluorescence in situ hybridization (FISH) [7]. However, it is well known that these techniques are quite complex, expensive, and time consuming [8]. DNA biosensor is one method that has attracted much attention for DNA hybridization detection [9]. The sensor generally composed of ss-DNA probes immobilized on a transducer surface that are able to form duplex with the target DNAs [10]. The hybridization event is then converted into a measurable signal by a transducer. Between the optical, mass sensing and electrochemical transducers, electrochemical detection offers a great promise for a highly sensitive, simple, fast detection, and cost-effective method.

One of the important parameters that plays an important role in the performance of an electrochemical affinity DNA biosensor is the supporting material for the immobilized probes. Using nanomaterials for electrode modification has gained a lot of attention with many advantages, such as large surface area and good electrical conductivity that can improve sensor sensitivity [11]. Electrochemical DNA sensor designed with nanomaterials has been shown to have low limit of detection, high signal and high sensitivity [12]. In recent years, graphene has received attention due to its provided excellent electrical conductivity that can improve the sensitivity. Therefore, an electrochemical DNA affinity biosensor incorporating with nanomaterials is interesting since the materials will help enhance the signal, sensitivity and provide the low limit of detection. In this work a simple, fast detection and low cost electrochemical DNA biosensor for the detection of DNA hybridization based on nanomaterials modified gold electrode was investigated. Moreover, various surface modifications were studied by incorporated graphene and/or silver nanoparticles in a polyaniline layer that was electrodeposited on the electrode.

Materials and Methods

Materials

The anthraquinone (AQ) tagged lysine-modified acpcPNA (Ac-TTT TTT TTT-LysNH₂), acpcPNA-AQ. The acpcPNA-AQ probes were purified by reverse phase HPLC (to 90 % purity) and its identity was verified by MALDI-TOF mass spectrometry. Synthetic target DNA (5'-AAA AAA AAA-3') used was synthesized and purified by Bioservice Unit, National Science and Technology Development Agency and BioDesign Co., Ltd., Thailand. The blocking thiol of 11 carbon length with the -OH terminating head group, 11-mercapto-1-undecanol

(11-MUL) was purchased from Aldrich (Steinheim, Germany). Graphene nanosheets (4-5 layers, thickness of 8 nm, surface area $600\text{--}750\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$, particle diameter $2\text{ }\mu\text{m}$) were obtained from Cheap Tubes Inc (Brattleboro, USA).

Methods

Immobilization of acpcPNA-AQ Probe

Gold rod electrodes (99.99 % purity) with a diameter of 3.0 mm were cleaned by dipping in piranha solution (conc. H_2SO_4 : 30 % H_2O_2 equal to 3:1 % v/v) with sonication for 30 min followed by rinsing with distilled water. Then, they were polished using alumina slurry (5, 1, $0.3\text{ }\mu\text{m}$ of the particle size), on a smooth polishing cloth until a mirror-like surface was obtained and subsequently washed with distilled water. The electrodes were placed in a plasma cleaner (Model PDC-32G, Harrick, New York, USA) to remove organic and inorganic molecules adsorbed on the electrodes surface [13].

The modified gold electrodes were prepared within four types, i.e., polyaniline (PANI), polyaniline composited with graphene (PANI-Graphene), polyaniline composited with silver nanoparticles (PANI-Ag) and polyaniline composited with graphene and silver nanoparticles (PANI-Graphene-Ag).

For a PANI modified surface, a PANI film was electrodeposited onto a gold electrode in 0.50 M H_2SO_4 with 0.10 M aniline aqueous solution, mixed with 0.25 M polyacrylic acid (PAA) to get a better stability with improved polymer properties [14]. The electrodeposition was performed by cyclic voltammetry for 10 scans using the potential range from -0.2 to 1.2 V vs. Ag/AgCl with a scan rate of 50 mVs^{-1} . The PANI coated gold electrode was cleaned by rinsing with distilled water and treated with 5.0 % (v/v) glutaraldehyde in 10 mM phosphate buffer pH 7.00 at room temperature for 20 min to activate the aldehyde groups. Then 20 μL of 5.0 μM of acpcPNA-AQ probe [15] was placed on the modified electrode for 24 h in the refrigerator $4\text{ }^\circ\text{C}$. Finally, the immobilized acpcPNA-AQ electrode was immersed in 1.0 mM of 11-mercaptoundecanol (11-MUL) solutions for 1 h to block any remaining pinholes, hence preventing any non-specific binding on the electrode surface. For other nanocomposited modified electrode, PANI-Graphene, PANI-Ag and PANI-Graphene-Ag, either 2.0 mg mL^{-1} graphene or 0.01 M AgNO_3 [16] or both were added into the electrodepositing solution accordingly, followed by an immobilization and a blocking steps.

Surface Morphology Characterization

The surface morphology of the four nanomaterial modified electrodes were observed using scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersion X-ray spectroscopy (EDX). Both SEM images and EDX spectra were characterized with a JSM 5800 Quanta from JEOL, Japan, operated at an accelerating voltage of 20 kV.

Electrochemical Measurement

The PNA-DNA hybridization measurement was studied based on three electrode system, i.e., a modified gold working electrode, a Ag/AgCl reference electrode and a Pt rod counter electrode, connected to a μ -Autolab PGSTAT Type III potentiostat/galvanostat (Metrohm Applikon, Utrecht, The Netherlands) controlled by GPES 4.9 software (Eco Chemie, Herisau, Switzerland). The hybridization response was the decrease of the oxidation peak of the electrochemical indicator AQ (tagged to the PNA probe) detected by differential pulse voltammetry (DPV). The DPV was operated from -1.2 to -0.3 V, against the Ag/AgCl reference electrode, with a scan rate of 50 mVs^{-1} , a step width of 100 ms, a step potential of 5.0 mV, the pulse width and pulse amplitude were 60 mV. The DPV was performed in a batch system containing 100 mM sodium phosphate buffer pH 7.00 with 100 mM potassium chloride.

In this technique, two potential pulses of amplitude E_1 and E_2 and length t_1 and t_2 , respectively are firstly applied with $t_1 \gg t_2$ and $\Delta E = E_2 - E_1$. The potential is scanned in the negative ($\Delta E < 0$) or positive direction ($\Delta E > 0$) in such a way that a delay between each pair of pulses is introduced in order for the equilibrium to be re-established. In this potentiostatic technique the difference current responses I_{DPV} or $\Delta I = I_2(t_1 + t_2) - I_1(t_1)$ is plotted versus E , referred to as differential pulse voltammogram [17].

Results

Electrochemical Characterization of the Immobilization Step

Figure 1 shows an example of the electrochemical behavior of the PANI-Graphene-Ag coated on the gold electrode surface studied by cyclic voltammetry using 5.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ in 0.1 M KCl between -0.3 to 0.7 V at a scan rate of 0.1 Vs^{-1} vs a Ag/AgCl reference electrode. The clean gold surface showed a voltammogram with oxidation and reduction peaks (Figure 1 (a) and inset). Both peaks increase when PANI-Graphene-Ag nanocomposite was deposited onto the electrode surface (Figure 1 (b)) indicated that the PANI-Graphene-Ag helped to increase the electrical conductivity. When 5.0 % (v/v) glutaraldehyde in 10 mM sodium phosphate buffer pH 7.00 was used to activate the covalent bonding between the amine group of the PNA-AQ probe and the free amine group of PANI at room temperature for 20 min, the redox peaks of the electrode decrease (Figure 1 (c)). The response was further reduced when PNA-AQ probes were immobilized (Figure 1 (d)). The modified electrode surface was then react with ethanolamine pH 8.50 to occupy all the remained aldehyde groups of glutaraldehyde that were not bound to the probes. Finally, this modified electrode was rinsed with 100 mM phosphate buffer pH 7.00 and then immersed in 1.0 mM 11-MUL solution for 60 min to cover any pinholes on the electrode surface. The cyclic voltammogram showed complete blockage of the redox species (Figure 1 (e))

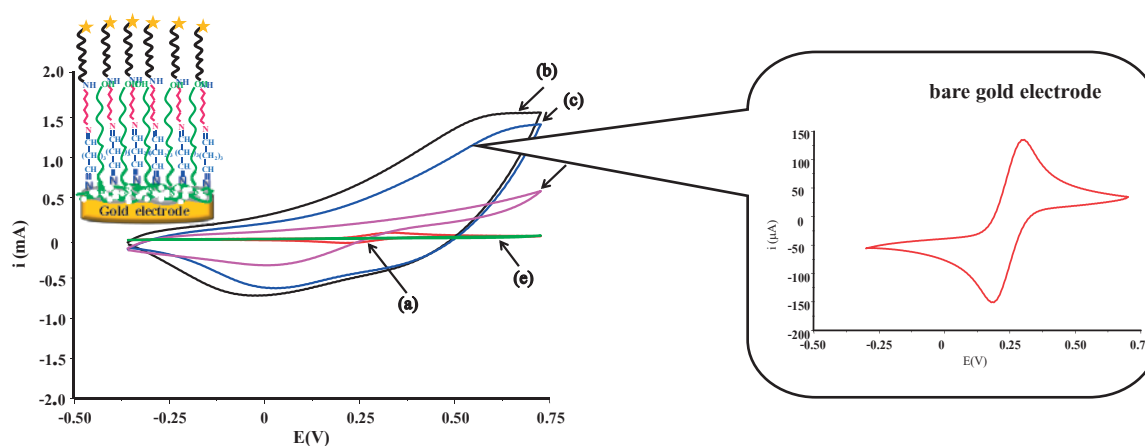


Figure 1 Cyclic voltammograms behavior obtained in 5.0 mM $K_3[Fe(CN)]_6$ with 0.10 M KCl solution from the immobilization PNA-AQ probe; bare gold electrode (a) then electrodeposited with PANI-Graphene-Ag nanocomposite (b) and crosslinked with glutaraldehyde (c) for immobilization with PNA-AQ probe (d) and finally blocked with 11-MUL (e).

For the other modified gold electrode (PANI, PANI-Graphene and PANI-Ag nanocomposites) the cyclic voltammograms followed the same trend during the modification steps.

Surface Morphology

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Figure 2 shows the SEM micrographs of the four types of the nanomaterials modified gold electrode surface. The PANI Film has a fibrous network structure having a diameter of 40 - 70 nm (Figure 2 (a)) (measured from an SEM image using electronic digital caliper (Kovet, Japan)). As for the PANI-Graphene nanocomposite (Figure 2 (b)), the nanofiber structure of PANI was embedded with graphene. For PANI-Ag nanocomposite, silver nanoparticles with the particle size 50 - 90 nm were decorated on the surface of the PANI nanofibers (Figure 2 (c)). Figure 2 (d) shows the morphology of PANI-Graphene-Ag nanocomposite, graphene sheets were seen embedded within the PANI nanofiber with the silver nanoparticles decorated on the PANI nanofibers.

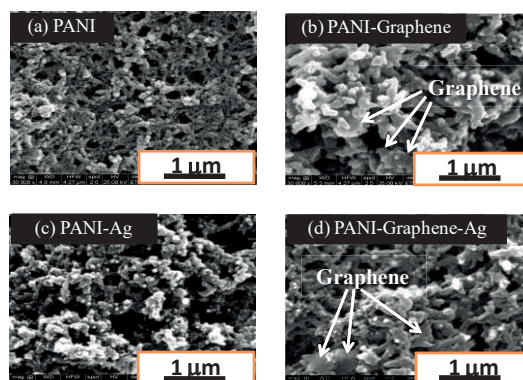


Figure 2 SEM images of the gold electrode surface modified with PANI (a), PANI-Graphene (b), PANI-Ag (c) and PANI-Graphene-Ag (d) nanocomposites.

Energy Dispersion X-ray Spectroscopy (EDX)

Characterization the Ag composite with PANI and PANI-Graphene. Both PANI-Ag and PANI-Graphene-Ag nanocomposites were confirmed with EDX spectra (Figure 3 (a and b)), which revealed the peak of silver (Ag) and confirmed the presence of silver element. That the result is, Ag nanoparticles were successfully decorated on PANI in the preparation of PANI-Ag and PANI-Graphene-Ag nanofiber composites.

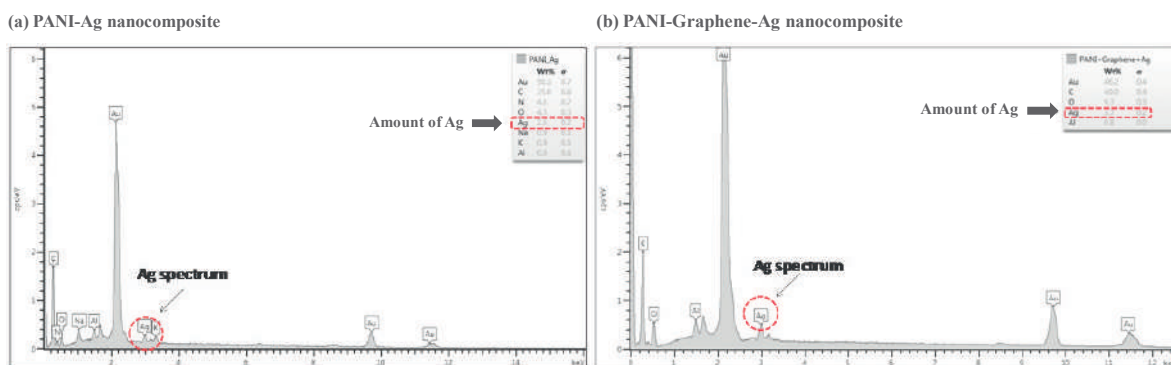


Figure 3 EDX spectra of gold electrode surface modified with PANI-Ag (a) and PANI-Graphene-Ag (b) nanocomposites.

Reproducibility of PANI Modified Electrode

The reproducibility of four PANI modified electrode was investigated using complementary target DNA in the concentration of 1.0×10^{-10} - 1.0×10^{-7} M that is shown in Figure 4. From the result, the sensitivities of four modified electrodes were found in the same range, indicating a good reproducibility with 1.0 of % RSD ($n = 4$).

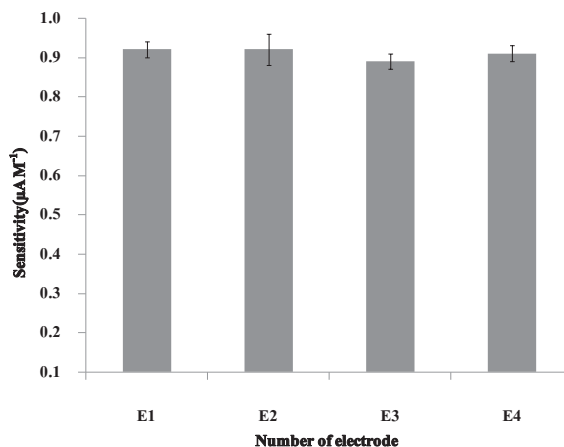


Figure 4 Sensitivities of PANI modified electrode ($n = 4$).

Sensitivities of the Modified Electrodes

The sensitivities (slopes of the calibration curve) of the four nanomaterial modified electrodes based on the hybridization with complementary target DNA (1.0×10^{-10} - 1.0×10^{-7} M) were studied. The highest sensitivity was obtained from the PANI-Graphene-Ag nanocomposite coated gold electrode surface, higher than PANI-Graphene, PANI-Ag and PANI by 6.7, 4.7 and 2.5 times, respectively. These results showed that the excellent electrical conductivity of PANI, graphene and silver nanoparticles in the nanocomposite modified gold electrode have contributed to the enhancement of the DNA biosensor sensitivity.

Optimization the Concentration of Silver Nitrate

In electrodeposition process, Ag^+ can be change to Ag^0 that is the silver nanoparticle with the unique electrical property. The concentration of silver nitrate was optimized with the concentration 0.01, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60 and 0.80 M. PNA-DNA hybridization was investigated using complementary target DNA in the concentration range of 1.0×10^{-10} - 1.0×10^{-7} M. From the result, silver nitrate 0.20 M provided the highest sensitivity (Figure 5).

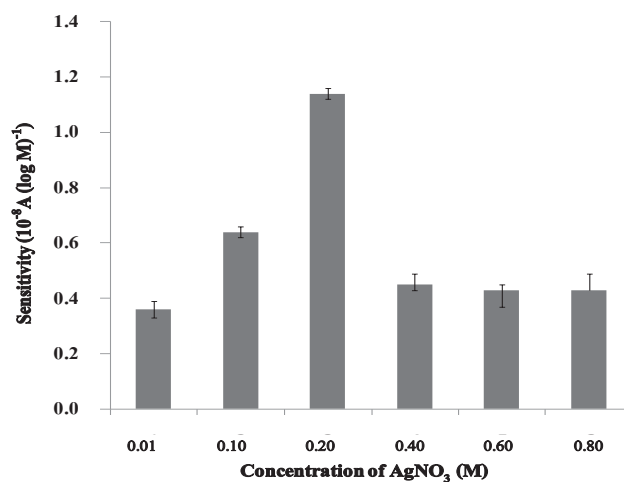


Figure 5 Comparison the sensitivities of PNA-DNA hybridization.

Reusability

The reusability of PANI-Graphene-Ag modified electrode was tested by analyzing the same concentration of target DNA (1×10^{-9} M). After hybridization, the regeneration step (dropped with 2 μ L of 0.05 M sodium hydroxide) was included in the analysis cycle. The residual activity (%) of immobilized PNA-AQ probe to its target after regeneration was calculated. The residual activity (%) was plotted against the number of hybridization (Figure 6). For the first 33 hybridization with DNA, the average residual activity was 97 ± 3 % (RSD = 3 %). After 34 regeneration cycles, the average residual activity reduced to 90%. The electrode surface was then tested by cyclic voltammetry. A flat voltammogram similar to one obtained after electrode preparation was observed. This confirmed that the film on the electrode surface was not destroyed by the frequent regeneration. The results indicated that the decrease of residual activity after being used several times.

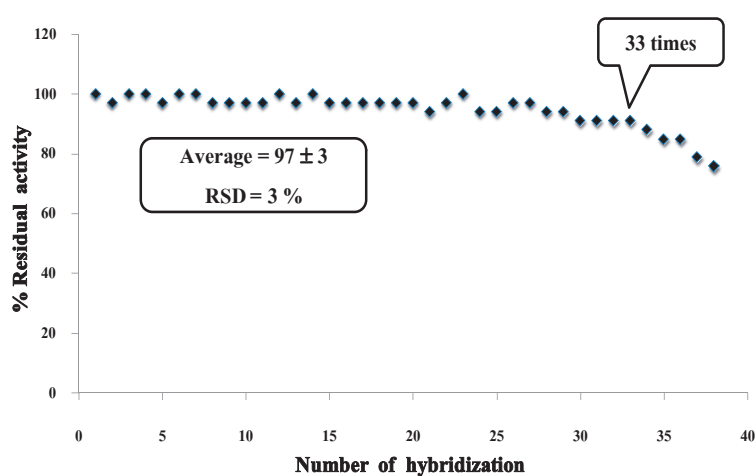


Figure 6 The relationship between residual activity and number of hybridization.

Hybridization Study with Target DNAs

Oxidation peak current from the electron transfer of AQ (acpcPNA-AQ probe) to the electrode surface was measured using DPV. In the absence of the synthetic target DNA, single-stranded acpcPNA-AQ probe can be closed to the electrode thus the electron transfer between the AQ and the electrode can easily occur, resulting in a high current. After PNA-DNA hybridization, the formation of the duplexes between the probes and the target DNAs made the probe structure more rigid. Therefore, the AQ at the end of the acpcPNA probe moved further away from the electrode surface resulting in the decrease of the response. For an example of the DPV responses that obtained from four concentrations of the target DNA (1.0×10^{-10} - 1.0×10^{-7} M) is shown in Figure 7. Without the target DNA the flexible acpcPNA-AQ probes provided the highest current (Figure 7 (a)). Upon hybridization between the probe and target DNA, the more rigid PNA-AQ/DNA duplex stands moved the tagged AQ away from the gold electrode surface resulting in the increased of the electron transfer distance between the AQ and the electrode surface which reduced the current (Figure 7 (b)-(e)).

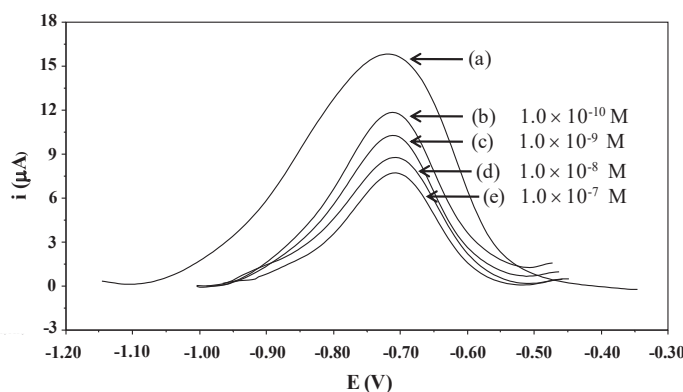


Figure 7 Voltammograms of DNA biosensor using acpcPNA-AQ probe (a) and the duplexes (b) – (e).

Discussion

A novel nanocomposite of polyaniline, graphene and silver nanoparticle (PANI-Graphene-Ag) has been successfully prepared and used for the modification of gold electrode based DNA biosensor using one-step of electrodeposition. Graphene and silver nanoparticle can substantially improve the electrical property and surface area of the modified electrode, leading to enhanced sensitivity of the DNA biosensor. To test the applicability of this sensor, PANI-Graphene-Ag modified gold electrode was used for the hybridization with complementary DNA that provided the highest sensitivity.

Conclusions

DNA affinity biosensor based on the acpcPNA-AQ probes immobilized on the nanomaterials modified gold electrode was successfully fabricated. The large surface area and good electrical conductivity of the nanomaterials provided an enhanced signal and sensitivity. Moreover, the one-step electrodeposition modified gold electrode surface is simple and rapid.

Acknowledgements

For the successful of this work, the author would like to thank Yala Rajabhat University (YRU); and Prof. Dr. Tirayut Vilaivan for providing the acpcPNA probes.

References

- [1] Kim, H.J. and Brehm-Stecher, B. F. (2015). "Design and Evaluation of Peptide Nucleic Acid Probes for Specific Identification of *Candida albicans*", **Journal of Clinical Microbiology**. 53, 511-521.
- [2] Wang, G.L., Liu, K.L., Shu, J-X., Gu, T.T., Wu, X.M., Dong, Y.M. and Li, Z-J. (2015). "A Novel Photoelectrochemical Sensor Based on Photocathode of PbS Quantum Dots Utilizing Catalase Mimetics of Bio-bar-coded Platinum Nanoparticle/G-quadruplex/Hemin for Signal Amplification", **Biosensors and Bioelectronics**. 69, 106-112.
- [3] Liao, W.C., Chuang, M.C. and Ho, J. A. (2013). "Electrochemical Sensor for Multiplex Screening of Genetically Modified DNA: Identification of Biotech Crops by Logic-Based Biomolecular Analysis", **Biosensors and Bioelectronics**. 50, 414-420.

- [4] Ölcner, Z., Esen, E., Ersoy, A., Budak, S., Kaya, D. S., Gök, M. Y., Barut, S., Üstek, D. and Uludag, Y. (2015). “Microfluidics and Nanoparticles Based Amperometric Biosensor for the Detection of Cyanobacteria (*Planktothrix agardhii* NIVA-CYA 116) DNA”, **Biosensors and Bioelectronics**. 70, 426-432.
- [5] Dubeau, L., Chandler, L. A., Gralow, J. R., Nichols, P. W. and Jones, P. A. (1986). “Southern Blot Analysis of DNA Extracted from Formalin-fixed Pathology Specimens”, **Cancer Research**. 46, 2964-2969.
- [6] Roe, I. H., Roe, J. H. and Lee, D. H. (1988). “Detection of Hepatitis B Virus DNA in Human Serum by Dot Hybridization Using a Biotin-Labelled Probe”, **The Korean Journal of Internal Medicine**. 3, 9-14.
- [7] Swiger, R. R. and Tucker, J. D. (1996). “Fluorescence In Situ Hybridization: A Brief Review”, **Environmental and Molecular Mutagenesis**. 27, 245-254.
- [8] Rice, D. J., German, T. L., Mau, R. F. L. and Fujimoto, F. M. (1990). “Dot Blot Detection of Tomato Spotted Wilt Virus RNA in Plant and Thrips Tissues by cDNA Clones”, **The American Phytopathological Society**. 74, 274-276.
- [9] Ulianas, A., Heng, L. Y., Ahmad, M., Lau, H.Y., Ishak, Z. and Ling, T. L. (2014). “A Regenerable Screen-Printed DNA Biosensor Based on Acrylic Microsphere-Gold Nanoparticle Composite for Genetically Modified Soybean Determination”, **Sensors and Actuators B**. 190, 694-701.
- [10] Cagnin, S., Caraballo, M., Guiducci, C., Martini, P., Ross, M., Santana, M., Danley, D., West, T. and Lanfranchi, G. (2009). “Overview of Electrochemical DNA Biosensors: New Approaches to Detect the Expression of Life”, **Sensors**. 9, 3122-3148.
- [11] Du, D., Guo, S., Tang, L., Ning, Y., Yao, Q. and Zhang, G.J. (2013). “Graphene-Modified Electrode for DNA Detection via PNA-DNA Hybridization”, **Sensors and Actuators B**. 186, 563-570.
- [12] Singh, R. P., Oh, B-K. and Choi, J.W. (2010). “Application of Peptide Nucleic Acid towards Development of Nanobiosensor Arrays”, **Bioelectrochemistry**. 79, 153-161.
- [13] Gong, P., Lee, C.Y., Gamble, L. J., Castner, D. G. and Grainger, D. W. (2006). “Hybridization Behavior of Mixed DNA/Alkylthiol Monolayers on Gold: Characterization by Surface Plasmon Resonance and ³²P radiometric Assay”, **Analytical Chemistry**. 78, 3326-3334.
- [14] Dalmolin, C., Canobre, S. C., Biaggio, S. R., Rocha-Filho, R. C. and Bocchi, N. (2005). “Electropolymerization of Polyaniline on High Surface Area Carbon Substrates”, **Journal of Electroanalytical Chemistry**. 578, 9-15.
- [15] Hejazi, M. S., Pournaghi-Azar, M. H. and Ahour, F. (2010). “Electrochemical Detection of Short Sequences of Hepatitis C 3a Virus Using a Peptide Nucleic Acid-Assembled Gold Electrode”, **Analytical Biochemistry**. 399, 118-124.
- [16] Li, J., Xie, H., Li, Y., Liu, J. and Li, Z. (2011). “Electrochemical Properties of Graphene Nanosheets/Polyaniline Nanofibers Composites as Electrode for Supercapacitors”, **Journal of Power Sources**. 196, 10775-10781.
- [17] Molina, A. and Morales, I. (2007). “Comparison Between Derivative and Differential Pulse Voltammetric Curves of EC, CE and Catalytic Processes at Spherical Electrodes and Microelectrodes”, **International Journal of Electrochemical Science**. 2, 386-405.

Session 3

ด้านฟิสิกส์ศึกษา ฟิสิกส์ประยุกต์ และวิศวกรรมศาสตร์



มาตรดัชนึหักเหแบบคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ใช้สมาร์ทโฟนเป็นฐาน

Surface Plasmon Resonance Refractometer Based on Smartphone Platforms

สวรรยา บุญช่วย¹ สุภลักษณ์ อำลอย² และปกรณ์ ปรีชาบุรณะ^{3*}
Sawanya Boonchuay¹, Supaluck Amloy² and Pakorn Preechaburana^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอมาตรดัชนึหักเหแบบคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ใช้สมาร์ทโฟนเป็นฐาน ซึ่งมีหลักในการออกแบบโดยการจัดแสงจากหน้าจอสมาร์ทโฟนให้มีลักษณะคล้ายพัดเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้กล้องหน้าของสมาร์ทโฟนเป็นตัวตรวจวัด อุปกรณ์ทางแสงซึ่งสร้างจากอีพ็อกซีเรซินเป็นแบบรวมเลนส์และปริซึมเข้าเป็นชิ้นเดียวกัน ในการทดลองได้ทดสอบประสิทธิภาพของมาตรดัชนึหักเหที่สร้างขึ้นด้วยการตรวจวัดสารละลายซูโครสในน้ำ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0 % ถึง 20 % โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเลื่อนตำแหน่งของมุมเรโซแนนซ์เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นตามค่าความเข้มข้นของสารละลายซูโครส โดยมีค่าความไวเท่ากับ 2.094 Int/Brix และค่าความละเอียดของการวัดความหวานเท่ากับ 0.06 Brix นอกจากนี้มาตรดัชนึหักเหที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดค่าความหวานของน้ำอัดลม น้ำผลไม้ เครื่องดื่มชูกำลังและเครื่องดื่มเกลือแร่ได้ด้วย โดยมีค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือมาตรฐานไม่เกิน 3 %

คำสำคัญ: มาตรดัชนึหักเห คลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ สมาร์ทโฟน ค่าบริกซ์

Abstract

In this research, we demonstrate the surface plasmon resonance (SPR) refractometer based on smartphone platforms. The principle design of this SPR refractometer was configured to use a fan-shaped beam from smartphone screen as a light source and front phone camera as a detector. The optical element used in this system is a single integrated device, fabricated by the epoxy resin. The performance of the smartphone-based SPR refractometer was evaluated by detecting the sucrose/water solutions with different concentrations ranging from 0 % to 20 % by weight. The results show that the shift of resonance angle increases linearly with the sucrose concentration. The sensitivity and Brix value resolution of this SPR refractometer are 2.094 Int/Brix and 0.06 Brix, respectively. Moreover, this SPR refractometer could be used to determine the Brix value of commercial soft drink, fruit juices, energy drink and sports drink with the maximum error less than 3 % from standard refractometer.

Keywords: Refractometer, Surface Plasmon Resonance, Smartphone, Brix Value

¹ นักศึกษาปริญญาโท, สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

² อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

¹ Graduate Student, Master Degree, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathumthani, 12121

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

³ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathumthani, 12121

* Corresponding author: Tel.: 02-5644440 ext. 2500. E-mail address: ppakorn@tu.ac.th

บทนำ

มาตรดัชนีหักเห (Refractometer) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงที่สามารถวัดค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ของสารตัวอย่างได้ โดยเป็นเครื่องมือที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมอาหารเพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่างและวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย ได้แก่ น้ำ อะซิโตน เฮกเซน และเครื่องดื่มได้ [1] และสามารถตรวจสอบปริมาณน้ำตาลในผลไม้สำหรับผลิตผลทางการเกษตรได้ด้วย [2] นอกจากนี้ยังสามารถใช้มาตรดัชนีหักเหกับตัวอย่างทางชีวภาพโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของของเหลว ได้แก่ ปริมาณกลูโคสในเลือด ซึ่งสามารถบ่งชี้การเป็นโรคเบาหวานได้ [3]

เทคนิคคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเอสพีอาร์ (Surface Plasmon Resonance, SPR) เป็นเทคนิคเชิงแสงที่มีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของสารที่ผิวของเซนเซอร์ โดยสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในระดับ 10^{-6} ของค่าหน่วยดัชนีหักเห (Refractive Index Unit; RIU) และที่สำคัญเอสพีอาร์เป็นเทคนิคที่ไม่จำเป็นต้องใช้โมเลกุลติดฉลาก (Label-Free) [4] ช่วยในการตรวจวัดเหมือนกับเทคนิคเอลลีซา (ELISA) หรือ ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) ทำให้สามารถลดขั้นตอนและความยุ่งยากในการตรวจวัดลงได้ ด้วยเหตุนี้เทคนิคเอสพีอาร์จึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยหลายๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบคุณภาพและปริมาณสารเคมีในอุตสาหกรรมอาหารและในผลิตภัณฑ์การเกษตร การตรวจวิเคราะห์สารชีวเคมีหรือตรวจหาเชื้อโรคในทางการแพทย์ [5] เป็นต้น นอกจากนี้เทคนิคเอสพีอาร์ยังได้ใช้สำหรับการวัดค่าดัชนีหักเหในของเหลวด้วย [6]

จากการศึกษาเครื่องเอสพีอาร์ทั้งในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเครื่องมือที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ พบว่าเครื่องมือส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเครื่องขนาดใหญ่สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ [7-8] ซึ่งเป็นเครื่องเอสพีอาร์ที่มีความละเอียดสูง อย่างไรก็ตามเครื่องมือดังกล่าวมีราคาสูงมาก มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และไม่สะดวกในการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังมีการประกอบที่ซับซ้อนจึงต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการบำรุงรักษา ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องเอสพีอาร์ที่มีขนาดเล็กลง มีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อนโดยจะออกแบบให้สามารถใช้งานได้บนสมาร์ตโฟน

ในปัจจุบันนี้คนทั่วไปมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานและโรคหัวใจซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมการบริโภคของหวาน ทั้งนี้เพื่อสุขภาพที่ดีสำหรับผู้ใหญ่และเด็ก องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้แนะนำการบริโภคการบริโภคน้ำตาลซึ่งไม่ควรเกิน 25 กรัมต่อวัน [9] ในขณะที่การบริโภคน้ำตาลในรูปแบบของเครื่องดื่มที่มีความหวาน ได้แก่ น้ำอัดลม น้ำผลไม้ เครื่องดื่มชูกำลัง และเครื่องดื่มเกลือแร่ ได้ทำให้ปริมาณการบริโภคน้ำตาลสูงเกินกว่าที่องค์การอนามัยโลกได้แนะนำไว้ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคได้

จากพฤติกรรมการบริโภคน้ำตาลของคนไทยดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างสรรค์นวัตกรรมมาตรดัชนีหักเหที่อาศัยเทคนิคเอสพีอาร์ โดยออกแบบให้สามารถทำงานบนสมาร์ตโฟนได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงประสิทธิภาพของสมาร์ตโฟนที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งความสามารถของตัวประมวลผล ความละเอียดของหน้าจอ ความละเอียดของกล้องถ่ายภาพ ความสามารถในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ยังมาพร้อมกับตัวเซนเซอร์หลายๆ แบบที่พร้อมใช้งาน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้สมาร์ตโฟนเป็นมาตรดัชนีหักเหที่อาศัยเทคนิคเอสพีอาร์ ที่ใช้แสงจากหน้าจอสมาร์ตโฟนเป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้กล้องถ่ายภาพด้านหน้าของสมาร์ตโฟนเป็นอุปกรณ์ตรวจวัด โดยจะออกแบบอุปกรณ์เชิงแสงขึ้นมาใหม่โดยรวมปริซึมและเลนส์เข้าเป็นชิ้นเดียวกัน โดยใช้การสร้างต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และหล่อแบบบิโอฟอซซิล เพื่อให้สามารถใช้งานเป็นมาตรดัชนีหักเหแบบคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์บนสมาร์ตโฟนได้ ซึ่งวิธีดังกล่าวสะดวกกว่าและมีคุณภาพดีกว่าการสร้างปริซึมและเลนส์แบบแยกชิ้นและนำมาติดกาวยหลังตามวิธีการในเอกสารอ้างอิง [10] และจะทดสอบมาตรดัชนีหักเหที่สร้างขึ้นด้วยการวัดค่าความหวานของเครื่องดื่มด้วย

วิธีการดำเนินการ

การออกแบบอุปกรณ์เชิงแสง

ผู้วิจัยได้ออกแบบปริซึมและอุปกรณ์เชิงแสง ให้สามารถทำงานได้ตามหลักการของเครื่องเอสพีอาร์ โดยจะจัดให้ลำแสงที่เป็นแสงโพลาไรซ์แบบขนาน (P-Polarized Light) จากหน้าจอสมาร์ทโฟนเข้าไปตกกระทบที่ผิวโลหะ ด้วยมุมตกกระทบที่มากกว่าค่ามุมวิกฤติระหว่างกระจกสไลด์และของเหลว ($\theta_c > 62^\circ$) จนเกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง กลับออกมาที่อีกด้านหนึ่งของปริซึม แล้วจึงทำการถ่ายภาพด้วยกล้องหน้าของสมาร์ทโฟน เพื่อบันทึกข้อมูลการวัดสัญญาณ เอสพีอาร์แบบภาพ และจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่บันทึกได้ต่อไป วิธีในการออกแบบตัวปริซึมนั้น ผู้วิจัยได้จำลองการทำงานของตัวปริซึมด้วยโปรแกรม Raytrace ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบทางแสงแบบ 2 มิติ โดยตัวโปรแกรมจะคำนวณทิศทางหักเหของแสงตามกฎของสเนลล์ (Snell's Law)

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้แหล่งกำเนิดแสงมีความยาวคลื่นเดียว (630 nm) แล้วเปลี่ยนค่าดัชนีหักเห ค่ามุมตกกระทบและมุมหักเห ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ ความสูงและขนาดของอุปกรณ์ทุกตัวในแบบจำลอง จนได้ลำแสงที่มีลักษณะคล้ายพัด (Fan-Shaped Beam) ตกกระทบกับผิวของโลหะด้วยมุมตกกระทบตั้งแต่ 69° – 80° แล้วเกิดการสะท้อนกลับหมดและสามารถหักเหเข้าไปในกล้องหน้าของสมาร์ทโฟนได้ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยทราบค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับสร้างปริซึมและอุปกรณ์เชิงแสงทุกตัวได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยจะผนวกอุปกรณ์ทุกตัวให้เป็นชิ้นเดียวกัน โดยให้มีระยะห่างถูกต้องตามค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Raytrace

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ทุกตัวที่จำเป็นจากโปรแกรม Raytrace แล้วผู้วิจัยได้ทำตัวแม่แบบสำหรับการหล่อเรซินเพื่อทำปริซึมจากวัสดุที่เป็นอีพ็อกซีแบบใส โดยผู้วิจัยได้ออกแบบตัวแม่แบบโดยใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Autodesk Fusion 360) ตามขนาดและรูปทรงตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรม Raytrace จากนั้นจึงพิมพ์ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Flashforge Creator X) จากนั้นนำตัวต้นแบบไปสร้างโมลด้วยซิลิโคนเพื่อใช้หล่อแบบอีพ็อกซีใส จนได้ปริซึมสำหรับมาตรฐานหักเหที่มีความใส พร้อมนำไปใช้ทดสอบหาค่าความไวและค่าความละเอียดของเครื่องมือต่อไป

ทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้น

ทำการทดสอบมาตรฐานหักเหกับสารตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบค่าดัชนีหักเหเพื่อหาค่าความไว (Sensitivity) และค่าความละเอียด (Resolution) ของเครื่องมือที่สร้างขึ้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

หาค่าความไวของเครื่องมือ

1. เตรียมสารละลายซูโครสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ จำนวน 11 ค่า โดยมีค่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของซูโครสต่อน้ำเท่ากับ 0 % 2 % 4 % 6 % 8 % 10 % 12 % 14 % 16 % 18 % และ 20 % ตามลำดับ ซึ่งทราบค่าดัชนีหักเหและค่าความหวาน (Brix Value) จากการวัดด้วยมาตรฐานหักเหมาตรฐาน (Standard Refractometer Abbe-2WJ) ที่อุณหภูมิ 26.3°C โดยได้แสดงค่าดัชนีหักเหและค่าความหวานในตารางที่ 1

2. ทดสอบมาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้นด้วยการหยดสารละลายซูโครสลงบนฟิล์มโลหะที่อยู่บนปริซึมที่สร้างขึ้น จากนั้นจึงถ่ายภาพของสัญญาณที่ได้เพื่อวิเคราะห์สัญญาณเอสพีอาร์ต่อไป

3. วิเคราะห์หาค่าความไวของเครื่องมือจากผลการทดลองที่ได้ในข้อที่ 2 โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของสัญญาณเอสพีอาร์กับค่าความหวานของสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้น 0-20 % ทั้งนี้ค่าความไวของมาตรฐานหักเหมีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีหักเหและค่าความหวานของสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นโดยน้ำหนักตั้งแต่ 0-20 %

ความเข้มข้นของสารละลายซูโครส (W/W %)	ค่าดัชนีหักเห	ค่าความหวาน (% Brix)
0	1.3335	1.75
2	1.3380	3.50
4	1.3400	4.95
6	1.3435	7.00
8	1.3440	7.50
10	1.3455	8.50
12	1.3480	10.25
14	1.3500	11.50
16	1.3520	12.50
18	1.3540	14.00
20	1.3560	15.25

หาค่าความละเอียดของเครื่องมือ

ในการหาค่าความละเอียดของมาตรฐานหักเหได้วิเคราะห์จากระดับความเข้มของสัญญาณเอสพีอาร์ที่น้อยที่สุดที่ไม่ใช่สัญญาณรบกวน (Noise) จากภาพถ่ายสัญญาณเอสพีอาร์ แล้วจึงคำนวณหาค่าความละเอียดของเครื่องมือโดยอาศัยค่าความไวของเครื่องมือ

ทดสอบวัดความหวานของเครื่องดื่ม

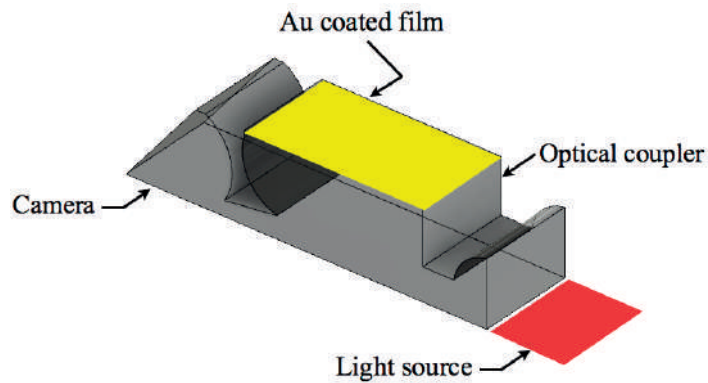
เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของมาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้ทดลองวัดค่าความหวานของเครื่องดื่ม ได้แก่ น้ำอัดลม (สไปรท์) น้ำผลไม้ (น้ำทับทิมบรรจุกล่องยี่ห้อ Tipco) เครื่องดื่มชูกำลัง (M150) และเครื่องดื่มเกลือแร่ (สไปนเซอร์)

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการออกแบบและสร้างปริซึมและอุปกรณ์เชิงแสง

ผู้วิจัยได้จำลองการทำงานของตัวปริซึมด้วยโปรแกรม Raytrace โดยตัวโปรแกรมจะคำนวณทิศทางหักเหของแสงตามกฎของสเนลล์ ผู้วิจัยได้กำหนดให้แหล่งกำเนิดแสงในโปรแกรมมีค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 630 nm และให้ค่าดัชนีหักเหของตัวปริซึมมีเท่ากับ 1.517 ซึ่งทราบค่าจากการวัดค่าดัชนีหักเหของอีพ็อกซีใสด้วยมาตรฐานหักเหมาตรฐาน (Abbe-2WAI) แล้วจึงสร้างเลนส์ที่มีขนาดและรัศมีความโค้งแตกต่างกันจนทำให้ลำแสงจากหน้าจอสมาร์ตโฟนให้เป็นลำแสงลักษณะคล้ายพัดไปตกกระทบที่ผิวของฟิล์มทองด้วยมุมตกกระทบตั้งแต่ 69°-80°

เมื่อผู้วิจัยทราบขนาด รูปทรงและสัดส่วนของปริซึมจากโปรแกรม Raytrace แล้วจึงได้ออกแบบตัวต้นแบบโดยใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Autodesk Fusion 360) ดังแสดงในภาพที่ 1 แล้วจึงพิมพ์ต้นแบบด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Flashforge Creator X) จากนั้นนำตัวต้นแบบไปสร้างโมลด้วยซิลิโคนเพื่อใช้หล่อแบบอีพ็อกซีใส จนได้ปริซึมสำหรับมาตรฐานหักเหที่รวมเลนส์และปริซึมเข้าเป็นชิ้นเดียวกัน ทำให้มีข้อดีเหนือกว่าวิธีการประกอบเลนส์แต่ละชิ้นเข้าด้วยกันเหมือนกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [8]

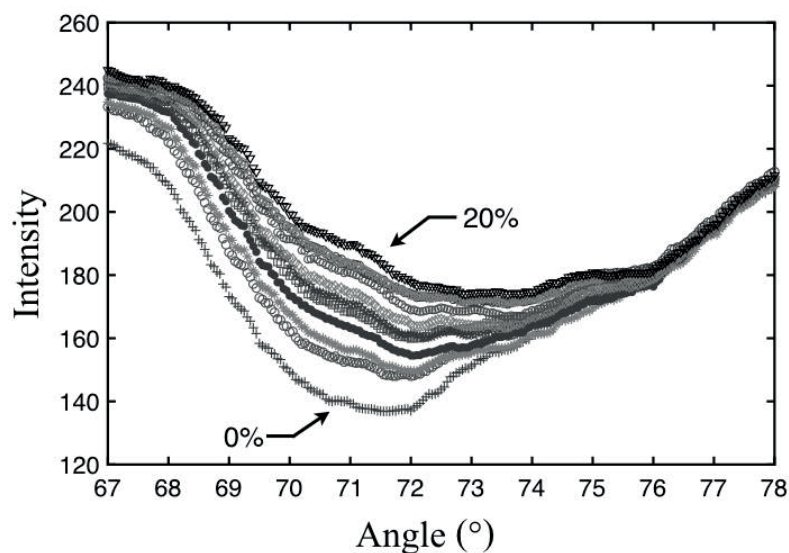


ภาพที่ 1 แผนภาพ 3 มิติของอุปกรณ์เชิงแสงที่ออกแบบโดยให้แสงจากหน้าจอสมาร์ทโฟนเป็นแหล่งกำเนิดแสง และมีกล้องหน้าจอสมาร์ทโฟนเป็นตัวบันทึกสัญญาณ

ผลการทดสอบมาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้น

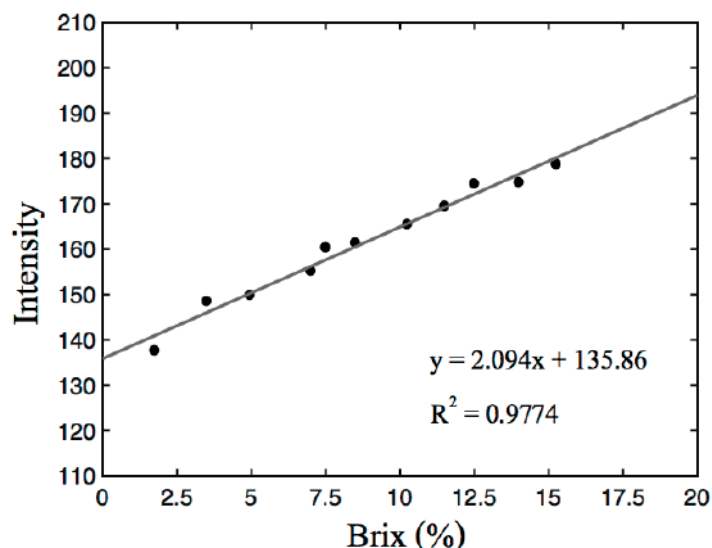
ผลการหาค่าความไวของมาตรฐานหักเห

ตำแหน่งมุมเรโซแนนซ์ของสัญญาณเอสพัวร์ (θ_{SPR}) คือตำแหน่งที่ค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกจากฟิล์มทองมีค่าต่ำสุด และเป็นตำแหน่งที่ใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของสารละลายที่อยู่บนผิวของฟิล์มทอง ภาพที่ 2 ได้แสดงให้เห็นถึงสัญญาณเอสพัวร์ที่ได้จากการวิเคราะห์จากภาพถ่ายด้วยสมาร์ทโฟนเมื่อใช้มาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้นวัดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของสารละลายซูโครสในน้ำที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0 % ถึง 20 % โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งมุมเรโซแนนซ์ของสัญญาณเอสพัวร์มีการเลื่อนตำแหน่งไปยังค่ามุมที่มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายซูโครสมีค่าสูงขึ้น



ภาพที่ 2 สัญญาณเอสพัวร์ที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มข้นของสารละลายซูโครสตั้งแต่ 0 % ถึง 20 %

เมื่อทราบค่าความหวานในหน่วยบริกซ์ของสารละลายซูโครส จึงสามารถพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณเอสพัวร์กับค่าความหวานดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งพบว่าเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นมีค่าสมการเป็น $y = 2.904x + 135.86$ เมื่อ y แทนค่าความเข้มของสัญญาณเอสพัวร์ และ x แทนค่าความหวานของสารละลายซูโครสในหน่วยบริกซ์ สมการเส้นตรงนี้ได้ใช้เป็นสมการเทียบมาตรฐาน (Standard Calibration Equation) สำหรับประยุกต์มาตรฐานที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องวัดความหวาน โดยที่ค่าความชันของกราฟคือค่าความไวของมาตรฐานหักเหซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.904 int/Brix



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของความเข้มสัญญาณเอสพัวร์กับค่าความหวานของสารละลายซูโครส

ผลการหาค่าความละเอียดของมาตรดัชนีหักเห

ค่าความละเอียดของมาตรดัชนีหักเหหาได้จากการวัดระดับความเข้มของสัญญาณเอสพัวร์ต่ำสุดที่มากกว่าระดับสัญญาณรบกวน (Noise Level) ซึ่งจากการทดลองระดับความเข้มต่ำสุดของสัญญาณเอสพัวร์ที่หาได้จากการหาค่าความระดับความเข้มจากภาพถ่ายในแบนด์ค่าของสีแดงมีค่าเท่ากับ 0.07 % ของระดับความเข้มของสัญญาณสูงสุด (มีค่าเท่ากับ 255) ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความละเอียดของมาตรดัชนีหักเหที่สร้างขึ้นจากการคำนวณโดยใช้ค่าความไวทำให้ได้ค่าความละเอียดของมาตรดัชนีหักเหมีค่าเท่ากับ 0.06 Brix

ตารางที่ 2 ผลการวัดความหวานของเครื่องดื่ม

เครื่องดื่ม	ค่าความเข้มของ สัญญาณเอสพัวร์	ค่าความหวานที่วัด โดยเครื่องที่สร้างขึ้น (% Brix)	ค่าความหวานที่วัด โดยเครื่องมาตรฐาน (% Brix)	เปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาด (%)
สไปรท์	179.08	14.88	15.30	2.75
น้ำทับทิม	174.77	13.40	13.59	1.40
M150	191.59	19.19	19.20	0.05
สปอนเซอร์	176.64	14.04	14.20	1.23

ผลการวัดค่าความหวานของเครื่องดื่ม

เมื่อนำมาตรดัชนีหักเหที่สร้างขึ้นไปทดสอบการวัดความหวานของเครื่องดื่ม ได้แก่ น้ำอัดลม (สไปรท์) น้ำผลไม้ (น้ำทับทิมบรรจุกล่องยี่ห้อ Tipco) เครื่องดื่มชูกำลัง (M150) และเครื่องดื่มเกลือแร่ (สปอนเซอร์) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการวัดค่าความหวานจากมาตรดัชนีหักเหที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาดจากเครื่องมาตรฐาน (Abbe-2WAJ) ไม่เกิน 3 % และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรดัชนีหักเหที่สร้างขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน พบว่ามาตรดัชนีที่สร้างขึ้นมีค่าค่าความละเอียดของการวัดค่าความหวานในหน่วยปริกซ์ (0.06 ปริกซ์) ใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน (0.05 ปริกซ์) ซึ่งยืนยันได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีคุณภาพในระดับเดียวกับเครื่องมือมาตรฐาน

แต่มาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้นมีราคาถูกกว่า ขนาดเล็กกว่า น้ำหนักน้อยกว่า จึงมีความเหมาะสมในเรื่องของการเป็น
เครื่องวัดความหวานแบบพกพาสำหรับนำไปใช้วัดค่าความหวานของเครื่องดื่มนอกห้องปฏิบัติการได้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างมาตรฐานหักเหแบบคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ทำงาน
บนสมาร์ตโฟน เพื่อประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดความหวานของเครื่องดื่ม โดยสามารถตรวจวัดจากค่าดัชนีหักเหของ
สารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยมีหลักการในการออกแบบที่สำคัญคือต้องสามารถใช้แสงจากหน้าจอสมาร์ตโฟน
เป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้กล้องหน้าของสมาร์ตโฟนเป็นตัวตรวจวัดได้ มาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้นทำงานได้โดยอาศัย
อุปกรณ์ทางแสงที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยรวมปริซึมและเลนส์เข้าเป็นชิ้นเดียวกัน ทำให้มีขนาดที่เล็กลงมากจึงสามารถ
ใช้งานบนสมาร์ตโฟนได้

จากผลการวิจัยเมื่อทำการทดสอบมาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้นโดยทำการวัดสารละลายซูโครสในน้ำที่ความ
เข้มข้นโดยน้ำหนัก 0-20 % ได้ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มของสัญญาณเอสพีอาร์กับค่าดัชนีหักเหของสารละลาย
ซูโครสที่เป็นลักษณะเชิงเส้น สามารถใช้สมการเส้นตรงที่ได้คำนวณหาความไวและค่าความละเอียดของมาตรฐานที่
สร้างขึ้นซึ่งมีค่า 2.904 Int/Brix และ 0.06 Brix ตามลำดับ และเมื่อนำไปทดสอบวัดค่าความหวานของเครื่องดื่ม พบว่ามี
ค่าความผิดพลาดจากเครื่องมาตรฐานไม่เกิน 3 %

มาตรฐานหักเหที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีค่าความละเอียดใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน แต่มีราคาต้นทุนถูกกว่า
มาก และมีขนาดเล็กเหมาะกับการพกพาไปใช้นอกห้องปฏิบัติการได้ ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงมีประโยชน์ต่อ
ยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศในแง่ของการสร้างนวัตกรรมของมาตรฐานหักเหที่สามารถทำงานบนสมาร์ตโฟนได้ ซึ่ง
สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ ด้าน ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม
และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภายใต้ทุนวิจัยเพื่อพัฒนา
สิ่งประดิษฐ์ ตามสัญญาเลขที่ สป 4/2556 และทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและ
พัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] Castritius, S., Kron, A., Schäfer, T., Rädle, M. and Harms, D. J. (2010). “Determination of Alcohol and Extract
Concentration in Beer Samples Using a Combined Method of Near-Infrared (NIR) Spectroscopy and
Refractometry”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 58, 12634-12641.
- [2] Waes, C. V., Baert, J., Carlier, L. and Bockstaele, E. V. (1998). “A Rapid Determination of the Total Sugar
Content and the Average Inulin Chain Length in Roots of Chicory (*Cichorium Intybus* L)”, **Journal of
the Science of Food and Agriculture**. 76, 107-110.
- [3] Green, M. D., Nettey, H., Rojas, O. V., Pamanivong, C., Khounsaknalath, L., Ortiz, M. G., Newton, P. N.,
Fernández, F. M., Vongsack, L. and Manolin, O. (2007). “Use of Refractometry and Colorimetry as Field
Methods to Rapidly Assess Antimalarial Drug Quality”, **Journal of Pharmaceutical and Biomedical
Analysis**. 43, 105-110.

- [4] Homola, J., Yee, S. S. and Gauglitz, G. (1999). “Surface Plasmon Resonance Sensors: Review”, **Sensors and Actuators B**. 54, 3-15.
- [5] Matsubara, K., Kawata, S. and Minami, S. (1988). “Optical Chemical Sensor Based on Surface Plasmon Measurement”, **Applied Optics**. 27, 1160-1163.
- [6] Kano, K. and Kawata, S. (1995). “Grating-Couple Surface Plasmon for Measuring the Refractive Index of a Liquid Sample”, **Japanese Journal of Applied Physics**. 34, 331-335.
- [7] Vala, M., Chadt, K., Piliarik, M. and Homola, J. (2010). “High-Performance Compact SPR Sensor for Multi-Analyte Sensing”, **Sensors and Actuators B**. 148, 544-549.
- [8] GE Healthcare. (2007). **Biacore 3000 Instrument Handbook** (Online). Retrieved 21 June 2018, from <https://timothyspringer.org/files/tas/files/biacore3000-instrument.pdf>.
- [9] Lindmeier, C. and Davies, O. L. (2016). **WHO Call on Countries to Reduce Sugar Intake Among Adults and Children** (Online). Retrieved on 10 March 2018, from <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/sugar-guideline/en/>.
- [10] Preechaburana, P., Gonzalez, M., Suska, A. and Filippini, D. (2012). “Surface Plasmon Resonance Sensing on Cell Phones”, **Angewandte Chemie International Edition**. 51, 11585-11588.

การพัฒนารามานสเปกโตรสโคปแบบส่งผ่านสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

Development of a Transmission Raman Spectroscope for Chemical Analysis

ปิยะวัฒน์ แก้วใจจง¹ ศุภลักษณ์ อำลอย² และปกรณ์ ปรีชาบุรณะ^{3*}
Piyawat Kaewjaijong¹, Supaluck Amloy² and Pakorn Preechaburana^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างเครื่องรามานสเปกโตรสโคปแบบส่งผ่านซึ่งพัฒนาให้เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี เครื่องรามานสเปกโตรสโคปที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วยเลเซอร์แสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 532 nm และมีกำลังแสง 20 mW ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง แผ่นกรองแสงทำหน้าที่บล็อกแสงที่มีความยาวคลื่นที่ 532 nm และเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา (Avantes, AvaSpec-ULS3648) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัด ในการทดลองได้แบ่งสารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของแข็ง (อะคริลิก และ โพลีไดเมทิลซิลอกเซน) และกลุ่มของเหลว (ไลโมนีน และเอทานอล) สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ผลการทดลองสอดคล้องกับค่ามาตรฐานเป็นอย่างดี และสามารถใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารละลายเอทานอลในน้ำที่มีความเข้มข้นโดยปริมาตรเท่ากับ 12.5 % 25.0 % 37.5 % 50.0 % 62.5 % 75.0 % และ 100 % ได้ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเครื่องรามานสเปกโตรสโคปที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นเครื่องตรวจวิเคราะห์ทางเคมี

คำสำคัญ: เครื่องรามานสเปกโตรสโคป รามานสเปกโตรสโคปแบบส่งผ่าน การวิเคราะห์ทางเคมี

Abstract

In this research, we have demonstrated the construction of a compact transmission Raman spectroscope that has been developed for determination of chemical analysis. The system consists of a green laser emitting 20 mW of 532 nm radiation used for excitation, a notch filter for blocking light around 532 nm and a portable spectrometer (Avantes, AvaSpec-ULS3648) for detection. Several different samples including both solids (acrylic and polydimethylsiloxane) and liquid (limonene and ethanol) are qualitatively tested using our instrument and the results are in good agreement with literature data. The quantitative analysis of the water-ethanol binary mixture with various volume concentrations (12.5 %, 25.0 %, 37.5 %, 50.0 %, 62.5 %, 75.0 % and 100 %) has also demonstrated. From the results, a reliable Raman detection capability for chemical analysis is readily apparent.

Keywords: Raman Spectroscope, Transmission Raman Spectroscopy, Chemical Analysis

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

² อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

¹ Graduate Student, Master Degree, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathumthani, 12121

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

³ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathumthani, 12121

* Corresponding author: Tel.: 02-5644440 ext. 2500. E-mail address: ppakorn@tu.ac.th

บทนำ

ปรากฏการณ์รามาน (Raman Phenomena) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Sir C.V. Raman และได้ตีพิมพ์ผลงานของการค้นพบนี้ในวารสารวิจัย Nature เมื่อปี ค.ศ. 1928 [1] และต่อมาได้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อทำความเข้าใจทั้งกลไกทฤษฎีเบื้องหลัง และการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นี้ จนได้มีการพัฒนาเทคนิครามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy) เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ชนิดของวัสดุ (Qualitative Analysis) ที่ใช้เวลานิรนววจวิเคราะห์สารน้อยทำให้สามารถตรวจวัดได้แบบเวลาจริง (Real Time Detecton) อีกทั้งยังใช้สารตัวอย่างน้อยสามารถใช้ตรวจวัดสารตัวอย่างที่เป็นแก๊ส ของเหลวและของแข็งได้ [2] นอกจากนี้เทคนิครามานสเปกโตรสโคปียังมีข้อดีเหนือกว่าเทคนิคสเปกโตรสโคปีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Absorption Spectroscopy, NIR) ตรงที่สามารถใช้ตรวจวัดสารที่มีส่วนผสมของน้ำได้ เนื่องจากสัญญาณรามานไม่ถูกดูดกลืนด้วยน้ำเหมือนที่เกิดขึ้นกับเทคนิค NIR [3]

เทคนิครามานสเปกโตรสโคปีได้ถูกพัฒนาให้มีการประมวลผลที่สามารถจัดการกระเจิงแสงของบรรจุนัฒ์โปร่งใสออกไป เช่น แก้วหรือพลาสติก และได้นำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อาทิ การวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของวัสดุ หรือวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมีของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ วิเคราะห์โครงสร้างผิวของแผ่นเวเฟอร์เพื่อหาร่องรอยความเสียหาย การจำแนกวัตถุพยานหรือจำแนกยาเสพติดในงานด้านอาชญากรรม วิเคราะห์องค์ประกอบของยา ใช้พิสูจน์หรือจำแนกยาชนิดต่างๆ ใช้หาสารพิษในน้ำ และยังสามารถจำแนกประเภทของอัญมณีหรือหาสิ่งปนเปื้อนในเนื้ออัญมณีได้อีกด้วย [4] ดังนั้นเทคนิครามานสเปกโตรสโคปีจึงเป็นเทคนิคที่มีความน่าสนใจในการใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี

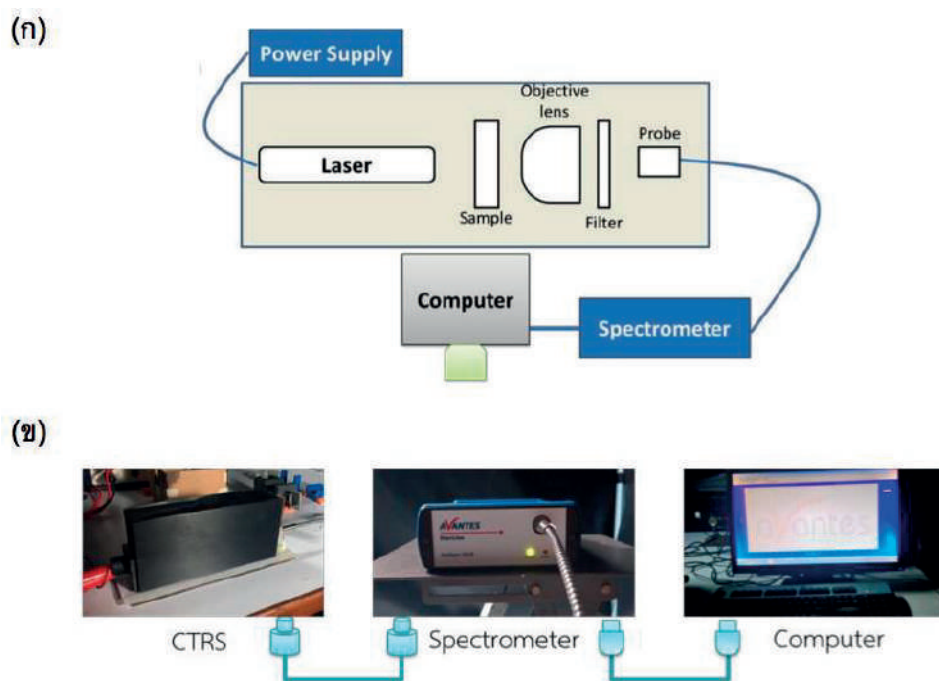
เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman Spectrometer) ที่มีขายเชิงพาณิชย์มีราคาของเครื่องมือที่สูงมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างเครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์เพื่อการตรวจวัดทางเคมีขึ้นใช้เองในประเทศ โดยให้น้ำหนักเบา สามารถพกพาไปใช้นอกห้องปฏิบัติการได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาให้เป็นเครื่องรามานสเปกโตรสโคปีแบบส่งผ่าน (Transmission Raman Spectroscopy) โดยเล็งเห็นถึงข้อดีของการวัดแบบส่งผ่านที่สามารถตรวจวิเคราะห์สัญญาณจากเนื้อสารทั้งก้อน (Bulk Material) ได้ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับรามานสเปกโตรสโคปีแบบสะท้อนกลับ (Backscattering Raman Spectroscopy) ซึ่งแสงเลเซอร์ที่ใช้กระตุ้นจะเข้าไปในเนื้อของสารแค่บริเวณที่ผิวเท่านั้น โดยเป็นแค่ส่วนหนึ่งของปริมาตรของเนื้อสารทั้งก้อน [5] และเมื่อต้องการวัดสารตัวอย่าง เช่น เม็ดยา ที่มีความไม่สม่ำเสมอของเนื้อสารทั้งก้อน จะทำให้สัญญาณรามานที่วัดได้เกิดการผิดพลาดได้ [6] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องรามานสเปกโตรสโคปีแบบส่งผ่าน โดยอาศัยสเปกโตรมิเตอร์มาตรฐาน และจะทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องด้วยการตรวจวัดทั้งตัวอย่างที่เป็นของแข็งและของเหลว ซึ่งสามารถทดสอบได้ทั้งแบบเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

วิธีการดำเนินการ

การสร้างเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี

ผู้วิจัยออกแบบเครื่องรามานสเปกโตรสโคปีแบบส่งผ่านตามภาพที่ 1(ก) โดยมีแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์สีเขียวที่มีความยาวคลื่น 532 nm และมีความเข้มแสง 20 mW ส่งผ่านวัตถุตัวอย่าง (Sample) เพื่อกระตุ้นให้เกิดสัญญาณรามานส่งผ่านเข้าไปในเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) จากนั้นใช้ฟิลเตอร์กรองแสงสีเขียว (Notch Filter) เพื่อกรองแสงเลเซอร์ออกจากสัญญาณรามานที่ได้จากวัตถุตัวอย่าง เลนส์ที่ติดอยู่กับหัวโพรบจะโฟกัสแสงเข้าสายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Cable) ที่ต่อเข้ากับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Avantes รุ่น Avanspec-3648) สัญญาณรามานจากการวัดจะส่งผ่านสาย USB ที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณดังภาพที่ 1(ข)

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบแท่นวางอุปกรณ์ที่สร้างจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกติดตั้งเลเซอร์ ส่วนที่สองติดตั้งเลนส์ไกสส์วัตถุ ฟิลเตอร์กรองแสงและเลนส์ที่ใช้โฟกัสแสงเข้าสายใยแก้วนำแสง และมีส่วนที่ใช้วางวัตถุตัวอย่างไว้ตรงกลาง โดยที่แท่นวางอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้จะทำให้ตำแหน่งของเลเซอร์และเลนส์ไกสส์วัตถุไม่คลาดเคลื่อนและอยู่บนแกนแสง (Optical Axis) เดียวกัน และมีฝาครอบกันแสงรบกวนขณะทำการวัดดังภาพที่ 1(ข) โดยแท่นวางมีขนาดเท่ากับ 30x130x60 mm³



ภาพที่ 1 (ก) แผนภาพการออกแบบเครื่องรามานสเปกโตรสโกปีแบบส่งผ่านซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ เลนส์ไกสส์วัตถุ และสเปกโตรมิเตอร์ (ข) ภาพถ่ายแท่นวางอุปกรณ์พร้อมฝาครอบกันแสงที่ต่อเข้ากับสเปกโตรมิเตอร์ และคอมพิวเตอร์

ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรามานสเปกโตรสโกปี

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรามานสเปกโตรสโกปี ผู้วิจัยได้ใช้สารตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือกลุ่มของแข็ง ได้แก่ อะคริลิก และโพลีเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane, PDMS) และกลุ่มของเหลว ได้แก่ ไลโมเนน และเอทานอล สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) และได้ใช้สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นโดยปริมาตร เท่ากับ 12.5 % 25.0 % 37.5 % 50.0 % 62.5 % 75.0 % 87.5 % และ 100 % ตามลำดับ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากสเปกโตรมิเตอร์เป็นข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและความยาวคลื่นซึ่งต้องนำมาคำนวณหาค่าการเลื่อนรามาน (Raman Shift) ในหน่วย cm^{-1} ซึ่งเป็นค่าที่เลื่อนจากค่าความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง เพื่อให้สามารถแสดงผลการทดลองให้อยู่ในรูปของสเปกตรัมรามาน และนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุชนิดของสารตัวอย่างได้ โดยใช้วิธีการเปลี่ยนค่าความยาวคลื่นเป็นค่าการเลื่อนรามานตามสมการที่ (1)

$$\text{ค่าการเลื่อนรามาน} \quad \Delta v = \left(\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \times 10^7 \quad (1)$$

เมื่อ $\Delta\nu$ คือ ค่าการเลื่อนรามาน (cm^{-1})
 λ_0 คือ ค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง (nm)
 λ_1 คือ ค่าความยาวคลื่นของแสงที่กระเจิงแบบรามาน (nm)

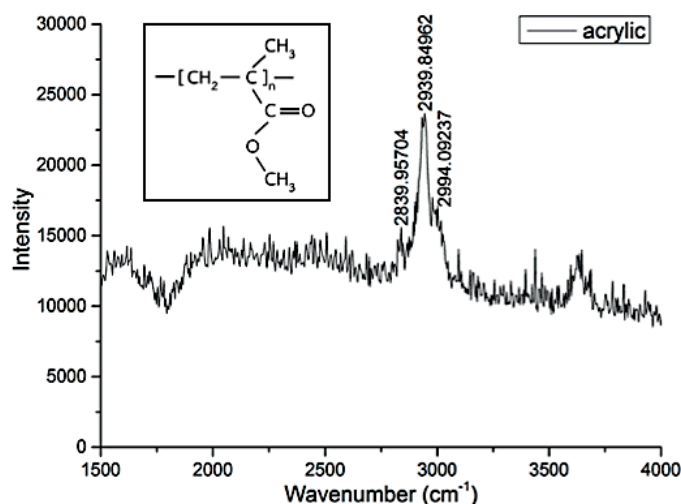
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการวัดเชิงคุณภาพ

ในการทดลองวัดสารตัวอย่างได้ควบคุมเวลารวมสัญญาณ (Integration Time) ให้มีค่าเท่ากับ 5 วินาที และการเฉลี่ยข้อมูลอยู่ที่ 2 ครั้ง ทุกผลการทดลอง

อะคริลิก

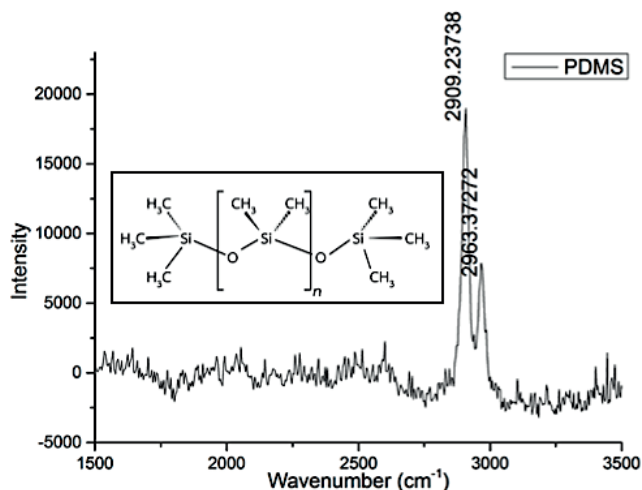
จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของอะคริลิกดังภาพที่ 2 ได้สัญญาณรามานที่มีพีคที่ตำแหน่ง 2839 2939 และ 2994 cm^{-1} พบองค์ประกอบของอะคริลิก โดยที่ค่าการเลื่อนรามานที่ 2839 cm^{-1} ตรงกับพันธะ C-CH_3 CH_2 และ O-CH_3 ที่ค่าการเลื่อนรามาน 2939 cm^{-1} ตรงกับพันธะ OH C-CH_3 และ CH_2 และที่ค่าการเลื่อนรามาน 2994 cm^{-1} ตรงกับพันธะ OH และ CH=CH ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองตามเอกสารอ้างอิง [7]



ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของอะคริลิก
ภาพเล็กคือสูตร โครงสร้างของอะคริลิก

โพลีไดเมทิลไซลอกเซน

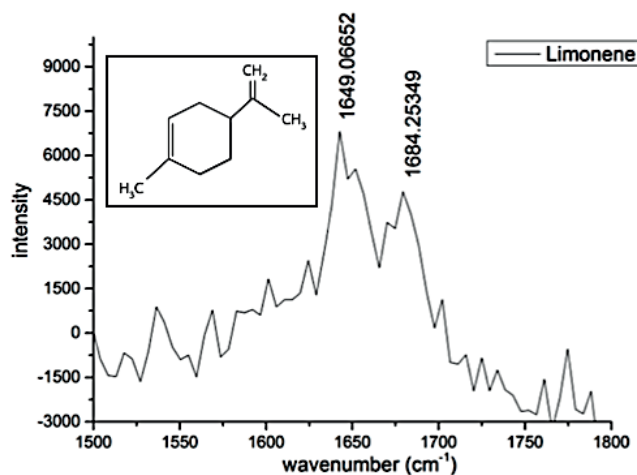
จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของโพลีไดเมทิลไซลอกเซนดังภาพที่ 3 ได้สัญญาณรามานที่มีพีคที่ตำแหน่ง 2907 และ 3062 cm^{-1} พบองค์ประกอบของ PDMS โดยที่ค่าการเลื่อนรามาน 2907 cm^{-1} ตรงกับพันธะ OH C-CH_3 และ CH_3 ที่ค่าการเลื่อนรามาน 3062 cm^{-1} ตรงกับพันธะ OH และ CH=CH ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองตามเอกสารอ้างอิง [8]



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของ PDMS
ภาพเล็กคือสูตรโครงสร้างของ PDMS

ไลโมนีน

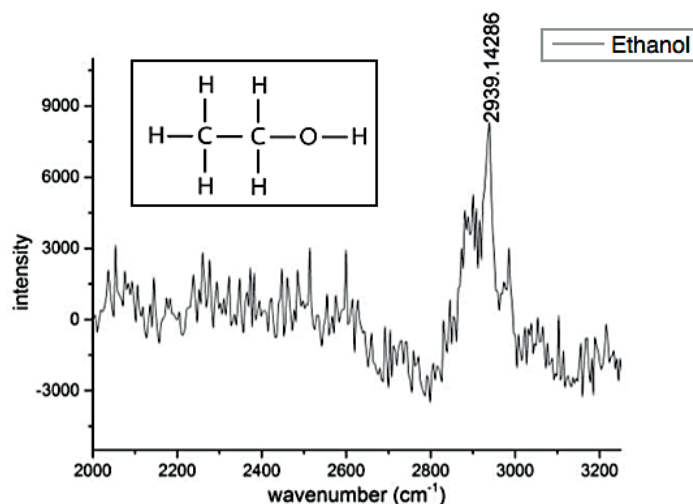
จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของไลโมนีนดังภาพที่ 4 ได้สัญญาณรามานที่มีพีคที่ตำแหน่ง 1649 cm^{-1} และ 1684 cm^{-1} พบองค์ประกอบของไลโมนีนโดยที่ค่าการเลื่อนรามาน 1649 cm^{-1} ตรงกับพันธะ C=O และ CH_3 ที่ค่าการเลื่อนรามาน 1684 cm^{-1} ตรงกับพันธะ COOH และ OH ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองตามเอกสารอ้างอิง [9]



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของไลโมนีน
ภาพเล็กคือสูตรโครงสร้างของไลโมนีน

เอทานอล

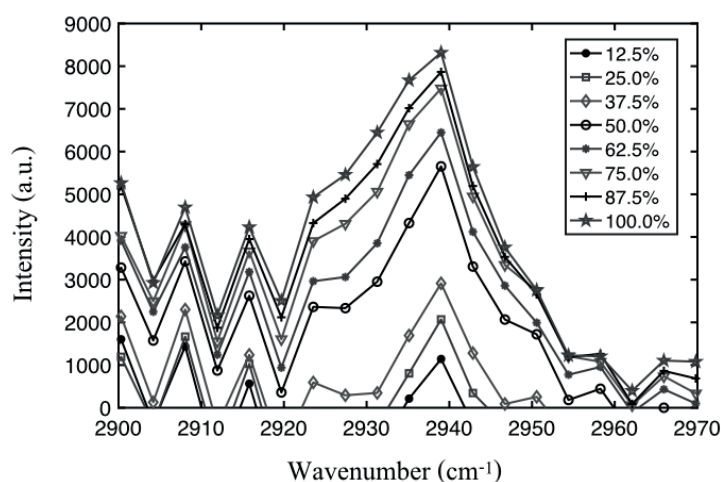
จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของเอทานอลดังภาพที่ 5 ได้สัญญาณรามานที่มีพีคที่ตำแหน่ง 2929 cm^{-1} พบองค์ประกอบของเอทานอลโดยที่ค่าการเลื่อนรามาน 2929 cm^{-1} ตรงกับพันธะ C- CH_3 ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองตามเอกสารอ้างอิง [10]



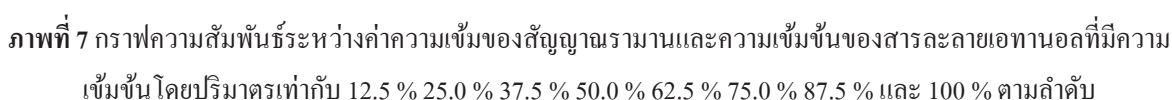
ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของเอทานอล
ภาพเล็กคือสูตรโครงสร้างของเอทานอล

ผลการวัดเชิงปริมาณ

ผลการทดลองวัดสารละลายเอทานอลในน้ำที่มีความเข้มข้นของเอทานอลโดยปริมาตรเท่ากับ 12.5 % 25.0 % 37.5 % 50.0 % 62.5 % 75.0 % 87.5 % และ 100 % ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานดังภาพที่ 6 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความเข้มของสัญญาณรามานที่ตำแหน่งการเลื่อนรามานเท่ากับ 2939 cm^{-1} ได้เพิ่มขึ้นตามด้วย และเมื่อนำค่าความเข้มของสัญญาณรามานมาพลอตกราฟหาความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของเอทานอล เส้นกราฟที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดังภาพที่ 7 มีค่าสมการเป็น $y = 90.20x + 189.8$ เมื่อ y แทนค่าความเข้มของสัญญาณรามาน และ x แทนค่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของสารละลายเอทานอลในหน่วย Vol % สมการเส้นตรงนี้ได้ใช้เป็นสมการเทียบมาตรฐาน (Standard Calibration Equation) สำหรับการประยุกต์ใช้เครื่องรามานสเปกโตรสโคปีที่สร้างขึ้นเพื่อการวิเคราะห์สารแบบเชิงปริมาณ



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของสัญญาณรามานและค่าการเลื่อนรามานของสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นโดยปริมาตรเท่ากับ 12.5 % 25.0 % 37.5 % 50.0 % 62.5 % 75.0 % 87.5 % และ 100 % ตามลำดับ



งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องรามาานสเปกโตรสโคปแบบส่งผ่านเพื่อใช้สำหรับการตรวจวิเคราะห์ทางเคมี โดยได้ออกแบบแท่นวางอุปกรณ์ที่สร้างจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่มีราคาถูก สามารถลดการคลาดเคลื่อนจากการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ทางแสงแต่ละตัวได้ ทั้งนี้เครื่องรามาานสเปกโตรสโคปที่สร้างขึ้นมีช่วงค่าการเลือนรามาานที่เลขคลื่นประมาณ $615\text{--}8797\text{ cm}^{-1}$ และสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้ทั้งแบบเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยจากผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์สัญญาณรามาานจากสารตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของแข็ง (อะคริลิกและโพลิไดเมทิลไซลอกเซน) และของเหลว (ไลโมนีน และเอทานอล) พบว่าค่าพีคของสัญญาณรามาานที่วัดได้จากเครื่องรามาานสเปกโตรสโคปที่สร้างขึ้นให้ผลสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองจากเอกสารอ้างอิง และผลการทดลองวัดสัญญาณรามาานของสารละลายเอทานอลในน้ำที่มีความเข้มข้นโดยปริมาตรเท่ากับ 12.5 % 25.0 % 37.5 % 50.0 % 62.5 % 75.0 % และ 100 % ตามลำดับ พบว่าค่าความเข้มของสัญญาณรามาานมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่เพิ่มขึ้นและให้กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มของสัญญาณรามาานต่อค่าความเข้มข้นของเอทานอลเป็นเส้นตรงจึงสามารถใช้วิเคราะห์สารแบบเชิงปริมาณได้ เครื่องรามาานสเปกโตรสโคปที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดทางเคมี และมีขนาดเล็กเหมาะกับการพกพาไปใช้นอกห้องปฏิบัติการได้

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภายใต้ทุนวิจัยเพื่อพัฒนา
สิ่งประดิษฐ์ ประจำปี 2560 สัญญาเลขที่ สป 7/2560 และทุนช่วยเหลือการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 24
จากมูลนิธิโทเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย

[1] Raman, C. V. and Krishnan, K. S. (1928). “A New Type of Secondary Radiation”, **Nature**. 121, 501-502.

[2] Drescher, D. and Kneipp, J. (2012). “Nanomaterial in Complex Biological Systems: Insight from Raman Spectroscopy”, **Chemical Society Review**. 41, 5780-5799.

- [3] Cullum, B. M., Mobley, C. J., Chi, Z., Stokes, D. L., Miller G. H. and VoDinh, T. (2000). “Development of a Compact, Handheld Raman Instrument with No Moving Parts for Use in Field Analysis”, **Review of Science Instrument**. 71, 1602-1607.
- [4] Buckley, K. and Matousek, P. (2011). “Recent Advances in the Application of Transmission Raman Spectroscopy to Pharmaceutical Analysis”, **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**. 55(4), 645-652.
- [5] Matousek, P. and Parker, A. W. (2006). “Bulk Raman Analysis of Pharmaceutical Tablets”, **Applied Spectroscopy**. 12, 1353-1357.
- [6] Johansson, J., Sparen, A., Svensson, O., Folestad, S. and Claybourn, M. (2007). “Quantitative Transmission Raman Spectroscopy of Pharmaceutical Tablet and Capsules”, **Applied Spectroscopy**. 11, 1211-1218.
- [7] Azonano. (2013). **Nondestructive Characterization of A Polymer Nanocoating using WITec Alpha300 AR Application Note by WITec** (Online). Retrieved 9 March 2018, from <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=2033>.
- [8] Ibsen Photonics. (2013). **PDMS Spectrum with FREEDOM HR-VIS and 532 nm Laser** (Online). Retrieved 9 March 2018, from <https://ibsen.com/applications/spectroscopy/raman/raman-spectra/>.
- [9] Buzolin, C. (2016). **Dissolution Kinetic Study of Limonene in Supercritical Carbon Dioxide by *in - Situ* Raman Spectroscopy**. Master thesis. Lund Sweden: Lund University.
- [10] Kiefer, J. (2015). “Recent Advances in the Characterization of Gaseous and Liquid Fuels by Vibrational Spectroscopy”, **Energies**. 8(4), 3165-3197.

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมัน จากกากกาแฟโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

A Study of Influence Factors Affecting to Esterification Reaction of Waste Coffee Grounds Oil using Response Surface Methodology

โชคชัย เหมือนมาศ^{1*} รามพร นิคม¹ จีรวัดน์ โสภารจารย์² และอนิดา เพ็ชรแก้ว³

Chokchai Mueanmas^{1*}, Ruamporn Nikhom¹, Jerawat Sopajarn² and Anida Petchkaew³

บทคัดย่อ

การใช้ไขมันที่ไม่ใช่สำหรับการบริโภคเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมีศักยภาพในการลดต้นทุนการผลิต ส่งผลให้ราคาของไบโอดีเซลลดต่ำลง แต่เนื่องจากน้ำมันที่ไม่ใช่สำหรับการบริโภคส่วนใหญ่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง จึงต้องผ่านการปรับสภาพเพื่อลดความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันในสภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อัตราส่วนเชิงโมลของ แอลกอฮอล์ต่อกรดไขมันอิสระ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปฏิกิริยา เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟซึ่งมีกรดไขมันอิสระเท่ากับ 16.5 % เป็นวัตถุดิบ โดยใช้การออกแบบ การทดลองด้วยเทคนิคแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการพื้นผิว ตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ผลการศึกษาพบว่าทุกปัจจัยมีอิทธิพลต่อการลดปริมาณของกรด ไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งปัจจัยของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาส่งผลต่อปริมาณ ของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่มากที่สุด รองลงมาคือเวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนเชิงโมลของ แอลกอฮอล์ต่อกรดไขมันอิสระ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล น้ำมันจากกากกาแฟ กรดไขมันอิสระ เอสเทอริฟิเคชัน วิธีการพื้นผิวตอบสนอง

Abstract

Using non-edible oil as feedstock for biodiesel production has the potential to reduce the production cost of biodiesel and, as a result, a selling price of biodiesel is low. However, due to the high free fatty acid (FFA) content, non-edible oil needs to be pretreated in order to reduce the concentration of FFA by using esterification reaction in the presence of acid as catalyst. This research aims at study the influence of parameters, including the methanol (MeOH) to FFA molar ratio, quantity of catalyst, temperature and reaction time, which affect to esterification reaction.

¹ อ.ดร., หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ., หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ อ.ดร., หลักสูตรวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Energy Engineering program, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Lecturer, Mechatronics Engineering program, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Lecturer, Dr., Rubber and Polymer Engineering program, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074-609600 ต่อ 3610. E-mail address: cmueanmas@hotmail.com

Waste coffee grounds oil (WCGO) with initial acid value as 16.5% has been used as a sustainable feedstock. A central composite design (CCD) coupled with response surface methodology (RSM) is used to study the effect of factors. Operating parameters such as alcohol to FFA molar ratio, catalyst loading, temperature and reaction time on the FFA reduction have been studied. The results show that all parameters are correlated with the % FFA reduction. In addition, the reaction temperature is the most significant factor, followed by reaction time, % catalyst and alcohol to FFA molar ratio, respectively, with a considerable effect on % FFA removal.

Keywords: Biodiesel, Waste Coffee Grounds Oil, Free Fatty Acid, Esterification, Response Surface Methodology

บทนำ

ปัจจุบันปริมาณความต้องการพลังงานมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้ในภาคการขนส่ง เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม โดยพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งการใช้งานจะส่งผลเสียต่อสภาวะแวดล้อม เนื่องจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาโลกร้อนและฝนกรด ดังนั้นการแสวงหาเชื้อเพลิงและพลังงานจากแหล่งใหม่เพื่อทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องเร่งดำเนินการ ซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้คือการผลิตเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยการแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหรือที่เรียกว่าไบโอดีเซล ซึ่งเป็นดีเซลทางเลือกที่มีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับดีเซลจากปิโตรเลียม และสามารถใช้งานแทนกันได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยการผลิตไบโอดีเซลเกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ในสภาวะที่มีกรด เบส หรือ เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไบโอดีเซลยังไม่ได้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากไบโอดีเซลยังมีราคาสูงซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการผลิต โดยต้นทุนหลักเกิดจากราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งวัตถุดิบที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันสำหรับการบริโภค เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น อีกทั้งหากมีการนำมาใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซลในปริมาณมาก ๆ จะส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำมันสำหรับการบริโภค ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดราคาของไบโอดีเซลลงได้คือการใช้ไขมันที่ไม่ได้ใช้สำหรับการบริโภคมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล เช่น ไขมันพืชใช้แล้ว ไขมันสุญค่า และไขมันเมล็ดขางพารา เป็นต้น นอกจากนี้กากกาแฟจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับนำมาใช้เป็นแหล่งของไขมันที่ไม่ได้ใช้สำหรับการบริโภค เนื่องจากมีปริมาณการผลิตและการบริโภคกาแฟที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับในกากกาแฟมีปริมาณของไขมันประมาณ 13 % [1] ซึ่งสามารถแยกน้ำมันออกจากกากกาแฟได้ด้วยวิธีการสกัดแบบ solid-liquid extraction [2] soxhlet extraction [3] หรือ supercritical fluid extraction [4] แต่ข้อเสียของน้ำมันชนิดนี้คือมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง จึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อการผลิตไบโอดีเซลได้โดยตรง เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกับตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ซึ่งสามารถไปขัดขวางและลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ตลอดจนทำให้ประสิทธิภาพในการแยกชั้นของไบโอดีเซลในขั้นตอนของการล้างลดลง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน (ปฏิกิริยาที่ 1) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์ในสภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสียก่อน โดย Vardon *et. al.* [5] ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟซึ่งมีกรดไขมันอิสระ 11.27 mg KOH/g โดยใช้กระบวนการแบบสองขั้นตอน นั่นคือใช้ปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนที่จะผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีร้อยละผลได้สูงถึง 96 % อีกทั้ง Haile [6] ได้ใช้กระบวนการเอสเตอร์ฟิเคชันจำนวน 3 ครั้งเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระจาก 4.9 % ให้เหลือเพียง 0.5 %

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ ได้แก่ อัตราส่วนเชิงโมลของแอลกอฮอล์ต่อกรดไขมันอิสระ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิคพื้นผิวตอบสนองแบบ CCD ในการออกแบบการทดลอง



ปฏิกิริยาที่ 1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

น้ำมันจากกากกาแฟ ทำการสกัดจากกากกาแฟโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 16.5 % ซึ่งองค์ประกอบหลักของกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ คือ Linoleic Acid และ Palmitic Acid [7] เมทานอล (AR Grade บริษัท Fisher Chemical) กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98 % (บริษัท Loba Chemie) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 N) ฟีนอล์ฟทาเลิน และเอทิลแอลกอฮอล์

การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

กากกาแฟที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนของกากกาแฟ 1 กรัมต่อเฮกเซน 9 mL เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการกรองเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากกากกาแฟ แล้วนำตัวทำละลายที่ได้ไปกลั่นแยกด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดันเพื่อให้ได้น้ำมันจากกากกาแฟ นำน้ำมันที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดตัวทำละลายที่เหลืออยู่ แล้วจึงนำน้ำมันที่สกัดได้ในแต่ละครั้งมารวมกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อไป

การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ และมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยชั่งน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟลงในขวดก้นกลมปริมาตร 20 กรัม แล้วให้ความร้อนด้วย Hot Plate และกวนสารด้วย Magnetic Stirrer ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที จากนั้นเติมเมทานอล และกรดซัลฟูริก ตลอดจนควบคุมสภาวะในการทำปฏิกิริยาตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อเสร็จสิ้นปฏิกิริยาจึงเทสารที่ได้ลงในกรวยแยก ทำการล้างด้วยน้ำร้อนจนเป็นกลาง แล้วจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อกำจัดน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) [8]

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 g ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL จากนั้น เติมแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกลาง 50 mL ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ และเติมฟีนอล์ฟทาเลินจำนวน 5 หยด แล้วทำการไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรจนกระทั่งได้สีชมพูถาวร คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสมการที่ (1)

$$\% \text{FFA} = \frac{V \times C \times 26.75}{m} \quad (1)$$

โดย V คือปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (mL) C คือความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ (mole/L) m คือน้ำหนักของตัวอย่าง (g)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ จะใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธี RSM แบบ CCD ซึ่งเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์และสถิติที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายตัวแปร เพราะเมื่อตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอาจส่งผลในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic Relationship) ของตัวแปรอิสระ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ (A) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (B) อุณหภูมิ (C) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (D) ซึ่งการออกแบบการทดลองได้ทำการแบ่งแต่ละปัจจัยออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ $-\alpha$, 1, 0, +1 และ $+\alpha$ ดังแสดงในตารางที่ 1 และความสัมพันธ์ระหว่าง % FFA removal ซึ่งเป็นค่าตอบสนองกับปัจจัยต่างๆ จะแสดงในรูปของสมการกำลังสองเชิงถดถอย (Second-order Polynomial Regression) ดังในสมการที่ (2)

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i < j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

เมื่อ Y คือค่าตอบสนองซึ่งเป็น % FFA removal; X_i และ X_j คือตัวแปรอิสระ; β_0 คือจุดตัดแกน; β_j , β_{jj} และ β_{ij} คือค่าสัมประสิทธิ์; k คือจำนวนของตัวแปรอิสระ (ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 4 ตัวแปร)

ตารางที่ 1 ตัวแปรอิสระและระดับของตัวแปรที่ศึกษาจากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ตัวแปรอิสระ	ระดับ				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ (A)	5	7.5	10	12.5	15
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (B, % โดยน้ำหนักของ FFA)	5	7.5	10	12.5	15
อุณหภูมิ (C, องศาเซลเซียส)	50	55	60	65	70
เวลาในการทำปฏิกิริยา (D, นาที)	30	52.5	75	97.5	120

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. สมการกำลังสองเชิงถดถอย

การออกแบบการทดลองด้วย RSM แบบ CCD เพื่อลดปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่ามีทั้งหมด 31 การทดลอง ซึ่งประกอบด้วย Factorial Point จำนวน 16 จุด Axial Point 8 จุด และ Center Point จำนวน 5 จุด ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยเป็นสมการกำลังสองเชิงถดถอยในรูปของตัวแปรไร้หน่วย หรือรหัส (Code) ได้ดังแสดงในสมการที่ (3) โดยค่าของ A, B, C และ D จะอยู่ในช่วง $-\alpha$ และ $+\alpha$

$$\begin{aligned} \% \text{ FFA removal} = & 86.12 + 1.58A + 2.22B + 4.98C + 3.95D \\ & -2.39AB + 2.20AC - 3.39AD - 1.21BC + 1.39BD + 3.77CD \\ & -1.16A^2 - 2.18B^2 - 2.99C^2 - 1.62D^2 \end{aligned} \quad (3)$$

สมการที่ (3) ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9878 เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรที่สามารถใช้บ่งบอกถึงความสำคัญของตัวแปรนั้น ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณของกรดไขมันอิสระ โดยหากสัมประสิทธิ์ของตัวแปรใดมีค่าสูงสุด แสดงว่าตัวแปรนั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญสูงสุดต่อค่าตอบสนอง ส่วนตัวแปรอื่น ๆ มีนัยสำคัญรองลงมาตามค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรนั้น ๆ และเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์แต่ละตัวจะแสดงผลของตัวแปรอิสระนั้น ๆ

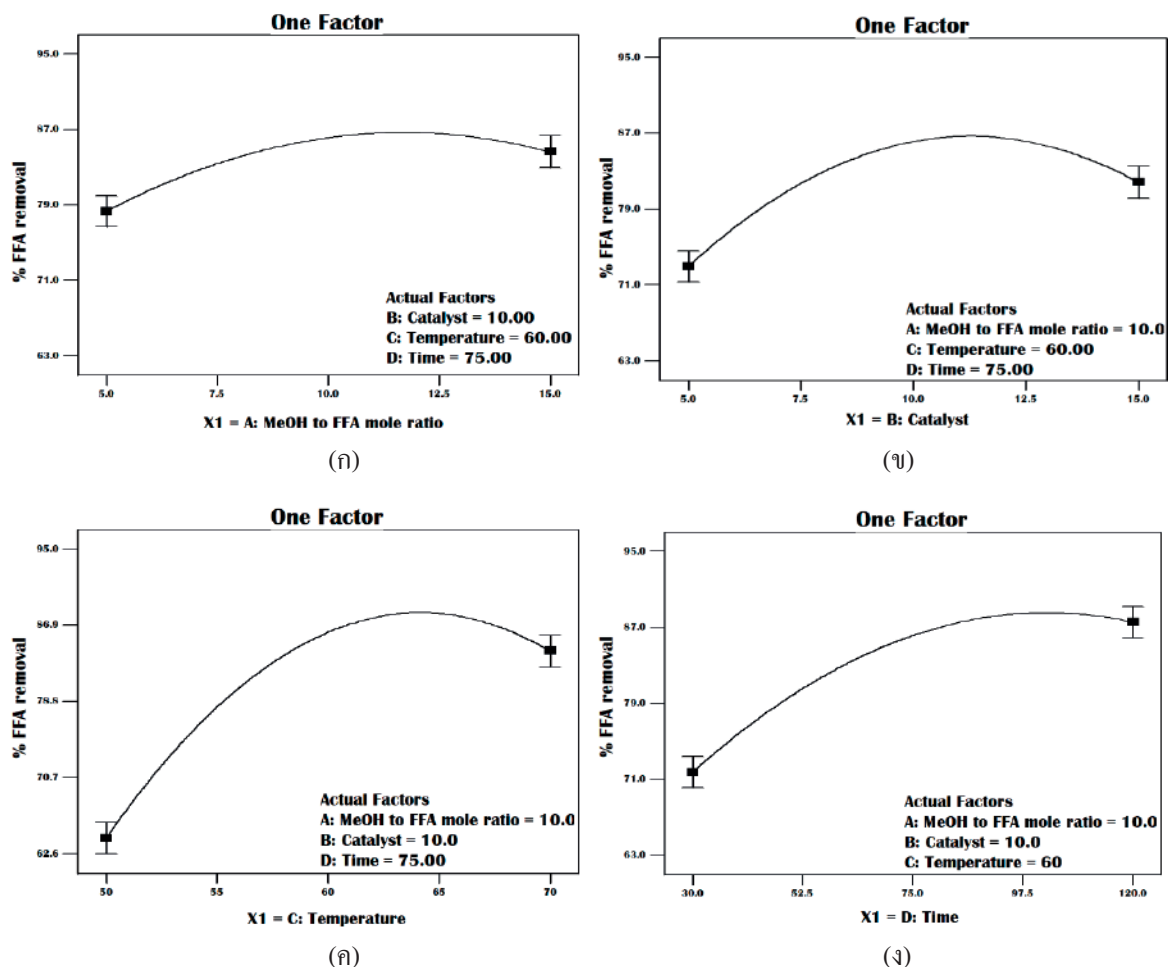
กล่าวคือ ถ้าหน้าสัมประสิทธิ์เป็นเครื่องหมายบวก แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นแปรผันตรงกับค่าตอบสนอง แต่ในทางกลับกันถ้าหน้าสัมประสิทธิ์เป็นเครื่องหมายลบ แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นแปรผกผันกับค่าตอบสนอง ซึ่งผลจากการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ พบว่า เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลหลัก (Main Effect) ลำดับของปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่สุดต่อ % FFA Removal คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนเชิง โมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ ตามลำดับ โดยตัวแปรอิสระทั้ง 4 ปัจจัยจะมีค่าแปรผันตรงต่อค่าตอบสนอง

2. อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการลดปริมาณของกรดไขมันอิสระ

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ ทำได้โดยการสร้างกราฟสำหรับแสดงผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และปฏิสัมพันธ์สองตัวแปร (Two Way Interaction Effect) ต่อ % FFA Removal ซึ่งการสร้างกราฟเพื่อแสดงผลของ Main Effect และ Two Way Interaction จะทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในช่วงที่ศึกษาเพียงตัวแปรเดียว และสองตัวแปร ตามลำดับ ในขณะที่ตัวแปรอื่น ๆ จะทำการกำหนดให้คงที่ไว้ที่ค่ากลาง ซึ่งความชันของเส้นกราฟที่ได้แสดงถึงระดับความมีนัยสำคัญของอิทธิพลของตัวแปรนั้น ๆ [9] ต่อ % FFA Removal กล่าวคือถ้าเส้นกราฟของตัวแปรใดมีความชันสูงสุดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของ % FFA Removal สูงสุดเช่นกัน

2.1 อิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ต่อการลดปริมาณของกรดไขมันอิสระ

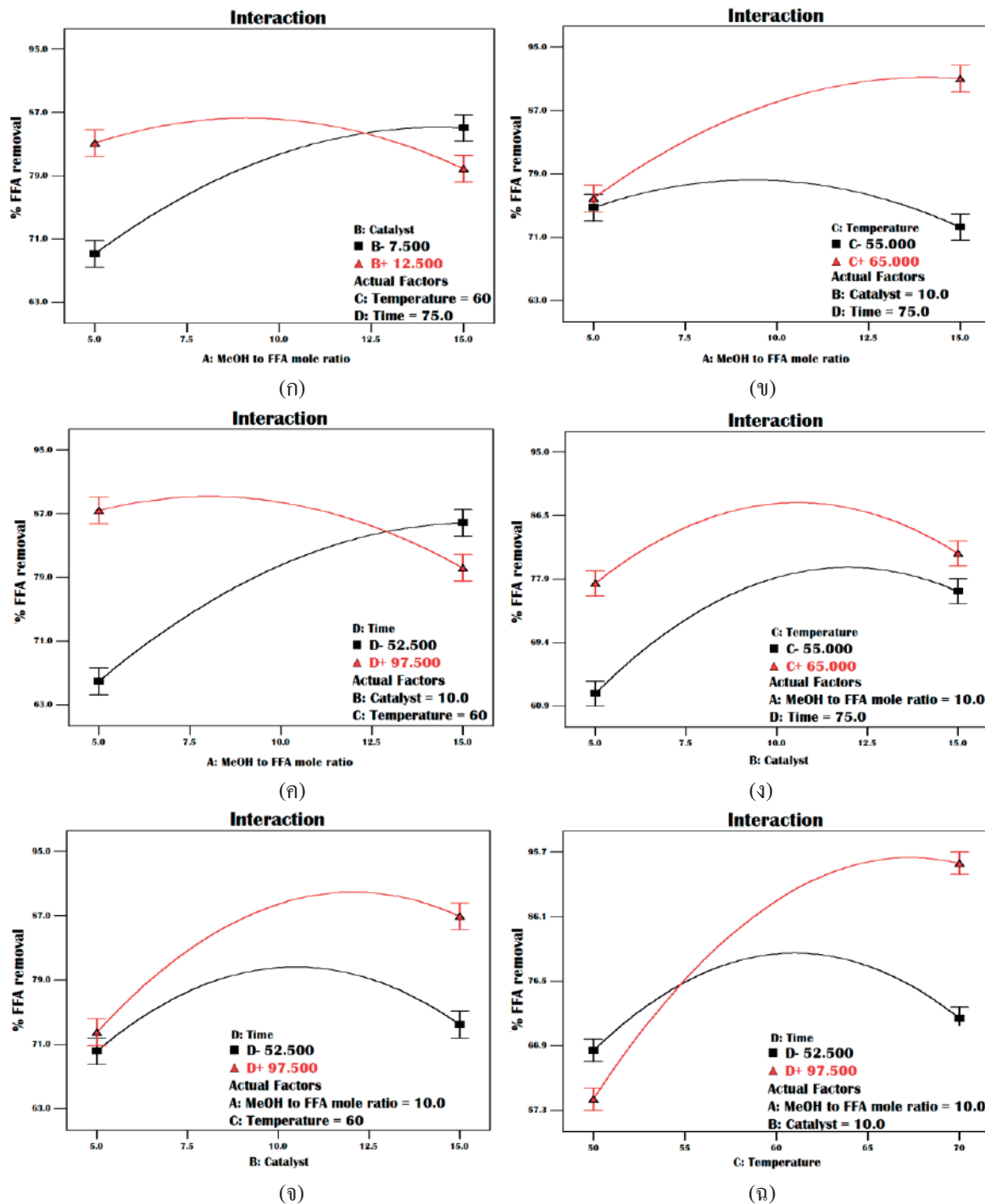
การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยหลักต่อการลดปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นดังแสดงในภาพที่ 1(ก) - 1(ง) ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์อิทธิพลของแต่ละปัจจัยพบว่า เมื่อปัจจัยของอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ (ภาพที่ 1(ก)) เพิ่มขึ้นจาก 5.0 เป็น 11.7 ส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 78.3 % เป็น 86.6 % และเมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นสูงกว่า 12.5 ส่งผลให้ปริมาณของ % FFA Removal มีค่าลดลง เนื่องจากอัตราส่วนของเมทานอลที่สูงเกินไปทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีค่าลดลงจึงส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา [10] ส่วนปัจจัยของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ภาพที่ 1(ข)) จะส่งผลให้ % FFA Removal เพิ่มขึ้นจาก 72.9 % เป็น 86.8 % เมื่อปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้นจาก 5.0 % wt เป็น 11.3 % wt ซึ่งเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงเกินกว่านี้จะส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันเกิดเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น [11] ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (ภาพที่ 1(ง)) จึงส่งผลให้ % FFA Removal เพิ่มขึ้นจาก 71.7 % เป็น 88.7 % เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30.0 นาที เป็น 104.2 นาที แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าลดลง เนื่องจากระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วยนั้น จะส่งผลให้เกิดการ Hydrolysis ของไตรกลีเซอไรด์เช่นเดียวกัน [12] นอกจากนี้ปัจจัยของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (ภาพที่ 1(ค)) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 50°C เป็น 64°C จะทำให้ % FFA Removal เพิ่มขึ้นจาก 64.2 % เป็น 88.2 % และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นส่งผลในแง่ลบต่อปริมาณ % FFA Removal นั่นคือส่งผลให้ปริมาณของ % FFA Removal มีค่าลดลงอันเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินกว่า 64°C ซึ่งอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของเมทานอลนี้จะส่งผลให้เมทานอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นระเหยกลายเป็นไอ แต่ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดในเฟสของของเหลว ดังนั้นเมื่อเมทานอลส่วนใหญ่เกิดการระเหยกลายเป็นไอจึงทำให้เหลืออยู่ในเฟสของของเหลวเพียงเล็กน้อย จนส่งผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง [13]



ภาพที่ 1 ผลของ Main Effect (ก) อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ (ข) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ค) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (ง) เวลาในการทำปฏิกิริยาต่อ % FFA Removal

2.2 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Two Way Interaction) ต่อการลดปริมาณของกรดไขมันอิสระ

เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยร่วมสามารถส่งผลต่ออิทธิพลของปัจจัยหลักทำให้มีค่ามากขึ้นหรือลดลง ดังนั้นการพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยร่วมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ภาพที่ 2(ก) - 2(ง) แสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของสองปัจจัย โดยภาพที่ 2(ก) และ 2(ค) แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยเมื่อมีการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย ๆ ในขณะที่มีการเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ จะส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาสูงๆ ในขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากเกินไปส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chai *et. al.* [14]



ภาพที่ 2 ผลของ Two Way Interaction Effect ต่อ % FFA Removal

ภาพที่ 2(ข) แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C ส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าต่ำ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65°C ส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลจากการที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ทำให้พลังงานที่โมเลกุลได้รับมีค่าน้อยกว่าพลังงานกระตุ้นสำหรับการเกิดปฏิกิริยา จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย อีกทั้งปริมาณของ MeOH ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Charoenchaitrakool *et. al.* [15] ภาพที่ 2(ง) และ 2(จ) แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับอุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

เพิ่มขึ้นจาก 5.0 % wt เป็น 10.0 % wt ส่งผลให้ % FFA Removal มีค่าเพิ่มขึ้น และค่อย ๆ ลดลงเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มสูงกว่า 10.0 % wt โดยปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันกลายเป็นกรดไขมันอิสระ [16] ภาพที่ 2(จ) แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยพบว่า % FFA Removal มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา แต่เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงเกินกว่าจุดเดือดของเมทานอลส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาลดลง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ CCD ผลการศึกษาที่ได้พบว่าการลดปริมาณของกรดไขมันอิสระเป็นผลมาจากทั้งอิทธิพลของปัจจัยหลัก และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย โดยลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดปริมาณกรดไขมันอิสระจากมากไปน้อย ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนเชิงโมลของแอลกอฮอล์ต่อกรดไขมันอิสระ ตามลำดับ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Phimsen, S., Kiatkittipong, W., Yamada, H., Tagawa, T., Kiatkittipong, K., Laosiripojana, N. and Assabumrungrat, S. (2016). “Oil Extraction from Spent Coffee Grounds for Bio-Hydrotreated Diesel Production”, **Energy Conversion and Management**. 126, 1028-1036.
- [2] Somnuk, K., Eawlex, P. and Prateepchaikul, G. (2017). “Optimization of Coffee Oil Extraction from Spent Coffee Grounds using Four Solvents and Prototype-Scale Extraction using Circulation Process”, **Agriculture and Natural Resources**. 51(3), 181-189.
- [3] Al-Hamamre, Z., Foerster, S., Hartmann, F., Kroger, M. and Kaltschmitt. (2012). “Oil Extraction from Spent Coffee Grounds as a Renewable Source for Fatty Acid Methyl Ester Manufacturing”, **Fuel**. 96, 70-76.
- [4] de Melo, M.M.R., 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.
- [5] 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 & Engineering**. 1, 1286-1294.
- [6] Haile, M. (2014). “Integrated Valorization of Spent Coffee Grounds to Biofuels”, **Biofuel Research Journal**. 2, 65-69.

- [7] Mueanmas, C. and Nikhom, R. (2017). “Feasibility Study of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds Oil”, **Thaksin University Journal (Special Issue)**. 20(3), 201-210.
- [8] American Oil Chemists’ Society. (2009). **AOCS Official Method Ca 5a-40 Free Fatty Acid** (Online). Retrieved 24 April 2018, from <https://scribd.com/document/270517200/Ca-5a-40-FFA>.
- [9] Bimakr, M., Rahman, R.A., Taip, F.S., Adzahan, N.M., Sarker, Md.Z.I. and Ganjloo, A. (2013). “Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Seed Oil from Winter Melon (Benincasa Hispida) and Its Antioxidant Activity and Fatty Acid Composition”, **Molecules**. 18, 997-1014.
- [10] Li, Y., Hu, S., Cheng, J. and Lou, W. (2014). “Acidic Ionic Liquid-Catalyzed Esterification of Oleic Acid for Biodiesel Synthesis”, **Chinese Journal of Catalysis**. 35(3), 396-406.
- [11] Rahman, M.A., Aziz, M.A., Al-khulaidi, R.A., Sakib, N. and Islam, M. (2017). “Biodiesel Production from Microalgae Spirulina Maxima by Two Step Process: Optimization of Process Variable”, **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. 10, 140-147.
- [12] Takisawa, K., Kanemoto, K., Miyazaki, T. and Kitamura, Y. (2013). “Hydrolysis for Direct Esterification of Lipids from Wet Microalgae”, **Bioresource Technology**. 144, 38-43.
- [13] Suwito, S., Dragone, G., Sulisty, H., Murachman, B., Purwono, S. and Teixeira, J. (2012). “Optimization of Pretreatment of Jatropha Oil with High Free Fatty Acids for Biodiesel Production”, **Frontiers of Chemical Science and Engineering**. 6(2), 210-215.
- [14] Chai, M., Tu, Q., Lu, M. and Yang, J. (2014). “Esterification Pretreatment of Free Fatty Acid in Biodiesel Production from Laboratory to Industry”, **Fuel Processing Technology**. 125, 106-113.
- [15] Charoenchaitrakool, M. and Thienmethangkoon, J. (2011). “Statistical Optimization for Biodiesel Production from Waste Frying Oil Through Two-Step Catalyzed Process”, **Fuel Processing Technology**. 92, 112-118.
- [16] Ajala, E. O., Aberuagba, F., Olaniyan, A.M., Ajala, M.A. and Sunmonu, M. O. (2017). “Optimization of a Two Stage Process for Biodiesel Production from Shea Butter using Response Surface Methodology”, **Egyptian Journal of Petroleum**. 26, 943-955.

คุณภาพรังไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

Quality of Cocoons Dried by Solar and Electrical Drying

วีรวัธ เลพล^{1*}

Wirawut Lephon^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพรังไหมและเส้นไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า พันธุ์ไหมทดสอบ คือพันธุ์จุล 1 ครั้งละ 500 กรัม ใช้ อุณหภูมิอบแห้ง 70-90 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างรังไหมช่วงเวลา 6 9 และ 12 ชั่วโมง ทดสอบ ณ บริษัท จุลไหมไทย จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยวิธีการสาวทดสอบ พบว่ารังไหมอบแห้งด้วย 1) พลังงานไฟฟ้า มีสภาพการสาวดี ลักษณะ รังร่วงบางเรียบและคุณภาพเส้นดี (ค่า N&C) ค่าความสะอาด 92.50 (2A) เวลาอบแห้ง 9 ชั่วโมง 2) พลังงานรังสี อาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า มีสภาพการสาวดี ลักษณะรังร่วงบางเรียบและคุณภาพเส้นดี ค่าความสะอาด 94.00 (2A) เวลาอบแห้ง 9 ชั่วโมง 3) พลังงานรังสีอาทิตย์ มีสภาพการสาวดี ลักษณะรังร่วงบางเรียบและคุณภาพเส้นดี ค่าความ สะอาด 94.00 (2A) เวลาอบแห้ง 12 ชั่วโมง การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถประหยัดค่าใช้จ่าย 87 % ดังนั้น การอบแห้งรังไหมเพื่อให้การสาวไหมมีเปอร์เซ็นต์การสาวง่าย รังไหมและเส้นไหมมีคุณภาพ ตัวหนอนไหมแห้งสนิท สามารถเก็บรังไหมได้นานควรใช้ระยะเวลาอบแห้ง 9-12 ชั่วโมง

คำสำคัญ: พลังงานรังสีอาทิตย์ การอบแห้ง รังไหม เส้นไหม ตัวหนอนไหม

Abstract

This research studies quality of cocoon and silk obtained from solar drying, electrical drying and solar drying with electrical drying. The cocoon strains used in this study is Chul 1, 500 grams per experiment. In experimental, temperature is set to 70-90 degrees celsius, time interval of the drying samples were 6, 9, and 12 hours. The cocoon dried samples are tested at Chul Thai Silk Co., Ltd., Phetchaboon, Thailand, by silk-reeling method. We found that 1) the cocoon dried by electrical drying has good quality in silk-reeling, provide 92.5 of cleanliness (2A), at 9 hours of drying time. 2) The cocoon dried by solar drying with electrical drying has good quality in silk-reeling, provide 94.0 of cleanliness (2A), at 9 hours of drying time. 3) The cocoon dried by solar drying has good quality in silk-reeling, provide 94.0 of cleanliness (2A), at 12 hours of drying time. A comparison between the energy saving ratio of electrical energy and the solar, the solar drying saved 87 % of energy cost. Therefore, solar drying for cocoon at 9-12 hours of drying time produce good quality of dried cocoon and silk, prolong shelf-life of cocoon.

Keywords: Solar Energy, Drying, Cocoon, Silk, Silk Worm

¹ อ., สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

¹ Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author: Tel.:055-267124, E-mail address: wirawut_31@yahoo.com

บทนำ

ประเทศไทยเป็นเมืองอุตสาหกรรมไหม เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากไหม ในช่วงปี 1997-2001 โดยเฉลี่ยประมาณ 1,038.8 ล้านบาท (40 บาท $\approx$ 1 ดอลลาร์) [1] การเลี้ยงไหมเป็นทั้งอาชีพเสริมและอาชีพหลักที่สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรผู้เลี้ยงไหมได้เป็นอย่างดีเพราะการเลี้ยงไหมสามารถใช้เงินลงทุนเพียงเล็กน้อยและในปัจจุบันการเลี้ยงไหมได้รับการส่งเสริมจากทางภาครัฐและภาคเอกชนให้เกษตรกรได้รับความรู้เกี่ยวกับการเลี้ยงไหมเพื่อให้ได้เส้นไหมที่มีคุณภาพและด้านการตลาด ส่วนใหญ่เกษตรกรผู้เลี้ยงไหมมักจะประสบปัญหาการเก็บรังไหมเพื่อรอการสาวหรือรอจำหน่ายในช่วงที่รังไหมมีราคาสูง เพราะฉะนั้นก่อนที่เกษตรกรจะทำการสาวไหมหรือเก็บรักษาไว้เพื่อรอจำหน่าย เกษตรกรจำเป็นต้องอบแห้งรังไหมก่อนเพื่อกำจัดตัวหนอนไหมหรือเพื่อชะลอไม่ให้ตัวหนอนไหมเจาะทำลายรังไหมซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากเพราะตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัยจะเจาะรังไหมทำให้รังไหมและเส้นไหมเสียหาย การอบแห้ง คือกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น Raksang, V. [2] ประดิษฐ์ตู้อบแห้งแบบง่ายขึ้นเพื่อให้เกษตรกรผู้เลี้ยงไหมนำไปใช้ออบแห้งรังไหมได้ง่าย ประหยัด มีประสิทธิภาพและสามารถสาวไหมได้ด้วยตนเอง อบแห้งรังไหมดิบได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ใช้เตาไฟเป็นแหล่งความร้อน ระยะเวลาการอบแห้งประมาณ 23 - 27 ชั่วโมง รังไหมจะแห้งสมบูรณ์ สามารถเก็บไว้ได้นานเป็นปีภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม Ponglangka, W. [3] สร้างเครื่องอบแห้งรังไหมด้วยเตาแก๊สอินฟราเรด อบแห้งรังไหมครั้งละ 2 กิโลกรัม ผลการทดสอบการอบแห้งรังไหมที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 20 และ 30 นาทีสามารถทำให้หนอนไหมตายทั้งหมดในอัตรา 100 % Raksang, V. [4] ประดิษฐ์ตู้อบรังไหมขนาดเล็กแบบลิ้นชัก อบแห้งรังไหมครั้งละ 10 กิโลกรัม อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งระหว่าง 60-70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง ตัวหนอนไหมภายในรังไหมและรูปร่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง รังไหมและตัวหนอนไหมแห้งสนิทเมื่อใช้เวลาในการอบแห้ง 16 ชั่วโมง การสาวเส้นไหมทำได้ง่าย มีเศษน้อย และรังไหมมีคุณภาพดี เกษตรกรสามารถเก็บรังไหมไว้ได้ 4-6 เดือน ดังนั้น การใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นเรื่องที่ง่ายและสะดวกสำหรับเกษตรกรในชนบท Usab, T. *et al.* [5] ศึกษาและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบอุโมงค์สำหรับอบแห้งดักแด้ของตัวไหมภายใต้สภาพอากาศแบบเขตร้อน (Tropical Weather) ที่จังหวัดมหาสารคาม Gupta, S. [6] เสนอศักยภาพการใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ในอุตสาหกรรมไหมของประเทศอินเดีย เช่น อบแห้งรังไหมดิบโดยสร้างเครื่องอบแห้งเป็นห้องเล็กๆ และทำเป็นกระโจม (Tent) ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ในกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมไหม เช่น การสาวไหม (Reeling of Cocoons) การลอกกาว (Degumming) การฟอกย้อม (Bleaching) การย้อม (Dyeing) ฯลฯ ใช้น้ำอุณหภูมิระหว่าง 40-95 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) ซึ่งระบบรวบรวมรังสีอาทิตย์มีหลายชนิดทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มพลังของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผ่นสะท้อน การศึกษาทั้งทางด้านการวิเคราะห์และทดสอบเพื่อนำไปใช้สำหรับงานที่ต้องการอัตราส่วนการรวมรังสีปานกลางและมีอุณหภูมิในช่วง 100 - 500 องศาเซลเซียส ระบบรวบรวมรังสีอาทิตย์จะลดการสูญเสียความร้อนที่ตัวดูดกลืน [7] ซึ่งเมื่อนำระบบรวบรวมแสงติดตั้งร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบถาดสามารถให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการสำหรับการอบแห้งรังไหม

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพรังไหมและเส้นไหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า จากการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดให้มีความเหมาะสมกับการอบแห้งรังไหม โดยพัฒนาเป็น “เครื่องอบแห้งรังไหมพลังงานรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงร่วมกับพลังงานไฟฟ้า” ใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์หรือใช้ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่สภาพอากาศไม่เหมาะสำหรับการอบแห้งด้วยพลังงานรังสี

อาทิตย์เพียงอย่างเดียว และสามารถอบแห้งรังไหมได้สมบูรณ์ เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้สอดคล้องกับวิถีความเป็นอยู่ดั้งเดิมของชาวชนบท เป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง สะดวก และไม่ยุ่งยากสำหรับกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในท้องถิ่นชนบท

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การคัดเลือกพันธุ์ไหมที่ใช้ในการทดสอบ

รังไหมสำหรับการทดสอบเป็นพันธุ์ไหมที่เกษตรกรหมู่บ้านชำรู่ ตำบลห้วยเขย อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก ได้รับการส่งเสริมให้เลี้ยงเพื่อประกอบเป็นอาชีพจาก บริษัท จุลไหมไทย จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ ชื่อพันธุ์จุล 1 อายุหนอนไหม 18 – 20 วัน ลักษณะรังไหมมีสีขาว หัวป้าน เปอร์เซ็นต์เปลือกรัง 12 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตต่อแผ่น 18 – 20 กิโลกรัม ลักษณะเด่นเส้นไหมมีสีขาว ดังภาพที่ 1 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) โรงเรือนเลี้ยงไหม (ข) รังไหมพันธุ์จุล 1

เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสง

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงดังภาพที่ 2 (ก) ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้อบแห้งรังไหมกรณีที่สภาพอากาศไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากความแตกต่างของฤดูกาลในประเทศไทย [8] ทำให้เป็นอุปสรรคในการอบแห้ง เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งรังไหมโดยใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ซึ่งอาศัยการทำงานของรางรวมแสงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในห้องอบแห้ง และด้านล่างของห้องอบแห้งติดตั้งขดลวดความร้อนเพื่อสามารถใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า ในกรณีที่สภาพอากาศไม่เหมาะสม การวิจัยครั้งนี้ทำการอบแห้งรังไหม 3 กรณี เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพรังไหมและเส้นไหม ดังนี้ (1) การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ (2) การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานไฟฟ้า และ (3) การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ในสภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุมหรือฟ้าใส (Clear Skies) ตามค่าดัชนี Sky Ratio โดยใช้รังไหมดิบความชื้นเริ่มต้น 57-60 % (wb) ปริมาณ 500 กรัมต่อครั้ง ครั้งละ 12 ชั่วโมง อุณหภูมิอบแห้งระหว่าง 70-90 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บตัวอย่างรังไหมในช่วงเวลา 6 9 และ 12 ชั่วโมง สำหรับนำไปทดสอบ ณ บริษัท จุลไหมไทย จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 2 (ก) เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสง (ข) การวางรังไหมในถาดอบแห้ง
(ค) การวางถาดในหี้ออบแห้ง (ง) รังไหมผ่านกระบวนการอบแห้งสำหรับเตรียมทดสอบคุณภาพ

ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพรังไหม

การทดสอบคุณภาพรังไหมแบ่งเป็นหลายขั้นตอน ดังนี้ (1) การหาเปอร์เซ็นต์เปลือกรังโดยสุ่มตัวอย่างรังไหมตัวอย่างละ 20 รัง แล้วแยกปูรังไหมออก นำรังไหมที่แยกปูเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนัก (2) การดัดรังไหมสำหรับสาวทดสอบจากการสุ่มตัวอย่างรังไหมตัวอย่างละ 60 รัง ใส่ถุงตาข่ายเพื่อนำไปต้ม ต้มรังไหมทั้งหมด 9 หม้อต้ม ใช้เวลา 20 นาที หม้อต้มที่ 1 ถึง 9 มีอุณหภูมิ 66 69 94 98 82 98 93 82 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ซึ่งเป็นสภาวะของการดัดรังไหมสุก หาเส้นใยได้ดี สภาพรังไหมที่ดัดรังไหมไม่มีรอยยุบ) จากนั้น (3) นำตัวอย่างรังไหมที่ผ่านกระบวนการดัดเข้าเครื่องสาวทดสอบ การสาวทดสอบจะมีหม้อต้มเพื่อหาเส้นใยไหมรอบแรกโดยมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการสาวทดสอบใช้รังไหมสำหรับสาวทดสอบครั้งละ 8-9 รัง โดยความโคขของเส้นไหมเท่ากับ 20 ดีเนียร์ (Denier) เส้นไหมที่สาวเสร็จเรียบร้อยจะถูกพันไว้เป็นหลอดไหม (4) นำเส้นไหมที่สาวเรียบร้อยเข้าเครื่องกรอเส้นไหม กรอเส้นไหม 200 รอบ แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น (5) นำเส้นไหมที่ผ่านการอบไล่ความชื้นเข้าเครื่องวัดความเหนียวของเส้นไหม (g/d) (6) นำเส้นไหมที่ผ่านการสาวขึ้นเครื่องซีรีแพลนหรือแผ่นดำเพื่อตรวจสอบความสะอาดของเส้นไหม ขั้นตอนคุณภาพค่าความสะอาดของรังไหม (N&C) ซึ่งแบ่งได้ 7 ชั้น แสดงดังตารางที่ 1 [9] จะเห็นว่าคุณภาพเส้นไหม 6A จะเป็นชั้นคุณภาพที่ดีที่สุดและ B จะเป็นชั้นคุณภาพที่ต่ำที่สุด (โรงงานสาวไหม บริษัท จุลไหมไทย จังหวัดเพชรบูรณ์) จากนั้น (7) หาอัตราแลกซึ่งหมายถึง การหาค่าจุดคุ้มทุนในการสาวรังไหมในแต่ละครั้ง โดยนำเปลือกรัง เส้นไหมหรือรังร่วงที่เหลือจากการสาวมาอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 45 นาที นำเศษที่อบมาชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ 1 ชั้นคุณภาพค่าความสะอาดของรังไหม (N&C)

ลำดับ	คะแนน	ชั้นคุณภาพรังไหม (เกรด)
1	98.00 >	6A
2	97.00 >	5A
3	96.00 >	4A
4	94.00 >	3A
5	92.00 >	2A
6	88.00 >	1A
7	88.00 <	B

ผลการวิจัย

การตรวจสอบสภาพรังไหมก่อนและหลังการต้มพบว่า การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา 9 ชั่วโมง มีสภาพการสาวที่ดี เช่นเดียวกับการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ 2 ส่วนตารางที่ 3 แสดงการทดสอบความชื้นของตัวหนอนไหมที่ผ่านการอบแห้งในสภาวะต่าง ๆ พบว่า การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าระยะเวลา 9 และ 12 ชั่วโมง หนอนไหมจะแห้งสนิทดีกว่าในทุกสภาวะการทดสอบ

ตารางที่ 2 คุณภาพรังไหมก่อนและหลังการต้ม

ลำดับ	(เวลา) ชั่วโมง	ลักษณะสีรังก่อนต้ม	ลักษณะสีรังหลังต้ม	สภาพการสาว
1	6	รังขาวสะอาด ¹	รังขาวสะอาด ¹	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 1 ครั้ง ¹
		รังขาวสะอาด ²	รังขาวสะอาด ²	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 3 ครั้ง ²
		รังสีออกคล้ำ ³	รังสีออกคล้ำ ³	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 4 ครั้ง ³
2	9	รังขาวสะอาด ¹	รังขาวสะอาด ¹	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 2 ครั้ง ¹
		รังขาวสะอาด ²	รังขาวสะอาด ²	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 1 ครั้ง ²
		รังขาวสะอาด ³	รังขาวสะอาด ³	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 1 ครั้ง ³
3	12	รังขาวสะอาด ¹	รังขาวสะอาด ¹	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 3 ครั้ง ¹
		รังขาวสะอาด ²	รังขาวสะอาด ²	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 1 ครั้ง ²
		รังขาวสะอาด ³	รังขาวสะอาด ³	สาวดี รังร่วงบางเนียน เบรคติดปม 3 ครั้ง ³

¹การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานไฟฟ้า

²การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานรังสีอาทิตย์

³การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

ตารางที่ 3 เส้นไหมจากการอบแห้งในสภาวะการทดสอบต่างๆ และลักษณะการแห้งสนิทของตัวหนอนไหม

กรณีทดสอบ	6 ชั่วโมง	9 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
1. การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานไฟฟ้า	 	 	 
2. การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานไฟฟ้า ร่วมกับพลังงานรังสีอาทิตย์	 	 	 
3. การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานรังสี อาทิตย์	 	 	 

เมื่อพิจารณาคุณภาพรังไหมและเส้นไหมจากตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 พบว่าการอบแห้งรังไหมที่มีความเหมาะสมคือ การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าในระหว่างช่วงเวลา 9 และ 12 ชั่วโมง โดยคุณภาพเส้นไหมอยู่ในชั้นคุณภาพที่ดีกว่าทุกสภาวะการทดสอบ คือเท่ากับ 2A

ตารางที่ 4 คุณภาพรังไหมและเส้นไหมจากการอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานไฟฟ้า

ลำดับ	รายการ	การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานไฟฟ้า		
		6 ชั่วโมง	9 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
1	น้ำหนัก/รังแห้ง (60 รัง)	43.70	42.72	41.83
2	% เปลือกรัง	54.16	52.58	50.22
3	% เส้นใย	42.80	40.74	40.47
4	ความยาว/รัง (M)	1,439	1,374	1,318
5	ดีเนียร์/รัง	2.25	2.23	2.27
6	% การสาว	89.00	82.00	79.00
7	น้ำหนักรังเดี่ยว/1 รัง	1.82	1.78	1.74
8	คุณภาพเส้น (ค่า N&C)	91.00 = 1A	92.50 = 2A	88.00 = 1A
9	ความเหนียว (g/d)	3.98	3.84	3.82
10	% เศษไหม	2.26	2.76	2.82
11	อัตราแลก	2.34	2.45	2.47

ตารางที่ 5 คุณภาพรังไหมและเส้นไหมจากการอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

ลำดับ	รายการ	การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า		
		6 ชั่วโมง	9 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
1	น้ำหนัก/รังแห้ง (60 รัง)	41.88	44.48	41.81
2	% เปลือกรัง	53.57	52.47	47.79
3	% เส้นใย	40.05	40.65	42.11
4	ความยาว/รัง (M)	1,278	1,409	1,310
5	ดีเนียร์/รัง	2.31	2.22	2.28
6	% การสาว	82.00	83.00	91.00
7	น้ำหนักรังเดี่ยว/1 รัง	1.74	1.85	1.74
8	คุณภาพเส้น (ค่า N&C)	91.00 = 1A	94.00 = 2A	88.00 = 1A
9	ความเหนียว (g/d)	3.72	3.87	3.79
10	% เศษไหม	2.82	2.66	2.01
11	อัตราแลก	2.50	2.46	2.37

ตารางที่ 6 คุณภาพรังไหมและเส้นไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์

ลำดับ	รายการ	การอบแห้งรังไหมด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์		
		6 ชั่วโมง	9 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
1	น้ำหนัก/รังแห้ง (60 รัง)	48.40	48.33	44.91
2	% เปลือกรัง	48.66	46.08	52.57
3	% เส้นใย	35.87	34.61	39.20
4	ความยาว/รัง (M)	1,288	1,294	1,315
5	ดีเนียร์/รัง	2.38	2.24	2.36
6	% การสาว	77.00	89.00	85.00
7	น้ำหนักรังเดี่ยว/1 รัง	2.02	2.01	1.87
8	คุณภาพเส้น (ค่า N&C)	82.00 = B	92.50 = 2A	94.00 = 2A
9	ความเหนียว (g/d)	4.06	4.00	3.91
10	% เศษไหม	2.81	2.80	2.16
11	อัตราแลก	2.79	2.89	2.55

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณภาพรังไหมและเส้นไหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า จากการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบถาดให้มีความเหมาะสมกับการอบแห้งรังไหมสำหรับกลุ่มเกษตรกรในชนบท โดยออกแบบและพัฒนาเป็น “เครื่องอบแห้งรังไหมพลังงานรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงร่วมกับพลังงานไฟฟ้า” โดยอาศัยความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์หรือร่วมกับพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่สภาพอากาศไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากความแตกต่างของฤดูกาลในประเทศไทย [8] ทำให้เป็นอุปสรรคในการอบแห้ง จากการทดสอบคุณภาพรังไหมและเส้นไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ทั้ง 3 กรณี ซึ่งใช้รังไหมพันธุ์จุล 1 จากกลุ่มเกษตรกรบ้านชำรุ ตำบลห้วยเฮี้ย อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก มีความชื้นเริ่มต้น 57-60 % (wb) ใกล้เคียงกับรังไหมที่ใช้ในการทดสอบของ Naik, S.V. and Somashekar, T.H. [10] และ Singh, P.L. [11] อุณหภูมิการอบแห้งระหว่าง 70-90 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างรังไหมช่วงเวลา 6 9 และ 12 ชั่วโมง สำหรับนำไปทดสอบโดยวิธีการสาวทดสอบ ณ บริษัท จุลไหมไทย จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่ารังไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานไฟฟ้า มีสภาพการสาวดี ลักษณะรังร่วงบางเรียบและคุณภาพเส้นดี (ค่า N&C) ค่าความสะอาด 92.50 (2A) ระยะเวลาอบแห้ง 9 ชั่วโมง ส่วนรังไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า มีสภาพการสาวดี ลักษณะรังร่วงบางเรียบและคุณภาพเส้นดี ค่าความสะอาด 94.00 (2A) ระยะเวลาอบแห้ง 9 ชั่วโมง และรังไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ สภาพการสาวดี ลักษณะรังร่วงบางเรียบและคุณภาพเส้นดี ค่าความสะอาด 94.00 (2A) ระยะเวลาอบแห้ง 12 ชั่วโมง การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียวสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 87 % ซึ่ง Singh, P.L. [11] ได้ทดสอบการอบแห้งรังไหมที่ความชื้นเริ่มต้น 60 % (wb) โดยใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าเช่นเดียวกันเพื่อให้ความร้อนในห้องอบแห้งอุณหภูมิระหว่าง 50-80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง 16-19 ชั่วโมง และได้เปรียบเทียบราคาในการจำหน่ายรังไหมจากการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ซึ่งมีราคาที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การอบแห้งรังไหมเพื่อให้การสาวไหมมีเปอร์เซ็นต์การสาวง่าย รังไหมและเส้นไหมมีคุณภาพ ตัวหนอนไหมแห้งสนิท ช่วยยืดระยะเวลาเก็บรังไหมได้

นานซึ่งสามารถเก็บไว้ได้ 4-6 เดือน ควรใช้ระยะเวลาอบแห้ง 9-12 ชั่วโมง และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย ซึ่งการพัฒนาวัตกรรมการเพื่อให้สอดคล้องกับวิถีความเป็นอยู่ดั้งเดิมของชาวชนบท ให้เป็นนวัตกรรมที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง สะดวก และไม่ยุ่งยากสำหรับกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในท้องถิ่นชนบท และเป็นการนำพลังงานที่มีอยู่โดยไม่ต้องลงทุนมาใช้ให้เกิดประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lertsatitthanakorn, C., Remgwongwitaya, S. and Soponronnarit, S. (2006). "Field Experiments and Economic Evaluation of an Evaporative Cooling System in a Silkworm Rearing House", **Biosystems Engineering**. 93(2), 213-219.
- [2] Raksang, V. (1992). **Improvement of Nakhornratchasima 60 Cocoon Drying Box**. Nakhonratchasima: Queen Sirikit Sericulture Center, Department of Agriculture.
- [3] Ponglangka, W. (2007). **Silk Dried Machine with Infrared Gas Heater**. Chiang Rai: Department of Electrical Engineering. Rajamangala University of Technology Lanna.
- [4] Raksang, V. (2014). **Research and Development for Small Size Farmer's Cocoon Drying Box**. Nakhonratchasima: Queen Sirikit Sericulture Center, Department of Agriculture.
- [5] Usuba, T., Lertsatitthanakorn, C., Poomsa-ad N., Wiset L., Yang, L. and Siriamornpun, S. (2008). "Experimental Performance of a Solar Tunnel Dryer for Drying Silkworm Pupae", **Biosystems Engineering**. 101, 209-216.
- [6] Gupta, S. (1994). "Utilization Potential of Solar Energy in Indian Silk Industry", **Energy Conversion & Management**. 35(4), 307-316.
- [7] Khalifa, A. and Al-Mutwalli, S. (1998). "Effect of Two Axis Sun Tracking on the Performance of Compound Parabolic Concentrators", **Energy Convers Manage**. 10, 1073-1079.
- [8] Khedari, J., Sangprajak, A. and Hirunlabh, J. (2002). "Thailand Climatic Zones", **Renewable Energy**. 25(2), 267-280.
- [9] Krishnaswami, S., Rao, N.R.M., Suryanarayan, S.S.K. and Sundaramurthi, S.T.S. (1972). "Sericulture Manual 3-Silk Reeling", **FAO Agricultural Services Bulletin**. 3-35.
- [10] Naik, S.V. and Somashekar, T.H. (2008). "Effect of Degree of Cocoon Drying and Cocoon Cooking Conditions on Reeling Performance and Quality of Raw Silk of Indian Bivoltine Hybrid Cocoons", **The Journal of Silk Science and Technology of Japan**. 17, 27-32.
- [11] Singh, P.L. (2011). "Silk Cocoon Drying in Forced Convection Type Solar Dryer", **Applied Energy**. 88, 1720-1726.

ผลของความเร็วมต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

The Effect of Inlet Air velocity on Efficiency of the Heat Pump Dryer

เอกกฤษ แก้วเจริญ^{1*} และเอกภูมิ บุญธรรม¹

Eakrit Kaewcharoen^{1*} and Eakpoom Boonthum¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเร็วมต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน ซึ่งเครื่องอบแห้งประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์แบบเปิด ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ความดันที่เครื่องควบแน่น 2.00 MPa ความดันที่เครื่องทำระเหย 0.20 MPa ในการอบกล้วยน้ำว้าแผ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 30 mm. ความชื้นเริ่มต้น 166.07 – 194.15 % db. ระยะเวลาอบแห้ง 10 h อุณหภูมิหน้าห้องอบแห้ง 70°C ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยเปรียบเทียบอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย ที่ความเร็วมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 0.35 และ 0.45 m/s โดยอากาศร้อนหลังผ่านห้องอบแห้งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด จากการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 0.35 และ 0.45 m/s ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบมีค่าเท่ากับ 2.62 2.44 และ 2.38 ตามลำดับ อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.071 kg_{water evap}/kW-h ที่ความเร็วมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s และมีค่าลดลงเมื่อความเร็วมลดลง เนื่องจากความเร็วมหน้าห้องอบแห้งที่ 0.45 m/s มีค่าอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) สูงสุด จึงเป็นเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน สัมประสิทธิ์สมรรถนะ อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย

Abstract

The objective of this research aims to study the effect of inlet air velocity on the efficiency of heat pump dryer which consist of open type compressor driven by electric motor 2.2 kW, pressure at condenser and evaporator were 2.00 MPa and 0.20 MPa, respectively. This study was conducted using banana chips which average diameter were 30 mm. and initial moisture was 166.07 – 194.15 % db. Controlled total drying time at 10 h and the air temperature at inlet was 70°C at all velocities. The variables of this study was Specific Moisture Extraction Rate (SMER). Air flow rate at inlet was varied from 0.25, 0.35 and 0.45 m/s. The hot and humid air after drying was fully recovered. At the inlet air velocity 0.25, 0.35 and 0.45 m/s, the Coefficient of Performance (COP) were 2.62 2.44 and 2.38, respectively. At the inlet air velocity 0.45 m/s, the average Specific Moisture Extraction Rate (SMER) was maximum at 0.071 kg_{water evap}/kW-h and decreased as the inlet air velocity was down. Because the wind speed in front of drying room at 0.45 m/s shown the highest of Specific Moisture Extraction Rate (SMER), cause the highest performance of dryer.

Keywords: Heat Pump Dryer, Coefficient of Performance, Specific Moisture Extraction Rate

¹ อ., สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

¹ Lecturer, Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

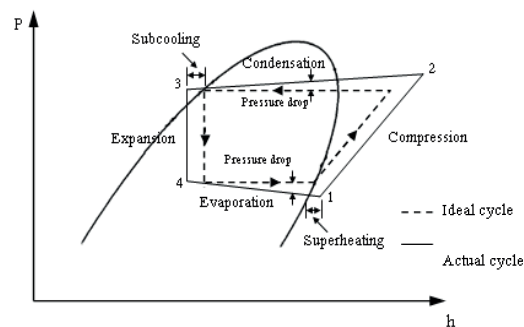
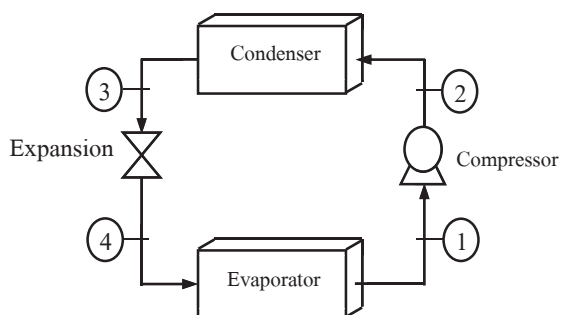
* Corresponding author: Tel.: 089-9521663, E-mail address: eakrit.k@gmail.com

บทนำ

การแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเป็นการถนอมรักษาคุณค่าทางอาหาร และเพิ่มมูลค่าของผลผลิตให้สูงขึ้น ในปัจจุบันการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรมีหลากหลายวิธี การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่ในกระบวนการอบแห้งต้องใช้เวลาและพลังงานมาก โดยความร้อนได้มาจากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น แก๊สธรรมชาติ การเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงและวัสดุเกษตร แต่วิธีเหล่านี้ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศจากกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งบางครั้งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ และมีสารปนเปื้อนตกค้างที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในการอบแห้ง เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างมาก เพราะมีการสูญเสียความร้อนไปกับอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง อีกทั้งอุณหภูมิแวดล้อมก็มีผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การต้องรับอากาศใหม่ (Fresh Air) จากภายนอกเข้ามาในระบบ อาจทำให้มีสิ่งปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในระบบได้ ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม และหาแนวทางต่าง ๆ เพื่อพัฒนาวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้นควบคู่กับการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้บริเวณที่ต้องการความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น การทำงานของปั๊มความร้อนจะดึงความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ จ่ายความร้อนนี้ให้แก่บริเวณที่ต้องการความร้อน สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงในรูปสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความร้อนจากเครื่องควบแน่นกับพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับระบบ ปั๊มความร้อนจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมากกว่า 1 เสมอ [1] ทำให้เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนนั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องอบแห้งประเภทอื่น

เทคโนโลยีการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม และมีความเหมาะสมในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เพราะสามารถทำงานที่อุณหภูมิอบแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ [2] สามารถทำการอบแห้งในรูปแบบของระบบปิดซึ่งเป็นอิสระต่อสภาวะแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูงและมีการปนเปื้อน นอกจากนั้นยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงเพราะมีการเอาความร้อนหลังจากอบแห้งกลับมาใช้ใหม่ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้การอบแห้ง คือสมบัติและประเภทของความชื้นวัสดุ โดยปกติความชื้นที่อยู่ในวัสดุจะประกอบไปด้วย ความชื้นรอบผิว (Boundary Moisture) ซึ่งเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ง่าย และความชื้นในเนื้อวัสดุ (Absorbed Moisture) นอกจากนั้นยังมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ที่มีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอีกด้วย โดยปกติในการอบแห้งวัสดุใด ๆ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุจะสมดุลกับความชื้นอากาศที่ไอบ โดยที่ความชื้นในวัสดุดังกล่าวจะไม่ลดต่ำกว่านี้อีกแม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าใดก็ตาม ความชื้น ณ จุดนี้เรียกว่า ค่าความชื้นสมดุล [3]



(1.1) ส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อน (1.2) แผนภูมิความดันและเอนทาลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อน

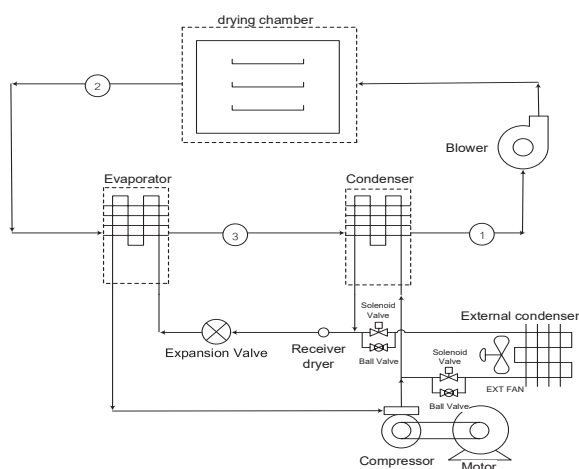
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบและวัฏจักรของระบบปั๊มความร้อน [4]

เนื่องจากความเร็วของอากาศส่งผลอย่างมากกับอัตราการอบแห้ง [5] งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วลมหน้าห้องอบแห้งในการอบแห้งวัสดุเกษตรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยตัวอย่างวัสดุเกษตรที่นำมาอบแห้งคือ กลั้วน้ำว้าแผ่น (Banana Slices) เปรียบเทียบระหว่างความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 0.35 และ 0.25 m/s ว่าแบบใดมีผลต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนดีที่สุด

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้ใช้กลั้วน้ำว้า 2.4 – 3.3 kg หั่นแนวขวางหนาประมาณ 55 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 30 mm ความชื้นเริ่มต้น 166.07 – 194.15 % db. วางเรียงในถาดอบแห้งขนาด 500 x 425 mm จำนวน 6 ถาด บรรจุในห้องอบแห้งขนาด 6000 x 9000 x 4000 mm ที่ทำงานเป็นระบบปิด ใช้ความร้อนจากปั๊มความร้อนในการอบแห้ง โดยปั๊มความร้อนประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์แบบเปิด ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ความดันที่เครื่องควบแน่น 2.00 MPa ความดันที่เครื่องทำระเหย 0.20 MPa. ควบคุมเวลาในการอบแห้งที่ 10 hr. อุณหภูมิหน้าห้องอบแห้ง 70°C ทำการทดสอบที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 0.35 และ 0.45 m/s โดยในการวัดค่าอุณหภูมิอากาศในตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องอบแห้งจะทำการบันทึกจากเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K บันทึกค่าทุกๆ 10 นาที จากนั้นนำค่าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง

การทำงานของระบบอบแห้งปั๊มความร้อนแสดงดังภาพที่ 2.1 โดยตำแหน่งที่ 1 คือลมร้อนก่อนเข้าห้องอบแห้ง เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลไปยังตำแหน่ง 2 อุณหภูมิลมร้อนจะต่ำลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น จากนั้นจะไหลผ่านเครื่องทำระเหย ทำให้สัดส่วนความชื้นและอุณหภูมิลดลงจนถึงตำแหน่งที่ 3 เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องควบแน่น ทำให้อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น และวนกลับเข้าห้องอบแห้งเป็นวัฏจักร โดยการควบคุมอุณหภูมิปั๊มความร้อนใช้วิธีการแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Control) ของโซลินอยด์วาล์ว เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งยังไม่ถึงค่าที่กำหนด (Set Point) สารทำความเย็นจะไม่สามารถไหลผ่านไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอกได้ เพื่อให้สารทำความเย็นไหลเข้าเครื่องควบแน่นตัวใน (Internal Condenser) เพียงตัวเดียว ในทางกลับกันหากอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงกว่าค่าที่กำหนด สารทำความเย็นจะไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอกได้เพื่อระบายความร้อนส่วนเกินออกนอกระบบ โดยที่ยังมีสารทำความเย็นส่วนหนึ่งไหลผ่านเครื่องควบแน่นตัวใน เครื่องอบแห้งที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 2.2



2.1 ฟังแสดงการทำงานของระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

2.2 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนและฟังแสดงการทำงานของระบบ

หาค่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ โดยนำกล้วยน้ำว้าแผ่นหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนไปอบต่อในตู้อบลมร้อนอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักหลังการอบ ซึ่งถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้น (M_d) จากสมการ (1) [6]

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \quad (1)$$

เมื่อ	M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, % dry-basis
	w	คือ มวลของวัสดุ, kg
	d	คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) เป็นความสามารถในระเหยน้ำออกจากวัสดุเกษตร โดยกำหนดให้อัตราการอบแห้งคือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อเวลาการอบแห้ง ดังสมการที่ (2)

$$DR = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง}} \quad (2)$$

การประเมินสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน สามารถพิจารณาได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) ในเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน ดังสมการที่ (3)

$$Q_c = m_r (h_2 - h_3) \quad (3)$$

เมื่อ	m_r	คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s
	h_2	คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่น, kJ/kg
	h_3	คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นขณะออกจากเครื่องควบแน่น, kJ/kg

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน (COP) คำนวณจากอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นต่อกำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอ [1] ที่ได้จากการใช้งานจริงของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน แสดงดังสมการที่ (4) ดังนี้

$$COP = \frac{Q_c}{W_{\text{comp.}}} \quad (4)$$

เมื่อ $W_{\text{comp.}}$ คือ กำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอ, kW

สำหรับประสิทธิภาพพลังงานในการอบแห้ง กำหนดด้วย อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) มีหน่วยเป็น $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kW.h}$ แสดงดังสมการ (5) ตามลำดับ

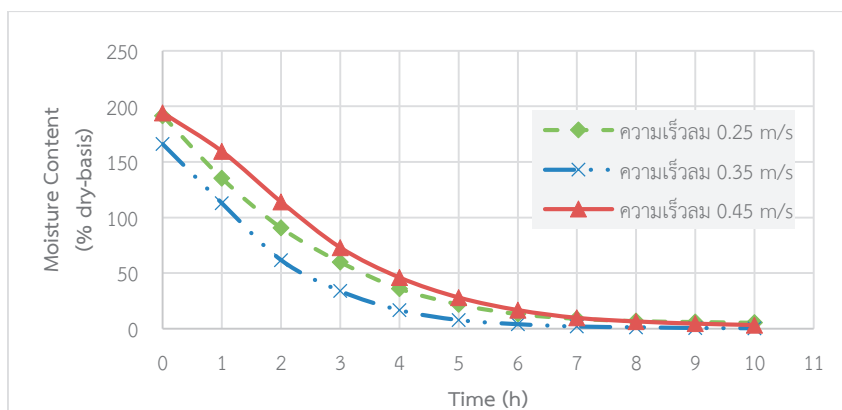
$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}} \quad (5)$$

ผลการทดลองและการอภิปราย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเร็วมอเตอร์ของเครื่องอบแห้งที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน โดยศึกษาความเร็วมอเตอร์ของเครื่องอบแห้ง 3 ระดับ คือ 0.25 m/s, 0.35 m/s และ 0.45 m/s ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Content)

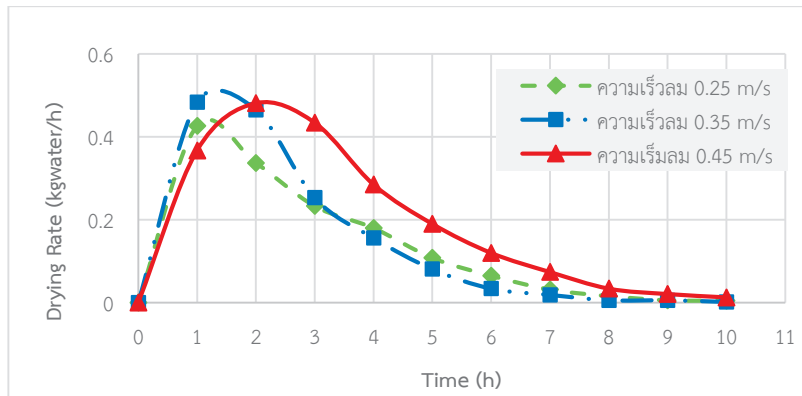
จากการทดลองพบว่า ที่ความเร็วมอเตอร์ของเครื่องอบแห้ง ทั้ง 3 ระดับ มีอัตราส่วนความชื้น ไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยเส้นแนวโน้มจะมีความชันในช่วงต้น เนื่องจากปริมาณความชื้นของกล้วยน้ำว้าแผ่นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปความชื้นของกราฟจะลดลงจน เข้าใกล้ศูนย์นั้นคืออัตราส่วนความชื้น ของกล้วยน้ำว้าแผ่นจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความชื้นที่ผิวออกฤทธิ์เหี่ยวออกไปจนหมด คงเหลือแต่ความชื้นภายในซึ่งระเหยออกมาได้ยากกว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงแรกความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวหน้าและภายในวัสดุพูนต่างกันจะมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในวัสดุพูนเพิ่มขึ้น ทำให้ความแตกต่างระหว่างความชื้นภายในวัสดุพูนกับอากาศโดยรอบภายนอก ส่งผลให้การแพร่ความชื้นจากภายในวัสดุพูนเคลื่อนที่มายังผิวหน้าได้เร็วขึ้นทำให้ความชื้นลดลงเร็วในช่วงแรก [7] จากกราฟ ที่ความเร็วมอเตอร์ของเครื่องอบแห้ง 0.35 m/s มีอัตราส่วนความชื้น ต่ำกว่าทุกความเร็วมอเตอร์ทดลอง เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของความเร็วมอเตอร์มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งหากสามารถควบคุมความชื้นเริ่มต้นให้เท่ากันได้ทุกการทดลอง เส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น อาจจะแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกความเร็วมอเตอร์



ภาพที่ 3 อัตราส่วนความชื้น ของกล้วยน้ำว้าแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate) ของกล้วยน้ำว้าแผ่น

อัตราการอบแห้งของกล้วยน้ำว้าแผ่นในระหว่างการอบแห้งทั้งสามความเร็วมอเตอร์ มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 1 และ 2 จากนั้นจึงลดลงจนคงที่ สอดคล้องกับอัตราส่วนความชื้น จากการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งที่ความเร็วมอเตอร์ของเครื่องอบแห้ง 0.45 0.35 และ 0.25 m/s มีฐานกว้างและลดน้อยลงตามลำดับ ดังภาพที่ 4 หากความเร็วมอเตอร์มีค่าสูง การระเหยของน้ำที่ผิวหน้าวัสดุก็จะสูงขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น [8] ความเร็วอากาศส่งผลอย่างมากกับอัตราการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งที่ความเร็วมอเตอร์สูง อากาศสามารถพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mustafa Aktas, et al. [5]

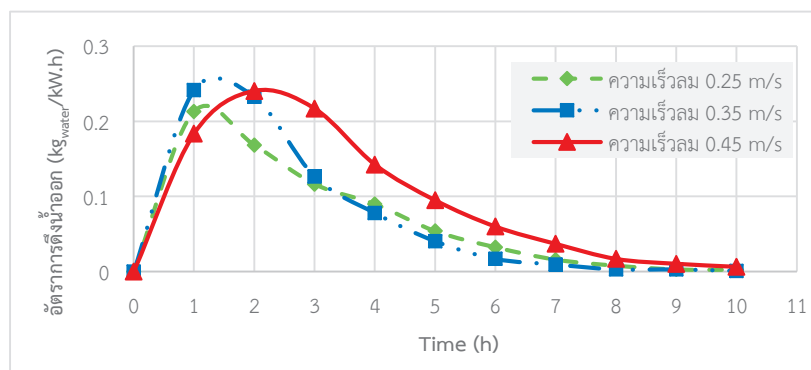


ภาพที่ 4 อัตราการอบแห้งในแต่ละชั่วโมงของเครื่องอบแห้ง

อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (Specific Moisture Extraction Rate, SMER)

อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย เป็นการเปรียบเทียบความชื้นที่สามารถดึงออกจากกล้วยน้ำว้าแผ่นต่อพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง พลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละความเร็วลมมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการทำงานของปั๊มความร้อนเท่ากันทั้งสามความเร็วลม ต่างกันเพียงพลังงานที่ใช้หมุนพัดลม การอบแห้งที่ความเร็วลมสูงใช้พลังงานสูง ความชื้นที่ออกจากกล้วยน้ำว้าสัมพันธ์กับอัตราการอบแห้ง ส่งผลให้กราฟแสดงอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย ในแต่ละชั่วโมง ดังภาพที่ 5 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับกราฟแสดงอัตราการอบแห้ง ในแต่ละชั่วโมง ดังภาพที่ 4

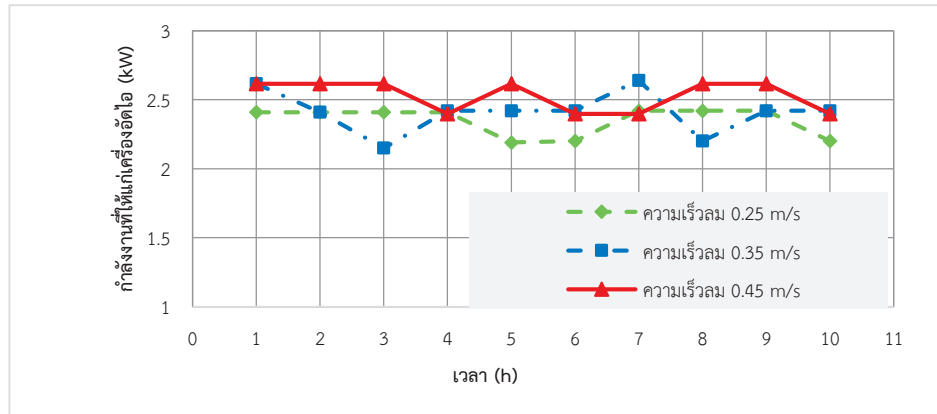
จากภาพที่ 5 ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s จะมีอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 1-2 แต่ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.35 และ 0.25 m/s มีอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 1 เท่านั้น เนื่องจากที่ความเร็วลมเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทมวลบริเวณผิวของกล้วยเกิดขึ้นได้ดีขึ้น



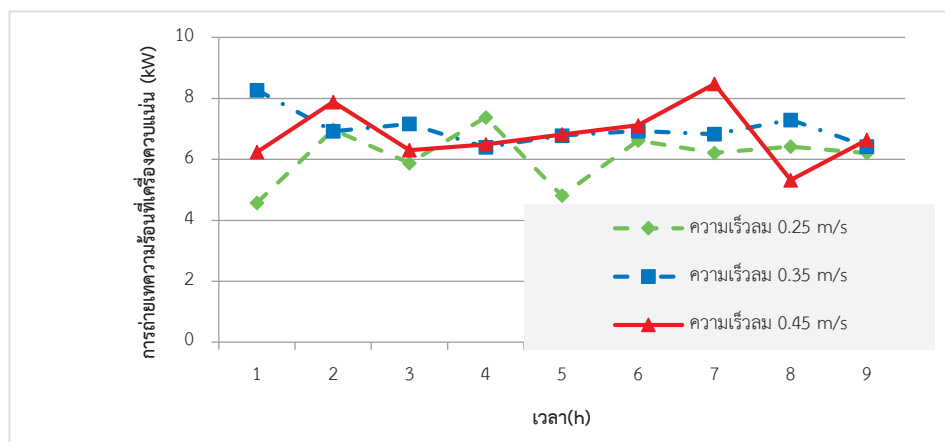
ภาพที่ 5 อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงของเครื่องอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง

พลังงานที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ได้แก่ พัดลมที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศ และมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ จากภาพที่ 6.1 อัตราการใช้พลังงานรวมของเครื่องอบแห้งตลอดช่วงเวลาอบแห้งเท่ากับ 26.79 24.12 และ 21.99 kWh ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 0.35 และ 0.25 m/s ตามลำดับหากเทียบภาพที่ 6.1 และ 6.2 กำลังงานที่เราต้องป้อนให้แก่เครื่องอัดไอจะมีค่าต่ำกว่าการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) ซึ่งเป็นพลังงานที่ปั๊มความร้อนผลิตได้ อันเนื่องมาจากความได้เปรียบเชิงกลทางความร้อนของปั๊มความร้อนซึ่งนับเป็นข้อดีทางด้านพลังงานของระบบดังกล่าวหากเทียบกันอุปกรณ์ทางความร้อนชนิดอื่น



6.1 กำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอแต่ละชั่วโมง

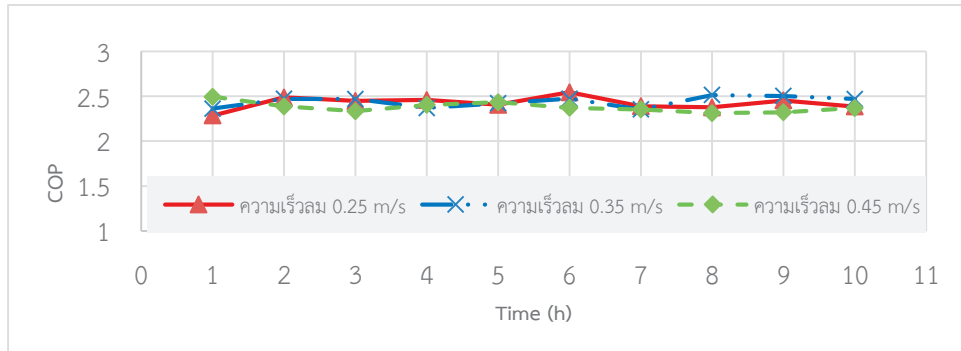


6.2 การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) แต่ละชั่วโมง

ภาพที่ 6 กำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอและการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น ในแต่ละชั่วโมงของการอบแห้ง

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน (COP)

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน คำนวณจากอัตราส่วนระหว่าง อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) กับกำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอแสดงดังสมการ (4) การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนในแต่ละเวลาแสดงดังภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ยที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 m/s เท่ากับ 2.424 ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.35 m/s เท่ากับ 2.441 และที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s เท่ากับ 2.379 และตลอดเวลาการอบแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามความเร็วลม ซึ่งเป็นผลมาจากความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนในแต่ละชั่วโมงของการอบแห้ง

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนแบบระบบปิด ซึ่งทำการทดลองโดยควบคุมอัตราการไหลของความเร็วลมหน้าห้องอบแห้งที่ 0.25 0.35 และ 0.45 m/s สรุปผลได้ดังนี้

ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 m/s ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่น จำนวน 2.204 kg ความชื้นเริ่มต้น 191.60 % อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) 2.38 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR) 0.202 kg_{water, evap}/h อัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) 0.071 kg_{water cond}/kWh

ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.35 m/s ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่น จำนวน 2.416 kg ความชื้นเริ่มต้น 166.07 % อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) 2.44 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR) 0.151 kg_{water, evap}/h อัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) 0.053 kg_{water cond}/kWh

ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นจำนวน 3.310 kg ความชื้นเริ่มต้น 194.15 % อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) 2.62 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR) 0.141 kg_{water, evap}/h อัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) 0.056 kg_{water cond}/kWh

จากการทดลองพบว่า การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s จะมีค่าอัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) สูงสุด แต่จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) น้อยที่สุด ส่วนทดลองการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 m/s จะมีค่าอัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) น้อยที่สุด แต่จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) สูงสุด ซึ่งหากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) ของทั้งสามความเร็วลมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้งที่ 0.45 m/s มีค่าอัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) สูงสุด จึงเป็นเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cengel, Y. A. and Boles, M. (2002). **Thermodynamics an Engineering Approach**. 7th ed., New York: McGraw-Hill.
- [2] Soponronnarit, S. and Achariyaviriya, S. (2000). "Drying of Vegetable and Fruits with Heat Pump Dyer", **The Journal of the Royal Society of Thailand**. 25(2), 182-196.

- [3] Tipyavimol, T. (2010) “Maintaining Quality of Instant Dried Vegetable by Heat Pump Drying Technique”, **Research Report**. Suranaree University
- [4] Sadchang, A. (2006). “Design and Construction of Heat Pump Dryer Prototype for Small Industry”, **Master Thesis in Energy Engineering**. Chiang Mai University.
- [5] Aktas, M., Khanlari, A., Amini, A. and Sevik, S. (2017). “Performance Analysis of Heat Pump and Infrared-Heat Pump Drying of Grated Carrot using Energy-Exergy Methodology”, **Energy Conversion and Management**. 132, 327-338.
- [6] Soponronnarit, S. (1997). **Drying of Food and Cereal Grains**. 7th ed. King Mongkut’s University of Technology Thonburi.
- [7] Wannathon, I. (2011). “A Study of Temperatures and Moist Characteristics Porous Media in ht Air Dryer Chamber using Computational Fluid Dynamics”, **Master Thesis in Mechanical Engineering**. Srinakharinwirot University.
- [8] Duangrisen, W. (2012). “A Study of Drying Cassava Pulp using a Rotary Screen Dryer”, **Master Thesis in Agricultural and Food Engineering**. Suranaree University of Technology.

แนวโน้มการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า

Earthquake Trends in Thailand and Myanmar

โชติ เนื่องนันท์^{1*} นิคม ผึ้งคำ² สมยศ ศรีคงรักษ์² ดวงกมล มามีชัย³ พลรัตน์ ทองเพิ่ม³

และวิฑูรย์ หนูเล็ก⁴

Chote Nuangnun^{1*}, Nikom Phuengkum², Somyot Srikongrug², Duangkamon Mameechai³, Polrat Thongperm³
and Witoon Nuleg⁴

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า โดยใช้ข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในรอบระยะเวลา 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2550-2559 จากผลการวิจัยพบว่าการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพมามีอัตราเพิ่มขึ้น ในด้านความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวพบว่า ประเทศพม่ามีความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวสูงกว่าประเทศไทย โดยประเทศพม่ามีความแรงของแผ่นดินไหวอยู่ในระดับ 6.0 - 7.0 ริคเตอร์ขึ้นไปและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ส่วนประเทศไทยโดยเฉลี่ยแล้วแนวโน้มความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในระดับ 4.0 - 4.9 ริคเตอร์ บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีรอยเลื่อนมีพลังพาดผ่าน ได้แก่ บริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ของประเทศไทย

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว รอยเลื่อน

Abstract

This study aims to study the earthquakes trends in Thailand and Myanmar. Using the earthquake data in the period of 10 years from 2007 to 2016. The research results found that the number of earthquakes in both Thailand and Myanmar is was in increasing number. In the strength of the earthquake, Myanmar has a higher rate of earthquakes than Thailand. Myanmar has earthquake strength of 6.0 - 7.0 Richter and likely to rise. In Thailand, the earthquake strength trend is the level of 4.0 - 4.9 Richter. The risk earthquakes areas in Thailand are mostly located in active fault areas which are found in the northern, western and southern parts of Thailand.

Keywords: Earthquakes, Active Fault Area

¹ ผศ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

² อ., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

³ นักวิจัย, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

⁴ อ.ดร., ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

² Lecturer, Department of Physics, Faculty of Science, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

³ Researcher, Department of Physics, Faculty of Science, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

⁴ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

* Corresponding author: Tel. 0876055841. E-mail address: Chote20@hotmail.com

บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติธรรมชาติที่ร้ายแรงต่อมนุษยชาติเพราะสามารถทำอันตรายต่อชีวิต ทำความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้าง อาคารบ้านเรือน รวมทั้งสภาพธรรมชาติและสภาพแวดล้อม ภายในเวลาชั่วพริบตา [1] อีกทั้งแผ่นดินไหวยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดสึนามิที่สามารถสร้างความหายนะได้อย่างมากมาย ดังเป็นที่ทราบแล้วว่าแผ่นดินไหวนั้นเป็นภัยธรรมชาติที่ไม่มีฤดูกาล สามารถเกิดขึ้นได้ทุกวัน และยังสามารถเกิดขึ้นในทุกประเทศที่อยู่บนโลกใบนี้ ซึ่งจะมากบ้าง น้อยบ้าง มีขนาดเล็กหรือขนาดรุนแรงจะขึ้นอยู่กับว่าประเทศนั้น ๆ มีรอยเลื่อนหรือรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกหรือไม่ และมีความยาวของรอยเลื่อนขนาดไหน

การเกิดแผ่นดินไหวมีสาเหตุมาจาก 2 สาเหตุใหญ่ คือ ประการแรกเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทดลองระเบิดปรมาณู การกักเก็บน้ำในเขื่อน และการระเบิดจากการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เป็นต้น ประการที่สองเกิดจากธรรมชาติซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดแผ่นดินไหว เป็นเหตุอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก [2] โดยการเกิดแผ่นดินไหวประเภทนี้จะเกี่ยวเนื่องกับรอยเลื่อนหรือรอยแตกในหินที่แสดงการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก สำหรับแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าหรือเมียนมาร์นั้นเกี่ยวเนื่องกับรอยเลื่อนที่มีพลัง [3-4] รอยเลื่อนในประเทศไทยจะพบมากในบริเวณ ภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ของประเทศไทยซึ่งแบ่งได้เป็น 14 กลุ่มรอยเลื่อน [2] ส่วนประเทศพม่ามีรอยเลื่อนที่ทรงพลังที่มีขนาดใหญ่และสำคัญที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [5] คือรอยเลื่อนสะแกง (Sagaing Fault) หรือรอยเลื่อนสะกายหรือรอยเลื่อนสะเกียง เป็นรอยเลื่อนขนาดใหญ่ที่มีการเลื่อนไปทางขวาของตัวในแนวเหนือใต้มีความยาวประมาณ 1,200 กิโลเมตร ซึ่งตามรอยเลื่อนสะแกงจะมีรอยเลื่อนขนาดเล็กจำนวนมากโดยจะมีการเลื่อนสัมพันธ์กับรอยเลื่อนใหญ่ [6]

สันติ ภัยหลบลี และสันทวัฒน์ สุขรังสี ได้ทำการศึกษารอยเลื่อนสะแกง พหุกรรมและพิบัติภัยต่อประเทศไทย ผลจากการวิเคราะห์และประเมินพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวของรอยเลื่อนสะแกงพบว่าเป็นรอยเลื่อนที่มักจะไม่ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางหรือขนาดเล็กบ่อยครั้งมากนัก [7] อย่างไรก็ตามจากการสืบเสาะข้อมูลย้อนหลังพบว่าบริเวณรอยเลื่อนสะแกงนั้นมักเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.0-8.0 ริกเตอร์ อย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2515-2534 นอกจากนี้ยังประเมินว่ารอยเลื่อนสะแกงนั้นมีศักยภาพพอที่จะเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้สูงถึง 8.6 ริกเตอร์ โดยเฉพาะบริเวณเมืองมิตจินา (Myitkyna) ทางตอนเหนือของรอยเลื่อนสะแกง [8] การเกิดแผ่นดินไหวในประเทศพม่าที่เกิดจากรอยเลื่อนสะแกงมีผลกระทบต่อประเทศไทยมีโอกาสดังรับแรงสั่นสะเทือนเช่นกัน ด้วยเหตุว่าการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศพม่าและประเทศไทยมีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาแผ่นดินไหวที่เกิดในประเทศไทยและประเทศพม่าในรอบระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2550 จนถึง พ.ศ.2559 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาเปรียบเทียบการเกิดแผ่นดินไหวทั้งสองประเทศด้านจำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหว ความแรงของการเกิดแผ่นดินไหว แล้วนำข้อมูลมาศึกษาเปรียบเทียบกัน และศึกษาบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยตลอดจนถึงแนวโน้มของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวของประเทศไทยและประเทศพม่าในรอบระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 จนถึง พ.ศ.2559 จากกรมอุตุนิยมวิทยา เมื่อได้ข้อมูลมาครบตามที่ต้องการแล้วหลังจากนั้นนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มาวิเคราะห์ โดยจำแนกข้อมูลออกเป็นแต่ละปีและแบ่งเป็นข้อมูลแผ่นดินไหวของประเทศไทยและประเทศพม่า ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละปีของประเทศไทยและประเทศพม่า และนำค่าที่ได้มาจัดทำเป็นหมวดหมู่ วิเคราะห์ข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทยและประเทศพม่าเป็นรายเดือน นำข้อมูลตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยซ้อนทับบนแผนที่รอยเลื่อนของประเทศไทย นำข้อมูล

การเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่ามาเปรียบเทียบกันโดยพิจารณาถึงจำนวนครั้งที่เกิดแผ่นดินไหวและพิจารณาความแรงสูงสุดของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละปี นำแผนที่การเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละปีมาพิจารณาบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวโดยพิจารณาภาคและจังหวัดที่เกิดแผ่นดินไหวและรอยเลื่อนในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว

ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าทำให้ได้ผลการวิจัยโดยแยกออกเป็นสามที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

1. ผลการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ. 2559 ในด้านจำนวนครั้งและความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวทั้งประเทศไทยและประเทศพม่า สามารถสรุปรายละเอียดของการเกิดแผ่นดินไหวได้ดังนี้

ตารางที่ 1 การเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าในปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ. 2559

พ.ศ.2550

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	7	2
3.0-3.9	3	2
4.0-4.9	3	3
5.0-5.9	0	2
6.0-6.9	0	0
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	13	9

พ.ศ.2551

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	24	5
3.0-3.9	12	15
4.0-4.9	2	15
5.0-5.9	0	6
6.0-6.9	0	0
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	38	41

พ.ศ.2552

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	45	34
3.0-3.9	5	32
4.0-4.9	0	9
5.0-5.9	0	0
6.0-6.9	0	0
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	50	75

พ.ศ.2553

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	83	57
3.0-3.9	13	54
4.0-4.9	0	25
5.0-5.9	0	5
6.0-6.9	0	0
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	96	141

ตารางที่ 1 การเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าในปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ. 2559 (ต่อ)

พ.ศ.2554

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	50	136
3.0-3.9	18	224
4.0-4.9	1	67
5.0-5.9	0	12
6.0-6.9	0	2
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	69	441

พ.ศ.2555

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	83	85
3.0-3.9	8	102
4.0-4.9	2	74
5.0-5.9	0	17
6.0-6.9	0	1
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	93	279

พ.ศ.2556

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	62	57
3.0-3.9	7	67
4.0-4.9	1	43
5.0-5.9	0	13
6.0-6.9	0	0
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	70	180

พ.ศ.2557

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	636	60
3.0-3.9	288	81
4.0-4.9	44	67
5.0-5.9	8	10
6.0-6.9	1	1
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	924	219

พ.ศ.2558

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	176	106
3.0-3.9	16	65
4.0-4.9	5	22
5.0-5.9	0	6
6.0-6.9	0	1
7.0 ขึ้นไป	0	0
รวม	197	200

พ.ศ.2559

ความแรง (ริกเตอร์)	ไทย (ครั้ง)	พม่า (ครั้ง)
น้อยกว่า 3.0	189	135
3.0-3.9	17	90
4.0-4.9	0	37
5.0-5.9	0	3
6.0-6.9	0	2
7.0 ขึ้นไป	0	1
รวม	206	268

จากตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559 พบว่าจำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศไทยและประเทศพม่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ในกรณีประเทศไทยในปี พ.ศ. 2557 มีจำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดถึง 924 ครั้งและ

ในปีเดียวกันนี้มีความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดในรอบ 10 ปี โดยวัดความแรงอยู่ในระดับ 6.0-6.9 ริคเตอร์ ส่วนในกรณีประเทศพม่าพบว่า พ.ศ. 2554 มีจำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดจำนวน 441 ครั้งและในปีเดียวกันนี้มีความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดอยู่ในระดับ 6.0-6.9 ริคเตอร์ ถึง 2 ครั้ง โดยแผ่นดินไหวในระดับความแรงเดียวกันนี้เกิดขึ้นทุกปียกเว้นเพียงปีเดียวคือปี 2556 ประเทศพม่าเกิดแผ่นดินไหวมีความแรงสูงสุดในรอบ 10 ปีคือปี พ.ศ. 2559 เกิดความแรงสูงสุดในระดับ 7.0 ริคเตอร์ขึ้นไป

2. ผลการเกิดแผ่นดินไหวเป็นรายเดือนในประเทศไทยและประเทศพม่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559

ในด้านข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ. 2559 ที่วิเคราะห์การเกิดแผ่นดินไหวเป็นรายเดือนในรอบแต่ละปีและจำนวนความแรงสูงสุดของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละเดือน ทำให้พบสาระสำคัญของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 10 ปีระหว่าง พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559 ที่ผ่านมาพบว่าในปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2556 และ ปี พ.ศ. 2559 ประเทศพม่ามีจำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหวมากกว่าประเทศไทยเกือบตลอดทั้งปี มีเพียงปี พ.ศ.2557 นั้นที่จำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยมากกว่าประเทศพม่าอย่างชัดเจน โดยในปีนี้ประเทศไทยเกิดเกิดแผ่นดินไหวจำนวนถึง 586 ครั้งบริเวณภาคเหนือโดยเฉพาะจังหวัดเชียงราย แต่เมื่อพิจารณาความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวทั้งสองประเทศมีค่าความแรงสูงสุดที่ใกล้เคียงกันคือประเทศไทยสามารถวัดความแรงสูงสุดได้ที่ 6.3 ริคเตอร์ ส่วนประเทศพม่าวัดความแรงสูงสุดได้ที่ 6.2 ริคเตอร์ โดยภาพรวมแล้วตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศพม่าจะมากกว่าประเทศไทย ดังจะได้วิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนอภิปรายผลวิจัยต่อไป

3. บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559

สำหรับบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในส่วนนี้จะพิจารณาเฉพาะข้อมูลของบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย ประกอบกับรอยเลื่อนที่อยู่ในประเทศไทยเท่านั้น เมื่อได้นำข้อมูลของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559 พบสาระสำคัญของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 10 ปี ระหว่าง พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ. 2559 ที่ผ่านมาของประเทศไทยว่าบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในรอบ 10 ปี ที่ผ่านมาก็คือบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันตกและภาคใต้ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีกลุ่มรอยเลื่อนอยู่ นอกจากนั้นแล้วยังพบว่ายังมีบริเวณที่ไม่ปรากฏรอยเลื่อนแต่มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น คือภาคกลางที่จังหวัดพิษณุโลก สุพรรณบุรี และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่จังหวัดเลย นครราชสีมา ปี พ.ศ.2557 และปี พ.ศ.2558 จังหวัดเชียงรายเกิดแผ่นดินไหวมากที่สุดถึง 868 ครั้ง และ 101 ครั้งตามลำดับซึ่งสามารถวัดความแรงของแผ่นดินไหวได้ถึง 6.3 ริคเตอร์ในปีพ.ศ. 2557

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สรุป

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าในรอบปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2559 และวิเคราะห์จัดหมวดหมู่ของข้อมูล งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้มี 3 ข้อ พบว่า ประสิทธิภาพความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยทุกข้อ โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ที่ประเด็นดังนี้

ประเด็นที่ 1 พบว่าในรอบ 10 ปีที่ผ่านมาพบว่าทั้งประเทศไทยและประเทศพม่ามีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวเพิ่มมากขึ้น โดยประเทศไทยและประเทศพม่ามีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมากกว่า 50 ครั้งต่อปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2552 เป็นต้นมา ประเทศไทยมีแผ่นดินไหวเกิน 100 ครั้งต่อปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 เป็นต้นมา โดยเฉพาะปี พ.ศ.2557 มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในประเทศไทยทั้งสิ้นถึง 924 ครั้ง ประเทศพม่ามีการเกิดแผ่นดินไหวเกิน 100 ครั้งต่อปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2553 เป็นต้นมาในปี พ.ศ.2557 มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในประเทศพม่าทั้งหมด 441 ครั้งและเป็นที่น่าสังเกตว่าตั้งแต่ พ.ศ.2554 ถึง พ.ศ.2559 ประเทศพม่ามีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในอัตราที่มากกว่า 200 ครั้งต่อปี

ประเด็นที่ 2 ในด้านความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2559) พบว่าโดยภาพรวมแล้วประเทศพม่ามีอัตราความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวมากกว่าประเทศไทย โดยที่ประเทศพม่ามีความแรงของแผ่นดินไหวในระดับ 6.0 ถึง 7.0 ริคเตอร์ขึ้นไป ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554 เป็นต้นมาและประเทศไทยมีความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในระดับ 4.0 ริคเตอร์ ถึง 4.9 ริคเตอร์ตลอดระยะเวลา 10 ปี

ประเด็นที่ 3 แนวโน้มการเกิดแผ่นดินไหวพบว่ากรณีจำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหวมีการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2559) ทั้งในประเทศไทยและประเทศพม่า ส่วนกรณีความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวพบว่าประเทศพม่ามีแนวโน้มของการเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา แต่ประเทศไทยโดยเฉลี่ยแล้วแนวโน้มของการเกิดแผ่นดินไหวจะอยู่ในระดับ 4.0 ถึง 4.9 ริคเตอร์ มีเพียงปี พ.ศ.2557 เท่านั้นที่มีความแรงของแผ่นดินไหวขนาด 6.3 ริคเตอร์

อภิปรายผล

ในการอภิปรายผลการวิจัยการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าในระยะ 10 ปี (พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2559) สามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 อภิปรายผลในเชิงวิเคราะห์อัตราการเพิ่มขึ้นของแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า ส่วนที่ 2 อภิปรายผลในเชิงวิเคราะห์ความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า ส่วนที่ 3 อภิปรายผลเชิงวิเคราะห์บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย รายละเอียดดังนี้

อภิปรายผลในเชิงวิเคราะห์อัตราการเพิ่มขึ้นของแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลถึงจำนวนครั้งของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า พบว่าอัตราสูงขึ้นอย่างทวีคูณในรอบ 10 ปีที่ผ่านมาและตั้งแต่ปี พ.ศ.2557 เป็นต้นมาประเทศไทยและประเทศพม่ามีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสูงมากเกินกว่า 200 ครั้งต่อปีและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นดังนั้นก็จึงจำเป็นที่จะต้องเฝ้าระวังอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวซ้ำ ๆ ในแต่ละพื้นที่และบริเวณพื้นที่ที่มีรอยเลื่อน

อภิปรายผลในเชิงวิเคราะห์ความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่า

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศพม่าในรอบ 10 ปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2559 พบว่าประเทศพม่ามีอัตราความแรงสูงสุดของการเกิดแผ่นดินไหวสูงกว่าประเทศไทยในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาซึ่งพบว่ามีปีพ.ศ.2559 มีความต่างกันถึง 4 ระดับ ประเทศพม่ามีความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวมากกว่า 7.0 ริคเตอร์ ซึ่งเป็นระดับการสั่นไหวที่แรงมากแต่ประเทศไทยมีขนาดของแผ่นดินไหวในระดับ 3.0 ถึง 3.9 ริคเตอร์เกิดการสั่นไหวเล็กน้อยเท่านั้น ที่น่าสังเกตพบว่ามีตั้งแต่ปี พ.ศ.2554 เป็นต้นมาประเทศพม่ามีความแรงของแผ่นดินไหวระดับสูงคือมีความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวประมาณ 6.0 ริคเตอร์ขึ้นไปซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สันติ ภัยหลบลี้ และ สันทวัฒน์ สุขรังสี [7] ที่ประมวลข้อมูลแล้วพบว่าแผ่นดินไหวของพม่าที่มีสาเหตุมาจากรอยเลื่อนสะแกนั้นมีความแรงขนาด 7.0-8.0 ริคเตอร์และรอยเลื่อนนี้มีศักยภาพพอที่จะเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้สูงถึง 8.6 ริคเตอร์ แต่สำหรับประเทศไทยความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในระดับต่ำกว่า 4.9 ริคเตอร์ลงมาถึงเพียงปี พ.ศ. 2557 เท่านั้นที่เกิดแผ่นดินไหวระดับรุนแรงโดยวัดความแรงสูงสุดได้ถึง 6.3 ริคเตอร์ ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sutthipong และคณะ [9] มีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวบนรอยเลื่อนพะเยา ซึ่งแบ่งเป็นรอยเลื่อนแม่ลาวและรอยเลื่อนพาน โดยแผ่นดินไหวครั้งนี้จัดว่าเป็นแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ที่สุดของประเทศไทยตั้งแต่มีการติดตั้งเครื่องวัดแผ่นดินไหวครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดเชียงใหม่ และจากภาพที่ 4 ทำให้พบว่าประเทศไทยมีอัตราการลดระดับความแรงของการเกิดแผ่นดินไหวลงทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2557 เป็นต้นมา

อภิปรายผลเชิงวิเคราะห์บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลถึงบริเวณจังหวัดและรอยเลื่อนที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ.2559 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าบริเวณที่มีแนวโน้มที่จะประสบกับปัญหาการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย บริเวณที่มีเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยนั้นจะเป็นพื้นที่เดิมเป็นบริเวณที่มีรอยเลื่อน ซึ่งง่ายต่อการเกิดแผ่นดินไหว โดยพบว่ามียูอยู่ในบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ของประเทศไทย รอยแตกของหินที่มีการเคลื่อนตัวได้แก่รอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน รอยเลื่อนแม่สะเรียง รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนพะเยา รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนปัว รอยเลื่อนอุตรดิตถ์ รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนเพชรบูรณ์ รอยเลื่อนระนอง รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ด้วยเหตุนี้ทำให้แผ่นดินไหวในภาคเหนือขึ้นตลอดในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาและจะยังคงมีต่อไป รอยเลื่อนด้านเจดีย์สามองค์ภาคตะวันตกของไทยเป็นรอยเลื่อนที่น่าจับตามองมากที่สุดเพราะการเกิดแผ่นดินไหวอาจส่งผลกระทบต่อกรุงเทพฯมากที่สุด รอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยเป็นรอยเลื่อนที่มีพลังและเป็นที่น่าเฝ้าระวังมากที่สุดที่จะส่งผลถึงแผ่นดินไหวในบริเวณภาคใต้

ข้อเสนอแนะ

ในรายละเอียดของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยสามารถศึกษาลงลึกในรายละเอียดเพิ่มเติมในการศึกษารอยเลื่อนและบริเวณที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยแล้วนำมาวิเคราะห์ถึงความเชื่อมโยงและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียงได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nualnin, P. (2012). **Phaendinwai Phibat Phai Thi Khon Thai Tong Phrom Rapmue**. Nonthaburi: Samnak Phim Krin Panya Yan.
- [2] Sapphayakonthonrani, K. (2016). **Sahet Kan Koet Phaendinwai** (Online). Retrieved 5 September 2016, from http://www.dmr.go.th/main.php?filename=case_eq.
- [3] Charusiri, P., Khosuwat, S., Daorok, W. and Khuthranon, S. (2000). **Phaendinwai Nai Prathet Thai Lae Phuen Phaendin Echiatawan Okchiangta** (Online). Retrieved 18 March 2017, from http://elibrary.trf.or.th/download_fullstep2.asp.
- [4] Chitromhantakun, S. (2013). **Roi Luean Mi Phalang Nai Prathet Thai** (Online). Retrieved 5 September 2016, from <http://www.geothai.net/thailand-active-faults/>.
- [5] Le Dain, A.Y., Tapponnier, P. and Molnar, P. (1984). "Active Faulting and Tectonics of Burma and Surrounding Regions", **Journal of Geophysical Research**. 89, 453-472.
- [6] Chitromhantakun, S. (2013). **I live on the Sagaing Fault** (Online). Retrieved 5 September 2016, from <http://www.geothai.net/i-live-on-the-sagaing-fault/>.
- [7] Phailopli, S. and Sukrungsir, S. (2016). **Roi Luean Sa Kai: Pharuetikam Lae Phibat Phai To Prathet Thai** (Online). Retrieved 23 May 2017, from <http://www.earthquake.tmd.go.th/documents/file/seismo-doc-1422078707.pdf>.
- [8] Pailoplee, S. (2013). "Mapping Asperities along the Sagiang Fault Zone, Myanmar using b-value Anomalies", **Journal of Earthquake and Tsunami**. 7(5), 12.
- [9] Noisagool, S., Boonchaisuk, S., Pomsopin, P. and Siripunvaraporn, W. (2016). "The Regional Moment Tensor of the 5 May 2014 Chiang Rai Earthquake (Mw=6.5), Northern Thailand, with Its Aftershocks and Its Implication to the Stress and the Instability of the Phayao Fault Zone", **Journal of Asian Earth Sciences**. 127(2016), 231-245.

การศึกษาการโพลาไรเซชันของแสงจากแว่นกันแดดโพลาไรซ์โดยใช้สมาร์ทโฟน

A Study on Polarization of Light from Polarized Sunglasses Using Smartphones

อาทิตย์ หมดคงจันทร์^{1*} ประสงค์ เกษราธิคุณ² และสุวิทย์ คงภักดี²
Arthit Muadkongchan^{1*}, Prasong Kessaratikoon² and Suwit Khongpakdee²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาการโพลาไรเซชันของแสงจากแว่นกันแดดโพลาไรซ์โดยใช้สมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ที่มีแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite จากการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ทโฟนหลายรุ่น แล้วจึงได้เลือกใช้สมาร์ทโฟน รุ่น Vivo V5s Samsung Galaxy S5 และ Oppo A37 ในการทดลองโดยได้วางสมาร์ทโฟนห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์ที่ระยะ 2 5 10 15 และ 20 เซนติเมตร พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการโพลาไรซ์กับค่าความเข้มแสงโพลาไรซ์มีความสอดคล้องกับกฎของมาลัสมากที่สุด ที่ระยะ 2 เซนติเมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ทดลองใช้กับสมาร์ทโฟนทั้ง 3 รุ่น เท่ากับ 1.87 ± 0.01 0.21 ± 0.01 และ 1.59 ± 0.01 และมีค่า R-Squared (R^2) เป็น 0.9966 0.9974 และ 0.9980 ตามลำดับ

คำสำคัญ: โพลาไรเซชันของแสง กฎของมาลัส สมาร์ทโฟน แว่นกันแดดโพลาไรซ์ แอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite

Abstract

This research paper presents the study on polarization of light from polarized sunglasses using android smartphones which were downloaded the Physics Toolbox Sensor Suite application. According to the unique features of the android smartphones Vivo V5s, Samsung Galaxy S5 and Oppo A37 were chosen to be used in this study. All of three smartphones were put away from the linear polarized light source at 2, 5, 10, 15 and 20 cms. It was found that the relationship between polarization angle and intensity of polarized light corresponds to the Malus' law and was maximum at the distance 2 cms. The percentage error from using all of three smartphones were 1.87 ± 0.01 , 0.21 ± 0.01 and 1.59 ± 0.01 and the regression coefficient (R^2) were also found to be 0.9966, 0.9974 and 0.9980 respectively.

Keywords: Polarization of Light, Malus' Law, Smartphone, Polarized Sunglasses, Physics Toolbox Sensor Suite Application

บทนำ

วิทยาศาสตร์มีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาประเทศ เนื่องจากวิทยาศาสตร์นำมาซึ่งผลิตผลทางที่เป็นเทคโนโลยีใหม่ๆ ช่วยให้คุณภาพชีวิตของคนในสังคมนั้นดีขึ้น [1] ด้วยเหตุนี้การพัฒนาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ จึงถือเป็นสิ่งสำคัญ อย่างไรก็ตามพบว่าการพัฒนาความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ยังไม่ประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยเฉพาะการส่งเสริมให้เยาวชน มีความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ดีจากระบบการศึกษาขั้นพื้นฐานของ

¹นิสิตปริญญาโท, วท.ม. วิทยาศาสตร์ศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

²ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹Graduate Student, M.Sc. Science Studies, Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Sciences, Thaksin University, Songkhla, 90000

²Asst. Prof. Dr., Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Sciences, Thaksin University, Songkhla, 90000

*Corresponding author: Tel.: 084-9649728, E-mail Address: boy521031646@gmail.com

ประเทศ สาเหตุหนึ่งที่เป็นปัญหาก็คือ การใช้สื่อการสอนในห้องเรียนยังไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะช่วยอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ชัดเจน อันอาจมาจากการที่ครูผู้สอนมีความสามารถในการใช้สื่อจำกัดหรือการขาดแคลนสื่อการสอน การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นให้นักเรียนจำสมการและคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ จากสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเน้นทักษะการคำนวณมากกว่าความเข้าใจ ไม่เชื่อมโยงเข้าสู่ความรู้พื้นฐานของนักเรียน ทำให้นักเรียนไม่สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ และยังส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนไม่ดีเท่าที่ควร [2] ประกอบกับปัจจุบันนี้เทคโนโลยีถือเป็นส่วนสำคัญในชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะสมาร์ทโฟน (Smartphone) [3] เพราะสามารถให้ผู้ใช้งานติดตั้งโปรแกรมและแอปพลิเคชันต่างๆ ลงบนสมาร์ทโฟนได้ มีเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่ช่วยให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น สมาร์ทโฟนจึงเหมาะสมที่จะเป็นตัวช่วยในการพัฒนาการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ได้ง่ายขึ้น

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำสมาร์ทโฟนมาประยุกต์กับการทดลองในวิชาฟิสิกส์เพื่อทำการศึกษาการโพลาไรเซชันของแสงจากแว่นกันแดดโพลาไรซ์โดยใช้สมาร์ทโฟน

ทฤษฎี

การโพลาไรเซชัน (Polarization) เป็นสมบัติเฉพาะของคลื่นตามขวางเท่านั้น เนื่องจากคลื่นตามขวางมีการรบกวนอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ ซึ่งแนวการรบกวนจะอยู่ในแนวใดก็ได้ที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น

โพลาไรเซชันของแสง (Polarization of Light) คือ การที่คลื่นแสงมีระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าเพียงระนาบเดียว [4]

แสงโพลาไรซ์ (Polarized Light) คือ แสงซึ่งประกอบด้วยสนามไฟฟ้าที่มีการสั่นในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น เช่น ในแนวตั้ง แนวราบ หรือในแนวทำมุม 30 องศากับแกน x เป็นต้น

แสงไม่โพลาไรซ์ (Unpolarized Light) ประกอบด้วยเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่สั่นในทุกทิศทาง และอยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น ดันกำเนิดแสงตามธรรมชาติจากหลอดไฟ [5]

แว่นกันแดดโพลาไรซ์ (Polarized Sunglasses) คือ โพลาไรเซอร์ซึ่งเป็นแผ่นวัสดุที่สามารถทำให้แสงธรรมชาติเป็นแสงโพลาไรซ์ได้

กฎของมาลุส (Malus' Law) คือ กฎที่บอกปริมาณความเข้มของแสงที่ผ่านไปได้ เมื่อโพลาไรเซอร์ทั้งสองที่ทำมุมต่างจากกัน โดยเมื่อแสงโพลาไรซ์ที่ผ่านโพลาไรเซอร์ออกมาจะเป็นแสงโพลาไรซ์ โดยมีแนวแกนโพลาไรซ์เดียวกับแนวแกนโพลาไรซ์ของโพลาไรเซอร์แต่ละอันมีความเข้มแสง (I) เป็นไปตามกฎของมาลุส (Malus' Law)

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (1)$$

โดย θ คือ มุมระหว่างแกนโพลาไรซ์ของแสงและของโพลาไรเซอร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ทโฟน

สืบค้นข้อมูลในระบบออนไลน์จากเว็บไซต์ siamphone.com เรื่องคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ทโฟนเกี่ยวกับเซ็นเซอร์ที่มีอยู่ในสมาร์ทโฟน คือ เซ็นเซอร์ตรวจจับแสงกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการหมุนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยได้เลือกศึกษาสมาร์ทโฟนยี่ห้อ Vivo Samsung และ Oppo นำข้อมูลที่ได้ออกมาสืบค้นบันทึกลงในตารางและแสดงข้อมูลเกี่ยวกับเซ็นเซอร์ตรวจจับแสงกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการหมุน ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ของสมาร์ทโฟนทั้ง 3 ยี่ห้อ (Vivo Samsung และ Oppo) วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ทโฟนทั้ง 3 ยี่ห้อ

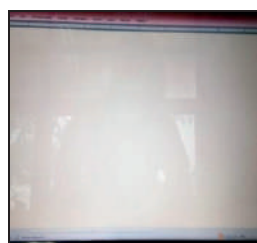
2. การศึกษาการโพลาริเซชันของแสงจากแว่นกันแดดโพลาริซ์โดยใช้สมาร์ทโฟน

วัสดุ-อุปกรณ์

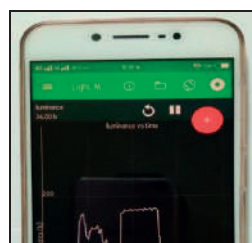
- แว่นกันแดดโพลาริซ์ ซึ่งเป็นโพลาริเซอร์ มีความหนา 0.99 มิลลิเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร และ ยาว 1.5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1
- แหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์ที่ได้จากคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยเลือกใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพา Acer Aspire 4752G ขนาดหน้าจอ 14 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 2
- สมาร์ทโฟน (Smart Phone) ที่มีเซ็นเซอร์ตรวจวัดแสงกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดการหมุน และมีแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite โดยสามารถนำมาใช้ในการวัดความเข้มแสงในหน่วยลักซ์ (Lux) และวัดการเปลี่ยนแปลงของมุม ซึ่งเลือกใช้สมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Vivo V5s Samsung Galaxy S5 และ Oppo A37) ดังแสดงในภาพที่ 3
- ชุดอุปกรณ์สำหรับจับและหมุนสมาร์ทโฟน โดยเลือกใช้ไม้เซลฟี่ของสมาร์ทโฟนซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่หาง่ายและมีฐานไม่ในการตั้งเพื่อจับและหมุนสมาร์ทโฟน ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 1 แว่นกันแดด
โพลาริซ์



ภาพที่ 2 แสงโพลาริซ์ที่ได้
จากหน้าจอคอมพิวเตอร์



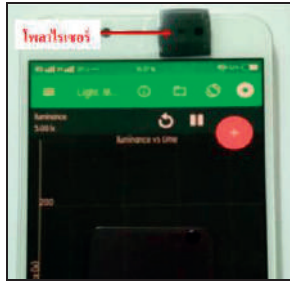
ภาพที่ 3 แอปพลิเคชัน Physics
Toolbox Sensor Suite และ
เซ็นเซอร์ที่อยู่ในสมาร์ทโฟน



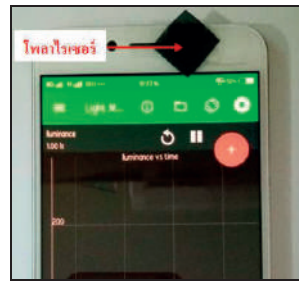
ภาพที่ 4 ชุดอุปกรณ์
สำหรับจับและหมุน
สมาร์ทโฟน

วิธีการทดลอง

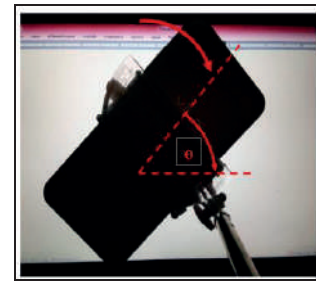
1. เตรียมอุปกรณ์ชุดทดลองการโพลาริเซชันของแสงแล้วนำแว่นกันแดดโพลาริซ์ หนา 0.99 มิลลิเมตร ตัดให้มีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร และ ยาว 1.5 เซนติเมตร มาติดบนเซ็นเซอร์ของสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Vivo V5s ดังแสดงในภาพที่ 5
2. ทำการเปิดแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite ขึ้นเพื่อหมุนให้โพลาริเซอร์แว่นกันแดดโพลาริซ์ มีแนวแกนการโพลาริซ์ตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์จากคอมพิวเตอร์แบบพกพาทำให้วัดความสว่างของแสงออกมาได้น้อยที่สุด และทำการหมุนสมาร์ทโฟนเพื่อหาความสว่างของแสงที่มากที่สุดแล้วบันทึกผลการทดลอง
3. วางสมาร์ทโฟนที่ติดแว่นกันแดดโพลาริซ์ ที่มีแนวแกนการโพลาริซ์ตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์ ห่างจากคอมพิวเตอร์แบบพกพาในแนวเดียวกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร และชุดอุปกรณ์สำหรับจับและหมุนสมาร์ทโฟน ในการจับและหมุนสมาร์ทโฟน ทำการเปิดแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite โดยไปที่แถบเครื่องมือ Multi Record และเลือก Light Meter กับ Inclinator เพื่อทำการบันทึกข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 6 เมื่อเริ่มทำการบันทึกแล้วเริ่มหมุนสมาร์ทโฟนเป็นมุมต่างๆ จากมุม Pitch = $\theta = -90^\circ$ เป็น $\theta = 0^\circ$ ดังแสดงในภาพที่ 7 และส่งข้อมูลที่บันทึกได้เป็นไฟล์ .csv จากสมาร์ทโฟนไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง
4. เปลี่ยนระยะห่างของสมาร์ทโฟนกับแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์จากคอมพิวเตอร์แบบพกพาเป็น 5 10 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ และทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 3 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดลอง
5. เปลี่ยนสมาร์ทโฟนเป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Samsung Galaxy S5 และทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4
6. เปลี่ยนสมาร์ทโฟนเป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Oppo A37 และทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 1-4 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 แว่นกันแดดโพลาไรซ์
ติดบนเซ็นเซอร์ของสมาร์ทโฟน



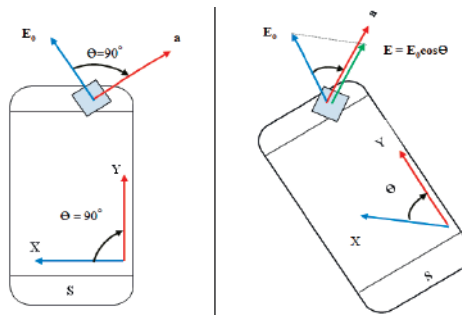
ภาพที่ 6 หมุนแว่นกันแดดโพลาไรซ์ให้มี
แนวแกนการโพลาไรซ์ตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสง



ภาพที่ 7 เริ่มหมุนสมาร์ทโฟนจาก
มุม Pitch = $\theta = -90^\circ$ เป็น $\theta = 0^\circ$

ผลและอภิปรายผล

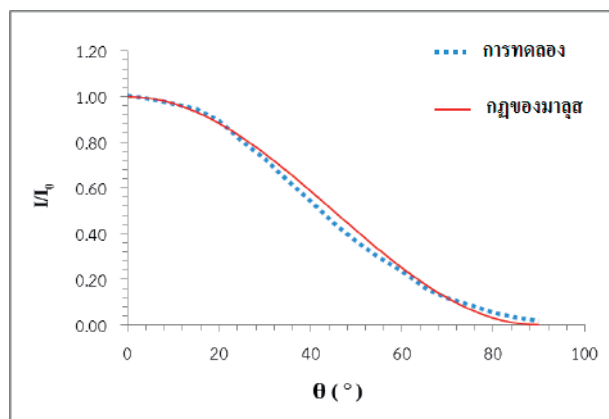
จากการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ทโฟนโดยการสืบค้นข้อมูลในระบบออนไลน์จากเว็บไซต์ siamphone.com เรื่องคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ทโฟนเกี่ยวกับเซ็นเซอร์ที่มีอยู่ในสมาร์ทโฟน คือ เซ็นเซอร์ตรวจจับแสงกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการหมุน ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยผู้วิจัยได้นำผลการศึกษาลงมาเลือกใช้สมาร์ทโฟน 3 รุ่น คือ Vivo V5s Samsung Galaxy S5 และ Oppo A37 ซึ่งมีเซ็นเซอร์ดังกล่าวมาใช้ในการทดลอง และผลที่ได้จากการทดลองเพื่อศึกษาทฤษฎีของมาลัสและการโพลาไรเซชันของแสงพบว่าสมาร์ทโฟนที่วางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์ที่ระยะ 2 เซนติเมตร มีการโพลาไรเซชันของแสงดังแสดงในภาพที่ 8 เริ่มแรก (ภาพซ้าย) เมื่อให้ S แทนสมาร์ทโฟนที่ติดแว่นกันแดดโพลาไรซ์ที่มีแนวแกนการโพลาไรซ์ตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์จากหน้าจอคอมพิวเตอร์แบบพกพาที่มีมุม Pitch = $\theta = -90^\circ$ เป็น $\theta = 0^\circ$ (ภาพขวา) เนื่องจากสนามไฟฟ้าในแนวที่ตั้งฉากกับแนวแกนโพลาไรซ์ของแว่นกันแดดโพลาไรซ์ไม่สามารถผ่านไปได้นั้น ในขณะที่หมุนสมาร์ทโฟนทำให้สนามไฟฟ้าที่ผ่านแว่นกันแดดโพลาไรซ์ออกมาได้มีค่าเป็น $E = E_0 \cos \theta$ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของมาลัสดังแสดงในสมการที่ (1)



ภาพที่ 8 การโพลาไรเซชันของแสงผ่านแว่นกันแดดโพลาไรซ์โดยใช้สมาร์ทโฟน

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม Pitch = θ ($^{\circ}$) กับความสว่าง (Lux) ของสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Vivo V5s ที่วางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์ 2 เซนติเมตร

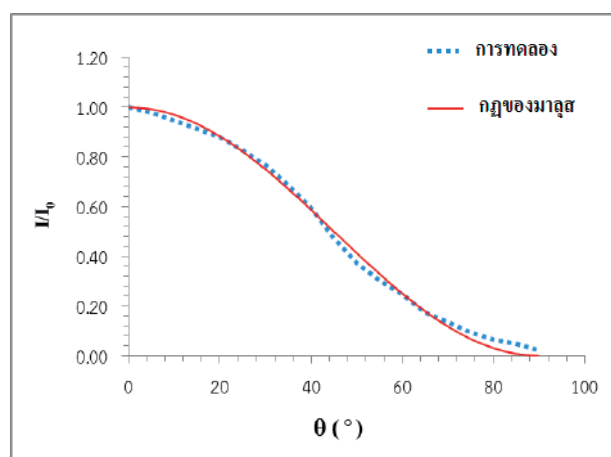
$\theta(^{\circ})$	ความสว่าง (Lux)					
	กฎมาลุส	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
-0	61	60	63	61	61	1.53
-5	61	59	62	60	60	1.53
-10	59	58	61	58	59	1.73
-15	57	56	60	57	58	2.08
-20	54	54	57	53	55	2.08
-25	50	48	50	49	49	1.00
-30	46	43	46	44	44	1.53
-35	41	37	40	39	39	1.53
-40	36	31	34	34	33	1.73
-45	31	27	27	28	27	0.58
-50	25	22	22	23	22	0.58
-55	20	18	18	18	18	0.00
-60	15	13	15	15	14	1.15
-65	11	10	9	11	10	1.00
-70	7	7	7	7	7	0.00
-75	4	5	5	6	5	0.58
-80	2	3	3	4	3	0.58
-85	0	2	2	2	2	0.00
-90	0	1	1	1	1	0.00



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์อัตราส่วนของความเข้มแสงกับมุมระหว่างแกนโพลาไรซ์ของแสงและของแว่นกันแดดโพลาไรซ์จากการทดลองและจากกฎของมาลุส ซึ่งใช้สมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Vivo V5s โดยวางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์เป็นระยะ 2 เซนติเมตร

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม Pitch = Θ (°) กับความสว่าง (Lux) ของสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Samsung Galaxy S5 ที่วางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์ 2 เซนติเมตร

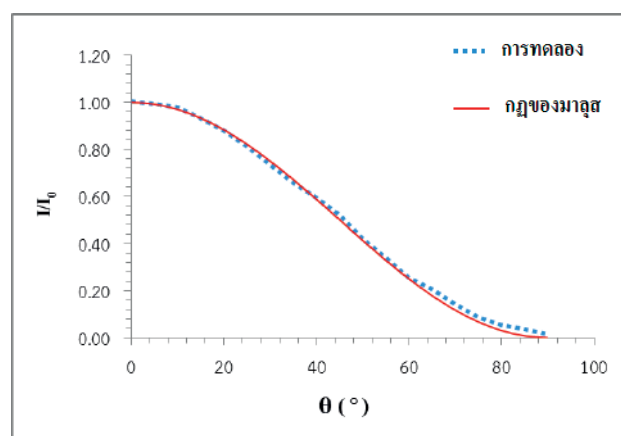
Θ (°)	ความสว่าง (Lux)					S.D.
	กฎของมาลุส	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
-0	50	50	50	50	50	0.00
-5	50	49	49	49	49	0.00
-10	48	47	48	47	47	0.58
-15	47	46	46	45	46	0.58
-20	44	44	44	44	44	0.00
-25	41	41	42	41	41	0.58
-30	38	38	38	39	38	0.58
-35	34	34	35	34	34	0.58
-40	29	30	30	29	30	0.58
-45	25	24	22	25	24	1.53
-50	21	19	17	20	19	1.53
-55	16	15	14	16	15	1.00
-60	13	12	12	13	12	0.58
-65	9	8	9	9	9	0.58
-70	6	6	7	7	7	0.58
-75	3	5	5	4	5	0.58
-80	2	4	3	3	3	0.58
-85	0	3	2	2	2	0.58
-90	0	1	1	1	1	0.00



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์อัตราส่วนของความเข้มแสงกับมุมระหว่างแกนโพลาริซ์ของแสงและของแวนกันแดดโพลาริซ์จากการทดลองและจากกฎของมาลุส ซึ่งใช้สมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Samsung Galaxy S5 โดยวางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์เป็นระยะ 2 เซนติเมตร

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม Pitch = θ ($^{\circ}$) กับความสว่าง (Lux) ของสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
Oppo A37 ที่วางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์ 2 เซนติเมตร

$\theta(^{\circ})$	ความสว่าง (Lux)					S.D.
	กฎมาลุส	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
-0	105	107	103	106	105	2.08
-5	104	106	102	105	104	2.08
-10	102	104	101	103	103	1.53
-15	98	99	99	95	98	2.31
-20	93	94	93	90	92	2.08
-25	86	87	86	83	85	2.08
-30	79	79	77	75	77	2.00
-35	70	71	70	66	69	2.65
-40	62	64	63	60	62	2.08
-45	53	57	53	54	55	2.08
-50	43	45	43	45	44	1.15
-55	35	35	36	35	35	0.58
-60	26	25	28	27	27	1.53
-65	19	21	23	21	22	1.15
-70	12	13	15	17	15	2.00
-75	7	8	9	10	9	1.00
-80	3	5	5	7	6	1.15
-85	1	3	3	5	4	1.15
-90	0	1	1	2	1	0.58



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์อัตราส่วนของความเข้มแสงกับมุมระหว่างแกนโพลาริซ์ของแสงและของแวนกันแดดโพลาริซ์
จากการทดลองและจากกฎของมาลุสซึ่งใช้สมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ Oppo A37
โดยวางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์เป็นระยะ 2 เซนติเมตร

ตารางที่ 4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน และมีค่า R-Squared (R^2) ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณจากกฎของมาลุส โดยวางสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ รุ่น Vivo V5s Samsung Galaxy S5 และ Oppo A37 ห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์ที่ระยะ 2 5 10 15 และ 20

ระยะห่างของ	Vivo V5s		Samsung Galaxy S5		Oppo A37	
สมาร์ตโฟนจาก	เปอร์เซ็นต์	R-Squared	เปอร์เซ็นต์	R-Squared	เปอร์เซ็นต์	R-Squared
แหล่งกำเนิดแสง	ความคลาด	(R^2)	ความคลาด	(R^2)	ความคลาด	(R^2)
(cm)	เคลื่อน		เคลื่อน		เคลื่อน	
2	1.62 ± 0.01	0.9966	0.21 ± 0.01	0.9974	1.59 ± 0.01	0.9980
5	6.34 ± 0.02	0.9895	8.00 ± 0.03	0.9222	4.01 ± 0.01	0.9927
10	17.46 ± 0.06	0.9394	11.55 ± 0.04	0.8840	5.18 ± 0.02	0.9793
15	12.68 ± 0.04	0.9559	10.53 ± 0.04	0.8977	5.16 ± 0.02	0.9840
20	9.14 ± 0.03	0.9644	6.69 ± 0.02	0.9644	7.77 ± 0.03	0.9757

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ตโฟน

จากการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ตโฟน โดยการสืบค้นข้อมูลในระบบออนไลน์จากเว็บไซต์ siamphone.com เรื่องคุณสมบัติเฉพาะตัวของสมาร์ตโฟนเกี่ยวกับเซ็นเซอร์ที่มีอยู่ในสมาร์ตโฟน คือ เซ็นเซอร์ตรวจจับแสงกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการหมุน พบว่าสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ยี่ห้อ Vivo Samsung และ Oppo ที่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับแสงกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการหมุน และสามารถใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite ได้ด้วยกันหลายรุ่น ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สมาร์ตโฟน Vivo V5s Samsung Galaxy S5 และ Oppo A37 เนื่องจากเป็นสมาร์ตโฟนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีราคาไม่แพงมาก จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของมาร์ติน มอนเทียโร ซิซิลีย คาร์บิซา และ อาร์ตูโร ซิ มาติ [6] ที่ได้ศึกษาเซ็นเซอร์วัดความเร่งที่มีอยู่ในตัวสมาร์ตโฟน และแท็บเล็ต ที่สามารถนำมาใช้ทดสอบทฤษฎีและใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการได้อย่างสะดวก

การศึกษากาโรไลนาเรชันของแสงและกฎของมาลุสโดยใช้สมาร์ตโฟน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการโพลาริซ์กับค่าความเข้มแสงของการโพลาริซ์ที่ใช้สมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ รุ่น Vivo V5s Samsung Galaxy S5 และ Oppo A37 ที่วางสมาร์ตโฟนห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์เป็นระยะ 2 5 10 15 และ 20 เซนติเมตร พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการโพลาริซ์กับค่าความเข้มแสงโพลาริซ์มีความสอดคล้องกับกฎของมาลุสมากที่สุด ที่ระยะ 2 เซนติเมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ทดลองใช้กับสมาร์ตโฟนทั้ง 3 รุ่น เท่ากับ 1.87 ± 0.01 0.21 ± 0.01 และ 1.59 ± 0.01 และมีค่า R-Squared เป็น 0.9966 0.9974 และ 0.9980 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของมาร์ติน มอนเทียโร และคณะที่ได้ศึกษากาโรไลนาเรชัน ของแสงโดยใช้สมาร์ตโฟนรุ่น LG-G3 และใช้ชิ้นส่วนจากเครื่องคิดเลขเก่ามาเป็นโพลาริซ์ซึ่งผลการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเป็น 1.87 ± 0.02 และมีค่า R-Squared เป็น 0.99316 [7] และพบว่าความหนาของแวนกันแดดโพลาริซ์มีผลทำให้ที่ระยะ 5 10 15 และ 20 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ห่างแหล่งกำเนิดแสงโพลาริซ์จากหน้าจอคอมพิวเตอร์มากกว่าที่ระยะ 2 เซนติเมตร ทำให้แสงโพลาริซ์ที่ผ่านแวนกันแดดโพลาริซ์ออกไปได้น้อยเมื่อทดลองใช้กับสมาร์ตโฟนทั้ง 3 รุ่น จึงทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงกว่าที่ระยะ 2 เซนติเมตร และสอดคล้องกับผลการทดลองของ ลาลิสซา เวอร์เซนโก

และเลฟ เวอร์เซนโก [8] พบว่า เมื่อนำวัสดุอุปกรณ์ที่หาง่าย เช่น กล้องดิจิทัลแสงโพลาไรซ์ที่ออกจากสมาร์ทโฟน หน้าจอ LCD และ แล็บท็อป มาใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการทางเลือกเพื่อตรวจสอบกฎของมาลุสได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2003). **Learning Management Guide Science**. Bangkok: Kurusapa Printing Ladphrao.
- [2] Jongsala, S. (2011). “Using Geometric Optics Kit (GO-Kit) to Promote Student's Learning in Lenses and Optical Instrument”, **Veridian E-Journal, Silpakorn University**. 4, 410-418.
- [3] Thanapat, R. and Santicharoenwong, P. (2012). **Operating System on Smartphone** (Online). Retrieved 4 June 2017, from <https://sites.google.com/a/bumail.net/smartphones-lifestyle/home>.
- [4] Suwarad, N. (2013). **Course Guide for Physics**. Vol.4. Bangkok: PorSor Pattana.
- [5] Sukpitak, J. (2011). **Polarization of Electromagnetic Wave** (Online). Retrieved on 2 June 2017, from <http://www.phukhieo.ac.th/obec-media/2554/manual/.pdf>
- [6] Monteiro, M.C.S., Cabeza, C. and Marti, C.A. (2015). “Acceleration Measurements Using Smartphone Sensors Dealing with the Equivalence Principle”, **Revista Brasileira de Ensino de Fisica**. 37(1), 1301-1305.
- [7] Monteiro, M.C.S., Cabeza, C. and Marti, C.A. (2017). “The Polarization of Light and Malus’ Law Using Smartphones”, **The Physics Teacher**. 55(10), 264-266.
- [8] Vertchenko, L. and Vertchenko, L. (2016). “Verification of Malus’s Law Using a LCD Monitor and Digital Photography”, **Revista Brasileira de Ensino de Fisica**. 38(3), e3311.

การพัฒนาชุดทดลองการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟน และท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

Development of Experimental Set on Resonance of Sound Using Smartphones and Polyvinyl Chloride (PVC) Tube

ธวัชชัย นาคชูวัย^{1*} ประสงค์ เกษราธิคุณ² และสุวิทย์ คงภักดี²

Thawatchai Nakchuay^{1*}, Prasong Kessaratikoon² and Suwit Khongpakdee²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาชุดทดลองการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ ชุดการทดลองดังกล่าวนี้ใช้ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ยาว 1 เมตร เป็นท่อปลายเปิด 1 ด้าน ปิด 1 ด้าน สำหรับการสั่นพ้องของเสียง และใช้สมาร์ทโฟน 2 เครื่องที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน Phyphox ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและติดตั้ง แอปพลิเคชัน Oscilloscope เพื่อตรวจวัดระดับความเข้มเสียง ในการทดลองใช้ความถี่เสียงตั้งแต่ 800 – 2,200 Hz พบว่าเกิดการสั่นพ้องของเสียงที่ชัดเจน สามารถคำนวณค่าความยาวคลื่นและอัตราเร็วเสียง ในช่วงความถี่ 1,000 – 2,200 Hz และความถี่ 800 Hz มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าทางทฤษฎีไม่เกิน 2 % และ 6 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: การสั่นพ้องของเสียง สมาร์ทโฟน ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ แอปพลิเคชัน Phyphox แอปพลิเคชัน Oscilloscope

Abstract

This research paper presents the development of experimental set on resonance of sound using smartphones and polyvinyl chloride (PVC) tube. The 1 metre long and one-closed-end PVC tube which used to be the resonance tube for this experimental set. Two smartphones which were downloaded the Phyphox and the Oscilloscope applications, were used as a sound source and a sound intensity detector, respectively. It was found that the suitable audio frequency from 800 - 2,200 Hz could be used for the accurate sound resonance in this study. Furthermore, the wavelength and speed of sound were studied and calculated in the frequency ranges of 1,000 - 2,200 Hz and 800 Hz with the error compared to the theoretical values within 2 % and 6 %, respectively.

Keywords: Resonance of Sound, Smartphones, Polyvinyl Chloride (PVC) Tube, Phyphox Application, Oscilloscope Application

¹ นิสิตปริญญาโท วท.ม. วิทยาศาสตร์ศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Graduate Student, M.Sc. Science Studies, Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Sciences, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Asst. Prof. Dr., Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Sciences, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel.: 087-6273075. E-mail Address: nakchuay616@gmail.com

บทนำ

โลกแห่งศตวรรษที่ 21 การศึกษาจะมีความยืดหยุ่น สร้างสรรค์ ทำทาย และซับซ้อน เป็นการศึกษาที่จะทำให้โลกเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเต็มไปด้วยสิ่งท้าทาย และปัญหา รวมทั้งโอกาสและสิ่งที่เป็นไปได้ใหม่ๆ การเรียนรู้จากตำราจะเป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ความรู้เกิดขึ้นจากการวิจัยและการปฏิบัติโดยเชื่อมโยงกับความรู้และประสบการณ์เก่า [1] ในขณะเดียวกันการศึกษาไทยแลนด์ 4.0 คือ การเรียนการสอนที่สอนให้ผู้เรียน สามารถนำองค์ความรู้ที่มีอยู่ทุกหนทุกแห่งบนโลกนี้มาบูรณาการเชิงสร้างสรรค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมต่าง ๆ มาตอบสนองความต้องการของสังคม [2] ซึ่งการเรียนการสอนในปัจจุบัน ยังคงห่างไกลในหลาย ๆ มิติ เช่น ไม่เคยสอนให้ผู้เรียนได้คิดเองทำเองส่วนใหญ่ยังคงสอนให้ทำโจทย์แบบเดิม ๆ อีกเรื่องคือผู้เรียนเริ่มไม่รู้จักสังคม ส่วนใหญ่ใช้เวลาในโลกออนไลน์ ซึ่งเทคโนโลยีไม่ได้คิด แต่เหรียญมีสองด้าน เทคโนโลยีก็เช่นกัน จะนำไปใช้ในด้านใดให้เกิดประโยชน์ เป็นความยากและท้าทายของผู้ที่ต้องทำหน้าที่สอนในยุคนี้เพราะการเรียนการสอนในยุค 4.0 ต้องปล่อยให้ผู้เรียนได้ใช้เทคโนโลยี ในการเรียนรู้ด้วยตนเอง ปล่อยให้กล้าคิดและกล้าที่จะผิด แต่ทั้งหมดก็ยังต้องอยู่ในกรอบที่สังคมต้องการหรือยอมรับได้ [3] วิชาฟิสิกส์นั้นถือว่าเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือสิ่งที่เกิดขึ้นรอบตัวเราโดยอย่างยิ่งเกี่ยวกับคลื่นเสียง สำหรับการอธิบายเกี่ยวกับคลื่นเสียงเป็นเรื่องที่ยากสำหรับผู้สอนที่จะทำให้ผู้เรียนเห็นภาพพจน์ที่ชัดเจนและเกิดความเข้าใจพอสมควร โดยเฉพาะในเรื่องการสั่นพ้องของเสียงเป็นเรื่องที่ต้องให้ผู้เรียนจินตนาการถึงการเคลื่อนที่หรือผู้สอนจะต้องวาดภาพของการเคลื่อนที่ให้ผู้เรียนได้เข้าใจ จึงทำให้อาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ผู้เรียนอาจจะตีความหมายของภาพที่วาดขึ้นแตกต่างไปมาจากที่ถูกต้อง และเมื่อใช้ชุดทดลองทั่วไป พบว่าชุดทดลองที่ใช้ในห้องทดลองมีราคาสูง และบางชุดทดลองได้ผลการทดลองที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นผู้สอนควรจะนำเอาชุดการทดลองที่ใช้เทคโนโลยีด้านสมาร์ทโฟนและแอปพลิเคชัน เข้ามาช่วยในการอธิบายเกี่ยวกับการสั่นพ้องของเสียงในการเรียนการสอนให้มากยิ่งขึ้น โดยการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สมาร์ทโฟนเข้ามามีบทบาทกับผู้เรียนเป็นอย่างมาก ซึ่งมีความสามารถที่มากมาย มากกว่าการเป็นแค่โทรศัพท์มือถือทั่วไป สมาร์ทโฟนเป็นเหมือนคอมพิวเตอร์พกพา โดยที่สามารถเชื่อมต่อความสามารถหลักของโทรศัพท์มือถือร่วมกับแอปพลิเคชันของโทรศัพท์นั้น ๆ โดยสมาร์ตโฟนนั้นสามารถให้ผู้ใช้งานติดตั้งแอปพลิเคชันต่าง ๆ ลงบนสมาร์ตโฟนได้และสมาร์ตโฟนยังมีคุณสมบัติพิเศษคือ เซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์หาค่าสนามโน้มถ่วง อัตราเร็ว สนามแม่เหล็ก ค่าความเข้มแสง และเซ็นเซอร์เกี่ยวกับเสียง

ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาชุดทดลองเรื่องการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยนำเทคโนโลยีด้านสมาร์ทโฟน และแอปพลิเคชันเข้ามาช่วยทำการทดลองและในการอธิบายเกี่ยวกับการสั่นพ้องของเสียง ใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นสื่อที่จะทำให้ผู้เรียนเห็นภาพที่ชัดเจน และผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการทดลองและออกแบบสร้างอุปกรณ์ทดลองทางฟิสิกส์ ซึ่งชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีราคาต่ำ วัสดุสามารถหาได้ง่าย ผู้วิจัยคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลที่ได้ศึกษาในครั้งนี้จะมีส่วนทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาในวิชาฟิสิกส์มากยิ่งขึ้นด้วย

ทฤษฎี

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ ซึ่งส่งผลให้โมเลกุลของตัวกลางเกิดการอัดและขยายตัวแล้วเกิดการถ่ายทอดพลังงานไปโดยที่อนุภาคของตัวกลางสั่นไปมาอยู่ที่เดิม และการได้ยินเสียงต้องมียอดก่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิด ตัวกลางและผู้ฟัง อัตราเร็วของเสียงพบว่า เมื่ออุณหภูมิของเสียงสูงขึ้นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โดยพบว่าอัตราเร็วเสียงและอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (K) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v = \sqrt{T}$$

เมื่อ v เป็นอัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s)

T เป็นอุณหภูมิของอากาศ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

และจากการทดลองที่อุณหภูมิ 0°C หรือ 273 K เสียงในอากาศมีอัตราเร็วเท่ากับ 331 m/s ดังนั้นสมการในการหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ คือ

$$v_t = 331 + 0.6t \quad (t \text{ แทนด้วยอุณหภูมิในหน่วย } ^{\circ}\text{C})$$

แต่สูตร $v_t = 331 + 0.6t$ จะใช้ได้เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางไม่เกิน 45°C ถ้าอุณหภูมิของตัวกลางเกิน 45°C จะต้องใช้สมการ

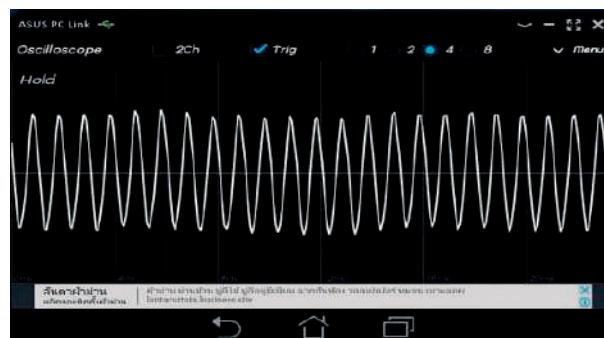
$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดทดลองเรื่องการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยมีการศึกษาคุณสมบัติของสมาร์ทโฟน สมาร์ทโฟนที่ใช้ในชุดการทดลองจะติดตั้งแอปพลิเคชัน Phyphox ดังภาพที่ 1 ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและติดตั้งแอปพลิเคชัน Oscilloscope ตรวจวัดระดับความเข้มเสียง ดังภาพที่ 2

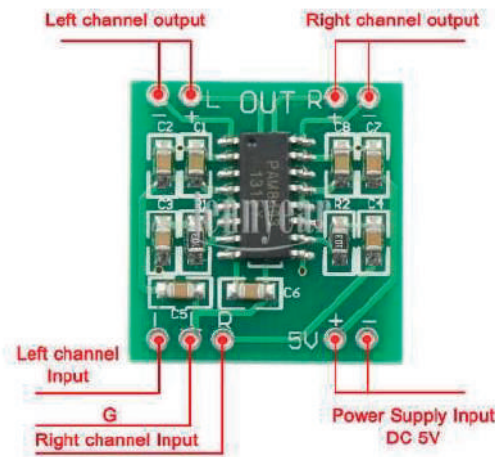


ภาพที่ 1 แอปพลิเคชัน Phyphox



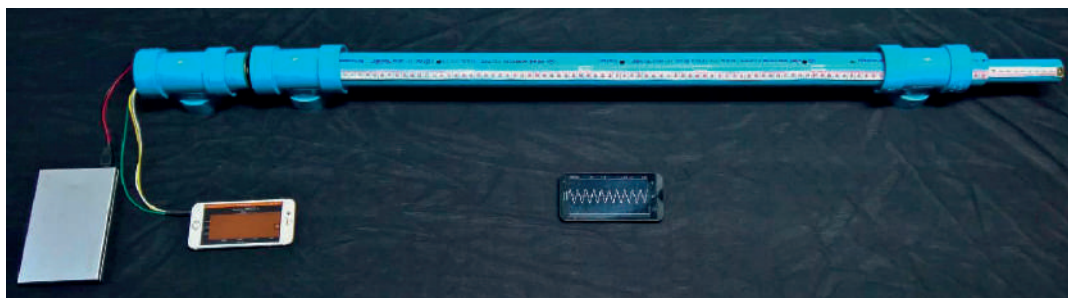
ภาพที่ 2 แอปพลิเคชัน Oscilloscope

สำหรับขั้นตอนการพัฒนาชุดทดลองเรื่องการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นชุดการทดลองใช้ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ยาว 1 เมตร เป็นท่อปลายเปิด 1 ด้าน ปิด 1 ด้าน โดยใช้ PAM8403 Digital Amplifier Board เป็นชุดวงจรขยายเสียง ดังภาพที่ 3 ใช้กับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ผ่าน USB จากนั้นจัดชุดอุปกรณ์ วงจรขยายเสียงเข้ากับชุดทดลองท่อการสั่นพ้องที่ใช้ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 PAM8403 Digital Amplifier Board

(ที่มา : <http://www.sunrom.com/p/stereo-audio-amplifier-pam8403>)



ภาพที่ 4 ชุดทดลองเรื่องการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาชุดทดลองการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ทโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาชุดทดลองโดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณจากทฤษฎี ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยเสนอผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลจากการศึกษาคุณสมบัติของสมาร์ทโฟน

จากการศึกษาคุณสมบัติของสมาร์ทโฟนและแอปพลิเคชันต่าง ๆ พบว่า สมาร์ทโฟนทุกรุ่นที่มีระบบปฏิบัติการ Android และ iOS ที่มีช่องเสียบหูฟังและไมโครโฟน สามารถเป็นแหล่งกำเนิดเสียงและตรวจวัดระดับความเข้มเสียงได้ทุกรุ่น โดยขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการเวอร์ชันที่รองรับ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ สะดวกในการใช้งาน ผู้วิจัยได้ศึกษาแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นแหล่งกำเนิดเสียงและตรวจวัดระดับความเข้มเสียงไว้ ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แอปพลิเคชันแหล่งกำเนิดเสียง

แอปพลิเคชัน	ระบบปฏิบัติการที่รองรับ		คุณสมบัติ
	Android	iOS	
Phyphox	4.0 และสูงกว่า	8.0 และสูงกว่า	มีเซ็นเซอร์ให้เลือกใช้งานได้หลากหลาย แต่ประสิทธิภาพการใช้งานเซ็นเซอร์ขึ้นกับสมาร์ทโฟน
Physics Toolbox Sensor Suite	4.1 และสูงกว่า	10.0 และสูงกว่า	มีเซ็นเซอร์ให้เลือกใช้งานได้หลากหลาย แต่สำหรับระบบ iOS ใช้งานได้เฉพาะฟังก์ชัน Tone Generator
Tone Generator	4.1 และสูงกว่า	8.0 และสูงกว่า	แอปพลิเคชันใช้งานง่าย แต่มีวิธีการปรับความถี่แบบเลื่อน จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการเลือกความถี่นาน
Sonic Pitch Sound Tone Generator	4.0 และสูงกว่า	7.0 และสูงกว่า	แอปพลิเคชันใช้งานง่าย แต่มีวิธีการปรับความถี่แบบเลื่อน จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการเลือกความถี่นาน
ToneGen Tone Generator	2.3.3 และสูงกว่า	6.0 และสูงกว่า	สามารถปรับความถี่ได้หลายค่า แต่ใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก
Frequency Sound Generator	4.0 และสูงกว่า	9.0 และสูงกว่า	สามารถสร้างความถี่เสียงพร้อมกัน 3 ค่า แต่สำหรับระบบ iOS มีค่าใช้จ่าย
Frequency & Tone Generator	4.0 และสูงกว่า	-	สามารถปรับความถี่ได้หลายค่า แต่เพิ่มความถี่ครั้งละ 1 Hz ได้เท่านั้น
Simple Tone Generator	2.3 และสูงกว่า	-	สามารถปรับความถี่ได้หลายค่า แต่ใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก
Tone Generator PRO	4.0.3 และสูงกว่า	-	สามารถปรับความถี่ได้หลายค่า แต่ใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก
Sound Generator	2.3 และสูงกว่า	-	สามารถปรับความถี่ได้หลายค่า แต่ใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก
Audio Tone Generator Lite	-	10.3 และสูงกว่า	สามารถปรับความถี่ได้หลายค่า แต่ใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก
Audio Function Generator	-	9.0 และสูงกว่า	สามารถปรับเพิ่ม ลด เสียงได้ในแอปพลิเคชัน แต่ใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก

จากการศึกษาคุณสมบัติของสมาร์ทโฟนและแอปพลิเคชันต่าง ๆ ตามตารางที่ 1 พบว่า แอปพลิเคชันสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดเสียง จะใช้กับสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการ Android และระบบปฏิบัติการ iOS ที่มีช่องเสียบหูฟังและไมโครโฟน โดยขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการเวอร์ชันที่รองรับ โดยผู้วิจัยได้เลือกแอปพลิเคชันสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดเสียง คือ Phyphox รองรับระบบปฏิบัติการ Android 4.0 และสูงกว่า และรองรับระบบปฏิบัติการ iOS 8.0 และสูงกว่า โดยแอปพลิเคชัน Phyphox สามารถเป็นแหล่งกำเนิดเสียง โดยสามารถปรับความถี่เสียงได้หลายค่าที่ต้องการ และมีความละเอียดในการปรับค่าความถี่เสียง การใช้งานแอปพลิเคชันใช้งานง่าย และมีเซ็นเซอร์ให้เลือกใช้งานได้หลากหลาย แต่ประสิทธิภาพการใช้งานเซ็นเซอร์ขึ้นกับสมาร์ทโฟน

ตารางที่ 2 แอปพลิเคชันตรวจวัดระดับความเข้มเสียง

แอปพลิเคชัน	ระบบปฏิบัติการที่รองรับ		คุณสมบัติ
	Android	iOS	
Oscilloscope (XYZ-Apps)	3.0 และสูงกว่า	-	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย สามารถปรับความสูงของกราฟได้
SmartScope Oscilloscope	3.0 และสูงกว่า	-	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย แต่การสังเกตกราฟเสียงค่อนข้างยาก
SignalScope X	-	10.0 และสูงกว่า	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย แต่ระบบ iOS มีค่าใช้จ่าย
MC Oscilloscope	-	9.0 และสูงกว่า	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย แต่ระบบ iOS มีค่าใช้จ่าย
AX-7 Oscilloscope	-	7.0 และสูงกว่า	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย แต่ระบบ iOS มีค่าใช้จ่าย
Sonic Tools SVM	-	9.0 และสูงกว่า	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย แต่การสังเกตกราฟเสียงค่อนข้างยาก
Oscilloscope (Sound-Base Audio, LLC)	4.1 และสูงกว่า	-	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย แต่การสังเกตกราฟเสียงค่อนข้างยาก
Audio Frequency Counter	2.2 และสูงกว่า	-	สามารถสังเกตกราฟเสียงได้ง่าย แต่การใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก
Sound Level Meter	4.0.3 และสูงกว่า	-	สามารถสังเกตกราฟเสียงได้ง่าย แต่การใช้งานแอปพลิเคชันค่อนข้างยาก
Sound Analyzer App	4.3 และสูงกว่า	-	ใช้งานแอปพลิเคชันง่าย แต่การสังเกตกราฟเสียงค่อนข้างยาก

จากการศึกษาคุณสมบัติของสมาร์ตโฟนและแอปพลิเคชันต่าง ๆ ตามตารางที่ 2 พบว่า แอปพลิเคชันสำหรับตรวจวัดระดับความเข้มเสียง จะใช้กับสมาร์ตโฟนในระบบปฏิบัติการ Android และระบบปฏิบัติการ iOS โดยขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการเวอร์ชันที่รองรับ โดยผู้วิจัยได้เลือกแอปพลิเคชันสำหรับตรวจวัดระดับความเข้มเสียง คือ Oscilloscope รองรับระบบปฏิบัติการ Android 3.0 และสูงกว่า โดยแอปพลิเคชัน Oscilloscope สามารถตรวจวัดระดับความเข้มเสียงแสดงผลเป็นกราฟระดับความเข้มเสียงที่ชัดเจน สามารถปรับระดับความสูงของกราฟได้

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการทดลองกับการคำนวณจากทฤษฎี

จากการหาประสิทธิภาพโดยทดสอบชุดทดลองการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ตโฟนเทียบผลกับค่าจากทฤษฎี โดยขั้นตอนการทดลองเปลี่ยนความยาวท่อ ความถี่คงที่ ทดสอบหาค่าความยาวคลื่นและอัตราเร็วเสียง ของท่อปลายเปิด 1 ด้าน ปิด 1 ด้าน โดยอุณหภูมิห้องที่ทดลอง 30 °C ผลการทดลองดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าจากการทดลองความยาวคลื่นเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎี

ความถี่ (Hz)	ความยาวคลื่นจากการทดลอง (cm)				S.D.	ความยาวคลื่น จากทฤษฎี (cm)	เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
800	45.65	45.95	45.85	45.82	0.15	43.62	5.01
1,000	35.27	35.17	35.33	35.26	0.08	34.90	1.02
1,200	29.44	29.38	29.46	29.43	0.04	29.08	1.19
1,400	24.85	24.85	24.90	24.87	0.03	24.92	0.21
1,600	22.21	22.21	22.20	22.21	0.01	21.18	1.83
1,800	19.76	19.76	19.78	19.77	0.01	19.38	1.94
2,000	17.46	17.48	17.48	17.47	0.01	17.45	0.12
2,200	15.95	15.99	16.03	15.99	0.04	15.86	0.82

ตารางที่ 4 ค่าจากการทดลองอัตราเร็วเสียงเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎี

ความถี่ (Hz)	อัตราเร็วเสียงจากการทดลอง (m/s)				S.D.	อัตราเร็วเสียง จากทฤษฎี (m/s)	เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
800	365.20	367.60	366.80	366.53	1.22	349.00	5.02
1,000	352.70	351.70	353.30	352.57	0.81	349.00	1.02
1,200	353.28	352.56	353.52	353.12	0.50	349.00	1.18
1,400	347.90	347.90	348.60	348.13	0.40	349.00	0.25
1,600	355.36	355.36	355.20	355.31	0.09	349.00	1.82
1,800	355.68	355.68	356.04	355.80	0.21	349.00	1.95
2,000	349.20	349.60	349.60	349.47	0.23	349.00	0.12
2,200	350.90	351.78	352.66	351.78	0.88	349.00	0.80

จากทฤษฎีความยาวคลื่นที่ระยะต่าง ๆ และอัตราเร็วเสียง ณ อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งจากการทดลองพบว่า ในช่วงความถี่ 1,000 Hz – 2,200 Hz จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 % และความถี่ 800 Hz จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 6 %

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

การพัฒนาชุดทดลองการสั่นพ้องของเสียงโดยใช้สมาร์ตโฟนและท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นชุดการทดลองใช้ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์ยาว 1 เมตร เป็นท่อปลายเปิด 1 ด้าน ปิด 1 ด้าน โดยใช้สมาร์ตโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน Phyphox ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและติดตั้งแอปพลิเคชัน Oscilloscope ตรวจวัดระดับความเข้มเสียง และใช้ PAM8403 Digital Amplifier Board เป็นวงจรขยายเสียง โดยใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ผ่าน USB มีความเหมาะสมในการใช้ทดลองการสั่นพ้องของเสียงประสิทธิภาพสูง จากการเปรียบเทียบกับทฤษฎีการหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ และการสั่นพ้องของเสียงในท่อปลายเปิด 1 ด้าน ปิด 1 ด้าน พบว่าในช่วงคลื่นความถี่ 800 Hz – 2,200 Hz จะเกิดการสั่นพ้องของเสียงที่ชัดเจน โดยค่าความยาวคลื่นและอัตราเร็วเสียงที่ได้จากการทดลอง ในช่วงความถี่ 1,000 Hz – 2,200 Hz มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 % และความถี่ 800 Hz มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 6 %

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mesintree, K. (2016). **Strategy and Reformation to Thailand 4.0**. Bangkok: Ministry of Education.
- [2] Henjaroenlerd, N. (2016). **New Territories of Learning: Education System 4.0**. Bangkok: Learning Innovation Center, Chulalongkorn University.
- [3] Jaroensedtasin, T. (2016). **Thai Education 4.0 in the Context of Education Management for Sustainable Development**. Bangkok: Vayupak Convention Center, Certra Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Watthana.
- [4] Akkaratheeranon, T. (2012). **Development of High Efficiency Standing Waves on A String Apparatus for Performing and Experiment, Teaching and Learning Activities in Physics on Waves**. Research Report. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- [5] Suwarat, N. (2011). **Course Guide Learn more Physics, Volume 3, Secondary 4-6**. Bangkok: P.S.Pattana.
- [6] Waikruea, B. (2011). **Using Experimental Method on Interference and Diffraction of Light to Develop Learning Achievement on Physics for Grade XI Students**. Independent Study Master of Science. Ubonratchathani: Ubonratchathani University.
- [7] Pimpisan, P. (2014). **Construction the Experiments to Determine the Speed of Sound in Solids by Resonance of the Sound Wave**. Thesis Master of Science. Chonburi: Burapha University.
- [8] Anupongongarch, P. (2009). **Development of the Experiment Set for Studying Wave Resonance in Closed End Tube**. Research Report. Bangkok: Randsit University.
- [9] Suriyapichitkul, O. (2016). **Design and Build of the Experimental Kit of An Acoustic Interferometer Using Sound Wave form Application on Smartphone**. Thesis Master of Science. Chonburi: Burapha University.
- [10] Alwielland, Q.B. (2013). "Development and Utilization of a Modified Resonator Tube Apparatus for Sound Wave Experiments", **JPAIR Multidisciplinary Research**. 13(1), 44-56.
- [11] Jaafar, R. (2016). "Visualization of Harmonic Series in Resonance Tubes Using a Smartphone", **The Physics Teacher**. 54(9), 545-547.

ผลการเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงในเตาเผาเชื้อเพลิงระบบหัวเผาจากการอัดอากาศ ของพัฒนหอยโข่ง

The Direct Effect Combustion of Biomass in Burner System by Compressed Air from the Centrifugal Blower

วัชรกร ใจตรง^{1*} และมนตรี วงศ์ศิริวิทยา¹

Wacharakron Jaitong^{1*} and Montree Wongsiriwittaya¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอุณหภูมิการเผาไหม้ของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในระบบหัวเผา โดยอาศัยหลักการอัดอากาศเข้าสู่ระบบจากพัฒนหอยโข่งเพื่อสร้างสมรรถนะทางความร้อนของเปลวไฟ จากการทดลองใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิดได้แก่ ขี้เลื่อยอัดแท่ง เศษถ่านไม้ และซังข้าวโพด พบว่าอุณหภูมิเปลวไฟจากการเผาไหม้ขี้เลื่อยอัดแท่งวัดได้เป็น 910 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อนคงที่ 300 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนเศษถ่านไม้กับซังข้าวโพดวัดอุณหภูมิเปลวไฟได้ 855 และ 651 องศาเซลเซียสตามลำดับ และทั้ง 2 ตัวอย่างใช้อัตราการป้อนคงที่ 500 กรัมต่อชั่วโมง จากผลการทดลองนี้ทราบว่าเชื้อเพลิงแข็งขี้เลื่อยอัดแท่งให้อุณหภูมิสูงสุดและอัตราการป้อนน้อยกว่าเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดถึงร้อยละ 40 โดยปริมาตร และเตาเผาเชื้อเพลิงในระบบหัวเผานี้เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอบแห้ง หรือ ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้

คำสำคัญ: เตาเผาเชื้อเพลิง ระบบหัวเผา พัฒนหอยโข่ง ชีวมวล เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Abstract

This research aims to investigating the temperature for combustion from biomass in a burner system, with on the principle of compressed air into the system from the centrifugal blower to the flame of thermal performance. The results showed sample three types were tested: sawdust pellets, charcoal flakes and corn cobs. It was found that the combustion flame of sawdust to temperature was 910 °C, and feed rate of 300 g/hr. The charcoal flakes measured 855 °C and 651 °C, at flame temperature respectively and both samples used feed rate of 500 g/hr. The result of this study sawdust has the highest temperature for combustion, and feed rate is less than the two types of biomass to 40 % by volume. The furnace is suitable for using for applying in drying systems, or heat generator system.

Keywords: Furnace, Burner, Blower, Biomass, Generator

¹ อ., สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

¹ Lecturers, Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author Tel.: 055-282792, E-mail address : wjaitong@gmail.com

บทนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงาน ซึ่งมีความสำคัญควบคู่ไปกับการพัฒนาประเทศ ดังนั้นพลังงานเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐาน และมีความสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวัน จึงต้องมีการจัดหาและพัฒนาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีความเหมาะสมและมีคุณภาพที่ดีตามความต้องการ [1] ปัจจุบันพลังงานที่ใช้อยู่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานสิ้นเปลือง และพลังงานหมุนเวียน โดยพลังงานสิ้นเปลืองเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งรวมถึงถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ส่วนพลังงานหมุนเวียน คือพลังงานที่ได้อย่างต่อเนื่องและเกิดซ้ำบนโลก เช่น พลังงานน้ำที่ได้จากการสร้างเขื่อนแล้วใช้น้ำในการขับเคลื่อนกังหันผลิตไฟฟ้า พลังงานจากแสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า พลังงานจากคลื่นทะเล และพลังงานจากชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่น่าสนใจ

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่กักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์และยังเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน การใช้พลังงานชีวมวลเผาไหม้เพื่อสร้างความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด [2] ดังนั้นจึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลโดยใช้กระบวนการความร้อนทางเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ กระบวนการทอริเฟลกชัน คือ การนำชีวมวลมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250 ถึง 300 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยวัตถุประสงค์หลักของกระบวนการนี้เพิ่มค่าพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้นกว่าเดิม [3] กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) คือ กระบวนการย่อยสลายทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส เพื่อแปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลว เรียกว่า “ไบโอออยล์ (Bio-oil)” ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วม และโรงไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล ส่วนแก๊สที่ได้จากกระบวนการสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สได้ ส่วนของแข็งที่ได้เป็นถ่านชาร์สามารถเผาไหม้ให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำหรือนำมาใช้ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน [4] และเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงเกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัวของเชื้อเพลิงชีวมวลกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมเกิดการลุกไหม้และคายความร้อนออกมา ซึ่งการเผาไหม้จำเป็นต้องใช้อากาศ และอากาศมีออกซิเจนอยู่ประมาณร้อยละ 21 โดยปริมาตร [5] ซึ่งการเพิ่มอากาศให้กับระบบการเผาไหม้สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น

เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงจากการอัดอากาศ เป็นกระบวนการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้ และใช้การป้อนอากาศช่วยในการทำปฏิกิริยาเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยมีระบบอัดอากาศเพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น [6] และมีขั้นตอนการทำงานไม่ยุ่งยาก ทำให้สามารถพัฒนาขยายรูปแบบใหญ่ขึ้นได้ในระดับชุมชนได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการเผาไหม้โดยตรงของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในระบบหั่วเตาและใช้พัดลมหย่องช่วยในการป้อนอากาศ และมีขั้นตอนการทดลองโดยเลือกใช้เชื้อเพลิงขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และขี้เลื่อยอัดเม็ดผสมเศษถ่านไม้ ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในเขตจังหวัดพิษณุโลก จากการทดลองเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงร่วมกับการป้อนอากาศเข้าในระบบของเตาเผา รวมทั้งศึกษาการเผาไหม้ และทดลองหาอุณหภูมิจากปลวไฟต่อระยะเวลาการเผาไหม้เชื้อเพลิง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงจากเตาเผาชีวมวลในระบบหั่วเตาให้เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าของชีวมวลเหลือทิ้งให้กลับมาใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ และระบบการเผาไหม้โดยตรงระบบหั่วเตาโดยการอัดอากาศนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อในกลุ่มสร้างอาชีพชุมชน เช่นการใช้เป็นเตาเผาขยะชุมชนร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากขยะ หรือการเผาไหม้ให้เกิดความร้อนที่สามารถนำมาใช้กับกระบวนการอบแห้งอาหาร เสื้อผ้า ห้องปฏิบัติการที่ต้องการใช้ความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

วัตถุดิบเชื้อเพลิงแข็ง

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวอย่างเชื้อเพลิงแข็ง 3 ชนิด ได้แก่ ขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และซังข้าวโพด ซึ่งนำมาใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟในการเผาไหม้ของเตาเผาเชื้อเพลิงในระบบหั่วเผาโดยการป้อนอากาศของพัดลมหอยโข่ง ดังต่อไปนี้

จากภาพที่ 1 ขี้เลื่อยอัดแท่ง เป็นการนำเอาชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำการบดและอัดแท่ง ซึ่งสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึง 20 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [7] และที่สำคัญคือการนำวัสดุทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สะดวกต่อการขนส่ง และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [8]



ภาพที่ 1 เชื้อเพลิงแข็งขี้เลื่อยอัดเม็ด

จากภาพที่ 2 เศษถ่านไม้ที่ได้จากการนำไม้มาผ่านกระบวนการให้ความร้อนในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนจนความชื้น และสารระเหยสลายตัวออกไปจากเนื้อไม้ ซึ่งจะเหลือแต่ส่วนที่เป็นคาร์บอนที่สามารถใช้งานเป็นเชื้อเพลิง [9] และมีงานวิจัยที่ทำการทดลองค่าความร้อนของถ่านอยู่ระหว่าง 17 ถึง 25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [10] รวมทั้งมีคุณสมบัติพิเศษในการใช้งาน คือการเผาไหม้ที่ให้อุณหภูมิสูง ซึ่งเหมาะต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนได้ดี



ภาพที่ 2 เชื้อเพลิงแข็งเศษถ่านไม้

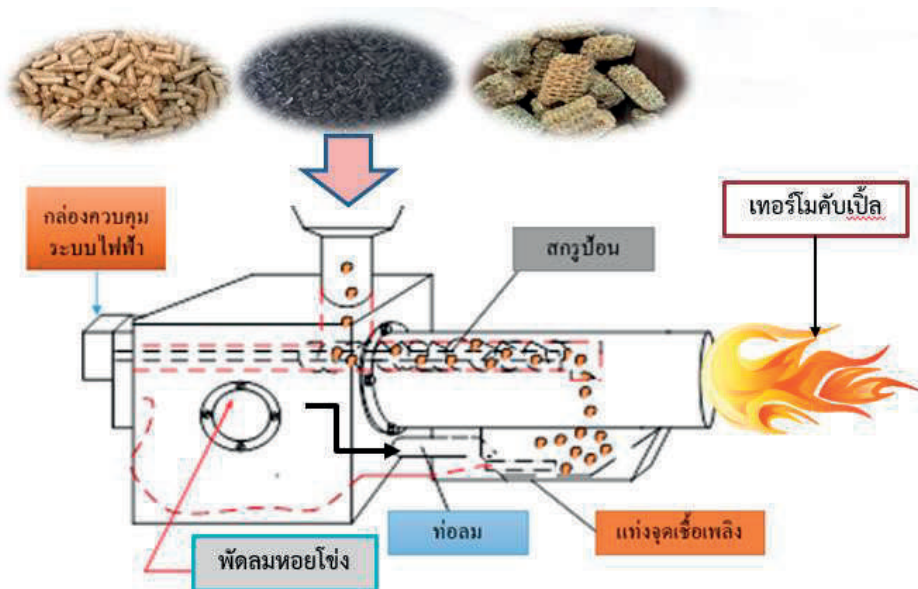
จากภาพที่ 3 ซังข้าวโพดเป็นผลผลิตชนิดหนึ่งจากเกษตรกรรม ซึ่งเหลือจากการสีเมล็ดข้าวโพดออกเสร็จแล้ว จากนั้นเกษตรกรไม่ได้ใช้ประโยชน์จากซังข้าวโพด และมีการปล่อยทิ้งไว้ให้ย่อยสลายไปเอง บางรายก็เผาทิ้งไปเพื่อเตรียมพื้นที่ปลูกใหม่ ซึ่งทำให้เกิดมลพิษจากการเผาทิ้ง และที่ผ่านมามีงานวิจัยพบว่าค่าความร้อนของซังข้าวโพดอยู่ระหว่าง 10 ถึง 18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [11] ทำให้ซังข้าวโพดมีมูลค่าขึ้นมาจากเดิมที่ต้องทำลายโดยการเผาทิ้ง และเหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ด้านความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 3 เชื้อเพลิงแข็งชีวะข้าวโพด

อุปกรณ์เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชีวมวล

เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในระบบหัวเผาโดยการอัดอากาศจากพัดลมหอยโข่ง ซึ่งมีอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 4 ประกอบด้วย ถังป้อนเชื้อเพลิงที่มีขนาดความกว้าง 20 ซม. และสูง 20 เซนติเมตร มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 750 วัตต์ สกรูลำเรียงชีวมวลทำจากแผ่นอลูมิเนียมหนา 1.2 มิลลิเมตร เครื่องเป่าลมกำลังไฟ 600 วัตต์ แท่งจุดเชื้อเพลิงทำจากลวดความร้อน และห้องเผาไหม้ที่มีขนาดความกว้าง 15 ซม. และสูง 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 4 เตาเผาไหม้เชื้อเพลิงในระบบหัวเผา

หลักการทำงานของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชีวมวล

เริ่มจากการป้อนเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และขี้ข้าวโพด เข้าสู่กระบวนการของเตาเผาไหม้ในตำแหน่งถังป้อนชีวมวล 1 กิโลกรัม จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับสกรูลำเรียงเพื่อป้อนชีวมวลเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง จากนั้นเปิดสวิตช์กระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ของแท่งจุดเชื้อเพลิงด้วยลวดความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจุดเชื้อเพลิงแข็งให้ติดไฟ ให้เกิดการเผาไหม้โดยเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลกับอากาศทำปฏิกิริยากัน [12] และเวลาเดียวกันจะป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยเครื่องเป่าลมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งในขณะเดียวกันยังมีแก๊สเกิดขึ้นบริเวณห้องเผาไหม้ด้วย [13] ซึ่งแก๊สเหล่านี้สามารถนำไปใช้ให้ความร้อนในขั้นตอนเริ่มต้นจุดไฟ

การทดลองอุณหภูมิเปลวไฟ

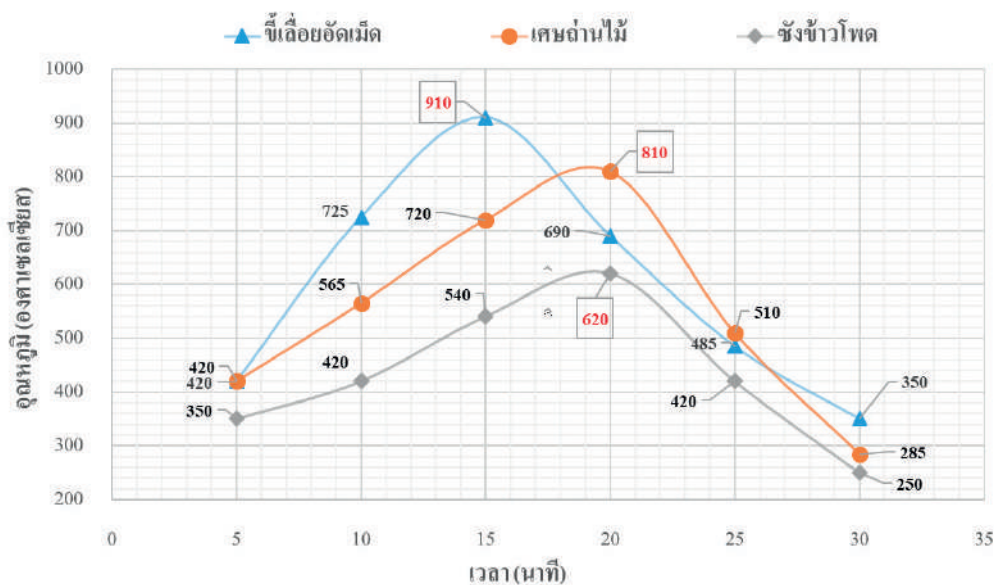
การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิของเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งขี้เลื่อยอัดเม็ด เศษถ่านไม้ และขี้ข้าวโพด เริ่มต้นเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงและจากนั้นถ้าเกิดเปลวไฟแล้วจะนำอุปกรณ์เทอร์โมคัปเปิลมาวัดค่าความร้อน

ที่เปลวไฟสามารถทำได้และบันทึกค่า เพื่อศึกษาผลการเผาไหม้ของกระบวนการและเปรียบเทียบข้อมูลของชนิดเชื้อเพลิง
แข็งชีวมวล โดยอัตราการป้อนต่อระยะเวลา

ผลการวิจัย

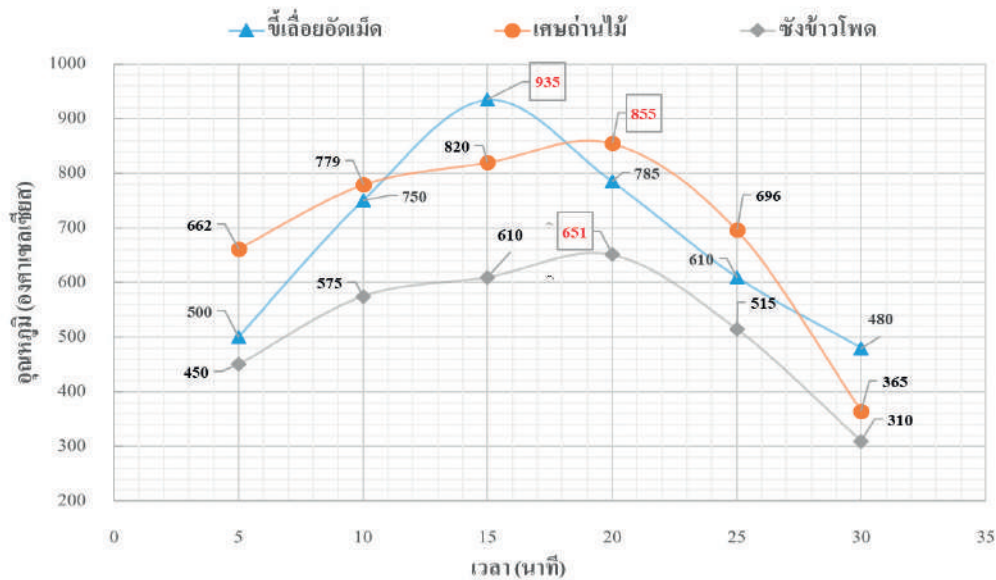
งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง โดยใช้เชื้อเพลิงแข็งชี้อยู่ชนิด เศษถ่านไม้ และซังข้าวโพด
ที่อัตราการป้อนเป็น 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิที่เปลวไฟจากการเผาไหม้ของเตาเทียบกับ
กับระยะเวลา การทดลองแต่ละการทดลองใช้วิธีทำซ้ำ 3 ครั้งต่อ 1 การทดลอง และมีแผนการทดลองทั้งหมดรวมกันแล้ว
เป็น 9 การทดลอง

การทดลองที่ 1 ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟของเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลทั้ง 3 ชนิดที่อัตราการป้อน 300 กรัมต่อชั่วโมง
ทำการเผาไหม้ของเตาเผา และใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นเครื่องมือวัดและแบ่งช่วงบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที จากระยะเวลาทั้งหมด
30 นาที จากภาพที่ 5 ผลการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที อุณหภูมิที่เปลวไฟของชี้อยู่ชนิดเป็น 725 องศาเซลเซียส
เศษถ่านไม้เป็น 565 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น 420 องศาเซลเซียส และช่วงเวลานาทีที่ 15 ของการทดลองทราบว่า
อุณหภูมิที่เปลวไฟของชี้อยู่ชนิดเป็น 910 องศาเซลเซียส เศษถ่านไม้เป็น 720 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น 540
องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าชี้อยู่ชนิดจากการเผาไหม้ของเตาเผาเชื้อเพลิงให้ค่าอุณหภูมิของเปลวไฟสูงสุด จากนั้นค่าของ
อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงตามลำดับ



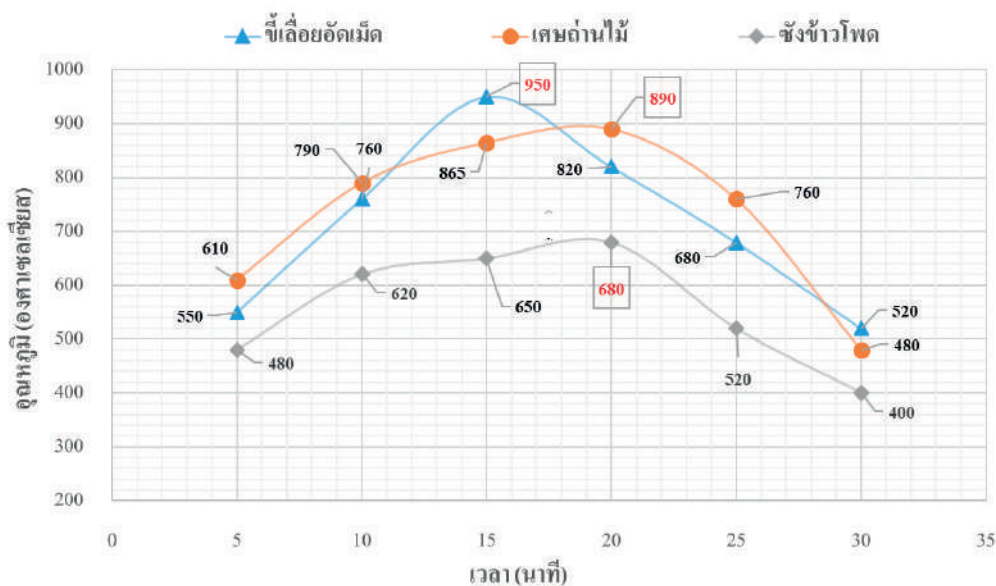
ภาพที่ 5 อุณหภูมิเปลวไฟที่อัตราการป้อน 300 กรัมต่อชั่วโมง

การทดลองที่ 2 ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟของเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลทั้ง 3 ชนิดที่อัตราการป้อน 500 กรัมต่อชั่วโมง
โดยการทดลองใช้ระยะเวลาทั้งหมด 30 นาที จากภาพที่ 6 ช่วงเวลานาทีที่ 15 ทราบว่าอุณหภูมิที่เปลวไฟของชี้อยู่ชนิด
เป็น 935 องศาเซลเซียส และที่เวลา 20 นาที อุณหภูมิที่เปลวไฟของเศษถ่านไม้เป็น 855 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น
651 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าชี้อยู่ชนิดจากการเผาไหม้สามารถให้ค่าอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด



ภาพที่ 6 อุณหภูมิเปลวไฟที่อัตราการป้อน 500 กรัมต่อชั่วโมง

การทดลองที่ 3 ค่าของอุณหภูมิเปลวไฟของเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลทั้ง 3 ชนิดที่อัตราการป้อน 700 กรัมต่อชั่วโมง จากภาพที่ 7 ช่วงเวลานาทีที่ 15 ทราบว่าอุณหภูมิที่เปลวไฟของซีเลื่อยอัดเม็ดเป็น 950 องศาเซลเซียส และที่เวลา 20 นาที อุณหภูมิที่เปลวไฟเศษถั่วลิสงเป็น 890 องศาเซลเซียส และซังข้าวโพดเป็น 680 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าซีเลื่อยอัดเม็ดจากการเผาไหม้ยังให้ค่าอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด



ภาพที่ 7 อุณหภูมิเปลวไฟที่อัตราการป้อน 700 กรัมต่อชั่วโมง

จากการทดลองการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเปลวไฟของชีวมวลทั้ง 3 ได้แก่ ซีเลื่อยอัดเม็ด เศษถั่วลิสง และซังข้าวโพด ทราบว่าซีเลื่อยอัดเม็ดสามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 910 935 และ 950 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองขั้นต้นพบว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งชีเอ็ลยัดเม็ดสามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 910 935 และ 950 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่เศษถ่านไม้สามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 810 855 และ 890 องศาเซลเซียสตามลำดับ และขี้เถ้าสามารถให้อุณหภูมิสูงที่สุดทุกการทดลองจากอัตราการป้อนชีวมวล 300 500 และ 700 กรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิเปลวไฟเป็น 620 651 และ 680 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าชีเอ็ลยัดแท่งคุ้มค่าต่อการใช้งานด้านให้ความร้อนของเปลวไฟเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในระบบหัวเผา และเหมาะสมต่อการใช้เชื้อเพลิงในเชิงปริมาณเมื่อเทียบกับอัตราการป้อน 300 กรัมต่อชั่วโมง ที่ 910 องศาเซลเซียส และผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการอบแห้ง หรือ ระบบให้ความร้อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Arteaga-Perez, L.E., Gomez-Capiro, O., Karelavic, A. and Jimenez, R. (2016). "A Modelling Approach to the Techno-Economics of Biomass-to-SNG/Methanol Systems: Standalone vs Integrated Topologies", **Chemical Engineering Journal**. 286, 663-678.
- [2] Haegele, M.T. and Arjhar, W. (2017). "The Effects of Cultivation Methods and Planting Season on Biomass Yield of Napier Grass (Pennisetum Purpureum Schumach.) under Rainfed Conditions in the Northeast Region of Thailand", **Field Crops Research**. 214, 359-364.
- [3] Proskurina, S., Heinimo, J., Schipfer, F. and Vakkilainen, E. (2017). "Biomass for Industrial Applications: The Role of Torrefaction", **Renewable Energy**. 111, 265-274.
- [4] Pattiya, A., Titiloye, J.O. and Bridgwater, A.V. (2008). "Fast Pyrolysis of Cassava Rhizome in the Presence of Catalysts", **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 81(1), 72-79.
- [5] Quispe, I., Navia, R. and Kahhat, R. (2017). "Energy Potential from Rice Husk Through Direct Combustion and Fast Pyrolysis: A Review", **Waste Management**. 59, 200-210.
- [6] Wang, Q., Chen, J., Han, K., Wang, J. and Lu, C. (2017). "Influence of BaCO₃ on Chlorine Fixation, Combustion Characteristics and KCl Conversion during Biomass Combustion", **Fuel**. 208, 82-90.
- [7] Telmo, C. and Lousada, J. (2011). "Heating Values of Wood Pellets from Different Species", **Biomass and Bioenergy**. 35(7), 2634-2639.
- [8] Maschei, M., Puig-Arnavat, M., Wadenback, J., Clausen, S., Jensen, P.A. and Ahrenfeldt, J. (2018). "Wood Pellet Milling Tests in a Suspension-Fired Power Plant", **Fuel Processing Technology**. 173, 89-102.
- [9] Uemura, Y., Sellappah, V., Trinh, T.H., Hassan, S. and Tanoue, K.I. (2017). "Torrefaction of Empty Fruit Bunches under Biomass Combustion Gas Atmosphere", **Bioresourc Technology**. 243, 107-117.

- [10] Li, S.X., Chen, C.Z., Li, M.F. and Xiao, X. (2016). "Torrefaction of Corncob to Produce Charcoal under Nitrogen and Carbon Dioxide Atmospheres", **Bioresource Technology**. 249, 348-353.
- [11] Ravikumar, C., Senthil-Kumar, P., Subhashni, S.K., Tejaswini, P.V. and Varshini, V. (2017). "Microwave Assisted Fast Pyrolysis of Corn Cob, Corn Stover, Saw Dust and Rice Straw: Experimental Investigation on Bio-Oil Yield and High Heating Values., **Sustainable Materials and Technologies**. 11, 19-27.
- [12] Lamberg, H., Sippula, O., Joutsensaari, J., Ihalainen, M., Tissari, J. and Lahde, A. (2018). "Analysis of High-Temperature Oxidation of Wood Combustion Particles using Tandem-DMA Technique", **Combustion and Flame**. 191, 76-85.
- [13] Moreno, A.I., Font, R. and Conesa, J.A. (2017). "Combustion of Furniture Wood Waste and Solid Wood: Kinetic Study and Evolution of Pollutants", **Fuel**. 192, 169-177.

การพัฒนาชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีสำหรับนักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

Development of Experimental Set on Color Light Mixing for High School Students

ศักดิ์มงคล ยี่มี^{1*}, สุวิทย์ คงภักดี² และประสงค์ เกษราธิคุณ²
Sakmongkhon Yeemee^{1*}, Suwit Khongpakdee² and Prasong Kessaratikoon²

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ศึกษาการผสมแสงสีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน โดยใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Picker ในสมาร์ทโฟนตรวจวัดค่าสี RGB ผลคือได้ชุดทดลองผสมแสงสี ประกอบด้วยกล่องดำแทนห้องมืด แหล่งกำเนิดแสงมาจากไฟฉายสีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน และใช้กระดาษขาวเป็นฉากรับแสง พบว่าแสงจากไฟฉายสีแดงมีค่า RGB (255, 57, 0) สีเขียวมีค่า RGB (0, 254, 0) สีนํ้าเงินมีค่า RGB (0, 24, 191) เมื่อนำแสงสีแดงผสมแสงสีเขียวได้แสงสีเหลืองมีค่า RGB (240, 240, 0) แสงสีแดงผสมแสงสีนํ้าเงินได้แสงสีม่วงมีค่า RGB (254, 168, 254) แสงสีเขียวผสมกับสีนํ้าเงินได้แสงสีฟ้ามีค่า RGB (0, 254, 241) นำแสงสีแดง สีเขียว สีนํ้าเงินผสมกันได้แสงสีขาวมีค่า RGB (255, 255, 255) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี ผลการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความอยู่ในระดับดีมาก (4.93)

คำสำคัญ: ชุดทดลอง การผสมแสงสี สมาร์ทโฟน RGB Color Picker

Abstract

The purposes of this research were to develop color light mixing for high school students and to study light mixing of red light, green light and blue light using RGB Color Picker in smart phone to measure RGB color value. The result found that experimental set consist of black box was used as dark room, light source from red flash light, green flash light and blue flash light, using white paper as screen. From experiment found that light from red flash light with RGB value (255, 57, 0), light from green flash light with RGB value (0, 254, 0), light from blue flash light with RGB value (0, 24, 191), when red light mix with green light will get yellow light with RGB value (240, 240, 0), red light mixing with blue light will get magenta light have RGB value (254, 168, 254), green light mixing with blue light will get cyan light with, RGB value (0, 254, 241) and mixing red light green light blue light altogether will get white light have RGB value (255, 255, 255). Furthermore, the experimental set on color light mixing was evaluated by experts teaching physics, its quality was in a very good level (4.93).

Keywords: Experimental Set, Color Light Mixing, Smart Phone, RGB Color Picker

¹ นิสิตปริญญาโท, วท.ม.วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Graduate Student, M.Sc. Science Studies, Faculty of Sciences, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Asst. Prof. Dr., Department of Basic Science and Mathematics Faculty of Sciences, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel.: 081-0808625. E-mail address: little_52@hotmail.com

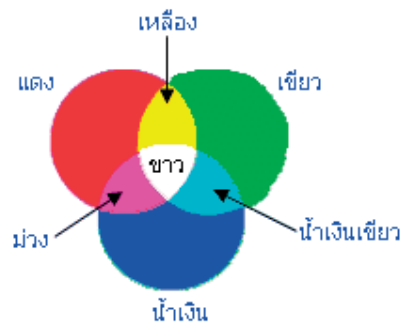
บทนำ

การศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งปัจจัยหนึ่งในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่จะนำไปสู่การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสังคมของประเทศ วิชาฟิสิกส์เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ ที่ศึกษาเกี่ยวกับความจริงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติและสามารถค้นคว้าหาข้อเท็จจริงอย่างมีเหตุผล การเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ทุกระดับ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีสื่อการสอนและการทดลองประกอบคำอธิบาย โดยที่สื่อการสอนที่ดีจะต้องเป็นสื่อกลางที่ก่อให้เกิดสถานการณ์ให้ผู้เรียนได้เกิดการรับรู้และสามารถตอบสนองได้ นำมาซึ่งความเข้าใจในปัญหา สามารถดำเนินการสังเกต รวบรวมข้อมูล ตามขั้นตอนของกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นำไปสู่การสรุปความรู้ในเนื้อหาบทเรียนและเข้าใจความสัมพันธ์ต่อเนื่องของบทเรียน การจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควรเนื่องมาจากธรรมชาติของวิชาที่ค่อนข้างเป็นนามธรรมซึ่งยากต่อการเข้าใจ รวมถึงการใช้รูปแบบการสอนแบบบรรยายเป็นส่วนใหญ่ส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ พบว่าการจัดการเรียนการสอนเรื่องการผสมแสง เป็นเรื่องที่เข้าใจยากสำหรับผู้เรียนเนื่องจากเนื้อหาเป็นนามธรรม [1] ผู้เรียนจะต้องทำการทดลองเพื่อให้เห็นแสงสีต่างๆ ที่มาผสมกัน ซึ่งพบว่านักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน เกี่ยวกับเรื่องแสงสีและสารสียกตัวอย่างเช่น นักเรียนเข้าใจว่าแสงสีมีหลักการผสมเช่นเดียวกับสารสี สารสีมี 3 สี คือ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน เมื่อแสงสีไปตกกระทบวัตถุที่มีสี แสงสีจะทำการผสมกับสารแล้วได้เป็นอีกสีหนึ่ง การจัดการเรียนรู้เรื่องการผสมแสงสีเพื่อให้ นักเรียนเกิดการเรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการการมองเห็น และการดูดกลืนของแสงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างลำบาก ซึ่งอุปกรณ์ที่หาซื้อได้ตามบริษัทขายอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ให้นักเรียนได้ทดลองอย่างง่ายและสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ จะผลิตจากหลอดแบบไส้ ที่ให้แสงสีเหลืองและใช้แผ่นกรองแสงออกมาเพื่อให้ได้แสงสีตามต้องการ โดยให้นักเรียนสังเกตสีที่เกิดขึ้น แต่เมื่อใช้เป็นระยะเวลานาน สำหรับหลอดบางประเภท เช่น หลอดไส้ที่เคลือบสีด้านใน จะให้แสงสีที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอายุการใช้งานของหลอดไส้ที่ใช้มีจำกัด นอกจากนี้ยังต้องมีอุปกรณ์ต่อพ่วงชนิดอื่น เช่น แหล่งกำเนิดไฟ (Power Supply) ที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จึงมีความยุ่งยากและประสิทธิภาพการใช้งานจำกัด รวมถึงการสังเกตแสงสีที่ผสมกันอาจได้สีที่มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเนื่องจากปริมาณความเข้มของแสงสีแต่ละแสงที่มาผสมกันอาจมีความเข้มแสงไม่เท่ากัน [2] ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีสำหรับใช้เป็นสื่อประกอบการสอนในระดับชั้นมัธยมศึกษา ตอนปลายโดยใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Picker ในสมาร์ตโฟนตรวจวัดค่าสี RGB เพื่อช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการผสมแสงสีมากยิ่งขึ้น ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้จากการปฏิบัติจริง จะทำให้นักเรียนมีความเข้าใจที่คงทนเกิดแรงบันดาลใจและรักในการเรียนวิชาฟิสิกส์

ทฤษฎี

เซอร์ ไอแซค นิวตัน ได้แสดงให้เห็นว่า สีคือส่วนหนึ่งในธรรมชาติของแสงอาทิตย์ โดยให้ลำแสงส่องผ่านแท่งแก้วปริซึม แสงจะหักเห เพราะแท่งแก้วปริซึมความหนาแน่นมากกว่าอากาศเมื่อลำแสงหักเหผ่านปริซึมจะปรากฏแถบสีสเปกตรัม (Spectrum) หรือที่เรียกว่า สีรุ้ง (Rainbow) คือ สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง เมื่อแสงตกกระทบโมเลกุลของสาร พลังงานบางส่วนจะถูกกลืนสีจากแสงบางส่วน และสะท้อนสีบางสีให้ปรากฏเห็นได้พื้นผิววัตถุที่เราเห็นเป็นสีแดง เพราะ วัตถุดูดกลืนแสงสี อื่นไว้ สะท้อนเฉพาะแสงสีแดงออกมา วัตถุสีขาวจะสะท้อนแสงสีทุกสี และวัตถุสีดำ จะดูดกลืนทุกสี นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดแม่สีของแสงไว้ 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) แสงทั้งสามสี เมื่อนำมาฉายส่องรวมกัน จะทำให้เกิด สีต่าง ๆ ขึ้นมา คือ แสงสีแดง + แสงสีเขียว = แสงสีเหลือง

(Yellow) แสงสีแดง + แสงสีน้ำเงิน = แสงสีม่วง (Magenta) แสงสีน้ำเงิน + แสงสีเขียว = แสงสีฟ้าหรือน้ำเงินเขียว (Cyan)
และถ้าแสงสีทั้งสามสีมารวมกัน จะได้แสงสีขาว



ภาพที่ 1 การผสมสีปฐมภูมิมบนฉากขาว

แอปพลิเคชัน RGB Color Picker คือ แอปพลิเคชันที่สามารถบอกรายละเอียดค่าแม่สี RGB จากภาพถ่ายที่ถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มือถือ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสี

- ออกแบบชุดทดลองโดยศึกษาจากชุดทดลองต้นแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก)
- พัฒนาปรับปรุงใหม่โดยเลือกใช้กล่องพลาสติกที่ทึบแสงหรือกล่องที่มีสีดำขนาดพวกพอดี

ขนาดกล่องกว้าง 25 cm ยาว 35 cm และ สูง 15 cm ฝากล่องด้านบนออกแบบเป็นท่อสำหรับส่องดูการผสมของแสงสีต่างๆ โดยใช้กล่องขนาดกว้าง 10 cm ยาว 15 cm สูง 18 cm ดังแสดงในภาพที่ 2 (ข)

- ด้านในกล่องติดตั้งไฟฉาย LED ที่ให้แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ติดตั้งตรงส่วนปลายของกล่องโดยออกแบบให้ปุ่มเปิด-ปิดไฟฉายยื่นออกมาด้านนอกของกล่องเพื่อความสะดวกในการเปิด-ปิดไฟฉาย และสามารถเลื่อนปรับทิศทางของหลอดไฟฉายได้ ดังแสดงในภาพที่ 2 (ค)

- ติดตั้งฉากสีขาวตรงส่วนท้ายด้านในของกล่อง ทำหน้าที่รับแสงสีจากไฟฉาย เนื่องจากฉากสีขาวสามารถสะท้อนแสงสีออกมาได้ทุกแสงสี และ ติดตั้งช่องสำหรับเสียบแผ่นกรองแสงโดยใช้สันรูติดกาวแล้วแปะภายในกล่อง โดยให้ห่างจากฉาก 12 cm เพื่อจะได้สังเกตเห็นแสงสีที่ส่องผ่านแผ่นกรองแสงได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 2 (ง)

- ได้ชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีที่พัฒนาขึ้น
- ให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประเมินคุณภาพชุดทดลอง



ก) ชุดทดลองต้นแบบ

ข) กล่องพลาสติกทึบแสง

ค) ติดตั้งไฟฉายภายในกล่อง

ง) ติดตั้งช่องสำหรับ
เสียบแผ่นกรองแสง

ภาพที่ 2 การพัฒนาชุดทดลอง

2. การศึกษาการผสมแสงสี

- คาวน์โหลด แอปพลิเคชัน RGB Color Picker ที่สามารถบอกรายละเอียดค่าแม่สี RGB ทดลองผสมแสงสีภายในชุดทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3
- ถ่ายภาพแสงสีที่ได้จากการผสมภายในชุดทดลอง
- ใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Picker อ่านค่าสี RGB ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 3 ทดลองผสมแสงสีภายในชุดทดลอง

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาชุดทดลอง

ได้ชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบด้วย กล่องดำ ทำหน้าที่แทนห้องมืด ไฟฉายสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ช่องสำหรับสังเกตแสงสีที่เกิดจากการผสมและฉากรับแสง ด้านในกล่อง

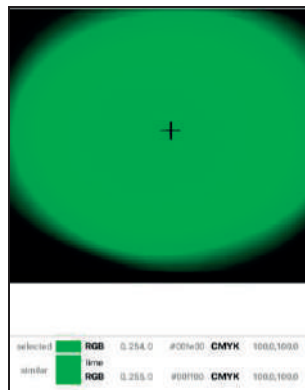


ภาพที่ 4 ชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสี

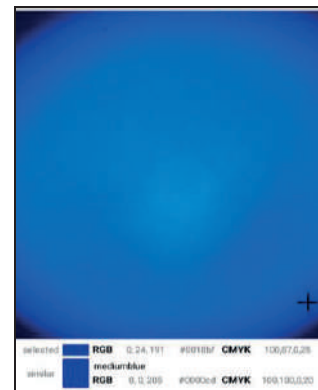
ผลการทดลองการผสมแสงสี



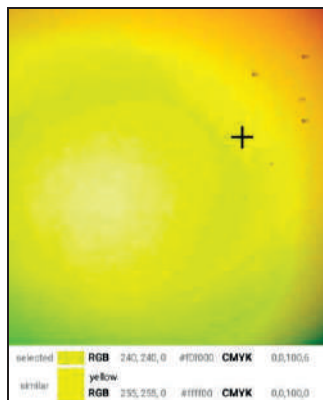
ก) แสงสีแดง RGB (255, 57, 0)



ข) แสงสีเขียว RGB (0, 254, 0)



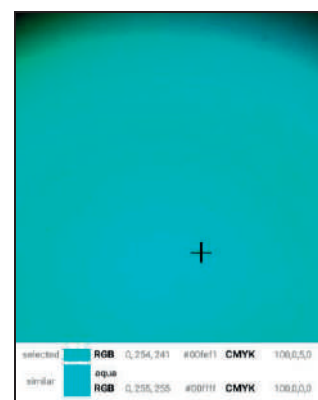
ค) แสงสีน้ำเงิน RGB (0, 0, 255)



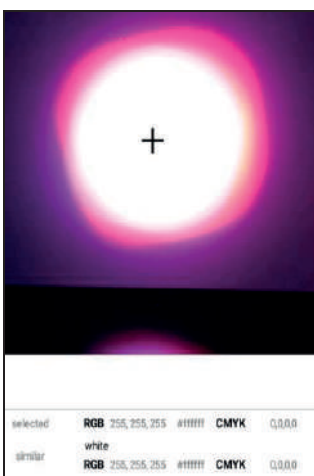
ง) แสงสีเหลือง RGB (255, 255, 0)



จ) แสงสีม่วง RGB (255, 0, 255)



ฉ) แสงสีฟ้า RGB (0, 255, 255)



ช) แสงสีขาว ค่า RGB (255, 255, 255)

ภาพที่ 5 ผลการทดลองการผสมแสงสี

ผลการประเมินคุณภาพชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
ลักษณะทางกายภาพทั่วไป	4.76	0.31	ดีมาก
ความสอดคล้องกับทฤษฎี	5.00	0.00	ดีมาก
คู่มือการใช้	4.70	0.50	ดีมาก
ลักษณะการใช้งาน	5.00	0.00	ดีมาก
การบำรุงรักษาและซ่อมแซม	5.00	0.00	ดีมาก
ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน	5.00	0.00	ดีมาก
เฉลี่ย	4.93	0.08	ดีมาก

สรุป อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และศึกษาการผสมแสงสีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน โดยใช้แอปพลิเคชัน RGB Color Picker ในสมาร์ตโฟนตรวจวัดค่าสี RGB ผลการพัฒนาดูชุดทดลองผสมแสงสี จากการทดลองพบว่า แสงจากไฟฉายสีแดงมีค่า RGB (255, 57, 0) แสงจากไฟฉายสีเขียวมีค่า RGB (0, 254, 0) แสงจากไฟฉายสีนํ้าเงินมีค่า RGB (0, 24, 191) เมื่อนำแสงสีแดงผสมแสงสีเขียวได้แสงสีเหลืองมีค่า RGB (240, 240, 0) แสงสีแดงผสมแสงสีนํ้าเงินได้แสงสีม่วงมีค่า RGB (254, 168, 254) แสงสีเขียวผสมกับสีนํ้าเงินได้แสงสีฟ้ามีค่า RGB (0, 254, 241) และเมื่อนำแสงสีแดง สีเขียว สีนํ้าเงินผสมพร้อมกัน ได้แสงสีขาวมีค่า RGB (255, 255, 255) สอดคล้องกับทฤษฎี นอกจากนี้ผลการประเมินชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์พบว่ามีความเหมาะสมที่สุด (4.93)

ทั้งนี้การที่ชุดทดลองเรื่องการผสมแสงสีมีความเหมาะสมทุกด้านเป็นเพราะว่าชุดทดลองนี้สามารถจำลองห้องมืดได้ ใช้ทดลองในห้องเรียนได้สะดวกเพราะขนาดของชุดทดลองมีความเหมาะสม วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาชุดทดลองนี้หาได้สะดวกราคาเหมาะสม ลักษณะทางกายภาพทั่วไป มีความแข็งแรงทนทาน ชิ้นส่วนสามารถประกอบได้ง่าย การออกแบบดึงดูดและเร้าความสนใจ ผลจากการทดลองที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎี มีการนำสมาร์ตโฟนตรวจวัดค่าสี RGB โดยอาศัยแอปพลิเคชัน RGB Color Picker ทำให้การทดลองน่าสนใจมากขึ้น แก้ไขปัญหาในเรื่องของการเห็นสีที่คลาดเคลื่อนออกไปได้ การบำรุงรักษาและซ่อมแซมทำได้ง่าย สะดวกในการใช้และเก็บรักษา เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน พัฒนาผู้เรียนทั้งด้านความรู้และกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนมีโอกาสปฏิบัติหรือมีส่วนร่วม ใช้เวลาในการทดลองและผลการทดลองถูกต้องเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลการวิจัยของ เรวดี มาน้อย [3] ได้พัฒนาชุดทดลองกลศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผลการวิจัยพบว่า ชุดทดลองกลศาสตร์พร้อมคู่มือการใช้มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก นอกจากนี้ยังสอดคล้องผลการวิจัยของ สุวิทย์ คงภักดี [4] ได้พัฒนาแบบจำลองทางกายภาพปรากฏการณ์เกี่ยวกับดาวศุกร์ ผลการประเมินแบบจำลองดาวศุกร์โดยผู้เชี่ยวชาญการสอนดาราศาสตร์พบว่ามีความเหมาะสมในระดับดีมาก (4.83)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Greenslade, J.T.B. (2005). “The Von Nardroff Color Mixing Apparatus”, **The Physics Teacher**. (9), 602.
- [2] Heilemann, J.J. (1935). “A Lantern Slide Color Mixer”, **The American Physics Teacher**. (4), 184.
- [3] Manuy, R. (2013). **The Development of Mechanics Experiment Package for Matthayom 4 Student in Phatthalung School**. Master Thesis. Songkhla Rajabhat University.
- [4] Khongpakdee, S. (2014). **A Development on Physical Model of Venusphenomena**. Research Report. Thaksin University.

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสอัตราเร็วรอบต่ำด้วยแม่เหล็กแรงสูง,

NdFeB N35

Development of Low-Speed Synchronous Generator with Permanent Magnet,

NdFeB N35

กานต์ธิดา บุญมา^{1*} และชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล²

Kantida Boonma^{1*} and Chainuson Kasagepongsarn²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสสามเฟสอัตราเร็วรอบต่ำด้วยแม่เหล็กถาวรความหนาแน่นแรงสูง NdFeB, N35 ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าในขณะเปิดวงจรที่อัตราเร็วเชิงโครนัส 300 รอบต่อนาที แรงดันไฟฟ้าเฟสเทียบนิวตรอนมีค่าเฉลี่ย 531.47 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าเฟสเทียบเฟสค่าเฉลี่ย 921.00 โวลต์ สัญญาณคลื่นไซน์แบบเต็มคลื่น ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แรงดึงแม่เหล็กขณะเริ่มหมุนมีค่าสูงสุด 12.40 นิวตันเมตร มีค่าแรงบิดสูงสุด 468.40 นิวตัน-เมตร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุด 6.62 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร้อยละ 72.00 ดังนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากงานวิจัยนี้สามารถเป็นต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานลมและพลังงานน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แม่เหล็กแรงสูง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสอัตราเร็วรอบต่ำ

Abstract

The objective of this research is to develop the low-speed 3 phases synchronous generator with high force density permanent magnet, NdFeB N35 (PMSG). The results indicate that open circuit characteristics (O.C.C.) at a synchronous speed of 300 rpm, average voltage based on line phase to neutral of 531.47 V and line phase to line phase voltage of 921.00 V. Sinusoidal full wave with a frequency of 50.00 Hz are revealed the maximum cogging torque is 12.40 Nm and maximum torque is 468.40 Nm. The maximum power of generator is 6.26 kW and efficiency of 72.00 %. The result shows that low-speed synchronous generator with permanent magnet, NdFeB N35 can be wind power wind turbines or hydropower plants with high efficiency.

Keywords: Permanent Magnet (PM), Synchronous Generator (SG), Low-Speed Synchronous Generator (LSSG)

บทนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบหลัก คือสเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ส่วนของสเตเตอร์คือส่วนที่ยึดกับโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีชุดขดลวดเพื่อรับการเหนี่ยวนำ

¹ อ., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี 84100

² อ., หน่วยวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน (REERCU) มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี 84100

¹ Lecturer, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Surat thani Rajabhat University, 84100

² Lecturer, Renewable Energy and Environmental Research for Local Community Unit (REERCU) ม Surat thani Rajabhat University, 84100

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

จากเส้นแรงแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้า ส่วนของโรเตอร์คือส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กและหมุนอยู่
แกนกลางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยรับแรงบิดหรือพลังงานกลผ่านแกนเหล็กที่เชื่อมต่อกับต้นกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
เชิงโรตอร์สแบบแม่เหล็กถาวร (PMSG) เป็นอุปกรณ์หลักในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบพลังงานทดแทน (Renewable
Energy) เนื่องจากเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีบทบาทสำคัญในระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กจนถึงระดับปานกลาง [1-3]
มีคุณสมบัติเด่นคือ มีประสิทธิภาพสูง ขณะทำงานไม่ส่งเสียงดัง อายุการใช้งานยาวนาน การบำรุงรักษาน้อย สร้างได้ง่าย
ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกในการสร้างสนาม มีขนาดเล็กแต่สามารถจ่ายพลังงานได้สูง [4-5]
มีข้อได้เปรียบด้านราคาเนื่องจากสามารถชดเชยชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยลง [6] แต่มีข้อเสีย
คือมีสนามแม่เหล็กปรากฏขึ้นตลอดเวลาทั้งในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานหรือไม่ทำงาน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรเนื่องจากมีค่าแรงดึงแม่เหล็กขณะเริ่มหมุน (Cogging Torque) ตลอดเวลาโดยเฉพาะ
อย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้กับเทคโนโลยีกังหันลม [7] ดังนั้นในการดึงพลังงานจากแหล่งพลังงานลมให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะ
เป็นไปได้ และเพื่อลดระยะเวลาต้นทุน ปัจจัยที่สำคัญคือกังหันต้องมีความสามารถเริ่มต้นทำงาน (Cut in Wind Speed)
ได้ในความเร็วลมต่ำ ส่งมอบให้ค่าแรงดึงแม่เหล็กขณะเริ่มหมุนต้องมีค่าต่ำไปด้วย ในปี พ.ศ. 2554 Maia ใช้ซอฟต์แวร์
Finite Element Method (FEM) วิเคราะห์ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรสำหรับกังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์
อัตราเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์สแบบแม่เหล็กถาวรสามารถให้
กำลังการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง โดยขึ้นอยู่กับจำนวนสลอต/ขั้ว/เฟส รูปร่างของแม่เหล็ก ช่องการปิด-เปิดสลอต โรเตอร์ และ
สเตเตอร์ [8] และ Erikson อธิบายว่าจำนวนขดลวด สลอตต่อขั้ว มีความเหมาะสมที่อัตราส่วน 5/4 สามารถลดแรงดึงแม่เหล็ก
ขณะเริ่มหมุนได้ดี และสามารถลดฮาร์มอนิกที่ 3 ได้มากกว่าร้อยละ 5.8 ในสถานะไม่มีโหลด [9] และการบิดของสลอตที่
สเตเตอร์สามารถลดแรงดึงแม่เหล็กขณะเริ่มหมุนซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ
สูงขึ้นในการเริ่มทำงาน [10]

ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของบทความวิจัยนี้คือ การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์สแบบแม่เหล็กแรงสูงที่
สามารถทำงานในอัตราเร็วรอบการหมุน 300 รอบต่อนาที ลดแรงดึงแม่เหล็กขณะเริ่มหมุน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบ
ผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานลม ตามแผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานลม (Wind Energy Action Plan) [11] เพื่อผลิต
ภายในประเทศ ลดการพึ่งพาเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากต่างประเทศที่มีราคาสูง ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจ
พอเพียงในการจัดการพลังงาน โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานที่เหมาะสมในท้องถิ่นหรือ
ภายในประเทศให้สามารถผลิตและใช้งานได้อย่างยั่งยืน [12]

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์สอัตราเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กแรงสูง

1.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นปริมาณโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ใน
วงจรรันแสดงดังสมการที่ (1)

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (1)$$

เครื่องหมายลบ (-) เกิดจากกฎของเลนส์ (Lenz's Law) ซึ่งแสดงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น
กับอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ในกรณีขดลวดมีจำนวน N รอบ สามารถเขียนสมการ (1) ได้ดังนี้

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (2)$$

และฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่ A ทำมุม θ องศา มีค่าเท่ากับ $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$ เนื่องจากฟลักซ์สนามแม่เหล็กมีส่วนประกอบคือสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ และพื้นที่ A ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาของปริมาณใดๆ ปริมาณหนึ่งย่อมก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กด้วย ดังนั้นกรณีของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงแต่ขนาดตัวนำคงที่สมการที่ (2) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt}$$

(3)

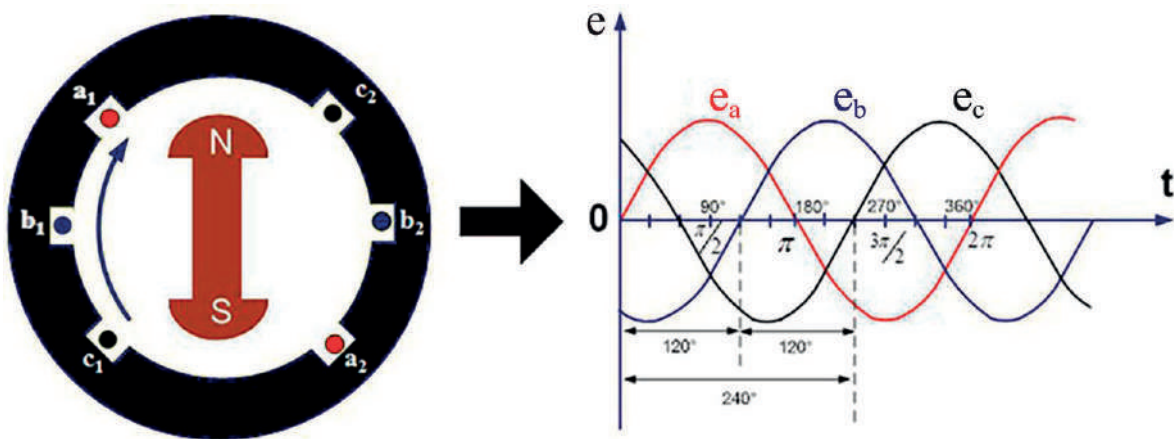
1.2 การเกิดรูปคลื่นไซน์

การเกิดรูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของขดลวดตัวนำขณะหมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก กรณีขดลวดตัวนำตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงสุดและจะมีค่าน้อยลง เมื่อขดลวดตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กในมุมน้อยกว่า 90° องศา และจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อขดลวดตัวนำวางขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก แสดงดังภาพที่ 1 และสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่ละเฟสแสดงดังสมการที่ (4)-(6)

$$e_a = E \sin \omega t \quad (4)$$

$$e_b = E \sin(\omega t + 240^\circ) \quad (5)$$

$$e_c = E \sin(\omega t + 120^\circ) \quad (6)$$



ภาพที่ 1 การเกิดรูปคลื่นไซน์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

1.3 อัตราเร็วเชิงโรตัส

จำนวนขั้วแม่เหล็กและอัตราเร็วรอบของโรเตอร์จะมีผลต่อค่าความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (7) กำหนดให้ P คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก θ_e เป็นมุมทางไฟฟ้าและ θ_m เป็นมุมทางกลที่มีการเปลี่ยนแปลงในหน่วยของเรเดียนต่ออนาที แสดงดังสมการที่ (8)

$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m \quad (7)$$

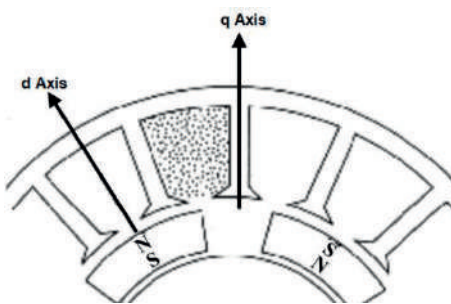
$$\frac{\theta_e}{2\pi \times 60} = \frac{P}{2} \cdot \frac{\theta_m}{2\pi \times 60} \quad (8)$$

เมื่อ $\theta_c/2\pi \times 60$ คือ ความถี่ (f) และ $\theta_m/2\pi$ คือ อัตราเร็วอัตราเร็วเชิงโรนัสต์ (N_s) ดังสมการที่ (9) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วเชิงโรนัสต์ สามารถกำหนดได้โดยค่าความถี่ของแรงดันไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็ก [13]

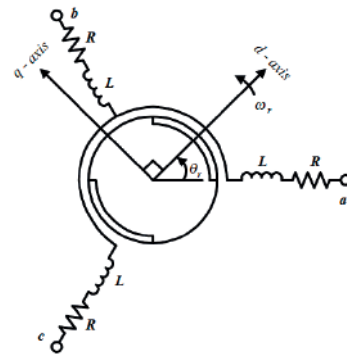
$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (9)$$

1.4 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสต์อัตราเร็วรอบต่ำด้วยแม่เหล็กแรงสูง, NdFeB N35

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะโรเตอร์แบบทรงกระบอก (Non-Salient Pole) แบบแม่เหล็กแรงสูง (NdFeB N35) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสต์อัตราเร็วรอบต่ำ และภาพที่ 3 แสดงวงจรสมมูลย์ที่จุดต่อเฟส a, b และ c จะมีความต้านทานต่อเฟสของขดลวดสเตเตอร์ (R) อนุกรมกับค่าความเหนี่ยวนำตัวเองต่อเฟสด้านสเตเตอร์ (L) โดยเทียบกับแกนของโรเตอร์ d Axis คือแกนอ้างอิงที่ตรงกับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ (Direct Axis) และ q Axis คือแกนอ้างอิงที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ (Quadrature Axis) ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω_r) ในตำแหน่งเชิงมุม (θ_r)



ภาพที่ 2 ลักษณะของโรเตอร์แบบทรงกระบอก



ภาพที่ 3 วงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสต์อัตราเร็วรอบต่ำแม่เหล็กถาวรเทียบกับแกนอ้างอิงของโรเตอร์

จากวงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสต์สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าสามเฟส (U_{abc}) ที่มีกระแสไฟฟ้าต่อเฟสของสเตเตอร์ (i_{abc}) แสดงดังสมการที่ (10)

$$U_{abc} = R i_{abc} + \frac{d}{dt} (L i_{abc} + \lambda_m(\theta)) \quad (10)$$

โดยที่ $d\lambda_m(\theta)/dt$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (back e.m.f.) ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในทิศตรงกันข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเดิมของขดลวด เนื่องจากการหมุนของขดลวดส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดขณะหมุนมีค่าน้อยกว่ากระแสไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่หมุน แสดงดังสมการที่ (11)

$$\frac{d\lambda_m(\theta)}{dt} = -\omega_r \lambda_m \begin{bmatrix} \sin(\theta_r) \\ \sin(\theta_r - 2\pi/3) \\ \sin(\theta_r + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (11)$$

เมื่อแทนสมการที่ (10) ใน สมการที่ (11) ได้

$$\left. \begin{aligned} U_a &= R i_a + L \frac{d}{dt} i_a - \lambda_m \omega_r \sin \theta_r \\ U_b &= R i_b + L \frac{d}{dt} i_b - \lambda_m \omega_r \sin(\theta_r - 2\pi/3) \\ U_c &= R i_c + L \frac{d}{dt} i_c - \lambda_m \omega_r \sin(\theta_r + 2\pi/3) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

การพิจารณาสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสสลับ (AC Generator) เพื่อสะดวกในการคำนวณจึงพิจารณาให้อยู่ในรูปสมการของสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสตรง (DC Generator) โดยการแปลงค่าปริมาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าสามเฟสเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าสองเฟส (U_{qd}) บนแกนอ้างอิง ดี-คิว (q-d axis) โดยกำหนดให้เป็นแกนที่อยู่กับที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω_r) แสดงดังสมการที่ (13)

$$U_{qd} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} U_{abc} \quad (13)$$

จากสมการที่ (12) และ (13) สามารถนำมาเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้า U_d และ U_q ของแม่เหล็กแรงสูงได้ ซึ่ง แสดงดังสมการที่ (14) และสมการที่ (15) ตามลำดับ โดยที่ $\lambda_d = -L_d i_d + \lambda_M$ และ $\lambda_q = -L_q i_q$

$$U_d = -R i_d - \omega_r \lambda_q + \frac{d\lambda_d}{dt} \quad (14)$$

$$U_q = -R i_q + \omega_r \lambda_d + \frac{d\lambda_q}{dt} \quad (15)$$

ผลของแรงบิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Interior PMSG) เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็กเนื่องจากแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force :MMF) บริเวณช่องอากาศของขดลวดสเตเตอร์และ โรเตอร์จะถูกกำหนดโดยสมการที่ (16)

$$\begin{aligned} T_e &= -\frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) (\lambda_d i_q - \lambda_q i_d) \\ T_e &= -\frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) [\lambda_M i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \end{aligned} \quad (16)$$

ซึ่งถูกกำหนดโดยค่าประกอบของ แรงบิดของโหลด (T_m) โมเมนต์ความเฉื่อย (J) ความเร็วเชิงมุมทางกลของโรเตอร์ (ω_m) และ สัมประสิทธิ์ความหน่วง (B) ดังนั้นแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอัตราเร็วของโรเตอร์มีความสัมพันธ์กันแสดงดังสมการที่ (17)

$$T_e = T_m - J \frac{d\omega_m}{dt} - B\omega_m \quad (17)$$

แรงดันเหนี่ยวนำต่อเฟสแสดงดังสมการที่ (18)

$$E_{rms} = 4.44 f N_{ph} \cdot k_w \frac{\Phi_r}{1 + k_r \frac{\mu_r}{P_c}} \quad (18)$$

การพันขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบกระจายดังนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce EMF) ต้องคูณด้วยค่าแฟกเตอร์การพันขดลวด (k_w) สมการที่ (19) ซึ่งประกอบด้วยค่าแฟกเตอร์การพันกระจายขดลวด (k_d) สมการที่ (20) และพิทซ์แฟกเตอร์ (k_p) สมการที่ (21)

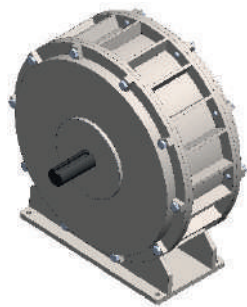
$$k_w = k_d k_p \quad (19)$$

$$k_d = \sin\left(\frac{\sigma}{2}\right) / g \sin\left(\frac{\sigma}{2g}\right) \quad (20)$$

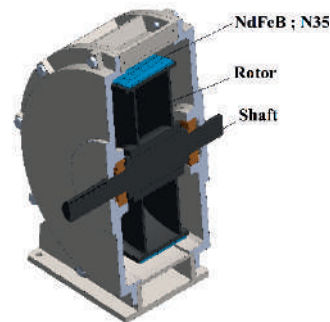
$$k_p = \cos\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) \quad (21)$$

2. โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสอัตราเร็วรอบ

โครงสร้างที่นำเสนอในบทความนี้ ประกอบด้วยโครงสร้างภายนอกโครงสร้างซึ่งเป็นส่วนรองรับส่วนประกอบอื่นๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำด้วยเหล็กหล่อมีครีบสำหรับระบายความร้อน รูปร่างและโครงสร้างภายนอกแสดงดังภาพที่ 3(a) โครงสร้างภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย สเตเตอร์ที่มีร่องสลิตจำนวน 60 ร่อง และโรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กแบบแม่เหล็กแรงสูง (NdFeB ; N35) รูปร่างและโครงสร้างภายในแสดงดังภาพที่ 3(b)



(a)



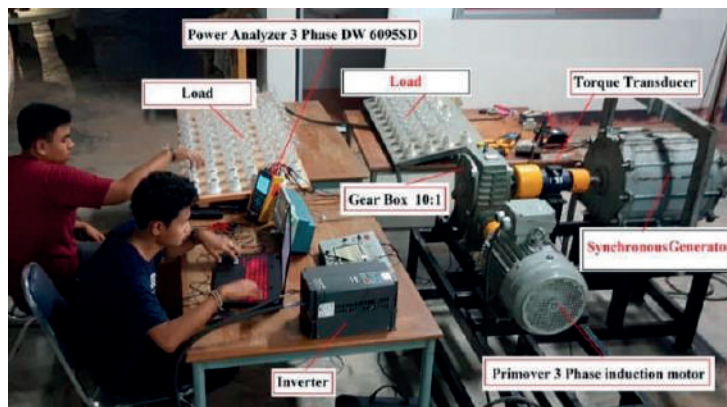
(b)

ภาพที่ 3 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสอัตราเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กแรงสูง

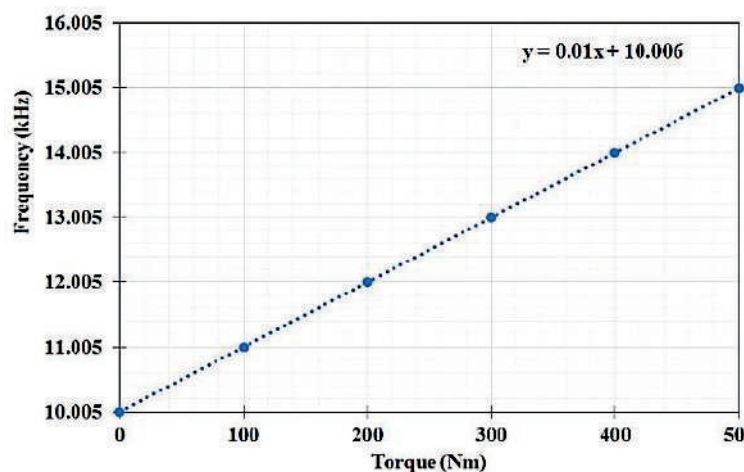
3. การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสอัตราเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กแรงสูง

ภาพที่ 4 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนระบบจริง โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 10 กิโลวัตต์ ต่อร่วมกับกล่องเกียร์ที่มีอัตราลดทอนเท่ากับ 10:1 การหมุนของมอเตอร์ต้นกำลังถูกควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ตั้งแต่อัตราเร็วรอบ 100-350 รอบต่อนาที เพื่อทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยระหว่างกล่องเกียร์ลดทอนและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ติดตั้งเครื่องวัดแรงบิด Torque Transducer ขนาด 500 นิวตันเมตร โดยสามารถสอบเทียบค่าแรงบิดด้วยค่าความถี่ผ่านออสซิลโลสโคปโดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่เป็นฟังก์ชันกับแรงบิด แสดงดังภาพที่ 5 การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและการทดสอบคุณลักษณะแรงดันในแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่อง Power Analyzer DW-6095 โดยใช้คลิปแอมป์ Cp1201 คล้องสายไฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเฟส และส่งผ่านการ

เชื่อมต่อข้อมูลสัญญาณพอร์ท (USB) กับคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าในขณะเปิดวงจร (OCC Curve) และในขณะมีภาระทางไฟฟ้าที่อัตราเร็วรอบต่างๆ



ภาพที่ 4 ระบบจริงที่ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ภาพที่ 5 กราฟความถี่เป็นฟังก์ชันกับแรงบิดเพลลาที่โรเตอร์

ผลการทดลอง

1. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์สอัตรารวดต่ำชนิดแม่เหล็กถาวร

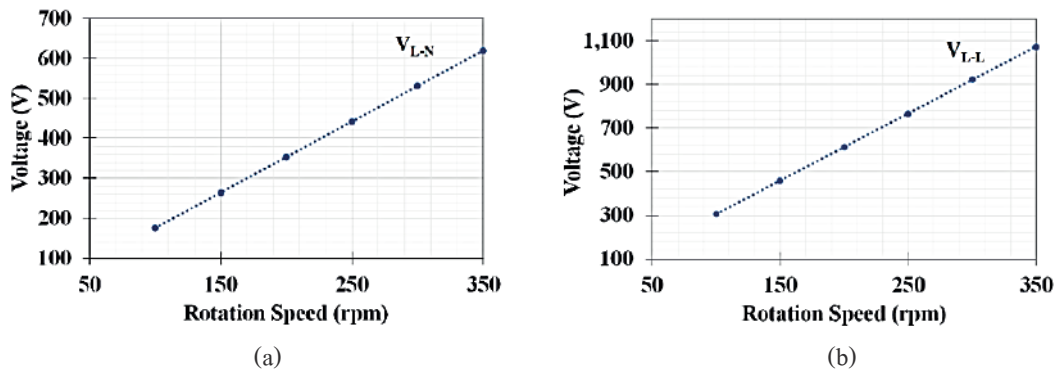
ผลการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์สอัตรารวดต่ำชนิดแม่เหล็กถาวร สำหรับทั้งหั่นขนาดเล็กรวมด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์สอัตรารวดต่ำชนิดแม่เหล็กถาวร

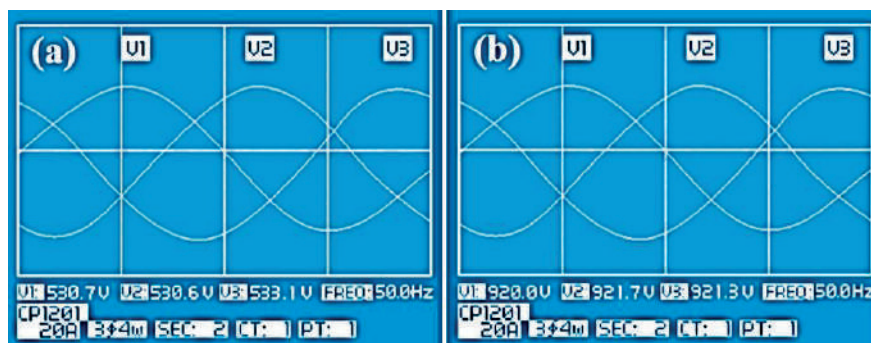
ลำดับ	ชื่อพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
1	ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	เชิงโรตอร์สชนิดแม่เหล็กถาวร
2	ขนาดของขดลวด	SWG#17
3	จำนวนเฟส	3 เฟส
4	จำนวนขั้วแม่เหล็ก	20 ขั้ว
5	จำนวนรอบของขดลวดต่อสล็อต	40 รอบ/สล็อต
6	จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟส	800 รอบ/เฟส
7	ความต้านทานขดลวดเฟส A	6.00 Ω/เฟส
8	ความต้านทานขดลวดเฟส B	6.00 Ω/เฟส
9	ความต้านทานขดลวดเฟส C	6.02 Ω/เฟส

2. การทดสอบแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณคลื่นไซน์ในขณะเปิดวงจร

การทดสอบแรงดันไฟฟ้าในขณะเปิดวงจรของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบนิวตรอน (V_{L-N}) ภาพที่ 6(a) และสามเฟสเทียบสามเฟส (V_{L-L}) ภาพที่ 6(b) แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าแปรผันอย่างเป็นเชิงเส้นกับอัตราเร็วรอบการหมุน สัญญาณคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบสามเฟส และสามเฟสเทียบนิวตรอน ที่อัตราเร็วเชิงโรตารี พบว่าได้สัญญาณคลื่นไซน์แบบเต็มคลื่น (Full Wave) ภาพที่ 7(a) และสามเฟสเทียบสามเฟสภาพที่ 7(b)



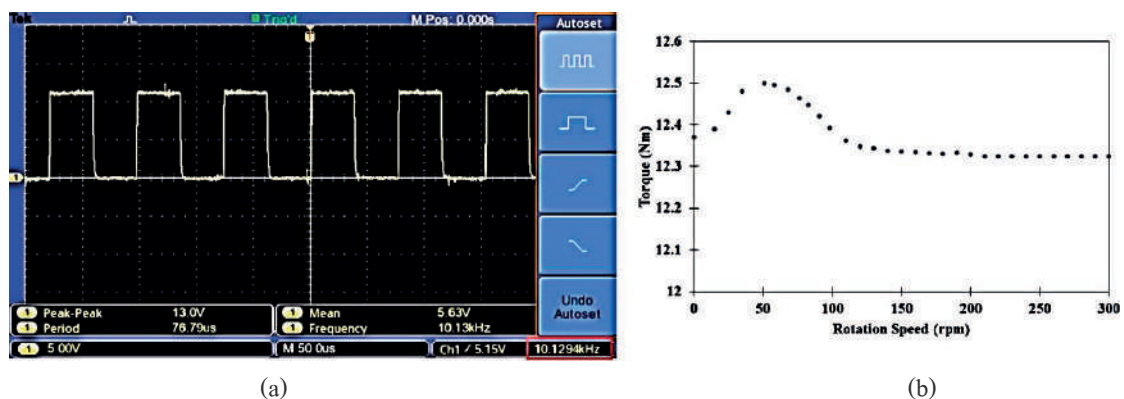
ภาพที่ 6 กราฟแรงดันไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกับรอบการหมุน



ภาพที่ 7 สัญญาณคลื่นไซน์ในขณะเปิดวงจรของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ

3. การทดสอบแรงบิด และพลังงานไฟฟ้าที่อัตราเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ

การทดสอบค่าแรงบิดแม่เหล็กขณะเริ่มหมุนที่มุมบิดรองสถิต 20 องศา โดยการให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนที่อัตราเร็วรอบตั้งแต่ 1-300 รอบต่อวินาที โดยใช้เครื่องวัดแรงบิด Torque Transducer วัดสอบเทียบค่าแรงบิดด้วยค่าความถี่ผ่านออสซิลโลสโคปมาคำนวณตามสมการความชันดังภาพที่ 5 พบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าแรงบิดแม่เหล็กขณะเริ่มหมุนสูงสุดที่ค่าความถี่ 10.1294 กิโลเฮิร์ตซ์ ภาพที่ 8(a) มีค่าแรงบิดสูงสุด 12.4 นิวตันเมตร ภาพที่ 8(b)

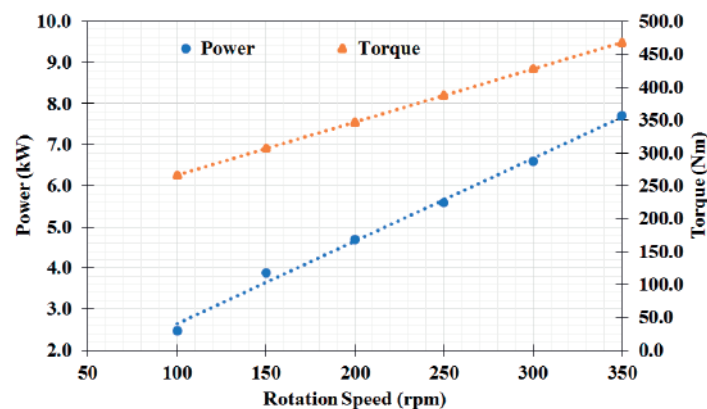


ภาพที่ 8 การสอบเทียบค่าแรงบิดด้วยค่าความถี่ผ่านออสซิลโลสโคป

ผลลัพธ์ของอัตราเร็วรอบ ความถี่ กำลังไฟฟ้า และแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำแสดงดังตารางที่ 2 และผลการทดสอบพลังงานไฟฟ้าที่อัตราเร็วรอบต่างๆ เพื่อหาจุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุดแสดงดังภาพที่ 9 พบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 6.62 กิโลวัตต์ ที่อัตราเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มีค่าแรงบิดขณะโหลดเต็มพิกัดเท่ากับ 428.4 นิวตันเมตร ประสิทธิภาพร้อยละ 72.0

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของอัตราเร็วรอบ ความถี่ กำลังไฟฟ้า และแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ

อัตราเร็วรอบ (rpm)	ความถี่ (Hz)	กำลังไฟฟ้า (kW)	แรงบิด (Nm)
100	16.67	2.47	266.00
150	25.00	3.88	306.80
200	33.33	4.71	346.80
250	41.67	5.61	387.60
300	50.00	6.62	428.40
350	58.33	7.72	468.40



ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า ค่าแรงบิดในขณะมีโหลดเต็มพิกัดเป็นฟังก์ชันของอัตราเร็วรอบการหมุน

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารีอัตราเร็วรอบต่ำด้วยแม่เหล็กแรงสูง NdFeB N35 ที่อัตราเร็วเชิงโรตารี 300 รอบต่อนาที ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าในขณะเปิดวงจรของแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบนิวตรอนมีค่าเฉลี่ย 531.47 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าสามเฟสเทียบสามเฟสค่าเฉลี่ย 921.00 โวลต์ สัญญาณคลื่นไซน์แบบเต็มคลื่น ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แรงดึงแม่เหล็กขณะเริ่มหมุนมีค่าสูงสุด 12.40 นิวตันเมตร สามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุด 6.62 กิโลวัตต์ มีค่าแรงบิดสูงสุด 468.40 นิวตันเมตร ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร้อยละ 72.00 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าสามารถนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ไปใช้เป็นตัวกำเนิดในการผลิตไฟฟ้าจากระบบต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 หน่วยวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน (REERCU) มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ และบุคลากรสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gupta, R. A., Singh, B. and Jain, B. B. (2015). “Wind Energy Conversion System Using PMSG”, **Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE), 2015 International Conference on IEEE.** 199-203.
- [2] Ashourianjozdani, M., Lopes, L. A. and Pillay, P. (2017). “Converter-based PMSG Emulator: A Testbed for Renewable Energy Experiments”, **Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), 2017 IEEE International.** 1-7.
- [3] Guo, Z. and Chang, L. (2005). “FEM Study on Permanent Magnet Synchronous Generators for Small Wind Turbines”, **Electrical and Computer Engineering, 2005. Canadian Conference on IEEE.** 641-644.
- [4] Grauers, A. (1994). **Synchronous Generator and Frequency Converter in Wind Turbine Applications: System Design and Efficiency.** Chalmers University of Technology.
- [5] Kedjar, B., Kanaan, H. Y. and Al-Haddad, K. (2014). “Vienna Rectifier with Power Quality Added Function”, **IEEE Transactions on Industrial Electronics.** 61(8), 3847-3856.
- [6] Kasagepongsan, C., Boonma, K. and Suklueng, M. (2017). “The Development of Low-Speed Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) For Small-Scale Wind Turbine”, **Thaksin University Journal.** 20(1), 75-87.
- [7] Guo, Z. and Chang, L. (2008). “Calculation and Study on Cogging Torque of Small Wind Turbine PMSG”, **Electrical and Computer Engineering, 2008. CCECE 2008. Canadian Conference on IEEE.** 4-7 May 2008. Niagara Falls. Canada.
- [8] Maia, T. A., Faria, O. A., Cardoso, A. A., Borges, F. S., Mendonça, H. G., Silva, M. A., Vasconcelos, J. A., Silva S. R. and Lopes, B. M. (2011). “Electromechanical Design for an Optimized Axial Flux Permanent Magnet Torus Machine for 10kw Wind Turbine”, **Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011 International Conference on, IEEE.** 20-23 August 2011. Beijing, China.
- [9] Eriksson, S., Bernhoff, H. and Bergkvist, M. (2012). “Design of A Unique Direct Driven PM Generator Adapted for A Telecom Tower Wind Turbine”, **Renewable Energy.** 44, 453-456.
- [10] Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's University Of Technology North Bangkok. (2011). **Research and Development of Low Speed Wind Turbine Generators for Manufacturer in Country.** Final Report. Energy Policy and Planning Office (EPPO). Ministry of Energy. Thailand.
- [11] Ministry of Energy. (2015). **Alternative Energy Development Plan: AEDP2015.** Department of Renewable Energy Development and Energy Efficiency, September. Thailand.
- [12] Phoochinda, W. (2012). **The Management of Energy Production for Consumption at Community and Household Level.** Research Report. National Institute of Development Administration (NIDA). Thailand.
- [13] Cathey, J. J. (2000). **Electric Machines: Analysis and Design Applying Matlab.** McGraw-Hill Higher Education.

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างทรายชายหาด บริเวณชายหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี ประเทศไทย

Specific Activities of Natural Radionuclides in Beach Sand Samples from Ratchadapisek Beach Nong Chik District in Pattani Province, Thailand

มูรณี ดาโอ๊ะ^{1*}, ประสงค์ เกษราธิคุณ², ปูรินทร จันทร์เลิศ³ และฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ⁴

Murnee Daoh^{1*}, Prasong Kessaratikoon², Purintorn Chanlert³ and Ruthairat Boonkrongcheep⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี ทางภาคใต้ของประเทศไทย พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) มีค่าพิสัยเป็น 200-703, 22-47 และ 4-23 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 428 ± 14 , 31 ± 8 และ 11 ± 2 Bq/kg ตามลำดับ และได้ใช้ค่ามัธยฐานที่คำนวณได้นี้ในการประเมินค่าดัชนีความเป็นอันตรายทางรังสีจำนวน 4 ค่าในบริเวณชายหาดรัชดาภิเษก นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้นี้กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศทั่วโลกอีกด้วย

คำสำคัญ: กัมมันตภาพจำเพาะ, นิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ, ทรายชายหาด

Abstract

The specific activities of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in 50 beach sand samples collected from Ratchadapisek beach Nong Chik district in Pattani Province in southern region of Thailand, have been measured and analyzed. It was found that the specific activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th ranged from 200-703, 22-47 and 4-23 Bq/kg and the average values of 428 ± 14 , 31 ± 8 and 11 ± 2 Bq/kg, respectively. Furthermore, four radiological hazard indices were evaluated for this area by using the ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th median values. Moreover, the results were also compared with the Office of Atoms for Peace (OAP) annual report data, Thailand and global radioactivity measurement and evaluations.

Keywords: Specific Activity, Natural Radionuclide, Beach Sand

¹ อ., โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

² ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ อ.ดร., โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

⁴ ผู้ช่วยวิจัย, หน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Lecturer, General Physics and Science Program, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000

² Asst. Prof. Dr., Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Lecturer, Dr., General Physics and Science Program, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000

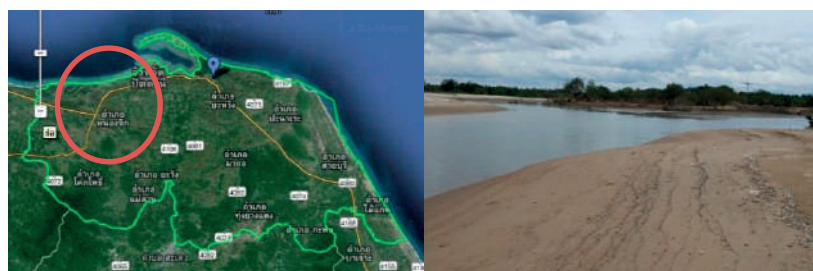
⁴ Research Assistant, Nuclear and Material Physics Research Unit (NuMPRU), Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel. 087-3939033, E-mail address: murnee.daoh@gmail.com

บทนำ

นิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในดินและทรายส่วนใหญ่มาจาก ^{226}Ra ที่มีอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม (Uranium Series) และ ^{232}Th ในอนุกรมทอเรียม (Thorium Series) รวมไปถึงผลผลิต (Product) รุนลุกรุ่นหลานที่เกิดจากการสลายตัวในอนุกรมสารกัมมันตรังสีต่างๆ เหล่านี้ในอีกมากมาย และนอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วตั้งแต่กำเนิดของโลกมนุษย์ และสารกัมมันตรังสีที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมสารกัมมันตรังสี ได้แก่ ^{40}K เป็นต้น โดยสารกัมมันตรังสีดังกล่าวนี้มักจะสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเรา ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของเปลือกโลกที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำสารกัมมันตภาพรังสีมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ การอุตสาหกรรม พลังงาน และอาวุธ ซึ่งบางครั้งก็อาจก่อให้เกิดโทษได้ ดังตัวอย่าง การระเบิดของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานนิวเคลียร์ เมื่อวันที่ 26 มีนาคม ค.ศ. 1986 ที่เมืองเชอร์โนบิล ประเทศสหภาพโซเวียต และล่าสุดภัยพิบัตินิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ เป็นเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เครื่องมือขัดข้องและปลดปล่อยสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น ณ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ หลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิในโทโฮกุ ที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2554 ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิต บางคนเสียชีวิตทันที บางคนได้รับบาดเจ็บจากการรับสารกัมมันตรังสี มากบ้างน้อยบ้าง ดังนั้น มนุษย์ทุกคนที่อาศัยอยู่บนโลกจึงได้รับกัมมันตภาพรังสีที่สะสมอยู่ในธรรมชาติอยู่ตลอดเวลา ถ้าปริมาณของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่างๆ เหล่านี้มีมากเกินไปในธรรมชาติจะทำให้ปริมาณโดสของรังสีเกินมาที่ร่างกายของมนุษย์โลกได้รับเข้าไป จะมีปริมาณมากไปด้วย

ด้วยเหตุนี้ การตรวจวัดปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนี้การนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติไปคำนวณหาค่าปริมาณรังสีแกมมา (Gamma Radiation Dose) จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ใหญ่ที่สุด ก็มีความจำเป็นและสำคัญเช่นกัน หลังจากนั้นจึงได้มีการกำหนดให้เป็นค่าปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (External Dose) ของประชากรโลก (World Population) โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลรังสีปรมาณู (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) [8-10]



ภาพที่ 1 แผนที่จังหวัดปัตตานี และหาดจากบริเวณรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี

ที่มา: <http://www2.pattani.go.th>

จังหวัดปัตตานี บางอำเภอ บางชายหาด ยังขาดข้อมูลที่มีการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าของปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สะสมอยู่ในธรรมชาติที่เป็นระบบและมีมาตรฐานสากล ชายหาดที่เลือกสุ่มเก็บตัวอย่าง ได้แก่บริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี ดังภาพที่ 1 เนื่องจากเป็นบริเวณที่นักท่องเที่ยวและประชาชนเดินทางมาท่องเที่ยวมากในอำเภอหนองจิก และที่สำคัญยังไม่มีข้อมูลการเก็บเพื่อประเมินค่าอันตรายทางรังสี ทางผู้วิจัยจึงสนใจในการศึกษาและตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในทรายชายหาดบริเวณรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง ทั้งนี้ยังสามารถนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th) ในตัวอย่างทรายบริเวณดังกล่าวไปคำนวณค่าที่บ่งชี้ความเป็นอันตรายต่าง ๆ

ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Radium Equivalent Activity; Ra_{eq}) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed Dose Rates in Air; D) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (External Hazard Index; H_{ex}) อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (Annual Effective Dose Rates; AED_{out}) ของตัวอย่างทรายได้อีกด้วย นอกจากนี้ จากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทรายที่เก็บเป็นตัวอย่างนี้ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยภาคใต้ รวมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดและคำนวณไว้ดังกล่าวนี้ที่กำหนดไว้โดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000 [8-10]) และ ข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในบริเวณราชากิเยก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานีต่อไป รวมทั้งการศึกษาถึงโอกาสและความเป็นไปได้ในการป้องกันอันตรายและการสะสมของสารกัมมันตรังสีในบริเวณดังกล่าวได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

เก็บตัวอย่างทรายชายหาดราชากิเยก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี จำนวน 50 ตัวอย่าง แล้วนำมาเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมตามหลักการที่เป็นมาตรฐาน และทำการตรวจวัดปริมาณสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างทราย โดยใช้หัววัดแบบเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการทดลองวิจัย อาคาร 1 ชั้น 4 สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพมหานคร ซึ่งจะเริ่มทำการปรับเทียบพลังงาน (Energy Calibration) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี ^{60}Co และ ^{137}Cs ซึ่งใช้เวลาในการวัด 1000 วินาที และทำการวัดปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีของสารมาตรฐาน (IAEA-SOIL-6) เพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์ โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 5,000 วินาที แล้วทำการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีของตัวอย่างทราย โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการตรวจวัด 10,000 วินาที และคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific Activity ; S.A.) กัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (Radium Equivalent Activity; Ra_{eq}) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed Dose Rates in Air; D) ดัชนีความเสี่ยงของรังสีภายนอก (External Hazard Index; H_{ex}) และ อัตราปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปี (Annual Effective Dose Rates; AED_{out}) ดังสมการที่ 1-5 [6, 7, 11]

$$S.A. = \frac{\text{cps}}{\text{Eff}(\xi) \times P_\gamma \times W_t} \quad (1)$$

$$Ra_{eq} = 370 \left(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (2)$$

$$D(\text{nGy/h}) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K \quad (3)$$

$$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \quad (4)$$

$$\text{Annual Effective Dose (mSv/y)} = D(\text{nGy/h}) \times 8,760 \text{ h} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-6} \quad (5)$$

หลังจากนั้นนำข้อมูลของการวัดค่ากัมมันตรังสีในจังหวัดปัตตานีที่ได้จากการวิจัยไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยต่างๆ ที่ได้มีการวัดค่ากัมมันตรังสีไว้แล้ว

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด

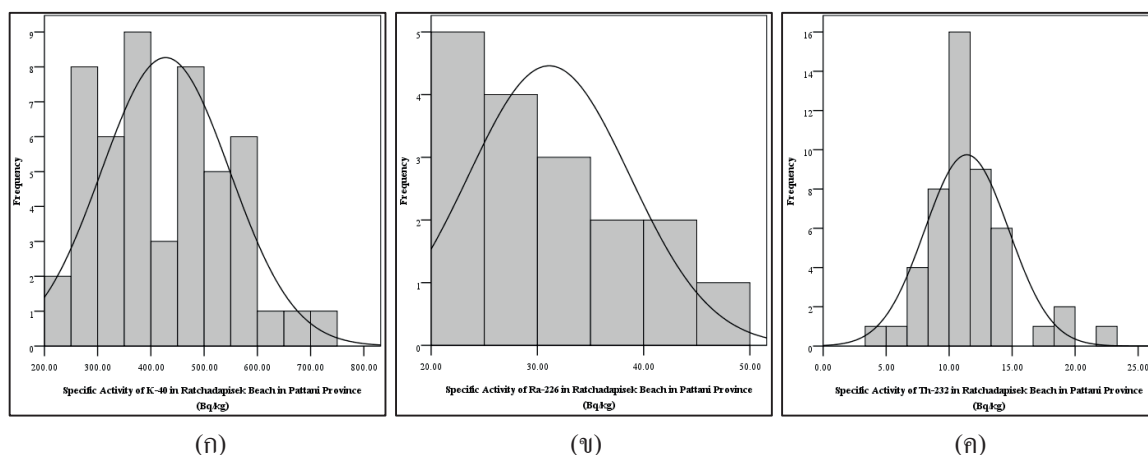
Sample	Specific Activity (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
RDS – 01	359 ± 15	< 23	10 ± 2
RDS – 02	383 ± 15	< 24	12 ± 2
RDS – 03	546 ± 18	< 25	11 ± 2
RDS – 04	703 ± 21	25 ± 10	4 ± 2
RDS – 05	480 ± 18	< 23	14 ± 2
RDS – 06	488 ± 17	< 24	14 ± 2
RDS – 07	343 ± 15	< 22	< 6
RDS – 08	401 ± 15	< 23	9 ± 2
RDS – 09	399 ± 16	< 22	9 ± 2
RDS – 10	323 ± 14	< 22	11 ± 2
RDS – 11	345 ± 14	< 22	10 ± 2
RDS – 12	377 ± 15	< 23	13 ± 2
RDS – 13	390 ± 15	< 22	8 ± 2
RDS – 14	292 ± 13	< 22	11 ± 2
RDS – 15	297 ± 14	< 21	10 ± 2
RDS – 16	277 ± 13	< 22	13 ± 2
RDS – 17	247 ± 13	< 21	9 ± 2
RDS – 18	271 ± 14	< 21	10 ± 2
RDS – 19	291 ± 13	< 22	8 ± 2
RDS – 20	200 ± 12	< 22	7 ± 2
RDS – 21	290 ± 10	< 22	8 ± 1
RDS – 22	334 ± 11	32 ± 7	9 ± 1
RDS – 23	310 ± 11	23 ± 7	10 ± 2
RDS – 24	393 ± 13	27 ± 7	11 ± 1
RDS – 25	300 ± 10	< 22	6 ± 1
RDS – 26	431 ± 12	< 23	13 ± 1
RDS – 27	592 ± 15	24 ± 7	12 ± 2
RDS – 28	396 ± 12	31 ± 7	13 ± 1
RDS – 29	323 ± 11	< 23	11 ± 1
RDS – 30	592 ± 18	36 ± 10	14 ± 2

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด (ต่อ)

Sample	Specific Activity (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
RDS – 31	509 ± 14	25 ± 7	10 ± 1
RDS – 32	446 ± 13	< 29	23 ± 2
RDS – 33	358 ± 11	< 22	11 ± 2
RDS – 34	497 ± 13	< 24	11 ± 1
RDS – 35	371 ± 18	26 ± 7	10 ± 1
RDS – 36	468 ± 13	47 ± 8	19 ± 2
RDS – 37	275 ± 10	22 ± 7	11 ± 1
RDS – 38	538 ± 14	< 27	11 ± 2
RDS – 39	491 ± 14	27 ± 8	11 ± 2
RDS – 40	485 ± 14	42 ± 8	14 ± 2
RDS – 41	505 ± 14	32 ± 8	12 ± 2
RDS – 42	665 ± 16	< 26	14 ± 2
RDS – 43	573 ± 15	< 24	8 ± 2
RDS – 44	598 ± 15	< 25	10 ± 2
RDS – 45	521 ± 14	< 25	12 ± 2
RDS – 46	554 ± 14	40 ± 8	11 ± 2
RDS – 47	633 ± 16	41 ± 8	14 ± 2
RDS – 48	572 ± 14	30 ± 8	12 ± 2
RDS – 49	477 ± 13	< 28	20 ± 2
RDS – 50	470 ± 14	< 28	18 ± 2
Range	200 – 703	22 – 47	4 – 23
Average	428 ± 14	31 ± 8	11 ± 2

การแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th)

สร้างกราฟแท่งของการแจกแจงความถี่และคำนวณหาค่ากลางของข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณหาดรัษฎาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี ทั้งหมดนี้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 2 ต่อไปนี้



ภาพที่ 2 กราฟแท่งของการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ (ก) ^{40}K (ข) ^{226}Ra และ (ค) ^{232}Th

ข้อมูลเชิงสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th)

ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี ทั้งหมด เช่น ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม เป็นต้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ข้อมูลเชิงสถิติของการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี

ข้อมูลเชิงสถิติ	ค่าที่วิเคราะห์ได้		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Bq/kg)	426	31	11
ค่ามัธยฐาน (Bq/kg)	400	30	11
ค่าฐานนิยม (Bq/kg)	200	22	4
ความเบ้ (skewness)	0.3	1	1
ความโด่ง (kurtosis)	-1	-1	3
ค่าน้อยที่สุด (Bq/kg)	200	22	4
ค่ามากที่สุด (Bq/kg)	703	47	23

จากภาพที่ 2 (ก) - (ค) จะเห็นได้ว่ากราฟแท่งของการแจกแจงความถี่ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) ที่ตรวจวัดและวิเคราะห์ได้ในตัวอย่างทรายชายหาดจำนวน 50 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณหาดรัชดาภิเษก มีลักษณะเป็นแบบไม่สมมาตรโดยมีค่าความเบ้เท่ากับ 0.28 0.75 และ 1.13 ดังนั้นค่ามัธยฐานจึงเป็นค่ากลางของข้อมูลที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้คำนวณค่าดัชนีความเป็นอันตรายทางรังสีในบริเวณหาดรัชดาภิเษก เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2 จะได้ว่าค่ามัธยฐานของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th มีค่าเท่ากับ 400.11 29.56 และ 10.83 Bq/kg ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อนำค่ามัธยฐานทั้งหมดนี้ไปคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีของประชาชนและนักท่องเที่ยวที่อาศัยอยู่ในบริเวณชายหาดรัชดาภิเษก จำนวน 4 ค่า ได้แก่ อัตราปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืน (D) ค่ากัมมันตภาพ

รังสีสมมูลของเรเดียม (Ra_{eq}) ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{out}) พบว่า มีค่า 41 nGy/h 93 Bq/kg 0.1 และ 0.1 (mSv/y) ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเป็นอันตรายทางรังสีทั้ง 4 ค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลวิจัยที่ตรวจวัดไว้ในบางจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า มีค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลของชายหาดบริเวณหาดตะโลเกาปรี หาดวาสกรี จ.ปัตตานี หาดสมิหลา จ.สงขลา และ UNSCEAR และมีค่ามากกว่าหาดเฉวง จ.สุราษฎร์ธานี และสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยในตัวอย่างทรายชายหาดรัศดาภิเษก อำเภอหนองจิก พร้อมทั้งค่าดัชนีความเสี่ยงทางรังสีทั้ง 4 ค่า กับข้อมูลที่มีอยู่ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000 [7-9])

สถานที่	ปริมาณกัมมันตภาพ จำเพาะเฉลี่ย(Bq/kg)			D (nGy/h)	Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{ex}	AED_{out} (mSv/y)
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th				
หาดรัศดาภิเษก จ.ปัตตานี (50 ตัวอย่าง)	428	31	11	41	93	0.1	0.1
หาดตะโลเกาปรี จ.ปัตตานี (50 ตัวอย่าง) [3]	1091	161	357	352	687	2	0.4
หาดวาสกรี จ.ปัตตานี (50 ตัวอย่าง) [2]	449	34	16	46	102	0.3	0
หาดสมิหลา จ.สงขลา (30 ตัวอย่าง) [4]	869	31	23	65	131	0.4	0.1
หาดเฉวง จ.สุราษฎร์ธานี (30 ตัวอย่าง) [1]	373	19	24	39	81	0.2	0.1
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ [5]	511	172	211	232	513	1	0.3
UNSCEAR [8-10]	400	35	30	55	370	1	0.5

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

จากผลการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด ที่เก็บจากบริเวณหาดรัศดาภิเษก อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี 50 ตัวอย่าง ทำให้สามารถสรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผลได้ว่า เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด จำนวน 50 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณชายหาดรัศดาภิเษก อำเภอหนองจิก ในการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงของการได้รับอันตรายจากรังสี โดยเฉพาะค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{out}) ที่ตรวจวัดได้นี้มีค่าไม่แตกต่างไปจากค่าที่ตรวจวัดได้ โดยนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้น เราสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างทรายชายหาด ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความเป็นอันตรายในประเทศไทยแต่อย่างใด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kessaratikoon, P., Thaneerat, S. and Youngchaay, U. (2009). “Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{226}Ra ^{232}Th and ^{40}K in Beach Sand Samples from Chaweng Beach Ko Samui District Surat Thani Province”, In **The 11th Conference on Nuclear Science and Technology**. Nuclear Technology for Thai Society, 2-3 July 2009, The Siam Commercial Bank Main Office, Chatuchak, Bangkok, Thailand.
- [2] Daoh, M., Kessaratikoon, P. and Khoonphunnaria, P. (2018). “Assessment of Radiological in the Beach Sand Wasukree from Pattani Province”, In **The 3rd National Conference on Science and Technology of Southern Network**. 611-619. February 11-12, 2018, Yala Rajabhat University. Thailand.
- [3] Daoh, M., Masae N., Po-oh, S., Boonkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P. (2017). “Measurement and Analysis of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K ^{226}Ra and ^{232}Th) in Beach Sand Samples from Talo Kapo Beach of Yaring District in Pattani Province using Gamma Ray Spectrometry. IOP Conf. Series”, **Journal of Physics**. Conf. Series 901 (2017) 012146.
- [4] Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Choosiri, N., Taehdeng, N. and Udomsomporn, S. (2015). “Specific Activities of Natural Radionuclides in Beach Sand Samples from Samila Beach in Songkhla Province (Thailand) after Nuclear Power Plant Accident in Japan”, **International Journal of Environmental Science and Development**. 6(9), 706-709.
- [5] Office of Atoms for Peace (OAP). 1994-2002 OAP. **Annual Reports**. Ministry of Science and Technology, Bangkok, Thailand.
- [6] Singh, S., Rani, A. and Mahajan, R. K. (2005). “ ^{226}Ra ^{232}Th and ^{40}K Analysis in Soil Samples from Some Areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using Gamma ray Spectrometry”, **Radiation Measurements**. 39, 431-439.
- [7] Singh, S., Singh, B. and Kumar, A. (2003). “Natural Radioactivity Measurements in Soil Samples from Hamirpur District, Himachal Pradesh, India”, **Radiation Measurements**. 36, 547-549.
- [8] UNSCEAR. (1988). **Exposures from Natural Sources of Radiation**. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [9] UNSCEAR. (1993). **Sources and Effects of Ionizing Radiation**. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [10] UNSCEAR. (2000). **Sources and Effects of Ionizing Radiation**. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [11] Veiga, R., Sanches, N., Anjos, R.M., Macario, K., Bastos, J., Iguatemy, M., Aguiar, J.G., Santos, A.M.A., Mosquera, B., Carvalho, C., Baptista Filho, M. and Umisedo, N.K. (2006). “Measurement of Natural Radioactivity in Brazilian Beach Sands”, **Radiation Measurements**. 41(2), 189-196.

การศึกษาความชื้นของดินโดยอาศัยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลและการตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเอง: กรณีศึกษาจังหวัดพัทลุง

The Study of Soil Moisture using Remote Sensing Data and Ground-Based Measurement: A Case Study in Phatthalung Province

สุเจนต์ พรหมเหมื่อน^{1*}, จอมภพ แวศักดิ์¹, สุกกร กตาทิการกุล² และสุทธิสยา ก้อนเรือง³

Suchane Prommuean^{1*}, Jompob Waewsak¹, Supagone Katathikarnkul² and Sutthisa Konruang³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการตรวจวัดค่าความชื้นของดินโดยอาศัยข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกลและการตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นเองให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ศึกษา 11 อำเภอจังหวัดพัทลุง ประเทศไทย โดยการเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) ที่ได้จาก NASA และจากชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นเอง นำข้อมูลที่ได้ทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบค่าความชื้นของดิน พร้อมกับเขียนแผนที่ความชื้นของดินในจังหวัดพัทลุง วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความชื้นรายเดือนและรายปีใน พ.ศ. 2559 ผลของการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีในพื้นที่จังหวัดพัทลุงอยู่ในช่วง 10 - 50 % โดยในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม มีช่วงความชื้นที่ 10 - 20 % ส่วนในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม และมิถุนายน-ธันวาคมมีความชื้นของดินเท่ากับ 20 - 50 % โดยผลที่ได้ทั้งสองวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ความชื้นของดิน แผนที่ความชื้นของดิน จังหวัดพัทลุง ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล การตรวจวัดภาคพื้นดิน

Abstract

Soil moisture content was investigated in this study by 2 methods, i. e. by remote sensing data prediction and ground based measurement by self - assembled instrument. The study area covered all 11 districts in Phatthalung province, Thailand. The soil moisture content data were collected from the satellite photograph (SMAP) recorded by NASA and measurement by self - assembled instrument. The monthly and annual average values of soil moisture content were reported. The annual average values of soil moisture content were in the range of 10 - 50 %. Their monthly average values in January to March and June to December were in the range of 20 - 50 %, no difference of these two methods was found from the result.

Keywords: Soil Moisture Content, Soil Moisture Mapping, Phatthalung Province, Remote Sensing Data, Ground-Based Measurement

¹ นักวิชาชีพ, สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² รศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ นักวิชาชีพ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

⁴ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Scientist, 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 Scientist, Department of Basic Science and mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 93210

⁴ Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

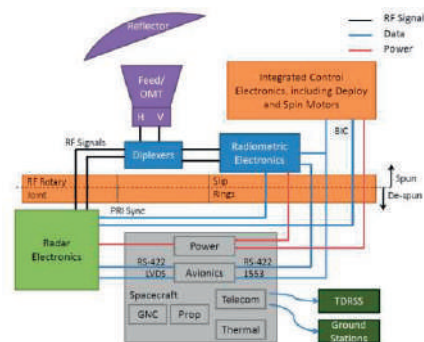
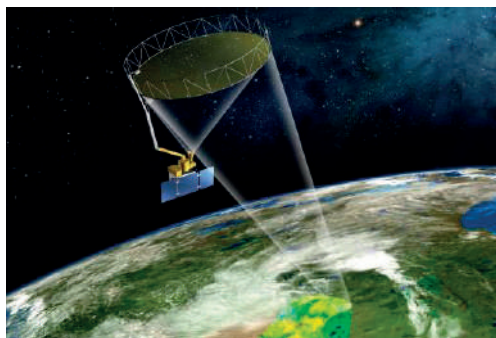
* Corresponding author: E-mail address: sujane214@hotmail.com

บทนำ

ชั้นบน (Topsoil) ของดินมีความสำคัญต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของมนุษย์ พืช และสัตว์ ความชื้นในดิน (Soil Moisture) มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชพันธุ์ต่าง ๆ โดยโครงสร้างในดินที่มีความแตกต่างกันจะส่งผลต่อปริมาณน้ำและไอน้ำที่สะสมอยู่ในดิน ความชื้นในดินมีความสำคัญและส่งผลต่อการระเหยของน้ำ การคายน้ำของพืช รวมทั้งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งความชื้นในดินยังส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างพื้นดินและบรรยากาศ การระเหยน้ำจากดินต้องใช้พลังงานมากและมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในพื้นที่นั้น ๆ

ดาวเทียมตรวจวัดความชื้นของดิน (Soil Moisture Active Passive: SMAP) มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความเข้าใจของกระบวนการแลกเปลี่ยนวัฏจักรน้ำ พลังงาน และคาร์บอน เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการทำนายสภาพอากาศและภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดั้งเดิม ภาพที่ 1 ข้อมูลจาก SMAP สามารถใช้คำนวณปริมาณการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ความชื้นของดิน คาร์บอนที่ดินดูดซับและปล่อยออกมา ซึ่งดาวเทียม SMAP จะช่วยให้เข้าใจวัฏจักรคาร์บอนได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำนายและการตรวจสอบความแข็งแรงในอนาคต SMAP ทำการตรวจวัดความชื้นของดินทุก ๆ 2-3 วัน เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยจะทำการตรวจวัดปริมาณน้ำที่อยู่เหนือพื้นดิน และจำแนกว่าพื้นดินมีน้ำแข็งปกคลุมหรือน้ำแข็งละลาย ในกรณีที่พื้นดินไม่มีน้ำแข็งปกคลุม SMAP จะตรวจวัดปริมาณน้ำที่พบในแร่ธาตุ หิน และอินทรีย์สารในดินทั่วโลก รวมทั้งดาวเทียมสามารถตรวจวัดความชื้นในดินได้บริเวณกว้างและครอบคลุมระยะเวลาได้ยาวนาน

บทความนี้ผู้วิจัยเปรียบเทียบค่าความชื้นของดินจากการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นกับค่าความชื้นจากการตรวจวัดจากดาวเทียม (SMAP) โดยมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดความชื้นของดิน 11 สถานี ในแต่ละอำเภอในจังหวัดพัทลุงเพื่อเป็นพื้นที่กรณีศึกษา การสร้างชุดทดสอบตรวจวัดความชื้นในดินโดยใช้เทคนิคการตรวจวัดความจุไฟฟ้า (Capacitive Techniques) ที่มีโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 1 Soil Moisture Active and Passive (SMAP)

ที่มา: <http://smap.jpl.nasa.gov/>

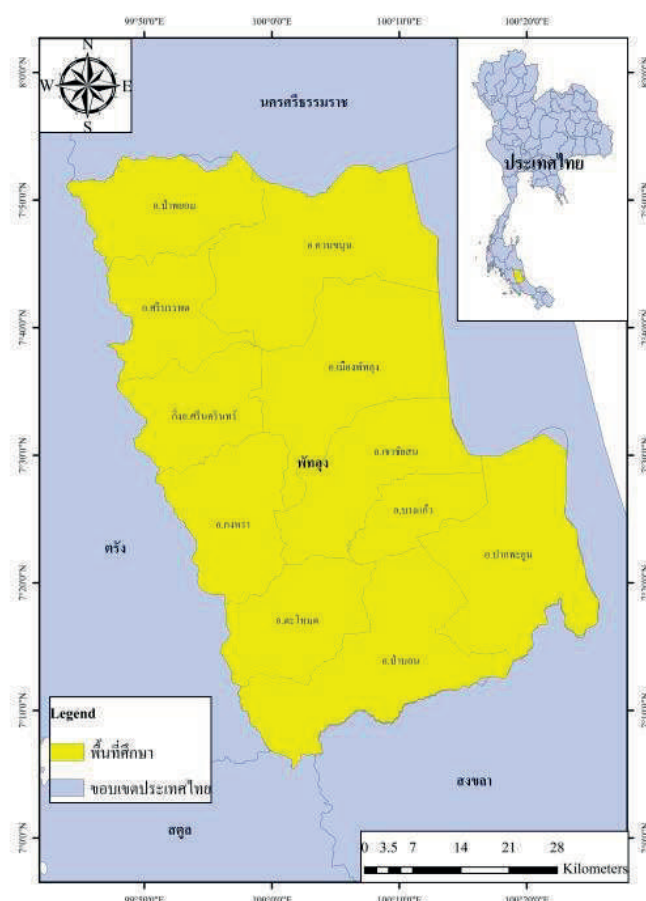
วิธีการดำเนินวิจัย

1. พื้นที่กรณีศึกษา

จังหวัดพัทลุงตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งตะวันออกของแหลมมลายูหรือแหลมทอง ซึ่งตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทยหรือฝั่งตะวันตกของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยตั้งอยู่บริเวณเส้นรุ้งที่ 7 องศา 5 ลิปดา ถึง 7 องศา 55 ลิปดา เหนือ และเส้นแวงที่ 99 องศา 44 ลิปดา ถึง 100 องศา 25 ลิปดา ตะวันออก มีเนื้อที่ 3,424.473 ตารางกิโลเมตร หรือ 2,140,295.60 ไร่ นับเป็นจังหวัดที่มีเนื้อที่ มากเป็นอันดับที่ 58 ของประเทศไทย มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง แสดงในภาพที่ 2

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดสงขลา
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดสงขลา
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดสงขลา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดตรัง

พื้นที่กรณีศึกษาครอบคลุม 11 สถานีในแต่ละอำเภอในจังหวัดพัทลุง



ภาพที่ 2 ภาพแผนที่ของจังหวัดพัทลุงเขตพื้นที่: กรณีศึกษา

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

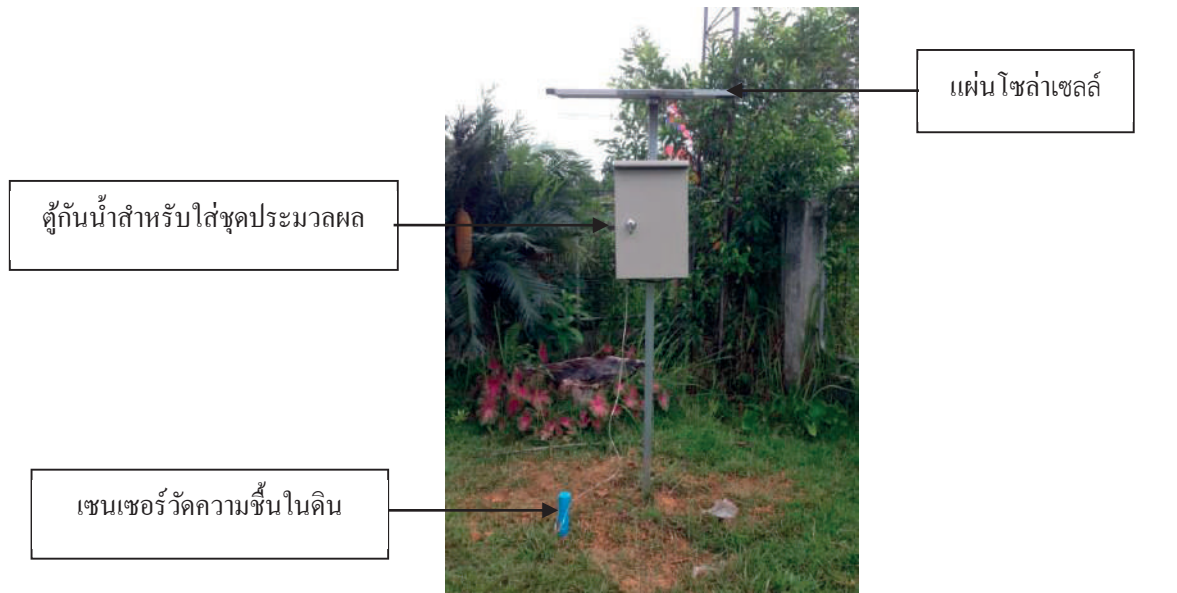
การเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ดำเนินการทั้ง 11 อำเภอในจังหวัดพัทลุง ด้วย 2 วิธี ได้แก่ ข้อมูลความชื้นของที่เก็บรวบรวมจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) จากฐานข้อมูล NASA และข้อมูลความชื้นของดินที่ได้จากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดที่พัฒนาขึ้น แล้วนำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลความชื้นของดินจากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) จากฐานข้อมูล NASA

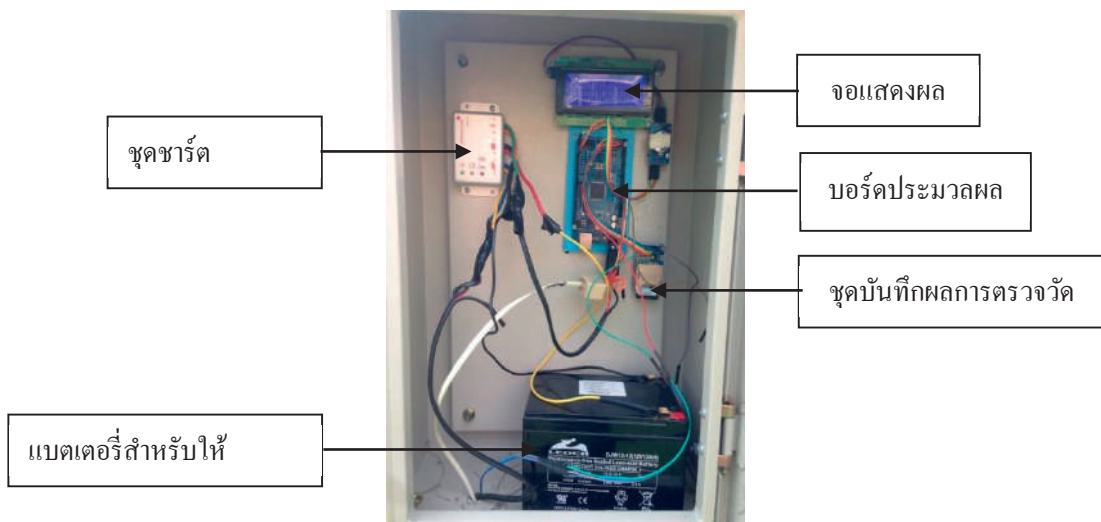
ทำการเก็บรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP) จากฐานข้อมูล NASA ที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดพัทลุงในปี พ.ศ.2559 เป็นระยะเวลา 1 ปี หาค่าความชื้นของดินแต่ละตำแหน่งที่ตรงกับตำแหน่งในข้อ 2.3 ทุก ๆ 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเฉลี่ยรายเดือนและรายปี เพื่อศึกษาการค่าความชื้นของดินซึ่งได้จากภาพถ่ายดาวเทียม นำข้อมูล SMAP ที่ได้จากฐานข้อมูลจาก NASA ไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นของดิน แล้วใช้โปรแกรม Arc GIS 10.2 สร้างแผนที่ค่าความชื้นของดินของจังหวัดพัทลุง โดยแยกออกมาเป็นความชื้นของดินเฉลี่ยรายเดือน และค่าความชื้นของดินเฉลี่ยรายปี

2.2 การพัฒนาชุดตรวจวัดความชื้นของดิน

สำหรับการพัฒนาชุดตรวจวัดความชื้นของดิน โดยอาศัยเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล และเก็บข้อมูลอัตโนมัติ การเก็บข้อมูลความชื้นของดินนั้น ได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจวัดความชื้นของดิน ให้สามารถเก็บข้อมูลความชื้นแบบอัตโนมัติโดยใช้เซลล์อาทิตย์เป็นตัวจ่ายพลังงานให้กับชุดตรวจวัดความชื้นของดิน โดยมีส่วนประกอบภายนอกแสดงดังภาพที่ 3 และอุปกรณ์ภายในชุดตรวจวัดความชื้นของดินแสดงดังภาพที่ 4 ประกอบด้วยจอแสดงผล LCD ขนาด 20X4 ชุดชาร์ตแบตเตอรี่ บอร์ดประมวลผล ชุดบันทึกผลการตรวจวัด และแบตเตอรี่สำหรับให้พลังงาน



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบภายนอกของชุดทดสอบความชื้นของดิน



ภาพที่ 4 อุปกรณ์ภายในชุดตรวจวัดความชื้นของดิน

2.3 การติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นในดิน

ผู้วิจัยได้ระบุตำแหน่งของการติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินให้ครอบคลุมของเขตพื้นที่ใน
จังหวัดพัทลุง ทั้ง 11 อำเภอ ดังนี้

อำเภอเมืองพัทลุง ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.637 ลองจิจูด 100.018
อำเภอเขาชัยสน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.488 ลองจิจูด 100.04
อำเภอควนขนุน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.756 ลองจิจูด 99.979
อำเภอป่าพะยอม ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.808 ลองจิจูด 99.939
อำเภอสรีบรรพต ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.654 ลองจิจูด 99.877
อำเภอศรีนครินทร์ ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.554 ลองจิจูด 99.932
อำเภอกงหรา ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.462 ลองจิจูด 99.956
อำเภอตะโหมด ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.287 ลองจิจูด 100.064
อำเภอป่าบอน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.3155 ลองจิจูด 100.230
อำเภอปากพะยูน ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.348 ลองจิจูด 100.322
อำเภอบางแก้ว ติดตั้งชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่ตำแหน่ง ละติจูด 7.398 ลองจิจูด 100.147

2.4 การเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้น

การเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้น แต่ละ
ตำแหน่ง ทุก ๆ 2 ชั่วโมงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายเดือนและรายปี

3. การเปรียบเทียบความชื้นของดินจากการตรวจวัด ทั้ง 2 วิธี

แต่ละตำแหน่งที่เก็บข้อมูลจากการตรวจวัดทั้งจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP จากฐานข้อมูล
NASA และจากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้นเอง ทั้งรายเดือนและรายปีนำมาทดสอบความ
แตกต่างด้วยวิธีซันทักซ์ของแผนที่ความชื้นของดิน ทั้ง 2 วิธี

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากการเก็บข้อมูลความชื้นของดินจากภาพถ่ายทางดาวเทียม (SMAP) และชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่
พัฒนาขึ้น ใน 11 อำเภอของจังหวัดพัทลุงนั้น นำมาวิเคราะห์ค่าความชื้นของดินแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือนและ
ค่าเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ นำค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีไปทำแผนที่
ความชื้นของดินในเขตพื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดพัทลุงโดยใช้โปรแกรม Arc GIS 10.2 แสดงดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6

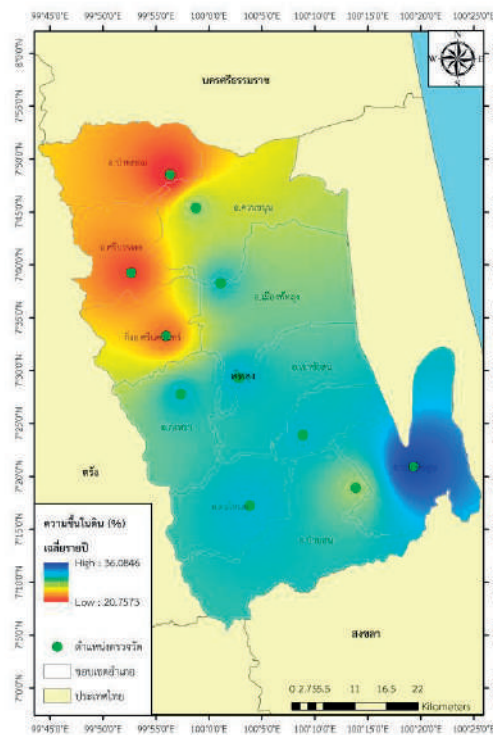
การเปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 เป็นการนำแผนที่เฉลี่ยความชื้นของ
ดินมาทำการซ้อนทับกันแล้วมองถึงการเปลี่ยนแปลงของสีบนแผนที่ความชื้นทั้ง 6 วิธี

สรุปผลการวิจัย

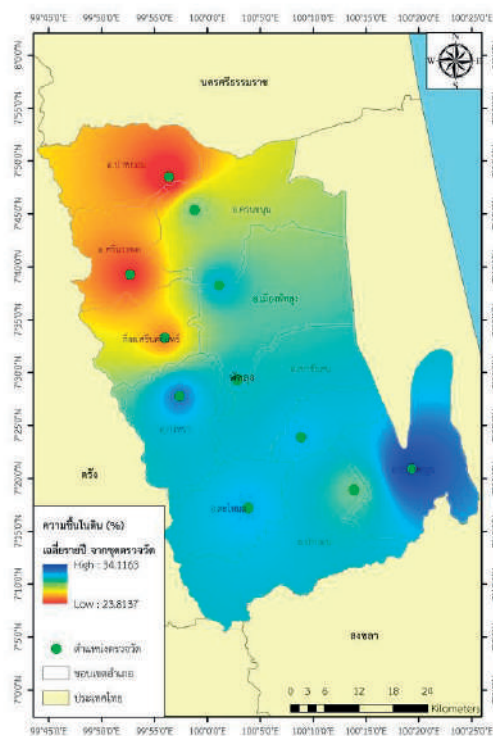
ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ค่าความชื้นของดิน ใน 11 อำเภอของจังหวัดพัทลุง พบว่าค่าความชื้นของดินที่
ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมและค่าที่ได้จากชุดตรวจวัดความชื้นของดินที่พัฒนาขึ้นจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ค่าความชื้น
ของดินในจังหวัดพัทลุง ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม มีค่าความชื้นเท่ากับ 10 – 20 % ส่วนค่าความชื้นของดินเดือน
มกราคม-มีนาคมและมิถุนายน-ธันวาคม มีค่าเท่ากับ 20 - 50 % และมีค่าความชื้นเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 20 - 40 % แสดงว่า
พื้นที่ที่ทดสอบจังหวัดพัทลุงมีความชื้นในดินค่อนข้างสูงเนื่องจากมีฝนตกชุกตลอดทั้งปี

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายเดือนและเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม (SMAP)														
สถานที่ติดตั้งสถานีตรวจวัด	ตำแหน่งที่ตรวจวัด			ค่าเฉลี่ยรายเดือน (%)										
	ละติจูด	ลองจิจูด	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อำเภอป่าพะยอม	7.808	99.939	24.56	22.53	17.80	13.51	14.85	18.31	18.44	20.79	21.74	21.26	24.14	31.14
อำเภอศรีบรรพต	7.654	99.877	26.03	23.89	19.62	14.96	16.03	19.18	19.42	21.76	22.59	22.19	25.20	32.28
อำเภอศรีนครินทร์	7.554	99.932	27.43	25.21	21.07	16.36	17.05	20.08	20.27	22.44	23.41	23.10	26.38	33.34
อำเภอกวนขนุน	7.756	99.979	33.92	26.37	19.70	16.17	19.10	25.99	27.28	31.29	31.50	28.70	38.51	43.47
อำเภอเมืองพัทลุง	7.637	100.018	36.64	29.94	21.13	17.01	19.78	27.65	29.13	35.11	34.62	32.10	39.98	43.95
อำเภอเขาชัยสน	7.488	100.047	37.48	31.60	21.85	17.32	20.23	28.63	30.04	34.00	35.94	33.98	40.64	44.14
อำเภอกงหรา	7.462	99.956	37.59	35.53	21.85	9.31	20.23	28.63	30.04	34.00	35.96	33.98	40.64	44.14
อำเภอบางแก้ว	7.398	100.147	36.47	29.67	21.03	17.29	20.66	28.69	29.95	35.07	36.04	33.22	40.41	43.80
อำเภอตะโหมด	7.287	100.064	36.35	29.55	20.88	17.22	20.72	29.22	30.50	36.08	37.13	34.73	40.68	43.72
อำเภอป่าบอน	7.315	100.231	31.63	25.56	19.97	17.74	20.98	26.86	27.73	30.43	31.09	27.78	38.33	42.67
อำเภอปากพะยูน	7.348	100.322	41.98	34.93	28.42	24.74	27.06	31.91	32.92	36.76	38.03	35.21	47.59	53.47

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายเดือนและเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากชุดตรวจวัดความชื้น ในดินที่พัฒนาขึ้น																
สถานที่ติดตั้งสถานีตรวจวัด	ตำแหน่งที่ตรวจวัด		ค่าเฉลี่ยรายเดือน (%)												ค่าเฉลี่ยรายปี 2559 (%)	
	ละติจูด	ลองจิจูด	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.		
อำเภอป่าพะยอม	7.808	99.939	22.45	20.13	14.32	15.50	12.56	17.89	15.36	18.29	19.56	19.56	21.56	28.45	23.81	
อำเภอศรีบรรพต	7.654	99.877	24.55	20.45	17.20	16.20	15.60	17.45	17.25	17.56	20.13	20.36	22.89	28.63	24.70	
อำเภอศรีนครินทร์	7.554	99.932	25.10	22.56	18.65	14.52	16.89	18.96	25.35	20.22	21.56	21.24	24.96	30.21	26.26	
อำเภอควนขนุน	7.756	99.979	28.89	24.78	17.24	14.65	17.56	22.35	25.23	28.63	28.56	25.32	34.62	38.20	29.55	
อำเภอเมืองพัทลุง	7.637	100.018	32.15	27.41	18.21	15.23	17.45	25.63	27.63	32.14	32.41	28.79	32.35	38.60	31.12	
อำเภอเขาชัยสน	7.488	100.047	25.10	28.62	19.56	15.32	18.23	17.24	28.04	32.41	32.65	30.78	35.62	39.45	30.75	
อำเภอกงหรา	7.462	99.956	35.42	32.21	20.14	17.62	19.54	26.32	28.45	31.56	33.10	30.56	35.87	38.56	32.63	
อำเภอบางแก้ว	7.398	100.147	32.68	26.87	17.56	14.23	18.56	27.10	26.56	34.89	33.20	30.22	36.25	39.42	31.79	
อำเภอตะโหมด	7.287	100.064	32.56	26.35	19.56	15.34	18.23	25.86	28.30	34.25	34.04	30.74	35.64	39.56	31.98	
อำเภอป่าบอน	7.315	100.231	28.35	25.56	17.78	14.78	18.56	24.52	24.56	28.35	29.23	25.36	34.21	38.44	29.80	
อำเภอปากพะยูน	7.348	100.322	38.54	30.45	26.23	20.13	18.20	28.56	30.04	24.61	34.45	31.56	41.31	45.88	34.12	



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปี ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากชุดตรวจวัดความชื้นในดินที่ได้พัฒนาขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cho, E., Choi, M. and Wagner, W. (2015). “An Assessment of Remotely Sensed Surface and Root Zone Soil Moisture through Active and Passive Sensors in Northeast Asia”, **Remote Sensing of Environment**. 160, 166-179.
- [2] Chan, S., Njoku, E. and Dunbar, S. (2010). “Forward Simulations of Passive Microwave Observations for the Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission”, **IEEE, IGARSS 2010**. 4839-4842
- [3] Mastropietro, A. J., Kwack, E., Mikhaylov, R., Spencer, M., Hoffman, P. and Dawson D. (2014). “Preliminary Evaluation of Passive Thermal Control for the Soil Moisture Active and Passive (SMAP) Radiometer”, **American Institute of Aeronautics and Astronautics**. 1-16.
- [4] O’Neill, P. E., Podest, E. and Njoku, E.G. (2011). “Utilization of Ancillary Data Sets for SMAP Algorithm Development and Product Generation”, **IEEE, IGARSS 2011**. 2436-2439
- [5] Chen, F., Crow, W. T., Starks, P. J. and Moriasi, D.N. (2011). “Improving Hydrologic Predictions of a Catchment Model via Assimilation of Surface Soil Moisture”, **Advances in Water Resources**. 34, 526-536.
- [6] Miralles, D. G., Crow, W. T. and Cosh, M.H. (2010). “Estimating Spatial Sampling Errors in Coarse-Scale Soil Moisture Estimates Derived from Point-Scale Observations”, **Journal of Hydrometeorology**. 11, 1423-1429.
- [7] Crow, W. T., Wagner, W. and Naeimi, V. (2010). “The Impact of Radar Incidence Angle on Soil-Moisture-Retrieval Skill”, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letter**. 7, 501-505.
- [8] Das, N. N., Entekhabi, D. and Njoku, E. G. (2011). “An Algorithm for Merging SMAP Radiometer and Radar Data for High Resolution Soil Moisture Retrieval”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 49, 1504-1512.
- [9] Huang, S., Tsang, L., Njoku, E. G. and Chan, K. S. (2010). “Backscattering Coefficients, Coherent Reflectivities, and Emissivities of Randomly Rough Soil Surfaces at L-Band for SMAP Applications Based on Numerical Solutions of Maxwell Equations in Three-Dimensional Simulations”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 48, 2557-2568.
- [10] Colliander, A., McDonald, K., Zimmermann, R., Linke, T., Schroeder, R., Kimball J. and Njoku, E. (2010). “Quikscat Backscattering Sensitivity to Landscape Freeze/Thaw State over Alectra Sites in Alaska from 2000-2007: Application to SMAP Validation Planning”, **IEEE, IGARSS 2010**. 1269-1272.

Session 4

ด้านคณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์

๕๐ ปี มหาวิทยาลัยทักษิณ
50th TSU Anniversary



กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS

Instructional Activities on Statistics in High School

By Using Graphing Calculator TI Nspire CX CAS

สายันท์ โสธรโร^{1*} กาญจนา พานิชการ² และรวีวรรณ งานสันติกุล³

Sayun Sotaro^{1*}, Karnchana Panichakarn² and Raweewan Ngamsuntikul³

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย 1) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS และ 2) ศึกษาความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเชิงปฏิบัติการด้วยกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติ ในระดับมัธยมศึกษา ตอนปลาย โดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตหลักสูตร กศ.บ. สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 35 คน ผลการวิจัยพบว่านิสิตมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านเกณฑ์มากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนนิสิตทั้งหมด ที่ระดับนัยสำคัญ .01 และมีค่าประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 96.74/87.30 และนิสิตกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติ สถิติ เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire

Abstract

The purposes of this study were 1) to study the achievement and to study the efficiency of instructional activities on statistics in high school by using graphing calculator TI Nspire CX CAS and 2) to study students' satisfaction toward workshop learning with instructional activities on statistics in high school. The sample of this study were 35 fourth year students who were studying Bachelor of Education (Mathematics) in term 1/2017, Department of Mathematics, Faculty of Sciences, Srinakharinwirot University. The result of the study indicated that the students had educational efficiency to pass the criteria more than 80 percent of the total students with statistical significance of .01 level and has the effectiveness (E_1/E_2) equal to 96.74/87.30. The students' satisfaction toward instructional activities on statistics in high school using graphing calculator TI Nspire CX CAS was at high level.

Keywords: Instructional Activities on Statistics in High School, Statistics, Graphing Calculator TI Nspire

¹ อ.ดร., สาขาคณิตศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

² อ., สาขาสถิติ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

³ ผศ., สาขาสถิติ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

¹ Lecturer, Dr., Major in Mathematics, Department of Mathematics, Faculty of Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110

² Lecturer, Major in Statistics, Department of Mathematics, Faculty of Sciences, Srinakharinwirot University Bangkok, 10110

³ Asst. Prof., Major in Statistics, Department of Mathematics, Faculty of Sciences, Srinakharinwirot University Bangkok, 10110

* Corresponding author: E-mail address: say@g.swu.ac.th

บทนำ

สถิติ (Statistics) เป็นวิชาการแขนงหนึ่งที่เป็นทั้งวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถิติประยุกต์เป็นวิชาที่ว่าด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจ ต่อปัญหาต่าง ๆ อย่างมีหลักการและถูกต้องที่สุด การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติที่ถูกต้องและเหมาะสมกับข้อมูลช่วยให้การค้นคว้าวิจัย และการทดลองในสาขาวิชาต่าง ๆ เช่น เกษตรศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ สังคมศาสตร์ รัฐศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ศึกษาาสตร์ ประสบความสำเร็จและได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ การทราบแหล่งที่มาของข้อมูล ประเภทของข้อมูล วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติ เช่น การวัดค่ากลางของข้อมูล การวัดค่าแห่งที่ของข้อมูล การวัดการกระจายของข้อมูล รูปแบบการแจกแจงของข้อมูล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันระหว่างข้อมูล จะช่วยให้การเลือกวิธีวิเคราะห์ทางสถิติเป็นไปอย่างถูกต้องเหมาะสมกับข้อมูล ซึ่งเนื้อหาเหล่านี้เป็นสถิติพื้นฐานและถูกจัดอยู่ในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่องสถิติในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

เครื่องคำนวณเชิงกราฟ หรือ เครื่องคิดเลข Texas Instruments Nspire CX CAS Graphing Calculator เรียกย่อ ๆ ว่า TI Nspire CX CAS จัดเป็นเครื่องคิดเลขแบบ Computer Algebra System (CAS) เหมาะสำหรับนักเรียน นักศึกษา ทางด้าน วิทยาศาสตร์ และวิศวกรรม เนื่องจากมีขนาดเล็กพกพาสะดวกและราคาไม่แพง เครื่องคิดเลขรุ่นนี้มีเทคโนโลยีใหม่ ๆ สำหรับการคำนวณทางพีชคณิต แคลคูลัส และสถิติในระดับสูง เช่น กราฟฟังก์ชัน กราฟลำดับ กราฟ 3 มิติ สรุปข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการนำเสนอด้วยกราฟสถิติ เช่น ฮิสโทแกรม แผนภาพกล่อง กราฟแบบจุด กราฟแบบเส้น และสมการถดถอย

ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนคณิตศาสตร์โดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ ซึ่งเป็นสื่อเทคโนโลยีชนิดหนึ่งนั้น [1] ได้กล่าวถึงบทบาทของเครื่องคำนวณเชิงกราฟไว้ว่า เครื่องคำนวณเชิงกราฟเป็นเครื่องมือในการกระทำทางคณิตศาสตร์และเป็นเครื่องมือในการอธิบายหลักการสำคัญ ๆ ทางคณิตศาสตร์ และการเรียนรู้โน้ตสนใหม่ ๆ ทางคณิตศาสตร์ ครูผู้สอนควรเน้นให้นักเรียน ได้มีการพัฒนาด้านกระบวนการคิดและความเข้าใจในเนื้อหาอย่างแท้จริง มิใช่เพียงแค่สอนให้นักเรียนใช้เครื่องเป็นเท่านั้น อีกทั้งครูผู้สอนสามารถจัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้นักเรียนได้ใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟเพื่อที่จะสามารถสรุปความเข้าใจในโมเดลที่ได้ออกมาเป็นบทนิยามนอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยได้แก่ [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับข้อดีที่ได้จากการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟในการเรียนการสอนวิชาสถิติ ในระดับปริญญาตรี พบว่าเครื่องคำนวณเชิงกราฟเป็นเครื่องมือที่พกพาได้ สามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลในรายวิชาสถิติเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เรียนที่มีความชำนาญในการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟแล้ว จะใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟในรายวิชาสถิติอื่น ๆ ด้วย [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ ของนักศึกษาในวิชาสถิติเบื้องต้น พบว่าเหตุผลสำคัญที่นักศึกษาเลือกใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ คือ ความสะดวกในการใช้งาน และ ราคา การนำเครื่องคำนวณเชิงกราฟมาใช้ในชั้นเรียนทำให้ลดเวลาในการคำนวณ และมีเวลาเพิ่มมากขึ้นในการอภิปราย วิเคราะห์ ปัญหาจากกรณีศึกษา [4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟในระดับมัธยมศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้สำหรับผู้สอนคณิตศาสตร์ พบว่า การใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้ดีขึ้น สามารถเชื่อมโยงความรู้ซึ่งได้จากกราฟและนำไปใช้แก้ปัญหาในเนื้อหาอื่น ๆ เกี่ยวกับคณิตศาสตร์ได้และทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นด้วย [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเสริมการจัดการเรียนการสอนอย่างมีความหมาย ผ่านการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ พบว่า การใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟช่วยให้ประหยัดเวลาในการเรียนการสอน สามารถสำรวจโมเดลได้ด้วยตนเอง ช่วยในการมองภาพ สามารถแสดงกราฟได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และยังช่วยทำให้นักเรียนเกิดความสนุกสนาน เกิดความสนใจในการเรียนมากขึ้น [6] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟในการเรียนวิชาสถิติ ในสถาบันการศึกษา(เอกชน) ระดับหลังมัธยมปลาย ในประเทศมาเลเซีย พบว่าผู้เรียนใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟในลักษณะเดียวกับเครื่องคิดเลขธรรมดาและไม่สามารถสร้างความเข้าใจในเนื้อหาสถิติได้มากขึ้น เนื่องจากอาจารย์ผู้สอนเองไม่สามารถใช้เครื่อง

คำนวณเชิงกราฟได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ปัญหานี้เกิดจากการจัดการเรียนการสอนของอาจารย์ผู้สอนในรูปแบบเดิม ๆ การที่จะใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อการสร้างความรู้ให้กับผู้เรียน อาจารย์ผู้สอนจำเป็นต้องจัดรูปแบบการสอนใหม่ ที่สามารถบูรณาการเรียนการสอนวิชาสถิติร่วมกับการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ

จากงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า ผลจากการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ ช่วยสร้างมโนคติเกี่ยวกับภาพ ทำให้นักเรียนสามารถสังเกต สร้างองค์ความรู้ที่จะเชื่อมโยงไปสู่สมมติที่เป็นนามธรรม ตลอดจนการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และสถิติได้เป็นอย่างดี ทำให้การจัดการเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีบรรยากาศการเรียนรู้อย่างสนุกสนาน กระตือรือร้น ใฝ่รู้ใฝ่เรียน และที่สำคัญเป็นการบูรณาการเรียนคณิตศาสตร์ สถิติ และเทคโนโลยี ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีหลักสูตรการศึกษามัธยมศึกษา (กศ.บ.) สาขาวิชาคณิตศาสตร์ อยู่ในความดูแล เมื่อสำเร็จการศึกษานิสิตกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะทำงานเป็นครูอาจารย์สอนในโรงเรียนต่าง ๆ STEM Education จึงมีความสำคัญกับนิสิตกลุ่มนี้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟในการเรียนการสอนสถิติระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ของนิสิตหลักสูตรการศึกษามัธยมศึกษา สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นการพัฒนานิสิตให้มีความรู้ในสาขาที่เรียน มีความชำนาญในการใช้เทคโนโลยี บูรณาการความรู้และความชำนาญเข้ากับศาสตร์ต่าง ๆ ได้ รวมทั้งได้เห็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ตามเกณฑ์ 80/80
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการอบรมเชิงปฏิบัติการด้วยกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นิสิตหลักสูตรการศึกษามัธยมศึกษา สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตหลักสูตรการศึกษามัธยมศึกษา สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 4 ปีการศึกษา 1/2560 ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 35 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มเลือก

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) ความหมายของสถิติ 2) ระเบียบวิธีการทางสถิติ 3) ข้อควรระวังในการเก็บรวบรวมข้อมูล 4) วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล 5) ประเภทหรือชนิดของข้อมูล 6) ตัวแปร ประเภทของตัวแปร 7) การแจกแจงความถี่ 8) การวัดค่ากลางของข้อมูล 9) การจัดตำแหน่งของข้อมูล 10) การกระจายของข้อมูล 11) ความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความถี่ ค่ากลาง และการกระจายของข้อมูล 12) คะแนนมาตรฐาน 13) คะแนนที่ 14) ความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันระหว่างข้อมูล

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ การเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS

ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ประสิทธิภาพของกิจกรรม และความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS

วิธีการดำเนินการวิจัย

การสร้างและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

1. กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ประกอบด้วยเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยจำนวน 14 หัวข้อ

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS เป็นแบบทดสอบอัตนัยจำนวน 9 ข้อ และผลการวิเคราะห์ข้อสอบหาความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's α -Coefficient) ทั้งฉบับเท่ากับ 0.647

3. แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS คณะผู้วิจัยได้ปรับปรุงสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจของนิสิต จากใบประเมินโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการของภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 10 ข้อ ซึ่งมีลักษณะของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจเป็นแบบประมาณค่า 5 ระดับ โดยมีเกณฑ์การตรวจให้คะแนนแต่ละความพึงพอใจ ดังนี้มากที่สุด ให้ 5 คะแนน มาก ให้ 4 คะแนน ปานกลาง ให้ 3 คะแนน น้อย ให้ 2 คะแนน และน้อยที่สุด ให้ 1 คะแนน การแปลความหมายของคะแนนเฉลี่ยรวม ซึ่งเป็นผลจากความพึงพอใจของนิสิตกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ทั้งฉบับใช้เกณฑ์การประเมินของประคอง กรรณสูต [9] และผลวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's α -Coefficient) ทั้งฉบับเท่ากับ 0.883

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการจัดโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ให้กับนิสิตกลุ่มตัวอย่าง ด้วยตนเอง ตามกำหนดการโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ เป็นเวลา 2 วัน วันละ 7 ชั่วโมง โดยนิสิตจะได้ใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS คนละ 1 เครื่อง พร้อมทั้งเก็บรวบรวมคะแนนจากการทำกิจกรรมระหว่างอบรมเชิงปฏิบัติการ และคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อคำนวณค่าทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

1. ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความสามารถทางการเรียนของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง ปรากฏดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความสามารถทางการเรียนของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

คะแนน	จำนวน นิสิต	คะแนน เต็ม	ค่าเฉลี่ย เลขคณิต	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตคิดเป็น ร้อยละของคะแนนเต็ม	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ระหว่างเรียน					
กิจกรรม (E_1)	35	50	48.37	96.74	1.15
หลังเรียน					
แบบทดสอบอัตนัย	35	25	20.80	83.20	1.59
วิธีการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ	35	25	23.01	92.04	1.36
รวมคะแนนแบบทดสอบ (E_2)	35	50	43.80	87.30	2.47
รวมทั้งหมด		100	92.20	92.20	2.73

จากตารางที่ 1 พบว่า คะแนนที่ได้จากการทำกิจกรรมระหว่างเรียน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 48.37 43.80 และ 92.20 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 96.74 87.30 และ 92.20 ตามลำดับ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.15 2.47 และ 2.73 คะแนน ตามลำดับ และนอกจากนี้ กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS มีค่าประสิทธิภาพ E_1/E_2 เท่ากับ 96.74/87.30 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้

2. ค่าร้อยละของจำนวนนิสิตกลุ่มตัวอย่างที่ได้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไปของคะแนนรวม และทดสอบจำนวนนิสิต ที่ผ่านเกณฑ์มากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนนิสิตทั้งหมด ปรากฏดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละของจำนวนนิสิตกลุ่มตัวอย่างที่ได้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไปของคะแนนรวม และทดสอบจำนวนนิสิต ที่ผ่านเกณฑ์มากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนนิสิตทั้งหมด

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวน นิสิต	จำนวนนิสิตที่ได้คะแนน ตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ของคะแนนรวม	ค่าร้อยละของจำนวน นิสิตที่ได้คะแนน ตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ของคะแนนรวม	สถิติทดสอบ Z	ค่าวิกฤต
นิสิต กศ.บ สาขาวิชา คณิตศาสตร์	35	35	100	2.96**	2.33

** ที่ระดับนัยสำคัญทาง .01

จากตารางที่ 2 พบว่า หลังจากเรียนกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ผลการทดสอบพบว่า นิสิตมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ผ่านเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของจำนวนนิสิตทั้งหมด ที่ระดับนัยสำคัญ .01

3. ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อผลกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ปรากฏดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความพึงพอใจของนิสิตกลุ่มตัวอย่างหลังจากเรียนกิจกรรม
 การเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS

ข้อความ	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	แปลผล ระดับความพึงพอใจ
1. ความเหมาะสมของเวลาและรูปแบบในการจัด โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ	3.51	0.98	มาก
2. ก่อนเข้ารับการอบรม นิสิตมีความรู้ความเข้าใจใน เรื่องกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติ โดยใช้ เครื่องคำนวณเชิงกราฟ ในระดับใด	1.97	0.79	น้อย
3. ความสามารถของวิทยากรในการตอบคำถามได้ ชัดเจนตรงประเด็น	4.37	0.55	มาก
4. การเข้ารับการอบรม ทำให้นิสิตได้รับความรู้และมี ความมั่นใจ สามารถแลกเปลี่ยนประสบการณ์กับ วิทยากร ระดับใด	3.97	0.71	มาก
5. หลังจากเข้ารับการอบรม นิสิตมีความรู้ความเข้าใจ ในเรื่องกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติ โดย ใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ ในระดับใด	3.97	0.66	มาก
6. นิสิตคิดว่าสามารถนำความรู้และประสบการณ์ของ วิทยากรไปประยุกต์ใช้กับตัวนิสิตได้	3.80	0.72	มาก
7. ความเหมาะสมของสถานที่และอุปกรณ์ โสตทัศนูปกรณ์	4.40	0.70	มาก
8. ความเหมาะสมของเอกสารประกอบคำบรรยายและ สื่อการสอน	4.49	0.70	มาก
9. ความพึงพอใจภาพรวมที่ได้จากการเข้าร่วมอบรม เชิงปฏิบัติการในครั้งนี้	4.09	0.78	มาก
10. นิสิตคิดว่าควรจัดอบรมเชิงปฏิบัติการเช่นนี้ต่อไป	4.23	0.73	มาก
รวม	3.88	0.52	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่า นิสิตมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลาย
 โดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS โดยรวมมีค่าเฉลี่ย 3.88 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก เมื่อพิจารณา
 เป็นรายข้อ นิสิตมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณ
 เชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ทุกข้ออยู่ในระดับความพึงพอใจมาก ยกเว้นข้อ 2 ก่อนเข้าอบรม นิสิตมีความรู้ความเข้าใจ
 ในเรื่องกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติ โดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ อยู่ในระดับความพึงพอใจน้อย

สรุป อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. นิสิตมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ผ่านเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของจำนวนทั้งหมด ที่ระดับนัยสำคัญ .01
2. กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS กิจกรรมการเรียนการสอน มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 96.74/87.30 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้
3. นิสิตมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.88$)

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษา สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ผลจากการวิจัยนี้พบว่า นิสิตสอบผ่านเกณฑ์มากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนนิสิตทั้งหมด แสดงว่าเครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS มีผลต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลาย อาจจะเป็นเพราะผู้เรียนมีความสนใจในการเรียนมาก ไม่เบื่อในการทำกิจกรรม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Berry, J., Frabcus, B., Bradley, J., Kemp, M., Chavez, J., White, A., Hock, C., Krishnan, S. and Idris, N. [2-3, 5-6] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับข้อดีที่จากการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟในการเรียนการสอนวิชาสถิติเช่น การใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟช่วยให้ประหยัดเวลาในการเรียนการสอน นิสิตเกิดความสนุกสนาน เกิดความสนใจในการเรียนมากขึ้น และสิ่งสำคัญเพื่อเป็นการเตรียมนิสิตมีแนวคิดที่จะจัดรูปแบบการสอนใหม่ที่สามารถบูรณาการเรียนการสอนวิชาสถิติร่วมกับการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ
2. ผลการพัฒนาและหาประสิทธิภาพกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS พบว่า กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 96.74/87.30 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 80/80 เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องมาจากกิจกรรมการเรียนการสอน เรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานที่ถูกต้องตั้งแต่ได้มีการศึกษาวิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้ในสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 การศึกษาเทคนิควิธีการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ ศึกษาแนวทางการวัดผลและการประเมินผลการเรียนรู้ แนวทางการผลิตและใช้สื่อเทคโนโลยีเครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS นำมาจัดทำกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ โดยมีการจัดเรียงเนื้อหาและกิจกรรมจากง่ายไปยาก มีขั้นตอนการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ ประกอบการเรียนการสอนอย่างละเอียด นิสิตสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง มีความกระตือรือร้นที่จะเรียน ไม่รู้สึกเบื่อหน่ายในการเรียนและการทำกิจกรรม ผู้เรียนทุกคนมุ่งความสนใจไปที่จอภาพเครื่องคำนวณเชิงกราฟ หรือมุ่งความสนใจไปที่จอภาพใหญ่หน้าชั้นเรียนที่แสดงจอภาพเครื่องคำนวณเชิงกราฟของผู้สอน ทำให้ผู้เรียนมีสมาธิในการเรียน ใช้เวลาทั้งที่มีอยู่ไปกับการศึกษาถึงกระบวนการแก้ปัญหา ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับเรื่องการคำนวณ และมีความเชื่อมั่นในผลงานที่ได้ทำกิจกรรม ทำให้นิสิตสามารถเรียนเนื้อหาที่ยาก และสลับซับซ้อนได้
3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS พบว่า นิสิตมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS ในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยเตรียมพร้อมทั้งเอกสารประกอบการอบรม อุปกรณ์ประกอบการอบรม และเครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS นิสิตมีความ

กระตือรือร้น และมีความสุขในการทำกิจกรรมที่ใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ นิสิตประสบความสำเร็จในการทำกิจกรรม
ทำให้นิสิตเกิดความภาคภูมิใจในตนเอง และเกิดความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษา
ตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้วิจัยพบว่าผู้เรียนไม่มีปัญหาเกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire CX CAS และการ
แก้ปัญหาเมื่อเครื่องคำนวณเชิงกราฟไม่สามารถประเมินผลได้ อันเนื่องมาจากความผิดพลาด ในการป้อนคำสั่งของ
ผู้เรียนทั้งนี้เพราะว่านิสิตกลุ่มนี้เคยมีประสบการณ์การใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI 92 Plus มาก่อน ดังนั้น สำหรับนิสิต
ที่ยังไม่เคยมีประสบการณ์ การใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟมาก่อนควรเพิ่มเวลาในการสอนการใช้พื้นฐานเครื่องคำนวณ
เชิงกราฟให้มากกว่า 1 ชั่วโมงที่ผู้วิจัยใช้อยู่เพื่อให้นิสิตมีความคุ้นเคยกับการใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟมากขึ้น

2. กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติในมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire
CX CAS ก่อนที่จะใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟ ผู้สอนควรให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ถึงนิยามและหรือกระบวนการแก้ปัญหาโดย
ไม่ใช้เครื่องคำนวณเชิงกราฟก่อน เมื่อผู้เรียนเข้าใจแล้วจึงค่อยนำเครื่องคำนวณเชิงกราฟเข้าไปเพื่อช่วยการคำนวณให้
รวดเร็วขึ้นเท่านั้น แต่กระบวนการแก้ปัญหานั้น เครื่องคำนวณเชิงกราฟไม่สามารถสร้างกระบวนการแก้ปัญหานั้นได้เอง
ผู้เรียนจะเป็นผู้ป้อนคำสั่งให้เครื่องคำนวณประมวลผลเท่านั้น โดยที่ผู้เรียนไม่ได้สูญเสียแนวคิดของการแก้ปัญหา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Berry, J. and Francis, B. (1996). **Discovering Advanced Mathematics with Calculator Activities**. Melbourne: Mathematical Association of Victoria.
- [2] Bradley, J. and Kemp, M. (2002). "The 'Plus' Provided by Graphics Calculators in Teaching Undergraduate Statistics", **Proceedings of the 2nd International Conference of the Teaching of Mathematics**, Hersonissos, Crete, Greece.
- [3] Collins, L. B. and Mittag, K. C. (2005). "Effect of Calculator Technology on Student Achievement in an Introductory Statistics Course", **Statistics Education Research Journal**. 4(1), 7-15.
- [4] Kasberg, S. and Leatham, K. (2005). "Research on Graphing Calculators at the Secondary Level: Implications for Mathematics Teacher Education", **Contemporary Issues in Technology and Teacher Education**. 5(1), 25-37
- [5] Chavez, J., White, A. and Hock, C. (2006) "Enhancing Meaningful Teaching and Learning of Mathematics through the Use of Graphics Calculator", **Proceedings of Thailand international Conference on 21th Century Information Technology in Mathematics Education**. Chaing Mai Rajabhat University, Chiang Mai Thailand.
- [6] Krishnan, S. and Idris, N. (2013). "The Use of Graphics Calculator in a Matriculation Statistics Classroom: A Malaysian Perspective", **Technology Innovations in Statistics Education**. 7(2).
- [7] Kannasoot, P. (1995). **Statistics for the Behavioral Science Research**. Bangkok: Chulalongkorn University.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดเก็บและสืบค้นข้อมูล Log ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ (ALIST) ระหว่าง ORACLE และ SOLR

Performance Comparison of Storing and Retrieving for Automated Library System (ALIST) Data Logs between ORACLE and SOLR

ชำนาญ อินทสโร^{1*}

Chumnan Inthasaro^{1*}

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเปรียบเทียบพื้นที่จัดเก็บข้อมูล และเวลาของการสืบค้นข้อมูล Log ระหว่างฐานข้อมูล ORACLE และฐานข้อมูล SOLR จากข้อมูล Log ของระบบสืบค้นและระบบการยืมคืนของห้องสมุด ของระบบห้องสมุดอัตโนมัติ ALIST ผลการวิจัยพบว่าพื้นที่จัดเก็บข้อมูลที่เก็บใน SOLR มีขนาดเล็กกว่าที่จัดเก็บใน ORACLE ประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการสืบค้นข้อมูลแบบตัวอักษร วันที่ รวมถึงการนับจำนวนแยกตามกลุ่มข้อมูลด้วย SOLR ใช้เวลาน้อยกว่า ORACLE ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างที่การสืบค้นข้อมูลแบบเงื่อนไขตัวเลข และสืบค้นด้วยตัวอักษรแบบเงื่อนไขเดียวการสืบค้นบน ORACLE ใช้เวลาน้อยกว่าบน SOLR ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ ALIST ORACLE SOLR

Abstract

The purpose of this research was to compare the data log size and retrieving time between ORACLE database and SOLR database of library searching log (Online Public Access Catalog) and library circulation system log of the automated library system (ALIST). The research result found that the data size in SOLR was smaller than in ORACLE about 42 percent. Retrieving time of alphabetic criteria, date criteria and data grouping and counting (facet) with SOLR was about 75 percent small than ORACLE while retrieving time of searching with numerical criteria and single alphabetic criteria on ORACLE was smaller than SOLR approximately 30 percent.

Keywords: Automated Library System, ALIST, ORACLE, SOLR

บทนำ

ระบบห้องสมุดอัตโนมัติเพื่อสถาบันอุดมศึกษาไทย ALIST [1-2] เป็นซอฟต์แวร์สำหรับบริหารจัดการระบบห้องสมุด ใช้ระบบฐานข้อมูล ORACLE สำหรับจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางข้อมูล (Tables) และจัดเก็บกิจกรรมการใช้งานระบบลงในตาราง Log (Log Tables) เมื่อปริมาณข้อมูลที่บันทึกใน Log Tables มีจำนวนมากขึ้นและขนาดของตารางข้อมูลที่โตขึ้นอย่างรวดเร็ว การทำงานเช่น การสืบค้นประวัติข้อมูล การจัดทำรายงานต่างๆ จาก Log Tables ใช้เวลานานมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเปรียบเทียบฐานข้อมูลอื่นๆ กับฐานข้อมูล ORACLE เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

¹ นักวิชาการคอมพิวเตอร์ ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Computer Technical Officer, Computer Center, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

* Corresponding author: Tel.: 074-289090, E-mail address: chumnan.i@psu.ac.th

ระบบฐานข้อมูลถือได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บและสืบค้นข้อมูล ระบบฐานข้อมูลในกลุ่ม SQL แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1. ระบบฐานข้อมูลแบบ SQL 2. ระบบฐานข้อมูลแบบ NoSQL และ 3. ระบบฐานข้อมูลแบบ NewSQL [3] โดยระบบฐานข้อมูลในกลุ่ม SQL ได้แก่ ORACLE, SQL Server, MySQL เป็นต้น ระบบฐานข้อมูลแบบ NoSQL ได้แก่ SOLR, MongoDB เป็นต้น และระบบฐานข้อมูลแบบ NewSQL ได้แก่ SciDB, C-Store, H-Store เป็นต้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบระบบฐานข้อมูลในกลุ่ม SQL และ NoSQL เท่านั้น

ระบบฐานข้อมูลแบบ SQL และ NoSQL มีความแตกต่างกันคือ ฐานข้อมูลแบบ SQL มีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางข้อมูล (Table) สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วผ่านดัชนี (Index) สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตารางข้อมูล (Table Relationship) ได้ เหมาะกับการทำงานบน Transaction Table ในขณะที่ฐานข้อมูลแบบ NoSQL เช่น SOLR มีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลแบบไม่เป็นโครงสร้าง รองรับการทำงานกับข้อมูลปริมาณมากได้ดี สืบค้นข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว [4-6] แต่ทั้งนี้ฐานข้อมูลทั้ง 2 สามารถทำงานร่วมกันได้ดี [7]

งานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบพื้นที่จัดเก็บข้อมูล Log ของการสืบค้น (Searching Logs) และข้อมูล Log จากการยืมคืน (Circulation Logs) บน ORACLE เปรียบเทียบกับพื้นที่จัดเก็บบน SOLR และเปรียบเทียบเวลาของการสืบค้นข้อมูล Log ของตารางข้อมูลทั้งสองฐานข้อมูล ซึ่งเป็นการสืบค้นจากเครื่องแม่ข่ายฐานข้อมูลหลัก ALIST Database Server ไปยัง ORACLE Log Server และ SOLR Log Server โดยมีจุดประสงค์คือ 1. เพื่อศึกษาว่าการจัดเก็บข้อมูล Logs บนระบบฐานข้อมูลแบบใดใช้พื้นที่น้อยกว่า และ 2. เพื่อศึกษาว่าการสืบค้นข้อมูล Logs จากระบบข้อมูล ORACLE และ SOLR ระบบใดใช้เวลาน้อยกว่ากัน เพื่อจะได้นำผลวิจัยมาแก้ปัญหาเรื่องพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและความเร็วในการสืบค้นข้อมูลห้องสมุดต่อไป

การออกแบบและดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูล Log ที่เก็บในฐานข้อมูลระบบห้องสมุด

จากการศึกษาระบบห้องสมุดอัตโนมัติเพื่อสถาบันอุดมศึกษาไทย ALIST ซึ่งใช้ฐานข้อมูล ORACLE สำหรับบริหารจัดการข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลของระบบ ข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บในรูปแบบตารางได้แก่ ข้อมูลบรรณานุกรม หนังสือ, ข้อมูลตัวเล่มทรัพยากร, ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ของระบบ รวมถึงจัดเก็บกิจกรรม Log ต่างๆ ได้แก่ การเพิ่มหรือปรับปรุงข้อมูลบรรณานุกรม การให้บริการยืมคืนของเจ้าหน้าที่ การสืบค้นข้อมูลของสมาชิกผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การจองหรือยืมต่อของสมาชิกผ่านเว็บไซต์ห้องสมุด เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่าจำนวนข้อมูลที่เก็บใน Log Tables ของระบบห้องสมุดอัตโนมัติในขั้นตอนการยืมคืนหนังสือได้บันทึกข้อมูลลงในหลายตาราง ได้แก่ 1. ตารางข้อมูล Log การยืมคืนหนังสือ 2. ตารางข้อมูลคิวการจอง 3. ตารางข้อความการเตือน 4. ตารางข้อมูลการจ่ายค่าปรับ เป็นต้น และในส่วนการสืบค้นข้อมูลห้องสมุด ข้อมูล Log ซึ่งบันทึกอยู่ในตาราง Log ของการสืบค้น ซึ่งข้อมูล Log การสืบค้นมีปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกันเนื่องจากผู้ใช้บริการสามารถสืบค้นข้อมูลห้องสมุดได้สะดวกในหลายช่องทาง เช่นการสืบค้นผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computers) หรือจากอุปกรณ์แบบพกพา (Mobile Devices)

จากปัญหาในเรื่องพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและเวลาของการสืบค้นข้อมูลห้องสมุดของ ผู้วิจัยได้นำข้อมูล Log จากฐานข้อมูลห้องสมุดทั้ง 6 ห้องสมุดของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งได้ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูล ORACLE มาแสดงโดยในตารางที่ 1 แสดงถึงจำนวนข้อมูลและขนาดของพื้นที่ Log การยืมคืนหนังสือ ส่วนตารางที่ 2 แสดงจำนวนข้อมูลและขนาดของพื้นที่ Log การสืบค้นหนังสือตามลำดับ

ตารางที่ 1 จำนวนข้อมูล Log ของการยืมคืนหนังสือและขนาดพื้นที่บนฐานข้อมูล ORACLE

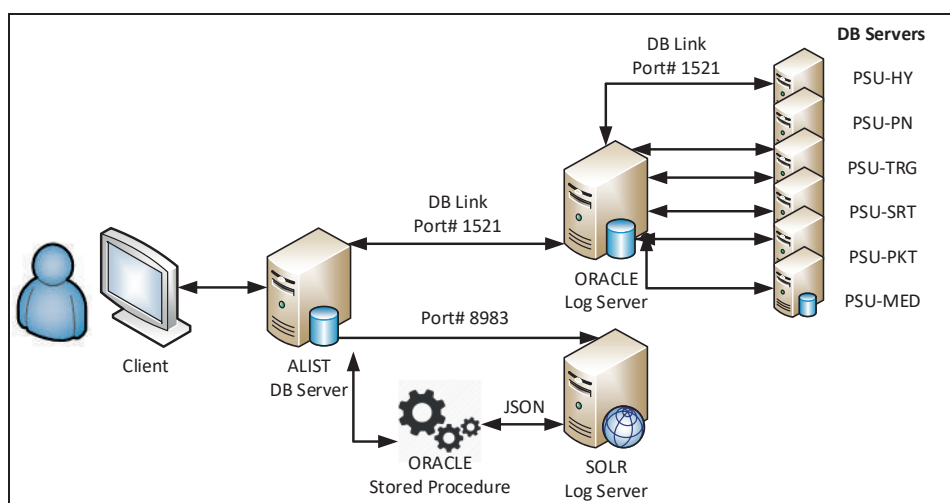
ห้องสมุดสาขา	จำนวนข้อมูล (Records)	ขนาดพื้นที่ (MB)
1. ห้องสมุดวิทยาเขตหาดใหญ่ (PSU-HY)	6,284,368	1,341
2. ห้องสมุดวิทยาเขตปัตตานี (PSU-PN)	3,067,507	688
3. ห้องสมุดวิทยาเขตตรัง (PSU-TRG)	420,413	96
4. ห้องสมุดวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี (PSU-SRT)	386,618	80
5. ห้องสมุดวิทยาเขตภูเก็ต (PSU-PKT)	184,196	40
6. ห้องสมุดวิทยาศาสตร์สุขภาพ (PSU-MED)	1,137,156	248
รวม	11,480,258	2,493

ตารางที่ 2 จำนวนข้อมูล Log ของการสืบค้นและขนาดข้อมูลบนฐานข้อมูล ORACLE

ห้องสมุดสาขา	จำนวนข้อมูล (Records)	ขนาดพื้นที่ (MB)
1. ห้องสมุดวิทยาเขตหาดใหญ่ (PSU-HY)	4,127,610	448
2. ห้องสมุดวิทยาเขตปัตตานี (PSU-PN)	4,496,094	480
3. ห้องสมุดวิทยาเขตตรัง (PSU-TRG)	1,069,377	118
4. ห้องสมุดวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี (PSU-SRT)	713,901	88
5. ห้องสมุดวิทยาเขตภูเก็ต (PSU-PKT)	1,153,307	120
6. ห้องสมุดวิทยาศาสตร์สุขภาพ (PSU-MED)	1,139,754	132
รวม	12,700,043	1,386

2. จัดเตรียม SOLR Server และ ORACLE Server

ผู้วิจัยได้ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกันของเครื่องแม่ข่าย ประกอบด้วย 1. เครื่องแม่ข่าย ORACLE สำหรับสืบค้นข้อมูล (ALIST DB Server) 2. เครื่องแม่ข่าย ORACLE สำหรับเก็บข้อมูล Log รวมจากฐานข้อมูลทั้ง 6 ห้องสมุด (ORACLE Log Server) 3. เครื่องแม่ข่าย SOLR สำหรับจัดเก็บข้อมูล Log รวมจากฐานข้อมูลทั้ง 6 ห้องสมุด (SOLR Log Server) 4. เครื่องแม่ข่ายฐานข้อมูล 6 ห้องสมุด (DB Servers) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่าย ALIST DB Server กับ ORACLE Log Server และ SOLR Log Server

1. ALIST Database Server ทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่ายหลักจัดตั้งฐานข้อมูล ORACLE ไว้ภายในสำหรับสืบค้นข้อมูลจาก ORACLE Log Server และ SOLR Log Server
2. ORACLE Log Server ทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่ายฐานข้อมูล ORACLE สำหรับรวบรวมข้อมูล Log จาก ORACLE Database Server ทั้ง 6 ห้องสมุด และส่งผลการสืบค้นข้อมูลไปยัง ALIST Database Server โดย ORACLE Log Server มีคุณลักษณะดังนี้ CPU Intel® Xeon® CPU E7-4870 @2.40 GHz RAM 8 GB HD 200 GB และติดตั้ง ORACLE XE ไว้ภายใน
3. SOLR Log Server ทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่ายฐานข้อมูล SOLR จัดเก็บข้อมูล Log ในรูปแบบ XML ที่แปลงมาจากข้อมูลใน ORACLE Log Server โดยส่งผลการสืบค้นข้อมูลในรูปแบบ JSON ไปยัง ALIST Database Server ซึ่งข้อมูลรูปแบบ JSON นี้เองจะถูกแปลงด้วย ORACLE Stored Procedure เป็นรูปแบบตารางก่อนนำไปแสดงผล โดย SOLR Log Server มีคุณลักษณะเดียวกันกับ ORACLE Log Server
4. DB Servers เครื่องแม่ข่ายฐานข้อมูลทั้ง 6 ห้องสมุด จัดเก็บข้อมูลระบบห้องสมุดบนฐานข้อมูล ORACLE กระจายกันไปตามวิทยาเขตต่างๆ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลต่อระหว่างเครื่องแม่ข่ายใช้หมายเลขพอร์ตมาตรฐานของแต่ละระบบคือ การเชื่อมต่อของฐานข้อมูล SOLR จะใช้หมายเลขพอร์ต 8983 ส่วนของฐานข้อมูล ORACLE จะใช้หมายเลขพอร์ต 1521

3. การจัดการข้อมูล Log ของระบบห้องสมุดอัตโนมัติ

ขั้นตอนการจัดการข้อมูล Log ของระบบห้องสมุดอัตโนมัติสำหรับการทดสอบประกอบด้วย 1. การจัดเตรียมและนำเข้าข้อมูลสำหรับ ORACLE Log Server และ 2. การจัดเตรียมและนำเข้าข้อมูลสำหรับ SOLR Log Server ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การจัดเตรียมและนำเข้าข้อมูลสำหรับ ORACLE Log Server

เชื่อมต่อฐานข้อมูล ORACLE Log Server ที่ได้เตรียมไว้เพื่อดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลห้องสมุดทั้ง 6 สาขา คือ PSU-HY, PSU-PN, PSU-TRG, PSU-SRT, PSU-PKT และ PSU-MED มาสร้างเป็นตารางข้อมูลแบบรวมฐาน ซึ่งประกอบด้วยตารางข้อมูล Log การยืมคืนหนังสือ Circulation Log Tables และตารางข้อมูล Log การสืบค้น Searching Log Tables

3.2 การจัดเตรียมและนำเข้าข้อมูลสำหรับ SOLR Log Server

นำข้อมูล Log การยืมคืนหนังสือและข้อมูล Log การสืบค้นหนังสือจาก ORACLE Log Server มาแปลงในรูปแบบไฟล์ข้อมูล XML และนำเข้าสู่ SOLR Log Server

การสืบค้นข้อมูลจาก SOLR Log Server จะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบข้อมูล JSON ซึ่งเป็นโครงสร้างในรูปแบบ (Key : Value) ดังภาพที่ 2 ดังนั้นเพื่อให้ข้อมูลรูปแบบ JSON สามารถแสดงในรูปแบบ Table บน ORACLE ได้ จึงจำเป็นต้องจัดทำโปรแกรม ORACLE Stored Procedure บน ALIST DB Server เพื่อแปลงข้อมูลรูปแบบ JSON ให้มีรูปแบบ Table พร้อมสำหรับการแสดงผลบน ORACLE

<pre>{ "responseHeader": { "status":0, "QTime":0, "params":{ "q":"branch_code:PSUHY"}, "response":{"numFound":5351564, "start":0, "docs":[{ "id":"LC-eae88a07476241b8963c10cd55535d5d", "log_type_no":1, "operator_username":["nikon.h"], "ip_address":["192.168.26.52"], "patron_no":54873, "item_no":165001, "detail":0, "log_datetime":["2010-08-02T21:17:48Z"], "branch_code":["PSUHY"], "_version_":1594227364096639023, "operator_username_str":["nikon.h"], "ip_address_str":["192.168.26.52"], "branch_code_str":["PSUHY"]}], }</pre>	<pre>{ "responseHeader": { "status":0, "QTime":191, "params":{ "q":"branch_code:PSUHY", "facet.field":"searchtype", "rows":"10", "facet":"on"}, "response":{"numFound":4127610, "start":0, "docs":[{ "id":"pushy-5707483", "searchtext":"A 224969 224", "searchgroup":"B", "searchtype":"ti=", "branch_code":"PSUHY", "ipaddress":"172.28.15.56", "recordcount":519, "log_datetime":"2015-01-16T19:29:43Z", "_version_":1594838404288217155},]}</pre>
--	---

ภาพที่ 2 รูปแบบข้อมูลแบบ JSON จากการสืบค้นข้อมูลบน SOLR Log Server
ของ Circulation Logs และ Searching Log ตามลำดับ

ผลการวิจัย

การทดสอบการวิจัยได้ทดสอบโดยใน 2 ประเด็นคือขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและความเร็วของการสืบค้นข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า 1. ขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูล SOLR ใช้พื้นที่จัดเก็บข้อมูลขนาดเล็กกว่าฐานข้อมูล ORACLE และ 2. เวลาของการสืบค้นข้อมูลใน 4 กลุ่มเงื่อนไข คือ ตัวเลข ตัวอักษร วันที่ และนับจำนวนในกลุ่ม โดยทดสอบใน 10 รูปแบบ พบว่าการสืบค้นจากฐานข้อมูล ORACLE ใช้เวลาน้อยกว่าในเงื่อนไขตัวเลข และตัวอักษรแบบเงื่อนไขเดียว ส่วนเงื่อนไขอื่นๆ การสืบค้นจากฐานข้อมูล SOLR จะใช้เวลาน้อยกว่าโดยมีรายละเอียดผลการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบพื้นที่จัดเก็บข้อมูล จากการวิจัยพบว่า เมื่อนำข้อมูล Log การยืมคืนหนังสือ (Circulation Logs) ที่จัดเก็บบน ORACLE Log Server มาจัดเก็บบน SOLR Log Server ขนาดพื้นที่ลดลงประมาณ 48 % ดังตารางที่ 3 และข้อมูล Log การสืบค้นหนังสือ (Searching Logs) ที่จัดเก็บใน SOLR Log Server มีขนาดของพื้นที่ที่จัดเก็บลดลงประมาณ 42 % ดังตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ขนาดพื้นที่การจัดเก็บข้อมูล Log การยืมคืนหนังสือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของขนาดพื้นที่บน ORACLE Log Server เทียบกับบน SOLR Log Server

ห้องสมุดสาขา	จำนวนข้อมูล (Records)	ขนาดพื้นที่ (MB) บน ORACLE	ขนาดพื้นที่ (MB) บน SOLR	ขนาดพื้นที่ (MB) ที่ลดลง (%)
1. ห้องสมุดวิทยาเขตหาดใหญ่ (PSU-HY)	6,284,368	1,341	608	55
2. ห้องสมุดวิทยาเขตปัตตานี (PSU-PN)	3,067,507	688	420	39
3. ห้องสมุดวิทยาเขตตรัง (PSU-TRG)	420,413	96	56	42
4. ห้องสมุดวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี (PSU-SRT)	386,618	80	32	60
5. ห้องสมุดวิทยาเขตภูเก็ต (PSU-PKT)	184,196	40	27	33
6. ห้องสมุดวิทยาศาสตร์สุขภาพ (PSU-MED)	1,137,156	248	153	38
รวม	11,480,258	2,493	1,296	48

ตารางที่ 4 ขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูล Log การสืบค้นข้อมูลหนังสือ และเปอร์เซ็นต์การลดลงของขนาดพื้นที่บน
ORACLE Log Server เทียบกับบน SOLR Log Server

ห้องสมุดสาขา	จำนวนข้อมูล (Records)	ขนาดพื้นที่ (MB) บน ORACLE	ขนาดพื้นที่ (MB) บน SOLR	ขนาดพื้นที่ (MB) ที่ลดลง (%)
1. ห้องสมุดวิทยาเขตหาดใหญ่ (PSU-HY)	4,127,610	448	289	35
2. ห้องสมุดวิทยาเขตปัตตานี (PSU-PN)	4,496,094	480	292	39
3. ห้องสมุดวิทยาเขตตรัง (PSU-TRG)	1,069,377	118	59	50
4. ห้องสมุดวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี (PSU-SRT)	713,901	88	38	57
5. ห้องสมุดวิทยาเขตภูเก็ต (PSU-PKT)	1,153,307	120	60	50
6. ห้องสมุดวิทยาศาสตร์สุขภาพ (PSU-MED)	1,139,754	132	63	52
รวม	12,700,043	1,386	801	42

จากการวิจัยพบว่าฟิลด์ข้อมูลที่จัดเก็บใน Log table มีหลายประเภทดังแสดงในภาพที่ 2 ได้แก่ ข้อมูลประเภทตัวเลข (patron_no, item_no), ประเภทตัวอักษร (id, operator_username, ip_address) และประเภทวันที่ (log_datetime) เป็นต้น ดังนั้นการสืบค้นข้อมูลจึงสามารถระบุเงื่อนไขได้ในทั้ง 3 ประเภทข้างต้น ดังตัวอย่างในภาพที่ 3 และยังสามารถสืบค้นแบบนับจำนวนแยกตามกลุ่มข้อมูลได้อีกด้วย โดยรายละเอียดดังนี้

<pre>{ "responseHeader": { "status":0, "QTime":0, "params":{"q":"operator_username:praneet.w", "f":"branch_code,operator_username,log_datetime"}}, "response":{"numFound":80464, "start":0, "docs":[{ "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2014-11-13T10:23:24Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, { "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2014-11-13T10:12:41Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, { "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2014-11-13T10:12:45Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, { "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2014-11-13T10:23:32Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, ...]} }</pre>	<pre>{ "responseHeader": { "status":0, "QTime":0, "params":{"q":"operator_username:praneet.w AND log_datetime:[2016-01-01T00:00:00Z TO 2017-01-01T00:00:00Z]", "f":"branch_code,operator_username,log_datetime"}}, "response":{"numFound":12527, "start":0, "docs":[{ "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2016-01-04T09:18:54Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, { "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2016-01-04T15:52:04Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, { "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2016-01-04T15:52:06Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, { "operator_username":["praneet.w"], "log_datetime":["2016-01-04T16:03:45Z"], "branch_code":["PSUHY"]}, ...]} }</pre>
---	---

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการสืบค้นด้วยตัวอักษรแบบเงื่อนไขเดียวฟิลด์ประเภทตัวอักษร (operator_username) และการสืบค้นแบบหลายเงื่อนไขด้วยฟิลด์ตัวอักษรและวันที่ (operator_username AND log_datetime)

2. การทดสอบความเร็วของการสืบค้นข้อมูล ผู้วิจัยได้ทดสอบเปรียบเทียบความเร็วของการสืบค้นระหว่างฐานข้อมูล ORACLE และ SOLR ในเงื่อนไข 4 กลุ่ม คือ 1. กลุ่มเงื่อนไขตัวเลข (รูปแบบที่ 1 และ 2) 2. กลุ่มเงื่อนไขตัวอักษร (รูปแบบที่ 3 และ 4) 3. กลุ่มเงื่อนไขวันที่ (รูปแบบที่ 5 และ 6) และ 4. กลุ่มเงื่อนไขสำหรับการสืบค้นแบบนับจำนวนกลุ่ม (รูปแบบที่ 7 ถึง 10) พบความเร็วที่แตกต่างกันดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความเร็วการสืบค้นข้อมูลจาก ALIST Database Server ไปยัง ORACLE Log Server เปรียบเทียบกับ SOLR Log Server หน่วยเวลาความเร็วเป็นมิลลิวินาที (ทดสอบ 10 รอบในแต่ละรูปแบบ)

รูปแบบการสืบค้น/เรียงลำดับ	ความเร็วการสืบค้นข้อมูล (มิลลิวินาที)		เปรียบเทียบความเร็ว
	บน ORACLE	บน SOLR	
1. สืบค้นด้วยตัวเลขแบบเงื่อนไขเดียว	91	141	ORACLE เร็วกว่า 35 %
2. สืบค้นด้วยตัวเลขแบบหลายเงื่อนไข	110	161	ORACLE เร็วกว่า 32 %
3. สืบค้นด้วยตัวอักษรแบบเงื่อนไขเดียว	94	110	ORACLE เร็วกว่า 15 %
4. สืบค้นด้วยตัวอักษรแบบหลายเงื่อนไข	974	140	SOLR เร็วกว่า 86 %
5. สืบค้นด้วยวันที่แบบเงื่อนไขเดียว	9,766	125	SOLR เร็วกว่า 99 %
6. สืบค้นด้วยวันที่แบบหลายเงื่อนไข	15,061	125	SOLR เร็วกว่า 99 %
7. สืบค้นแบบนับจำนวนกลุ่มตัวเลข	5,340	875	SOLR เร็วกว่า 84 %
8. สืบค้นแบบนับจำนวนกลุ่มตัวอักษร	8,410	406	SOLR เร็วกว่า 95 %
9. สืบค้นแบบนับจำนวนกลุ่มวันที่	8,448	1,922	SOLR เร็วกว่า 77 %
10. สืบค้นแบบนับจำนวนหลายกลุ่มข้อมูล	20,052	3,180	SOLR เร็วกว่า 84 %

จากผลการทดสอบการสืบค้นข้อมูลตามตารางที่ 5 พบว่า การสืบค้นข้อมูลบนฐานข้อมูล ORACLE ทำงานได้เร็วในการสืบค้นข้อมูลด้วยเงื่อนไขตัวเลข และการสืบค้นข้อมูลด้วยเงื่อนไขตัวอักษรแบบเดียว (รูปแบบที่ 1-3) ส่วนการสืบค้นประเภทอื่นๆ รวมถึงแบบนับจำนวนแยกตามกลุ่ม (รูปแบบที่ 4-10) การทำงานบน SOLR จะทำงานได้เร็วกว่าบนฐานข้อมูล ORACLE มาก

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าเมื่อนำข้อมูล Log การยืมคืนหนังสือและข้อมูล Log การสืบค้นข้อมูล ที่จัดเก็บบนฐานข้อมูล ORACLE ไปจัดเก็บบนฐานข้อมูล SOLR พบว่าขนาดพื้นที่จัดเก็บบนฐานข้อมูล SOLR มีขนาดเล็กลงประมาณ 40 % เมื่อเปรียบเทียบกับบนฐานข้อมูล ORACLE ส่วนการสืบค้นข้อมูลบนฐานข้อมูล SOLR ใช้เวลาน้อยกว่าบนฐานข้อมูล ORACLE ประมาณ 75 % ในเกือบทุกรูปแบบเงื่อนไข ยกเว้น แบบเงื่อนไขตัวเลขและเงื่อนไขตัวอักษรแบบเงื่อนไขเดียว ซึ่งการค้นบนฐานข้อมูล ORACLE ใช้เวลาน้อยกว่าบนฐานข้อมูล SOLR ประมาณ 30 % ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อแยกข้อมูล Log ออกจากฐานข้อมูลหลัก ORACLE ไปจัดเก็บในฐานข้อมูล SOLR ขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูล Log จะมีขนาดเล็กลงและเวลาของการสืบค้นข้อมูลน้อยลง ทำให้ในการแก้ปัญหาเรื่องพื้นที่จัดเก็บและความเร็วของการสืบค้น อาจจำเป็นต้องปรับโครงสร้างฐานข้อมูลของระบบห้องสมุดอัตโนมัติ ALIST ให้มีการทำงานประสานกันของฐานข้อมูลทั้ง 2 ระบบ แต่ทั้งนี้ยังอาจมีประเด็นที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป ในเรื่องความคุ้มค่าของการจัดเตรียมเครื่องแม่ข่ายที่เพิ่มขึ้น เสถียรภาพของเครือข่าย และการแลกเปลี่ยนข้อมูลของฐานข้อมูลทั้ง 2 ระบบ ให้มีความถูกต้องและทันสมัย เพื่อให้การทำงานของระบบห้องสมุดอัตโนมัติทั้งระบบมีความถูกต้อง มีเสถียรภาพและมีความเชื่อถือ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Automated Library System for Thai Higher Education Institutes. (2017). **General Information** (Online). Retrieved 28 September 2017, from <http://www.alist.psu.ac.th>.
- [2] Inthasaro, C. (2014). “Database Management System for Automated Library System ALIST”, **PULINET Journal**. 1(3), 85-90.

- [3] Kepner, J., Gadepally, V., Hutchison, D., Jananthan, H., Mattson, T., Samsi, S. and Reuther, A. (2016). “Associative Array Model of SQL, NoSQL, and NewSQL Databases”, **2016 IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC)**. Waltham, MA, 2016, 1-9.
- [4] Sirisup, K. and Utakrit, N. (2014). “On the Application of Solr Software for Helpdesk and Retrieval Issue TOT IPTV”, In **The 10th National Conference on Computing and Information Technology**. 884-889. 8-9 May 2014, Angsana Laguna Phuket. Bangkok: King Mongkut’s University of Technology North Bangkok.
- [5] Pengmusaw, T., Witosurapot, S. and Tangkuptanon, W. (2009). “On the Application of Solr Software for Thai-Script Searching in Courses”, In **The Prince of Songkla University Academic Conference, PSU Open Week**. 18 August 2009, The 60th Anniversary of His Majesty the King’s Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla: Prince of Songkla University.
- [6] Chanta, S. and Porrawatpreyakorn, N. (2013). “A Web News Information Classification and Retrieval System using Multilayer Perceptron Neural Network”, **Information Technology Journal**. 9(2), 14-19.
- [7] Timasornwichakit, R., Paoon, W. and Phongpech, W. (2016). “Comparative Study between Big Data Technology and Relational Database Query System Case Study: Healthcare Dataset”, **Journal of the Thai Medical Informatics Association**. 2, 134-145.

การพัฒนาารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

The Development of a Learning Management Model to Promote

Mathematical Problem Solving Skills

วิษณุ นภาพันธุ์^{1*}

Vishnu Napaphun^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาพฤติกรรมการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และเพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ระเบียบวิธีการวิจัยเป็นการเชิงคุณภาพแบบศึกษาเฉพาะกรณีในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์มีนักเรียนที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน สาเหตุของความแตกต่างที่สำคัญที่สุดมาจากปัจจัยด้านทักษะการคิดขั้นสูง ทักษะการคิดขั้นสูงส่งผลโดยตรงต่อนิสัยในการแก้ปัญหานักเรียนตามกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา นักเรียนที่มีจุดเด่นในเรื่องทักษะการคิดขั้นสูงจะสามารถจัดการระบบข้อมูลจากความรู้ที่มีอยู่เพื่อทำความเข้าใจปัญหา วางแผน และการประเมินความสมเหตุสมผลของกระบวนการทั้งหมด แต่ทั้งนี้แม้ว่าปัจจัยด้านทักษะการคิดขั้นสูงเป็นสิ่งจำเป็นแต่ก็ไม่เพียงพอ เพราะถ้ามีทักษะการคิดขั้นสูงแต่ขาดความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ก็อาจจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้หรือแก้ปัญหายังไม่มีประสิทธิภาพ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเป็นนักแก้ปัญหาที่ดีจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับองค์ประกอบทั้งสามส่วน ได้แก่ ทักษะการคิดขั้นสูง กระบวนการแก้ปัญหา และความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งองค์ประกอบทั้งสามมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ส่งเสริมกันและกัน และสามารถพัฒนาไปพร้อมกันได้โดยผ่านการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความเข้าใจ

คำสำคัญ: การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ การคิดขั้นสูง ความรู้ทางคณิตศาสตร์ การเรียนรู้ด้วยความเข้าใจ

Abstract

This research aims to study the mathematical problem solving behavior in mathematics of junior high school students and then create a learning management model to develop problem solving skills in mathematics. In this study, we used the qualitative research methodology in a case study to collect and analyze data. The results found that, in the mathematics classroom, the students had different abilities in problem solving. The most important cause for these differences came from the students' metacognitive. Metacognitive skills also directly affected the students' problem solving habits on Polya's problem solving process. Students with high metacognition were able to organize information from existing knowledge to understand the problem, plan and evaluate the reasonability of the whole process. Even though metacognition is essential but it is not enough, because if we lack the proper mathematical knowledge we may not be able to solve the problem or solve the problem ineffectively. To encourage students to be good problem solvers, it is important to focus on three components: metacognition, the problem solving process and the mathematical knowledge used to solve the problem. All of these elements are related in a way that promotes each other and can be developed simultaneously through learning management that promotes understanding.

Keywords: Mathematical Problem Solving, Metacognition, Mathematical Concepts, Learning with Understanding

¹ อ.ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Lecturer, Dr., Department of Mathematics and Statistics, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 074609600 ext. 2003. E-mail address: vishnunapaphun@gmail.com

บทนำ

จุดมุ่งหมายสำคัญประการหนึ่งของหลักสูตรคณิตศาสตร์คือการพัฒนาผู้เรียนให้สามารถใช้คณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการดำรงชีวิต ทั้งในแง่ของเนื้อหาที่เป็นมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ และในแง่ของทักษะที่เป็นผลมาจากการบวนการเรียนรู้มโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นตัวชี้วัดความสำเร็จในการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์จึงอยู่ที่ผู้เรียนสามารถใช้คณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาได้มากน้อยเพียงไร แต่เมื่อสำเร็จการศึกษาจากระบบโรงเรียน ประชากรส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้คณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้เท่าที่ควรจะเป็น ลักษณะของปัญหาที่พบได้แก่ การไม่เข้าใจว่าปัญหาที่เผชิญอยู่ต้องใช้คณิตศาสตร์เรื่องใด ความไม่มั่นใจในการใช้คณิตศาสตร์เรื่องนั้น ๆ และการใช้คณิตศาสตร์แบบผิด ๆ ที่เกิดจากการจำขั้นตอนวิธีที่คลาดเคลื่อน เป็นต้น สาเหตุสำคัญประการหนึ่งมาจากการบวนการเรียนการสอนของครูที่ยึดแบบเรียนเป็นสำคัญ ซึ่งมักจะนำเสนอโมทัศน์ทางคณิตศาสตร์แบบเดี่ยว ๆ ให้กับนักเรียนในแง่ของบทนิยาม วิธีการและขั้นตอนวิธีที่สำเร็จรูป [1]

กระบวนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มี 3 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ การจำลองโจทย์ปัญหาเป็นปัญหาทางคณิตศาสตร์ การหาผลเฉลยทางคณิตศาสตร์ การตีความผลเฉลยทางคณิตศาสตร์ไปสู่คำตอบของโจทย์ปัญหา ซึ่งการที่ผู้เรียนจะประสบความสำเร็จในแต่ละขั้นตอนได้นั้นจำเป็นต้องเข้าใจความเชื่อมโยงระหว่างมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์และความหมายในบริบทของโจทย์ปัญหา ที่ต้องอาศัยความเข้าใจในมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์อย่างแท้จริง ไม่ใช่แค่ทำตามขั้นตอนวิธีได้ ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหของนักเรียนคือการจัดการเรียนรู้มโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ต้องมุ่งเน้นให้นักเรียนเรียนรู้แนวคิดทางคณิตศาสตร์ด้วยความเข้าใจ (Learning with Understanding) ซึ่งตามบทนิยามของการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวหมายถึง การเรียนรู้ที่นักเรียนต้องเป็นผู้สร้างความรู้ใหม่จากประสบการณ์หรือความรู้ที่มีอยู่เดิม ซึ่งครูจะต้องเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการที่จะต้องทำความเข้าใจว่าในมโนทัศน์ที่จะจัดการเรียนรู้นักเรียนมีความรู้เดิมอะไร อย่างไร ระดับไหน และควรจะเติมเต็มสิ่งใดเข้าไปจึงจะสมบูรณ์ จากนั้นจึงค่อยท้าทายและสนับสนุนให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้

นอกจากนี้ครูจำนวนไม่น้อยยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสอนการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ เช่น ครูมักนำโจทย์ปัญหายาก ๆ มาให้นักเรียนฝึกฝน โดยให้จดจำวิธีการเฉพาะในการหาคำตอบ หรือให้นักเรียนทำโจทย์ที่มีโครงสร้างมาตรฐานซ้ำ ๆ หลายครั้ง และอีกแง่หนึ่งคือครูไม่รู้ว่าจะสอนอย่างไร [2] เนื่องจากทักษะในการแก้ปัญหเป็นความสามารถในขั้นของการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ ทำให้การสอนที่เน้นการอธิบายให้นักเรียนทำตามตัวอย่างที่ครูนำเสนอจึงไม่เพียงพอ เพราะบริบทของปัญหาที่ครูหยิบยกมานำเสนอนั้นทำได้จำกัดในขณะที่บริบทของโจทย์ปัญหาอาจเป็นไปได้หลากหลาย ปัญหาที่ตามมาคือเมื่อผู้เรียนต้องเผชิญกับบริบทของปัญหาที่แตกต่างไปจากที่ครูสอนนักเรียนจะไม่สามารถแก้ปัญหได้ พลาวด์ [3] เสนอว่าการพัฒนาทักษะการแก้โจทย์ปัญหานั้นเน้นในเรื่องของการพัฒนาการคิดขั้นสูง (Metacognition) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการทำความเข้าใจในกระบวนการรับรู้ของตัวเอง มากกว่าการมุ่งเน้นเรื่องความจำและความเข้าใจอย่างผิวเผิน การคิดขั้นสูงประกอบด้วย การเลือก การวางแผน และการตรวจสอบ ซึ่งต้องใช้ในการทำงานให้บรรลุเป้าหมาย มีงานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าการคิดขั้นสูงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับกระบวนการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ในทุกขั้นตอน [4-6] การคิดขั้นสูงจะเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างความรู้ที่เรามีอยู่กับสถานการณ์ปัญหาแต่ความสามารถดังกล่าวไม่อาจพัฒนาได้โดยใช้วิธีการสอนแบบที่เน้นครูเป็นศูนย์กลาง หากแต่ต้องใช้วิธีการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งผู้เรียนจะต้องเป็นผู้ที่มีความกระตือรือร้นในการสร้างความรู้ของตัวเองมากกว่าการเป็นผู้ที่คอยรับความรู้ ครูเป็นผู้กระตุ้นหรือส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้โดยการจัดสถานการณ์หรือบริบทเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ที่เหมาะสม [7]

โพลยา [8] ได้นำเสนอขั้นตอนในการแก้ปัญห ได้แก่ ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญห ขั้นที่ 3 ดำเนินการตามแผน และขั้นที่ 4 ตรวจสอบผล การสอนการแก้โจทย์ปัญหตามแนวทางของโพลยานั้นเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนมีนิสัยการแก้ปัญห (Habits of Mind) ที่ดี ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการภายใน (Mental Process) ซึ่งเกิดขึ้นในตัวผู้เรียนในขณะที่ต้องแก้โจทย์ปัญหา และโดยแนวคิดของเพียเจท์ [9] เชื่อว่าผู้เรียนไม่ได้เรียนรู้อคณิตศาสตร์

โดยตรง แต่จะเป็นการปรับโครงสร้างภายในที่มีอยู่เพื่อให้เข้าใจในมโนทัศน์ของสิ่งที่เรียนรู้ และการเรียนรู้จะเป็นไปได้ง่าย ถ้าผู้เรียนมีโครงสร้างภายในที่เหมาะสมกับมโนทัศน์ของสิ่งที่เรียนรู้ แต่ถ้าไม่มีโครงสร้างภายในที่เหมาะสมการเรียนรู้แทบจะเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งในการพัฒนาทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์คือการส่งเสริมให้นักเรียนมีนิสัยการแก้ปัญหาที่ดีตามขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหของโพลยา

จากที่นำเสนอมาสามารถสรุปได้ว่าทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของการพัฒนาผู้เรียนในวิชาคณิตศาสตร์ แต่โดยกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้กันอยู่ในห้องเรียนปัจจุบันส่วนใหญ่ยังไม่สามารถที่จะพัฒนาทักษะการแก้ปัญหให้กับผู้เรียนได้เท่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่จะสามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหให้กับนักเรียน โดยมีมุมมองในการพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหาว่าจะต้องให้ความสำคัญกับองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ทักษะการคิดขั้นสูง นิสัยการแก้ปัญหตามกระบวนการแก้ปัญหของโพลยา และความเข้าใจในความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้แก้ปัญห ผลจากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาสำคัญอย่างยิ่งในทางคณิตศาสตร์ศึกษา

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
2. เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์
3. เพื่อศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นต่อความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์

ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพแบบศึกษาเฉพาะกรณีในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล โดยกระบวนการวิจัยแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 เป็นการศึกษาพฤติกรรมการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ ระยะที่ 2 นำข้อมูลที่ได้จากระยะที่ 1 มาพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ พร้อมทั้งสร้างและพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ต้นแบบ และระยะที่ 3 เป็นการใช้กิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นกับชั้นเรียนที่กำหนดเป็นกรณีศึกษา เพื่อศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์

สนามและกลุ่มเป้าหมาย นักเรียนกลุ่มเป้าหมายจำนวนทั้งสิ้น 116 คน ซึ่งทั้งหมดเป็นนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครศรีธรรมราช เขต 3 โดยจำแนกออกเป็นนักเรียนที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการแก้ปัญห และนักเรียนที่ใช้ในการศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ **นักเรียนที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการแก้ปัญห** ได้มาโดยวิธีการเลือกตามความสะดวก กล่าวคือเป็นการเลือกตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยซึ่งไม่ใช่เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทน แต่เป็นการค้นหาลักษณะพฤติกรรมที่แตกต่างกันโดยไม่มีการกำหนดจำนวนนักเรียนจนกว่าผู้วิจัยจะเริ่มเห็นว่าไม่พบพฤติกรรมที่แตกต่างไปจากที่พฤติกรรมที่เคยพบมาแล้ว ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ต้องใช้นักเรียนทั้งสิ้น 86 คน **นักเรียนที่ใช้ในการศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้** เป็นชั้นเรียนที่ผู้วิจัยจัดขึ้น ประกอบไปด้วยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 จำนวน 30 คน ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนนักเรียนที่ใช้ในการศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้

ระดับชั้น/ผลการเรียน	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	รวม
ม.1	4	5	1	10
ม.2	3	5	2	10
ม.3	3	5	2	10
รวม	10	15	5	30

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เป็นแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในแต่ละข้อจะกำหนดสถานการณ์ปัญหาให้นักเรียนแสดงวิธีการแก้ปัญหา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะประเมินว่านักเรียนมีวิธีการแก้ปัญหายังไร

การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนารอบแนวคิดในการจำแนกพฤติกรรมการแก้ปัญหานักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น เป็นกระบวนการสร้างคำอธิบายลักษณะพฤติกรรมการแก้ปัญหานักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยมีขั้นตอนในการสร้างและพัฒนาได้แก่ 1. การสังเคราะห์องค์ประกอบที่ส่งผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหามathematics และ การสร้างกรอบแนวคิดเบื้องต้นในการจำแนกพฤติกรรมการแก้ปัญหามาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2. ทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหานักเรียน แล้วจำแนกพฤติกรรมการแก้ปัญหามาเป็นกลุ่ม 3. เลือกตัวแทนจากแต่ละกลุ่มมาทำการสัมภาษณ์เพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนที่ผู้วิจัยไม่แน่ใจในการตีความ 4. ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการแก้ปัญหานักเรียนซ้ำอีกครั้งโดยใช้ผู้วิเคราะห์จำนวน 3 คน 5. หาค่าความเชื่อมั่นในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สูตรของไมล์สและซูเบอร์แมน โดยพบว่ามีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 92 % 6. สังเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการแก้ปัญหากลุ่มออกมา จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะพฤติกรรมการแก้ปัญหที่อยู่ในกรอบแนวคิดเบื้องต้น พฤติกรรมใดที่สอดคล้องกันก็จะยังคงคำอธิบายลักษณะเดิมเอาไว้ พฤติกรรมใดที่ไม่สอดคล้องกันจะปรับเอาพฤติกรรมที่พบจากการตอบสนองของนักเรียนเข้าไปแทนที่ และกรณีที่พบพฤติกรรมที่ไม่ได้เคยกำหนดไว้ก่อนในกรอบแนวคิดเบื้องต้นจะเพิ่มเข้าไปในกรอบแนวคิด

ระยะที่ 2 การพัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหามา เป็นกระบวนการนำผลมาจากการศึกษาพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ มากำหนดเป็นมุมมองของการวิจัยในครั้งนี้ว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่จะสามารถส่งเสริมทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ควรให้ความสำคัญกับองค์ประกอบใดบ้าง และในแต่ละองค์ประกอบมีแนวทางในการส่งเสริมอย่างไร โดยมีขั้นตอนในการสร้างดังต่อไปนี้ 1. กำหนดแนวทางในการพัฒนาแต่ละองค์ประกอบของการแก้ปัญหามาที่กำหนดไว้ โดยใช้ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากการศึกษาพฤติกรรมการแก้ปัญหามา กำหนดเป็นกรอบแนวคิดในการพัฒนาทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ 2. สร้างกิจกรรมการเรียนรู้ต้นแบบตามกรอบแนวคิดในการพัฒนาทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ 3. ทดลองใช้กิจกรรมการเรียนรู้ต้นแบบกับนักเรียนรายบุคคลที่มีความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ในระดับปานกลาง วิเคราะห์ข้อบกพร่องและปรับปรุงแก้ไข 4. ทดลองใช้กิจกรรมการเรียนรู้ต้นแบบกับนักเรียนกลุ่มเล็กที่ความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ จำนวน 9 คน วิเคราะห์ข้อบกพร่องและปรับปรุงแก้ไข 5. ทดลองใช้กิจกรรมการเรียนรู้ต้นแบบกับนักเรียนกลุ่มใหญ่จำนวน 30 คน โดยใช้กระบวนการการศึกษาชั้นเรียน (Lesson Study) กล่าวคือในการสอนแต่ละครั้งของผู้วิจัย จะมีผู้ร่วมสังเกตการสอนอีกจำนวน 2 คน และหลังจากเสร็จสิ้นการสอนแต่ละครั้ง ผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการสอนจะร่วมประชุมกันเพื่อวิพากษ์การสอนและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว กระบวนการศึกษาชั้นเรียนในลักษณะดังกล่าวจะดำเนินการต่อเนื่องกันไปจนสิ้นสุดกระบวนการจัดการเรียนรู้ 6. ปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย

ระยะที่ 3 การศึกษาผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นต่อความสามารถในการแก้ปัญหามathematics ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ 1. ทดสอบก่อนเรียนกับนักเรียน จากนั้นผู้วิจัยนำผลการทดสอบมาตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น และสัมภาษณ์เพิ่มเติมในกรณีที่ผู้วิจัยเข้าใจไม่ชัดเจนจากการเขียนแสดงวิธีทำของนักเรียน 2. จำแนกลักษณะพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหามาก่อนเรียนของนักเรียนทั้ง 30 คน ออกเป็นกลุ่ม โดยใช้ผู้วิเคราะห์จำนวน 3 คน ร่วมกันวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบและโปรโตคอลบทสัมภาษณ์ 3. จัดการเรียนรู้ตามกิจกรรมที่พัฒนาขึ้น 4. ทดสอบหลังเรียนจากนั้นผู้วิจัยนำผลการทดสอบมาตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น และสัมภาษณ์เพิ่มเติมในกรณีที่ผู้วิจัยเข้าใจไม่ชัดเจนจากการเขียนแสดงวิธีทำของนักเรียน 5. จำแนกลักษณะพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาลงเรียนของนักเรียนทั้ง 30 คน ออกเป็นกลุ่มโดยใช้กรอบแนวคิดในการจำแนกพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหามาที่กำหนดไว้เป็นกรอบในการจำแนก 6. เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหามาของนักเรียน โดยพิจารณาจากพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหามาก่อนและหลังเรียน

ผลการวิจัย

พฤติกรรมในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

พฤติกรรมในการแก้ปัญหานักเรียนสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่ม ซึ่งผู้วิจัยกำหนดรหัสเป็นกลุ่ม US (Unsolvale) กลุ่ม NP (No Process) กลุ่ม NK (Not Have Knowledge) และกลุ่ม PS (Problem Solver) ใน 4 กลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่มีโอกาสแก้ปัญหาได้ (NP NK และ PS) กับกลุ่มที่ไม่มีโอกาสแก้ปัญหาได้ (US) ซึ่งสองกลุ่มนี้แตกต่างกันที่ทักษะการคิดขั้นสูง นักเรียนที่ไม่มีทักษะการคิดขั้นสูงจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้เลย และเมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มที่มีโอกาสที่จะแก้ปัญหาได้จะสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความแน่นอนในการแก้ปัญหา (NK และ PS) และกลุ่มที่ไม่มีความคงเส้นคงวาในการแก้ปัญหา (NP) ซึ่งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันสองประการ ได้แก่ ความเด่นชัดของทักษะการคิดขั้นสูง กลุ่ม NK และ PS จะมีทักษะการคิดขั้นสูงที่เด่นชัดมาก ส่วนกลุ่ม NP จะมีทักษะการคิดขั้นสูงอยู่ในระดับหนึ่งแต่ไม่เด่นชัด และนิสัยในการแก้ปัญหตามกระบวนการของโพลยา กลุ่ม NK และ PS จะมีนิสัยในการแก้ปัญหที่ดี กล่าวคือทุกครั้งที่จะแก้ปัญหะจะมีการปฏิบัติตามขั้นตอนการแก้ปัญหครบทุกขั้น ในขณะที่นักเรียนกลุ่ม NP จะไม่มีพฤติกรรมดังกล่าวโดยเฉพาะในขั้นตอนของการตรวจสอบและสุดท้ายเมื่อพิจารณาถึงลงไปอีกเฉพาะในกลุ่มของนักเรียนที่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างคงเส้นคงวาก็สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม อีกเช่นกันคือกลุ่ม PS ซึ่งจะใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา และนักเรียนกลุ่ม NK ซึ่งจะใช้วิธีการที่ไม่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา หรือไม่ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา

๑. ในการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางมีผู้โดยสาร 120 คน ถ้าในวันแรกมีการเดินทางวัน แรกและวันต่อมาจะมีผู้โดยสารเพิ่มขึ้นจำนวน 10 คน ในวันแรกจะมีผู้โดยสารกี่คนหรือไม่ได้ก็หน้า $120 = 10x$ จำนวนผู้โดยสารในวันแรก $10x$ คน จำนวนผู้โดยสารในวันต่อมา $120 - 10x$ คน $10x + 10 = 120$ $10x = 120 - 10$ $10x = 110$ $x = \frac{110}{10}$ $x = 11$ นักเรียนคนดังกล่าวสร้างสมการ $x+10=\frac{120}{5}$ เมื่อ x คือจำนวนหน้าที่ย่านได้วันแรก ที่ไม่ได้มีความหมายสอดคล้องกับโจทย์ปัญหาเลย เพราะสมการดังกล่าวหมายถึง จำนวนหน้าที่ย่านได้ในวันที่สอง $(x+10)$ เท่ากับ $\frac{120}{5} = 24$ หน้า ซึ่งไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในโจทย์ปัญหา ก	๒. สองในสามของเงินเดือนของพ่อมากกว่าเงินเดือนของแม่อยู่ 1,000 บาท ถ้าแม่มีเงินเดือน 28,000 แล้วพ่อก็มีเงินเดือนกี่บาท ให้เงินเดือนพ่อ มีค่าเท่ากับ x $\frac{2}{3}x - 1000 = 28000$ $\frac{2}{3}x = 28000 + 1000$ $x = 27000 \times \frac{3}{2}$ $x = 40500$ สรุป 40,500 บาท เพราะความไม่รอบคอบทำให้ได้คำตอบที่ไม่ถูกต้อง กล่าวคือแทนที่นักเรียนจะบวกทั้งสองข้างของสมการด้วย 1000 แต่กลับไปลบด้วย 1000 ซึ่งความคิดพลาดดังกล่าวเป็นความคิดพลาดที่เกิดจากความเลินเล่อ ซึ่งถ้าเขาได้ทำการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาก็จะทราบได้ทันทีว่าคำตอบที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ ทำให้เขาได้มองย้อนกลับไปที่ขั้นตอนก่อนหน้าที่ทำมาทั้งหมดว่ามีความผิดพลาดหรือบกพร่องที่ขั้นตอนไหน อย่างไร ข
---	--

ภาพที่ 1ก พฤติกรรมในการแก้ปัญหานักเรียนกลุ่ม US 1ข พฤติกรรมในการแก้ปัญหานักเรียนกลุ่ม NP

๓. พงศ์มีลูกแก้วคู่หนึ่งสีทอง แดงให้หนึ่งชิ้นในสามของลูกแก้วทั้งหมด เมื่อแบ่งแล้วพงศ์เหลือลูกแก้วอยู่ 40 ลูก จงหาจำนวนลูกแก้วที่แบ่งให้หนึ่ง $\frac{3}{5}x \times \frac{1}{3} = 40$ $\frac{3}{5}x = 40 \times 3$ $\frac{3}{5}x = 120$ $x = 120 \times \frac{5}{3}$ $x = 200$ นักเรียนแสดงวิธีการคิดที่เป็นธรรมชาติคือใช้ภาพแสดงความหมายแทนตัวแปร โดยภาพที่วาดของนักเรียนหมายถึงจำนวนลูกแก้วทั้งหมด ภาพ $x \times \frac{1}{3}$ หมายถึงน้องมีลูกแก้วเท่ากับหนึ่งในสามของลูกแก้วทั้งหมด $\frac{3}{5}x - \frac{1}{3}x = 40$ หมายถึง จำนวนลูกแก้วทั้งหมดลบออกหนึ่งในสามเหลือสองในสาม ซึ่งสองในสามของลูกแก้วทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับ 40 ลูก 2×40 หมายถึง หนึ่งในสามเท่ากับ 20 และ $20 \times 3 = 60$ จำนวนลูกแก้วทั้งหมด (3 ส่วน เท่ากับ 60 ลูก และ $60 - 40 = 20$ หมายถึงจำนวนลูกแก้วทั้งหมดลบด้วยสองในสามส่วนเท่ากับจำนวนลูกแก้วที่แบ่งให้หนึ่ง ก	๔. แม่แบ่งเงินซื้อหนังสือให้วันแรกอ่านได้ $\frac{1}{5}$ ของเล่ม วันที่สองอ่านได้ 30 หน้า รวมสองวันอ่านได้ทั้งหมด จะหาว่าหนังสือเล่มนี้มีกี่หน้า วิธีทำ จำนวนเงินที่แม่แบ่งให้ x บาท หนังสือเล่มนี้มี x บาท จำนวนเงินที่แม่แบ่งให้ $\frac{1}{5}x$ บาท หนังสือเล่มนี้มี x บาท $\frac{1}{5}x = \frac{1}{5}x + 30$ จำนวนเงินที่แม่แบ่งให้ $\frac{1}{5}x$ บาท $\frac{1}{5}x - \frac{1}{5}x = \frac{1}{5}x + 30 - \frac{1}{5}x$ $\frac{3}{10}x = 30$ สรุป $\frac{3}{10}x$ หมายถึงสองในสาม $\frac{3}{10}x = 30 + \frac{1}{10}x$ $\frac{3}{10}x - \frac{1}{10}x = 30 + \frac{1}{10}x - \frac{1}{10}x$ $\frac{2}{10}x = 30$ $x = 30 \times \frac{10}{2}$ $x = 150$ สรุป 150 บาท หนังสือเล่มนี้มี $\frac{1}{5} \times (150) = \frac{1}{5} \times 150 = 30$ $30 = 30 + 30$ $30 = 30$ ข
---	--

ภาพที่ 2ก พฤติกรรมในการแก้ปัญหานักเรียนกลุ่ม NK 2ข พฤติกรรมในการแก้ปัญหานักเรียนกลุ่ม PS

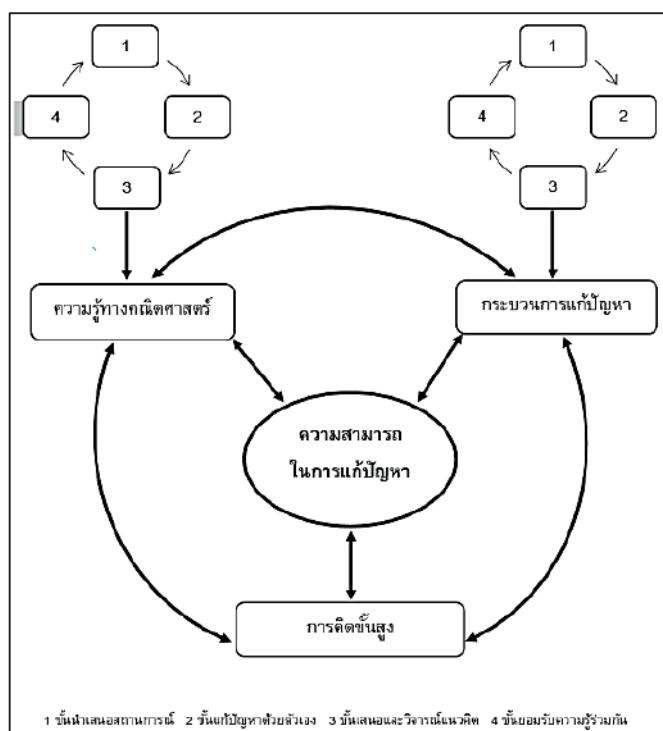
ภาพที่ 1ก เป็นตัวอย่างของนักเรียนกลุ่ม US ซึ่งมีความอ่อนด้อยในทุกองค์ประกอบของการแก้ปัญหา นักเรียนกลุ่มนี้จะไม่เข้าใจปัญหา ไม่มีการประเมินความสมเหตุสมผลของกระบวนการทั้งหมด และไม่ได้ตระหนักถึงสิ่งที่ตนเองคิดมีความสมเหตุสมผลหรือไม่ ขาดการปฏิบัติตามขั้นตอนของกระบวนการแก้ปัญหา และมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา ส่งผลให้นักเรียนกลุ่มนี้ไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้เลย **ภาพที่ 1ข** เป็นตัวอย่างของนักเรียนกลุ่ม NP ซึ่งจะมีทักษะการคิดขั้นสูงอยู่ในระดับหนึ่ง ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจปัญหา สามารถนำข้อมูลที่โจทย์กำหนดให้มาใช้ในการสร้างตัวแบบในการแก้ปัญหาได้ มีความรู้ความเข้าใจเป็นอย่างดีในแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา แต่จุดอ่อนสำคัญคือนิสัยการแก้ปัญหาก็จะดำเนินการ ไม่ครบตามกระบวนการแก้ปัญหของโพลยา ส่งผลให้บางครั้งอาจมีข้อผิดพลาดจากความเลินเล่อ **ภาพที่ 2ก** เป็นตัวอย่างของนักเรียนกลุ่ม NK ซึ่งมีลักษณะเด่นในเรื่องทักษะในการคิดขั้นสูง สามารถวิเคราะห์และเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ได้อย่างมีความหมายและสมเหตุสมผลจนนำไปสู่การสร้างตัวแบบในการแก้ปัญหาที่ถูกต้องได้ มีนิสัยที่ดีในการแก้ปัญหตามกระบวนการของโพลยา มีการทำความเข้าใจปัญหา วางแผน ดำเนินการตามแผน และตรวจสอบย้อนกลับ แต่จุดอ่อนของนักเรียนกลุ่มนี้คือการขาดการอ้างอิงความรู้ทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการอธิบายหรือนำเสนอความคิดของตน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหจะเป็นวิธีการที่เป็นธรรมชาติทางความคิด (Natural Ways of Thinking) โดยอาศัยหลักของความตระหนักรู้ตามเหตุและผลซึ่งเป็นผลโดยตรงมาจากการที่นักเรียนมีทักษะในการคิดขั้นสูง ซึ่งข้อเสียก็คือการสื่อสารความคิดของตนให้ผู้อื่นรับรู้หรือเข้าใจได้ยาก เพราะไม่ต้องอยู่บนหลักการที่เป็นความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เป็นทางการ **ภาพที่ 2ข** เป็นตัวอย่างของนักเรียนกลุ่ม PS ซึ่งเป็นกลุ่มของนักแก้ปัญหา มีทักษะในการคิดขั้นสูง สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่โจทย์กำหนดให้กับสิ่งที่กับสิ่งที่โจทย์ถามได้อย่างสมเหตุสมผล มีความตระหนักรู้ในความคิดของตน สามารถทำความเข้าใจและจัดการกับกระบวนการรับรู้ของตัวเอง มีการจัดระบบข้อมูลจากความรู้ที่มีอยู่เพื่อทำความเข้าใจปัญหา การวางแผน และการประเมินความสมเหตุสมผลของกระบวนการทั้งหมด มีความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหเป็นอย่างดี มีความเข้าใจในแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้มากกว่าการรับรู้หรือการรวบรวมข้อเท็จจริง และเป็นมากกว่าการสามารถทำตามขั้นตอนหรือกระบวนการต่าง ๆ ได้ แต่มันคือความสามารถในการคิดที่ยืดหยุ่นในการตัดสินใจว่าทำไมข้ออ้างทางคณิตศาสตร์จึงถูกต้องหรือสามารถรับได้ มีนิสัยการแก้ปัญหที่ดี กล่าวคือมีการปฏิบัติตามขั้นตอนของกระบวนการแก้ปัญหของโพลยา ขั้นการทำความเข้าใจปัญหานักเรียนจะมีความตระหนักรู้ว่ามีข้อมูลอะไรอยู่บ้าง ข้อมูลเหล่านั้นหมายความว่าอย่างไร เข้าใจความสัมพันธ์ของสิ่งที่โจทย์กำหนด และสิ่งที่โจทย์ถาม ขั้นการวางแผนแก้ปัญหานักเรียนจะมีการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่คิดเชื่อมโยงไปสู่การสร้างแนวทางในการแก้ปัญหา ขั้นดำเนินการตามแผนนักเรียนจะมีการลงมือแก้ปัญหตามวิธีการที่วางแผนไว้ได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด มีการดำเนินการแก้ปัญหได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ขั้นการตรวจสอบผลนักเรียนจะมีการคิดย้อนกลับจากคำตอบที่ได้ไปยังปัญหาวามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ และมีการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบที่ได้ทุกครั้งอย่างเป็นธรรมชาติ

ตารางที่ 2 กรอบแนวคิดในการจำแนกพฤติกรรมการแก้ปัญหามathematics ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น

องค์ประกอบ / กลุ่ม	US	NP	NK	PS
ลักษณะทั่วไป	ขาดองค์ประกอบทั้งสามส่วน	มีจุดอ่อนด้านกระบวนการแก้ปัญหา	มีจุดอ่อนด้านความรู้ทางคณิตศาสตร์	มีองค์ประกอบครบทั้งสามส่วน
การคิดขั้นสูง	ไม่มี	มีอยู่ในระดับหนึ่ง	เด่นชัดมาก	เด่นชัดมาก
กระบวนการแก้ปัญหา	ปฏิบัติไม่ครบขั้นตอนทุกครั้งที่แก้ปัญหา	ปฏิบัติไม่ครบขั้นตอนทุกครั้งที่แก้ปัญหา	มีนิสัยการแก้ปัญหที่ดี ปฏิบัติครบขั้นตอนทุกครั้งที่แก้ปัญหา	มีนิสัยการแก้ปัญหที่ดี ปฏิบัติครบขั้นตอนทุกครั้งที่แก้ปัญหา
ความรู้ทางคณิตศาสตร์	มีความรู้ในระดับข้อเท็จจริง	มีความรู้ในระดับข้อเท็จจริง	มีความรู้ในระดับข้อเท็จจริง	ความรู้ในระดับความสัมพันธ์
ผลการแก้ปัญหา	ไม่สามารถแก้ปัญหได้	แก้ปัญหได้บางข้อที่ไม่มี ความซับซ้อน ความผิดพลาด เกิดจากความเลินเล่อโดยไม่รู้ตัว	แก้ปัญหได้โดยใช้วิธีธรรมชาติทางความคิด แม้จะทำให้ได้คำตอบที่ถูกต้อง แต่มีปัญหในเรื่องของการสื่อสารความคิด	แก้ปัญหได้โดยใช้วิธีการที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้ทางคณิตศาสตร์ สื่อสารความคิดได้อย่างเหมาะสม
คำสำคัญ	ขาดความรู้ ขาดความคิด ขาดนิสัย	มีความรู้ มีความคิด ขาดนิสัย	มีความคิด นิสัยดี ไม่มีความรู้	มีความคิด นิสัยดี มีความรู้

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

การวิจัยในครั้งนี้ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ซึ่งให้ความสำคัญกับองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ทักษะการคิดขั้นสูง กระบวนการแก้ปัญหา และความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แก้ปัญหา โดยมองว่าองค์ประกอบทั้งสามมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ส่งเสริมกันและกัน ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้แต่ละครั้งต้องกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เพื่อให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่กำหนด เพื่อพัฒนานิสัยการแก้ปัญหาตามกระบวนการของโพลยา และเพื่อพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง การพัฒนาองค์ประกอบทั้งสามสามารถทำไปพร้อมกันได้ โดยผ่านจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความเข้าใจซึ่งมีหลักการว่าความเข้าใจในทางคณิตศาสตร์เป็นมากกว่าการรับรู้ข้อเท็จจริงหรือสามารถทำตามขั้นตอนได้ แต่เป็นการคิดที่ยืดหยุ่นในการตัดสินใจว่าทำไมข้ออ้างหรือคำตอบทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดให้จึงถูกต้อง ทำให้กฎทางคณิตศาสตร์จึงสามารถรับได้ (Make Sense) ในการเรียนรู้เนื้อหาทางคณิตศาสตร์ให้เกิดความเข้าใจนักเรียนต้องเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองจากความรู้เดิมที่มีอยู่ และครูผู้สอนต้องออกแบบกิจกรรมจากพื้นฐานที่ว่านักเรียนมีความรู้อะไรที่เกี่ยวข้องอยู่แล้วและควรต้องให้นักเรียนเรียนรู้อะไรเพิ่ม จากนั้นจึงท้าทายและสนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบขั้นตอนในการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความเข้าใจซึ่งประกอบด้วย **ขั้นนำเสนอสถานการณ์** เป็นขั้นตอนที่ครูกำหนดสถานการณ์หรือชิ้นงานให้นักเรียนเป็นรายกลุ่มหรือรายบุคคล โดยชิ้นงานที่กำหนดต้องออกแบบให้เชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมของนักเรียนและความรู้ใหม่ที่กำลังจะเกิดขึ้น **ขั้นแก้ปัญหาด้วยตนเอง** เป็นขั้นตอนที่ให้เวลากับผู้เรียนในการหาข้อสรุปของชิ้นงาน **ขั้นนำเสนอและวิจารณ์แนวคิด** เป็นขั้นตอนที่เปิดโอกาสให้นักเรียนนำเสนอแนวคิดของตนเอง พร้อมทั้งให้เพื่อนร่วมชั้นวิจารณ์ โดยในขั้นตอนนี้บทบาทที่สำคัญของครูคือการพยายามกระตุ้นให้เกิดบรรยากาศของการอภิปรายแสดงความคิดเห็นให้เกิดขึ้น และเป็นผู้คอยสรุปแนวคิดที่นักเรียนนำเสนอหรือแสดงความคิดเห็นให้นักเรียนทั้งชั้นเข้าใจตรงกัน ขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะมีโอกาสในการพัฒนาการคิดขั้นสูงหรือการเข้าใจในกระบวนการรับรู้ภายในของตนเองซึ่งประกอบไปด้วย การวางแผนการนำเสนอเหตุผลของตนเอง การทำความเข้าใจและตรวจสอบความคิดของผู้อื่น และการใคร่ครวญเทียบเคียงและขัดเกลาความคิดของตน **ขั้นยอมรับความรู้ร่วมกัน** เป็นธรรมชาติของวิชาคณิตศาสตร์ที่ว่าข้อสรุปถูกต้องโดยเหตุผลที่น่าเชื่อถือ ดังนั้นในชั้นเรียนคณิตศาสตร์แนวคิดที่สมบูรณ์จะถูกยอมรับจากชั้นเรียน โดยครูอาจไม่จำเป็นต้องเป็นผู้ยืนยันความถูกต้องกล่าวซึ่งเรียกว่า Sociomathematical Norms ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนที่นักเรียนจะได้ความรู้บททางคณิตศาสตร์ร่วมกันตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ ดังภาพที่ 3



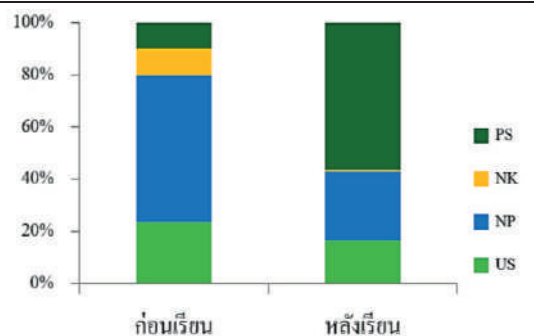
ภาพที่ 3 รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

ผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

จากกรอบแนวคิดในการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นข้างต้น ผู้วิจัยได้นำกรอบแนวคิดดังกล่าวมาใช้ในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ จากนั้นได้นำกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นไปใช้สอนจริงกับชั้นเรียนที่ผู้วิจัยจัดขึ้น ซึ่งผลจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยพฤติกรรมกรรมการแก้ปัญหาของนักเรียนเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนนักเรียนจำแนกตามพฤติกรรมกรรมการแก้ปัญหาก่อนและหลังเรียน

กลุ่ม/ ระดับชั้น	US		NP		NK		PS		รวม
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
ม.1	3	2	5	1 + 1 = 2	2	0	0	4 + 2 + 0 = 6	10
ม.2	2	2	7	0 + 3 = 3	0	0	1	4 + 0 + 1 = 5	10
ม.3	2	1	5	1 + 2 = 3	1	0	2	3 + 1 + 2 = 6	10
รวม	7	5	17	2 + 6 = 8	3	0	3	11 + 3 + 3 = 17	30
ร้อยละ	23.4	16.7	56.6	26.7	10.0	0.0	10.0	56.6	



ข้อมูลจากตารางที่ 3 ในภาพรวมจะพบว่าก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 80 มีพฤติกรรมกรรมการแก้ปัญหายู่ในกลุ่ม US และกลุ่ม NP ซึ่งเป็นกลุ่มของนักเรียนที่มีความอ่อนด้อยในเรื่องของทักษะการคิดขั้นสูงและกระบวนการแก้ปัญหา และมีนักเรียนส่วนน้อยคิดเป็นร้อยละ 20 มีพฤติกรรมกรรมการแก้ปัญหายู่ในกลุ่ม NK และกลุ่ม PS ซึ่งเป็นกลุ่มของนักเรียนที่มีจุดเด่นในเรื่องของทักษะการคิดขั้นสูงและกระบวนการแก้ปัญหา ในขณะที่หลังเรียนมีนักเรียนกลุ่ม US และกลุ่ม NP คิดเป็นร้อยละ 43.4 มีนักเรียนกลุ่ม PS รวมกันคิดเป็นร้อยละ 56.6 และไม่มีนักเรียนกลุ่ม NK และนั่นคือหลังเรียนมีนักเรียนที่มีความอ่อนด้อยในเรื่องของทักษะการคิดขั้นสูงและกระบวนการแก้ปัญหาลดลงในส่วนใกล้เคียงกันกับนักเรียนที่มีจุดเด่นในเรื่องของทักษะการคิดขั้นสูงและกระบวนการแก้ปัญหา เมื่อพิจารณาเป็นรายกลุ่มจากแผนภูมิแท่งจะเห็นว่า นักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกรรมการแก้ปัญหาย่างชัดเจนที่สุดคือนักเรียนกลุ่ม NP และกลุ่ม NK ส่วนนักเรียนกลุ่ม US จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่านักเรียนที่สามารถพัฒนาขึ้นเป็นนักเรียนกลุ่ม PS ซึ่งเป็นกลุ่มของนักแก้ปัญหาที่ดี ทั้งหมดมาจากกลุ่มของนักเรียนที่มีจุดอ่อนในเรื่องของกระบวนการแก้ปัญหและความรู้ทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 4 จำนวนนักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกรรมการแก้ปัญหาระหว่างก่อนและหลังเรียน

ก่อนเรียน → หลังเรียน	จำนวนนักเรียน
US → US	5
US → NP	2
NP → NP	6
NP → PS	11
NK → PS	3
PS → PS	3
รวม	30

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า **นักเรียนกลุ่ม US** พัฒนาขึ้นเป็นกลุ่ม **NP** จำนวน 2 คน อีก 5 คน ยังคงมีพฤติกรรมการแก้ปัญหาอยู่ในกลุ่มเดิม และไม่มีนักเรียนในกลุ่มนี้ที่พัฒนาขึ้นเป็นกลุ่ม **NK** และกลุ่ม **PS** **นักเรียนกลุ่ม NP** มีเพียง 6 คน ที่ยังคงมีพฤติกรรมการแก้ปัญหาอยู่ในกลุ่มเดิม ไม่มีนักเรียนที่พัฒนาขึ้นเป็นกลุ่ม **NK** และพัฒนาขึ้นเป็นกลุ่ม **PS** จำนวน 11 คน **นักเรียนกลุ่ม NK** ทุกคนพัฒนาขึ้นเป็นกลุ่ม **PS** **นักเรียนกลุ่ม PS** หลังเรียนมีนักเรียนที่เพิ่มขึ้นมาจากกลุ่ม **NP** จำนวน 11 คน และมาจากกลุ่ม **NK** จำนวน 3 คน และไม่มีนักเรียนจากกลุ่ม **US** ที่พัฒนาขึ้นเป็นนักเรียนในกลุ่มนี้

สรุปและอภิปรายผล

ผลจากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์มีนักเรียนที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน สาเหตุของความแตกต่างที่สำคัญที่สุดมาจากปัจจัยด้านทักษะการคิดขั้นสูง ซึ่งเป็นความสามารถในการทำความเข้าใจและจัดการกับกระบวนการรับรู้ของตัวเอง ทักษะดังกล่าวจะเกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของกระบวนการแก้ปัญหา นักเรียนที่ขาดทักษะการคิดขั้นสูงจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้เลย (นักเรียนกลุ่ม **US**) ส่วนนักเรียนที่มีโอกาสจะแก้ปัญหาได้คือนักเรียนที่มีทักษะการคิดขั้นสูงอยู่ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ทักษะการคิดขั้นสูงยังส่งผลโดยตรงต่อนิสัยในการแก้ปัญหานักเรียนตามกระบวนการแก้ปัญหของโพลยา กล่าวคือ นักเรียนที่มีจุดเด่นในเรื่องทักษะการคิดขั้นสูงจะสามารถจัดระบบข้อมูลจากความรู้ที่มีอยู่เพื่อทำความเข้าใจปัญหา การวางแผน และการประเมินความสมเหตุสมผลของกระบวนการทั้งหมด ในขณะที่นักเรียนซึ่งมีทักษะการคิดขั้นสูงในระดับที่ไม่เด่นชัดมากนักจะไม่มีนิสัยในการแก้ปัญหที่ดี ซึ่งส่วนใหญ่จะจะไม่มีการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของกระบวนการแก้ปัญหของตน (นักเรียนกลุ่ม **NP**) แต่ทั้งนี้แม้ว่าปัจจัยด้านทักษะการคิดขั้นสูงเป็นสิ่งจำเป็นแต่ก็ไม่เพียงพอ เพราะถ้ามีทักษะการคิดขั้นสูงแต่ขาดความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ก็อาจจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้หรือแก้ปัญหายังไม่มีประสิทธิภาพ (นักเรียนกลุ่ม **NK**) ดังนั้นการส่งเสริมให้นักเรียนเป็นนักแก้ปัญหาที่ดี (นักเรียนกลุ่ม **PS**) จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับองค์ประกอบทั้งสามส่วนคือ ทักษะการคิดขั้นสูง กระบวนการแก้ปัญหา และความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แก้ปัญหา ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิจัยของกูด [10] ที่พบว่านักเรียนที่แก้ปัญหาไม่สำเร็จจะใช้การคิดขั้นสูงในการตัดสินใจระหว่างกระบวนการแก้ปัญหาน้อยมาก แต่ในกรณีที่สามารถแก้ปัญหาได้พบว่านักเรียนจะใช้การคิดขั้นสูงในการตัดสินใจระหว่างกระบวนการแก้ปัญหา ในกลุ่มมีการทำทนายให้เกิดการคิดและการปฏิเสธแนวคิดที่ไม่เข้าประเด็น และนักเรียนมีความกระตือรือร้นที่จะช่วยการค้นหาวิธีการในการแก้ปัญหา นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยหลายชิ้นยืนยันว่าการคิดขั้นสูงคือองค์ประกอบสำคัญและส่งผลกระทบอย่างมากต่อกระบวนการแก้ปัญหา ความล้มเหลวในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากความอ่อนด้อยของทักษะการคิดขั้นสูง [1, 5-6, 11] ผลวิจัยในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของนักคณิตศาสตร์ศึกษาอีกหลายท่านที่ยืนยันว่า การแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์เป็นมากกว่าการเรียนรู้ขั้นตอนวิธีที่ตายตัว และความรู้เดิมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างมากเพราะความรู้เดิมของนักเรียนจะทำให้ให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจปัญหา และสามารถหากลวิธีในการแก้ปัญหาได้ [5-6, 12]

จากสาเหตุและความบกพร่องซึ่งเป็นอุปสรรคที่ทำให้ให้นักเรียนไม่สามารถแก้ปัญหาได้ที่พบจากการวิจัยในครั้งนี้ นำไปสู่การพัฒนาแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และเมื่อนำไปทดลองใช้กับนักเรียนพบว่า แบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ให้ความสำคัญกับองค์ประกอบ 3 ด้าน ได้แก่ ทักษะการคิดขั้นสูง กระบวนการแก้ปัญหา และความรู้ทางคณิตศาสตร์ ผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความเข้าใจ สามารถช่วยให้นักเรียนบางกลุ่มที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในครั้งนี้สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ได้ ซึ่งได้แก่นักเรียนกลุ่มที่เดิมมีทักษะการคิดขั้นสูงอยู่ในระดับหนึ่งแต่มีความอ่อนด้อยในด้านของกระบวนการแก้ปัญหา (นักเรียนกลุ่ม **NP**) และกลุ่มของนักเรียนที่เดิมมีจุดเด่นในด้านทักษะการคิดขั้นสูงแต่มีความอ่อนด้อยในเรื่องของความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา (นักเรียนกลุ่ม **NK**) ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้มีส่วนช่วยในการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงให้สมบูรณ์ขึ้นและส่งผลต่อเนื่องไปสู่การมีนิสัยการแก้ปัญหาที่ดีตามกระบวนการของโพลยา และกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแบบดังกล่าวยังสามารถช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี ผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับข้อเสนอของซอนฟิลด์ [6] ที่ได้นำเสนอองค์ประกอบเกี่ยวกับความรู้และพฤติกรรม 4 ลักษณะที่มีความสำคัญต่อการแก้ปัญหา ได้แก่ ความรู้ทางคณิตศาสตร์ กระบวนการหรือเทคนิคใน

แก้ปัญหา การคิดขั้นสูง และความเชื่อหรือเจตคติ โดยเขามีความเชื่อว่าการคิดขั้นสูงจะมีความสำคัญอย่างมากในขั้นเริ่มต้นที่นักเรียนต้องทำความเข้าใจปัญหาและในขั้นสุดท้ายที่นักเรียนต้องประเมินความเหมาะสมของคำตอบของกระบวนการแก้ปัญหา และสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของโพลยา [13] ที่แนะนำว่าการเรียนรู้คณิตศาสตร์ของนักเรียนมีผลโดยตรงมาจากครู นักเรียนจะเรียนรู้เพียงการท่องจำวิธีการหรือเรียนรู้การใช้งานคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาก็ขึ้นอยู่กับว่าครูให้ความรู้กับเขาอย่างไร ถ้าครูใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการเน้นให้เด็กฝึกทำตามขั้นตอนวิธีที่เท่ากับการจัดวางพัฒนาการทางสติปัญญา แต่ถ้าครูได้ทำทบทวนความเข้าใจของนักเรียน โดยการมอบปัญหาที่เหมาะสมกับความรู้ของนักเรียน และช่วยตั้งคำถามที่นำไปสู่การทดสอบที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหานั้นได้ ก็เท่ากับการพัฒนาทักษะการคิดอย่างอิสระ ทักษะการแก้ปัญหาไม่สามารถเรียนรู้ได้อย่างเป็นอัตโนมัติแต่จะต้องเป็นการปลูกฝังผ่านการฝึกหัดประสบการณ์ ถ้าปราศจากโอกาสในการฝึกแก้ปัญหาที่เหมาะสมก็ไม่มีทางที่นักเรียนจะเป็นนักแก้ปัญหาก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามผลการวิจัยอีกส่วนหนึ่งพบว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ไม่สามารถใช้ได้ผลกับกลุ่มของนักเรียนที่เดิมมีจุดอ่อนอย่างมากในเรื่องของทักษะการคิดขั้นสูง (นักเรียนกลุ่ม US) ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากทักษะการคิดขั้นสูงเป็นความสามารถที่เป็นผลมาจากประสบการณ์การเรียนรู้ที่ผ่านมา ซึ่งต้องใช้เวลาในการค่อย ๆ ส่งเสริมผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม ดังนั้นในระยะเวลาอันสั้นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้จึงใช้ไม่ได้ผลกับนักเรียนกลุ่มนี้ ดังคำกล่าวของเชอสตัน [14] ที่กล่าวว่า “คณิตศาสตร์ไม่ใช่ต้นปาล์มที่มีลำต้นเดี่ยวสูงยาวและปกคลุมไปด้วยทางใบที่แยกจากกัน แต่มันคือต้นไทรที่เต็มไปด้วยลำต้นและกิ่งก้านจำนวนมากที่เชื่อมต่อกันและกัน และเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ เหมือนป่าดงดิบ เชิญชวนให้เราเข้าไปปีนป่ายและสำรวจ”

เอกสารอ้างอิง

- [1]Siripom Tiphong. (1993). **Theory and Teaching Method in Mathematics**. Bangkok: Faculty of Education, Kasetsart University.
- [2]The institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). **Professional Math Teacher**. Bangkok: 3-Q Media.
- [3]Flavell, J.H. (1979). “Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive Developmental Inquiry”, **American Psychologist**. 34, 906-911.
- [4]Lesh, R. and Akerstrom, M. (1982). “Applied Problem Solving”. In **Mathematical Problem Solving: Issues in Research**. Edited by F.K. Lester and J. Garofalo. 55-85. Philadelphia: The Franklin Institute
- [5]Silver, E.A. (1982). “Knowledge Organization and Mathematical Problem Solving”, In **Mathematical Problem Solving: Issues in Research**. Edited by F.K. Lester and J. Garofalo. 20-22. Philadelphia: The Franklin Institute.
- [6]Schoenfeld, A.H. (1992). “Learning to Think Mathematically: Problem Solving, Metacognition, and Sense Making in Mathematics”, In **Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning**. Reston. VA: NCTM.
- [7]Glaserfeld, E. (1989). “Constructivism in Education”, In **The International on Encyclopedia of Education**. Edited by T. Husen and T.N. Postlethwaite. 162-163. New York: Pergomman.
- [8]Polya, G. (1957). **How to Solve It**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- [9]Piaget, J. (1964). “Development and Learning”, **Journal of Research in Science Teaching**. 2, 176-180.
- [10]Goos, M. (2002). “Understanding Metacognitive Failure”, **Journal of Mathematical Behavior**. 21(3), 283-302.
- [11]Wilson, J.W., Fernandez, M.L. and Hadaway, N. (1993). “Mathematical Problem Solving”, In **Research Ideas for the Classroom: High School Mathematics**. New York: Macmillan Publish Company.
- [12]Mayer, R.E. (1982). “The Psychology of Mathematical Problem Solving”, In **Mathematical Problem Solving: Issues in Research**. Edited by F.K. Lester and J. Garofalo. 1-13. Philadelphia: The Franklin Institute.
- [13]Polya, G. (1945). **How to Solve It**. New York: Doubleday & Co.
- [14]Thurston, W.P. (1990). “Letter from the Editor”, **Quantum**. January 1(1), 6-7.

การพัฒนาออนโทโลยีด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง

Ontology Development for Intangible Cultural Heritage and Folk Wisdom of Phatthalung Province

สิริยา สิทธีสาร^{1*}, นพมาศ ปักเข็ม¹ และอาจารย์ นาโค²

Siraya Sitthisarn^{1*}, Noppamas Pukkhem¹ and Ajaree Naco²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง สำหรับใช้เป็นฐานคำศัพท์ในการให้คำอธิบายเชิงความหมายเอกสารด้านวัฒนธรรมและเพื่อสนับสนุนการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลทางวัฒนธรรมในมิติที่หลากหลาย ในการออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีอาศัยหลักวิศวกรรมความรู้ของ Noy และ McGuinness ผู้วิจัยได้แบ่ง Concept ต่างๆ ในออนโทโลยีออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ (1) Concept ที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมประเภทผสมผสาน (2) Concept ด้านวัฒนธรรมที่อาศัยภาษาเป็นสื่อ (3) Concept ภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรมที่ไม่อาศัยภาษาเป็นสื่อ ออนโทโลยีที่ออกแบบถูกแทนในรูปแบบภาษา OWL (Web Ontology Language) สำหรับการประเมินโครงสร้างของออนโทโลยีโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าออนโทโลยีมีโครงสร้างเหมาะสมในระดับดีมาก การประเมินประสิทธิภาพการสืบค้นของออนโทโลยีพบว่ามีระดับของค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) ในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำเท่ากับ 0.92 และค่าเฉลี่ยความระลึกเท่ากับ 0.95

คำสำคัญ: ออนโทโลยี โมเดลความรู้ ศิลปวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น

Abstract

This research paper aims to design and develop the ontology in the domain of intangible cultural heritage and folk wisdom of Phatthalung Province. The ontology will be used as the corpus for the cultural document annotation. This enables linked cultural information in various dimensions. The Ontology design and development were based on Noy and McGuinness's knowledge engineering methodology. Our ontology consists of 3 groups of concepts: (1) mixed culture, (2) culture based on language, and (3) folk wisdom and culture based on language independence. The ontology was encoded in OWL format (Web Ontology Language). For ontology structure evaluation, experts identified that the ontology's structure has very high rate of suitability. Result of search effectiveness evaluation shows that the ontology achieves high rates of precision and recall. The average precision is 0.92 and the average recall is 0.95.

Keywords: Ontology, Knowledge Model, Cultural Heritage, Folk Wisdom

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Lecturer, Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

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

บทนำ

มรดกศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เป็นนามธรรม (Intangible Culture Heritage) เป็นข้อมูลที่ถ่ายทอดจากคนรุ่นก่อนผ่านธรรมเนียมปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรม ประเพณี การแสดงพื้นบ้าน ภาษา และงานฝีมือต่างๆ ข้อมูลเหล่านี้มีการบันทึกในรูปแบบเอกสารที่เป็นบทความ หนังสือ ภาพถ่าย การสัมภาษณ์ วิดีโอ ซึ่งล้วนเป็นข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Format) หากที่แอปพลิเคชันต่างๆ จะเข้าใจความหมายและบริบทของเนื้อหา ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสืบค้นมีขีดจำกัด เนื่องจากแอปพลิเคชันไม่อาจจะสืบค้นข้อมูลได้ตรงกับความหมายของคำค้น นอกจากนี้การรวมกันของข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่างๆ และการนำข้อมูลมาใช้ใหม่ไม่สามารถทำได้อย่างอัตโนมัติ [1]

เทคโนโลยีเว็บเชิงความหมายได้ถูกนำมาเพื่อแก้ปัญหาการจัดการสารสนเทศมรดกทางศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยการเพิ่มส่วนความหมายหรือส่วนการอธิบายลงในเอกสารใดๆ แล้วแสดงให้อยู่ในรูปแบบที่แอปพลิเคชันสามารถเข้าใจได้ เช่นรูปแบบ RDF/XML [2] JSON-LD [3] เป็นต้น โดยเมตาดาต้าที่ใช้อธิบายข้อมูลนั้นจะสัมพันธ์กับองค์ประกอบและโครงสร้างของออนโทโลยีซึ่งถือว่าเป็นโมเดลความรู้ในโดเมนนั้นๆ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาออนโทโลยีด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง สำหรับใช้เป็นฐานคำศัพท์ในการให้คำอธิบายเชิงความหมายเอกสารด้านวัฒนธรรมและเพื่อสนับสนุนการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลทางวัฒนธรรมในมิติที่หลากหลายซึ่งสามารถใช้ในแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะทบทวนออนโทโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้ด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น ได้แก่ Corda [4] ได้ออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีประวัติศาสตร์ของวงการวิทยาศาสตร์ โดยเน้นในการสร้างโมเดลความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ในประวัติศาสตร์ผ่านวัตถุในพีชคณิตวิทยาศาสตร์ในแต่ละช่วงเวลา เมื่อมีการอนุมานออนโทโลยีนี้สามารถขยายภาพเหตุการณ์สำคัญและนวัตกรรมในแต่ละยุคของวงการวิทยาศาสตร์ได้ Hernandez, *et al.* [5] ได้ทำการสร้างออนโทโลยีมรดกทางวัฒนธรรมสำหรับเมือง Cantabria ในประเทศสเปน พวกเขาได้นำ Concept หลักมาจากออนโทโลยีพื้นฐาน (Foundation Ontology) เช่น Dublin Core และ FRBRoo มาใช้ใหม่ จากนั้นได้ทำการพัฒนา Concept และ Relation ต่างๆ เพิ่มเติม โดยมีขอบเขตครอบคลุม Concept ด้านสถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ วัตถุโบราณ ภาพถ่าย เป็นต้น Blanchard and Mizoguchi ได้นำเสนอการออกแบบออนโทโลยีทางวัฒนธรรมบนออนโทโลยีพื้นฐาน ได้แก่ BFO, DOLCE และ SUMO จากนั้นทำการออกแบบ Concept และ Relation ที่มีความจำเพาะกับขอบเขตของงานเพิ่มเติม ซึ่ง Concept หลักๆ ได้แก่ประวัติศาสตร์ ชุมชน วัฒนธรรม และเหตุการณ์ เป็นต้น [6]

สำหรับออนโทโลยีด้านศิลปวัฒนธรรมที่พัฒนาโดยนักวิจัยไทย ได้แก่ งานวิจัยของปราโมทย์ สิทธิจักร และ วิไลวรรณ แสนชนะ [7] ได้พัฒนาต้นแบบออนโทโลยีเพื่อจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นเรื่องดนตรีมโนคลึงในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งออนโทโลยีดังกล่าวเน้นการจัดลำดับชั้นของ Concept แต่ไม่มีการระบุความสัมพันธ์ระหว่าง Concept หลัก วีระพงษ์ จันสนาม และคณะ [8] ได้พัฒนาออนโทโลยีด้านความเชื่อทางวัฒนธรรมผ่านกรณีศึกษาความเชื่อในบริเวณลุ่มน้ำโขงของไทย นอกจากนี้ยังมีงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาออนโทโลยีนิทานพื้นบ้านโดย กุลธิดา ท้วมสุข และคณะ [9] ที่เน้นจัดพจนานุกรมนิทานคำศัพท์ด้านนิทานพื้นบ้านจากแถบลุ่มแม่น้ำโขง

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าออนโทโลยีที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย [7-9] จะเป็นออนโทโลยีแบบ Lightweight Ontology ที่เน้นการจัดอนุกรมวิธานคำศัพท์แต่ไม่เน้นการเชื่อมโยงกันระหว่าง Concept ซึ่งจะต่างจากออนโทโลยีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ที่การออกแบบจะเน้นในเรื่องการโมเดลความสัมพันธ์ระหว่าง Concept เป็นหลักเช่นเดียวกับ [4-6] การออกแบบที่เน้นการโมเดลความสัมพันธ์ทำให้ผู้ใช้สามารถเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางวัฒนธรรมต่างๆสัมพันธ์กันอย่างไร โดยสามารถแสดงในรูปแบบเส้นทางความสัมพันธ์ที่ให้ความรู้แก่

ผู้ใช้ในหลายมิติ ขณะที่ Lightweight Ontology นั้นจะแสดงคุณสมบัติ (Data Property) ขององค์ประกอบทางวัฒนธรรมที่สนใจและการเป็น Subconcept หรือการอยู่ภายใต้บังคับประกอบใดเป็นลำดับขั้นเท่านั้น

การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้หลักการวิจัยเชิงพัฒนาโดยดำเนินการตามหลักวิศวกรรมความรู้ในแนวทางของ Noy and McGuinness [10] แต่เนื่องจากแนวทางดังกล่าวยังมีจุดอ่อนในส่วนของการทดสอบและประเมินผลออนโทโลยี ดังนั้นผู้วิจัยได้ผสมผสานแนวทางนี้ร่วมกับแนวทางของ Yun *et al.* [11] ที่เน้นการทดสอบและประเมินผลความถูกต้องของออนโทโลยีด้วย รายละเอียดของการพัฒนามีดังต่อไปนี้

1. การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของออนโทโลยี

การพัฒนาออนโทโลยีด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้เป็นแม่แบบในการอธิบายข้อมูลด้านศิลปวัฒนธรรมเชิงความหมาย ซึ่งจะทำให้เกิดฐานความรู้เชิงความหมายที่มีการเชื่อมโยงข้อมูลในหลายมิติ อันจะนำไปใช้ในระบบแหล่งรวมสารสนเทศเชิงความหมายสำหรับการเรียนรู้ศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงและแอปพลิเคชันอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป

ขอบเขตของออนโทโลยีจะครอบคลุมประเด็นสำคัญ คือ ศิลปะการแสดง ประเพณี ความเชื่อพิธีกรรม วรรณกรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่นและหัตถกรรม โดยจะใช้กลุ่มคำถามพื้นฐาน (Competency Question) เป็นเครื่องมือช่วยในการกำหนดขอบเขต งานวิจัยนี้เราใช้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นนักวิชาการด้านวัฒนธรรมภาคใต้เป็นผู้ตรวจสอบคำถาม ตัวอย่างคำถามได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำถามพื้นฐานสำหรับกำหนดขอบเขตของออนโทโลยี

ลำดับที่	คำถามพื้นฐาน
1.	มีตำนานใดบ้างที่เล่าถึงที่มาของการแสดงโนรา
2.	ภูมิปัญญาการถนอมอาหารของชาวพัทลุง
3.	งานเทศกาลแข่งขันใดเกี่ยวข้องกับงานชักพระของจังหวัดพัทลุง
4.	ประเพณีงานเดือนสิบจัดขึ้นในช่วงเวลาใดของปี

2. พิจารณานำออนโทโลยีที่มีอยู่เดิมกลับมาใช้ใหม่

จากการทบทวนออนโทโลยีที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำออนโทโลยีพื้นฐาน เช่น Dublin Core มาใช้ใหม่เพื่ออธิบายเอกสารและวัตถุด้านวัฒนธรรม และได้ทำการออกแบบ Concept และ Relation ที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรม วัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นภาคใต้เพิ่มเติม โดยมุ่งเน้นการอธิบายข้อมูลด้านประเพณี วัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ส่วนใหญ่เป็น Tacit Knowledge ที่ชาวบ้านมีการสืบทอดตามแนวปฏิบัติจากรุ่นสู่รุ่น

3. การรวบรวมองค์ความรู้

ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมเอกสาร หนังสือที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลด้านศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อเป็นแหล่งความรู้สำหรับการออกแบบและพัฒนาออนโทโลยี ตัวอย่างเอกสารและหนังสือที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เว็บไซต์มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรม [12] วัฒนธรรมพื้นบ้าน [13] เป็นต้น

4. การจัดจำแนกกลุ่มคำศัพท์

ขั้นตอนนี้เป็นการนำกลุ่มคำศัพท์ที่ปรากฏในแหล่งความรู้ที่รวบรวมได้จากขั้นตอนที่ 3 มาระบุว่าควรเป็นคำศัพท์ในกลุ่มออนโทโลยีเอนทิตี (Ontology Entity) ไດ เอนทิตีที่พิจารณาประกอบด้วย Concept, Relation และ

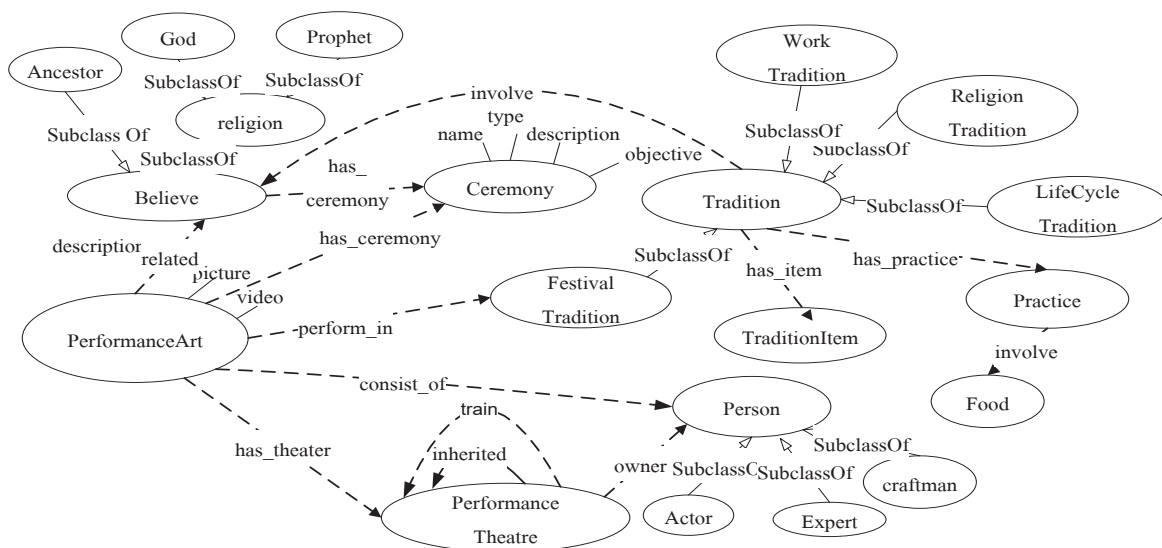
Data Property เป็นต้น หลังจากนั้นก็จะทำการออกแบบ Hierarchical Concept เพื่อจัดหมวดหมู่ของ Concept และทำการออกแบบ Sub relation เพื่อสนับสนุนการอนุมานในออนโทโลยี

5. การออกแบบออนโทโลยี

จากกระบวนการจัดจำแนกกลุ่มคำศัพท์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบออนโทโลยีโดยแบ่ง Concept และ Relation ต่างๆ ในออนโทโลยีออกเป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

5.1 กลุ่ม Concept ที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมประเภทผสมผสาน

Concept ของออนโทโลยีกลุ่มนี้แสดงในภาพที่ 1 ประเพณี (Concept: Tradition) เป็น Concept หลักในกลุ่มนี้ โดย Subconcept ของประเพณีประกอบด้วย (i) Subconcept: Religion Tradition ซึ่งแทนประเพณีที่เกี่ยวข้องกับศาสนา (ii) Subconcept: Festival Tradition แทนประเพณีที่เกี่ยวข้องกับงานเทศกาล (iii) Subconcept: Work Tradition แทนประเพณีที่เกี่ยวข้องกับอาชีพ และ (iv) Subconcept: Life Cycle Tradition จะแทนประเพณีที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิต



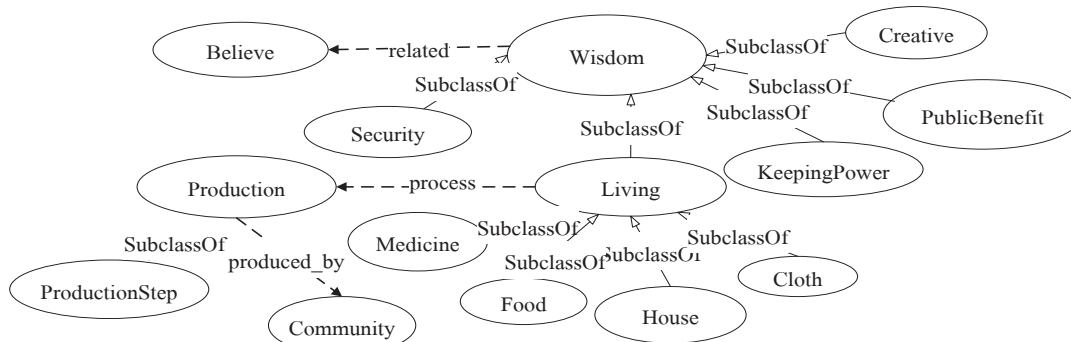
ภาพที่ 1 กลุ่ม Concept ที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมประเภทผสมผสาน

โดย Concept: Tradition จะมีความสัมพันธ์กับ Concept: TraditionItem ผ่าน Relation:has_item ซึ่ง Concept: TraditionItem จะใช้อธิบายวัตถุต่างๆ ในงานประเพณีเช่น เรือพระ (ในงานประเพณีชักพระ) และผ้าพระบฏ (ในงานประเพณีแห่ผ้าขึ้นธาตุ) เป็นต้น ประเพณียังเกี่ยวข้องกับแนวปฏิบัติซึ่งแทนด้วย Concept: Practice ซึ่งจะสัมพันธ์กันผ่าน Relation:has_practice เช่น ในประเพณีงานเดือนสิบก็มีแนวปฏิบัติที่สืบทอดกันมา เช่น การรับส่งตายาย และการชิงเปรต เป็นต้น นอกจากนี้ในประเพณีที่เกี่ยวข้องกับเทศกาลก็จะมีหรรสพ (Concept: PerformanceArt) มาละเล่นในงานประเพณียังมีความเกี่ยวข้องกับความเชื่อ (Concept: Believe) เนื่องจากประเพณีส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับความเชื่อด้านศาสนาและบรรพบุรุษ

5.2 กลุ่ม Concept ที่เกี่ยวข้องกับภูมิปัญญาและวัฒนธรรมที่ไม่อาศัยภาษาเป็นสื่อ

ภูมิปัญญาเป็นความรู้ ความคิด ความสามารถในการดำรงชีวิต รวมทั้งการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและบริบททางสังคม ดังนั้นเราจะเห็นว่าภูมิปัญญาส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับอาหาร ความเป็นอยู่ ความเชื่อของผู้คนในสังคม จากภาพที่ 2 เราจะแทนภูมิปัญญาด้วย Concept: Wisdom ซึ่งประกอบด้วย Subconcept ต่างๆ เช่น ภูมิปัญญาเพื่อการยังชีพ ภูมิปัญญาเกี่ยวกับการพิทักษ์ชีวิตและทรัพย์สิน เป็นต้น โดย Concept: Living แทนภูมิปัญญาเพื่อการยังชีพ ที่อธิบายวิถีการดำรงชีวิตที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยสี่จึงสามารถแบ่ง Subconcept ได้เป็น ที่อยู่อาศัย อาหาร เครื่องนุ่งห่ม และคำหยาบ ขำขัน ในส่วนปัจจัยสี่เหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการวิธีการในการผลิตไม่ว่าจะเป็นวิธีการทำอาหาร การทอผ้า

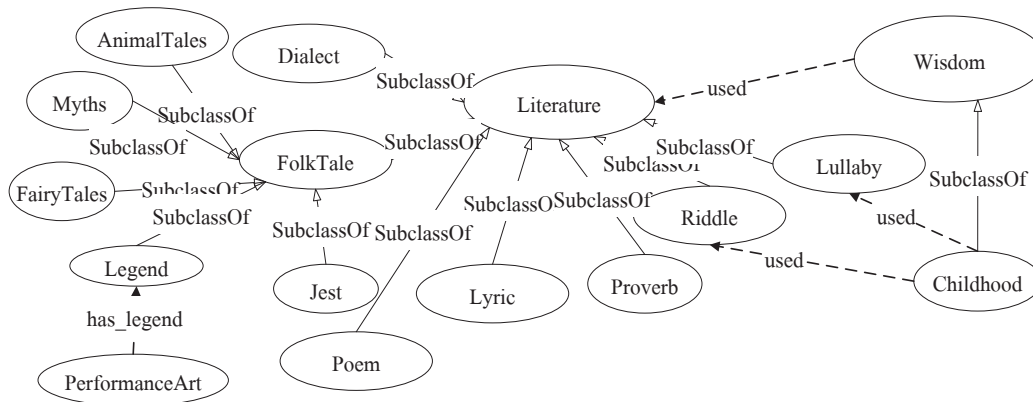
การสร้างบ้าน หรือการเตรียมสมุนไพร ดังนั้น Concept: Living จึงมีความสัมพันธ์ด้านการผลิต (Relation: Process) กับ Concept: Production ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการใช้วัตถุดิบและเครื่องมือในการผลิต Concept: Production ยังประกอบด้วย Subconcept: Production Step ที่แทนกระบวนการขั้นตอนวิธีในการผลิต โดยการผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับชุมชนที่ปัจจุบันเป็นผู้ผลิตหลักหรือชุมชนที่เป็นต้นกำเนิดของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของออนไลน์ที่เกี่ยวข้องกับภูมิปัญญา

5.3 กลุ่ม Concept ที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมที่ต้องอาศัยภาษาเป็นสื่อ

วัฒนธรรมในกลุ่มนี้จะเกี่ยวข้องกับการใช้ภาษาเป็นสื่อในการนำเสนอและถ่ายทอด จากภาพที่ 3 เรากำหนดให้ Concept: Literature แทนวรรณกรรมพื้นบ้านซึ่งเป็นแนวคิดหลักของกลุ่มนี้ โดยวรรณกรรมพื้นบ้านจะประกอบด้วย Subconcept: Dialect ซึ่งแทนภาษาพื้นเมืองภาคใต้ (2) Subconcept: Folk Tale แทนนิทานพื้นบ้านที่มักเล่าเรื่องและตำนานที่เล่าสืบกันมา (3) Subconcept: Proverb ภาษิตสอนใจ (4) Subconcept: Riddle คือปริศนาคำทายที่ใช้ฝึกสมองประลองปัญญามักใช้เป็นเครื่องเล่นสำหรับเด็ก (5) Subconcept: Lullaby ที่ใช้แทนเพลงกล่อมเด็ก (6) Subconcept: Lyric เนื้อเพลง (7) Subconcept: Poem แทนกลอนที่เป็นภูมิปัญญาสร้างสรรค์พิเศษ เช่น วรรณกรรมสรรพลีหวน (คำกลอนที่นำศิลปะการพวนคำมาใช้ตลอดทั้งเรื่อง) ในส่วนของนิทานพื้นบ้านจะประกอบด้วยตำนาน (Concept: Legend) ซึ่งในการแสดงพื้นบ้านหลายๆ อย่างเช่น โนรา ก็มีการเกี่ยวข้องกับตำนานโนราหลายตำนาน ดังนั้นจึงโมเดลให้ Concept: Performance Art สัมพันธ์กับ Concept: Legend ผ่าน Relation: Has_legend วัฒนธรรมที่ใช้ภาษาเป็นสื่อยังเกี่ยวข้องกับใกล้ชิดกับภูมิปัญญาเช่นกัน โดยเฉพาะในส่วนของภูมิปัญญาที่เกี่ยวข้องกับภูมิปัญญาการดูแลเด็กก็ยังเกี่ยวข้องกับ Concept: Riddle ปริศนาคำทาย และ Concept: Lullaby เพลงกล่อมเด็ก เป็นต้น



ภาพที่ 3 กลุ่ม Concept ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ภาษาเป็นสื่อในการนำเสนอ

6. ขั้นตอนการสร้างออนโทโลยี

ในขั้นตอนนี้จะนำออนโทโลยีเชิงแนวคิด (Conceptual Ontology) ที่ได้ออกแบบไว้มาพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Protégé ผลลัพธ์ที่ได้คือออนโทโลยีระดับ Logical ในรูปแบบ OWL File [15] จึงเปลี่ยนจากคำว่า Concept เป็น Class และเรียกความสัมพันธ์ระหว่าง Class ว่า Object property และเรียกคุณสมบัติที่ใช้อธิบาย Class ว่า Data property ตาม Syntax ของภาษา OWL ที่อยู่บนฐานของ RDF/XML

การทดสอบและอภิปรายผล

การประเมินออนโทโลยีจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) การประเมินโครงสร้างออนโทโลยี ซึ่งจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์กราฟและประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ และ (2) การประเมินประสิทธิภาพการค้นคืนข้อมูล รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การประเมินโครงสร้างของออนโทโลยี

1.1 การประเมินโครงสร้างโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์กราฟ

จากการวิเคราะห์กราฟพบว่าออนโทโลยีประกอบด้วย Class จำนวน 69 ตัว Object Property 30 ตัว Data Property 17 ตัว และ Individual จำนวน 1050 ตัว โดยเอนทิตีเหล่านี้สามารถเพิ่มจำนวนมากขึ้นตามวิวัฒนาการของออนโทโลยี ในส่วนความลึกของ Subsumption พบว่ามี Superclass จำนวน 10 Class ที่ประกอบไปด้วย Subclass ในหลายระดับ โดยความลึกมากที่สุดอยู่ที่ 4 ระดับ โดยเฉลี่ยมีความลึกที่ 2 ระดับ ค่าสัดส่วนระหว่าง Class และ Object Property มีค่าเท่ากับ $30/69 = 0.43$ และ ค่าสัดส่วนระหว่าง Class และ Data property มีค่าเท่ากับ $17/69 = 0.25$ สถิตินี้แสดงให้เห็นว่า Class ต่างๆ ในออนโทโลยีมีความสัมพันธ์กันซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการอธิบายข้อมูลด้านศิลปวัฒนธรรมจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลผ่านเทคนิคการล่องกราฟข้อมูลเชิงความหมาย

1.2 การประเมินโครงสร้างโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินออนโทโลยีนี้จะใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุง 2 ท่านและผู้เชี่ยวชาญด้านออนโทโลยี 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้ถูกขอให้พิจารณาออนโทโลยีและตอบแบบสอบถาม จากนั้นผู้วิจัยได้นำผลมาวิเคราะห์ ซึ่งผลการประเมินสรุปไว้ในตารางที่ 2 เราพบว่าโครงสร้างมีความเหมาะสมในภาพรวมในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56

ตารางที่ 2 ผลการประเมินโครงสร้างออนโทโลยีโดยผู้เชี่ยวชาญ

เกณฑ์การประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ความหมาย (ระดับ)
การระบุขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการพัฒนา	5.00	ดีมาก
การกำหนด Class	4.67	ดีมาก
การกำหนดคุณสมบัติของ Class (Data Properties)	4.67	ดีมาก
การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง class (Object Properties)	4.33	ดีมาก
การสร้าง Instance ของ Class	4.00	ดี
การประยุกต์ใช้และการพัฒนาโครงสร้างออนโทโลยีในอนาคต	4.67	ดีมาก
รวม	4.56	ดีมาก

2. การประเมินออนโทโลยีด้านประสิทธิภาพการค้นคืน

ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) ในการประเมินประสิทธิภาพการค้นคืนข้อมูลของออนโทโลยี โดยค่าความแม่นยำ = $(|Ra|)/(|A|)$, ค่าระลึก = $(|Ra|)/(|R|)$ เมื่อ $|R|$ คือจำนวนเอกสารทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง $|A|$ คือจำนวนเอกสารที่ถูกค้นคืนได้ $|Ra|$ เอกสารที่ค้นคืนได้และเกี่ยวข้อง ในการประเมินจะใช้คำถามพื้นฐาน

จำนวน 50 ข้อ คำถามเหล่านี้ได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญด้านศิลปวัฒนธรรมว่าเหมาะสมไม่เอนเอียง โดยผู้ประเมินจะสร้าง SPARQL Query [16] ที่สอดคล้องกับคำถาม ดังตัวอย่างในภาพที่ 4 จากนั้นผลการสืบค้นแต่ละข้อจะถูกนำมาคำนวณค่าความแม่นยำและค่าความระลึก เมื่อสืบค้นครบทุกข้อก็นำค่าเหล่านี้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

คำถามที่ 1: มีตำนานใดบ้างที่เล่าถึงที่มาของการแสดงโนรา <pre>PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX culture:<http://www.semanticweb.org/cultural/heritage/phanthalung#> SELECT DISTINCT ?z where { ?x rdf:type culture:FolkPerformance. ?x culture:name ?Lit0 FILTER regex(?Lit0, "โนรา","เ"). ?x culture:has_legend ?y. ?y culture:story_by ?z. }</pre>	ขุนอุปถัมภ์นราคร (โนราฟุ่มเหว) สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ กรมพระยาดำรงราชานุภาพ โนราวัด จันทร์เรื่อ BUILD SUCCESSFUL (total time: 2 seconds)
คำถามที่ 2: เครื่องดนตรีชนิดใดบ้างที่ใช้ในการแสดงโนรา <pre>PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX culture:<http://www.semanticweb.org/cultural/heritage/phanthalung#> SELECT DISTINCT ?msName where { ?x rdf:type culture:FolkPerformance. ?x culture:name ?Lit0 FILTER regex(?Lit0, "โนรา","เ"). ?x culture:has_music ?y. ?y culture:has_musicInstrument ?z. ?z culture:name ?msName }</pre>	แตร ฉิ่ง ปี่ ทับ กลอง โหม่ง BUILD SUCCESSFUL (total time: 2 seconds)

ภาพที่ 4 ตัวอย่างคำถามและSPARQL query ที่เกี่ยวข้อง

ผลจากการประเมินพบว่าค่าความแม่นยำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 ค่าเฉลี่ยความระลึกมีค่าเท่ากับ 0.95 ดังนั้นจึงสรุปว่าประสิทธิภาพการค้นคืนข้อมูลของออนโทโลยีอยู่ในระดับดีมาก และมีความเหมาะสมจะนำไปใช้ในแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับการสืบค้นข้อมูลทางวัฒนธรรมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงได้ดำเนินการตามหลักวิศวกรรมความรู้ตามแนวทางของ Noy และ McGuinness ออนโทโลยีที่ออกแบบนั้นถูกแทนในรูปแบบภาษา OWL (Web Ontology Language) ซึ่งผลการประเมินพบว่าออนโทโลยีมีโครงสร้างที่เหมาะสมในระดับดีมาก และมีประสิทธิภาพด้านการสืบค้นข้อมูลในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำและค่าเฉลี่ยความระลึกอยู่ที่ 0.92 และ 0.95 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปว่าออนโทโลยีมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับศิลปวัฒนธรรม โดยงานในอนาคตจะนำออนโทโลยีไปใช้ในระบบให้คำอธิบายเชิงความหมายและระบบแหล่งรวมสารสนเทศเชิงความหมายสำหรับการเรียนรู้ศิลปวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดพัทลุงต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
สัญญาเลขที่ R01-181477

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hyvonen, E. (2012). **Publishing and Using Cultural Heritage Linked Data on the Semantic Web**. Morgan & Claypool.
- [2] Manola, F. and Miller, E. (2004). **RDF Primer** (Online). Retrieved 5 May 2015, from <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-concepts-20040210/>.
- [3] Sporny, M., Longley, D., Kellogg, G., Lanthaler, M. and Lindetrom, N. (2014). **JSON-LD 1.0 A JSON-based Serialization for Linked Data** (Online). Retrieved 7 May 2016, from <https://www.w3.org/TR/json-ld/>.
- [4] Corda, I. (2007). **Ontology-based Representation and Reasoning about the History of Science**. Master Degree Dissertation, University of Leeds.
- [5] Hernandez, F., Rodrigo, L., Contreras, J., Carbone, F. and Botin, F. M. (2008). “Building a Cultural Heritage Ontology for Cantabria”, In **2008 Annual Conference of CIDOC**. Athens, Greece.
- [6] Blanchard, E.G. and Mizoguchi, R. (2008). “Design Culturally-Aware Tutoring Systems: Towards an Upper Ontology of Culture”, In **Culturally-Aware Tutoring System (CATS’2008)**. Montreal, Canada.
- [7] Sitthijug, P. and Sanchana, V. (2010). **The Development Ontology Prototype for Wisdom Management of Mungkala Music in the Lower Northern Area**. Faculty of Science and Technology, Pitsanulok University.
- [8] Chansanam, Wirapong Tuamsuk, K., Kwiecien, K., Ruangrajitpakorn, T. and Supnithi, T. (2014). “Development of the Belief Culture Ontology and Its Application: Case Study of the Greater Mekong Subregion”, In **The 4th Joint International Semantic Technology Conference (JIST2014)**. Changmai, Thailand.
- [9] Tuamsuk, K., Kaewboonma, N., Chansanam, W. and Leopenwong, S. (2016). Taxonomy of Folktales from the Greater Mekong Sub-region. **Knowledge Organization**. 43(6), 431–440.
- [10] Noy, N. and McGuinness, D. (2000). **Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology**. Technical Report SMI-2001-0880.
- [11] Yun, H., Xu, J., Wei, M. and Xiong, J. (2009). “Development of Domain Ontology for E-learning Course”, In **2009 IEEE International Symposium on IT in Medicine & Education**. Jinan, China.
- [12] Cultural Education Institue, Department of cultural promotion. (2016). **Intangible Cultural Heritage** (Online). Retrieved 20 May 2016, from <http://ich.culture.go.th/>.
- [13] Srisudjung, S. (2002). **Southen Wisdom**. Institue of Southen Thai Study Thaksin University.
- [14] Pongpiboon, S. (1982). **Folk Culture**. Institue of Southen Thai Study Thaksin University.
- [15] McGuinness, D. L. and Harmelen, F. Van. (2004). **OWL Web Ontology Language Overview** (Online). Retrieved 20 June 2016, from <https://www.w3.org/TR/owl-features/>.
- [16] Prud’hommeaux, E. and Seaborne, A. (2008). **SPARQL Query Language for RDF** (Online). Retrieved 4 March 2015, from <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.

โปรแกรมต้นแบบของแอปพลิเคชันบริการข้อมูลจอดรถตามตำแหน่งของผู้ใช้

กรณีศึกษา: จังหวัดภูเก็ต

A Prototype of Location-Based Garage Information Service Application

Case Study: Phuket Province

ธนวิทย์ พันธุ์ลาด¹ มะลิวัลย์ เหมสาลามาด¹ อรยา ปรีชาพานิช^{2*} และสุดา เขียวมนตรี²
Tanawit Panchalad¹, Maliwan Hamsalamad¹, Oraya Preechapanich^{2*} and Suda Thernmontri²

บทคัดย่อ

ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (จีพีเอส) ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีผู้ใช้งานจีพีเอสเป็นจำนวนมากเพื่อค้นหาเส้นทางจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง รวมไปถึงการค้นหาสิ่งอำนวยความสะดวกในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งที่อยู่ ณ ปัจจุบัน เช่น ร้านอาหาร ธนาคาร ปั๊มน้ำมัน อุ้งจอดรถ และสถานที่อื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับบริเวณดังกล่าว ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อให้บริการระบุตำแหน่งบนสมาร์ตโฟนที่ผู้ใช้สามารถค้นหาและเข้าถึงสารสนเทศของอุ้งจอดรถในจังหวัดภูเก็ตได้ตามประเภทของอุ้งจอดรถที่ต้องการ การพัฒนาแอปพลิเคชันนี้ใช้สถาปัตยกรรมแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ และไอออนิกเฟรมเวิร์ก รวมไปถึง Google Maps API, JSON, Cordova และ Angular JS สำหรับพัฒนาไฮบริดแอปพลิเคชันในส่วนของไคลเอนต์ และใช้โปรแกรมภาษา PHP, JavaScript, CSS ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQLi เพื่อพัฒนาในส่วนของเซิร์ฟเวอร์ ผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันเกี่ยวกับส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ความถูกต้อง ความสะดวก และความพึงพอใจต่อระบบ สรุปได้ว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับน่าพึงพอใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: การบริการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลอุ้งจอดรถ แอปพลิเคชัน

Abstract

Global Positioning System (GPS) has been widely used in many fields. Today, millions of users rely on satellite navigation to find their way from one place to another place including searching for nearby current location such as – restaurants, petrol stations, garages, banks and more, especially for someone who is unfamiliar to new location. Therefore, the aim of this research is to propose a location-based mobile application to help users to search and access information about the garages in Phuket province according to the type of garage they require. This hybrid mobile application was developed based on a client-server architecture. It was implemented using Ionic Framework,

¹ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² ผศ., สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Undergraduate Student, Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Asst. Prof., Department of Computer and Information Technology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 0 7460 9600 ext. 2567. E-mail Address: ms_oraya@yahoo.com

Google Maps API, JSON, Cordova and Angular JS as the client side while PHP, JavaScript, CSS and MySQLi were implemented on the server side. We evaluated our system by examining user interface, validity, ease of use and satisfaction. The results showed that the overall assessment of this system is satisfied and can be deployed practically.

Keywords: Location-Based Service, Garage Information, Application

บทนำ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้รับการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ส่งผลให้มีการนำคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างหลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีสมาร์ทโฟนนั้นได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์แทบทุกช่วงวัย เนื่องจากสมาร์ทโฟนได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติเพิ่มเติมขึ้นอีกมากมาย นอกเหนือจากการสื่อสารด้วยการสนทนาผ่านโทรศัพท์เหมือนในอดีตที่ผ่านมา เช่น ถ่ายรูป/วิดีโอ ดูหนัง ฟังเพลง เล่นเกมส์ และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วยังมีผู้ใช้สมาร์ทโฟนจำนวนมากที่ใช้จีพีเอสช่วยอำนวยความสะดวกในการเดินทางด้วยรถยนต์ไปยังอีกสถานที่หนึ่งที่ไม่คุ้นเคย และใช้ในการค้นหาสิ่งอำนวยความสะดวกในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งที่อยู่ ณ ปัจจุบัน ซึ่งในการเดินทางแต่ละครั้งล้วนมีความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์ผิดปกติบางอย่างขึ้นกับรถยนต์ ส่งผลให้รถยนต์ไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ ดังนั้นสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับจอดรถ เช่น ตำแหน่งที่ตั้ง ประเภทของการซ่อม และช่องทางการติดต่อสื่อสาร เป็นต้น จึงเป็นสิ่งสำคัญและเป็นประโยชน์สำหรับนักท่องเที่ยวและบุคคลที่ไม่คุ้นเคยกับพื้นที่นั้น ๆ

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมค้นแบบของแอปพลิเคชันบริการข้อมูลจอดรถตามตำแหน่งของผู้ใช้ กรณีศึกษา: จังหวัดภูเก็ต โดยใช้ไอออนิกเฟรมเวิร์ก ในการพัฒนาไฮบริดจ์แอปพลิเคชันสำหรับค้นหาสารสนเทศของจอดรถโดยใช้ตำแหน่งจีพีเอสของผู้ใช้สมาร์ทโฟน พร้อมทั้งให้ผู้ใช้สามารถกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ในการค้นหาเพิ่มเติม เช่น ประเภทของจอดรถ การค้นหาศูนย์บริการของรถแต่ละยี่ห้อ และการค้นหาตามรายชื่อของบริษัทประกันรถยนต์ จากนั้นระบบจะแสดงสารสนเทศของจอดรถที่ตรงตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้ได้กำหนดไว้ ซึ่งผู้ใช้สามารถกดปุ่มโทรออกเพื่อประสานงานไปยังจอดรถผ่านแอปพลิเคชันได้ทันที นอกจากนั้นแล้วผู้ใช้สามารถเรียกดูแผนที่ของจอดรถนั้น ๆ เพื่อใช้ในการวางแผนการเดินทางในกรณีที่ต้องขับรถไปยังจอดรถด้วยตนเอง และเพื่อให้ข้อมูลที่มีในระบบมีความถูกต้องและเป็นปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาในส่วนของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลจอดรถ ทั้งในส่วนจังหวัดภูเก็ตที่ผู้วิจัยได้สำรวจและจัดเก็บข้อมูลไว้ในระบบแล้ว และรองรับการขยายขอบเขตการให้บริการสารสนเทศของจอดรถไปยังพื้นที่อื่น ๆ เพิ่มเติมในอนาคต

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบริการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์

การบริการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Location-Based Services : LBS) คือ บริการรูปแบบหนึ่งที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย เพื่อวัตถุประสงค์ในการระบุตำแหน่งที่อยู่ของผู้ใช้อุปกรณ์ไร้สายได้อย่างแม่นยำและเป็นปัจจุบัน [1] LBS จะแบ่งการบริการออกเป็น 2 กลุ่มคือ Pull services เป็นลักษณะบริการเหมือนกับการเข้าใช้งานเว็บ เช่น การเรียกแท็กซี่ผ่านแอปพลิเคชัน Grab Taxi ที่พนักงานขับรถแท็กซี่ และผู้โดยสารสามารถเห็นตำแหน่งของกันและกันเพื่อความสะดวกในการวางแผนการให้บริการได้ตามที่ต้องการ และ Push services เป็นลักษณะที่ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกส่งโดยมีการร้องขอหรือไม่มีการร้องขอก็ตามจากผู้ให้บริการ โดยปกติการบริการจะเริ่มทำงานเมื่อผู้ใช้เข้าสู่บริเวณที่กำหนดหรือตามเวลาที่ตั้งไว้ เช่น บริการโฆษณาสินค้าลดราคาเมื่อผู้ใช้ผ่านไปใกล้ ๆ กับห้างสรรพสินค้าที่กำลังลดราคาอยู่ ณ ขณะนั้น [2]

จีพีเอส

จีพีเอส (Global Positioning System : GPS) หมายถึง ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก โดยใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ของอุปกรณ์รับสัญญาณ จากค่าตำแหน่งพิกัดจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลก ที่ส่งผ่านสัญญาณนาฬิกามายังโลก จีพีเอสเป็นระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุและรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียม NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing and Ranging) จำนวน 24 ดวงที่โคจรรอบเหนือพื้นโลก ทำให้สามารถใช้ในการหาตำแหน่งบนพื้นโลกได้ตลอด 24 ชั่วโมงที่ทุก ๆ จุดบนผิวโลก [3]

ไฮบริดจ์แอปพลิเคชัน

ไฮบริดจ์แอปพลิเคชัน (Hybrid Application) คือ การพัฒนาแอปพลิเคชันโดยอาศัยเฟรมเวิร์ค หรือ SDK ที่ถูกสร้างมาจากหลากหลายภาษา และมีเครื่องมือที่เหมาะสมกับเฟรมเวิร์ค หรือ SDK นั้น ๆ ให้เลือกใช้ในการพัฒนาที่หลากหลาย [4] ข้อดีของการพัฒนาไฮบริดจ์แอปพลิเคชันคือ การประหยัดทรัพยากรในขั้นตอนการพัฒนา เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย และทรัพยากรบุคคล เป็นต้น และเป็นการพัฒนาแบบ Cross-Platform ที่สามารถใช้ชุดคำสั่งหรือภาษาใดภาษาหนึ่งให้สามารถใช้งานได้หลายระบบปฏิบัติการ ส่วนข้อเสียของการพัฒนาไฮบริดจ์แอปพลิเคชันคือ ความสามารถในการเข้าถึงฟังก์ชันการทำงานของแพลตฟอร์มนั้น ๆ จะทำได้ไม่เต็มที่ อาจมีประสิทธิภาพการทำงานในบางฟังก์ชันน้อยกว่าการพัฒนาแบบเนทีฟ หากต้องการเข้าถึงฟังก์ชันการทำงานแบบเนทีฟจะต้องพัฒนาส่วนเสริม (Extension) ซึ่งเป็นการพัฒนาร่วมกันระหว่างภาษาที่เป็นเนทีฟ และไฮบริดจ์ในด้าน UX (User Experience) [5]

ไอออนิกเฟรมเวิร์ค

ไอออนิกเฟรมเวิร์ค (Ionic Framework) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนแบบไฮบริดจ์ ซึ่งเป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันเพียงครั้งเดียวแล้วรันได้หลายแพลตฟอร์ม เช่น แอนดรอยด์ และไอโอเอส ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยไอออนิกเฟรมเวิร์คจะใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาคือ HTML5, CSS3 และ JAVA Script [6] ข้อดีของไอออนิกเฟรมเวิร์คคือ แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะใกล้เคียงกับแอปพลิเคชันแบบเนทีฟ และสามารถพัฒนาให้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์อื่น ๆ ได้ เช่น กล้อง และไมโครโฟน เป็นต้น โดยใช้งานร่วมกับ PhoneGap/Cordova นอกจากนั้นแล้วในการทดสอบแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถดำเนินการผ่านอุปกรณ์จริงโดยใช้แอปพลิเคชันที่ชื่อว่า ไอออนิกทีวีที่รองรับทั้งแอนดรอยด์และไอโอเอส [7]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบที่ให้บริการข้อมูลเกี่ยวกับผู้ช่อมรถและการให้ความช่วยเหลือกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินที่หลากหลาย เช่น การพัฒนาระบบค้นหาตำแหน่งและบริการผู้ช่อมรถบนระบบแผนที่ออนไลน์ด้วยซอฟต์แวร์เปิดเผยแพร่ส โดยมิชอบเขตพื้นที่ศึกษาจากแขกร้องเสริม อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ ถึงอุทยานแห่งชาติศรีน่าน จังหวัดน่าน [8] ถัดมาคือ ระบบแจ้งรถเสียฉุกเฉิน โดยใช้งานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนโดยผู้ใช้งานจะต้องลงทะเบียนเข้าใช้งานเพื่อแจ้งเหตุ พร้อมทั้งระบุชื่อ รุ่น และอาการของรถที่เสีย [9] นอกจากนั้นยังมีแอปพลิเคชัน ThaiEMS 1669 ซึ่งพัฒนาโดยสถาบันการแพทย์ฉุกเฉินแห่งชาติ (สพฉ.) ร่วมกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) เพื่อรับแจ้งเหตุผ่านฉุกเฉินของเครือข่ายสถาบันการแพทย์ฉุกเฉิน หรือโรงพยาบาลต่างๆ ทั่วประเทศ กรณีที่เจอเหตุด่วนเกี่ยวกับอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉินทางสุขภาพ ซึ่งเป็นการต่อยอดจากระบบเดิมที่เป็น Call Center ทางโทรศัพท์ 1669 โดย ThaiEMS 1669 จะสามารถระบุตำแหน่งพิกัดสถานที่เกิดเหตุได้จาก GPS ของสมาร์ตโฟน และสามารถแนบรูปถ่ายเกี่ยวกับอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉินที่เกิดขึ้นได้ [10] จากการศึกษางานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นพบว่างานวิจัยที่จะพัฒนาจะมีแนวคิดที่สอดคล้องในแง่ของการให้บริการค้นหาผู้ช่อมรถในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น โดยผู้วิจัยได้เลือกที่จะพัฒนาระบบในรูปแบบของไฮบริดจ์แอปพลิเคชันที่สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

และไอโอเอส พร้อมทั้งมีฟังก์ชันเสริมในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการ โทรออกไปยังผู้ซ่อมรถ ก็สามารถกดที่ปุ่มโทรออกของแอปพลิเคชันเพื่อส่งเบอร์โทรศัพท์ของผู้ซ่อมรถที่เลือกไปยังฟังก์ชันโทรศัพท์บนหน้าจอสมาร์ตโฟนได้อย่างต่อเนื่องทันที

การดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย การวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบ รวมไปถึงการพัฒนา และการทดสอบโปรแกรมต้นแบบของแอปพลิเคชันบริการข้อมูลผู้ซ่อมรถตามตำแหน่งของผู้ใช้ กรณีศึกษา: จังหวัดภูเก็ต โดยมีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมต้นแบบ

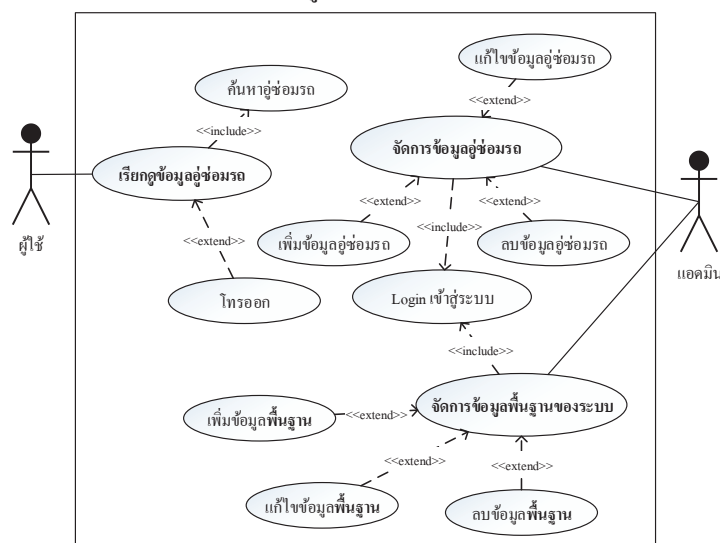
จากการทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของทฤษฎีและแนวคิดในการพัฒนา โปรแกรมต้นแบบ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์และออกแบบ โปรแกรมต้นแบบโดยใช้ภาษา UML ประกอบด้วย

- Use Case Diagram สำหรับแสดงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้และฟังก์ชันการทำงานของระบบ (ภาพที่ 1) โดยแบ่งผู้ใช้ออกเป็น 2 บทบาทคือ

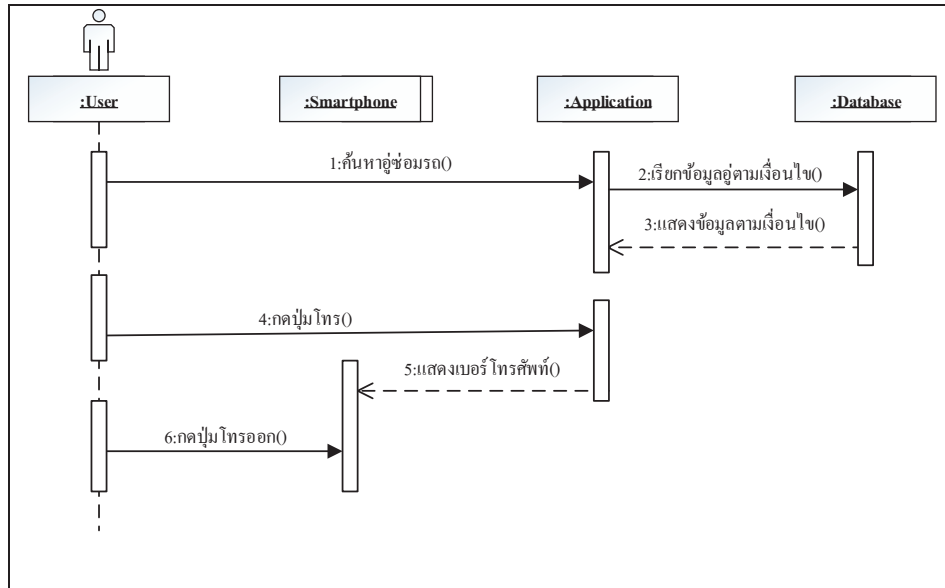
- ผู้ใช้ทั่วไป สามารถสืบค้นสารสนเทศของผู้ซ่อมรถทั้งหมดภายในระบบ และค้นหาผู้ซ่อมรถตามเงื่อนไขที่ต้องการ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ 1) ศูนย์บริการรถยนต์ ผู้ใช้สามารถค้นหาตามยี่ห้อรถยนต์ และ 2) ผู้ซ่อมรถ ผู้ใช้สามารถค้นหาตามประเภทการซ่อมและบริษัทประกันภัย นอกจากนี้แล้วผู้ใช้สามารถโทรศัพท์ออกไปยังศูนย์บริการรถยนต์/ผู้ซ่อมรถที่เลือกได้

- ผู้ดูแลระบบ รับผิดชอบในการจัดการข้อมูลผู้ซ่อมรถ และจัดการข้อมูลพื้นฐานของระบบประกอบด้วย ข้อมูลประเภทการซ่อม ยี่ห้อรถยนต์ และบริษัทประกันภัย

- Sequence Diagram สำหรับแสดงแผนผังลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในระบบ (ภาพที่ 2) เมื่อผู้ใช้คลิกที่ฟังก์ชันค้นหาผู้ซ่อมรถ (เส้นที่ 1) เพื่อกำหนดเงื่อนไขให้ระบบทำการสืบค้นข้อมูลที่ตรงกับต้องการใช้งานจากฐานข้อมูล (เส้นที่ 2) มาแสดงที่หน้าจอของแอปพลิเคชันตามเงื่อนไขที่ได้เลือกไว้ (เส้นที่ 3) ซึ่งในกรณีที่ผู้ใช้กดปุ่มโทรออกไปยังผู้ซ่อมรถที่เลือกจากหน้าจอของแอปพลิเคชัน (เส้นที่ 4) แอปพลิเคชันก็จะส่งเบอร์โทรศัพท์ไปยังหน้าจอโทรออกของสมาร์ตโฟน (เส้นที่ 5) เพื่อให้โทรออกไปยังผู้ซ่อมรถดังกล่าว (เส้นที่ 6)



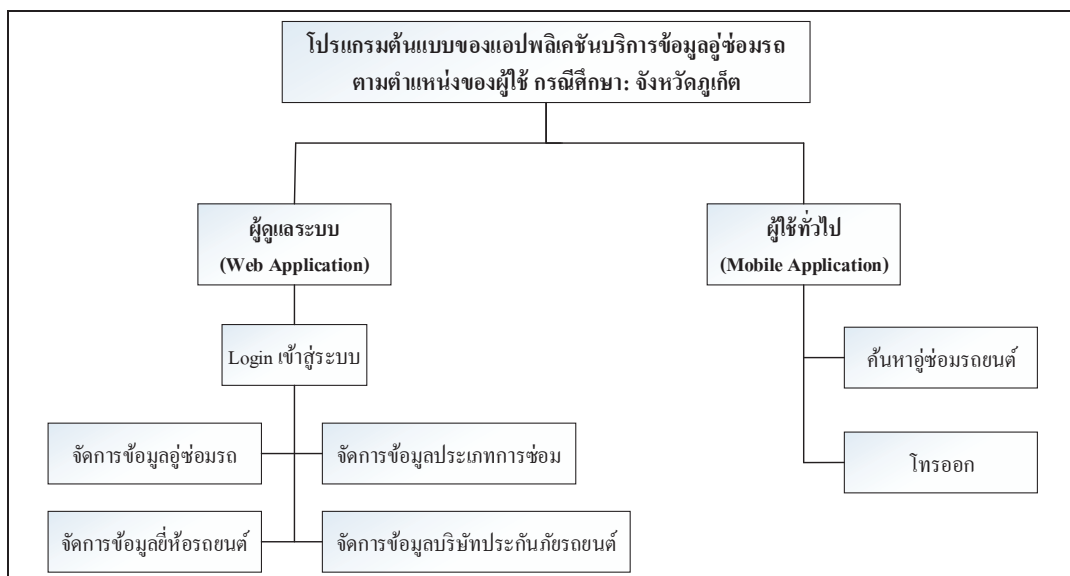
ภาพที่ 1 แผนภาพ Use Case Diagram ของระบบ



ภาพที่ 2 แผนภาพ Sequence Diagram ของ Use Case เรียกดูข้อมูลอุทกภัย

การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมต้นแบบ

จากขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมต้นแบบ ผู้วิจัยได้กำหนดโครงสร้างระบบ (ภาพที่ 3) และพัฒนาโปรแกรมต้นแบบที่มีสถาปัตยกรรมแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ไอออนิกเฟรมเวิร์ค พร้อมทั้ง Google Maps API, JSON, Cordova และ Angular JS สำหรับพัฒนาไฮบริดแอปพลิเคชันในส่วนของไคลเอนต์ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานดำเนินการผ่านสมาร์ทโฟน และใช้โปรแกรมภาษา PHP, JavaScript, CSS ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQLi เพื่อพัฒนาในส่วนเซิร์ฟเวอร์ที่มีผู้ดูแลระบบใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชัน จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลอุทกภัยทั้งหมดของจังหวัดภูเก็ต ซึ่งประกอบด้วย 3 อำเภอ คือ อำเภอถลาง อำเภอเมืองภูเก็ต และอำเภอกระบุรี เพื่อนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลอุทกภัยของจังหวัดภูเก็ต จากนั้นจึงทำการทดสอบโปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นตามหลักการวิศวกรรมซอฟต์แวร์และข้อกำหนดเกี่ยวกับความต้องการของระบบ

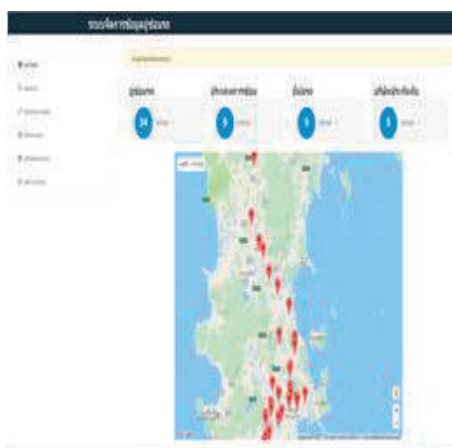


ภาพที่ 3 โครงสร้างระบบของโปรแกรมต้นแบบในภาพรวม

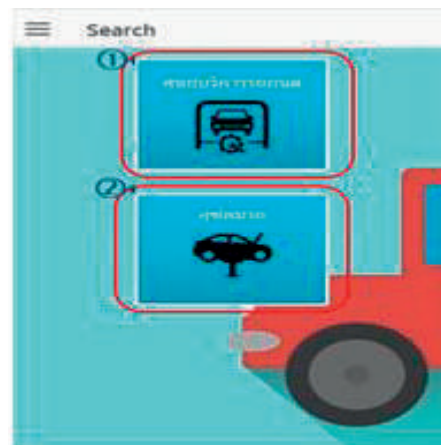
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

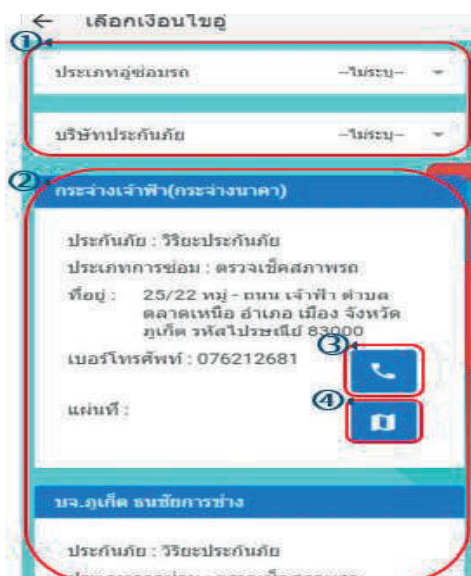
ผลที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบของแอปพลิเคชันบริการข้อมูลผู้เช่ารถตามตำแหน่งของผู้ใช้
กรณีศึกษา: จังหวัดภูเก็ต สามารถแสดงตัวอย่างหน้าจอการใช้งานของผู้เช่าได้ดังนี้ หน้าหลักสำหรับผู้ดูแลระบบใน
การจัดการข้อมูลผู้เช่ารถและตารางรหัสต่าง ๆ ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน โดยระบบจะแสดงจำนวนรายการข้อมูลที่มี
พร้อมทั้งแผนที่ของผู้เช่ารถทั้งหมดที่รวบรวมข้อมูลไว้แล้ว ณ ปัจจุบัน (ภาพที่ 4) และส่วนของไฮบริดจ์แอปพลิเคชันที่
ใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน ซึ่งประกอบด้วย หน้าหลักของการค้นหาข้อมูล โดยแบ่งเป็นผู้เช่ารถหรือศูนย์บริการรถยนต์
(ภาพที่ 5) หน้าจอสำหรับกำหนดเงื่อนไขในการค้นหาผู้เช่ารถ พร้อมทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหา (ภาพที่ 6) หน้าจอ
แสดงเงื่อนไขประเภทของผู้เช่ารถ ในกรณีที่คลิกเลือกเงื่อนไขในส่วนที่ 1 ของภาพที่ 6 (ภาพที่ 7) หน้าจอแสดงการ
โทรออกไปยังผู้เช่ารถที่ผู้ใช้เลือก โดยการคลิกที่ตำแหน่งหมายเลข 3 ของภาพที่ 6 เพื่อให้แอปพลิเคชันส่งหมายเลข
โทรศัพท์ดังกล่าวไปยังฟังก์ชันโทรศัพท์ของสมาร์ทโฟน (ภาพที่ 8) และลำดับสุดท้ายเป็นหน้าจอแสดงตำแหน่งผู้เช่า
รถผู้ใช้เลือกบนแผนที่ โดยการคลิกที่ตำแหน่งหมายเลข 4 ของภาพที่ 6 (ภาพที่ 9)



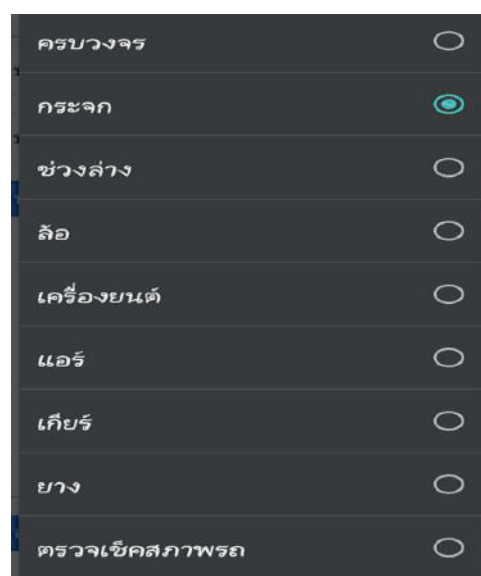
ภาพที่ 4 หน้าหลักของเว็บแอปพลิเคชัน



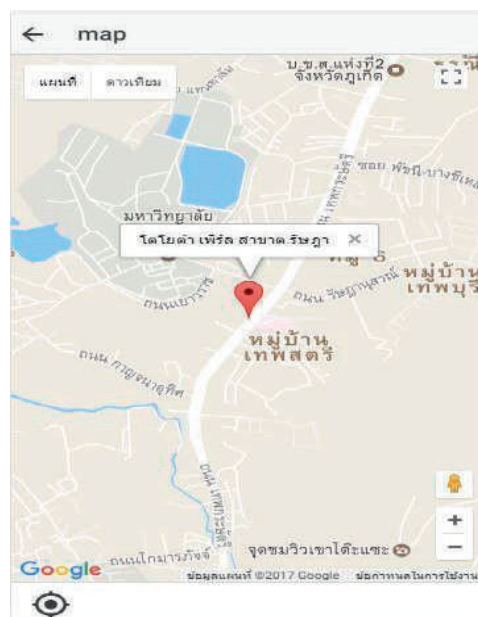
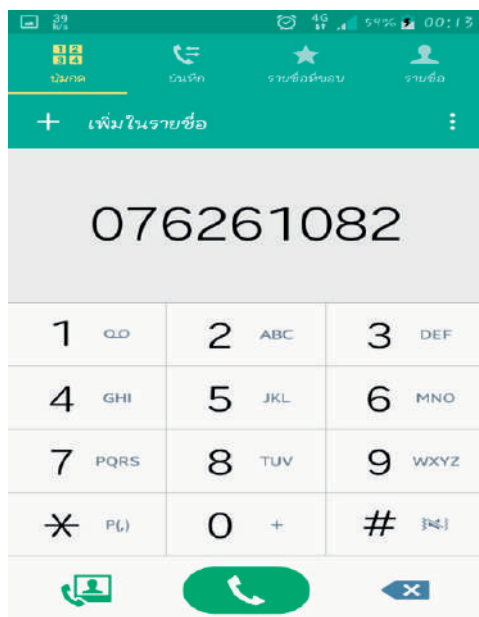
ภาพที่ 5 หน้าหลักของการค้นหาผู้เช่ารถบนสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 6 ผลการค้นหากรณีไม่ระบุเงื่อนไข



ภาพที่ 7 แสดงเงื่อนไขประเภทของผู้เช่ารถ



ภาพที่ 8 หน้าจอการโทรออกบนสมาร์ทโฟน ภาพที่ 9 หน้าจอแสดงตำแหน่งข้อมูลรถบนแผนที่

ผลการประเมินการใช้งานโปรแกรมต้นแบบ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการประเมินผลการใช้งาน โปรแกรมต้นแบบแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ เจ้าของกิจการผู้ซ่อมรถจำนวน 5 คน และผู้ใช้ทั่วไป ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จำนวน 30 คน มีหลักเกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับจากระดับน้อยที่สุด ไปหาระดับมากที่สุด มีคะแนนตั้งแต่ 1-5 คะแนนตามลำดับ ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์ของลิเคิร์ต (Likert) ในการสรุปผลคะแนนจากแบบสอบถาม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินการใช้งาน โปรแกรมต้นแบบ

ลำดับที่	รายการประเมิน	เจ้าของกิจการผู้ซ่อมรถ		ผู้ใช้ทั่วไป	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.
1	ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้	4.20	0.32	4.17	0.44
2	ความถูกต้องของระบบ	4.40	0.48	4.37	0.46
3	ความสะดวกในการใช้งาน	4.00	0.40	4.30	0.47
4	ความพึงพอใจต่อระบบ	4.20	0.32	4.27	0.39

ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน โปรแกรมต้นแบบพบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจในแต่ละด้านอยู่ในระดับมาก ซึ่งจากความคิดเห็นเพิ่มเติมในแบบสอบถามพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ง่าย เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขในการค้นหาได้หลากหลายตรงตามความต้องการใช้งานของผู้ใช้ และมีการเชื่อมโยงหน้าจอต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ส่วนในเรื่องของส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานพบว่า หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันควรปรับปรุงในส่วนของการออกแบบให้น่าสนใจมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังมีข้อเสนอแนะให้มีการพัฒนาระบบเพิ่มเติมในส่วนของการจัดการข้อมูลผู้ซ่อมรถ โดยให้เจ้าของกิจการผู้ซ่อมรถมีบทบาทในการจัดการข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ซ่อมรถ ซึ่งผู้วิจัยจะนำผลสะท้อนกลับเหล่านั้นไปวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงระบบให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบของแอปพลิเคชันบริการข้อมูลผู้ช่อมรถตามตำแหน่งของผู้ใช้กรณีศึกษา: จังหวัดภูเก็ต ซึ่งได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการค้นหาผู้ช่อมรถในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ไม่ปกติขึ้นกับรถยนต์ หรือเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ส่งผลให้ต้องจัดหาผู้ช่อมรถเพื่อดำเนินการอย่างเร่งด่วนในขณะนั้น ๆ โดยระบบจะให้ผู้ใช้งานสามารถค้นหาข้อมูลผู้ช่อมรถตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้เลือก พร้อมระบุตำแหน่งที่ตั้ง และรายละเอียดที่อยู่ของผู้ช่อมรถ รวมถึงเบอร์โทรศัพท์ของผู้ช่อมรถที่ผู้ใช้สามารถโทรออกผ่านแอปพลิเคชันได้ทันที โดยแบ่งการทำงานของออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ ที่ใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อจัดการข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ของระบบ และ 2) ส่วนของผู้ใช้ทั่วไป ที่ใช้งานผ่านไฮบริดแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ซึ่งระบบสามารถให้บริการค้นหาผู้ช่อมรถโดยใช้ตำแหน่ง GPS ของผู้ใช้สมาร์ตโฟน และมีฟังก์ชันสำหรับการสืบค้นสารสนเทศเกี่ยวกับผู้ช่อมรถตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้ต้องการ เช่น ประเภทผู้ช่อมรถ ศูนย์บริการของรถแต่ละยี่ห้อ และชื่อบริษัทประกันรถยนต์ นอกจากนี้แล้วผู้ใช้งานยังสามารถโทรศัพท์เพื่อติดต่อสื่อสารกับผู้ช่อมรถผ่านแอปพลิเคชันได้ทันที และในอนาคตผู้วิจัยจะพัฒนาโปรแกรมต้นแบบนี้เพิ่มเติมในส่วนของการนำทางโดยการคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุดสำหรับการเดินทางจากตำแหน่งปัจจุบันไปยังสถานที่ตั้งของผู้ช่อมรถที่ผู้ใช้ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nevpro Progressive. (2012). **Location Based Service Technology** (Online). Retrieved 5 March 2018, from <http://dekthaiandroid.blogspot.com/2012/07/lbs-location-based-servicelbs-gps-app.html>.
- [2] Settapong, M. (2010). **Location Based Service** (Online). Retrieved 12 March 2018, from <http://www.vcharkarn.com/varticle/40674>.
- [3] Wikipedia. (2018). **Global Positioning System** (Online). Retrieved 3 March 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System.
- [4] Mindphp.com. (2018). **Hybrid Application** (Online). Retrieved 14 March 2018, from <https://en.wikipedia.com/3663-hybrid-application.html>.
- [5] Graphic Buffet. (2017). **Hybrid and Native Application** (Online). Retrieved 15 March 2018, from <https://graphicbuffet.co.th/hybrid-and-native/>.
- [6] Sornsakda, K. (2015). **Mobile Application Development with Ionic Framework** (Online). Retrieved 14 March 2018, from <http://ionicframework-docs.blogspot.com/>.
- [7] Suparatchadech, P. (2017). **What is Ionic Framework** (Online). Retrieved 14 March 2018, from <https://www.imwritingrich.com/what-is-ionic-framework/>.
- [8] Suriyot, N. (2017). **Development of Web Based GIS Application for Garage Location Based Service Using FOSS4G**. Undergraduate's Project. Phitsanulok: Naresuan University.
- [9] Wongyala, P. (2014). **Roadside Assistance**. Master's Thesis. Bangkok: Mahanakorn University of Technology.
- [10] Tana. (2018). **EMS 1669: Emergency Mobile Application** (Online). Retrieved 25 June 2018, from <http://www.9tana.com/node/ems-1669/>.

การพัฒนาโปรแกรมช่วยจัดแผนการเลือกวิชาลงทะเบียนโดยใช้เทคนิคการ ค้นหาเฉพาะที่และรายการทาбу

Registration Assistant Application using Local Search and Tabu List Technique

ธาดา หวังธรรมมั่ง¹ เสกสรรค์ สุวรรณมณี² รัชชัย เองถ้วน³ และแสงสุรีย์ วสุพงษ์อัยยะ^{4*}

Thada Wangthammang¹, Seksun Suwanmanee², Touchai Angchuan³ and Sangsuree Vasupongayya^{4*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เว็บเป็นเครื่องมือช่วยจัดแผนการศึกษาให้นักศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่ประสบปัญหาทางการเรียน โดยใช้หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2553 เป็นกรณีศึกษา การค้นหาทาбуถูกประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือค้นหาหลัก ผู้ใช้สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการวางแผนการเรียนของตนและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะใช้วัตถุประสงค์ดังกล่าวเพื่อค้นหาแผนการศึกษา นอกจากนี้เงื่อนไขทั่วไปในการจัดแผนการศึกษา เช่น จำนวนหน่วยกิต สถานะของนักศึกษา และแผนการศึกษามาตรฐานถูกนำมาผนวกเข้าในระบบเพื่อค้นหาแผนการศึกษาที่เหมาะสมให้ผู้เลือก ผลการทดสอบระบบเบื้องต้นพบว่าผู้ใช้งานพึงพอใจในส่วนติดต่อผู้ใช้งานเนื่องจากมีความคล้ายโปรแกรมประยุกต์ของกูเกิ้ล อย่างไรก็ตามผลการเรียนของนักศึกษาควรถูกนำเข้าสู่ระบบแบบอัตโนมัติโดยตรงจากระบบของมหาวิทยาลัยเพื่อลดความผิดพลาดในการกรอกข้อมูล

คำสำคัญ: การจัดกำหนดการ เครื่องมือช่วยนักศึกษา แผนการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

Abstract

This project aims to design and develop a web application as a tool for generating a study plan for higher education students with study issues. The Bachelor of Engineering in Computer Engineering curriculum 2010, Prince of Songkla University was used as a case study. Tabu search was applied as the main search tool. The users can define the objective of their study plan and the proposed program will use the user defined objective to guide the search. Furthermore, common constraints in creating a study plan such as the number of credits, the

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

² อ., ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

³ ผศ., ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

⁴ ผศ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

¹ Graduate Student, Master Degree, Department of Computer Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

² Lecturer, Department of Computer Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

³ Asst. Prof., Department of Computer Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

⁴ Asst. Prof. Dr., Department of Computer Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

* Corresponding author: Tel.: 074-287360. E-mail address: sangsuree.v@psu.ac.th

student status and the standard study plan are all included into the system in order to find a suitable solution for the user to make his/her selection. The preliminary evaluation results showed that the user satisfied with the user interface because it was similar to that of the Google application interface. However, the study results should be directly downloaded from the university system in order to reduce the data entry mistakes.

Keywords: Scheduling, Student Assistant Tool, Study Plan, Computer Engineering Curriculum

Introduction

Each curriculum in the university has a unique set of requirements such as the co-requisite and prerequisite which each student in the curriculum must follow. Furthermore, each university must enforce some rules and regulations on the student registration process in order to ensure the student status and ability to graduate. In addition, each student may not be able to register according to the study plan because he/she has withdrawn some subjects. Thus, this situation will add more constraints to the registration process/planning. As a result, there are lots of rules, regulations and constraints that each student must consider in order to plan his/her subjects for each semester. Some computer engineering students at Prince of Songkla University also face the same difficulty. Even though Prince of Songkla University already provided the study result simulation tool at sis.psu.ac.th [1], the tool is not directly suggested a list of subjects to be taken in each semester. Furthermore, the Faculty of Engineering also provided a web-based application for students to check their study progress according to their respective curriculums [2]. However, the tool shows only the list of subjects in the curriculum and the grade of each subject in order for the students to see what subjects the student are still missing and what subjects the students are already passed. The task of planning the list of subjects to be taken in each semester is still relying on the students.

To solve such problem, this work aims to design and develop a tool that can provide a list of subjects to be taken each semester according to the rules and regulations of the curriculum and the university with an addition of the user preferences. The proposed tool will be based on the 2010 Computer Engineering Undergraduate curriculum of the Department of Computer Engineering at Prince of Songkla University. However, it can be easily adapted to support other curriculums. A Local search with a Tabu list is applied as the main searching technique. A solution that satisfies all the active constraints is returned for the user to make the final decision. However, this version of the software does not consider the out-of-plan subjects that are offered each semester. Tabu search and local search techniques had been successfully applied in many scheduling problems [3-6]. A combined Tabu search and local search technique had been applied to solve a high school timetabling problem [7]. The goal ensured that each teacher has a no overlapping time slot on his/her schedule. A Tabu search technique had been compared with a genetic algorithm and a backtracking approach on a personal scheduling problem in [8]. Pumpuang *et al.* [9] designed a model using Bayesian Network techniques to predict the order of subjects to be enrolled by undergraduate computer science or engineering students at Kasetsart University. The data in their model was the student enrollment information consisting of the student's GPA and

grade of each subject for first-year and second-year students with the objective of studying the student enrollment patterns.

The remaining of this paper consists of the methodology on how to design and develop the prototype tool, the results from the prototype on a few examples, the discussions on the preliminary evaluation by the potential users, and the conclusion.

Methodology

This work is a developmental research. The proposed system consists of three components, including the study plan, the search module and the database. Firstly, the study plan is a list of subjects to be taken in each semester with several constraints. The first set of constraints is on the relationships among subjects such as studied-prerequisite, passed-prerequisite, co-requisite and co-current subject. These relationships are commonly found in higher education curriculums. A typical four year undergraduate program of a semester system is divided into eight semesters. Figure 1 shows the relationship of subjects in the case study curriculum that is related to other subjects, while Figure 2 explains the meaning of each symbol in Figure 1. The subjects are listed in its assigned semester. The arrow between the shapes shows the category of relationships enforced on the subjects. The information in Figure 1 is used as an initial solution of our search module.

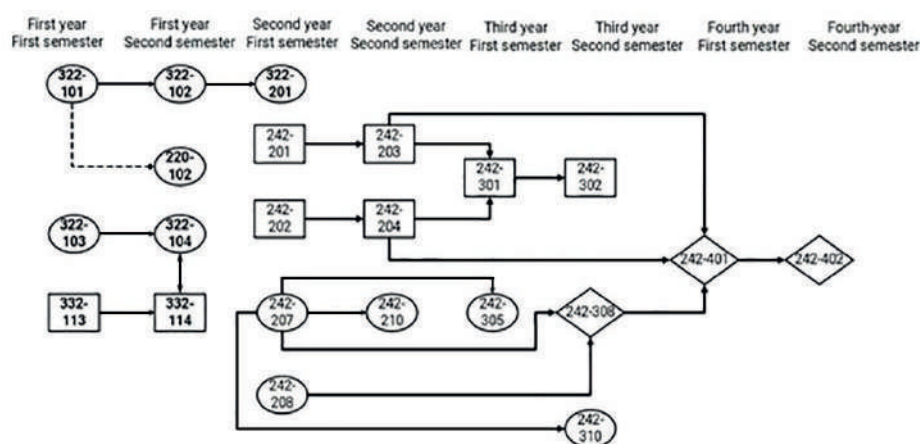


Figure 1 The relationship of subjects in the case study curriculum that is related to other subjects

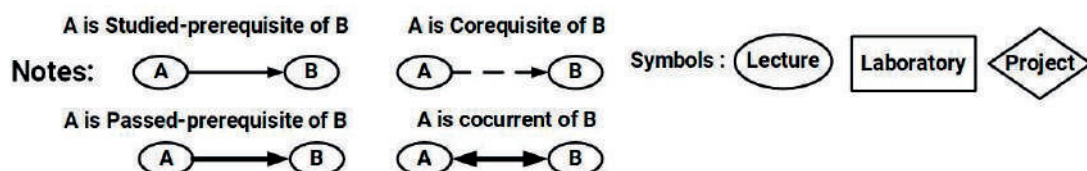


Figure 2 The symbol used in Figure 1

According to the relationship symbol presented in Figure 2, each relation can be explained as follow. A is a studied-prerequisite of B means that a student can enroll in subject B if any only if the student has enrolled and passed subject A with any grade including E. A is a passed-prerequisite of B means that a student can enroll in subject B if and only if the student has enrolled and passed subject A with any grade of at least D or S. A is

a co-requisite of B means that a student must take subject B at the same time with subject A or a student has enrolled subject A with any grade of at least D or S before the student can take subject B. A is a co-current of B means that a student must take subject B at the same time with subject A when enrolls these two subjects for the first time. In addition to the relationship among subjects in the curriculum, the regulations according to the number of credits are also considered in the proposed prototype. The number of credits constraints can be caused by the student status and the university regulation. For example, Prince of Songkla University places a limit on the minimum and the maximum number of credits to be taken by a student in a regular semester as 9 and 22 credits and the limit changes to 0 and 9 credits during a summer semester. However, the student status can affect the maximum number of credits allowed. That is, the student with a non-regular status can take a maximum of 16 credits during a regular semester and 6 credits during a summer semester. Similar regulations are also commonly employed by most higher education curriculums. The last part is the scheduled subject of each semester restriction. It is common in any higher education curriculum that some subjects are offered in a specific semester only. Thus, the study plan must consider such restriction as well.

The second component is the search module. A combined local search [10] and Tabu list [9-11] is employed as the main searching technique in our proposed system. The main search procedure can be described as follow:

1. An initial solution is generated according to the standard study plan.
2. All conditions are evaluated on the current solution in order to determine the score. The conditions include the student status constraint, the number of credit constraint and the subject constraints according to the curriculum.
3. Add the current solution to the Tabu list. If the list is full, remove the oldest solution from the list.
4. Move to a neighbor solution with a better score.
 - a. The next solution to be explored must not be the solution on the Tabu list.
5. Go to step 2 or stop when a stopping criteria is met and return the solutions on the Tabu list

At step 4 of the main search procedure, there are three steps to generate the neighbor solution. The first step is to move the whole subject chain if any subject is violated the condition. For an explanation purpose, Figure 3 shows the initial solution with an issue of a withdrawal subject (denoted by W). For simplicity, we use 6 credits as the limited maximum number of credits. Figure 4 shows the result of applying the moving-the-whole-chain method on the initial solution of Figure 3. According to the solution in this case, the Mecha subject must be moved to the 2nd semester of the 3rd year. Moreover, the number of credits is violated in the 2nd semester of the 2nd year. The second step is the moving some constraint-free subjects around after using the first solution. Figure 5 shows the result of applying both methods. As the results show that three constraint-free subjects are now moved around. The last step is to randomly move any two subjects without considering any constraint in order to throw the solution to a different area in the solution space, in order to prevent the local minima issue.

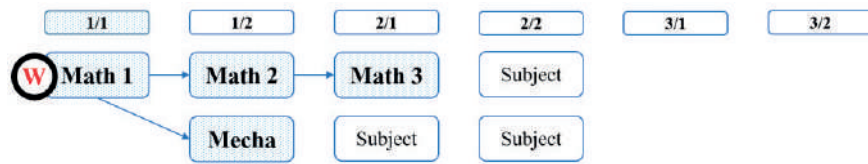


Figure 3 The initial solution with an issue of a withdrawal subject

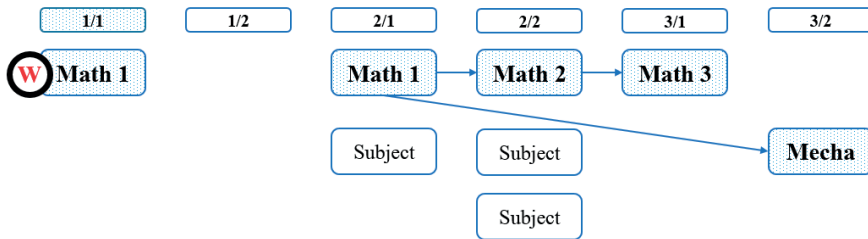


Figure 4 The results of moving the whole chain

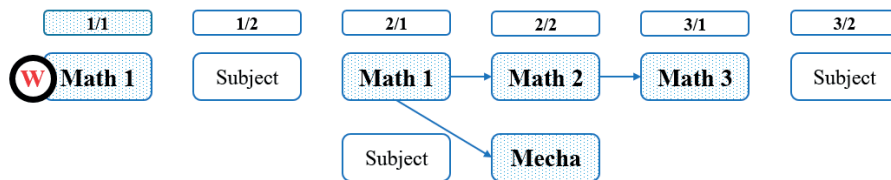


Figure 5 The results of applying the first two steps

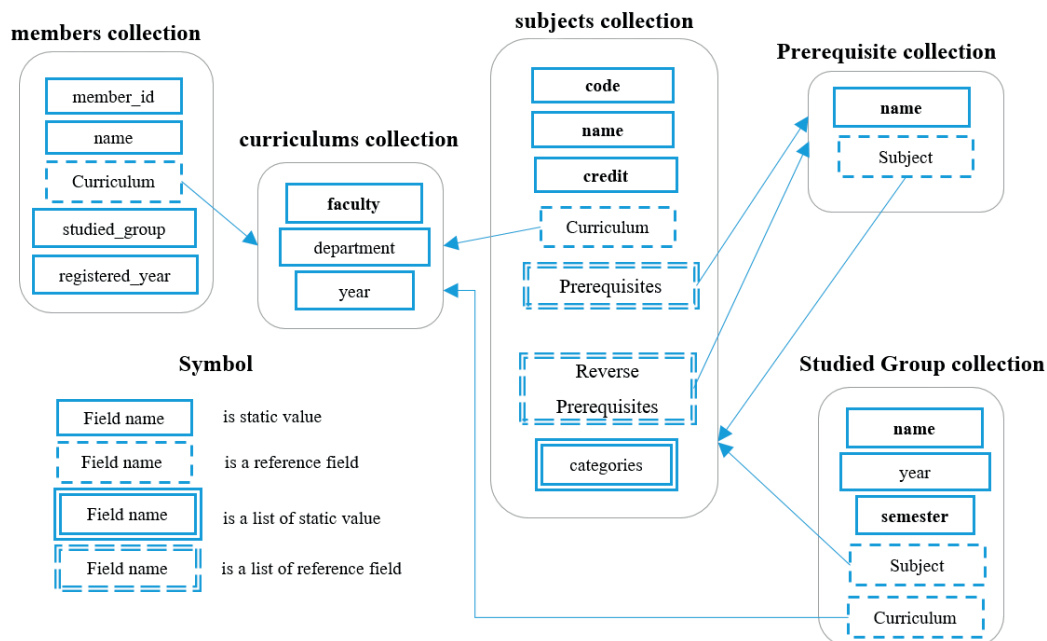


Figure 6 The MongoDB document schema

The stopping criteria at step 5 in this work is when there is no new neighbor solution found or the number of explored solutions exceeds a pre-defined value. The last component of the prototype is the databases. Figure 6 shows the MongoDB schema of the database used in this work. The database implementation is written in Python language in order to connect the MongoDB database. The Mongoengine [12] is used to bridge between the Python and the MongoDB.

Results

The overall architecture of the prototype is presented in Figure 7. The architecture of the prototype consists of two sides, including the client and the server sides. The client side is a web application, interacting with the user and displaying the study plans from the server. The server site contains the main components of the prototypes including the web service, the search engine and the database. When the user inputs his/her study results into the web application via the interface shown in Figure 8, the web application sends the HTTP request with the input in a JSON format to the web service API of the server side. Then, the web service executes the search engine to find a set of optimal study plans, and send the resulting study plans, which is also in a JSON format, to the web application. Lastly, the web application decodes the JSON and displays the resulting study plans as shown in Figure 9. The study plan can be shown in cozy view as shown in Figure 10. Moreover, the JSON results can also be seen as shown in Figure 11. The user interface of the web application is developed using Polymer [13] which applies MVC (Model-View-Controller) concept to control the web application. The App Router [14] module is also applied.

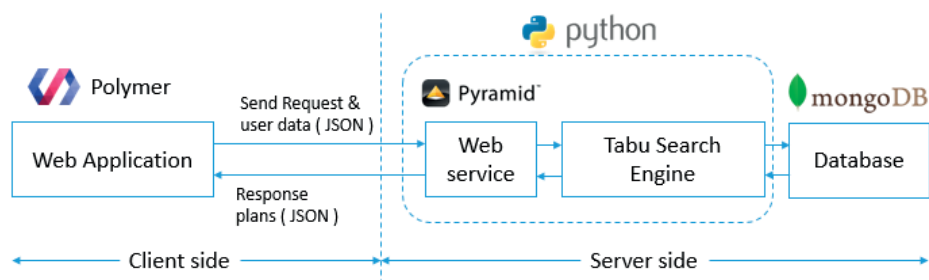


Figure 7 The architecture of the proposed prototype

Figure 8 The study result input screen

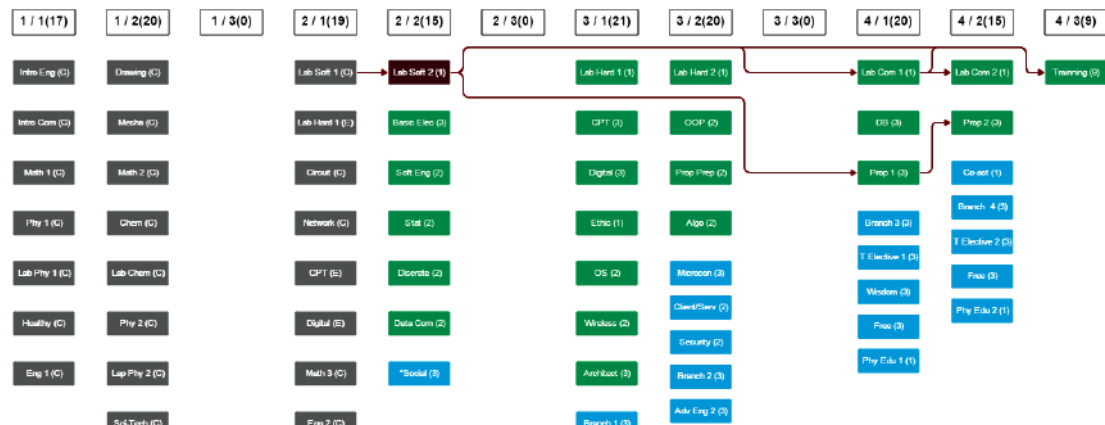


Figure 9 The result study plans

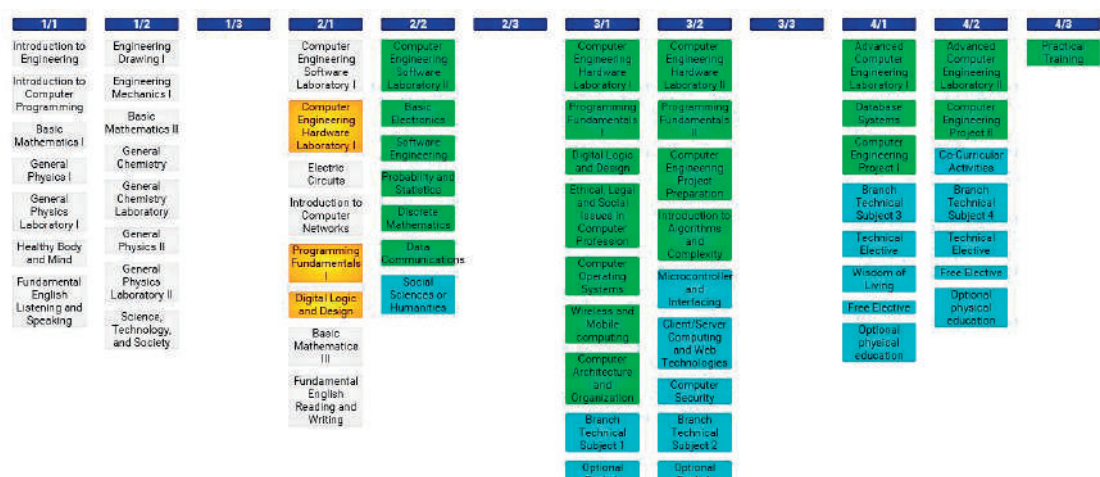


Figure 10 The cozy view of the same study plan shown in Figure 9

Input

```
{
  "member": {
    "name": "5410110070_1",
    "subject_group": "second-group"
  },
  "type": "array-of-semester",
  "is_testing": true,
  "semesters": [
    {
      "year": "1",
      "semester": "1",
      "subjects": [
        {
          "gradeOption": "credit",
          "name": "215-111 Engineering Drawing I",
          "id": "552e3b206e9552070c71a6d9",
          "year": "1",
          "semester": "1",
          "grade": "C"
        },
        {
          "gradeOption": "credit",
          "year": "1",
          "semester": "1",
          "name": "322-101 Basic Mathematics I",
          "id": "552e3b206e9552070c71a6cf",
          "grade": "D+"
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Output

```
{
  "last_year_plan": 4,
  "total_credits": [
    17,
    20,
    0,
    19,
    15,
    0,
    21,
    20,
    0,
    20,
    15,
    9
  ],
  "semesters": [
    {
      "semester": 1,
      "subjects": [
        {
          "semester": 1,
          "name": "Introduction to Engineering",
          "tags": [
            "theory",
            "choice"
          ],
          "id": "552e3b206e9552070c71a6cb",
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Figure 11 The JSON view of the same study plan shown in Figure 9

Discussions

The preliminary evaluation was conducted on two phases. The initial results were collected from the project day preparation period by several volunteers. The initial results showed that the students without issues would focus on the user interface that showed the study plan. There were twenty study plans for each request. According to the initial results, we selected three specific subjects with study issues for a final evaluation by a method of interview. The final results were collected from three specific cases by a way of individual interview after the test subject had used the system. The results showed that the user interfaces of the prototype was friendly, clear and easy to use because it was similar style as that of the Google design. The prototype was able to show twenty different solutions for the students. However, the prototype should add the automatic download features so that the user did not have to enter their study results in order to reduce the time and the mistakes. In comparison with the existing systems including the study result simulation tool [1], and the Faculty of Engineering study progress check tool [2], the prototype was more satisfying. Firstly, the study result simulation tool was not directly suggested a list of subjects to be taken in each semester. Secondly, the study progress check tool showed only the list of subjects in the curriculum and the grades of each subject in order for the students to see what subjects the student were still missing and what subjects the students were already passed. The task of planning the list of subjects to be taken in each semester was still relying on the students.

Conclusions

A study planning tool for higher education was proposed in this work. A prototype of the tool was developed and evaluated. The prototype overall architecture consisted of two parts, including the client side and the server side. The client side was developed using polymer and the data exchange between the two parts was in a JASON format. The server side was the main engine of the system including the web service, the search engine and the database. The database implementation was written in Python language and the Mongoengine was used to bridge between the Python and the MongoDB. The search engine applied a local search with a Tabu list. The Bachelor of Engineering in Computer Engineering curriculum 2010, Prince of Songkla University was used as a case study. The prototype could follow the regulations that were commonly found on any higher education curriculum including the constraints on the subjects, the constraints on the minimum and maximum credits, and the student status. The general feedback from other students (without study issues) showed that the user interfaces of the prototype was friendly and clear and easy to use. The preliminary results by a method of individual interview three specific subjects with study issues showed that the prototype performed a better job than any existing tool currently provided by the university and the faculty. However, the prototype should directly connect to the university database in order to download all necessary information for the process in order to reduce the human mistakes during the data entry process.

References

- [1] Prince of Songkla University. (2018). **Student Information System** (Online). Retrieved 28 January 2018, from <http://sis.psu.ac.th>.
- [2] Faculty of Engineering, Prince of Songkla University. (2018). **Study Result Tracking System** (Online). Retrieved on 28 Jan 2018, from <http://infor.eng.psu.ac.th/advisev2>.
- [3] Jiawei, L. (2017). “Airport Intelligent Dispatching Model Based on Double Queue and Tabu Search”, **International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science**. 215-218, 13-16 October 2017. Anyang, China.
- [4] Carcangiu, S, Caboni, M., Fanni, A., Montisci A., Cardelli, E. and Faba, A. (2017). “Magnetic Materials Characterization by Tabu Search Optimization”, **AEIT International Annual Conference**. 1-6, 20-22 September 2017. Cagliari, Italy.
- [5] Kobubo, T. and Fukuyama, Y. (2017). “Generation Methods of Neighborhood Schedules for Practical Train Crew Scheduling Problems using Tabu Search”, **IEEE International Workshop on Computational Intelligence and Applications**. 39-44, 11-12 November 2017. Hiroshima, Japan.
- [6] Kawaguchi, S. and Fukuyama, Y. (2017). “Reactive Tabu Search for Job-shop Scheduling Problems Considering Energy Management”, **IEEE International Workshop on Computational Intelligence and Applications**. 9-14. 11-12 November 2017. Hiroshima, Japan.
- [7] Schaerf, A. (1999). “Local Search Techniques for Large High School Timetabling Problems”, **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans**. 29(4), 368-377.
- [8] Amol, A.C. and Rajankumar, B.S. (2012). “Tabu Search for Solving Personnel Scheduling Problem”. **International Conference on Communication, Information & Computing Technology**. 1-6, 19-20 October 2012. Mumbai, India.
- [9] Pumpuang, P., Srivihok, A., Praneetpolgrang, P. and Numprasertchai, S. (2008). “Using Bayesian Network for Planning Course Registration Model for Undergraduate Students”, **IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies**. 492-496. 26-29 February 2008. Phitsanulok, Thailand.
- [10] Gendreau, M. (2003). “An Introduction to Tabu Search”, In **Glover F., Kochenberger G.A. (eds) Handbook of Metaheuristics. International Series in Operations Research & Management Science**. 37-54. Boston, MA: Springer.
- [11] Glover, F. (1995). **Tabu Search Fundamentals and Uses** (Online). Retrieved 28 Jan 2018, from https://www.researchgate.net/publication/249776329_Tabu_Search_Fundamentals_and_Uses.
- [12] Lawley, R. (2018). **Mongoengine** (Online). Retrieved 28 January 2018, from <http://mongoengine.org>.
- [13] Polymer Authors. (2017). **Polymer** (Online). Retrieved 28 January 2018, from <https://www.polymer-project.org>.
- [14] Ringsmuth, E. (2018). **App-router** (Online). Retrieved 28 January 2018, from <https://erikringsmuth.github.io/app-router/>.

Session 5

ด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ

๕๐ ปี มหาวิทยาลัยทักษิณ
50th TSU Anniversary



ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดงสัมพันธ์กับองค์ประกอบของกลุ่มอาการเมตาบอลิก ในผู้สูงอายุ: การศึกษานำร่อง

Pulse Wave Velocity Associated with Metabolic Syndrome Component in the Elderly: A Pilot Study

รุชดา ศรีอาหมัด¹ ปิยะพงษ์ ประเสริฐศรี² พรพร ศรีวรรณวิทย์³ และธูปานิ เริงฤทธิ์^{4*}

Ruchada Sri-amad¹, Piyapong Prasertsri², Porraporn Sriwannawit³ and Thapanee Roengrit^{4*}

บทคัดย่อ

ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดงเป็นการประเมินหลอดเลือดแดงแข็งแบบไม่รุกรานและทำนายโรคหลอดเลือดแดงแข็งในผู้สูงอายุ องค์ประกอบของกลุ่มอาการเมตาบอลิกเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด การศึกษานี้ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นความดันเลือดแดง และองค์ประกอบของกลุ่มอาการเมตาบอลิก ในอาสาสมัครผู้สูงอายุจำนวน 36 คน อายุเฉลี่ย 64.33 ± 4.45 ปี โดยมีองค์ประกอบของกลุ่มอาการเมตาบอลิกอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ (1 องค์ประกอบ; 52.78 %, 2 องค์ประกอบ; 30.55 %, 3 องค์ประกอบ; 11.11 %, 4 องค์ประกอบ; 2.78 % และ 5 องค์ประกอบ; 2.78 %) ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำตาลในเลือดเมื่ออดอาหาร ($r = 0.33$, $p = 0.04$) การมีน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับภาวะหลอดเลือดแดงแข็งตัว เนื่องจากภาวะดื้อต่ออินซูลิน ดังนั้น ผู้สูงอายุควรตระหนักถึงการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตที่ส่งผลต่อการลดอัตราการตายของโรคหัวใจและหลอดเลือด

คำสำคัญ: ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดง องค์ประกอบของกลุ่มอาการเมตาบอลิก สภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง

Abstract

Pulse wave velocity (PWV) was used for noninvasive assessment of arterial stiffness. PWV predicts atherosclerosis in the elderly. The metabolic syndrome (MS) components are risk factors for cardiovascular disease. This study aimed to assess the relationship between PWV and MS components. Thirty-Six elderly subjects with an average age of 64.33 ± 4.45 years had at least one of the metabolic syndrome components (1 component; 52.78 %, 2 components; 30.55 %, 3 components; 11.11 %, 4 components; 2.78 % and 5 components; 2.78 %). The PWV showed a positive correlation with fasting blood glucose ($r = 0.33$, $p = 0.04$). Elevated fasting blood glucose seems to associate with arterial stiffness, due to insulin resistance. Hence, the elderly person should maintain a healthy lifestyle modification that impact of reducing cardiovascular disease mortality.

Keywords: Pulse Wave Velocity, Metabolic Syndrome Components, Arterial Stiffness

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² อ.ดร., คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

³ อ., คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

⁴ อ.ดร., ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Graduate Student, Master Degree, Department of Physiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

² Lecturer, Dr., Faculty of Allied Health Sciences, Burapha University, ChonBuri, 20131

³ Lecturer, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

⁴ Lecturer, Dr., Department of Physiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112

* Corresponding author: Tel 074-288208. E-mail address: Thapanee.ro@psu.ac.th

บทนำ

ผู้สูงอายุ คือ ผู้ที่มีอายุ 60 ปีบริบูรณ์ขึ้นไป ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เกิดการเสื่อมของระบบต่างๆ ในร่างกาย และมีอุบัติการณ์การเกิดโรคเรื้อรัง คือ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และมีภาวะอ้วน [1] ซึ่งกลุ่มอาการผิดปกติเหล่านี้ เรียกกกลุ่มอาการเมตาบอลิก (Metabolic Syndrome; MS) โดย MS ถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์การวินิจฉัยทางคลินิกที่แสดงภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular Disease) รวมถึงการพัฒนาเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 [2-3] ปัจจัยสำคัญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกลุ่มอาการความผิดปกติเหล่านี้ ได้แก่ พฤติกรรมการบริโภคอาหาร การขาดกิจกรรมทางกาย การขาดการออกกำลังกาย การสูบบุหรี่ และการดื่มแอลกอฮอล์ [4-5] เกณฑ์การวินิจฉัย MS จาก National Cholesterol Education Program - Adult Treatment Panel 3 (NCEP ATP III) ระบุว่า ผู้ป่วยต้องอย่างน้อย 3 ข้อใน 5 ข้อตามเงื่อนไขต่อไปนี้ (1) รอบเอว (Waist Circumference; WC) ≥ 90 เซนติเมตร สำหรับชายเอเชีย และ ≥ 80 เซนติเมตร สำหรับหญิงเอเชีย (2) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ≥ 150 มก./ดล. (3) ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Lipoprotein Cholesterol; HDL-C) < 40 มก./ดล. สำหรับเพศชาย และ < 50 มก./ดล. สำหรับเพศหญิง (4) ความดันโลหิตซิสโตลิก (Systolic Blood Pressure; SBP) ≥ 130 มม.ปรอท หรือความดันโลหิตไดแอสโตลิก (Diastolic Blood Pressure; DBP) ≥ 85 มม.ปรอท และ (5) น้ำตาลในเลือดเมื่ออดอาหาร (Fasting Blood Sugar; FBS) ≥ 100 มก./ดล. [6-7] ปัจจุบันสมาคมโรคหัวใจแห่งยุโรป (European Society of Cardiology; ESC) และสมาคมโรคความดันโลหิตสูงแห่งยุโรป (European Society Hypertension; ESH) กำหนดให้ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดง (Pulse Wave Velocity; PWV) เป็นดัชนีชี้วัดทางคลินิกสำหรับการตรวจประเมินโรคหลอดเลือดแดงแข็ง และเป็นการพยากรณ์ความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด [8] ดังนั้นจึงมีการนำ PWV มาใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีการตรวจประเมินหลอดเลือดแดงชนิดไม่รุกราน (Non-Invasive) ราคาไม่แพง และได้ค่าที่มีความแม่นยำ [9] หลอดเลือดแดงที่มีการสูญเสียความยืดหยุ่นจะส่งผลให้ค่าที่ได้จากการวัดความเร็วการเคลื่อนที่ของ PWV เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น [10-11] เป็นที่ทราบกันดีว่า PWV มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุและพบในผู้สูงอายุที่มีความดันโลหิตสูง และไขมันในเลือดสูง [11-13] ซึ่งเหล่านี้เป็นองค์ประกอบของ MS การศึกษานี้จึงต้องการประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง PWV กับแต่ละองค์ประกอบของ MS เนื่องจากหากพบความสัมพันธ์ของตัวแปรข้างต้น อาจสามารถระบุได้ว่าองค์ประกอบของ MS เงื่อนไขใดส่งผลต่อ PWV มากที่สุด เพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรม และป้องกันความรุนแรงของความแข็งตัวของหลอดเลือดแดง

วัตถุประสงค์ และวิธีดำเนินการ

กลุ่มอาสาสมัครเป็นคนไทยสูงอายุที่มารับบริการ ณ ศูนย์ส่งเสริมสุขภาพ หาดใหญ่ชีวาสุข ทั้งเพศหญิงและเพศชาย อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 36 คน ไม่มีประวัติเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด (เช่น กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ กล้ามเนื้อหัวใจตาย หัวใจเต้นผิดจังหวะ หัวใจล้มเหลว โรคลิ้นหัวใจผิดปกติ และโรคหลอดเลือดอักเสบ) การทำงานของไตไม่ผิดปกติ ไม่ใช้ยาที่ส่งผลต่อการควบคุมหรือเปลี่ยนแปลงความดันโลหิต (เช่น ยาลดความดันโลหิต และยาลดไขมันในเลือด) ไม่มีสภาวะของความเจ็บป่วย (เช่น เป็นไข้ ปวดหัว มีน้ิรยะอ่อนแรง) และสมัครใจในการเข้าร่วมโครงการวิจัย การวิจัยดำเนินการ ณ ศูนย์ส่งเสริมสุขภาพ หาดใหญ่ชีวาสุข การวิจัยนี้ได้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รหัสโครงการวิจัย 60-166-19-2 อาสาสมัครผู้สูงอายุได้รับการนัดหมาย 2 ครั้ง ดังนี้ การนัดหมายครั้งที่ 1 อาสาสมัครผู้สูงอายุได้รับใบชี้แจงการเข้าร่วมวิจัยและเซ็นยินยอมเข้าร่วมวิจัย อาสาสมัครผู้สูงอายุตอบแบบบันทึกการรับประทานอาหาร โดยกรอกข้อมูล 3 วัน เลือกกรอกวันจันทร์-ศุกร์ จำนวน 2 วัน และเลือกกรอกวันเสาร์ หรือวันอาทิตย์ จำนวน 1 วัน แล้วนำเข้าโปรแกรมคำนวณคุณค่าสารอาหาร (IMMUCAL-N) และตอบแบบบันทึกการทำกิจกรรมทางกาย (Physical Activity Questionnaire: GPAQ Version 2) จากนั้นได้รับการตรวจสัญญาณชีพ (Vital Signs) ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Resting Heart Rate; RHR) ด้วย

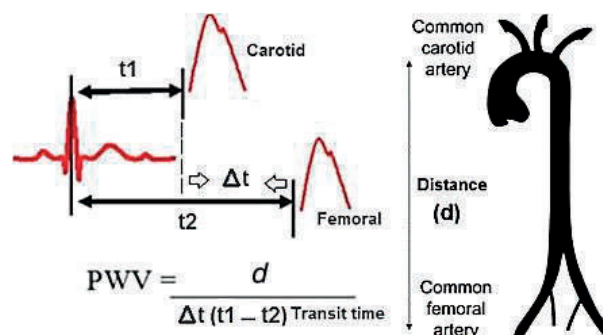
เครื่อง Pulse Oximeter (Masimo, United States) ความดันโลหิต (Blood Pressure; BP) ด้วยเครื่อง Mercury Sphygmomanometer (Riester, Germany) ได้รับการวัดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometry) ได้แก่ ความสูง น้ำหนักตัว แล้วคำนวณหาค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index: BMI) โดยใช้สูตร $BMI = \text{น้ำหนักตัว[kg]} / (\text{ส่วนสูง[m]})^2$ ได้รับการตรวจเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (% Fat Mass) ด้วยเครื่องวัดไขมัน (UM-076 Tanita, Japan) โดยใช้หลักการ Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) ตรวจการกระจายของไขมันในร่างกาย (Body Fat Distribution) จากการวัดอัตราส่วนระหว่างรอบเอวต่อรอบสะโพก (Waist to Hip Ratio: WHR) โดยใช้สูตร $WHR = \text{รอบเอว [นิ้ว]} / \text{รอบสะโพก [นิ้ว]}$ และได้รับการเจาะเลือดทางหลอดเลือดดำประมาณ 4 มิลลิลิตร (ภายหลังดื่มน้ำและอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมง) เพื่อวิเคราะห์ระดับไขมันในเลือด (Lipid Profile) ได้แก่ Triglyceride, High Density Lipoprotein Cholesterol (HDL-C), Low Density Lipoprotein Cholesterol (LDL-C) และ Cholesterol นัดหมายครั้งที่ 2 อาสาสมัครผู้สูงอายุรับการตรวจวัด PWV โดยอาสาสมัครนอนหงาย จากนั้นติดเซ็นเซอร์ที่จุดเริ่มต้นของหลอดเลือดแดงตำแหน่งคอ (Carotid Artery) และหลอดเลือดแดงที่ตำแหน่งขาหนีบ (Femoral Artery) โดยเครื่อง VaSera VS-1500N ซึ่งเครื่องมือสามารถตรวจวัดความยืดหยุ่นของหลอดเลือดแดงจากระยะทางความยาวของหลอดเลือด และระยะเวลา (ภาพที่ 1) ข้อมูลค่าตัวแปรในงานวิจัยแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับ PWV โดยการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ ใช้สถิติ Pearson Correlation และสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงของข้อมูลที่ผิดปกติ จะใช้ Non-Parametric Test คือ Spearman's Rank Correlation วิเคราะห์ความแตกต่างของ PWV แต่ละกลุ่มองค์ประกอบของ MS ด้วยสถิติ Mann-Whitney u Test กำหนดค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ SCI610431S และทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

PWV: ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดง

Δt : ความแตกต่างของเวลาที่คลื่นความดันเลือดแดง

เคลื่อนที่ถึง carotid artery (t1) และ femoral artery (t2)

d: ระยะทางความยาวจาก carotid artery ถึง femoral artery



ภาพที่ 1 ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดง (Pulse Wave Velocity; PWV) [23]

ผลการวิจัย

อาสาสมัครผู้สูงอายุจำนวน 36 คน (ตารางที่ 1) เพศชายจำนวน 10 คน (ร้อยละ 27.78) เพศหญิงจำนวน 26 คน (ร้อยละ 72.22) อายุเฉลี่ย 64.33 ± 4.45 ปี เส้นรอบเอวเฉลี่ย 87.44 ± 2.52 เซนติเมตร ความดันโลหิตซิสโตลิกเฉลี่ย 126.67 ± 13.72 มิลลิเมตรปรอท และความดันโลหิตไดแอสโตลิกเฉลี่ย 77.05 ± 7.85 มิลลิเมตรปรอท ค่าความเร็วคลื่นความดันเลือดแดงเฉลี่ย 9.63 ± 0.56 เมตร/วินาที ไตรกลีเซอไรด์เฉลี่ย 111.74 ± 40.93 มก./ดล. ไกลโคโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูงเฉลี่ย 60.29 ± 15.14 มก./ดล. และน้ำตาลในเลือดเมื่ออดอาหารเฉลี่ย 99.29 ± 11.20 มก./ดล.

ตารางที่ 1 ข้อมูลลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร (จำนวน 36 คน)

Characteristics	Mean $\pm$ SD
Male (%)	27.78
Female (%)	72.22
Age (years)	64.33 $\pm$ 4.45
Height (cm)	157.75 $\pm$ 7.12
Weight (kg)	60.26 $\pm$ 7.97
BMI (kg/m ²)	24.18 $\pm$ 2.51
WC (cm)	87.44 $\pm$ 2.52
Male	87.60 $\pm$ 7.51
Female	87.54 $\pm$ 7.43
WHR	0.89 $\pm$ 0.05
% Fat mass	32.91 $\pm$ 5.00
Hemodynamic parameters	
RHR (bpm)	70.17 $\pm$ 10.42
SBP (mm Hg)	126.67 $\pm$ 13.72
DBP (mm Hg)	77.05 $\pm$ 7.85
MAP (mm Hg)	93.59 $\pm$ 8.91
PP (mm Hg)	49.61 $\pm$ 10.50
PWV (m/sec)	9.63 $\pm$ 0.56
Biochemical parameters	
Cholesterol (mg/dl)	241.74 $\pm$ 41.96
HDL-C (mg/dl)	60.29 $\pm$ 15.14
Male	58.89 $\pm$ 20.05
Female	60.86 $\pm$ 12.54
Triglyceride (mg/dl)	111.74 $\pm$ 40.93
LDL-C (mg/dl)	167.18 $\pm$ 34.34
FBS (mg/dl)	99.29 $\pm$ 11.20

SD, standard deviation; RHR, resting heart rate; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; MAP, mean arterial pressure; PP, pulse pressure; BMI, body mass index; WC, waist circumference; WHR, waist to hip ratio; PWV, pulse wave velocity; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol; FBS, fasting blood sugar

ข้อมูลทางโภชนาการพบว่าอาสาสมัครผู้สูงอายุมีพลังงานทั้งหมดเฉลี่ย $1,719.35 \pm 330.27$ กิโลแคลอรี อาสาสมัครผู้สูงอายุร้อยละ 61.61 มีการทำกิจกรรมทางกายอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง ระดับสูงร้อยละ 25.00 และระดับต่ำร้อยละ 13.89 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ข้อมูลโภชนาการ และกิจกรรมทางกายของอาสาสมัคร

Parameters	Mean $\pm$ SD
Dietary parameters	
Energy (kcal)	1,719.35 $\pm$ 330.27
Protein (g)	55.33 $\pm$ 15.72
Carbohydrate (g)	258.69 $\pm$ 64.55
Fat (g)	51.47 $\pm$ 16.37
Sodium (mg)	2,619.43 $\pm$ 1,175.58
Potassium (mg)	1,299.29 $\pm$ 673.26
Magnesium (mg)	48.92 $\pm$ 24.13
Calcium (mg)	509.16 $\pm$ 348.65
Physiological activity levels	
High ($\geq$ 3000 MET-minute/week) (%)	13.89
Moderate (600-2999 MET-minute/week) (%)	61.11
Low (< 600 MET-minute/week) (%)	25.00

MET, metabolic equivalents

อาสาสมัครผู้สูงอายุทั้งหมดมีผู้ที่มีองค์ประกอบของ MS 1 องค์ประกอบจำนวน 19 คน (ร้อยละ 52.78) 2 องค์ประกอบจำนวน 11 คน (ร้อยละ 30.55) 3 องค์ประกอบจำนวน 4 คน (ร้อยละ 11.11) 4 องค์ประกอบจำนวน 1 คน (ร้อยละ 2.78) และ 5 องค์ประกอบจำนวน 1 (ร้อยละ 2.78) โดยไม่พบความแตกต่างของ PWV กับจำนวนองค์ประกอบ MS และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ PWV กับแต่ละองค์ประกอบของ MS (ตารางที่ 3) พบความสัมพันธ์เชิงบวกของ PWV กับน้ำตาลในเลือดเมื่ออดอาหาร ($r = 0.33$, $p = 0.04$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง PWV กับความดันโลหิตซิสโตลิก ความดันโลหิตไดแอสโตลิก เส้นรอบเอว ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง และไตรกลีเซอไรด์

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง PWV กับองค์ประกอบ MS

	PWV	
	Correlation Coefficient (r)	p-Value
SBP (mm Hg)	0.05	0.78
DBP (mm Hg)	0.03	0.86
WC (cm)	0.11	0.53
HDL-C (mg/dl)	-0.10	0.58
Triglyceride (mg/dl)	-0.15	0.42
FBS (mg/dl)	0.33	0.04*

* มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p -value < 0.05, SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; WC, waist circumference; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; FBS, fasting blood sugar

การอธิบายและสรุปผลการวิจัย

อาสาสมัครผู้สูงอายุจำนวน 36 คน ได้รับพลังงานจากสารอาหารเฉลี่ย $1,719.35 \pm 330.27$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ ($1,200 - 2,200$ kcal/day) [7] ระดับกิจกรรมทางกายเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง และดัชนีมวลกายเฉลี่ย 24.18 ± 2.51 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงน้ำหนักเกิน (BMI ปกติ = $18.5 - 22.9$) [14] ซึ่งโดยทั่วไปความต้องการพลังงานจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของร่างกาย ปริมาณกล้ามเนื้อลดลงขณะที่เนื้อเยื่อไขมันเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเผาผลาญพลังงานพื้นฐานของร่างกาย (Basal Metabolic Rate) ลดลง [15] การพิจารณาองค์ประกอบของ MS ที่ประกอบด้วย ความดันโลหิตซิสโตลิก ความดันโลหิตไดแอสโตลิก ไตรกลีเซอไรด์ ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง เส้นรอบเอว และน้ำตาลในเลือดเมื่ออดอาหาร จากเกณฑ์การวินิจฉัย MS ของ NCEP ATP III จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ อย่างไรก็ตาม พบ PWV มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำตาลในเลือดเมื่ออดอาหาร ($r = 0.33, p = 0.04$) รายงานจากงานวิจัยในอดีตพบว่า MS เป็นผลจากภาวะอ้วน และภาวะดื้อต่ออินซูลิน (Insulin Resistance) [16-17] เมื่อร่างกายใช้กลูโคสไม่หมดลงเหลือตกค้างในกระแสเลือด ตับอ่อนมีการหลั่งอินซูลินมากขึ้น เมื่อเกิดเป็นระยะเวลานานส่งผลให้ตับอ่อนทำงานผิดปกติ หลั่งอินซูลินได้น้อยลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ น้ำตาลในเลือดจึงสูงขึ้น [18-20] ในภาวะที่มีน้ำตาลในเลือดสูงเรื้อรังจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Endothelium) ส่งผลให้การทำงานของหลอดเลือดในตริกออกไซด์ (Nitric Oxide) มีคุณสมบัติทำให้หลอดเลือดขยายตัวได้น้อยลง [21] ไนตริกออกไซด์เป็นสารที่ผลิตจากเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ซินเทส (Nitric Oxide Synthase; NOS) โดยการเปลี่ยนกรดอะมิโนแอลอาร์จินิน (L-arginine) ให้เป็นกรดอะมิโนแอลซิทรูลิน (L-Citrulline) แล้วแพร่ไปยังเซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่เป็นโครงสร้างหลักของหลอดเลือด ส่งผลเพิ่มปริมาณของ Cyclic Guanosine Monophosphate (cGMP) ทำให้หลอดเลือดขยายตัว [22-23] ในภาวะน้ำตาลสูง นอกเหนือจากการสร้างไนตริกออกไซด์ลดลงแล้ว ยังส่งผลให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบจากเดิมที่อยู่ในในสภาวะปกติ (Quiescent State) เปลี่ยนเป็นภาวะถูกกระตุ้น (Synthetic State) ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบมีการเพิ่มจำนวนและเคลื่อนที่ (Smooth Muscle Cells Proliferation and Migration) เกิดการหนาตัวของผนังหลอดเลือด [24] ทำให้หลอดเลือดสูญเสียความยืดหยุ่น และมีสภาพแข็งมากขึ้น (Arterial Stiffness) เมื่อตรวจ PWV จึงมีค่าสูง [25] สอดคล้องกับ Bramwell-Hill Relationship ระบุว่า PWV แปรผกผันกับค่าความสามารถในการยืดขยายของหลอดเลือด [26-28] ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการมีน้ำตาลในเลือดสูงเมื่ออดอาหาร จะพบ PWV มีค่าสูงขึ้น

การศึกษานี้ พบความสัมพันธ์ของน้ำตาลในเลือดเมื่ออดอาหาร ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ MS โดยสัมพันธ์ต่อ PWV แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของ PWV กับความดันโลหิตซิสโตลิก ความดันโลหิตไดแอสโตลิก ไตรกลีเซอไรด์ ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นรอบเอว ซึ่งผลดังกล่าวอาจเกิดจากจำนวนตัวอย่างไม่น้อยเกินไปในแต่ละกลุ่ม โดยการศึกษาเป็นเพียงการศึกษานำร่อง กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ดังนั้นการศึกษเพิ่มเติม ผู้วิจัยจะมีการเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่าง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยพิจารณาจำแนกตาม อายุ และเพศ และมีการตรวจเพิ่มเติม คือการวัด plasma insulin เพื่อคำนวณ HOMA-IR ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความจำเพาะยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] De Oliveira M.F.B., Yassuda M.S., Aprahamian I., Neri A.L., Guariento M.E. (2017). "Hypertension, Diabetes and Obesity are Associated with Lower Cognitive Performance in Community-Dwelling Elderly: Data from the FIBRA Study", **Dementia & Neuropsychologia**. 11, 398-405.
- [2] Kim, Y.J., Kim, Y.J., Cho, B.M. and Lee, S. (2010). "Metabolic Syndrome and Arterial Pulse Wave Velocity", **Acta Cardiologica**. 65, 315-321.

- [3] Lee, D.H., Youn, H.J., Chung, W.B., Choi, Y.S., Lee, J.M., Park, C.S., Jung, H.O., Jeon, H.K. and Lee, M.Y. (2017). “Effects of Metabolic Syndrome on Aortic Pulse Wave Velocity”, **Clinical Hypertension**. 23, 1-7.
- [4] Liaw, F.Y., Kao, T.W., Wu, L.W., Wang, C.C., Yang, H.F., Peng, T.C., Sun, Y.S., Chang, Y.W. and Chen, W.L. (2016). “Components of Metabolic Syndrome and the Risk of Disability among the Elderly Population”, **Scientific Reports**. 6, 1-9.
- [5] Ahmed, T. and Haboubi, N. (2010). “Assessment and Management of Nutrition in Older People and Its Importance to Health”, **Clinical Interventions in Aging**. 5, 207-216.
- [6] Rezaianzadeh, A., Namayandeh, S.M. and Sadr, S.M. (2012). “National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III Versus International Diabetic Federation Definition of Metabolic Syndrome, Which One is Associated with Diabetes Mellitus and Coronary Artery Disease”, **International journal of preventive medicine**. 3, 552-558.
- [7] Wen, J., Yang, J., Shi, Y., Liang, Y., Wang, F., Duan, X., Lu, X., Tao, Q., Lu, X., Tian, Y., et al. (2015). “Comparisons of Different Metabolic Syndrome Definitions and Associations with Coronary Heart Disease, Stroke, and Peripheral Arterial Disease in a Rural Chinese Population”, **Plos One**. 10, 1-15.
- [8] Bornfeldt, K.E. and Tabas, I. (2011). “Insulin Resistance, Hyperglycemia, and Atherosclerosis”, **Cell Metabolism**. 14, 575-585.
- [9] Pereira, T., Correia, C. and Cardoso, J. (2015). “Novel Methods for Pulse Wave Velocity Measurement”, **Journal of Medical and Biological Engineering**. 35, 555-565.
- [10] Zhang, Y., Agnoletti, D., Xu, Y., Wang, J.G., Blacher, J. and Safar, M.E. (2014). “Carotid-Femoral Pulse Wave Velocity in the Elderly”, **Journal of Hypertension**. 32, 1572-1576.
- [11] Brunner-La Rocca, H.P. (2010). “Towards Applicability of Measures of Arterial Stiffness in Clinical Routine”, **European Heart Journal**. 31, 2320-2322.
- [12] Diaz, A., Galli, C., Tringler, M., Ramirez, A. and Ignacio Cabrera Fischer, E. (2014). “Reference Values of Pulse Wave Velocity in Healthy People from an Urban and Rural Argentinean Population”, **International Journal of Hypertension**. 14, 1-7.
- [13] Obeid, H., Soulat, G., Mousseaux, E., Laurent, S., Stergiopulos, N., Pierre Boutouyrie, and Segers, P. (2017). “Numerical Assessment and Comparison of Pulse Wave Velocity Methods Aiming at Measuring Aortic Stiffness”, **Physiological Measurement**. 38, 1953-1967.
- [14] Misra, A. (2015). “Ethnic-Specific Criteria for Classification of Body Mass Index: A Perspective for Asian Indians and American Diabetes Association Position Statement”, **Diabetes Technology & Therapeutics**. 17, 667-671.
- [15] E, L. and Akner, G. (2006). “Resting Metabolic Rate in Elderly Nursing Home Patients with Multiple Diagnoses”, **The Journal of Nutrition Health and Aging**. 10, 263-270.
- [16] Guo, H., Gao, X., Ma, R., Liu, J., Ding, Y., Zhang, M., Zhang, J., Mu, L., He, J., Yan, Y., et al. (2017). “Prevalence of Metabolic Syndrome and its Associated Factors among Multi-Ethnic Adults in Rural Areas in Xinjiang, China”, **Scientific Reports**. 7, 1-9.

- [17] Jeroncic, A., Gunjaca, G., Mrsic, D.B., Mudnic, I., Brizic, I., Polasek, O. and Boban, M. (2016). “Normative Equations for Central Augmentation Index: Assessment of Inter-Population Applicability and How It could be Improved”, **Scientific Reports**. 6, 1-9.
- [18] Mendizabal, Y., Llorens, S. and Nava, E. (2013). “Hypertension in Metabolic Syndrome: Vascular Pathophysiology”, **International Journal of Hypertension**. 230868, 1-15.
- [19] Bloomgarden, Z.T. (2011). “World Congress on Insulin Resistance, Diabetes, and Cardiovascular Disease: Part 1”, **Diabetes Care**. 34, e115-120.
- [20] Agrawal, A., Garg, R., Sahu, D. and Kumar, M. (2017). “Study the Association of Chronic Obstructive Pulmonary Disease with Early Endothelial Dysfunction and Its Impact on Cardiovascular System by Estimating Urinary Albumin Creatinine Ratio”, **Lung India**. 34, 138-143.
- [21] Tousoulis, D., Kampoli, A.M., Tentolouris, C., Papageorgiou, N. and Stefanadis, C. (2012) “The Role of Nitric Oxide on Endothelial Function”. **Current Vascular Pharmacology**. 10, 4-18.
- [22] Cahill, P.A. and Redmond, E.M. (2016). “Vascular Endothelium-Gatekeeper of Vessel Health”, **Atherosclerosis**. 248, 97-109.
- [23] Gkaliagkousi, E. and Ferro, A. (2011). “Nitric Oxide Signalling in the Regulation of Cardiovascular and Platelet Function”, **Frontiers in Bioscience (Landmark Edition)**. 16, 1873-1897.
- [24] Zhang, W., Chen, S., Zhang, Z., Wang, C. and Liu, C. (2017). “FAM3B Mediates High Glucose-Induced Vascular Smooth Muscle Cell Proliferation and Migration Via Inhibition of miR-322-5p”, **Scientific Reports**. 7, 1-13.
- [25] Endes, S., Caviezel, S., Schaffner, E., Dratva, J., Schindler, C., Kunzli, N., Bachler, M., Wassertheurer, S., Probst-Hensch, N. and Schmidt-Trucksass, A. (2016). “Associations of Novel and Traditional Vascular Biomarkers of Arterial Stiffness: Results of the SAPALDIA 3 Cohort Study”, **Plos One**. 11, 1-12.
- [26] Refaat, A., Abdou, M., Ismael, A. and Alhelali, I. (2015). “Aortic Stiffness and Microalbuminuria in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease”, **Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis**. 64, 541-549.
- [27] Pilt, K., Koots, K., Meigas, K., Samarin, A., Zemtsovskaja, G. and Viigimaa, M. (2014). “The Aortic Pulse Wave Velocity Estimation for Arterial Stiffness Assessment”, **In 6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, (Springer, Cham)**, 7-11 September 2014, Dubrovnik, Croatia, 294-297.
- [28] Westenber, J.J., Van Poelgeest, E.P., Steendijk, P., Grotenhuis, H.B., Jukema, J. and de Roos, A. (2012). “Bramwell-Hill Modeling for Local Aortic Pulse Wave Velocity Estimation: A Validation Study with Velocity-Encoded Cardiovascular Magnetic Resonance and Invasive Pressure Assessment”, **Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance**. 14, 1-10.

ผลของสมุนไพรฟ้าทะลายโจรต่อการขนส่งไอออน
ในเซลล์เยื่อบุผิวทางเดินหายใจมนุษย์
**Effect of *Andrographis paniculata* on Ion Transport
in Human Respiratory Epithelium**

นวิชา หุยเป้า^{1*}
Nawiya Huipao^{1*}

บทคัดย่อ

ฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata*) เป็นสมุนไพรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมานานหลายศตวรรษในประเทศจีน อินเดีย และประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยใช้สำหรับการรักษาโรคติดเชื้อทางระบบหายใจและบรรเทาอาการหวัด อย่างไรก็ตาม การศึกษาฤทธิ์ของฟ้าทะลายโจรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการขนส่งไอออนในเซลล์เยื่อบุผิวทางเดินหายใจยังไม่มีที่ทราบแน่ชัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของฟ้าทะลายโจรต่อกลไกการขนส่งไอออนในเซลล์ H441 ซึ่งเป็นเซลล์เยื่อบุผิวทางเดินหายใจมนุษย์โดยใช้เทคนิค Ussing Chamber ในการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้ารวม ซึ่งแสดงถึงการขนส่งไอออนสุทธิที่เกิดขึ้นผ่านเซลล์เยื่อบุผิว จากการทดลองพบว่า ฟ้าทะลายโจรทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างด้านบนและด้านล่างของเซลล์เยื่อบุผิวทางเดินหายใจและค่ากระแสไฟฟ้ารวม ($p < 0.001$; $n = 5$) โดยผลการออกฤทธิ์ของฟ้าทะลายโจรจะหายไปเมื่อมีการยับยั้งการทำงานของเยื่อช่องโซเดียมด้วยอะมิโลไรด์ ซึ่งเป็นสารที่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของโซเดียมไอออนเข้าสู่เซลล์อย่างแรง ($p < 0.001$; $n = 5$) การทดลองนี้ยังพบว่า การออกฤทธิ์ของฟ้าทะลายโจรไม่ผ่านการทำงานของเยื่อช่องคลอไรด์ ชนิด TMEM16A และ CFTR ซึ่งศึกษาโดยใช้สารยับยั้งการทำงานของเยื่อช่องคลอไรด์ ผลการศึกษานี้สรุปได้ว่า ฟ้าทะลายโจรมีฤทธิ์ทำให้เซลล์ H441 มีการดูดซึมของโซเดียมไอออนผ่านทางเยื่อช่องโซเดียมเพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้การคัดหลั่งของคลอไรด์เปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: ฟ้าทะลายโจร เซลล์เยื่อบุผิวทางเดินหายใจมนุษย์ การดูดซึมของโซเดียมไอออน

Abstract

Andrographis paniculata, also known as Fah Talai Jone in Thailand, is an herb traditionally used in China, India and Southeast Asia. It has been widely used for centuries, for the treatment of respiratory infection and common cold. However, the effect of *Andrographis paniculata* in regulating ion transport in respiratory epithelium is currently has not well understood. Thus, the present study was aimed to determine the effect of *Andrographis paniculata* on ion transport in human respiratory epithelium using NCI-H441 cell line using Ussing chamber technique. The equivalent short-circuit (I_{sc}), an indicator of ion transport across the epithelium was calculated. The results showed that *Andrographis*

¹ อ.ดร., ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

¹ Lecturer, Dr., Department of Physiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

* Corresponding author: Tel.: 074-288206. E-mail address: nawiya.h@psu.ac.th

paniculata increased transepithelial potential difference and I_{sc} ($p < 0.001$; $n = 5$). The effect of *Andrographis paniculata* was abolished when the cell monolayer was pre-treated with amiloride, a potent epithelial sodium channel (ENaC) blocker ($p < 0.001$; $n = 5$). Interestingly, the effect of *Andrographis paniculata* was not sensitive to TMEM16A and CFTR Cl^- channel blockers. Taken together these findings suggest that *Andrographis paniculata* increases Na^+ absorption via ENaC without any effect on Cl^- secretion in H441 cells.

Keywords: *Andrographis paniculata*, Human Respiratory Epithelium, Na^+ absorption

Introduction

Andrographis paniculata, commonly known as Fah Talai Jone (King of Bitters), is an herbal medicine that has been widely used in Chinese, Thai, and Ayurvedic medicine for treatment of asthma, respiratory tract infection [1], common cold [2], influenza and fever [3]. Pharmacological studies suggest anti-inflammatory [4-5], antipyretic [6], antiviral [7] and immunostimulatory [8] properties. Some clinical studies in uncomplicated common cold patients showed that the effectivity of *Andrographis paniculata* was much pronounced in controlling nasal secretion and nasal congestion [9]. However, the mechanism of this anti-secretory action remains unknown. Because airway surface fluid consists of mucous glycoprotein released from submucosal glands and water transported across airway epithelial cells, the latter being determined by transepithelial ion transport [10]. In particular, it is regulated by the balance between Na^+ absorption mediated by epithelial sodium channel (ENaC) and Cl^- secretion mediated by cystic fibrosis transmembrane conductance regulator (CFTR) and the calcium-activated Cl^- channel (CaCC) [11].

H441 cell is a respiratory epithelial cell line that has been used extensively as a suitable model for studying electrolyte and fluid transport in the respiratory epithelium. So far the effect of *Andrographis paniculata* in regulating ion transport in this cell type has not yet been well understood. The present study aimed to determine the effect of *Andrographis paniculata* on respiratory epithelium ion transport functions by measured bioelectric properties of H441 monolayer, which primarily secretes Cl^- and absorbs Na^+ [12], under short-circuit *in vitro* condition.

Materials and Methods

Cell culture: The human lung adenocarcinoma epithelial cell line, NCI-H441 cells (ATCC[®] HTB-174[™]), was a gift from Assoc. Prof. Dr. Anuwat Dinudom (University of Sydney, New South Well, Australia). H441 cells were grown in RPMI 1640 medium supplemented with 9 % fetal bovine serum, 2 mM L-glutamine, 5 μ g/ml insulin, 5 μ g/ml transferrin, 5 ng/ml selenium and 100 U/ml penicillin and streptomycin. The cells were maintained in 75 cm² flasks and incubated in a humidified atmosphere of 5 % CO₂ at 37 °C until they reach 70 % confluence before plating on Snapwell (Corning, U.S.A). For Ussing chamber studies, the cells were plated on Snapwell at the density 250,000 cells/insert and grown in RPMI 1640 medium supplemented with 100 nM dexamethasone. After seeding for 24 hr, apical side of the cells were washed and 100 μ l of fresh media added whereas the bottom compartment of the Snapwell were filled with 1.5 ml of fresh media and subsequently changed every 48 hr. Monolayers were incubated for 4-5 days until tight junctions were developed.

Ussing chamber study: Ussing chamber technique was used to determine the equivalent short-circuit current representing ion transport property of H441 cell monolayers grown on permeable supports (Snapwell). The Ussing chamber is separated into two compartments, apical and basolateral, divided by the monolayer. Each half of the chamber was filled with physiological bathing solution containing (in mM) NaCl (130), KCl (4), H-HEPES (5), Na^+ -HEPES (5), MgCl_2 (1), CaCl_2 (1) and glucose (5); pH 7.4. The chamber was connected to a data acquisition system (PowerLab 4/30, ADInstruments, New South Wales, Australia) and a high impedance device to prevent current to be drawn from the circuit by equipment. Transepithelial potential difference (V_{te}) was monitored continuously using a Chart V 7 program with reference to the basolateral side of the epithelium. Transepithelial resistance (R_{te}) was determined by applying short (200 ms) current pulses (3 μA , period 6 s). The equivalent short-circuit current (I_{sc}) was calculated according to Ohm's Law ($I = V/R$). Short-circuit current was allowed to stabilize for approximately 10 min before performing the experiment.

After the H441 monolayers were allowed to equilibrate in the Using chamber for 10-20 min, *Andrographis paniculata* extract (Traditional Thai medicine Hospital, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand) dissolved in DMSO, at a concentration of 1, 10, 100 or 1000 $\mu\text{g/ml}$, was added to the apical bathing solution and the changes in V_{te} were recorded for at least 20 min. Pharmacological inhibitors were added to the apical side of the chamber 10 min prior to expose to the *Andrographis paniculata*. These include, at final concentration, 10 μM amiloride (Sigma, Missouri, U.S.A.), 20 μM CFTRinh-172 (Sigma, Missouri, U.S.A.) and 30 μM T16Ainh-A01 (Tocris Bioscience, Bristol, U.K.).

Statistical analysis: All data were expressed as mean $\pm$ standard error (S.E.M.) from at least 5 sets of experiments. Statistical difference was assessed using the one-way analysis of variance (ANOVA) with Student-Newman-Keuls post-hoc test and $p < 0.05$ was considered to be statistically significant.

Results and Discussion

The basal transepithelial potential difference (V_{te}) and transepithelial resistance (R_{te}) of H441 cells monolayers were 23.19 ± 1.23 mV ($n = 25$) and $1649.80 \pm 81.94 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ($n = 25$), respectively. These corresponded to an equivalent short-circuit current (I_{sc}) of $14.96 \pm 1.02 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($n = 25$), calculated with Ohm's law. To determine the effect of *Andrographis paniculata* on ion transport in H441 cells, as illustrated in the representative tracings (Figure 1), exposing the apical membrane of H441 cell monolayers with *Andrographis paniculata* (AP) 1000 $\mu\text{g/ml}$ caused a 7.33 ± 1.03 mV ($n = 5$, $p < 0.001$) increase in V_{te} (apical side becomes more negative, Figures 1E and 2A), which reached a plateau level within 10 min. This correspond to $3.61 \pm 0.57 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($n = 5$, $p < 0.001$) increase in I_{sc} (Figure 2B). Whereas AP 100 $\mu\text{g/ml}$ caused an increase in V_{te} (4.54 ± 0.89 mV, $n = 5$, $p < 0.001$; Figures 1D and 2A) but has no effect on I_{sc} of H441 cells ($0.20 \pm 0.55 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, $n = 5$; Figure 2B). Giving that DMSO showed no effect on the V_{te} (Figures 1A and 2A) and I_{sc} (Figure 2B), indicating that the changes in V_{te} and I_{sc} observed in this study were not an effect of solvent.

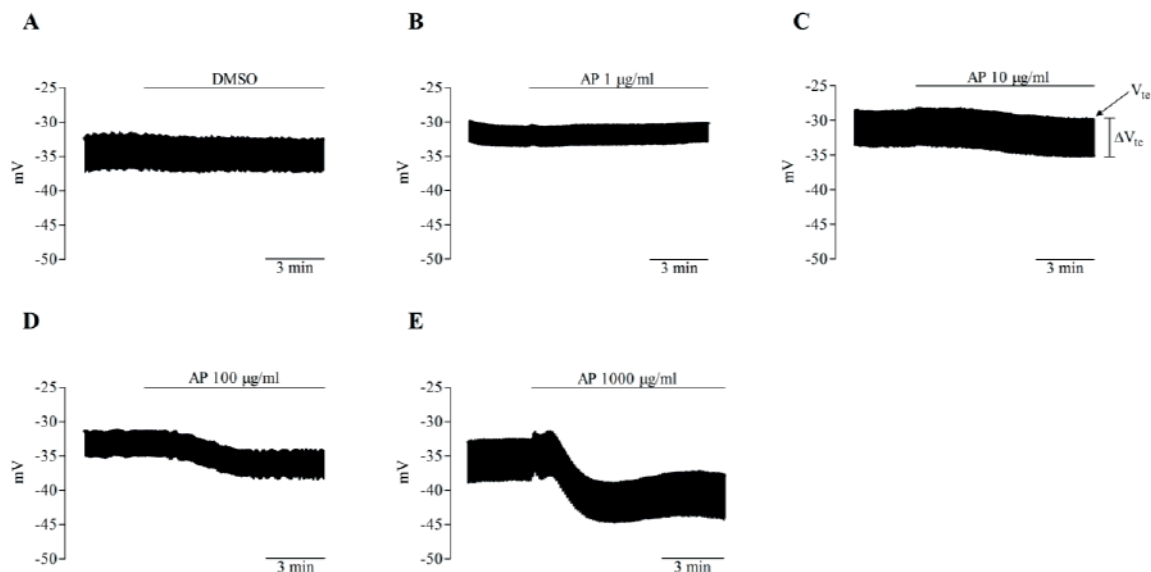


Figure 1 The effect of *Andrographis paniculata* (AP) on transepithelial voltage (V_{te}) in H441 cells. Representative recordings of V_{te} in H441 cells in response to (A) DMSO, (B) AP 1 $\mu\text{g/ml}$, (C) AP 10 $\mu\text{g/ml}$, (D) AP 100 $\mu\text{g/ml}$, and (E) AP 1000 $\mu\text{g/ml}$ were added into apical bathing solution 10-20 min after start recording. V_{te} indicates transepithelial potential, ΔV_{te} indicates voltage changes in response to 3 μA injecting current and solid bar indicates the duration in which AP present in the apical bath solution.

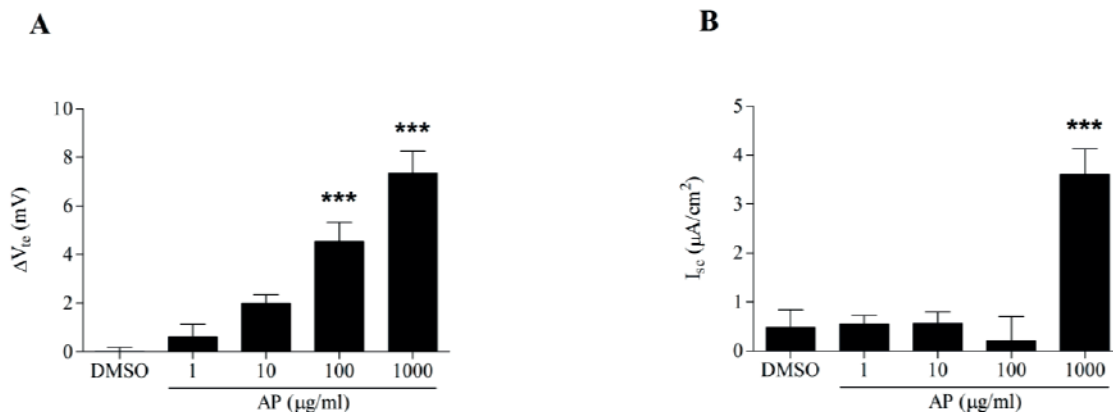


Figure 2 The effect of *Andrographis paniculata* (AP) on voltage changes (ΔV_{te}) and equivalent short-circuit current (I_{sc}) in H441 cells. The apical side of H441 monolayers was added with DMSO, AP 1, 10, 100 or 1000 $\mu\text{g/ml}$. Values are mean $\pm$ SEM from at least 5 sets of experiments. *** indicates $p < 0.001$ compared to negative control, DMSO (one-way ANOVA with Student-Newman-Keuls post-hoc test).

An increase in I_{sc} subsequent to *Andrographis paniculata* treatment may be due to either increasing cation absorption or anion secretion. The major route for cation absorption in respiratory cells is via the amiloride-sensitive pathway [13]. To determine the amiloride-sensitive component of the *Andrographis paniculata*-induced I_{sc} response, the H441 monolayers were pre-treated with 10 μM amiloride, a potent epithelial sodium channel (ENaC) blocker, by

added into the apical bath solution to eliminate the contribution of ENaC on I_{sc} . Under this condition, 1000 $\mu\text{g/ml}$ AP-induce V_{te} and I_{sc} was 0.82 ± 0.34 mV ($n = 5$, $p < 0.001$; Figures 3B and 4A) and 0.46 ± 0.16 $\mu\text{A/cm}^2$ ($n = 5$, $p < 0.001$; Figure 4B), respectively. These results suggest a strong possibility that the mechanism by which *Andrographis paniculata* increase I_{sc} in H441 cells is mediated via ENaC. This finding is different with a previous report [14] that bisandrographolide, an active compound from *Andrographis paniculata* extracts, activates TRPV4 channel, nonselective cation channels, a Ca^{2+} -permeable in HEK293T cells.

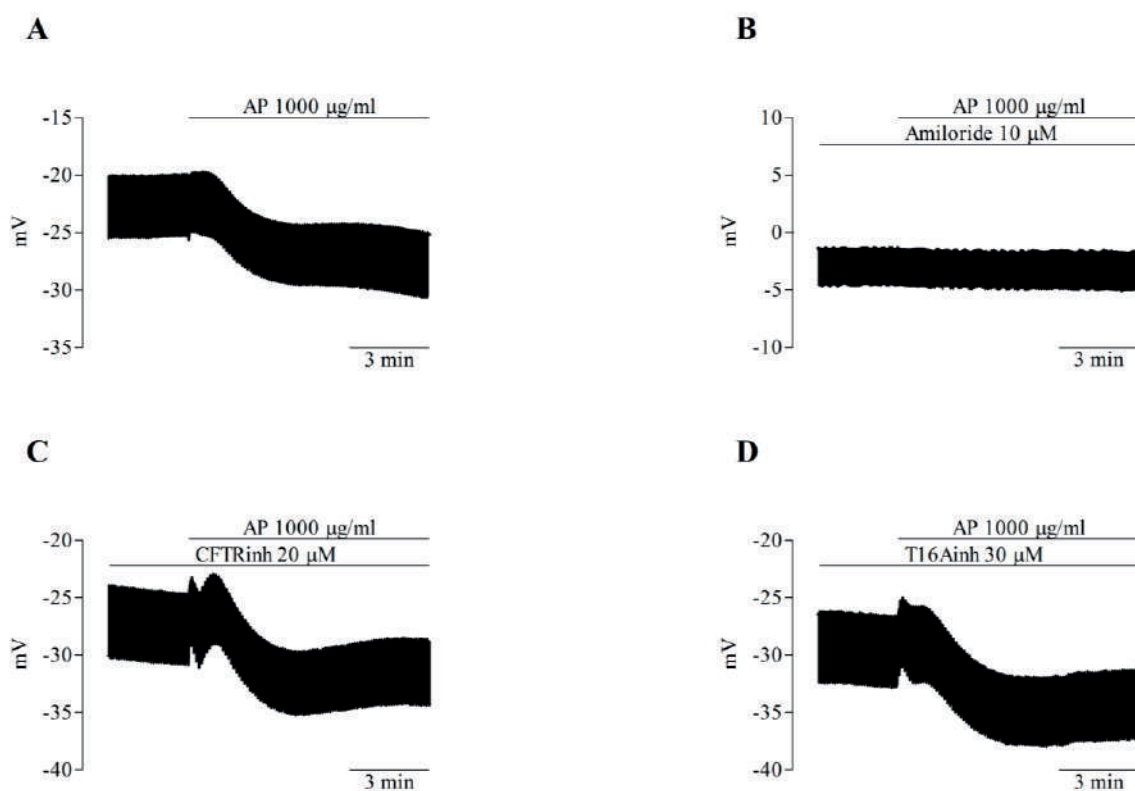


Figure 3 Representative recordings of transepithelial potential difference (V_{te}) in H441 cells. When the cell monolayers were untreated (A), pre-treated with 10 μM amiloride (B), 20 μM CFTRinh-172 (C) or 30 μM T16Ainh-A01 (D) 10 min before treating with *Andrographis paniculata* (AP, 1000 $\mu\text{g/ml}$).

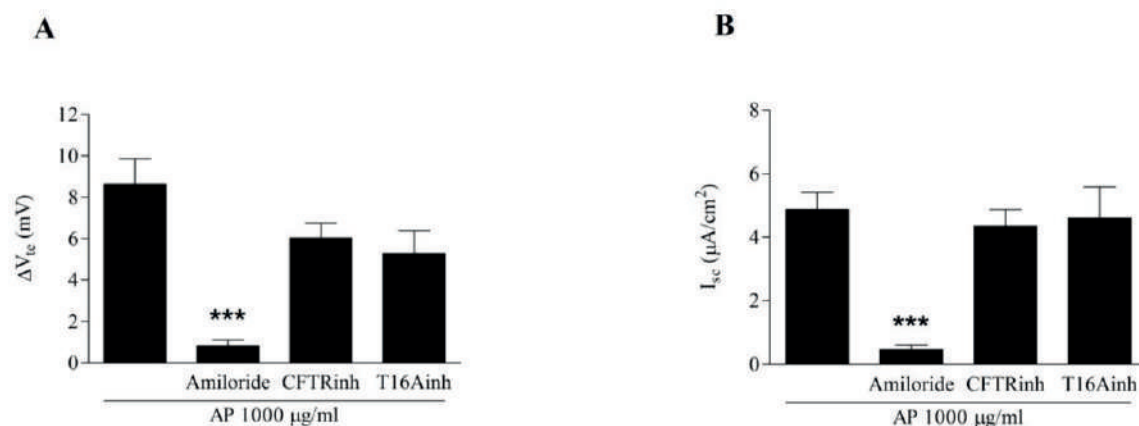


Figure 4 Effect of amiloride, CFTRinh-172, and T16Ainh-A01 on voltage changes (ΔV_{te}) and equivalent short-circuit current (I_{sc}) in H441 cells in response to AP 1000 $\mu\text{g/ml}$. The apical side of H441 monolayers pre-treated without and with 10 μM amiloride, 20 μM CFTRinh-172 or 30 μM T16Ainh-A01 10 min before the presence of AP (1000 $\mu\text{g/ml}$). Values are mean $\pm$ SEM from at least 5 sets of experiments. *** indicates $p < 0.001$ compared to cells treated with AP (1000 $\mu\text{g/ml}$) alone (one-way ANOVA with Student-Newman-Keuls post-hoc test).

Next, the effect of *Andrographis paniculata* on anion transport was determined by pre-treated H441 monolayers with 20 μM CFTRinh-172, a cystic fibrosis transmembrane conductance regulator (CFTR) Cl^- channel inhibitor before the AP was introduced. Under this condition, V_{te} was increased by 6.03 ± 0.79 mV ($n = 6$; Figures 3C and 4A), corresponding to a 4.34 ± 0.58 $\mu\text{A/cm}^2$ ($n = 6$; Figure 4B) increasing in I_{sc} . These values were equivalent to those of AP-treated group. In a separate experiment, the cell monolayers were treated with 30 μM T16Ainh-A01, an inhibitor of TMEM16A channel, a calcium-activated chloride channel (CaCC). Under this condition, the inhibitor did not show any effect on AP-induced V_{te} (5.28 ± 1.22 mV, $n = 6$; Figures 3D and 4A) or I_{sc} (4.60 ± 1.07 $\mu\text{A/cm}^2$, $n = 6$; Figure 4B) when compare with the cells treated with AP alone. These data suggest that *Andrographis paniculata* has no any effect on the activity of both CFTR Cl^- channel or TMEM16A calcium-activated Cl^- channel.

Conclusion

This study was the first to determine physiological activity of *Andrographis paniculata* in H441 respiratory epithelial cells. The stimulatory effect of *Andrographis paniculata* on the Na^+ absorption across the respiratory epithelium could be beneficial in treating patients with respiratory infection such as common cold that associated with mucus and fluid accumulation in the airway. So far, the intracellular signaling pathway of *Andrographis paniculata* is still not well understood. More investigation to this signaling pathway is, therefore, required for a better understanding the action of *Andrographis paniculata* on airway diseases.

Acknowledgement

This study was supported through a grant from Department of Physiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University.

References

- [1] Coon, J. T. and Ernst, E. (2004). “Andrographis Paniculata in the Treatment of Upper Respiratory Tract Infections: A Systematic Review of Safety and Efficacy”, **Planta Medica**. 70, 293-298.
- [2] Melchior, J., Palm, S. and Wikman, G. (1997). “Controlled Clinical Study of Standardized Andrographis Paniculata Extract in Common Cold - A Pilot Trial”, **Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology**. 3, 315-318.
- [3] Benoy G. K., Animesh D. K., Aninda M., Priyanka D. K. and Sandip H. (2012). “An Overview on *Andrographis paniculata* (burm. F.) Nees”, **International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy**. 3, 752–760.
- [4] Amroyan, E., Gabrielian, E., Panossian, A., Wikman, G. and Wagner, H. (1999). “Inhibitory Effect of Andrographolide from Andrographis Paniculata on PAF-induced Platelet Aggregation”, **Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology**. 6, 27-31.
- [5] Shen, Y. C., Chen, C. F. and Chiou, W. F. (2002). “Andrographolide Prevents Oxygen Radical Production by Human Neutrophils: Possible Mechanism (s) Involved in Its Anti-Inflammatory Effect”, **British Journal of Pharmacology**. 135, 399-406.
- [6] Vedavathy, S. and Rao, K. N. (1991). “Antipyretic Activity of Six Indigenous Medicinal Plants of Tirumala Hills, Andhra Pradesh, India”, **Journal of Ethnopharmacology**. 33, 193-196.
- [7] Chang, R. S., Ding, L., Chen, G. Q., Pan, Q. C., Zhao, Z. L. and Smith, K. M. (1991). “Dehydroandrographolide Succinic Acid Monoester as An Inhibitor Against the Human Immunodeficiency Virus”, **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine Society for Experimental Biology and Medicine (New York, NY)**. 197, 59-66.
- [8] Puri, A., Saxena, R., Saxena, R. P., Saxena, K. C., Srivastava, V. and Tandon, J. S. (1993). “Immunostimulant Agents from Andrographis Paniculata”, **Journal of Natural Products**. 56, 995-999.
- [9] Spasov, A. A., Ostrovskij, O. V., Chernikov, M. V. and Wikman, G. (2004). “Comparative Controlled Study of Andrographis Paniculata Fixed Combination, Kan Jang and An Echinacea Preparation as Adjuvant, in the Treatment of Uncomplicated Respiratory Disease in Children”, **Phytotherapy Research : PTR**. 18, 47-53.
- [10] Welsh, M. J. (1987). “Electrolyte Transport by Airway Epithelia”, **Physiological Reviews**. 67, 1143-1184.
- [11] Hollenhorst, M. I., Richter, K. and Fronius, M. (2011). “Ion Transport by Pulmonary Epithelia”, **Journal of Biomedicine and Biotechnology**. 2011, 1-16.
- [12] Huipao, N. (2011). **Effect of Avian Influenza Virus H5N1 on Ion Transport in Human Respiratory Epithelium**. Master Thesis. Prince of Songkla University.
- [13] Eaton, D. C., Helms, M. N., Koval, M., Bao, H. F. and Jain, L. (2009). “The Contribution of Epithelial Sodium Channels to Alveolar Function in Health and Disease”, **Annual Review of Physiology**. 71, 403-423.
- [14] Smith, P. L., Maloney, K. N., Pothen, R. G., Clardy, J. and Clapham, D. E. (2006). “Bisandrographolide from Andrographis Paniculata Activates TRPV4 Channels”, **The Journal of Biological Chemistry**. 281(40), 29897-29904.

การจัดการของเสียอันตรายและการมีส่วนร่วมของประชาชนในพื้นที่ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

People Participation in Hazardous Waste Management in Pa-payom District, Phatthalung Province

โสมศิริ เดชารัตน์^{1*}

Somsiri Decharat^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการจัดการขยะอันตรายขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและศึกษาการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการขยะอันตรายของชุมชน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยผู้รับผิดชอบงานด้านสิ่งแวดล้อม 13 คน และกลุ่มตัวอย่างที่เป็นประชาชนจำนวน 253 คนที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุงโดยใช้เกณฑ์ในการคัดเลือก เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้สถิติร้อยละ และค่าเฉลี่ย สำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพจะวิเคราะห์เนื้อหาและเรียบเรียงเชิงพรรณนา ผลการศึกษา พบว่า ประชาชนมีความพร้อมด้านการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะอันตรายในระดับครัวเรือน ระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.84) และร้อยละ 38.24 มีการคัดแยกขยะอันตรายจากขยะทั่วไป ดังนั้นผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและกำหนดนโยบายการจัดการของเสียอันตรายขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ต่อไป

คำสำคัญ: การจัดการขยะอันตราย การมีส่วนร่วม องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

Abstract

This research is a survey research aimed to study the hazardous waste management processes of local administrative organization and community participation towards hazardous waste management of population. The samples of this study were sixteen staff who had responsibility in environmental work and 253 residence in the communities in Pa-payom district, Phatthalung province. These were purposive sampling. The data was collected from the residences by using questionnaire and then analyzed by using percentage and mean. The qualitative data was analyzed by content analysis and descriptive writing. The research results found that the people had the readiness to participate in community hazardous waste management at moderate level (average 2.84) and 38.24 percent were hazardous waste separation from the general waste. Therefore, the results can be used as guidelines in the formulation of policies, planning and management of hazardous waste, of local governments in the following areas.

Keywords: Hazardous Waste Management, Participation, Local Administrative Organization

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Health and Sports Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding E-mail address: somsirir_9@hotmail.com

บทนำ

ณ ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นและรูปแบบการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยมีปริมาณมากตามไปด้วย รวมทั้งขยะมูลฝอยก็มีความหลากหลายด้วยเช่นเดียวกัน รายงานสถานการณ์มลพิษประเทศไทย [1] ปี 2558 ระหว่างเดือนมกราคมถึงมิถุนายน โดยมีการคาดการณ์ว่าจะมีปริมาณขยะตกค้างสะสมทั่วประเทศไว้ทั้งหมด 28 ล้านตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 30 ล้านตันหลังจากดำเนินงานจัดการขยะตกค้างสะสมได้รวม 13.2 ล้านตัน เพิ่มขึ้นเป็น 15 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 50 ของปริมาณขยะตกค้างสะสมทั้งหมด สำหรับการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย กำหนดให้มีการคัดแยกของเสียอันตรายชุมชนออกจากขยะมูลฝอยทั่วไปที่ต้นทางเก็บรวบรวม ณ สถานที่เก็บรวบรวมของจังหวัดและส่งไปกำจัดยังสถานที่กำจัดที่ถูกต้องและได้รับใบอนุญาตจากทางราชการ ซึ่งผลจากการดำเนินงานของจังหวัดและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น มีการตั้งศูนย์รวบรวมของเสียอันตรายชุมชนของจังหวัด จำนวน 83 แห่ง ครอบคลุมองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 5,310 แห่ง องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีการกิจด้านสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติกำหนดแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พ.ศ. 2542 ได้แก่ มาตรา 16 ซึ่งระบุให้เทศบาลและองค์การบริหารส่วนตำบลมีอำนาจและหน้าที่ในการจัดการเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเช่น การกำจัดขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล และน้ำเสีย การจัดการและการบำรุงรักษา และการใช้ประโยชน์จากป่าไม้ที่ดินทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การปรับปรุงแหล่งชุมชนแออัด และการจัดการเกี่ยวกับที่อยู่อาศัย การจัดการให้มีและรักษาสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ [2] สำหรับหน้าที่ขององค์กรบริการส่วนจังหวัด มีหน้าที่จัดทำระบบสารานุกรมภาคที่เทศบาลและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทำไม่ได้เพราะขาดงบประมาณ การบำรุงรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งขนบธรรมเนียมประเพณีของท้องถิ่น การป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย การใช้ที่ดินเพื่อประโยชน์ของท้องถิ่น เป็นต้นในด้านการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายในชุมชน ปัจจุบันมีศูนย์รวบรวมของเสียอันตรายชุมชนของชุมชนแล้ว 42 แห่ง (องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 1,127 แห่ง) รวบรวมส่งของเสียอันตรายชุมชนเข้าสู่ศูนย์ฯ ประมาณ 250 ตัน และส่งไปกำจัดแล้วประมาณ 174 ตัน [1]

สถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยทั่วไปของจังหวัดพัทลุง พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดมีประมาณวันละ 502 ตัน เป็นขยะจากองค์การบริหารส่วนตำบล วันละ 186 ตัน ขยะจากเทศบาลตำบล วันละ 276 ตัน และจากเขตเทศบาลเมือง วันละ 40 ตัน พบว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีการจัดเก็บมูลฝอยและนำไปกำจัดมีจำนวน 39 แห่ง (ร้อยละ 53) ปริมาณมูลฝอยที่เก็บได้แต่ละวันประมาณ 146 ตัน ส่วนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ไม่มีการจัดเก็บมีจำนวน 34 แห่ง (ร้อยละ 47) โดยจังหวัดพัทลุงมีแผนจัดการมูลฝอยทั่วไปโดยได้กำหนดพื้นที่เป็น 2 โซน คือ โซนเหนือ และโซนใต้ ซึ่งจะให้เป็นที่รองรับมูลฝอยตามพื้นที่ที่กำหนดไว้ [3] สำหรับการจัดการขยะอันตรายคณะกรรมการบริหารจัดการขยะมูลฝอยจังหวัดพัทลุง มอบหมายให้ อบจ.พัทลุงเป็นหน่วยงานหลักในการจัดการขยะอันตราย โดยมีแนวทางให้มีการเก็บรวบรวมขยะอันตรายจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและส่วนราชการ ส่งให้ อบจ. พัทลุง เพื่อส่งไปกำจัดโดยจ้างบริษัทเอกชนในการกำจัดต่อไป [3] จากผลการศึกษาวิจัยของพิรนาถ คิตติ และคณะ [4] เรื่องความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมในการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนในอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้เกี่ยวกับหลักการทั่วไปของการจัดการขยะมูลฝอยทั่วไปในระดับสูง ร้อยละ 82.5 มีทัศนคติเชิงบวกต่อวิธีการและกระบวนการในการแก้ไขปัญหาขยะอยู่ในระดับสูงร้อยละ 91.8 และมีพฤติกรรมด้านการทิ้งขยะลงถังทุกครั้ง ร้อยละ 56.5 อย่างไรก็ตามผลการศึกษาดังกล่าวพบว่าพฤติกรรมด้านการคัดแยกขยะ การนำขยะไปทำปุ๋ยหมักและน้ำหมักชีวภาพอยู่ในระดับต่ำ ร้อยละ 19.6 17.2 และ 6.9 ตามลำดับและไม่มีการคัดแยกขยะอันตรายออกจากขยะทั่วไป จากการศึกษาของบัวทิพย์ นุ่นปาน [5] เรื่องการมีส่วนร่วมต่อการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง พบว่า ระดับการศึกษา รายได้ ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในชุมชน และความรู้การจัดการขยะมีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมจัดการขยะในพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ 0.05 และพบว่าความคิดเห็นด้านแนวทางในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลบ้านพร้าว ด้านการเก็บขนขยะมูลฝอย พบว่า ด้านความถี่ในการเก็บขนขยะ มีความเหมาะสมแต่ควรเพิ่มความถี่ในการเก็บขนขยะในเขตชุมชนหนาแน่นให้มากขึ้น เพิ่มความถี่ในการจัดเก็บในวันหยุดราชการ และเวลาในการเก็บขนขยะเป็นเวลา 5.00 น. ในวันปกติ เพื่อลดปัญหาการจราจร ด้านเส้นทางการเก็บขนขยะพบว่ามีความเหมาะสม แต่สมควรจัดหาที่กำจัดขยะในเขตพื้นที่เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และมีข้อเสนอแนะให้มีการจัดการขยะอันตรายในชุมชน

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยที่มีศึกษาเกี่ยวกับขยะอันตรายในพื้นที่จังหวัดพัทลุงยังมีน้อย และเนื่องจากมหาวิทยาลัยทักษิณตั้งในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง ทำให้ผู้วิจัยซึ่งมีความพร้อมในด้านวิชาการ มีความสนใจที่จะทำการศึกษาเรื่องการจัดการขยะอันตรายและการมีส่วนร่วมของประชาชน อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการขับเคลื่อนตามนโยบาย Roadmap ของรัฐบาลที่จังหวัดพัทลุงได้นำแนวทางดังกล่าวมาใช้ในการจัดการขยะอันตราย โดยให้ความสำคัญและส่งเสริมการจัดโครงการรณรงค์สร้างจิตสำนึกในการคัดแยกขยะอันตราย อันจะนำไปสู่การดำเนินการจัดการขยะอันตรายในชุมชนได้อย่างเหมาะสมและมีความยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการจัดการขยะอันตรายขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
2. เพื่อศึกษาระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการขยะอันตรายของชุมชน
3. เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคลต่อการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการขยะอันตรายของชุมชน

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยใช้วิธีการคัดเลือกตัวอย่างพื้นที่แบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยการเลือกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 4 แห่งที่อยู่ในเขตอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ คือ ประกอบด้วย

- 1) กลุ่มตัวแทนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ที่เป็นผู้รับผิดชอบงานด้านสิ่งแวดล้อมจำนวน 13 คน
- 2) กลุ่มตัวอย่างจากประชาชนที่อาศัยในพื้นที่อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง ผู้วิจัยทำการสุ่มและคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยเจาะจงในประชากรกลุ่ม อสม. เนื่องจากกลุ่มดังกล่าวได้ทำงานร่วมกับหน่วยงาน ราชการกระทรวงสาธารณสุขอยู่ก่อนแล้ว รวมทั้งมีหน้าที่รับผิดชอบงานด้านสุขภาพในด้านการส่งเสริมป้องกันสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ ซึ่งในพื้นที่มีจำนวน อสม. รวมทั้งหมด 688 คนซึ่งมีครัวเรือนกระจายจากทุกหมู่บ้าน ดังนั้น ผู้วิจัยได้คำนวณโดยใช้สูตร Yamane [6] ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในครั้งนี้ 5 % ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะมีกลุ่มตัวอย่างที่เป็นประชาชนจำนวน 253 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเพื่อสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลและปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของบุคลากรที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการจัดการขยะอันตรายในชุมชน จำนวน 7 ข้อ

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับรูปแบบการจัดการขยะอันตราย

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามเพื่อสอบถามการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะอันตรายโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่นจำนวน 20 ข้อ มีลักษณะเป็นแบบวัดมาตราส่วนประมาณค่า ให้เลือกตอบ 4 ระดับ คือ มีส่วนร่วมมาก มีส่วนร่วมปานกลาง มีส่วนร่วมน้อย และมีส่วนร่วมน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสำรวจและ แบบสอบถาม ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ พิสัย (ค่าสูงสุดต่ำสุด) ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2. การแปรผลระดับการมีส่วนร่วม

ค่าเฉลี่ย 3.51 - 4.00	หมายถึง	การมีส่วนร่วมมาก
ค่าเฉลี่ย 2.51 - 3.50	หมายถึง	การมีส่วนร่วมปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51 - 2.50	หมายถึง	การมีส่วนร่วมน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.50	หมายถึง	การมีส่วนร่วมน้อยที่สุด
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Association) ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดย t-test, F-test, Welch test และ Pearson's Correlation

สมมติฐานการวิจัยที่ต้องการทดสอบคือ ลักษณะบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน สถานภาพในครัวเรือน ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ จำนวนปีที่อยู่อาศัยมีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการขยะอันตรายในชุมชน

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไป

ผลการดำเนินการจัดการขยะอันตรายของชุมชนจากการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกในผู้รับผิดชอบงานด้านสิ่งแวดล้อมขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) จำนวน 13 คน พบว่า โดยภาพรวมประชาชนจะทำการเก็บรวบรวมขยะทั่วไปและขยะอันตรายภายในครอบครัว มารวบรวมไว้ ณ ถังบรรจุขยะที่ทาง อปท. ได้ตั้งถังขยะไว้ (ส่วนมากคือบริเวณหน้าบ้านของแต่ละครัวเรือน) หลังจากนั้นทาง อปท. จะเก็บรวบรวมขยะทั่วไปและขยะอันตรายส่งต่อไปให้กับหน่วยงานองค์การบริหารส่วนจังหวัดพัทลุงดำเนินการกำจัดต่อไป อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมพบว่าแม้ครัวเรือนจะมีการคัดแยกขยะอันตรายออกจากขยะทั่วไป แต่เมื่อทาง อปท. ส่งต่อเพื่อนำไปกำจัดบางส่วนก็มีการผสมกันระหว่างขยะทั่วไปและขยะอันตรายอีกครั้ง นอกจากนี้จากการคาดการณ์ของผู้รับผิดชอบงานด้านสิ่งแวดล้อมของ อปท. ขยะอันตรายที่ครัวเรือนเก็บรวบรวมนั้นเป็นแค่ส่วนน้อยที่เกิดขึ้นจริงจากจำนวนทั้งหมดที่ใช้จริงในชีวิตประจำวัน เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ โทรศัพท์มือถือ โทรศัพท์มือถือ ภาชนะบรรจุยาฆ่าแมลง เป็นต้น

ผลการศึกษาการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะอันตราย จำนวน 253 คน พบว่า ร้อยละ 38.74 ไม่มีจัดการ เช่น การคัดแยกขยะมูลฝอยอันตรายออกจากขยะทั่วไป และร้อยละ 61.26 มีจัดการ เช่น การคัดแยกขยะมูลฝอยอันตรายออกจากขยะทั่วไป โดยวิธีการต่อไปนี้เป็น ร้อยละ 8.30 มีการเก็บขนจัดการมูลฝอยในครัวเรือนด้วยตนเอง และร้อยละ 52.96 มีการนำขยะในครัวเรือนมรดักแล้วนำไปทิ้งข้างถนนให้ อปท. มาเก็บขนต่อไป (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รูปแบบพฤติกรรมการจัดการขยะอันตรายของประชาชนในอำเภอบำพะยอม จังหวัดพัทลุง (n = 253)

การเก็บขนมูลฝอยอันตราย	จำนวน (n)	ร้อยละ
1. ไม่มีจัดการ เช่น การคัดแยกขยะมูลฝอยอันตรายออกจากขยะทั่วไป	98	38.74
2. มีจัดการ เช่น การคัดแยกขยะมูลฝอยอันตรายออกจากขยะทั่วไป	155	61.26
โดยวิธีการต่อไปนี้		
- การเก็บขนจัดการมูลฝอยในครัวเรือนด้วยตนเอง	21	8.30
- การนำขยะในครัวเรือนมรดใส่ถุงแล้วนำไปทิ้งข้างถนนให้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น อปท.มาเก็บขนต่อไป	134	52.96

ผลการศึกษาการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการขยะมูลฝอยอันตราย จำนวน 253 คน พบว่า การมีส่วนร่วมโดยภาพรวมของประชาชนในการมีส่วนร่วมในด้านการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับขยะอันตรายในชุมชนอยู่ในระดับน้อย (2.48 ± 0.25) ด้านการมีส่วนร่วมในการวางแผนอยู่ในระดับน้อย (1.98 ± 0.14) และด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานน้อย (2.28 ± 0.18) ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ระดับการมีส่วนร่วมการจัดการขยะมูลฝอยอันตรายของประชาชนในอำเภอบำพะยอม จังหวัดพัทลุง (n = 253)

ข้อคำถาม	ระดับการมีส่วนร่วม			(ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) แปรผล
	น้อย	ปานกลาง	มาก	
การมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัญหา				
1. ท่านร่วมเสนอความคิดเห็นเกี่ยวกับสภาพปัญหาขยะทั่วไป ขยะอันตรายในชุมชน	85 (33.60)	115 (45.45)	53 (20.95)	2.68 ± 0.35 ปานกลาง
2. ท่านร่วมเสนอวิธีกำจัดขยะอันตรายในชุมชน	124 (49.00)	85 (33.60)	44 (17.40)	2.48 ± 0.25 น้อย
3. ท่านร่วมสรุปปัญหาการดำเนินการจัดการขยะอันตรายในชุมชน	128 (50.60)	81 (32.00)	44 (17.40)	2.44 ± 0.18 น้อย
4. ท่านร่วมเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาการดำเนินการจัดการขยะอันตรายในชุมชนในปีที่ผ่านมา	138 (54.54)	83 (32.81)	32 (12.65)	2.34 ± 0.23 น้อย
แปรผลภาพรวม (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			2.48 ± 0.25 น้อย	
การมีส่วนร่วมในการวางแผน				
5. ท่านร่วมวางแผนรูปแบบการดำเนินงานการจัดการขยะอันตรายในชุมชน	142 (56.13)	87 (34.39)	24 (9.48)	2.49 ± 0.26 น้อย
6. ท่านให้ข้อมูลของชุมชนเพื่อเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมสำหรับการจัดการขยะอันตรายในชุมชน	221 (87.35)	27 (10.67)	5 (1.98)	1.89 ± 0.19 น้อย
7. ท่านร่วมแสดงความคิดเห็นในการวางแผนแก้ไขปัญหาล้วนร่วมการจัดการขยะอันตรายในชุมชน	210 (83.00)	38 (15.02)	5 (1.98)	1.57 ± 0.13 น้อย
แปรผลภาพรวม (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			1.98 ± 0.14 น้อย	

ตารางที่ 2 ระดับการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอยอันตรายของประชาชนในอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง (n = 253) (ต่อ)

ข้อคำถาม	ระดับการมีส่วนร่วม			(ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) แปรผล
	น้อย	ปานกลาง	มาก	
การมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน				
8. ท่านชักชวนให้ผู้อื่นเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการขยะอันตรายในชุมชน	221 (87.35)	25 (9.88)	7 (2.77)	1.77 ± 0.19 น้อย
9. ท่านมีส่วนร่วมในการคัดแยกขยะของกิจกรรมการคัดแยกขยะอันตรายในครัวเรือน	40 (15.81)	58 (22.92)	155 (61.27)	2.84 ± 0.20 ปานกลาง
10.ท่านร่วมเสนอความคิดเห็นในการจัดหาที่รวบรวมขยะอันตราย	218 (86.17)	20 (7.91)	15 (5.92)	2.23 ± 0.11 น้อย
แปรผลภาพรวม (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			2.28 ± 0.18 น้อย	

ผลการศึกษา แนวทางการส่งเสริมการจัดการขยะอันตรายของชุมชน โดยการมีส่วนร่วมของประชาชน 3 อันดับแรก พบว่า อันดับหนึ่ง ประชาชนต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือมีหน้าที่รับผิดชอบการจัดการขยะอันตรายได้มีการสร้างรูปแบบกิจกรรมส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะอันตรายภายในครัวเรือน (ร้อยละ 91.30) รองลงมา ควรเพิ่มการประชาสัมพันธ์ข่าวสารกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับขยะอันตราย (ร้อยละ 82.61) และอันดับสามหน่วยงานท้องถิ่นควรมีความเข้มแข็งและควรให้ความสำคัญกับการจัดการขยะอันตราย (ร้อยละ 77.87) ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แนวทางการส่งเสริมการจัดการขยะอันตรายของชุมชน โดยการมีส่วนร่วมของประชาชนในอำเภอป่าพะยอม

แนวทางการจัดการขยะอันตรายของชุมชน	จำนวน (คน)*	ร้อยละ	ลำดับ
ควรมีการจัดตั้งขยะอันตรายเพิ่มเติม	118	46.64	6
ควรมีการเก็บขนขยะอันตรายให้เป็นระบบและให้เพิ่มความถี่การเก็บขน	154	60.87	5
ควรมีการอบรมให้ความรู้ความเข้าใจกับประชาชนเกี่ยวกับขยะอันตราย	194	77.68	4
ควรเพิ่มการประชาสัมพันธ์ข่าวสารกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับขยะอันตราย	209	82.61	2
สร้างรูปแบบกิจกรรมส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะอันตรายภายในครัวเรือน	231	91.30	1
หน่วยงานท้องถิ่นควรมีความเข้มแข็งและควรให้ความสำคัญกับการจัดการ ขยะอันตรายให้มากขึ้น	197	77.87	3

จังหวัดพัทลุง (n = 253)

* สามารถเลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ

ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ พบว่า ลักษณะบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ ต่อเดือน มีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะอันตรายของชุมชนแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะของชุมชน

ตัวแปร	p-value
เพศ	0.154
อายุ	< 0.001
จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	< 0.001
สถานภาพในครัวเรือน	0.127
ระดับการศึกษา	< 0.001
อาชีพ	< 0.001
รายได้	< 0.001
จำนวนปีที่อยู่อาศัย	0.550

*p < 0.05

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าประชาชนในเขตอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุงยังประสบปัญหาในเรื่องการจัดการขยะอันตรายในชุมชน แม้ผลการศึกษาพบว่ามากกว่าร้อยละ 50 ของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรมีการคัดแยกขยะอันตรายออกจากขยะทั่วไปและส่วนมากไม่คิดว่าขยะอันตรายจะเป็นปัญหาของชุมชน เพราะคิดเห็นว่าเมื่อจัดเก็บขยะอันตรายออกไปจากครัวเรือนแล้ว หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องรับผิดชอบในการจัดการขยะอันตรายต่อไป ดังนั้นการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการขยะอันตรายจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้การจัดการขยะอันตรายมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการศึกษาของสุรพงษ์ เล็กสมบุญ [7] ที่พบว่ากลยุทธ์การจัดการขยะชุมชนจะประสบความสำเร็จได้ประกอบด้วย 4 กลยุทธ์ได้แก่ กลยุทธ์การประสานความเข้าใจ กลยุทธ์การจัดการขยะแบบครบวงจร กลยุทธ์การบริหารจัดการแบบมีส่วนร่วมและกลยุทธ์การบริหารองค์กร จากผลการศึกษาพบว่าโดยภาพรวมการมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัญหาอยู่ในระดับน้อยในความคิดเห็นของผู้วิจัย แม้ประชาชนจะมีส่วนร่วมในการพูดคุยเรื่องประเด็นการจัดการขยะ (ระดับการมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นสภาพทั่วไปและรับรู้ปัญหาในการจัดการขยะ (2.68 ± 0.35) แต่รายละเอียดเนื้อหาของการประชุมจะให้น้ำหนักในประเด็นขยะทั่วไป รวมทั้งโดยภาพรวมของการจัดการขยะอันตราย แม้ระดับครัวเรือนจะมีการเก็บรวบรวมอันตราย แต่ประชาชนเข้าใจว่าหน้าที่ความรับผิดชอบหลักเป็นของหน่วยงานรัฐบาลที่ต้องจัดการขยะอันตรายต่อไป ขณะเดียวกันผลการศึกษา พบว่า ประชาชนยังได้รับข้อมูลข่าวสารการประชาสัมพันธ์น้อยในการจัดทำแผนร่างเทศบัญญัติของเทศบาลเกี่ยวกับการรักษาความสะอาดในชุมชน จึงทำให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการดำเนินงานน้อยด้วย สอดคล้องกับผลการศึกษาของกุลวดี เถนว่อง [8] ที่ได้ศึกษาเรื่องการมีส่วนร่วมของชุมชนที่มีต่อการจัดการขยะมูลฝอย ขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสามอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พบว่า การมีส่วนร่วมของประชาชนในชุมชนกับโครงการหรือกิจกรรมต่างๆ ในชุมชน พบว่า มีส่วนร่วมน้อยมากสาเหตุสำคัญเพราะ ขาดการประชาสัมพันธ์ และประสานงานจากหน่วยงานท้องถิ่น หัวหน้าชุมชน นิติหมู่บ้าน ทำให้ขาดความเข้าใจ และการรับรู้ การยอมรับของคนในชุมชนต่อการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม จากผลการศึกษาพบว่าการมีส่วนร่วมในการวางแผนประชาชนมีส่วนร่วมในระดับน้อย จึงส่งผลต่อระดับการมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน ที่ประชาชนมีส่วนร่วมในระดับน้อยด้วย (1.98 ± 0.14) แม้ในบางประเด็นย่อยในหัวข้อการมีส่วนร่วมในการคัดแยกขยะของกิจกรรมการคัดแยกขยะอันตรายในครัวเรือน ประชาชนจะมีส่วนร่วมในระดับปานกลาง (2.84 ± 0.20) ตามลำดับ

ผลการศึกษาแนวทางการส่งเสริมการจัดการขยะอันตรายของชุมชนโดยการมีส่วนร่วมของประชาชนจะมีประสิทธิภาพได้ ประชาชนต้องการให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือมีหน้าที่รับผิดชอบการจัดการขยะอันตรายได้มีการสร้างรูปแบบกิจกรรมส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะอันตรายภายในครัวเรือน สอดคล้องกับการศึกษาของ สุสงวน รักหน้าที่ [9] ที่ได้ศึกษาเรื่องความรู้ทัศนคติและการมีส่วนร่วมของบุคลากรทางการแพทย์ด้านแนวทางการจัดการของเสียอันตรายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยรัฐ ที่พบว่า การส่งเสริมการมีส่วนร่วมการจัดการขยะอันตรายจะมีประสิทธิภาพดีจะต้องการประชาสัมพันธ์และสร้างรูปแบบกิจกรรม รวมทั้งควรดำเนินการอย่างต่อเนื่องและจริงจัง

ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ ต่อเดือน มีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะอันตรายของชุมชนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับการศึกษาของ บุญจง ขาวสิทธิวิทย์ [10] ที่ได้ศึกษาเรื่องปัจจัยการมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกมูลฝอยชุมชนในเขตยานนาวา ที่พบว่าลักษณะส่วนบุคคลมีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะในชุมชน

ข้อเสนอแนะ จากผลการวิจัยครั้งนี้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานส่วนราชการที่เกี่ยวข้องต้องเสริมสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมให้ประชาชนในพื้นที่อำเภอป่าพะยอมได้เข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการขยะอันตรายในชุมชนให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น เช่น การเพิ่มช่องทางการประชาสัมพันธ์ข่าวสารกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับขยะอันตราย การสร้างแรงจูงใจในการรวบรวมเก็บขยะอันตรายในครัวเรือน เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การจัดการของเสียอันตรายในพื้นที่อย่างยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดินจากมหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี งบประมาณพ.ศ. 2561 ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ สำหรับการสนับสนุนให้โครงการวิจัยบรรลุผลสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2015). **The Pollution Situation in Thailand between January and June 2015** (Online). Retrieved 2 May 2017, from http://infofile.pcd.go.th/mgt/ThailandPollut2558_Form.pdf?CFID=3215408&CFTOKEN.
- [2] Poboon, C. (2008). "Local Governments with Good Solid Waste Management: A Case Study of Thepkasattri Municipality", **Journal of Environmental Management**. 4(1), 27-65.
- [3] Phatthalung Provincial Public Health Office. (2016). **Reported Operating Results Indicators, According to the Official, the Annual Operating Budget, Area 12, Phatthalung Province, 2016** (Online). Retrieved 2 May 2017, from <http://203.157.229.18/report57/index.php>.
- [4] Kiddee, P., Kaewwong, A. and Pukngam, S. (2004). "Knowledge Attitude and Behavior on Solid Waste Management of People in Amphure Pa-phayom, Phattalung Province", **Full Reported**. Thaksin University Research Institute. Phatthalung Province.
- [5] Nunpan, B. (2013). **Participation of Community Garbage Management in Ban-Phrao Municipality, Pa-Phayom, Phatthalung Province**. Master Thesis. Thaksin University.
- [6] Yamane, Taro. (1967). **Statistics: An Introductory Analysis**. 2nd Ed., New York: Harper and Row.

- [7] Leksomboon, S. (2014). “The Strategies for Community Solid Waste Management by using the People Participation in Muang Kalasin Municipality”, **MBA-KKU Journal**. 7(1), 125-146.
- [8] ThungWong, K. (2011) “Public of the Community Participation towards Solid Waste Management of Khlong Sam Administration Organization in Khlong Luang Sub-District, Pathum-Thani Province”, **EAU-Heritage Journal**. 5(2), 71-76.
- [9] Ruknatee, S. (2012). “Knowledge, Attitude and Participation of Medical Staffs in Hazardous Waste Management Guideline in the State University’s Hospital”, In **The 4th Annual Northeast Pharmacy Research Conference**. February 11-12, 2012, Pharmacy Profession in Harmony” Faculty of Pharmaceutical Sciences. Khon Kaen: Khon Kaen University.
- [10] Chawsittiwong, B. (2011). “Correlated Factors of Public Participation in Solid Waste Recycling: A Case Study of Yannava and Bangkapi Districts”, **Journal of Social Development**. 13(1), 33-58.

ฤทธิ์ของ [6]-shogaol และ demethyl-[6]-shogaol ในการยับยั้งการเจริญและชักนำ การตายของเซลล์มะเร็งเต้านม

Effects of [6]-shogaol and demethyl-[6]-shogaol on Growth Inhibition and Apoptotic Induction in Breast Cancer Cell Lines

นุรดีนา จารง^{1*}, อนันต์ อธิพรชัย², มลธิรา พรหมกัน³, กมลชนก เส่งโสด⁴

พงศ์พิสิษฐ์ พระธาตุ⁴, สุตรัก ช่างเรือ⁴ และอภิชาติ สุขสำราญ⁵

Nurdina Charong^{1*}, Anan Athipornchai², Moltira Promkan³, Kamonchanok Sengsod⁴,

Phongphisit Phrathart⁴, Sutrak Changruea⁴ and Apichart Suksamram⁵

บทคัดย่อ

จึงถูกนำมาใช้ในการแพทย์พื้นบ้านสำหรับการรักษาโรคหลายชนิด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาฤทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิงได้แก่ [6]-shogaol และ demethyl-[6]-shogaol ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงที่มีและไม่มีโปรตีนตัวรับบนผิวเซลล์ชนิด HER2/neu ได้แก่ SKBR-3 และ MDA-MB-231 ตามลำดับ ด้วยวิธี MTT ผลการทดสอบพบว่า มีเพียงสาร [6]-shogaol เท่านั้นที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเซลล์ SKBR-3 และ MDA-MB-231 ได้ โดยค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์ได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) ที่เวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 46.37 ไมโครโมลาร์ และ 67.82 ไมโครโมลาร์ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำเซลล์มะเร็งทั้งสองชนิดที่ผ่านการบ่มด้วยสารที่ความเข้มข้น IC₅₀ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาทำการทดสอบด้วยวิธี DNA fragmentation พบว่ามีการแตกหักของชิ้นดีเอ็นเอ จึงได้สรุปได้ว่าสาร [6]-shogaol มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตและชักนำให้เกิดการตายแบบอะพอพโทซิสในเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 และ MDA-MB-231 อย่างไรก็ตามควรทำการศึกษากลไริระดับขึ้นเพิ่มเติมต่อไป

คำสำคัญ: *Zingiber officinale* มะเร็งเต้านม อะพอพโทซิส

¹ อ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² อ.ดร., ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

³ อ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

⁴ นักศึกษาปริญญาตรี., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

⁵ ศ.ดร., ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240

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

² Lecturer, Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131

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

⁴ Undergraduate Student, Department of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

⁵ 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

Abstract

Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe, Zingiberaceae) has been used in traditional medicine for the treatment of several diseases. The aim of this study was to examine the cytotoxicity effects of bioactive compound and its derivative extracted from *Z. officinale* on HER2/neu-positive (SKBR-3) and negative (MDA-MB-231) breast cancer cell lines. Cell proliferation of all treated conditions was determined by MTT assay. Results from MTT assay indicated that [6]-shogaol, bioactive compound from *Z. officinale*, had cytotoxicity effect on SKBR-3 and MDA-MB-231 with IC₅₀ doses of 46.37 μ M and 67.82 μ M, respectively while demethyl-[6]-shogaol did not exhibit cytotoxicity toward these cell lines. DNA fragmentation, typically seen in apoptosis, could be detected in SKBR-3 and MDA-MB-231 after incubation with [6]-shogaol at IC₅₀ doses for 24 hours. Taken together, these results suggest that [6]-shogaol harboring anti-proliferative and anti-apoptotic effects against breast cancer cells line SKBR-3 and MDA-MB-231. However, the molecular mechanism of this compound should be further investigated.

Keywords: *Zingiber officinale*, Breast Cancer, Apoptosis

บทนำ

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยยามะเร็งที่พัฒนาจากพืชสมุนไพรหลากหลายชนิดโดยมุ่งเน้นการศึกษาหาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถยับยั้งการเจริญและการแพร่ของเซลล์มะเร็งรวมถึงส่งผลให้เกิดอาการข้างเคียงต่อผู้ป่วยน้อยควบคู่กับการศึกษาสารที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายเซลล์มะเร็งให้ดียิ่งขึ้นจึง (*Zingiber officinale* Roscoe, Zingiberaceae) เป็นพืชสมุนไพรที่มีคุณประโยชน์มากมายนอกเหนือจากการนำมาใช้ประกอบอาหาร การศึกษาวิจัยลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารสกัดจากขิง พบว่าประกอบไปด้วยสารที่มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน โดยมี Phenolic Ketones เป็นองค์ประกอบหลักได้แก่ gingerol shogaol zingerone gingerdiones gingerdiols เป็นต้น [1] มีการรายงานเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสารสกัดจากขิงว่ามีฤทธิ์หลากหลาย เช่น ฤทธิ์การยับยั้งการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด [2] ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ [3] การลดระดับ Fasting Blood Sugar Hemoglobin A1c Apolipoprotein B Apolipoprotein A-I และ Malondialdehyde [4] ลดการอักเสบในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 และลดโอกาสการเกิดพังพืดในตับ [5] รวมทั้งสามารถยับยั้งการเจริญแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas aeruginosa* ได้ [6] เป็นที่น่าสนใจว่า สารสกัดจากขิงยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็งหลายชนิด เช่น เซลล์มะเร็งเยื่อโพรงมดลูก เซลล์มะเร็งเต้านม และเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมากโดยชักนำให้เกิดการตายภายในเซลล์มะเร็งแบบอะพอพโทซิส [7] การศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยจึงสนใจทดสอบเปรียบเทียบฤทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง คือ [6]-shogaol และ Hydroxy-Derivative คือ demethyl-[6]-shogaol ในการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านม 2 ชนิดได้แก่ เซลล์ SKBR-3 และ MDA-MB-231 โดยเซลล์มะเร็งเต้านมทั้งสองชนิดนี้มีการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการแสดงออกของโปรตีนตัวรับบนผิวเซลล์มะเร็งชนิด HER2/neu แตกต่างกัน กล่าวคือ พบการแสดงออกบนผิวเซลล์มะเร็งชนิด SKBR-3 แต่ไม่พบการแสดงออกบน MDA-MB-231 ซึ่งส่งผลต่อการตอบสนองต่อการรักษาด้วยวิธีปัจจุบันที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า [6]-shogaol สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งผ่านกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เช่น การเคลื่อนที่ การรุกราน และความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ MMP-2 และ MMP-9 ในเซลล์มะเร็ง MDA-MB-231 [8-10] และยังพบว่า [6]-shogaol ยับยั้งการรุกรานโดยการลด MMP-9 transcription ผ่านสัญญาณ Nuclear Factor-KB (NF-KB Pathway) [9] สำหรับ demethyl-[6]-shogaol นั้นยังไม่มี การรายงานฤทธิ์การต้านมะเร็ง อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Hydroxy-Derivative ของสาร Colchicine ที่ได้

จากคองคิง (*Colchicum autumnale*) ที่ผลิตจากกระบวนการ Microbial Transformation ได้แก่ 3-demethyl colchicine มีความเป็นพิษต่อเซลล์น้อยกว่า Colchicine และส่งเสริมฤทธิ์การต้านมะเร็งเม็ดเลือดขาว และ Solid Tumor [11] ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จะทำให้ทราบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง คือ [6]-shogaol และ demethyl-[6]-shogaol มีประสิทธิภาพในการต้านมะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงแตกต่างกันหรือไม่ และยังศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ของสารที่ให้ทดสอบกับความแตกต่างของการแสดงออกของโปรตีนตัวรับบนผิวเซลล์ทั้ง 2 ชนิดนี้ร่วมด้วย จากข้อมูลที่มีการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ายังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ของสาร [6]-shogaol และ demethyl-[6]-shogaol ต่อการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 และ MDA-MD-231 ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้วิธี MTT Assay ในการทดสอบหาความเข้มข้นที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษของสารดังกล่าวต่อการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งเมื่อผ่านการบ่มด้วยสารสมุนไพรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ติดตามการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และทดสอบฤทธิ์การชักนำการตายของเซลล์แบบอะพอพโทซิสผ่านการติดตามการแตกหักของสารพันธุกรรม (Apoptotic DNA fragmentation) ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้ถือเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การศึกษาเพิ่มเติมและการศึกษาในเชิงกลไกเกี่ยวกับฤทธิ์การยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งเต้านมของสารจากขิงต่อไปในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การเตรียมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง [6]-shogaol และ demethyl-[6]-shogaol

แยกสาร [6]-shogaol จากเหง้าขิง แล้วนำส่วนหนึ่งมาทำปฏิกิริยา Demethylation โดยใช้ Boron Tribromide ในไดคลอโรมีเทน แล้วทำสารให้บริสุทธิ์โดยใช้คอลัมน์โครมาโทกราฟี ได้ demethyl-[6]-shogaol พิสูจน์เอกลักษณ์สารทั้งสองชนิดด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปี นำสารทั้งสองชนิดมาเตรียมเป็นสารละลายด้วย DMSO จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วย Millipore Filter ที่มีขนาดรูกรอง 0.45 ไมครอนนำสารละลายไปเจือจางตามความเข้มข้นที่ต้องการใช้

2. การเพาะเลี้ยงเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 และ MDA-MB-231

เซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 และ MDA-MB-231 สั่งซื้อจากบริษัท American Type Culture Collection (ATCC) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ชนิด DMEM สมบูรณ์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร มีส่วนผสมของ 10 % Fetal Bovine Serum (FBS) และ 1 % Penicillin-Streptomycin เพาะเลี้ยงไว้ในตู้บ่มที่ปรับสภาพเป็น 5 % CO₂ อุณหภูมิ 37 °C เปลี่ยนอาหารเลี้ยงเซลล์ทุกๆ 3 วันจนเมื่อเซลล์เจริญถึงระดับความหนาแน่นร้อยละ 80 จะทำการเก็บเซลล์ ด้วย 0.25% Trypsin/EDTA ทำการนับจำนวนโดยการย้อมด้วยสี Trypan Blue นับจำนวนเซลล์ที่ไม่ติดสี และคำนวณปริมาณเซลล์เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป โดยเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบจะอยู่ระหว่างรุ่นที่ 3-4

3. การหาความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 และ MDA-MB-231 ด้วยวิธี MTT Assay

เซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 และ MDA-MB-231 จำนวน 1×10^4 เซลล์ต่อหลุม ถูกเพาะเลี้ยงในจานเพาะเลี้ยงขนาด 96 หลุม (96-Well Plate) ในตู้บ่มที่สภาพ 5 % CO₂ อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ทิ้ง และเติมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง คือ [6]-shogaol และ demethyl-[6]-shogaol ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยผสมกับอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ ใส่หลุมละ 200 ไมโครลิตร นำไปบ่มต่อในตู้เพาะเลี้ยงอีก 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ที่ผสมสารที่ต้องการทดสอบทิ้ง แล้วเติมสาร MTT (3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide) (ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์) ปริมาตร 200 ไมโครลิตรลงในแต่ละหลุม นำไปบ่มต่อที่ 37 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดูค่า MTT ที่แล้วเติม DMSO ลงไป หลุมละ 200 ไมโครลิตร ในแต่ละหลุม ดูค่าผสมให้เข้ากันเบาๆ จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง Microplate Reader ที่ความยาวคลื่น

570 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์ ดังสมการ $\% \text{ cell viability} = (\text{O.D of treated cell} / \text{O.D of control cell}) \times 100$ และคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

4. การวิเคราะห์การตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงชนิด SKBR-3 และ MDA-MB-231 ด้วยวิธี DNA Fragmentation

เซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 และ MDA-MB-231 ปริมาณ 1×10^5 cells ถูกเพาะเลี้ยงในจานขนาด 6 หลุม (6-Well Plate) ในตู้บ่มที่สภาวะ 5 % CO_2 ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง จากนั้นดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ออก เติมน้ำ [6]-shogaol ในอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ IC_{50} หลุมละ 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มในตู้บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ดูดอาหารเลี้ยงเซลล์ทิ้ง ทำการล้างด้วย PBS 2 ครั้ง เก็บเซลล์ด้วยวิธี Trypsinization และนำไปสกัด ดีเอ็นเอ ด้วยชุดสกัด GF-1 Tissue DNA Extraction Kit (Vivantis, มาเลเซีย) ดีเอ็นเอที่ได้ถูกแยกด้วย 1.5 % Agarose Gel Electrophoresis ที่กระแสไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นย้อม Agarose Gel ด้วย Ethidium Bromide 0.5 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที ตรวจสอบขนาดของดีเอ็นเอบนแผ่น gel ภายใตแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยใช้เครื่อง Gel Doc™ XR+ Gel Documentation System (Biorad, สหรัฐอเมริกา)

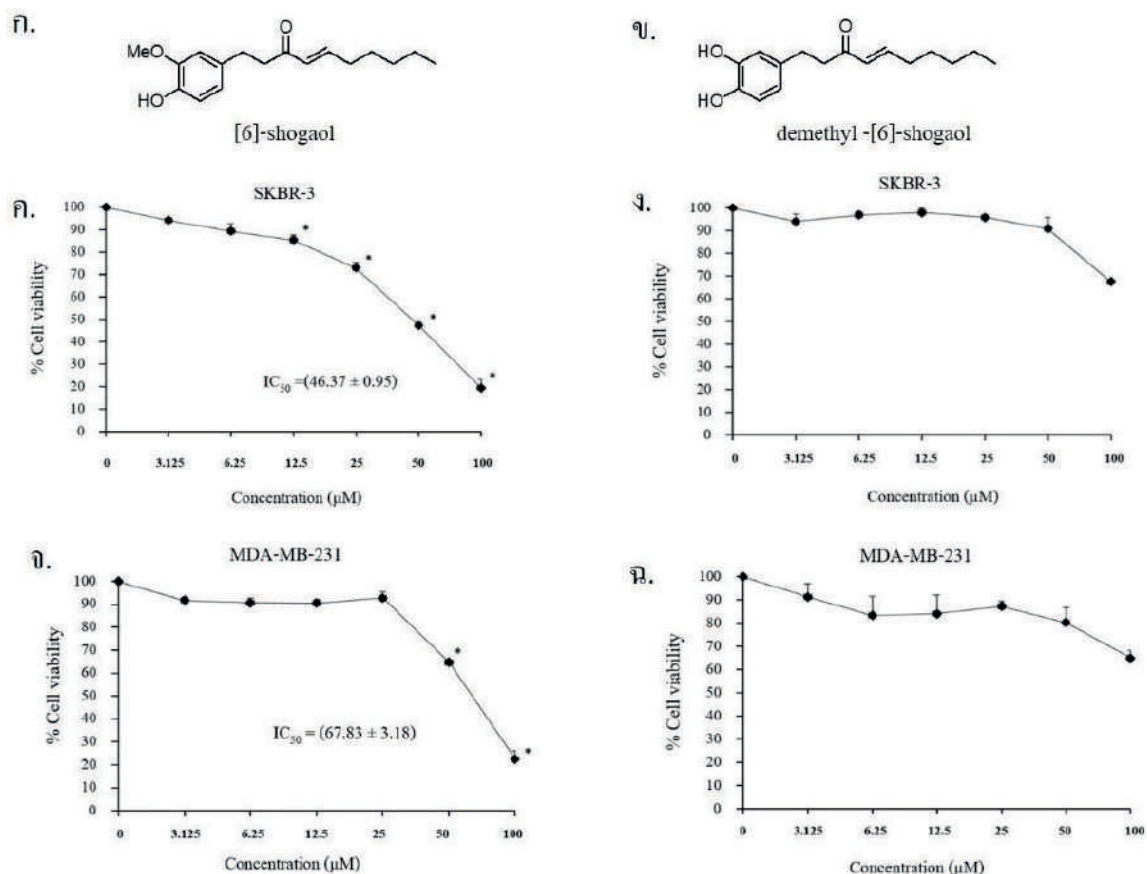
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเซลล์จากการทดสอบด้วยสาร สกัดจากขิง โดยแสดงผลเป็นค่าสถิติแบบ mean $\pm$ SD คำนวณค่า IC_{50} โดยโปรแกรม GraphPad Prism 6 (GraphPad Software Inc., สหรัฐอเมริกา) เปรียบเทียบความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมโดยใช้สถิติแบบ One-way ANOVA กำหนดค่า p value < 0.05 ถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัย

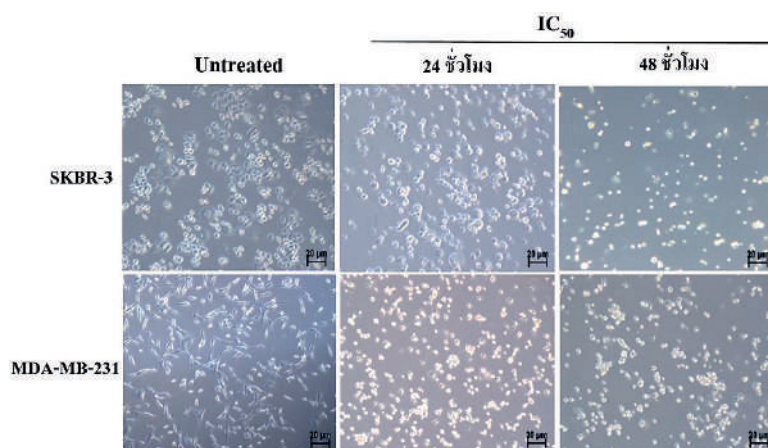
จากการทดสอบหาความเป็นพิษของ DMSO ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง คือ [6]-shogaol และอนุพันธ์ ได้แก่ demethyl-[6]-shogaol ความเข้มข้น ร้อยละ 0.03125 0.0625 0.125 0.25 0.5 และ 1 เมื่อบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 เท่ากับ 108.17 ± 4.11 112.62 ± 4.31 112.79 ± 2.38 111.87 ± 1.93 113.73 ± 3.71 และ 96.41 ± 3.47 ตามลำดับ และพบว่า ร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง MDA-MB-231 เมื่อบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 93.96 ± 1.94 90.87 ± 1.60 92.98 ± 6.07 94.89 ± 3.81 91.88 ± 0.67 และ 88.11 ± 2.06 ตามลำดับ ดังนั้นทุกความเข้มข้นของ DMSO ที่ใช้ไม่มีผลต่อร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สรุปได้ว่า ความเข้มข้นของ DMSO ที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่มีพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 และ MDA-MB-231 เมื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 ของสารออกฤทธิ์ [6]-shogaol (ภาพที่ 1ก) โดยวิธี MTT ที่ความเข้มข้น 3.125 6.25 12.5 25 50 และ 100 μM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับสารควบคุมคือ อาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ที่ไม่ได้เติมสาร (ความเข้มข้นของสารเท่ากับ 0 μM) พบว่าร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็ง (% Cell Viability) เมื่อทำการบ่มเซลล์ด้วยสารเท่ากับ 97.55 ± 2.62 92.74 ± 0.30 103.08 ± 6.22 66.89 ± 1.94 42.44 ± 1.90 และ 18.61 ± 1.18 ตามลำดับ สรุปได้ว่าเซลล์มะเร็งมีร้อยละการมีชีวิตรอดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ความเข้มข้น 12.5 25 50 และ 100 μM โดยมีค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) เท่ากับ 46.37 μM (ภาพที่ 1ค) เมื่อทดสอบสารกับเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง MDA-MB-231 พบว่าร้อยละการมีชีวิตรอดของเซลล์เท่ากับ 97.44 ± 2.01 94.81 ± 5.55 93.75 ± 8.93 91.37 ± 3.10 64.68 ± 1.01 และ 22.50 ± 3.63 ตามลำดับ เซลล์มะเร็งมีร้อยละการมีชีวิตรอดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ความเข้มข้น 50 และ 100 μM โดยมีค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) เท่ากับ 67.83 μM (ภาพที่ 1ข) ในขณะที่สาร demethyl-[6]-shogaol (ภาพที่ 1ข) ไม่มี

ฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยงทั้ง 2 ชนิดในทุกความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 1ง 1ฉ) เมื่อทดสอบเซลล์ทั้งสองชนิดด้วยสารออกฤทธิ์ [6]-shogaol ที่ความเข้มข้นเท่ากับ IC_{50} เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และติดตามการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าทั้งสองช่วงเวลานั้น เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงด้านรูปร่างและปริมาณ โดยรูปร่างเซลล์เปลี่ยนเป็นลักษณะกลม เซลล์หลุดตัวเล็กลง ปริมาณเซลล์ที่ยึดเกาะกับพื้นผิวจานเพาะเลี้ยงลดน้อยลง และพบเซลล์หลุดลอยในอาหารเลี้ยงเซลล์เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์มะเร็งที่ไม่ได้ผ่านการบ่มด้วยสารสกัดโดยเซลล์ในจานเพาะเลี้ยงที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมงมีปริมาณเซลล์ที่เกาะติดกันจานเพาะเลี้ยงน้อยกว่า และมีจำนวนเซลล์ที่หลุดลอยในอาหารเลี้ยงเซลล์เป็นจำนวนมากกว่าเซลล์ที่บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยพบลักษณะดังกล่าวได้ในทั้งสองเซลล์มะเร็งที่ทำการทดสอบ (ภาพที่ 2)

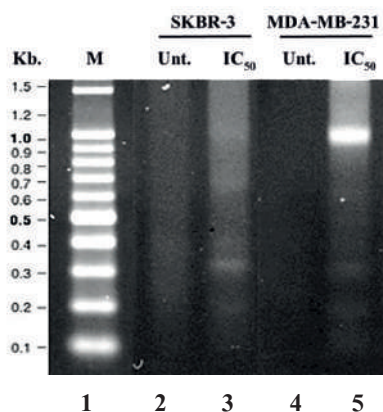


ภาพที่ 1 โครงสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง [6]-shogaol (ก) และ demethyl-[6]-shogaol (ข) ผลทดสอบการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 (ค, ง) และ MDA-MB-231 (ฉ, จ) ที่บ่มด้วยสารที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (*, $p < 0.05$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม)

ผู้วิจัยทำการทดสอบหากระบวนการชักนำการตายภายในเซลล์โดยสาร [6]-shogaol เพิ่มเติม ด้วยวิธีการตรวจสอบการแตกหักของดีเอ็นเอ (DNA Fragmentation) ในเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 และ MDA-MB-231 ที่ผ่านการบ่มด้วยสาร [6]-shogaol โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากับ IC_{50} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการสกัดดีเอ็นเอ แล้วแยกดีเอ็นเอที่ได้ด้วย Agarose Gel Electrophoresis โดยใช้ 1 kb Ladder DNA เป็น Marker โดยเปรียบเทียบควบคุมกับกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นเซลล์มะเร็งทั้ง 2 ชนิดที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์สมบูรณ์ที่ไม่ใส่สาร พบว่าดีเอ็นเอที่ได้จากเซลล์มะเร็งทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านการบ่มด้วยสาร [6]-shogaol เป็นเวลา 24 ชั่วโมงนั้น มีการเปลี่ยนแปลงความยาวให้เห็นอย่างชัดเจน โดยแสดงผล DNA Fragment Length ดังรูปภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ฤทธิ์ของสาร [6]-shogaol ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านม SKBR-3 และ MDA-MB-231 เมื่อบ่มเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น IC_{50} เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ไม่ได้บ่มด้วยสาร



ภาพที่ 3 การแตกหักของดีเอ็นเอจากการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 และ MDA-MB-231 เมื่อทดสอบเบื้องต้นด้วยเทคนิค Agarose Gel Electrophoresis DNA Fragmentation

การอภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบฤทธิ์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง (*Zingiber officinale*) ระหว่าง [6]-shogaol และ สารอนุพันธ์ ได้แก่ demethyl-[6]-shogaol ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยง 2 ชนิด คือ SKBR-3 และ MDA-MB-231 ที่มีการแสดงออกของโปรตีนตัวรับบนผิวเซลล์มะเร็งชนิด HER2/neu ที่แตกต่างกัน ซึ่งโปรตีนดังกล่าวสนับสนุนการเจริญเติบโตของมะเร็งหากมีการผลิตในปริมาณที่มากเกินไป การพบ HER2 Positive ในมะเร็งเต้านมจะส่งผลให้มีแนวโน้มของความรุนแรงของโรคมะเร็ง และตอบสนองต่อการรักษาโดยใช้ฮอร์โมนน้อยลง สำหรับเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยง SKBR-3 ที่นำมาทดสอบในครั้งนี้เป็นชนิดที่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 มาก ในขณะที่เซลล์ MDA-MB-231 ไม่มีการแสดงออกของโปรตีน HER2 บนผิวเซลล์ [12] ผลการทดสอบพบว่าสาร [6]-shogaol มีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยงได้ทั้งสองชนิด โดยสามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 ได้ดีที่สุด เมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนสาร demethyl-[6]-shogaol ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านมทั้ง 2 ชนิดในทุกความเข้มข้นที่ทดสอบ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างของสาร พบว่ามีความคล้ายกับสารสกัดบริสุทธิ์จากขิงชนิด Shogaol และให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Kim SM. และคณะ ที่รายงานว่าสารสกัดจากขิง เช่น Shogaol สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและการชักนำให้เซลล์มะเร็งเต้านมเฉพาะเลี้ยง MDA-MB-231 ตายแบบอะพอพโทซิสได้ [13] นอกจากนี้ ในปี 2017 Liu CM. และคณะ รายงานว่าสาร Shogaol ที่สกัดได้จากขิงมีฤทธิ์

ยับยั้งการเจริญเติบโต และการชักนำให้เซลล์มะเร็งต่อมลูกหมากเพาะเลี้ยงชนิด PC-3 มีการตายแบบอะพอพโทซิสได้เช่นกัน [14] ส่วนสาร demethyl-[6]-shogaol ยังไม่พบการรายงานในเซลล์มะเร็งชนิดใด การศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่า การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของ [6]-shogaol โดยการแทนที่หมู่ Methyl ด้วย Hydrogen อะตอม ที่ Carbon ตำแหน่งที่ 5 ของ Benzene Ring นั้นไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ [6]-shogaol ได้ ดังนั้นควรเลือกสารที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างในตำแหน่งอื่นเพิ่มเติมเพื่อหาสารที่มีประสิทธิภาพต่อไป นอกจากนี้หากพิจารณาถึงความแตกต่างของโปรตีนตัวรับที่แสดงออกบนผิวเซลล์มะเร็งแต่ละชนิดพบว่าสาร [6]-shogaol สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมเพาะเลี้ยง SKBR-3 ซึ่งเป็นเซลล์มะเร็งที่มีการแสดงออกโปรตีนตัวรับบนผิวเซลล์มะเร็ง HER2/neu ปริมาณมากได้ดีกว่าเซลล์ MDA-MB-231 ที่ไม่มีโปรตีนตัวรับชนิดนี้ ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในปี 2010 ของ Dawood, S. และคณะ ที่รายงานว่าเซลล์มะเร็งเต้านมที่มีการแสดงออกของ HER2/neu ปริมาณมาก มีการตอบสนองต่อการรักษาด้วยยาทราสทูซูแมบได้ดีกว่าชนิดที่ไม่มีโปรตีนตัวรับ HER2/neu [15] ถึงแม้ว่าค่า IC_{50} ของ [6]-shogaol จากการทดสอบครั้งนี้สูงกว่ายาทราสทูซูแมบ แต่ค่า IC_{50} ของ [6]-shogaol ในการยับยั้งเซลล์ SKBR-3 น้อยกว่า เซลล์ MDA-MB-231 ดังนั้นผลการทดสอบนี้จึงอาจนำไปสู่การศึกษาเพิ่มเติมถึงความจำเพาะของ [6]-shogaol กับโปรตีนตัวรับ HER-2 ต่อไป นอกจากนี้เมื่อทำการบ่มเซลล์มะเร็งเพาะเลี้ยงด้วย [6]-shogaol ที่ ความเข้มข้น IC_{50} เป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าเซลล์มีลักษณะหดเล็กลง และมีเซลล์ลอยอยู่ในอาหารเลี้ยงเซลล์มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ควบคุมที่ไม่เติมสาร แสดงให้เห็นถึงเซลล์มีการตายเพิ่มขึ้นหลังจากบ่มด้วยสาร อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถยืนยันรูปแบบการตายของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้อย่างชัดเจน ทางผู้วิจัยจึงทำการเก็บเซลล์ที่ผ่านการบ่มมาส่งคัดเ็นเอ และตรวจสอบการแตกหักของดีเอ็นเอ (DNA Fragmentation) ด้วย Agarose Gel ดังในการศึกษาที่ผ่านมาของ Saadat [16] ที่ใช้เทคนิคดังกล่าวในการทดสอบการเกิดอะพอพโทซิสของเซลล์มะเร็งเพาะเลี้ยงชนิด NIH/3T3 Fibroblasts ซึ่งสามารถตรวจการตายแบบอะพอพโทซิสในเบื้องต้นได้ จากการทดสอบครั้งนี้พบว่าเซลล์ที่บ่มด้วย [6]-shogaol มีการหดเล็กลงของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เมื่อบ่มด้วยสารที่ความเข้มข้นเท่ากับ IC_{50} และเกิดการแตกหักของดีเอ็นเอ เมื่อเปรียบเทียบกับ DNA Ladder สันนิษฐานฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งผ่านการชักนำการตายแบบอะพอพโทซิสของ [6]-shogaol ได้ อย่างไรก็ตามควรทำการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ศึกษาการแสดงออกของระดับ mRNA ของยีนตัวอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตายแบบอะพอพโทซิสของเซลล์ ตลอดจนศึกษาการแสดงออกของระดับโปรตีน หรือทำการทดสอบอื่นเพิ่มเติม เช่น ทดสอบการตายแบบอะพอพโทซิสโดยใช้ DAPI Staining และ/หรือ Flow Cytometry Assay เป็นต้น เพื่อยืนยันถึงผลการทดสอบที่ได้ รวมทั้งศึกษาความสามารถของการเสริมฤทธิ์ของสาร [6]-shogaol ร่วมกับยารักษามะเร็งชนิดอื่นเพื่อลดระดับความเข้มข้นของสาร และประสิทธิภาพของปรับแต่งโครงสร้างอื่นๆ เพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การพัฒนาสารดังกล่าวเป็นยารักษามะเร็งได้ในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากขิง [6]-shogaol สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด SKBR-3 และ MDA-MB-231 ได้ดีกว่าสาร demethyl-[6]-shogaol และออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง SKBR-3 ที่มีโปรตีนตัวรับบนผิวเซลล์ HER2/neu ได้ดีกว่า MDA-MB-231 ซึ่งไม่มีโปรตีนตัวรับดังกล่าว โดยผ่านการชักนำการตายแบบอะพอพโทซิส ผลการทดลองในครั้งนี้สามารถนำไปสู่การประยุกต์และพัฒนาสารสกัดจากพืชสมุนไพรเพื่อใช้ในการพัฒนาโรคมะเร็งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shukla, Y. and Singh, M. (2007). "Cancer Preventive Properties of Ginger: A Brief Review", **Food and Chemical Toxicology**. 45, 683-690.
- [2] Shih, H.C., Kuo, P.C., Wu, Y.C., Chan Y.Y., Liao, Y.R. and Wu, T.S., et al. (2014). "Synthesis of Analogues of Gingerol and Shogaol, the Active Pungent Principles from the Rhizomes of *Zingiber officinale* and Evaluation of Their Anti-Platelet Aggregation Effects", **International Journal of Molecular Sciences**. 15, 3926-3951.
- [3] Chen, C., Chang, A.Y., Lin, Y.T., Hseu Y.C. and Wang, H.M. (2012). "10-Shogaol an Antioxidant from *Zingiber officinale* for Skin Cell Proliferation and Migration Enhancer", **International Journal of Molecular Sciences**. 13, 1762-77.
- [4] Nafiseh, F.S., Rajab, A., Rahideh, T., Hossein, P. and Taherif, M.M. (2015). "The Effects of Ginger on Fasting Blood Sugar, Hemoglobin A1c, Apolipoprotein B, Apolipoprotein A-I and Malondialdehyde in Type 2 Diabetic Patients", **The Iranian Journal of Pharmaceutical Research**. 14, 131-140.
- [5] Sepide, A.O., Mobasser, M., Attari, V.E. and Payahoo, L. (2013). "Anti-Inflammatory Effects of *Zingiber Officinale* in Type 2 Diabetic Patients", **Advanced Pharmaceutical Bulletin**. 3, 273-276.
- [6] Chakotiya, A.S., Tanwar, A., Narula, A. and Sharma, R.K. (2017). "*Zingiber officinale*: Its Antibacterial Activity on *Pseudomonas aeruginosa* and Mode of Action Evaluated by flow Cytometry", **Microbial Pathogenesis**. 107, 254-260.
- [7] Bernard, M.M., McConnery, J.R. and Hoskin, D.W. (2017). "[10]-Gingerol, A Major Phenolic Constituent of Ginger Root, Induces Cell Cycle Arrest and Apoptosis in Triple-Negative Breast Cancer Cells", **Experimental and Molecular Pathology**. 102, 370-376.
- [8] Lee, H.S., Seo, E.Y., Kang, N.E. and Kim W.K. (2008). "[6]-Gingerol Inhibits Metastasis of MDA-MB-231 Human Breast Cancer Cells", **The Journal of Nutritional Biochemistry**. 19, 313-319.
- [9] Ling, H., Yang, H., Tan, S.H., Chui, W.K. and Chew, E.H. (2010). "6-Shogaol, An Active Constituent of Ginger, Inhibits Breast Cancer Cell Invasion by Reducing Matrix Metalloproteinase-9 Expression Via Blockade of Nuclear Factor- KB Activation", **British Journal of Pharmacology**. 161, 1763-1777.
- [10] Hong, B.H., Wu, C.H., Yeh, C.T. and Yen, G.C. (2013). "Invadopodia-Associated Proteins Blockade as A Novel Mechanism for 6-Shogaol and Pterostilbene to Reduce Breast Cancer Cell Motility and Invasion", **Molecular Nutrition & Food Research**. 57, 886-895.
- [11] Dubey, K.K., Ray, A.R. and Behera, B.K. (2008). "Production of Demethylated Colchicine Through Microbial Transformation and Scale-Up Process Development", **Process Biochemistry**. 43, 251-257.
- [12] 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.

- [13] Kim, S.M., Kim, C., Bae, H., Lee, J.H., Baek, S.H. and Nam, D., et al. (2015). “[6]-shogaol Exerts Anti-Proliferative and Pro-Apoptotic Effects Through the Modulation of STAT3 and MAPKs Signaling Pathways”, **Molecular Carcinogenesis**. 54, 1132-1146.
- [14] Liu, C.M., Kao, C.L., Tseng, Y.T., Lo, Y.C. and Chen, C.Y. (2017). “Ginger Phytochemicals Inhibit Cell Growth and Modulate Drug Resistance Factors in Docetaxel Resistant Prostate Cancer Cell”, **Molecules**. 22, 5-9.
- [15] Dawood, S., Broglio, K., Buzdar, A.U., Hortobagyi, G.N. and Giordano, S.H. (2010). “Prognosis of Women With Metastatic Breast Cancer by HER2 Status and Trastuzumab Treatment: An Institutional-Based Review”, **Journal of Clinical Oncology**. 28, 92-98.
- [16] Saadat, Y.R., Saeidi, N., Vahed, S.Z., Barzegari, A. and Barar, J. (2015). “An update to DNA Ladder Assay for Apoptosis Detection”, **Bioimpacts**. 5, 25–28.

ค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกลัวการหกล้มในผู้สูงอายุ

Gait Speed Cut-Off Point as a Predictor of Fear of Falling in Older Adults

จิรพัฒน์ นาวารัตน์^{1*}, มูรณีย์ ดารามัน², วันวิสาข์ สุตระ², จุฬาลักษณ์ จิตรสว่าง² และอรพรรณ มีเงิน²
Jiraphat Nawarat^{1*}, Murnee Daraman², Wanwisa Suttara², Julalak Jitsawang² and Orapan Mee-Ngern²

บทคัดย่อ

ผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มมักจะเดินช้าและจำกัดการทำกิจกรรมต่าง ๆ ส่งผลให้คุณภาพชีวิตลดลง วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกลัวการหกล้มในผู้สูงอายุเพศหญิง วิธีการวิจัย: ผู้สูงอายุเพศหญิงที่อาศัยอยู่ในชุมชนอายุระหว่าง 60-79 ปี จำนวน 60 คน ได้รับการประเมินการกลัวการหกล้มด้วย Fall Efficacy Scale (FES) ฉบับภาษาไทย และทดสอบความเร็วในการเดินปกติด้วยวิธี 10-Meter Walk Test การหาค่าจุดตัดใช้ Receiving Operator Characteristics (ROC) Curve ผลการวิจัย: ที่คะแนนแบบประเมิน FES 22 คะแนน ได้กลุ่มที่กลัวการหกล้ม 40 คน และกลุ่มที่ไม่กลัว 20 คน ค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกลัวการหกล้มเท่ากับ 0.95 เมตร/วินาที มีความไวและความจำเพาะร้อยละ 70 และ 60 ตามลำดับ โดยมีความถูกต้องของการทำนายร้อยละ 74.9 สรุปผลการศึกษา: ค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสามารถนำมาใช้ทำนายการกลัวการหกล้ม กำหนดเป้าหมาย ติดตามผลของโปรแกรมฟื้นฟูทางกายภาพบำบัดเพื่อเพิ่มความสามารถในการเดินได้

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ การกลัวการหกล้ม ความเร็วในการเดิน ค่าจุดตัด

Abstract

Older adults with fear of falling (FOF) often reduce gait speed and restrict their activity, leading to decrease in quality of life. The objective of this study was: to study cut-off point of gait speed to predict FOF in female older adults. Sixty community-dwelling older women aged between 60-79 years were assessed FOF using Fall Efficacy Scale; FES (Thai version) and preferred gait speed using 10-Meter Walk Test. The Receiving Operator Characteristics (ROC) Curve was used to analyze the cut-off point. The results showed that based on FES cut-off score (22 point), 40 participants were assigned to FOF and 20 to no-FOF group. Gait speed cut-off point to predict FOF in this study was 0.95 m/s (sensitivity 70 %, specificity 60 %). The accuracy of prediction measured by area under ROC curve was 0.749. The conclusion of the study is that gait speed cut-off point can be used to predict FOF including to set goal of treatment and follow up the effectiveness of physical therapy program for improvement of walking ability.

Keywords: Older Adult, Fear of Falling, Gait Speed, Cut-off Point

¹ อ., สาขาวิชากายภาพบำบัด สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80160

² นักศึกษา, สาขาวิชากายภาพบำบัด สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80160

¹ Lecturer, Physical Therapy program, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80160

² Undergraduate Student, Physical Therapy program, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80160

* Corresponding author: Tel.: 075-672703-4. E-mail address: nsuparoe@wu.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีการเพิ่มขึ้นของประชากรผู้สูงอายุอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยในปี 2548 ประเทศไทยเข้าสู่สังคมสูงวัย จากข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติพบว่า ผู้สูงอายุร้อยละ 55.7 เคยมีประวัติการหกล้ม และร้อยละ 50-60 ของผู้สูงอายุที่เคยหกล้มนั้นจะกลัวการหกล้ม ไม่มั่นใจในการทำกิจกรรม ไม่สามารถกลับไปทำงานหรือดำเนินชีวิตได้ตามปกติ ส่งผลให้ผู้สูงอายุเกิดความวิตกกังวล แยกตัวออกจากสังคม และนำไปสู่ภาวะซึมเศร้าตามมา [1] นอกจากนี้ ร้อยละ 33-46 ของผู้สูงอายุที่ไม่เคยหกล้ม ก็มีรายงานว่ากลัวการหกล้มเช่นกัน โดยการกลัวการหกล้มพบในเพศหญิงมากกว่าและมีความสัมพันธ์กับอายุที่เพิ่มขึ้น [2-3]

ผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มมีความเร็วในการเดินลดลง เนื่องจากผู้สูงอายุต้องระมัดระวังและพยายามรักษาการทรงตัวขณะเดิน ซึ่งเรียกรูปแบบการเดินนี้ว่า Caution Gait หรือ Fearful Gait งานวิจัยของ Chamberlin และคณะปี 2005 [4] ได้ทำการศึกษาผลของการกลัวการหกล้มต่อการเดินในผู้สูงอายุ โดยแบ่งกลุ่มผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มจากการประเมินด้วย modified Fall Efficacy Scale (mFES) พบว่า ผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มมีความเร็วในการเดินลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Reelick และคณะปี 2009 [5] ซึ่งแบ่งกลุ่มผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มจากการประเมินด้วย Activities-specific Balance Confidence scale (ABC) พบว่าผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มมีความเร็วในการเดินลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ งานวิจัยของ Reelick ยังพบว่าการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อขาเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถสะท้อนถึงภาวะความอ่อนแอของร่างกายในผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มส่งผลรบกวนต่อความเร็วในการเดินอีกด้วย

การทดสอบความเร็วในการเดินเป็นเครื่องมือสำคัญทางคลินิก สามารถทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อย ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือและสะท้อนความสามารถของผู้ป่วย งานวิจัยจำนวนมากใช้ความเร็วในการเดินเป็นตัวแปรในการประเมินผลการวิจัย เนื่องจากความเร็วในการเดินมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ เช่น การทรงตัว กำลังกล้ามเนื้อขา ความสามารถในการทำกิจกรรมประจำวัน รวมถึงสามารถใช้ตรวจคัดกรองผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงต่อภาวะทางสุขภาพได้ โดยพบว่าผู้สูงอายุที่เดินด้วยความเร็วน้อยกว่า 0.8 เมตร/วินาที มีแนวโน้มในการมีชีวิตอยู่รอดน้อย [6] เมื่อพบว่าผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มมีความเร็วในการเดินลดลง ประกอบกับการเดินเป็นสิ่งสำคัญของผู้สูงอายุในการทำกิจกรรมต่างๆ เพื่อมีปฏิสัมพันธ์และเข้าร่วมบทบาททางสังคม ดังนั้นในการศึกษานี้เพื่อหาค่าจุดตัด (Cut-off Point) ของความเร็วในการเดินสำหรับใช้เป็นเครื่องมือคัดกรองการกลัวการหกล้มของผู้สูงอายุอย่างง่ายทางคลินิก รวมทั้งเปรียบเทียบความเร็วในการเดินและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของระหว่างผู้สูงอายุที่กลัวและไม่กลัวการหกล้ม โดยค่าจุดตัดของความเร็วในการเดินที่ได้สามารถนำมาทำนายผู้สูงอายุที่มีการกลัวการหกล้ม และนำค่าดังกล่าวมาตั้งเป้าหมายการรักษา รวมถึงนำมาใช้ติดตามผลการฟื้นฟูทางกายภาพบำบัด เพื่อมุ่งเน้นให้ผู้สูงอายุมีการเคลื่อนไหวของร่างกายต่อไป

วัตถุประสงค์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยครั้งนี้มีรูปแบบการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง ประชากรเป้าหมาย คือ ผู้สูงอายุเพศหญิงซึ่งอาสาสมัครและเต็มใจเข้าร่วมงานวิจัย อายุระหว่าง 60-79 ปี เดินได้ด้วยตนเองอย่างน้อย 10 เมตรโดยไม่ใช้เครื่องช่วย เข้าใจปฏิบัติตามคำสั่งได้ ทั้งนี้ผู้สูงอายุที่มีโรคทางระบบประสาทที่ส่งผลต่อการเดิน มีประวัติกระดูกสันหลังหรือกระดูกขาหักในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา มีอาการปวดหลังหรือปวดเข่ารุนแรง (ระดับ Pain Scale มากกว่า 5) มีการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา มีอาการทางระบบหัวใจและหลอดเลือด เช่น หัวใจเต้นผิดจังหวะ ได้รับยาเคมีบำบัด ฉายแสง หรือผ่าตัดมะเร็ง รวมถึงรับประทานยาโรคประจำตัวมากกว่า 4 ชนิดจะถูกคัดออก คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรสำหรับ Screening Test โดยใช้ค่าความชุกของผู้สูงอายุที่กลัวการหกล้มร้อยละ 60 จากงานวิจัยของ Chandler ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 58 คน

เครื่องมือและวิธีการทดสอบ ประกอบด้วย

1. การกลืนกลืน ประเมินโดยใช้แบบประเมิน Fall Efficacy Scale-International (FES-I) ฉบับภาษาไทย เป็นการประเมินการกลืนกลืนในการทำกิจกรรมต่างๆ ของผู้สูงอายุจำนวนทั้งหมด 16 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมมีระดับคะแนนการกลืนกลืน 4 ระดับ โดย 1 หมายถึงไม่กลืนกลืนเลยและ 4 หมายถึงกลืนกลืนมากที่สุด คะแนนรวมมีค่าอยู่ในช่วง 16-64 คะแนน ผู้สูงอายุที่ได้ 22 คะแนนขึ้นไป จัดเป็นผู้สูงอายุที่มีการกลืนกลืน แบบ ประเมิน FES-I ฉบับภาษาไทยมีความเชื่อมั่นชนิดสอดคล้องภายในทั้งฉบับระดับสูง

2. ความเร็วในการเดิน ทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน 10-Meter Walk Test (10MWT) โดยให้ผู้สูงอายุเดินด้วยความเร็วปกติ จับเวลาเป็นระยะทาง 10 เมตร ทำการทดสอบ 3 ครั้งและนำความเร็วในการเดินมาหาค่าเฉลี่ย การทดสอบ 10MWT มีความน่าเชื่อถือในการวัดซ้ำระดับสูง (ICC = 0.98)

3. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อบีบมือ ทดสอบโดยใช้ Hand Grip Dynamometer ผู้สูงอายุใช้มือข้างที่ถนัดจับเครื่องมือและออกแรงบีบมืออย่างเต็มที่ ทำการทดสอบ 2 ครั้งและใช้ค่าครั้งที่ดีที่สุด มีรายงานว่า การทดสอบ Hand Grip Dynamometer มีความเที่ยงและความตรงระดับสูง

วิธีดำเนินการ ผู้เข้าร่วมวิจัยที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือกรับคำชี้แจงการวิจัย ลงลายมือแสดงความยินยอมและถูกประเมินการกลืนกลืนด้วยแบบประเมิน FES-I ฉบับภาษาไทย ได้ผู้สูงอายุเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่กลืนและไม่ได้กลืนกลืน จากนั้นได้รับการตรวจประเมินสัญญาณชีพก่อนจะถูกทดสอบความเร็วในการเดินและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อบีบมือ นำค่าข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากการทดสอบมาวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้โปรแกรม SPSS 17.0 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลใช้สถิติ Kolmogorov Smirnov Goodness of Fit Test การเปรียบเทียบความเร็วในการเดินและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อบีบมือระหว่างกลุ่มผู้สูงอายุที่กลืนและไม่ได้กลืนกลืนใช้สถิติ Independent T-Test หรือ Mann-Whitney U Test สำหรับการหาค่าจุดตัดของความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกลืนกลืนใช้ Receiver Operator Characteristics (ROC) Curve โดยพิจารณาเลือกค่าจุดตัดของความเร็วในการเดินที่มีค่าความไวและความจำเพาะที่ดี

ผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีผู้สูงอายุเพศหญิงที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าร่วมจำนวน 60 คน จากการประเมินด้วยแบบประเมิน FES-I สามารถแบ่งผู้สูงอายุเป็นกลุ่มที่กลืนกลืนจำนวน 40 คน และกลุ่มที่ไม่กลืนกลืนจำนวน 20 คน โดยทั้ง 2 กลุ่มมีคะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมิน FES-I เท่ากับ 32.65 ± 7.22 คะแนนและ 19.25 ± 1.33 คะแนนตามลำดับ คุณลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

คุณลักษณะทั่วไป	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		P - value
	FOF (n = 40)	non-FOF (n = 20)	
คะแนนจากแบบประเมิน FES-I	32.65 ± 7.22	19.20 ± 1.33	$< 0.001^{*a}$
อายุ (ปี)	65.85 ± 5.48	65.85 ± 6.45	0.740^b
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	58.49 ± 11.37	53.63 ± 10.38	0.114^a
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	149.81 ± 6.41	148.17 ± 5.75	0.339^a
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	26.14 ± 5.27	23.97 ± 4.20	0.114^a

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย (ต่อ)

คุณลักษณะทั่วไป	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		p - value
	FOF (n = 40)	non-FOF (n = 20)	
จำนวนการกลืน (ครั้ง)	0.35 $\pm$ 0.70	0.15 $\pm$ 0.49	0.188 ^b
จำนวนยาโรคประจำตัวที่ใช้ (ชนิด)	1.53 $\pm$ 1.18	1.60 $\pm$ 1.50	0.846 ^a

^a Independent T- Test, ^b Mann- Whitney U Test

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

FOF กลุ่มที่กลืนการกลืน non-FOF กลุ่มที่ไม่กลืนการกลืน

1. การกลืนการกลืน

การกลืนการกลืนของผู้เข้าร่วมวิจัย พบว่ามี 2 กิจกรรมที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผู้สูงอายุกลุ่มที่กลืนและไม่กลืนการกลืน คือกิจกรรมการเดินเล่นนอกบ้านหรือรอบๆ บ้าน ($p = 0.027$) และกิจกรรมไปเยี่ยมญาติหรือเพื่อน ($p = 0.005$) โดยกลุ่มที่กลืนการกลืนมีค่าคะแนนเฉลี่ยทั้ง 2 กิจกรรมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่กลืนการกลืน ส่วนการกลืนการกลืนในกิจกรรมอื่นๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคะแนนการกลืนการกลืนในแต่ละกิจกรรมตามแบบประเมิน FES-I

กิจกรรมตามแบบประเมิน FES-I	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		p - value ^a
	FOF (n = 40)	non-FOF (n = 20)	
1. ทำความสะอาดบ้าน	2.05 $\pm$ 1.22	1.45 $\pm$ 0.89	0.053
2. ใส่หรือถอดเสื้อผ้า	1.28 $\pm$ 0.60	1.25 $\pm$ 0.44	0.785
3. หุงข้าวทำกับข้าวง่ายๆ	1.48 $\pm$ 0.88	1.15 $\pm$ 0.37	0.211
4. อาบน้ำ	2.12 $\pm$ 1.09	1.85 $\pm$ 0.99	0.354
5. ไปซื้อของ	1.63 $\pm$ 0.90	1.20 $\pm$ 0.41	0.077
6. ลุกนั่งเก้าอี้	1.65 $\pm$ 0.77	1.35 $\pm$ 0.59	0.129
7. ขึ้น-ลงบันได	2.15 $\pm$ 1.00	2.00 $\pm$ 0.97	0.566
8. เดินเล่นนอกบ้าน หรือรอบๆ บ้าน	1.42 $\pm$ 0.78	1.05 $\pm$ 0.22	0.027*
9. เอื้อมหยิบของเหนือศีรษะหรือก้มลงเก็บของ	2.05 $\pm$ 0.85	1.85 $\pm$ 0.93	0.279
10. รับโทรศัพท์	1.03 $\pm$ 0.16	1.00 $\pm$ 0.00	0.480
11. เดินบนพื้นลื่น	3.03 $\pm$ 1.03	2.75 $\pm$ 1.02	0.301
12. ไปเยี่ยมญาติหรือเพื่อน	1.43 $\pm$ 0.68	1.00 $\pm$ 0.00	0.005*
13. ไปในที่ที่มีคนแออัด เช่น ตลาดสด	1.85 $\pm$ 0.86	1.75 $\pm$ 0.72	0.775
14. เดินบนพื้นไม่เรียบ	2.45 $\pm$ 0.82	2.15 $\pm$ 0.75	0.152
15. เดินบนทางลาดชัน	2.65 $\pm$ 0.95	2.35 $\pm$ 0.88	0.220
16. ร่วมงานชุมชน	1.47 $\pm$ 0.78	1.70 $\pm$ 0.80	0.212

^a Mann-Whitney U Test

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

FOF กลุ่มที่กลืนการกลืน non-FOF กลุ่มที่ไม่กลืนการกลืน

2. ความเร็วในการเดินและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

ความเร็วในการเดินพบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.002$) โดยกลุ่มที่กลืนล้มเดินด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.85 ± 0.14 เมตร/วินาที และกลุ่มที่ไม่กลืนล้มเดินด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.00 ± 0.21 เมตร/วินาที ส่วนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาพบไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 กลุ่ม ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความเร็วในการเดินและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		p - value ^a
	FOF (n = 40)	non-FOF (n = 20)	
ความเร็วในการเดิน (เมตร/วินาที)	0.85 ± 0.14	1.00 ± 0.21	0.002*
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	19.40 ± 4.21	19.07 ± 5.06	0.789

^aIndependent T-Test

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

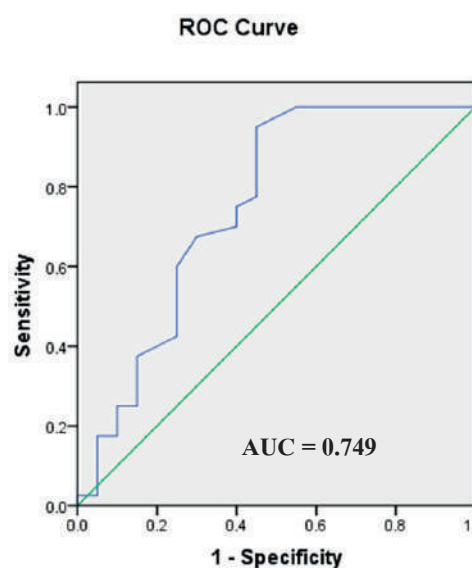
FOF กลุ่มที่กลืนล้ม non-FOF กลุ่มที่ไม่กลืนล้ม

3. ค่าจุดตัด (Cut-off point) ความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกลืนล้ม

ค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกลืนล้มในงานวิจัยครั้งนี้คือ 0.95 เมตร/วินาที มีความไวและความจำเพาะร้อยละ 70 และ 60 ตามลำดับดังตารางที่ 4 โดยมีความถูกต้องของการทำนายร้อยละ 74.9 (AUC = 0.749 และ 95 % CI เท่ากับ 0.600-0.897) ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 4 ค่าความไว (Sensitivity) และความจำเพาะ (Specificity) ของค่าจุดตัดความเร็วในการเดินที่จุดต่างๆ

จุดตัดความเร็วในการเดิน (เมตร/วินาที)	ความไว (ร้อยละ)	ความจำเพาะ (ร้อยละ)
0.915	57.5	75
0.925	60	75
0.935	67.5	70
0.950	70	60



ภาพที่ 1 ROC Curve ของความเร็วในการเดิน

การอภิปรายผล

1. การกล้วการหกล้ม

กิจกรรมต่างๆ ที่ใช้ประเมินการกล้วการหกล้มในแบบประเมิน FES-I ประกอบด้วยกิจกรรมกิจวัตรประจำวัน ที่ง่ายไม่ซับซ้อน กิจกรรมที่ยากขึ้น และกิจกรรมทางสังคม ทั้งนี้การไปเยี่ยมญาติหรือเพื่อนเป็นกิจกรรมทางสังคมที่ต้องพบปะคนจำนวนมาก ผู้สูงอายุเกิดความไม่มั่นใจและเลี่ยงการเข้าร่วมกิจกรรม สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าผู้สูงอายุที่กล้วการหกล้มจะเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคมน้อย [7] นอกจากนี้ผู้สูงอายุเพศหญิงมักหกล้มบริเวณนอกบ้านถึงร้อยละ 70.4 โดยลักษณะภายนอกบ้านที่เป็นปัจจัยเสี่ยงได้แก่ ทางเดินชำรุด มีพุ่มไม้เตี้ยบริเวณทางเดิน ประกอบกับการเดินรอบบ้าน ผู้สูงอายุมักเดินโดยไม่มียุ่ดูแลหรือคอยระวัง จึงเป็นไปได้ว่าผู้สูงอายุกลุ่มที่กล้วการหกล้มมีค่าคะแนนการกล้วการหกล้มในกิจกรรมการเดินเล่นนอกบ้านหรือรอบ ๆ บ้านสูงกว่า

อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยพบว่ากิจกรรมที่ผู้สูงอายุทั้ง 2 กลุ่มมีค่าคะแนนเฉลี่ยการกล้วการหกล้มสูงสุด 3 ลำดับแรกคือ เดินบนพื้นลื่น เดินบนทางลาดชัน และเดินบนพื้นไม่เรียบ ทั้งนี้เป็นเพราะว่ากิจกรรมดังกล่าวทำให้เกิดโอกาสหกล้มสูง ผู้สูงอายุต้องมีการทรงตัวที่ดี มีกล้ามเนื้อขาแข็งแรง ไม่มีปัญหาบริเวณข้อต่อต่างๆ และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการรับรู้สติ ผู้สูงอายุทั้ง 2 กลุ่มจึงมีการกล้วการหกล้มไม่มีความแตกต่างกัน งานวิจัยของเพ็ญศรีและคณะพบว่าปัจจัยส่วนใหญ่ที่ทำให้เสี่ยงต่อการหกล้มมาจากสาเหตุปัจจัยภายนอก ร้อยละ 51.5 โดยเกิดจากพื้นผิวมากที่สุด เช่น เดินบนทางลาดชัน เดินบนพื้นลื่นไม่เรียบ และสภาพแวดล้อมภายในบ้านที่เสี่ยงต่อการหกล้ม ได้แก่ ลักษณะของชั้นบันได แสงสว่าง การจัดวางสิ่งของเครื่องใช้ และลักษณะของพรมหรือผ้าเช็ดเท้า

2. ความเร็วในการเดินและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

ผู้สูงอายุกลุ่มที่กล้วการหกล้มมีความเร็วในการเดินน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่กล้วการหกล้ม โดยมีความเร็วในการเดินเฉลี่ยอยู่ที่ 0.85 ± 0.14 เมตร/วินาที สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dias และคณะปี 2011 [8] พบว่าผู้สูงอายุประเทศบราซิลอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป ที่กล้วการหกล้มมีความเร็วในการเดินลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดิน 0.83 เมตร/วินาที สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้สูงอายุที่กล้วการหกล้มเดินช้าลงเป็นเพราะมีความบกพร่องในการทรงตัว Kumar และคณะปี 2008 [9] รายงานว่าการกล้วการหกล้มของผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ในชุมชนมีความสัมพันธ์กับการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวในระดับสูง ($r = 0.95$; $p < 0.05$) ส่งผลให้ผู้สูงอายุหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมต่าง ๆ นำไปสู่การถดถอยของร่างกายและสูญเสียคุณภาพชีวิต นอกจากนี้งานวิจัยของ Thaweewannakij และคณะปี 2013 [10] ทำการศึกษาความเร็วในการเดินปกติของผู้สูงอายุไทยสุขภาพดี พบว่าผู้สูงอายุเพศหญิงอายุ 60-69 ปี มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดิน 1.08 ± 0.15 เมตร/วินาที ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินปกติของกลุ่มผู้สูงอายุกลุ่มที่ไม่กล้วการหกล้มในงานวิจัยครั้งนี้

ผลการวิจัยพบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาซึ่งเป็นตัวบ่งชี้หนึ่งถึงภาวะความอ่อนแอของร่างกายไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 กลุ่ม โดยค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาของทั้ง 2 กลุ่มในงานวิจัยครั้งนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Malhotra และคณะปี 2016 [11] ที่ศึกษาค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในผู้สูงอายุประเทศสิงคโปร์ อายุ 65-69 ปี มีค่าเฉลี่ย 16.8 กิโลกรัม Castell และคณะปี 2013 [12] รายงานว่า ภาวะความอ่อนแอจะเริ่มมีการแสดงออกอย่างชัดเจนเมื่ออายุ 65 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 14 และเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 19 - 40.2 เมื่ออายุ 75 ปีขึ้นไป ทั้งนี้อายุเฉลี่ยของผู้สูงอายุทั้ง 2 กลุ่มในงานวิจัยครั้งนี้จัดเป็นผู้สูงอายุตอนต้น ดังนั้นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอาจลดลงไม่มากนักและไม่พบความแตกต่างกัน

3. ค่าจุดตัด (Cut-off Point) ความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกล้วการหกล้ม

ค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสำหรับทำนายการกล้วการหกล้มในงานวิจัยครั้งนี้ คือ 0.95 เมตร/วินาที มีความไวร้อยละ 70 ความจำเพาะ ร้อยละ 60 และมีความถูกต้องของการทำนาย ร้อยละ 74.9 ถือว่าอยู่เกณฑ์ที่เหมาะสมเนื่องจาก การพิจารณาค่าจุดตัดจะต้องมีความถูกต้องของการทำนายมากกว่า ร้อยละ 50 จึงจะยอมรับได้ ประกอบกับเมื่อพิจารณา

ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินปกติของกลุ่มที่ไม่กล้วการหกล้มในงานวิจัยนี้กับค่าจุดตัดที่ได้ พบว่ามีความต่าง 0.05 เมตร/วินาที อยู่ในช่วงค่าที่น้อยที่สุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเดิน (Minimal Detectable Change; MDC) โดย Perera และคณะปี 2006 [13] พบว่า ค่า MDC ของความเร็วในการเดินที่เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ในชุมชนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.04 - 0.06 เมตร/วินาที อย่างไรก็ตาม Verghese และคณะปี 2011 [14] ซึ่งศึกษาความเร็วในการเดินที่ส่งผลต่อการจัดการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชุมชนของผู้สูงอายุ พบว่าผู้สูงอายุที่มีความเร็วในการเดินน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เมตร/วินาที จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการจัดการทำกิจกรรมอย่างน้อย 1 กิจกรรมจาก 9 กิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำในชุมชน ประกอบด้วยกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเดิน 3 กิจกรรม (การเดินภายในบ้าน การขึ้นบันได การลงบันได) และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับกิจวัตรประจำวันพื้นฐาน 6 กิจกรรม ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าจุดตัดของความเร็วในการเดินที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้มีค่าน้อยกว่า 1 เมตร/วินาที เป็นค่าความเร็วในการเดินที่สามารถทำนายได้ว่าผู้สูงอายุมีการกล้วการหกล้ม จะมีการเคลื่อนไหวที่น้อยลงและเกิดการจัดการทำกิจกรรมต่าง ๆ ตามมา

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความเร็วในการเดินสามารถนำมาใช้เป็นวิธีการคัดกรองการกล้วการหกล้มของผู้สูงอายุอย่างง่ายทางคลินิกได้ เป็นวิธีการที่รวดเร็วอีกทั้งสะท้อนถึงความสามารถด้านอื่นๆ ของผู้สูงอายุได้อีกด้วย ผู้สูงอายุเพศหญิงที่มีความเร็วในการเดินน้อยกว่า 0.95 เมตร/วินาทีทำนายได้ว่าการกล้วการหกล้ม ดังนั้น นอกจากการใช้ค่าจุดตัดความเร็วในการเดินสำหรับการทำนายการกล้วการหกล้มแล้ว สามารถนำค่าที่ได้มาตั้งเป้าหมายและติดตามผลการฟื้นฟูทางกายภาพบำบัดได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hadjistavropoulos, T., Delbaere, K. and Fitzgerald, T.D. (2011). "Reconceptualizing the Role of Fear of Falling and Balance Confidence in Fall Risk", **Journal of Aging Health**. 23, 3-23.
- [2] Dowton, J.H. and Andrews, K. (1990). "Postural Disturbance and Psychological Symptoms Amongst Elderly People Living at Home", **International Journal of Geriatric Psychiatry**. 5, 93-98.
- [3] Maki, B.E., Holliday, P.J. and Topper, A.K. (1991). "Fear of Falling and Postural Performance in the Elderly", **The Journal of Gerontology**. 46, 123-131.
- [4] Chamberlin, M.E., Fulwider, B.D., Sanders, S.L. and Medeiros, J.M. (2005). "Does Fear of Falling Influence Spatial and Temporal Gait Parameters in Elderly Persons Beyond Changes Associated with Normal Aging", **The Journal of Gerontology Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**. 60(9), 1163-1167.
- [5] Reelick, M.F., van Iersel, M.B., Kessels, R.P. and Rikkert, M.G. (2009). "The Influence of Fear of Falling on Gait and Balance in Older People", **Age Ageing**. 38, 435-440.
- [6] Studenski, S., Perera, S., Patel, K., Rosano, C., Faulkner, K., Inzitari, M., et al. (2011). "Gait Speed and Survival in Older Adults", **Journal of the American Medical Association**. 305(1), 50-58.
- [7] Lachman, M.E., Howland, J., Tennstedt, S., Jette, A., Assmann, S. and Peterson, E.W. (1998). "Fear of Falling and Activity Restriction: the Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly (SAFE)", **Journal of Gerontology**. 50B(1), 43-50.

- [8] Dias, R., Freire M., Santos, E., Vieira, R., Dias, J. and Perracini, M. (2011). “Characteristics Associated with Activity Restriction Induced by Fear of Falling in Community-Dwelling Elderly”, **Revista Brasileira de Fisioterapia**. 15(5), 406-413.
- [9] Kumar, S., Vendhan, G.V., Awasthi, S., Tiwari, M. and Sharma, V.P. (2008). “Relationship between Fear of Falling, Balance Impairment and Functional Mobility in Community-Dwelling Elderly”, **International Journal of Pharmaceugical and Medical Research**. 19, 48-52.
- [10] Thaweewannakij, T., Wilaichit, S., Chuchot, R., Yuenyong, Y., Saengsuwan, J., Siritaratiwat, W., *et. al.* (2013). “Reference Values of Physical Performance in Thai Elderly People Who are Functioning Well and Dwelling in the Community”, **Physical Therapy**. 93(10), 1312-1320.
- [11] Malhotra, R., Ang, S., Allen, J.C., Tan, N.C., Saito, Y. and Chan, A. (2016). “Normative Values of Hand Grip Strength for Elderly Singaporeans Aged 60 to 89 Years: a Cross-Sectional Study”, **Journal of American Medical Directors Association**. 17(9), 864. e1-864. e7.
- [12] Castell, M.V., Sánchez, M., Julián, R., Queipo, R., Martín, S. and Otero, A. (2013). “Frailty Prevalence and Slow Walking Speed in Persons Age 65 and Older: Implications for Primary Care”, **BMC Family Practice**. 14, 1-9.
- [13] Perera, S., Mody, S.H., Woodman, R.C. and Studenski, S.A. (2006). “Meaningful Change and Responsiveness in Common Physical Performance Measures in Older Adults”, **Journal of the American Geriatrics Society**. 54(5), 743-749.
- [14] Verghese, J., Wang, C. and Holtzer, R. (2011). “Relationship of Clinic Based Gait Speed Measurement to Limitations in Community Based Activities in Older Adults”, **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. 92(5), 844-846.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

		หน้า
กนกกรณ์ สุขมาก	Kanokporn Sukmark	26
กมลชนก เส่งโสด	Kamonchanok Sengsod	308
กมลทิพย์ กรรไพอเราะ	Kamontip kanpairo	17
กมลทิพย์ เตชะชวน	Kamonthip Tehsuan	1
กาญจนา พานิชการ	Karnchana Panichakarn	233
กานต์ธิดา บุญมา	Kantida Boonma	206
จติณธรณ์ บุญชื่น	Jatintorn Boonchuen	26
จอมภพ แวศักดิ์	Jompob Waewsak	224
จักรพงษ์ จิตต์จันทงค์	Jakkrapong Jitjamnong	99
จันทนีย์ เพ็ชรไพบุลย์	Jantane Patpirboon	51
จันทิมา ทีฆะ	Jantima Teeka	26
จิรพัฒน์ นาวารัตน์	Jiraphat Nawarat	317
จิรวัดน์ โสกาจารย์	Jerawat Sopajarn	140
จิรวุฑ มุรินทร์พนมาศ	Jeerawoot Muninnopamas	17
จูรีภรณ์ นวนมุสิก	Jureeporn Nounmusig	73
จุฬาลักษณ์ จิตรสว่าง	Julalak Jitsawang	317
ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล	Chainuson Kasagepongsarn	206
ชำนาญ อินทสโร	Chumnan Inthasaro	241
ชีวะ ทัสนา	Chewa Thassana	51
โชคชัย เหมือนมาศ	Chokchai Mueanmas	140
โชติ เนื่องนันท์	Chote Nuangnun	167
ฐาปนี เรืองฤทธิ์	Thapanee Roengrit	284
ณปภัช สมานวงศ์	Napaphat Samanwong	99
ณัฐธินิชา คำโสภา	Natthanicha Khamsoa	58
ดวงกมล มามีชัย	Duangkamon Mameechai	167
ธนวิษณุ พันธุ์ฉลาด	Tanawit Panchalad	267
ธวัชชัย นาคช่วย	Thawatchai Nakchuay	183
รัชชัย เอ่งฉ้วน	Touchai Angchuan	275
ธาดา หวังธรรมมั่ง	Thada Wangthammang	275
ธิญาภรณ์ แก้วทวี	Teeyaporn Keawtawee	91
ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ	Teeravat Tepjaikad	35
นพดล สุกระกาญจน์	Noppadon Sukrakanchana	58
นพมาศ ปักเข็ม	Noppamas Pukkhem	259
นลพรรณ ขันติกุลานนท์	Nonlapan Khantikulanon	99
นวิยา สุขเป้า	Nawiya Huipao	292
นันทิยา พนมจันทร์	Nantiya Panomjan	82
นิคม ผึ้งคำ	Nikom Phuengkum	51, 167
นินนาท์ จันทรสุริย์	Ninna Jansoon	107

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

นุชนาท คงช่วย	Nootchanath Kongchouy	65
นุรดีนา จารง	Nurdina Charong	308
ปกรณ์ ปรีชาบุรณะ	Pakorn Preechaburana	124, 132
ปรพพร ศรีวรรณวิทย์	Porraporn Sriwannawit	284
ประสงค์ เกษราธิคุณ	Prasong Kessaratikoon	174, 183, 199, 216
ปวีณา ปรวัฒน์กุล	Paweena Porrawatkul	73
ปัทมาสน์ ลิ้มวรพันธ์	Pattamas Limvorapan	1
ปิยะพงษ์ ประเสริฐศรี	Piyapong Prasertsri	284
ปิยะวัฒน์ แก้วใจจง	Piyawat Kaewjaijong	132
ปฐินทร จันทร์เลิศ	Purintorn Chanlert	216
พงศ์พิสิษฐ์ พระธาตุ	Phongphisit Phrathart	308
พรพิมล เชื้อดวงฟูย	Pornpimon Chuaduangpui	65
พลรัตน์ ทองเพิ่ม	Polrat Thongperm	167
มณฑล เลิศคณาวนิชกุล	Monthon Lertcanawanichakul	1
มนตรี วงศ์ศิริวิทยา	Montree Wongsiriwittaya	191
มลิธรา พรหมกันท์	Moltira Promkan	308
มะลิวัลย์ เหมสลาหมาด	Maliwan Hamsalamad	267
มูรณี คาโอ	Murnee Daoh	216
มูรณีย์ ดารามัน	Murnee Daraman	317
ยุทธพงษ์ สังข์น้อย	Yutthapong Sangnoi	91
รวมพร นิกม	Ruamporn Nikhom	140
รวีวรรณ งานสันติกุล	Raweewan Ngamsuntikul	233
รุ่งทิwa กองเงิน	Rungtiwa Kongngoen	35
รุชดา ศรีอาหมัด	Ruchada Sri-amad	284
ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ	Ruthairat Boonkrongcheep	216
วราภรณ์ เพชรแก้ว	Waraporn Petkaew	82
วราศรี แสงกระจ่าง	Warasri Saengkrajang	73
วัชรกร ใจตรง	Wacharakron Jaitong	191
วันวิสาข์ สุตระ	Wanwisa Suttara	317
วิฑูรย์ หนูเล็ก	Witoon Nuleg	167
วิภาดา มุรินทร์นพมาศ	Wipada Muninnopamas	17
วิลาสินี เนินริมหนอง	Wilasinee Noenrimnong	51
วิลัยลักษณ์ กล่อมพงษ์	Vilailak Klompong	43
วิษณุ นภาพันธุ์	Visanu Napaphun	249
วีรวิธ เลพล	Wirawut Lephon	149
ศักดิ์มงคล ยี่มี	Sakmongkhol Yeemee	199
ศุภกร กตาทิการกุล	Supagorn Katathikarnkul	107, 224
ศุภลักษณ์ อำลอย	Supaluck Amloy	124, 132
สมยศ ศรีคงรักษ์	Somyot Srikongrug	51, 167

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

สวรรณชา บุญช่วย	Sawanya Boonchuay	124
สายันท์ โสระโร	Sayun Sotaro	233
สิริยา สิทธิสาร	Siraya Sitthisarn	259
สุจยา ฤทธิศร	Sujaya Ritthisorn	26
สุเจนต์ พรหมเหมือน	Suchane Prommuean	107, 224
สุตกร ช่างเรือ	Sutrak Changruea	308
สุดา เทียมมนตรี	Suda Thernmontri	267
สุทธิดา ก้อนเรือง	Sutthisa Konruang	224
สุธีรา ศรีสุข	Suteera Srisuk	17
สุพัชญา นวลทองแก้ว	Supatchada Nauntongkaew	91
สุรีย์พร วุฒิมานพ	Sureeporn Wuttimanop	73
สุวิทย์ คงภักดี	Suwit Khongpakdee	174, 183, 199
สุห์ดี นิเซ็ง	Suhdee Niseng	99
เสกสรรค์ สุวรรณมณี	Seksun Suwanmanee	275
เสาวคนธ์ จันทร์คำ	Saowakon Jandum	82
แสงสุรีย์ วสุพงศ์อัยยะ	Sangsuree Vasupongayya	275
โสมศิริ เดชารัตน์	Somsiri Decharat	299
หทัยภัทร พลากุล	Hataipat Palakul	65
อนันต์ อธิพรชัย	Anan Athipornchai	308
อนิดา เพ็ชรแก้ว	Anida Petchkaew	140
อภิชาติ สุขสำราญ	Apichart Suksamrarn	308
อรพรรณ มีเงิน	Orapan Mee-Ngern	317
อระยา ปรีชาพานิช	Oraya Preechapanich	267
อรวรรณ คงสุวรรณ	Orawan Kongsuwan	91
อรวรรณ ทิพย์มณี	Orawan Thipmanee	115
อรุณรัตน์ วนิชขานนท์	Arunrut Vanichanon	58
อัญชลี สงวนพงศ์	Aunchalee Sahoynpong	1
อับดุลนาเซอร์ ฮายีสาเมะ	Abdulnaser Hayeesamoh	17
อัยฎาวุธ อารีศิริสุข	Atsawut Areesirisuk	26
อาจารี นาโค	Ajaree Naco	259
อาทิตย์ หมวดคงจันทร์	Arthit Muadkongchan	174
อานง ใจแน่น	Anong Jainan	8
อานนท์ อุปปบลัดังค์	Arnon Uppabullung	91
เอกกฤษ แก้วเจริญ	Eakrit Kaewcharoen	158
เอกภูมิ บุญธรรม	Eakpoom Boonthum	158

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
กฎของมาลุส	174
กรดไขมันอิสระ	140
กระบวนการหมัก	43
กระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วน	99
กัมมันตภาพจำเพาะ	216
การก่อกวนการหลอม	317
การเกาะติดทางไฟฟ้า	115
การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	249
การคิดขั้นสูง	249
การจัดการขยะอันตราย	299
การจัดกำหนดการ	275
การเจริญเติบโต	51
การดูซึมของโซเดียมไอออน	292
การตรวจวัดภาคพื้นดิน	224
การทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ	26
การบริการบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์	267
การปลูกหญ้าทะเล	65
การผสมแสงสี	199
การพองตัว	73
การพัฒนาผลิตภัณฑ์	17
การมีส่วนร่วม	299
การเรียนรู้ด้วยความเข้าใจ	249
การวิเคราะห์ทางเคมี	132
การสังเคราะห์	107
การสันฟุ้งของเสียง	183
การอบแห้ง	149
กิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องสถิติ	233
ขนมขบเคี้ยว	73
ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล	224
ข้อมูลอุช่ออมรต	267
ข้าวหมาก	43
ข้าวเหนียวดำ	43
คลื่นผิวพลาสมอนเร	124
ความชื้นของดิน	224
ความรู้ทางคณิตศาสตร์	249
ความเร็วคลื่นความดันเลือดแดง	284
ความเร็วในการเดิน	317
ค่าจุดตัด	317
ค่าบริกซ์	124

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
คุณภาพ	43
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	191
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส	206
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสอัตราเร็วรอบต่ำ	206
เครื่องคำนวณเชิงกราฟ TI Nspire	233
เครื่องมือช่วยนักศึกษา	275
เครื่องรามาสนเปกโตรสโคป	132
เครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน	158
เคอร์คูมิน	107
โครงสร้างส่วนสะสมอาหาร	82
จังหวัดพัทลุง	224
เจลแต้มสิว	1
ชีวมวล	191
ชุดทดลอง	199
ซอร์เบท	35
เซลล์เชื้อเพลิงทางเดินหายใจมนุษย์	292
ไดเอทิลอีเทอร์	58
ตัวเร่งปฏิกิริยา	99
ตัวหน่อนไหม	149
เตาเผาเชื้อเพลิง	191
ทรายชายหาด	216
ท่อพอลิไวนิลคลอไรด์	183
น้ำปรุงรสผัดพริก	17
น้ำพริกลาบ	8
น้ำมันจากกากกาแฟ	140
น้ำมันพืชใช้แล้ว	99
น้ำมันอีสค์	26
น้ำมันหอมระเหยกานพลู	58
น้ำมันหอมระเหยไพล	58
นกเกิล	99
นิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ	216
แบคทีเรียก่อสิว	1
ไบโอดีเซล	99, 140
ไบโอดีเซลจุลินทรีย์	26
ปลาการ์ตูนส้มขาว	91
เปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่	65
ผักพื้นบ้าน	73
ผู้สูงอายุ	317

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
แผนการศึกษา	275
แผ่นดินไหว	167
แผนที่ความชื้นของดิน	224
พริกหวาน	51
พลังงานรังสีอาทิตย์	149
พดลมหอยโข่ง	191
พัทลุง	43
พันธุ์สังข์หยด	82
เพปไทด์นิวคลีอิกแอซิด	115
โพลาริเซชันของแสง	174
ฟ้าทะลายโจร	292
ภูมิปัญญาท้องถิ่น	259
มะเร็งเต้านม	308
มาตรฐานนี้หักเห	124
เมล็ดปุ่น	82
เมล็ดโต	82
แมลงหวี่	58
แม่เหล็กแรงสูง	206
โมเดลความรู้	259
ยาสลบ	58
ใยอาหาร	73
รอยเลื่อน	167
ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ	241
ระบบหัวเผา	191
รังไหม	149
รามานสเปกโตรสโกปีแบบส่งผ่าน	132
ลักษณะคุณภาพเมล็ด	82
วัสดุนาโน	115
วิธีการฟื้นฟูดอบสนอง	140
วิธีไฟฟ้าเคมี	107
แว่นกันแดดโพลาไรซ์	174
ศิลปวัฒนธรรม	259
สถิติ	233
สภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง	284
สมาร์ทโฟน	124, 174, 183, 199
สับปะรด	35
สัมประสิทธิ์สมรรถนะ	158
สารต้านอนุมูลอิสระ	8, 73
สารประกอบฟลาโวนอยด์	8

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
สารประกอบพีนอลลิคทั้งหมด	8
สำหรับผมนาง	91
สำหรับพวงอุ้งน	91
สื่อการเรียนรู้	107
เส้นไหม	149
หญ้าทะเล	65
หมี่เบตง	17
หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	275
องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	299
องค์ประกอบของกลุ่มอาการเมตาบอลิก	284
อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	51
อนุภาคนาโนทองแดง	107
ออนโทโลยี	259
อะพอฟโทซิส	308
อัตราการคั่งน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย	158
เอสเทอร์ฟิเคชัน	140
แอนทราควิโนน	115
แอปพลิเคชัน	267
แอปพลิเคชัน Oscilloscope	183
แอปพลิเคชัน Phyphox	183
แอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite	174
แอมโมเนียรวม	91
ไอศกรีม	35
ไฮบริไดเซชัน	115

Keywords Index	Page
2-Level Factorial Experiment	26
Acne Gel	1
Acne-Causing Bacteria	1
Active Fault Area	167
ALIST	241
<i>Amphiprion ocellaris</i>	92
<i>Andrographis paniculata</i>	293
Anesthetic Agents	59
Anthraquinone	116
Antioxidant	8, 74
Apoptosis	309
Application	268
Arterial Stiffness	284
Automated Library System	241
Beach Sand	216
Betong Noodle	17
Biodiesel	100, 141
Biomass	191
Black Glutinous Rice	43
Blower	191
Breast Cancer	309
<i>Brevibacillus laterosporus</i>	1
Brix Value	124
Burner	191
Cassumunar Ginger Essential Oil	59
Catalyst	100
<i>Caulerpa lentillifera</i>	92
Chemical Analysis	132
Clove Essential Oil	59
Cocoon	149
Coefficient of Performance	159
Color Light Mixing	199
Computer Engineering Curriculum	276
Copper Nanoparticles	107
Crispy Crackers	74
Cultural Heritage	259
Curcumin	107
Cut-off Point	317
Dietary Fiber	74

Keywords Index	Page
Diethyl Ether	59
Drying	149
Earthquakes	167
Electrochemical Method	107
Electrodeposition	116
Endosperm Structure	83
Esterification	141
Expansion Index	74
Experimental Set	199
Fear of Falling	317
Fermentation	43
Flavonoid Compound	8
Folk Wisdom	259
Free Fatty Acid	141
Fruit Fly	59
Furnace	191
Gait Speed	317
Garage Information	268
Generator	191
<i>Gracilaria fisheri</i>	92
Grain Quality	83
Graphing Calculator TI Nspire	233
Ground-Based Measurement	224
Growth	51
<i>Halophila ovalis</i> (R.Br.) Hook. f.	66
Hazarded Waste Management	299
Heat Pump Dryer	159
Human Respiratory Epithelium	293
Hybridization	116
Ice Cream	36
Indigenous Vegetables	74
Instructional Activities on Statistics in High School	233
Khaomak	43
Knowledge Model	259
Learning Media	107
Learning with Understanding	249
Local Administrative Organization	299
Location-Based Service	268
Low Speed Synchronous Generator (LSSG)	206

Keywords Index	Page
Mathematical Concepts	249
Mathematical Problem Solving	249
Metabolic Syndrome Components	284
Metacognition	249
Microbial Biodiesel	26
Na ⁺ absorption	293
Nam Prilk Larb	8
Nanomaterial	116
Natural Radionuclide	216
Ni	100
Older Adult	317
Ontology	259
Opaque Endosperm	83
ORACLE	241
Oscilloscope Application	183
Partial Hydrogenation	100
Participation	299
Peptide Nucleic Acid	116
Percentage of Coverage	66
Permanent Magnet (PM)	206
Phatthalung	43
Phatthalung Province	224
Phenolic Compound	8
Phyphox Application	183
Physics Toolbox Sensor Suite Application	174
Pineapple	36
Polarization of Light, Malus' Law	174
Polarized Sunglasses	174
Polyvinyl Chloride (PVC) Tube	183
Product Development	17
<i>Pseudozyma parantarctica</i>	26
Pud Prik Sauce	17
Pulse Wave Velocity	284
Quality	43
Raman Spectroscope	132
Refractometer	124
Remote Sensing Data	224
Resonance of Sound	183

Keywords Index	Page
Response Surface Methodology	141
RGB Color Picker	199
Sang Yod Variety	83
Scheduling	276
Seagrass	66
Seagrass Transplants	66
Silk	149
Silk Worm	149
Smart Phone	199
Smartphone	124, 174
Smartphones	183
Soil Moisture Content	224
Soil Moisture Mapping	224
Solar Energy	149
SOLR	241
Sorbet	36
Specific Activity	216
Specific Moisture Extraction Rate	159
Statistics	233
Student Assistant Tool	276
Study Plan	276
Surface Plasmon Resonance	124
Sweet Chilli	51
Synchronous Generator (SG)	206
Synthesis	107
Total Ammonia Nitrogen	92
Translucent Endosperm	83
Transmission Raman Spectroscopy	132
Waste Coffee Grounds Oil	141
Waste Cooking Oil	100
Yeast Oil	26
<i>Zingiber officinale</i>	309
ZnO Nanoparticle	51

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reader)

ต้นฉบับบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 (ฉบับพิเศษ) สืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28 ประจำปี 2561 (เดือนพฤษภาคม – ตุลาคม 2561) ได้รับการตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. ศ.ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ | คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 2. ศ.ดร.คณัฏ นุชนเกียรติ | คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 3. ศ.ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง | คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 4. ศ.ดร.วราภรณ์ จรรยาประเสริฐ | คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 5. ศ.ดร.วีรพล กุศลวิชัยพันธุ์ | คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 6. ศ.ดร.สำเริง จักรใจ | คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 7. ศ.ดร.สิงหนาท พวงจันทร์แดง | คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 8. รศ.ดร.กนกพร สังขรักษ์ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| 9. รศ.ดร.กรรณก อิงคินันท์ | คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 10. รศ.ดร.กรณัฏก อาวุโส | คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 11. รศ.ดร.กัณห์วิทย์ ศรีพงษ์พันธุ์ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| 12. รศ.ดร.ไกรศักดิ์ เกษร | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 13. รศ.ดร.จรัณธร บุญญานุภาพ | คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 14. รศ.ดร.จรรยา จักรมณี | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 15. รศ.ดร.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิชัย | คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 16. รศ.ดร.ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 17. รศ.ดร.ไทรภพ ผ่องสุวรรณ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 18. รศ.ดร.ทัศนีย์ พิทักษ์สุวิทย์ | คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 19. รศ.ดร.ชนากร วงศ์วัฒนาเสถียร | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 20. รศ.ดร.นฤมล แสงประดับ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 21. รศ.ดร.นันทวัน เทอดไทย | คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 22. รศ.ดร.ประภาพร อุทราพันธุ์ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 23. รศ.ดร.ปรารณา สติชัยวิภา | คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 24. รศ.ดร.พัฒนา อนุรักษ์พงษ์ | คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |

25.	รศ.ดร.พิระพงษ์ อุฑารสกุล	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
26.	รศ.ดร.เพ็ญขวัญ ชมปรีดา	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
27.	รศ.ดร.เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
28.	รศ.ดร.ไพศาล มณีสว่าง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
29.	รศ.ดร.ภญ.สุชาดา ชุตินาวารพันธ์	คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
30.	รศ.ดร.มานพ เจริญไชยตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
31.	รศ.ดร.บุษนา ภิระวนิชย์กุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
32.	รศ.ดร.รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
33.	รศ.ดร.วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
34.	รศ.ดร.วุฒิพงษ์ คำวิสัยศักดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
35.	รศ.ดร.ศิริปัฐ บุญครอง	สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
36.	รศ.ดร.ศิริชัย เทพา	คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
37.	รศ.ดร.ศิริพรรณ ดันตาคม (เกษียณราชการ)	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
38.	รศ.ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์	วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล
39.	รศ.ดร.ศุภชัย ดิยวรรณันท์	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
40.	รศ.ดร.สมชาย กฤตพลวิวัฒน์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
41.	รศ.ดร.สมศักดิ์ มณีพงศ์	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
42.	รศ.ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
43.	รศ.ดร.สุดารัตน์ เจริญยั่งยืน	คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
44.	รศ.ดร.สุเมธา สุวรรณบุรณ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
45.	รศ.ดร.อภิรัตน์ เล่าห์บุตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
46.	รศ.ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
47.	รศ.ไพศาล นามผล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
48.	รศ.มนู เพ็ญพุ่ม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
49.	รศ.โรจน์ คุณเอนก	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
50.	ผศ.ดร.กษมา ศิริสมบุรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
51.	ผศ.ดร.กำแหง วัฒนเสน	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
52.	ผศ.ดร.จเร เลิศสุตวิชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
53.	ผศ.ดร.จันทน์ ชนะภพ	สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

54.	ผศ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
55.	ผศ.ดร.ภัทรสินี ภัทรโกศล	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
56.	ผศ.ดร.วรวรรณ พันพิพัฒน์	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
57.	ผศ.ดร.วราภา มหากาญจน์กุล	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
58.	ผศ.ดร.สถาพร ดิเรกบุษราคัม	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
59.	ผศ.ดร.สุนีย์ จันทร์สกา	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
60.	ผศ.ดร.สุปราณี มนุรักษ์จินากร	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
61.	ผศ.ดร.อรสา เตติวัฒน์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
62.	ผศ.ดร.อำนาจ เปาะทอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
63.	ผศ.ดร.एमОР สิริรักษ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
64.	ผศ.สุนันท์ศักดิ์ ระวีวงศ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
65.	ผศ.สุวิทย์ เพชรห้วยลึก	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

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. ต้นฉบับต้องพิมพ์บนกระดาษขาวขนาด 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 บุคคลที่ต้องการส่งบทความเพื่อขอรับการพิจารณาบทความ เมื่อบทความได้รับการพิจารณาแล้วจะต้องสมัครสมาชิกพร้อมชำระเงิน จำนวน 200 บาท **ผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง)** พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ทางระบบออนไลน์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> หรือติดต่อกองจัดการวารสารฯ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 074-609600 ต่อ 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-thaijo.org/index.php/tsujournal> และ **หากมีการส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความแล้วเจ้าของบทความต้องเป็นผู้รับผิดชอบคำตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ**

รายละเอียดการเตรียมต้นฉบับ

บทความวิจัยให้เรียงลำดับตามองค์ประกอบดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ต้องมีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษ อักษรตัวแรกของทุกคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 20 ตัวหนา
2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ครบทุกคน และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดอยู่กึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้กำกับหมายเลขกำกับไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อตำแหน่งหรือตำแหน่งวิชาการและหน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนของเชิงอรรถ (หน้าที่ 1) โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดระดับภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย หรือจากงานย่อยถึงระดับสูงให้ตรงกับตัวเลขกำกับที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกัน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
3. **บทคัดย่อ และ Abstract** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกิน 200 คำ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ
4. **คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้เลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความไม่เกิน 5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อ และ Abstract ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดชิดซ้ายของหน้ากระดาษ Keywords ให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ
5. **เนื้อเรื่อง (Main Body)** ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้
 - 1) บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและอาจะรวมการสำรวจเอกสาร (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**

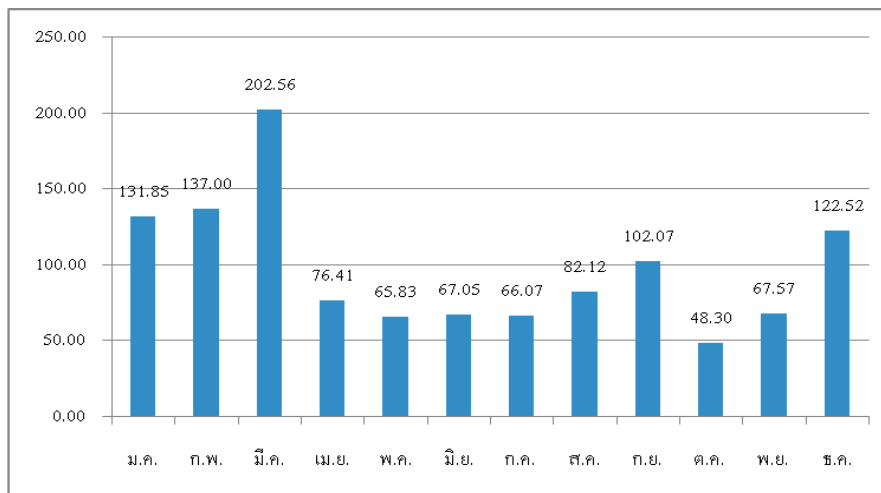
6. **แบบเอกสาร** แสดงการได้รับอนุญาตให้ทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ จรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลอง หรือจริยธรรมของการทดลองในมนุษย์มาพร้อมกับบทความวิจัย

7. **การใช้คำย่อ สัญลักษณ์** คำย่อที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำเต็มเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นสามารถใช้คำย่อเหล่านั้นได้ตามปกติ ควรใช้ให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการใช้คำย่อที่ชื่อเรื่องและในบทคัดย่อ ไม่แนะนำให้ใช้คำย่อที่ใช้ไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 บทความ สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบายเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบาย

8. **รูปภาพ** จัดกึ่งกลาง คำบรรยายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี คำบรรยายได้ภาพ ใช้คำว่า **ภาพที่** เป็นตัวหนา และคำบรรยายเป็นตัวอักษรปกติ และจัดกลางหน้ากระดาษ

ถ้ามีภาพประกอบ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี และถ้ามีภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาว โดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

ตัวอย่างเช่น
กิโลกรัม/ไร่



ภาพที่ 1 การร่วงหล่นของซากส่วนใบในแต่ละเดือน

9. ตาราง จัดชิดซ้ายของคอลัมน์ คำบรรยายตารางพิมพ์ไว้ด้านบนของหัวข้อตาราง และใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ถ้ามีตารางใช้คำบรรยายบนตารางคำว่า ตารางที่ เป็นตัวหนา และจัดชิดขอบซ้าย

ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในซากพืชส่วนใบที่เหลือจากการย่อยสลาย ในระยะต่าง ๆ

ลำดับที่	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

1. ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในเครื่องหมาย [] ท้ายข้อความหรือชื่อบุคคลที่อ้างอิง โดยให้ตัวเลขอยู่ในระดับบรรทัดเดียวกันกับเนื้อหา เช่น [1]

2. ให้ใส่ตัวเลขอ้างอิงเรียงลำดับตั้งแต่เลข 1 เป็นต้นไป ต่อเนื่องกัน และในกรณีที่มี การอ้างอิงซ้ำให้ใช้ตัวเลขเดิมที่เคยใช้อ้างมาก่อนแล้ว

3. แหล่งที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดในบทความจะไปปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิง (references) ทำบทความ โดยการเรียงลำดับตามหมายเลข และพิมพ์หมายเลขอยู่ในเครื่องหมาย []

4. กรณีที่อ้างอิงเอกสารหลายรายการในคราวเดียวกัน

4.1 อ้างอิงไม่เกิน 2 รายการให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น [1, 5]

4.2 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการที่ต่อเนื่องกันให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายยัติภังค์ (-) 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. การใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยเชิงเดี่ยวบางชนิดนานและมากเกินไปมีผลทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลน [1]...
2. Scherer [2] รายงานว่า...
3. และยังทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชในดินเสียไปด้วย [3-4]...

การอ้างอิงเอกสารอ้างอิง

ภาษาต่างประเทศ คนแรกให้ขึ้นด้วยนามสกุล, ตามด้วยอักษรย่อของชื่อนี้ ชื่อย่อกลาง (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

เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้รูปแบบเดียวกับบรรณานุกรมของสื่อสิ่งพิมพ์โดยทั่วไปก่อนที่จะนำมาใส่ในเว็บไซต์ต่าง ๆ เช่น เมื่อนำข้อมูลมาจากหนังสือ สามารถเขียนเอกสารอ้างอิงโดยประกอบด้วย ชื่อผู้แต่ง ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่อง และสถานที่พิมพ์ และเพิ่มข้อมูลที่อาจช่วยในการสืบค้น คือ วันที่สืบค้น และ URL โดยภาษาอังกฤษใช้ว่า Retrieved...from... หรือ นำนำข้อมูลมาจากบทความก็เขียนเอกสารอ้างอิงของบทความก่อน

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/DetailUserContert/mid/660/conternted/4252>.

8) รูปแบบการเขียนนุคลาณุกรม

ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ตำแหน่ง./ สถานที่สัมภาษณ์./วันเดือนปีที่สัมภาษณ์./สัมภาษณ์.

ตัวอย่าง

[9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.

9) สิทธิบัตร

ชื่อผู้จดสิทธิบัตร./ (ปีที่ได้รับการจดสิทธิบัตร)./ชื่อสิ่งประดิษฐ์. ประเทศที่จดสิทธิบัตร. หมายเลขของสิทธิบัตร.

ตัวอย่าง

[10] นินนาท์ จันทรสุริย์ และคณะ. (2558). ชุดสังเคราะห์ทองคำนาโนโดยใช้ทองคำเปลว. ประเทศไทย. เลขที่ 1303000492.



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

