

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ Thaksin University Journal

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1
Vol.17 No.1

มกราคม-มิถุนายน 2557
January-June 2014



บทความวิจัย (Research Articles)

1. สมบัติของมอร์ตาร์ผสมหินปูนแกรนิตดัดแปร
Properties of Mortar Blended Modified Granite Fine
พวงแก้ว บัวทอง Pongkaew Bouthong, รวีกานต์ อมฤตเบญจฤทัย Rawikan Amritbenjaruethai,
ดนุพล ตันนโยภาส Danupon Tonnayopas 5
2. ศักยภาพแหล่งลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของจังหวัดนครศรีธรรมราช
Wind Resource Potential at Pak Panang and Chian Yai Districts of Nakhon Si Thammarat Province
สมพล ชิวมงคลกานต์ Somphol Chiwamongkhonkam, จอมภพ แวด้กดี Jompob Waewsak,
ธนศ ไชยชนะ Tanate Chaichana..... 13
3. การใช้เคลย์ซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสมือนเฟ้นต้นชนิดวิวิธพันธุ์สำหรับการกำจัดสีน้ำทิ้ง
จากการย้อมผ้า
Using Iron-Containing Clay as Fenton-Like Catalyst for Textile Dyeing Wastewater Decolorization
อาทิตย์ อัสวสุชี Artit Ausavasukhi, สิรินาถ โมพันดุง Sirinat Mopundung..... 21
4. การลดลงของระดับคอเลสเตอรอลที่ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Man Rogosa Sharpe ในหลอดทดลอง
โดยแบคทีเรียกรดแลคติก
An In-Vitro Study of Cholesterol Reduction in Man Rogosa Sharpe Broth by Lactic Acid Bacteria
จิรศักดิ์ ญาติริักษ์ Jeerasak Yatrak, วิชญาพร ยืนยง Wichayaporn Yuenyang, วีรยา เพ็งช่วย
Weeraya Pengchuay, มณฑล เลิศคณาวนิชกุล Monthon Lertcanawanichakul..... 30
5. ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา
Forecasting Model of the Rainfall in Songkhla Province
วรารณา กิรติวิบูลย์ Warangkha Keerativibool..... 40
6. การจัดการห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางของประเทศไทย
Supply Chain Management of Cassava in Central Area of Northeast Thailand
ปัญญา สังวาลคำ Panya Sangwankam, ระพีพันธ์ ปิตาคะโส Rapeepan Pitakaso..... 49
7. ผลของเวลาและอุณหภูมิในการนึ่งฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของผงขมิ้นชัน
Effects of Steam Sterilization Time and Temperature on Quality of Turmeric Powder
ทวิภรณ์ ศิริช Thaweepon Keereekoch, ธวัชชัย ศรีสุวรรณ Thawatchai Srisuwan, รอกีเยาะ ตาเล
Rokeeyoh Taleh, โรสนานี เหมตระกูลวงศ์ Rosenanee Hemtrakoonwong, สาปินะ เจ๊ะสะอี่
Sapeenah Chesa-E, สนั่น ศุภธีรสกุล Sanan Subhadhirasakul..... 57

บทความวิชาการ (Articles)

8. การเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ
Choosing Statistics in Data Analysis for Health Science Research
บุญญพัฒน์ ไชยเมธ Bhunyabhadh Chaimay..... 68
9. การลดคอเลสเตอรอลด้วยพืชสกุลส้ม
Cholesterol Lowering by Citrus
สมฤทัย จิตภักดีบดินทร์ Somrutai Jitpukdeebodintr..... 77

รูปแบบวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ชื่อวารสาร	วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal)	
เจ้าของ	มหาวิทยาลัยทักษิณ	
ที่ปรึกษา	อธิการบดี (รศ.ดร.วิชัย ชำนิ)	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
บรรณาธิการบริหาร	รองอธิการบดีฝ่ายพัฒนาการศึกษาและวิจัย	(รศ.เกษม อัครวรัตน์กุล) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
บรรณาธิการ	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา (ผศ.ดร.พรพันธุ์ เขมคุณาศัย)	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองบรรณาธิการ	รศ.ดร.นิคม ชูศิริ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ศ.ดร.เจริญ จันทลักขณา	(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
	ศ.ดร.วิสุทธิ์ ไบไม่	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน	(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
	ศ.ดร.วัชรินทร์ รุกขไชยศิริกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุทธวัฒน์ เบญจกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์	(เลขที่ 422 ถ.เทศบาลรังรักษ์เหนือ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร)
	ศ.ดร.สุรินทร์ เศรษฐมานิต	(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
	รศ.ดร.ครรชิต มาลัยวงศ์	(สภาวิจัยแห่งชาติ)
	รศ.ดร.หิรัญญา เพชรมั่ง	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.นุกูล อินทระสังขา	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.กรวิภา ก้องกุล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.บุญญพัฒน์ ไชยเมล์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	อ.ดร.ศิริรัตน์ สีนประจักษ์ผล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองจัดการ	นางสาวอรกมล ไกรวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวพิมพ์ผดุง มณีวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวสุมาลี แก้วทอง	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวขวัญใจ นิมดวง	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
วัตถุประสงค์	1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความของบุคลากรมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่างๆ 2. เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 3. เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	
กำหนดการออก	ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)	
จำนวนพิมพ์	300 ฉบับ	
รูปแบบเล่ม	ขนาด 7.00 X 10.00 นิ้ว ปกอาร์ตการ์ด 210 แกรม พิมพ์ 4 สี เคลือบ UV เนื้อในใช้กระดาษอาร์ตด้าน	
การเผยแพร่	จัดจำหน่ายและสมัครสมาชิก	
การบอกรับเป็นสมาชิก	มอบเป็นอภินันทนาการแก่ห้องสมุดของหน่วยงานรัฐและเอกชน สถาบันการศึกษา ค่าสมาชิก ปีละ 200 บาท แঙ্গ่ชื่อที่อยู่พร้อมธนบัตรหรือเช็คไปรษณีย์ส่งจ่าย บรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ทำการไปรษณีย์ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93110	
การติดต่อ	กองจัดการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93110 โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7251-3 โทรสาร 0-7467-3227 E-mail Address: research.tsu@gmail.com	
โรงพิมพ์	ร้านดาวฟิล์มวิดีโอกราฟฟิค อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	

บรรณาธิการแถลง

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณฉบับนี้เป็นฉบับที่ 1 (ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน) ของปีที่ 17 มีเนื้อหาสาระที่นำเสนอประกอบด้วยบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 7 เรื่อง และบทความวิชาการ จำนวน 2 เรื่อง คณะทำงานประจำกองบรรณาธิการขอขอบคุณเจ้าของบทความทุกท่านที่ได้กรุณาส่งบทความวิจัยมาลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูงที่เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการกลั่นกรองพิจารณาแก้ไขงานเขียนดังกล่าวเพื่อนำเสนออ่าน

สำหรับผู้สนใจที่จะเผยแพร่ผลงานทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผ่านวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณไม่ว่าจะเป็นบุคคลภายในและบุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยทักษิณ สามารถส่งบทความของท่านมายังกองบรรณาธิการ ทางกองบรรณาธิการยินดีจะเผยแพร่ผลงานของท่านเมื่อผ่านการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ ขอขอบคุณผู้อ่านทุกท่านที่ติดตามความเคลื่อนไหวทางวิชาการผ่านวารสารฉบับนี้ หากมีข้อคิดเห็น โปรดเสนอแนะ และชี้ข้อบกพร่องต่างๆ ของวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณทางกองบรรณาธิการขอน้อมรับไปปรับปรุงในการพิมพ์ครั้งต่อไป และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.นิคม ชูศิริ
บรรณาธิการประจำฉบับ

สมบัติของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตดัดแปร Properties of Mortar Blended Modified Granite Fine

พวงแก้ว บัวทอง¹ รวิกาณต์ อมฤตเบญจฤทัย¹ และ ดนุพล ตันนโยภาส^{2*}
Poungkaew Bouthong¹ Rawikan Amritbenjaruethai¹ and Danupon Tonnayopas^{2*}

บทคัดย่อ

ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่ดัดแปร โดยบดหินฝุ่นแกรนิตและคัดขนาดละเอียดกว่า 45 ไมครอน และเผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1,050 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในมอร์ตาร์ด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 0 5 10 และ 15 ไม่บ่มและบ่มด้วยความชื้นที่ 7 และ 28 วัน เพสตร์ตรวจสอบการก่อตัว อุณหภูมิไฮเดรชัน และความถ่วงจำเพาะ ส่วนตัวอย่างมอร์ตาร์ได้ประเมินค่าความหนาแน่นรวม ความแข็งแบบชอร์ กำลังอัด และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส 10% บ่ม 28 วัน มีกำลังอัดสูงสุดประมาณ 61 เมกะพาสคัล และยังพบว่าหินฝุ่นแกรนิตเผานั้นเป็นวัสดุสารสีเซรามิกและเป็นวัสดุผสมเพิ่มอย่างมีประสิทธิภาพของมอร์ตาร์ได้

คำสำคัญ : หินฝุ่นแกรนิตดัดแปร มอร์ตาร์ แร่ผสมเพิ่ม กำลังอัด วัสดุสารสีเซรามิก

Abstract

The physical and mechanical properties of mortar blended modified granite fine (MGF) was investigated. The granite fine (GF) was ground and sieved particle size less than 45 micron then modified GF heated at temperature of 900°C and 1,050°C for 2 hours. Portland cement, Type 1 of mortar was partially replaced in the proportion of 0%, 5%, 10% and 15%wt. uncured and cured in water for 7 and 28 days. The MGF pastes had been examined on setting time, specific gravity and hydraulic temperature. The mortar specimens were determined on bulk density, Shore hardness and compressive strength and X-ray diffraction and scanning electron microscope. Experimental results revealed mortars blended 10% MGF at 1,050°C curing for 28 days given the highest compressive strength of 61 MPa. MGF was indicated to be an effective ceramic pigment and mineral admixture for mortars.

Keywords: Modified Granite Fine, Mortars, Mineral Admixture, Compressive Strength, Ceramic Pigment

¹ บัณฑิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ 90112

² รศ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ 90112

* Corresponding author: โทรศัพท์/โทรสาร 074 558 834 ต่อ 7318 อีเมลล์ danupon.t@psu.ac.th

บทนำ

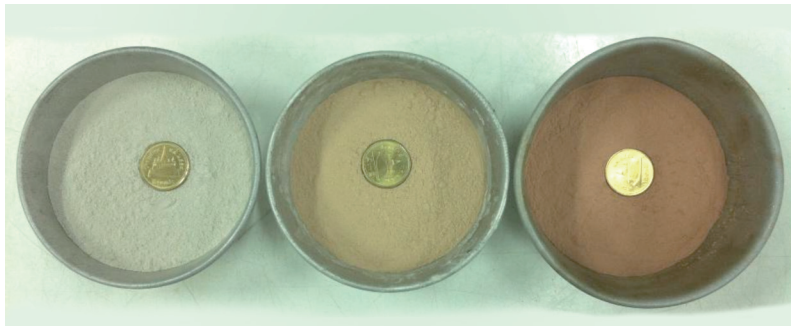
อุตสาหกรรมเหมืองแร่และโรงโม่หินอยู่คู่กับประเทศไทยเป็นเวลานาน เพื่อผลิตวัตถุดิบในงานก่อสร้างอาคารและวัสดุอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ จึงมีอุปสงค์หินและแร่ชนิดต่างๆ สูง และของเสียที่เหลือจากการนำไปผลิตเป็นวัตถุดิบต่างๆ ก็มากขึ้นเรื่อยๆ เช่น หินฝุ่นจากโรงโม่หินเป็น ในปัจจุบันงานก่อสร้างอาคารทั่วไป ส่วนใหญ่มักนิยมก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แสดงให้เห็นว่าความนิยมในการเลือกใช้วัสดุคอนกรีต (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่ม) และเหล็กเส้น เป็นวัสดุที่มีปริมาณการใช้มาก ดังนั้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งเป็นส่วนผสมหลัก จึงมีความต้องการสูง แต่เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นได้ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซที่มีผลต่อการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ดังนั้นจึงมีความคิดในการลดใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลง โดยใช้วัสดุอื่นทดแทน ได้แก่ หินฝุ่นแกรนิตที่เหลือจากกระบวนการโม่หิน ดุนพลและอภิชาติ [1] ได้นำหินฝุ่นแกรนิตผสมในคอนกรีตมวลรวมทะเลปาล์มน้ำมันพบว่าให้กำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ Mármol et al. [2] ศึกษาตะกอนหินแกรนิตหามอร์ตาร์ปูนให้สี (coloured cement-based mortars) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2 , Al_2O_3 , CaO และ Fe_2O_3 พบว่าการแทนที่ CaCO_3 ด้วยตะกอนทิ้งจากแกรนิต (granite sludge) นั้นได้เพิ่มกำลังอัดจาก 5.2 เป็น 6.25 เมกะพาสคัล และตะกอนดังกล่าว สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 10 ยังคงมีสมบัติโดยรวมไปถึงตะกอนทิ้งจากแกรนิต ได้เปลี่ยนเป็นสารสี ซึ่งมีสีแดงจากการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700-800°C ในเวลาอันสั้น

การพัฒนาคอนกรีตสีอัดตัวแน่นอนเองได้เปิดโอกาสการประยุกต์งานใหม่ เพิ่มสิ่งท้าทายการออกแบบสถาปัตยกรรมทั้งในรูปทรงและสี คุณลักษณะความงามศิลปะแปรผันตามคอนกรีตสีแบบเดิม คุณประโยชน์ของการทดสอบใช้ซีเมนต์เพสต์หรือมอร์ตาร์เป็นขั้นตอนสู่การออกแบบคอนกรีตอัดตัวแน่นอนเอง ทำให้รู้ถึงสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการผลิตมอร์ตาร์ [3] วิธีการออกแบบสำหรับคอนกรีตอัดตัวแน่นอนเอง นอกจากนี้ยังรวดเร็วและง่ายต่อการหาสัดส่วนผสมที่ประกอบด้วยเม็ดสีชนิดต่างๆ ปูนซีเมนต์ แร่ผสมเพิ่ม และสารเติมทางเคมี [4] พบว่าใช้ถ้ำตะกอนน้ำทิ้งผสมในมอร์ตาร์ที่เผาอุณหภูมิต่างกัน พบว่าเปลี่ยนสีผิวมอร์ตาร์เดิมถ้ำเป็นสีแดง เขียวและน้ำเงิน [5] ดังนั้นการศึกษารุ่นนี้มุ่งเปลี่ยนสีของวัสดุคอนกรีตหรืออิฐบล็อก อันช่วยเพิ่มมูลค่าและเป็นการลดของเสียและพื้นที่ในการฝังกลบ ผลที่ได้นอกจากจะเป็นการพัฒนาด้านเทคโนโลยีวัสดุก่อสร้างแล้ว ยังลดการใช้และสามารถใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีการ วัสดุและอุปกรณ์

ลักษณะและการเตรียมวัตถุดิบ

วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย หินฝุ่นแกรนิตที่นำมาจากเหมืองแกรนิต บ้านทุ่งหวัง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา มาบดด้วยเครื่องบดปากกรวย (cone crusher) และเครื่องบดแบบลูกบอลลกระแทก (jar mill) และคัดขนาดเล็กลงกว่า 45 ไมครอน ตาม ASTM C128 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อีกสองส่วนนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 และ 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ภาพที่ 1) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 1 พบว่าไม่แตกต่างกันในระดับนัยสำคัญ มีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) รวร้อยละ 64-65 รองลงมาคือ อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 14-15 และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 4-5 ล้วนเป็นสารประกอบสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน [6] และไม่ต่างจากหินฝุ่นของดุนพลและอภิชาติใช้ [1] แต่สิ่งต่างออกไปคือสีของหินฝุ่นจากสีเทาไปเหลืองและน้ำตาลแดงตามอุณหภูมิเผา ซึ่งน่าจะเกิดเปลี่ยนแปลงแรงยึดเกาะกันของกลุ่มอนุภาคของหินฝุ่นแกรนิตต่อจลน์ของสี (color kinetics) [7]



ภาพที่ 1 สีหินฝุ่นแกรนิตบดละเอียด ก) ไม่เผา ข) เผาที่ 900°C และ ค) เผาที่ 1,050°C

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นแกรนิตด้วยวิธี XRF

ปริมาณ หินฝุ่นแกรนิต	องค์ประกอบทางเคมี (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MgO	LOI
ไม่เผา	64.62	15.02	4.65	8.52	3.38	2.03	0.48	0.50	0.43	0.80
อุณหภูมิ 900°C	64.32	14.93	4.86	8.62	3.22	2.04	0.60	0.58	0.45	0.38
อุณหภูมิ 1,050°C	65.19	14.92	4.85	7.60	3.45	2.19	0.51	0.52	0.38	0.39

การออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์

หล่อตัวอย่างในเบ้าโลหะทรงลูกบาศก์ขนาด 50×50×50 มม. ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคือ 0.4 คงที่ตลอดการทดสอบ หินฝุ่นแกรนิตแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หล่อมอร์ตาร์แต่ละอัตราส่วนจำนวน 3 ก้อน รวมทั้งหมด 12 ก้อนต่ออายุบ่มเดี่ยวและสูตรเดี่ยว กำหนดไว้ 3 ช่วง เป็นระยะเวลา 7 และ 28 วันและไม่บ่ม ที่อุณหภูมิห้อง (25±5 องศาเซลเซียส) รวมตัวอย่างทั้งหมด 108 ก้อน

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ศึกษา

ชนิดวัสดุ	อัตราส่วนผสม			
	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)			
	0	5	10	15
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	250	237.5	225	212.5
หินฝุ่นแกรนิตทั้งปกติและดัดแปร	0	12.5	25.0	37.5
ทราย	600	600	600	600
น้ำ	100	100	100	100

วิธีการทดสอบมอร์ตาร์

เวลาการก่อตัวของเพสต์ด้วยเข็มไวแคตตามวิธี ASTM C191-01 หลังครบกำหนดบ่มนำมาแช่ให้ผิวแห้งและชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของก้อนตัวอย่างเพื่อคำนวณความหนาแน่นรวม วัดความแข็งแบบชอร์ด้วยเครื่อง Hardness Tester รุ่น EQUO TIP ทดสอบกำลังอัดตาม ASTM C192 ด้วยเครื่อง K.THAITHAMRONG ENGINEERING, PART. รุ่น KC-150D ซึ่งสามารถใช้กำลังอัดสูงสุดที่ 1,500 kN และเพิ่มอัตราการกดได้สม่ำเสมอในช่วง 85.8 –208.2 กก./ตร.ซม./นาที่ ซึ่งอัตราที่เหมาะสมอยู่ราว 140 กก./ตร.ซม./นาที่ ตัวอย่างมอร์ตาร์ทดลองแสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งสังเกตเห็นว่ามีสีผิวทั้งสีเทา เหลืองและแดงอ่อน อันได้รับอิทธิพลมาจากชนิดและปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตที่ผสมลงไป (ภาพที่ 1)

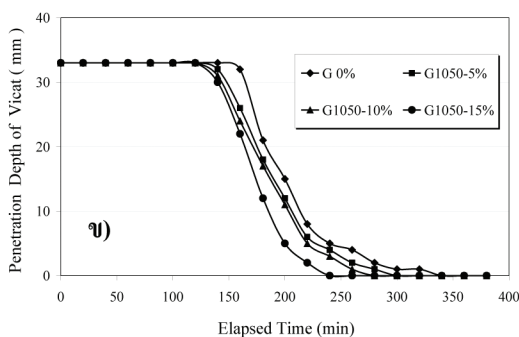
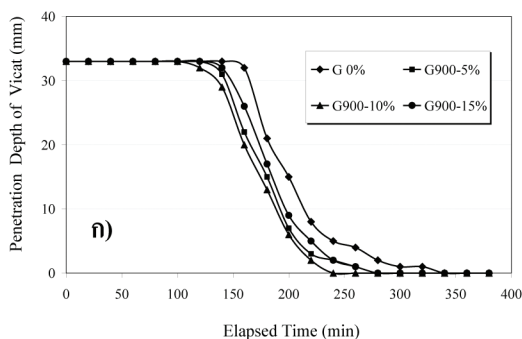


ภาพที่ 2 ตัวอย่างมอร์ตาร์ ก) ไม่บ่ม ข) บ่ม 7 วัน และ ค) บ่ม 28 วัน

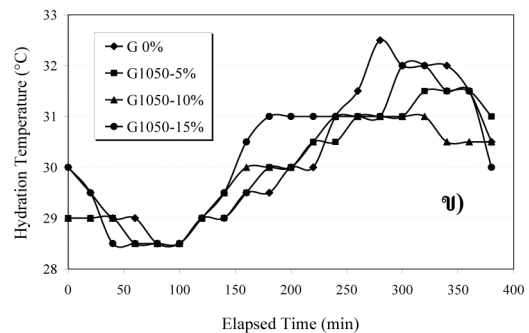
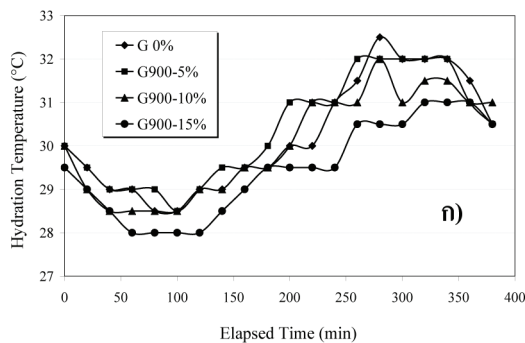
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เวลาก่อตัวของเพสต์

เพสต์ที่ก่อตัวช้าที่สุดคือ เพสต์ที่ไม่ผสมหินฝุ่นแกรนิต เวลาก่อตัวเริ่มต้นที่ 160 นาที่ เวลาในการก่อตัวครั้งสุดท้าย 340 นาที่ และในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่าเพสต์ที่ก่อตัวเร็วที่สุดคือ เพสต์ผสมหินฝุ่นแกรนิตร้อยละ 10 เริ่มก่อตัวที่เวลา 120 นาที่ ก่อตัวเสร็จที่เวลา 240 นาที่ (ภาพที่ 3 ก) ในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C น้ำปูนชั้นที่มีการก่อตัวเร็วที่สุดคือ ผสมหินฝุ่นแกรนิตปริมาณร้อยละ 15 เริ่มก่อตัวที่เวลา 140 นาที่ ก่อตัวเสร็จที่เวลา 240 นาที่ (ภาพที่ 3 ข) เมื่อพิจารณาช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการก่อตัว พบว่าการผสมหินฝุ่นแกรนิตช่วยให้ระยะเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น



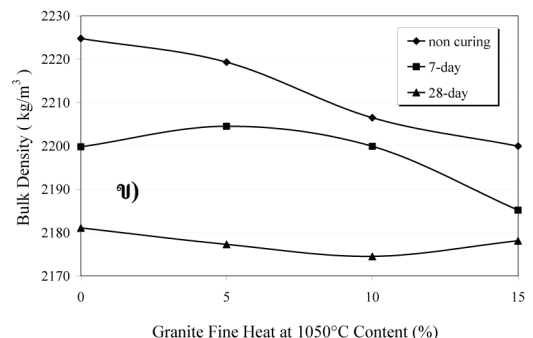
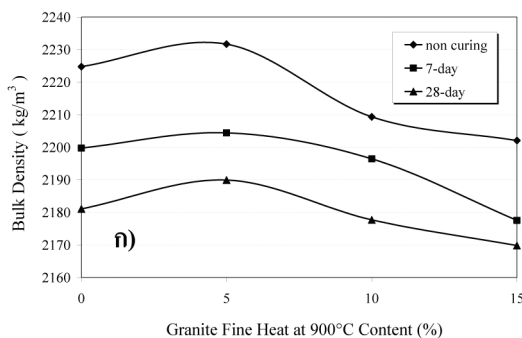
ภาพที่ 3 พฤติกรรมก่อตัวของเพสต์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C



ภาพที่ 4 พฤติกรรมอุณหภูมิไฮเดรชันช่วงก่อตัวของเพสต์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

ความหนาแน่นรวมของมอร์ตาร์

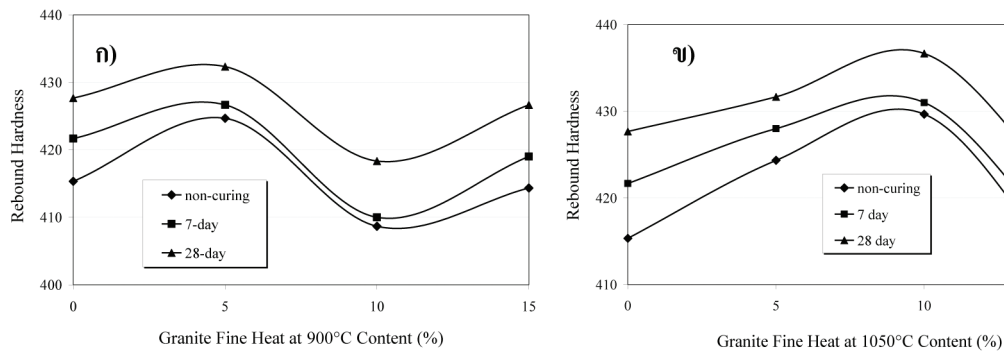
ความหนาแน่นรวมของก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ ในกรณีผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความหนาแน่นรวมของมอร์ตาร์เต็มหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 5 สูงสุดประมาณ 2,230 กก./ลบ.ม. (ภาพที่ 5 ก) ส่วนมอร์ตาร์ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C พบว่าค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตดัดแปรเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ค่าความหนาแน่นรวมสูงสุดคือ ที่เต็มหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 5 ประมาณ 2,220 กก./ลบ.ม. (ภาพที่ 5 ข) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมระหว่างไม่บ่ม บ่ม 7 และ 28 วัน พบว่าค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีอายุบ่มเพิ่มขึ้น นั้นน่าจะความเป็นนัยว่าคอนกรีตมีความพรุนมากขึ้น



ภาพที่ 5 ความหนาแน่นรวมของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

ความแข็งแรงแบบซอร์

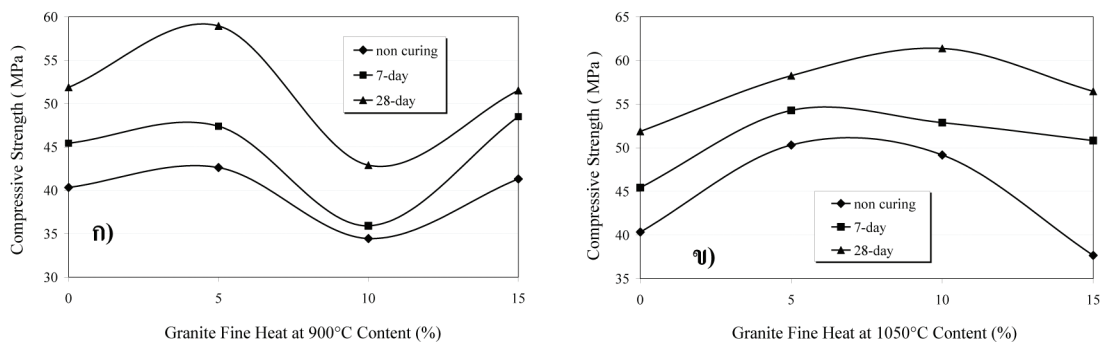
ความแข็งแรงแบบซอร์ของมอร์ตาร์ที่อายุบ่มเพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในกรณีผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ปริมาณร้อยละ 5 พบว่าค่าความแข็งแรงแบบซอร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.09-2.25 แต่เมื่อผสมมากขึ้นค่าความแข็งแรงแบบซอร์มีแนวโน้มลดลงร้อยละ 0.23-2.77 ค่าความแข็งแรงแบบซอร์สูงสุดเท่ากับ 432.33 ของสูตรผสมร้อยละ 5 บ่ม 28 วัน และค่าต่ำสุดเท่ากับ 408.67 ที่ผสมร้อยละ 10 ไม่บ่ม (ภาพที่ 6 ก) ในกรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C พบว่าเมื่อผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณร้อยละ 10 ค่าความแข็งแรงแบบซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.93-3.34 แต่เมื่อเกินร้อยละ 10 ค่าความแข็งแรงแบบซอร์ลดลงร้อยละ 1.21-1.98 โดยที่ค่าความแข็งแรงแบบซอร์ของมอร์ตาร์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 436.67 ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 10 บ่ม 28 วัน และค่าต่ำสุดเท่ากับ 410.33 ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 15 ไม่บ่ม (ภาพที่ 6 ข)



ภาพที่ 6 ความแข็งแบบชอร์ของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

กำลังอัด

พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม กรณีที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C เมื่อผสมในปริมาณร้อยละ 5 พบว่าค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.12-12.01 แต่เมื่อผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่าค่ากำลังอัดได้ลดลงร้อยละ 0.67-20.96 โดยค่ากำลังอัดสูงสุด 58.95 เมกะพาสคัล ของมอร์ตาร์ที่ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาร้อยละ 5 บ่ม 28 วัน และค่ากำลังอัดต่ำสุด 34.45 เมกะพาสคัล ของมอร์ตาร์ผสมร้อยละ 10 ไม่บ่ม (ภาพที่ 7 ก) ในกรณีหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C พบว่าผสมร้อยละ 10 ค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.59-19.82 แต่ผสมเกินร้อยละ 10 ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มที่ลดลงร้อยละ 1.42-6.62 ซึ่งค่ากำลังอัดสูงสุดคือ 61.38 เมกะพาสคัล ที่ผสมร้อยละ 10 อายุบ่ม 28 วัน และค่ากำลังอัดต่ำสุดเท่ากับ 37.66 เมกะพาสคัล ที่ผสมปริมาณร้อยละ 15 ไม่บ่ม (ภาพที่ 7 ข) พบว่าความแข็งแบบชอร์สอดคล้องกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมหินฝุ่นเผาทั้งสองอุณหภูมิได้ดี จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตแบบไม่ทำลายตัวอย่าง เทียบกับผลการศึกษาของ Mármol et al. [1] ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ครั้งนี้สูงกว่า 40 เมกะพาสคัล และมอร์ตาร์ทุกสูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาและทุกอายุบ่มมีค่าดัชนีกำลังเกินร้อยละ 75 สาเหตุเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์กับอนุภาคซิลิกาถูกกระตุ้นด้วยความร้อน จึงพัฒนากำลังต่อเนื่องมา



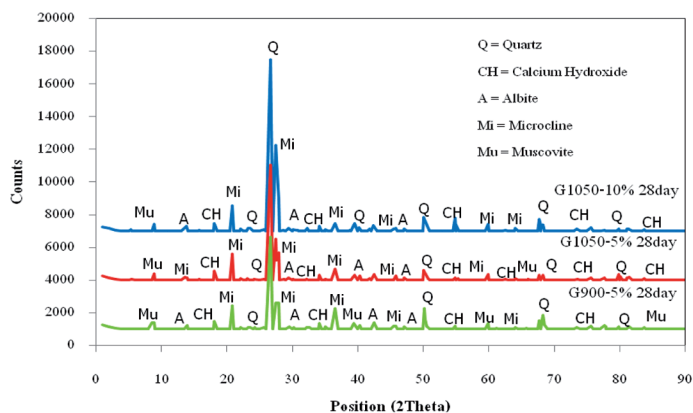
ภาพที่ 7 กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่ ก) 900°C และ ข) 1,050°C

การเกิดวัฏภาคของแร่ในมอร์ตาร์

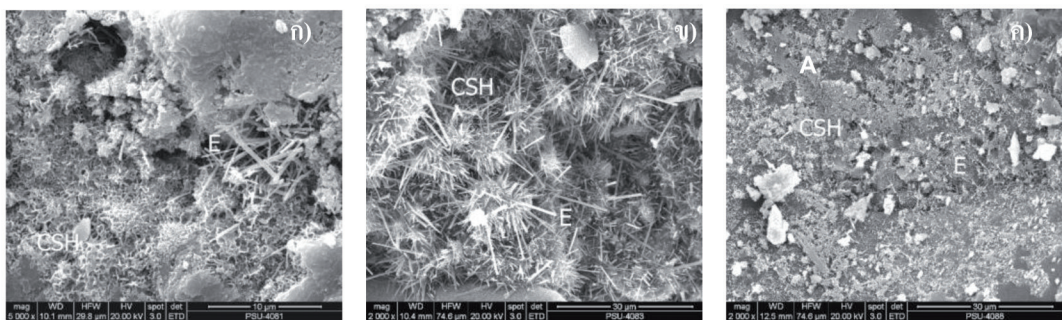
ผลวิเคราะห์ XRD ของก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ที่มีค่ากำลังอัดสูงสุด 3 สูตรคือ สูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ปริมาณร้อยละ 5 สูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C ปริมาณ 5% และสูตรผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C ปริมาณร้อยละ 10 ผลการคำนวณหาปริมาณแร่แต่ละชนิดด้วยวิธีการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ พบว่าจากการวิเคราะห์ไม่พบเอตตริงไกต์ (Ettringite) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) สันนิษฐานว่าเนื่องจากตัวอย่างที่ตรวจอาจมีปริมาณของแร่ดังกล่าวอยู่น้อยในชิ้นส่วนที่สุ่มไปตรวจ

โครงสร้างจุลภาคของมอร์ตาร์

จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค (SEM) ของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ปริมาณร้อยละ 5 และที่อุณหภูมิ 1,050°C ปริมาณร้อยละ 5 และ 10 บ่มที่ 28 วัน ที่มีค่ากำลังอัดสูงสุด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยายต่างกัน จะเห็นได้ว่าโครงสร้างภายในมีการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (ภาพที่ 9) พบลักษณะผลึกแร่รูปคล้ายแท่งเข็มยาวของเอตตริงไกต์ (E) และผลึกแบบกระจุกเข็มแหลมล้อมรอบคล้ายหอยเม่น เรียกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) หลักฐานในภาพถ่ายครั้งนี้ จึงยืนยันว่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานขึ้นในเนื้อของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่ดัดแปร



ภาพที่ 8 ลายพิมพ์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่เผา ก) 900°C และ ข) 1,050°C



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่บ่ม 28 วัน
เผา ก) 900°C ปริมาณร้อยละ 5 ข) 1050°C ปริมาณร้อยละ 5 และ ค) 1050°C ปริมาณร้อยละ 10

สรุปผลการทดลอง

หินฝุ่นแกรนิตที่บดละเอียด 45 ไมครอน และเผาที่ 950°C และ 1,050°C พบว่าองค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปไม่ระดับนัยสำคัญ แต่สมบัติทางกายภาพได้เปลี่ยนแปลงไปคือ สีผงจากเทาขาวไปเป็นเหลืองและแดงตามลำดับ นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยหินฝุ่นแกรนิตบางส่วน ในการทดสอบเพสต์พบว่าช่วยให้ระยะก่อตัวของเพสต์เร็วขึ้นและส่งผลให้ผิวมอร์ตาร์มีสีตามไปด้วย ดังนั้นหินฝุ่นแกรนิตที่เผาจึงมีศักยภาพเป็นวัสดุสารสี (pigment materials) หินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 900°C ผสม 5% 1,050°C ผสม 5% และ 1,050°C ผสม 10% บ่ม 28 วัน มีกำลังอัดเทียบเท่าได้กับคอนกรีตกำลังสูง [8] ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยอายุบ่ม ปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตและอุณหภูมิที่เผา นอกจากนี้ค่ากำลังอัดที่บ่ม 7 วัน สามารถพัฒนาทำเป็นคอนกรีตปูถนนได้หรืออิฐคอนกรีตปูทางเท้าได้ เพราะมีคุณลักษณะเทียบได้กับอิฐคอนกรีตของ มอก. 59-2516 [9] ที่กำหนดกำลังอัดไม่น้อยกว่า 210 กก./ตร.ซม. หรือประมาณ 21 เมกะพาสคัล

เอกสารอ้างอิง

- [1] دنفل دننโยگاس وکککک (2550). คอนกรีตมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12 รร.อัมรินทร์ ลาภูน จ.พิษณุโลก 2-4 พฤษภาคม 2550 หน้า 175-180.
- [2] Marmol, I., Ballester, P., Cerro, S., Monrós, G., Morales, J. and Sánchez, L. (2010). Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. **Cement and Concrete Composites**, 32(8): 617-622.
- [3] Corinaldesi, V., Monosi, S. and Ruello, M.L. (2012). Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC. **Construction and Building Materials**, 30, 289-293.
- [4] López, A., Tobes, J.M., Giaccio, G. and Zerbino, R. (2009). Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete. **Cement and Concrete Composites**, 31(10): 754-761.
- [5] Luo, H.L. and Lin, D.F. (2007). Study the surface color of sewage sludge mortar at high temperature. **Construction and Building Materials**, 21(1): 90-97.
- [6] ASTM C618 - Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete
- [7] Jézéquel, P.-H. and Collin, V. (2007). Mixing of concrete or mortars: Dispersive aspects. **Cement and Concrete Research**, 37(9): 1321-1333.
- [8] ASTM C109/C109M (2012). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)
- [9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) อิฐคอนกรีต. มอก. 59 (2516). 14 หน้า

ศักยภาพพลังงานลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช Wind Resource Potential at Pak Panang and Chian Yai Districts of Nakhon Si Thammarat Province

สมพล ชีวมงคลกานต์^{1*} จอมภพ แววงศ์ดี² และ ธเนศ ไชยชนะ³
Somphol Chiwamongkhonkarn^{1*}, Jompob Waewsak² and Tanate Chaichana³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของ จังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและข้อมูลอินพุตจากการวัดแบบทิวด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ WindSim 5.0.1 รวมไปถึงได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาคจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงและการคำนวณด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ ของไหลเชิงคำนวณ โดยทำการตรวจวัดอัตราเร็วลมและทิศทางลมทุกๆ 10 นาทีที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 ผลการศึกษาพบว่าอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร มีค่าเท่ากับ 3.94 เมตรต่อวินาที 4.12 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ณ สถานีวัดลมปากพนัง และมีค่าเท่ากับ 3.84 เมตรต่อวินาที 4.06 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ณ สถานีวัดลมเชียรใหญ่ การวิเคราะห์ความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาคพบว่าค่าร้อยละความแตกต่างของทั้ง 2 สถานีมีค่าไม่เกินร้อยละ 5

คำสำคัญ : ศักยภาพ พลังงานลม พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ระดับจุลภาค

Abstract

This research presents an analysis of wind energy potential at Pakpanang and Chianyai districts in Nakhon Si Thammarat province using computational fluid dynamics modeling and bi-measured input data in WindSim 5.0.1. computer program. Microscale wind resource maps were verified by the comparison of the observed wind speed and the predicted wind speed in order to analyse an error. Wind speed and direction at 60 m, 70 m, and 80 m were measured every 10 min between January to December 2010. Results showed that wind speed at 60 m, 70 m and 80 m was 3.94 m/s, 4.12 m/s and 4.23 m/s at Pakpanang district and was 3.84 m/s, 4.06 m/s and 4.23 m/s at Chianyai district. Microscale wind resource map verification found that an percentage of discrepancy was less than 5%

Keywords: Potential, Wind Energy, Computational Fluid Dynamics, Microscale

¹ นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

³ อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

* Corresponding author: ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม โทรศัพท์/โทรสาร 0-7469-3975 อีเมล dung_ding19@hotmail.com

บทนำ

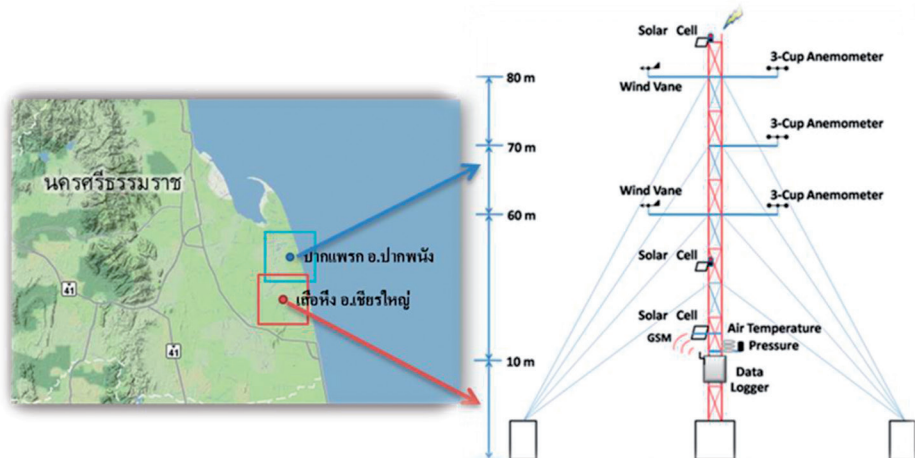
ประเทศไทยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการขยายตัวของเมืองหลักๆ และอุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี จึงจำเป็นต้องมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ในรูปแบบการผลิตที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ แหล่งพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเริ่มจากการใช้น้ำมันและถ่านหินเป็นหลัก ต่อมาก็ปรับเปลี่ยนเป็นก๊าซธรรมชาติ รวมถึงพลังงานจากน้ำที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระหว่างดำเนินการผลิตน้อยลง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้ทันและตอบสนองต่อความต้องการพลังงานในขณะนั้น ซึ่งในปัจจุบันมีเสียงเรียกร้องจากภาคประชาชนต่อผู้ผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานที่สะอาด เพื่อลดมลภาวะในด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านคุณภาพอากาศ การอนุรักษ์พลังงานมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงพลังงาน การลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน การลดต้นทุนการผลิตและบริการ การลดการเสียดุลการค้าและการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนการลดการปลดปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม (Wind Power) ถือเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานที่สะอาด (Clean Energy) และเป็นพลังงานทดแทน (Renewable Energy) ที่มีความยั่งยืนทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและการทดแทนแบบไม่สิ้นสุด [1] การดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมสามารถทำได้โดยเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้พลังงานอื่นๆ ทั้งในกระบวนการก่อสร้างและในระยะเปิดดำเนินการ โดยในหลายๆ พื้นที่ในประเทศไทยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมตามความเหมาะสมและตามศักยภาพของแหล่งพลังงานลมในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานลมเสียก่อน จากงานวิจัยแผนที่ศักยภาพลมของประเทศไทยที่ผ่านมาชี้ว่าภาคใต้ของประเทศไทยมีศักยภาพพอที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า [2-3] ถึงแม้ว่าในประเทศไทยได้มีการประเมินศักยภาพพลังงานลมกันมาแล้วบ้างในอดีต แต่ในการพัฒนาเทคนิคด้านการประเมินศักยภาพพลังงานลมยังคงต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพราะมีความสำคัญสำหรับขั้นตอนการลงทุนติดตั้งกังหันลมต่อไป [4]

อุปกรณ์และวิธีการ

เสาสูง 80 เมตร ถูกใช้ในการติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราเร็วและทิศทางของลม ณ ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง และตำบลเสื่อหิง อำเภอเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีพิกัดแสดงดังตารางที่ 1 โดยทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราเร็วชนิด 3 ลูกถ้วยรุ่น NRG#40C ที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร และเซนเซอร์วัดทิศทางลมรุ่น SP200 ติดตั้งที่ระดับความสูง 60 เมตร และ 80 เมตร พร้อมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความกดอากาศ อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ ทำการตรวจวัดทุกๆ 1 นาที และบันทึกข้อมูลทุกๆ 10 นาที โดยเริ่มตรวจวัดและบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 1 มกราคม-ธันวาคม 2553 แล้วนำข้อมูลที่ตรวจวัดมาจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาค การจัดทำแผนที่นี้ไม่ได้นำค่าข้อมูลอุณหภูมิมาวิเคราะห์ร่วมด้วยเนื่องจากข้อมูลนี้ไม่ครบเนื่องจากเกิดจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจวัด

ตารางที่ 1 พิกัดของสถานีวัดลมปากแพรกและสถานีวัดลมเชียรใหญ่

GPS	พื้นที่ศึกษา	
	ปากพนัง	เชียรใหญ่
ละติจูด	N 08°14'56"	N 08°9'15.1"
ลองจิจูด	E 100°13'57"	E 100°12'34.1"
UTMX	635746	633242
UTMY	912023	901543



ภาพที่ 1 ตำแหน่งและส่วนประกอบของสถานีวัดลม

1. แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ในการศึกษาศักยภาพพลังงานลมนี้ใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการวิเคราะห์โดยโปรแกรม WindSim 5.0.1 แบบจำลองนี้มีความสามารถในการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนที่อยู่ใกล้พื้นผิวของภูมิประเทศ โดยการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ ภายใต้สมมุติฐานของของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ความปั่นป่วนจะถูกนำมาพิจารณาโดยแบบจำลอง $k-\epsilon$ [5] การแก้สมการ Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) สำหรับการอนุรักษ์ของมวลเฉลี่ยและโมเมนตัมแสดงดังสมการต่อไปนี้ [6]

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (1)$$

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial X_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[v \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] \quad (2)$$

Reynolds stresses $\overline{u_i u_j}$ ประเมินผลจากสมมุติฐาน Boussinesq

$$\overline{u_i u_j} = -v_T \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (3)$$

เมื่อ k คือ พลังงานจลน์ปั่นป่วน
 v_T คือ ความหนืดปั่นป่วน

ความแตกต่างของความปั่นป่วนอาจนำมาใช้ในการศึกษาโดยใช้ค่า $k - \varepsilon$ ใช้ค่ามาตรฐานจากรูปแบบคงที่ [7]

$$v_T = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + P_k - \varepsilon \quad (6)$$

ในการป้อนข้อมูลที่จำเป็นสำหรับโปรแกรม WindSim ได้แก่ ภูมิประเทศแบบดิจิทัล (digital terrain) ความสูงขรุขระ (roughness height) และภูมิอากาศวิทยาของลมจากสถานีวัดลมในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ขั้นตอนของการประเมินศักยภาพพลังงานลมสามารถสรุปได้แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนของการประเมินศักยภาพพลังงานลมด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

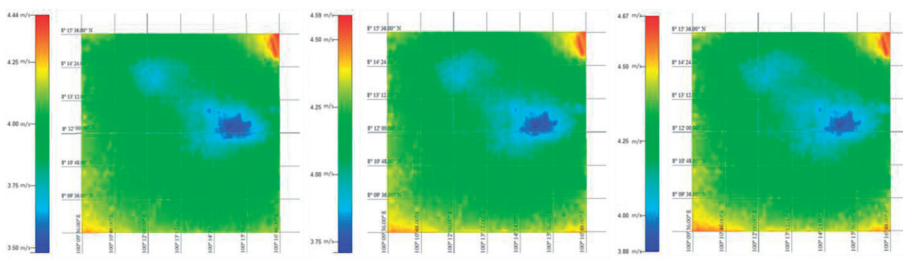
ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนี้จะใช้การเปรียบเทียบอัตราเร็วลมจากการตรวจวัดกับการทำนายค่าโดยโปรแกรม WindSim และนำมาหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์และร้อยละความผิดพลาดสัมพัทธ์ ของทั้งสองสถานีวัดลม คือ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบข้อมูลอัตราเร็วลมที่วัดได้จากสถานีวัดลมปากพนังกับข้อมูลอัตราเร็วลมที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลลม ณ สถานีวัดลมเชียรใหญ่และข้อมูลอัตราเร็วลมที่วัดได้จากสถานีวัดลมเชียรใหญ่กับข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลลม ณ สถานีวัดลมปากพนัง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

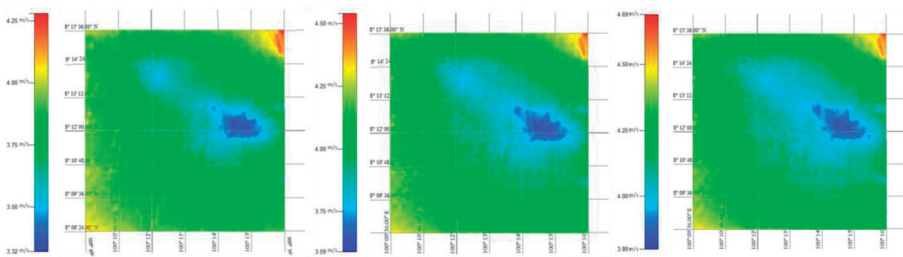
ผลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลลมเฉลี่ยจำนวน 12 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2553 ที่ระดับความสูง 60 70 และ 80 เมตร โดยทำการประเมินศักยภาพพลังงานลมที่ความแยกชัด 90×90 เมตร ด้วยโปรแกรม WindSim แผนที่ศักยภาพพลังงานลมโดยอินพุตข้อมูล 1 สถานี และอินพุตแบบทวี และผังลม 2 ระดับ แสดงดังภาพที่ 3-7 และอัตราเร็วลมของทั้ง 2 สถานีแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่าอัตราเร็วลมบริเวณปากพนังมีค่าอยู่ในช่วง 3.50-4.67 เมตรต่อวินาที และบริเวณเชียรใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 3.32-4.69 เมตรต่อวินาที

ผลการคำนวณร้อยละความผิดพลาดด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลอัตราเร็วลมที่ได้จากการวัดกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแสดงดังภาพที่ 8 พบว่าค่าร้อยละความผิดพลาดของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือไม่เกินร้อยละ 10 [8] แสดงดังตารางที่ 2

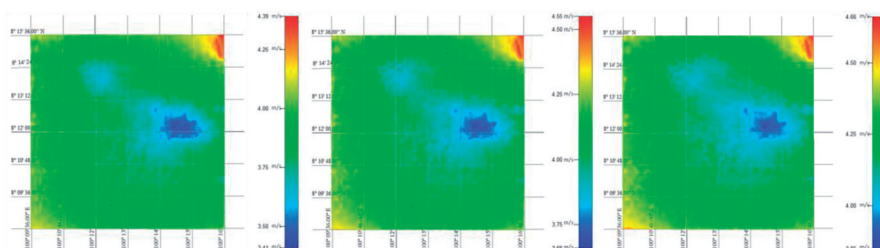
จากนั้นจัดทำแผนที่ความแตกต่างของอัตราเร็วลมโดยนำค่าอัตราเร็วลมจากการวัดของแต่ละสถานีมาหาค่าความแตกต่างโดยเปรียบเทียบกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมแบบทวีที่ระดับความสูง 80 เมตร พบว่าค่าความแตกต่างของความเร็วลมที่ระดับความสูง 80 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง - 0.18 ถึง 0.27 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าไม่มากนักแสดงดังภาพที่ 9



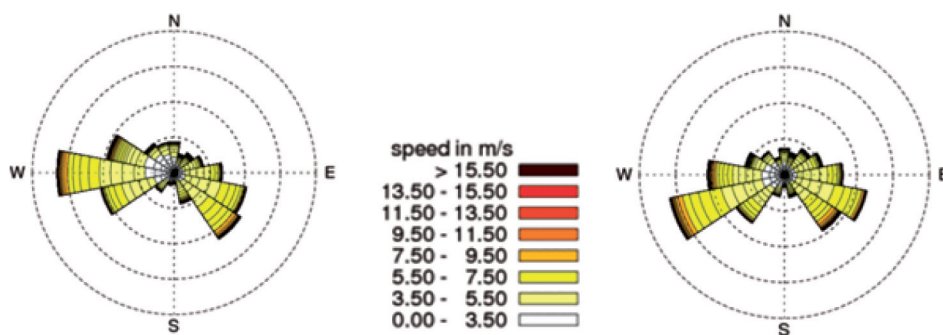
ภาพที่ 3 แผนที่อัตราเร็วลมระดับจุลภาคสถานีปากพนัง (เมตรต่อวินาที) ที่ระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 70 เมตร (กลาง) และ 80 เมตร (ขวา) (ความแยกชัด 90 เมตร)



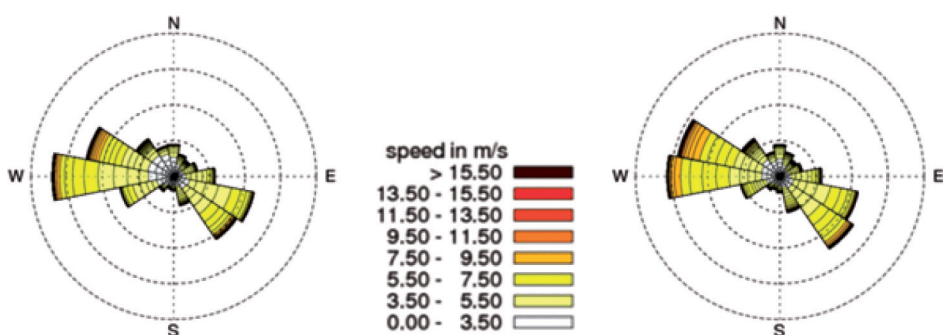
ภาพที่ 4 แผนที่อัตราเร็วลมระดับจุลภาคสถานีเชียรใหญ่ (เมตรต่อวินาที) ที่ระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 70 เมตร (กลาง) และ 80 เมตร (ขวา) (ความแยกชัด 90 เมตร)



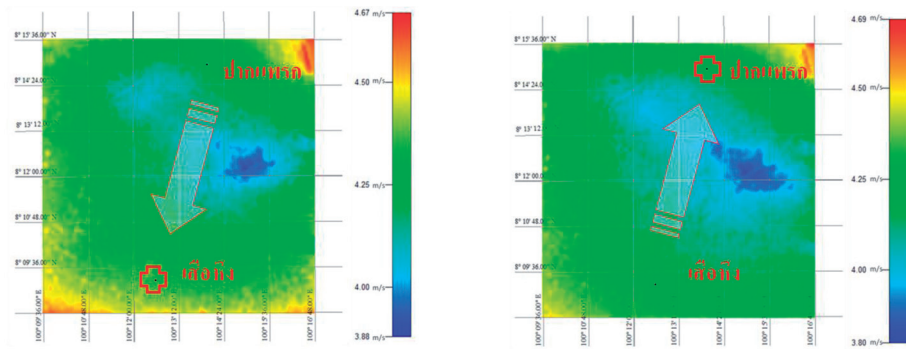
ภาพที่ 5 แผนที่อัตราเร็วลมระดับจุลภาคแบบทวี (เมตรต่อวินาที) ที่ระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 70 เมตร (กลาง) และ 80 เมตร (ขวา) (ความแยกชัด 90 เมตร)



ภาพที่ 6 ผังลมระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) และ 80 เมตร (ขวา) สถานีวัดลมปากแพรก



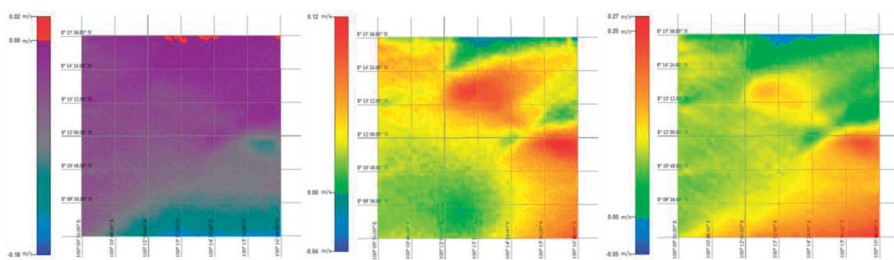
ภาพที่ 7 ผังลมระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) และ 80 เมตร (ขวา) สถานีวัดลมเสื่อหิง



ภาพที่ 4 แผนที่ศักยภาพลมโดยใช้ข้อมูลจากสถานีปากแพรกคำนวณอัตราเร็วลมไปที่สถานีเสือหิ่ง ความผิดพลาด 1% (ซ้าย) และแผนที่ศักยภาพลมโดยใช้ข้อมูลจากสถานีเสือหิ่งคำนวณอัตราเร็วลมไปที่สถานีปากแพรกความผิดพลาด 3% (ขวา)

ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพทั้งสองสถานีแสดงดังตารางที่ 2
ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัด การทำนายและร้อยละความผิดพลาด

ค่าสำคัญ	ตำบลปากแพรก อำเภอปากพนัง			ตำบลเสือหิ่ง อำเภอเชียรใหญ่		
	60 เมตร	70 เมตร	80 เมตร	60 เมตร	70 เมตร	80 เมตร
ค่าอัตราเร็วลมจากการตรวจวัด (เมตรต่อวินาที)	3.95	4.12	4.23	3.84	4.06	4.23
ค่าอัตราเร็วลมจากการทำนาย (เมตรต่อวินาที)	3.80	4.03	4.20	4.03	4.23	4.34
Absolute Error	-0.15	-0.09	-0.03	0.19	0.17	0.11
Percent Relative Error	-4%	-2%	-1%	5%	4%	3%



ภาพที่ 9 แผนที่ความแตกต่างระหว่างแผนที่ศักยภาพพลังงานลมปากแพรกกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมแบบทวี (ซ้าย) แผนที่ศักยภาพพลังงานลมเสือหิ่งกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมแบบทวี (กลาง) และแผนที่ศักยภาพพลังงานลมปากแพรกกับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมเสือหิ่ง (ขวา)

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและข้อมูลอินพุตจากการวัดแบบทวิสามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราเร็วลม ณ ตำบลปากแพรกที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร มีค่าเท่ากับ 3.94 เมตรต่อวินาที 4.12 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ส่วนที่ตำบลเสื่อหึ่ง มีค่าเท่ากับ 3.84 เมตรต่อวินาที 4.06 เมตรต่อวินาที และ 4.23 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งอัตราเร็วลมขนาดนี้สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้ขึ้นอยู่กับระดับ (Class) ของกังหันลมที่เหมาะสมกับอัตราเร็วดังกล่าว

2. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของอัตราเร็วลมพบวาระหว่างค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการทำนายให้ค่าความแตกต่างตามระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร ที่สถานีวัดลมปากแพรกเท่ากับร้อยละ -4 ร้อยละ -2 และ ร้อยละ -1 ตามลำดับ ส่วนที่สถานีวัดลมเสื่อหึ่งเท่ากับร้อยละ 5 ร้อยละ 4 และร้อยละ 3 ตามลำดับ

3. แผนที่ความแตกต่างของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 80 เมตร พบว่าค่าความแตกต่างของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 80 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง - 0.18 ถึง 0.27 เมตรต่อวินาที

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยมหำบัณฑิต ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) และขอขอบคุณศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. นโยบายและแนวทางการปรับปรุงแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573. กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพฯ, 2553.
- [2] เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์, อริย์วัฒน์ พระบำรุง, วัณวิสาข์ ชนะประเสริฐ, ณัฐธิ ราชปรีชา, ฟาน ทาน พง. (2553). การประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานลมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์ด้านภูมิศาสตร์สารสนเทศ. กรุงเทพฯ : รายงานวิจัยของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [3] เสริม จันทรฉาย, จรุงแสง ลักษณะบุญส่ง, Norbert Karlthoff, Inge Bischoff-Gauss, อิสระ มะศิริ, จินดา แก้วเขียว, ทัศนวรรณ ศูนย์กลาง, วรภาส พรหมเสน. (2553). โครงการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมสำหรับประเทศไทย. นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [4] อาปิติน จิเหลา ดุษฎี ศุขวัฒน์ กฤษณพงศ์ กิริติกร และชาย ชีวะเกตุ. (2552). การประเมินศักยภาพเฉพาะแหล่งในการผลิตไฟฟ้าแบบกังหันลมในพื้นที่ภาคอีสานของประเทศไทย. KMUTT Graduate Poster Forum ครั้งที่ 1 22 เมษายน 2552
- [5] สมพล ชิวมงคลกานต์. (2554). การวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียรใหญ่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและข้อมูลอินพุตจากการวัดแบบทวิ. วิทยานิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [6] Schaffner, Gravidahl. (2003). Wind Modeling in Mountains: Inter Comparison and Validation of Model. EWEA European Wind Energy Conference. 16-19 June 2003, Madrid, Spain
- [7] Anderson, D.A., Tannehill, J.C. and Pletcher, R.H. (1984). Computation Fluid Dynamic and Heat Transfer, Hemisphere Publishing Corporation.
- [8] Rodi W. (1980). Turbulence Models and Their Applications in Hydraulic – A State of the Art Review, IAHR Monograph, Delft of the Netherlands.
- [9] Cuttin, R., Schaffner, B., Kunz, S. Validation of CFD Wind Modeling in Highly Complex Terrain, [Online], Available : www.windsim.com

การใช้เคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสมือนเฟนตัน เพื่อกำจัดสีน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า

Using Iron-Containing Clay as Fenton-Like Catalyst for Textile Dyeing Wastewater Decolorization

อาทิตย์ อัสวสุชี^{1*} สิรินาถ โมพันดุง²
Artit Ausavasukhi^{1*}, Sirinat Mopundung²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสมือนเฟนตันเพื่อใช้ในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าจากชุมชนผู้ผลิตผ้าไหมอำเภอปรางค์ชัย C-Clay1 ซึ่งเป็นเคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงที่สุด โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาคือค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 3.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 0.6 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า และการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 24 ชั่วโมงเมื่อใช้ C-Clay1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

คำสำคัญ : การกำจัดสี เฟนตันออกซิเดชัน น้ำทิ้งจากการย้อมผ้า เคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ

Abstract

In this research, various iron-containing clays were used as Fenton-like catalyst for the decolorization of textile dyeing wastewater from community based silk producers in Pak Thong Chai district. The iron-containing clay, namely C-Clay1 provides the highest % decolorization. The optimal reacting conditions were found to be initial pH of 3.0, $[H_2O_2]_0$ of 0.6 mol/L, and the amounts of catalyst is 20 g/L at temperature 50°C. Under these conditions, efficiency of decolorization and reduction of chemical oxygen demand (COD) of textile dyeing wastewater were nearly 100 % within 24 hours reaction time when using the C-Clay1 as catalyst.

Keywords: Decolorization, Fenton Oxidation, Textile Dyeing Wastewater, Iron-Containing Clay

¹ อ.ดร., ห้องปฏิบัติการวิจัยตัวเร่งปฏิกิริยาและวัสดุนาโนเพื่อพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

² นักศึกษา สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

* Corresponding author: โทรศัพท์ 044-233000 ต่อ 4011 อีเมล ausavasukhi@gmail.com

1. บทนำ

น้ำทิ้งที่เกิดจากการฟอกย้อมสีของกลุ่มผู้ผลิตผ้าได้ถูกทิ้งสู่ธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากสีย้อมผ้าแทบทุกชนิดมีส่วนประกอบที่เป็นพิษ ย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยาก และยังบดบังการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนและพืชน้ำทำให้เกิดผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ กระบวนการกำจัดน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าวิธีหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพสูง คือ กระบวนการเฟ้นต้นออกซิเดชันซึ่งใช้สารละลายเหล็ก(II) ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical; $\bullet\text{OH}$) ซึ่งมีความสามารถในการออกซิโดซ์หรือการกำจัดสารพิษ และสีย้อม ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะเป็นกรด [1] อย่างไรก็ตามการกำจัดน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) ซึ่งสารละลายเหล็ก(II) ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีสถานะเป็นของเหลวเช่นเดียวกับน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าทำให้มีข้อจำกัด คือ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาไอออนของเหล็กไม่สามารถแยกออกจากระบบได้ ทำให้สารละลายเหล็กปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้งหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัด [2] เพื่อเป็นการแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวสามารถทำได้โดยการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalyst) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กที่มีสถานะเป็นของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากระบบได้โดยง่าย และตัวเร่งปฏิกิริยานี้ไม่เกิดสารประกอบกับสารที่ต้องการกำจัด ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการเฟ้นต้นออกซิเดชันวิวิธพันธุ์ในปัจจุบัน ได้แก่ แร่เหล็ก (Iron minerals) [3], เหล็กออกไซด์บนวัสดุรองรับนาโน ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SBA-15}$ nano-composite) [4], เหล็กบนอลูมินา [5], เหล็กบนซีโอไลต์ [6], เหล็กบนเคลย์ที่ได้รับการปรับปรุงเป็นฟิลลาร์ (Pillared clays) [7], เหล็กที่อยู่บนเรซิน (Ion exchange resin) [8], เหล็กบนถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) [9] อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง

จากการศึกษาพบว่าแร่ดินในประเทศไทยมีส่วนประกอบหลักเป็นเคลย์ นอกจากนี้ยังมีเหล็กเป็นส่วนประกอบอีกด้วย ทำให้เคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบนี้มีศักยภาพในการนำมาใช้เร่งปฏิกิริยาเฟ้นต้นออกซิเดชันชนิดวิวิธพันธุ์สำหรับการบำบัดน้ำทิ้ง เนื่องจากมีสถานะเป็นของแข็ง ราคาถูก หาได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยในการศึกษานี้จะศึกษาชนิดของเคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ และศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเฟ้นต้นออกซิเดชัน เช่น ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าพีเอช เวลา และอุณหภูมิ เป็นต้น เพื่อให้สามารถเร่งปฏิกิริยาการกำจัดสีได้ดีที่สุด

2. วิธีการทดลอง

2.1 การบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้า

ปีเตอร์สารละลายน้ำทิ้งที่ได้จากการย้อมผ้าจำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 3 ด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ จากนั้นเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 2 มิลลิลิตร เติมตัวเร่งปฏิกิริยาจำนวน 1 กรัม ปั่นกวนทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 29 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออก วัดการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสาร ในกรณีของการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีทำได้เช่นเดียวกันโดยศึกษาพีเอช 3, 5, 7, และ 9 อุณหภูมิ 29 และ 50 องศาเซลเซียส เวลา 6, 12, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1, 2, 4, และ 6 มิลลิลิตร ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา C-Clay1, C-Clay2, C-Clay3 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกรดการค้าที่จัดซื้อจากผู้ประกอบการภายในประเทศ และ L-Clay1, L-Clay2, L-Clay3 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากแร่ดินในจังหวัดนครราชสีมา

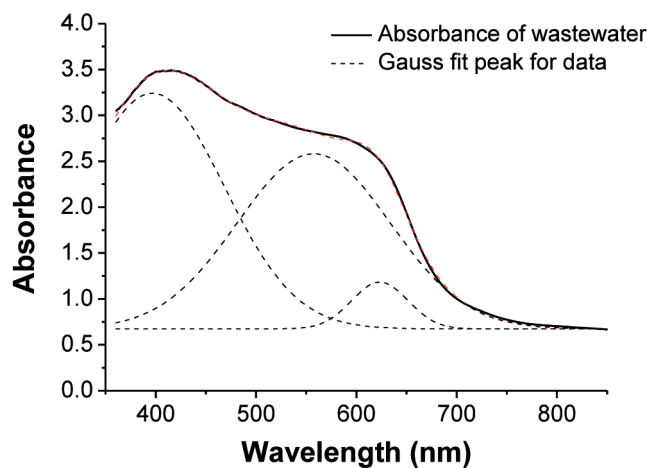
2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเหล็กในตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์

นำตัวอย่างจำนวน 0.5 กรัมกับกรวดบอริกจำนวน 4.0 กรัม ผสมเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องบด ตักสารที่บดได้ใส่ภาชนะของเครื่องวิเคราะห์การวาวรังสีเอกซ์และอัดที่ความดันสูง นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิดการกระจายความยาวคลื่น (Wavelength dispersive detector)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 สมบัติของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า

คณะผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าของผู้ประกอบการในอำเภอบึงทอง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้ในการศึกษาการกำจัดสีของน้ำทิ้ง โดยน้ำทิ้งจากการย้อมผ้านี้มีค่าพีเอช 8 และปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand; COD) มีค่า 32,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (32 กรัมต่อลิตร) เมื่อนำตัวอย่างน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงของสารให้ผลการทดลองดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 1 การดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตและแสงที่ตามองเห็นของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า

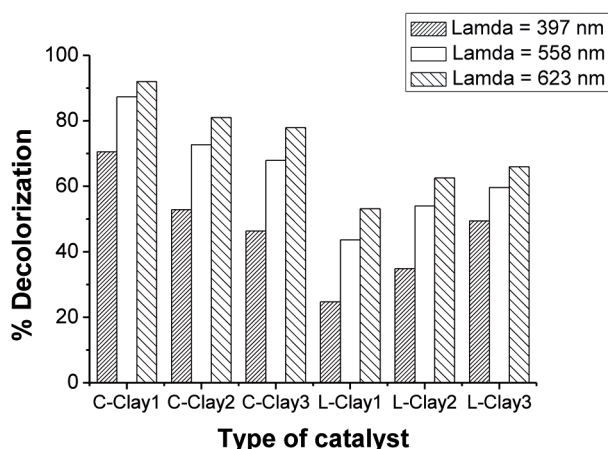
จากการวิเคราะห์ฟิตด้วยโปรแกรมดีคอนโวลูชัน (Deconvolution program) ตามแบบจำลองของเกาส์ (Gauss model) ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9997 แสดงว่าฟิตที่ได้จากแบบจำลองของเกาส์สอดคล้องกับฟิตของการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตและแสงที่ตามองเห็นของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า และจากการวิเคราะห์จะพบฟิตของการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตและแสงที่ตามองเห็นใน 3 ช่วง คือที่ความยาวคลื่น 397, 558, และ 623 นาโนเมตรตามลำดับ แสดงว่าน้ำทิ้งจากการย้อมผ้างกล่าวประกอบด้วยสีย้อมหลายชนิด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะได้วิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีโดยพิจารณาจากการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตและแสงที่ตามองเห็นทั้ง 3 ช่วงการดูดกลืน

3.2 ชนิดของเซลล์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้า

เมื่อวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์เพื่อหาปริมาณเหล็กในตัวอย่าง ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.1

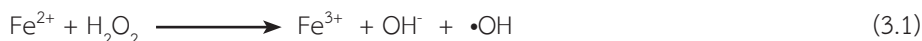
ตารางที่ 3.1 ปริมาณของเหล็กในตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	C-Clay1	C-Clay2	C-Clay3	L-Clay1	L-Clay2	L-Clay3
ปริมาณเหล็ก(เปอร์เซ็นต์)	6.9	4.8	1.5	7.1	5.6	7.2



ภาพที่ 3.2 ชนิดเคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้ง
(สภาวะ: ปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้า 50 มิลลิลิตร, น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร, อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส, พีเอช 3, เวลา 24 ชั่วโมง)

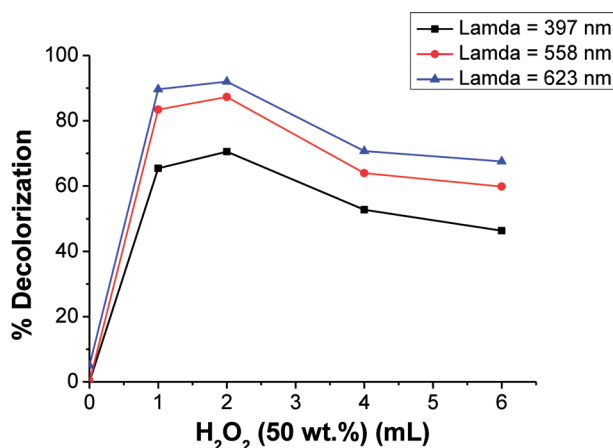
จากภาพที่ 3.2 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา C-Clay1 ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าสูงที่สุด โดยการกำจัดสีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ เกิดขึ้นเนื่องจากเหล็กซึ่งเป็นส่วนประกอบในเคลย์สามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล และเปอร์ไฮดรอกซิล (สมการที่ 3.1-3.2) ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทำให้สีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าลดลง [10]



อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัดสีของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สอดคล้องกับปริมาณของเหล็กในตัวอย่างเคลย์ ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กที่อยู่ในเคลย์อาจมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันขึ้นกับสปีชีส์ของเหล็ก (Iron species) ที่อยู่ในเคลย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเหล็กชนิดต่างๆ ว่ามีผลต่อการกำจัดสีอย่างไร มากไปกว่านั้นยังพบว่าน้ำทิ้งที่มีค่าการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ตและแสงที่ตามองเห็นในช่วงความยาวคลื่น 623 นาโนเมตร สามารถถูกกำจัดด้วยการเร่งปฏิกิริยาเพนตันได้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีสูงที่สุด ในขณะที่น้ำทิ้งที่มีค่าการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ตและแสงที่ตามองเห็นในช่วงความยาวคลื่น 558 และ 397 นาโนเมตร จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงตามลำดับ แสดงว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีขึ้นกับโครงสร้างของสีย้อม

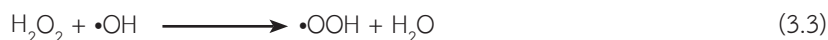
3.3 ผลของปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้า

จากภาพที่ 3.3 แสดงผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าเมื่อใช้ C-Clay1 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าเมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าสูงกว่าเมื่อไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุกๆ ชนิดของสีย้อมที่มีการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตและแสงที่ตามองเห็นในช่วงความยาวคลื่น 397, 558, และ 623 นาโนเมตร ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ C-Clay1 ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบสามารถกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าได้เนื่องจากเกิดกระบวนการดูดซับเท่านั้น



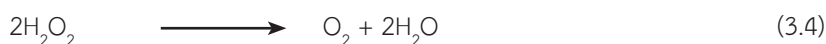
ภาพที่ 3.3 ผลของปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้ง
(สภาวะ: ปริมาณน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า 50 มิลลิลิตร, น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา C-Clay1 จำนวน 1 กรัม, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์, อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส, พีเอช 3, เวลา 24 ชั่วโมง)

เมื่อทดลองกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ในช่วง 1 และ 2 มิลลิลิตร) พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามีค่าเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากมีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากพอในการเกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล เพื่อที่จะใช้ในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า แต่เมื่อทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่า 2 มิลลิลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าลดลง เนื่องจากปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้น เกิดเป็นอนุมูลอิสระเปอร์ไฮดรอกซิล ($\bullet\text{OOH}$) ดังสมการที่ 3.3 ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์ที่ต่ำกว่าอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามีค่าที่ลดลงเมื่อมีการเพิ่มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไป [11]

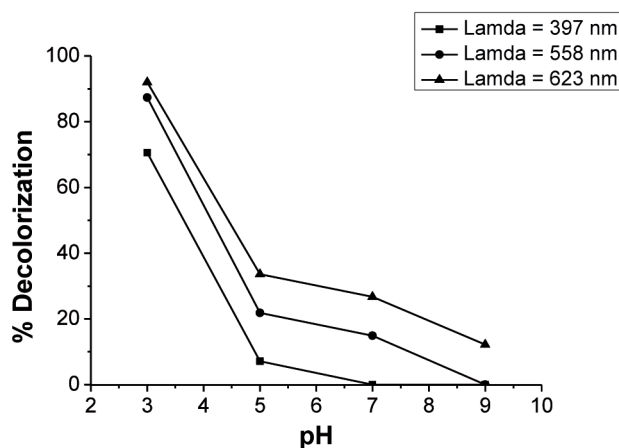


3.4 ผลของพีเอชต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้า

เมื่อศึกษาผลของค่าพีเอชต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า พบว่าเมื่อทำการปรับค่าพีเอชของสารละลายน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าให้อยู่ในสภาวะที่มีค่าพีเอชสูงขึ้น จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามีค่าลดลง แต่เมื่อทำการปรับค่าพีเอชของสารให้มีความต่ำลงและอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพีเอชที่ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามีค่าสูงสุดคือค่าพีเอชเท่ากับ 3 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าในสภาวะที่เป็นเบสไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวให้โมเลกุลของออกซิเจน (O_2) และน้ำ ดังสมการที่ 3.4



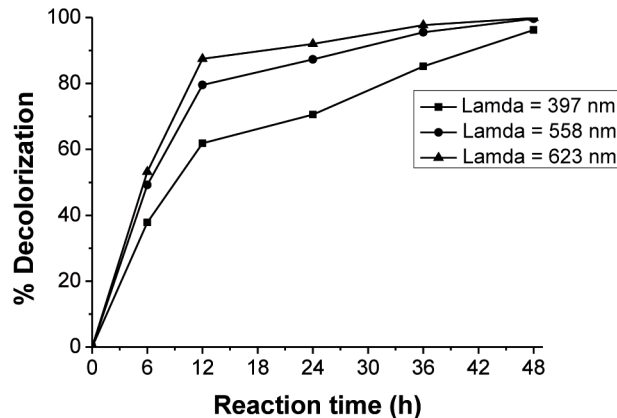
โดยแก๊สออกซิเจนมีประสิทธิภาพในออกซิไดซ์ที่ต่ำกว่าอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล จึงให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมที่ต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของแพนดา (Panda) และคณะ [12] ที่พบว่าการกำจัดสีของเมทิลออเรนจ์ด้วยปฏิกิริยาเพนตันออกซิเดชันในสภาวะที่เป็นกรดมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าในสภาวะที่เป็นเบส



ภาพที่ 3.4 ผลของพีเอชต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้ง

(สภาวะ: ปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้า 50 มิลลิลิตร, น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา C-Clay1 จำนวน 1 กรัม, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร, อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส, เวลา 24 ชั่วโมง)

3.5 ผลของเวลาต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้า

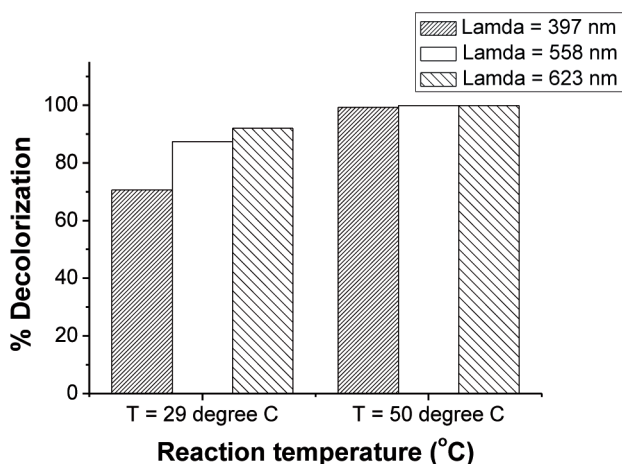


ภาพที่ 3.5 ผลของเวลาต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้ง
(สภาวะ: ปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้า 50 มิลลิลิตร, น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา C-Clay1 จำนวน 1 กรัม, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร, อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส, พีเอช 3)

จากภาพที่ 3.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าที่เวลาต่างๆ โดยใช้ C-Clay1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์) ภายในเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเริ่มคงที่ที่เวลา 36 ชั่วโมง โดยที่เวลา 48 ชั่วโมง สามารถให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าได้ถึงเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์

3.6 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการย้อมผ้า

จากภาพที่ 3.6 แสดงผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าพบว่าเมื่อทำการทดสอบการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 29 องศาเซลเซียส) เนื่องจากปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้มากขึ้น อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลนี้จะเข้าทำปฏิกิริยาการกำจัดสีของน้ำทิ้งมากยิ่งขึ้น จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา สอดคล้องกับงานวิจัยของ เทคบาซ (Tekbas) และคณะ [13] ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาเพนตันสามารถเกิดได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด พบว่ามีค่าลดลงเป็น 180 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ และน้ำทิ้งนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร)



ภาพที่ 3.6 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัดสของนาฟท

(สภาวะ: ปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้า 50 มิลลิลิตร, น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา C-Clay1 จำนวน 1 กรัม, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร, พีเอช 3, เวลา 24 ชั่วโมง)

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เคลย์ซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบในการกำจัดน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าจากชุมชนผู้ผลิตผ้าไหมอำเภอปักธงชัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาคือค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 3.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 0.6 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้าเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 24 ชั่วโมงเมื่อใช้ C-Clay1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในสภาวะนี้พบว่ามีค่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kong, S.H., Watts, R.J. and Choi, J.H. (1998). Treatment of petroleum-contaminated soils using iron mineral catalyzed hydrogen peroxide. **Chemosphere**. 37 (8), 1473-1482.
- [2] Noorjahan, M., Kumari, V.D., Subrahmanyam, M. and Panda, L. (2005). Immobilized Fe(III)-HY: an efficient and stable photo-Fenton catalyst. **Applied Catalysis B: Environmental**. 57 (4), 291-298.
- [3] Baldrian, P., Merhautova, V., Gabriel, J., Nerud, F., Stopka, P., Hruby, M. and Bernes, M.J. (2006). Decolorization of synthetic dyes by hydrogen peroxide with heterogeneous catalysis by mixed iron oxides. **Applied Catalysis B: Environmental**. 66, 258-264.

- [4] Melero, J.A., Martinez, F., Botas, J.A., Molina, R. and Pariente, M.I. (2009). Heterogeneous catalytic wet peroxide oxidation systems for the treatment of an industrial pharmaceutical wastewater. **Water Resources**. **43**, 4010-4018.
- [5] Al-Hayek, N. and Dore, M. (1990). Oxidation of phenols in water by hydrogen peroxide on alumina supported iron. **Water Resources**. **24**, 973-982.
- [6] Kasiri, M.B., Aleboyah, H. and Aleboyah, A. (2008). Degradation of Acid Blue 74 using Fe-ZSM5 zeolite as a heterogeneous photo-Fenton catalyst. **Applied Catalysis B: Environmental**. **84**, 9-15.
- [7] Mishra, T., Mohapatra, P. and Parida, K.M. (2008). Synthesis, characterisation and catalytic evaluation of iron-manganese mixed oxide pillared clay for VOC decomposition reaction. **Applied Catalysis B: Environmental**. **79**, 279-285.
- [8] Liou, R.M., Chen, S.H., Hung, M.Y., Hsu, C.S. and Lai, J.Y. (2005). Fe(III) supported on resin as effective catalyst for the heterogeneous oxidation of phenol in aqueous solution. **Chemosphere**. **59**, 117-125.
- [9] Zazo, J.A., Casas, J.A., Mohedano, A.F. and Rodriguez, J.J. (2006). Catalytic wet peroxide oxidation of phenol with Fe/active carbon catalyst. **Applied Catalysis B: Environmental**. **65**, 261-268.
- [10] Kwan, W.P. and Voelker, B.M. (2003). Rates of Hydroxyl Radical Generation and Organic Compound Oxidation in Mineral-Catalyzed Fenton-like Systems. **Environmental Science and Technology**. **37**, 1150-1158.
- [11] Neamtu, M., Yediler, A., Siminiceanu, I. and Kettrup, A. (2003). Oxidation of commercial reactive azo dye aqueous solutions by the photo-Fenton and Fenton-like processes. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**. **161** (1), 87-93.
- [12] Panda, N., Sahoo, H. and Mohapatra, S. (2001). Decolourization of Methyl Orange using Fenton-like mesoporous Fe₂O₃-SiO₂ composite. **Journal of Hazardous Materials**. **185** (1), 359-365.
- [13] Tekbas, M., Yatmaz, H.C. and Bektas, N. (2008). Heterogeneous photo-Fenton oxidation of reactive azo dye solutions using ironexchanged zeolite as a catalyst. **Microporous and Mesoporous Materials**. **115**, 94-602.

การลดลงของระดับคอเลสเตอรอลที่ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว
Man Rogosa Sharpe ในหลอดทดลองโดยแบคทีเรียกรดแลคติก
An In-Vitro Study of Cholesterol Reduction in Man Rogosa Sharpe Broth
by Lactic Acid Bacteria

จิรศักดิ์ ญาตริภักษ์¹ วิชญพร ยืนยง¹ วีรยา เพ็งช่วย¹ และ มณฑล เลิศคณาวณิชกุล^{2,3,*}
Jeerasak Yartrak¹, Wichayaporn Yuenyang¹, Weeraya Pengchuay¹ and
Monthon Lertcanawanichaku^{2,3,*}

บทคัดย่อ

โปรไบโอติกคือจุลินทรีย์มีชีวิตที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพของสิ่งมีชีวิตที่เข้าไปอาศัยอยู่เมื่อได้รับเข้าไปในปริมาณที่เหมาะสม และส่วนใหญ่แล้วมักจะกล่าวถึงแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีมากถึง 20 สกุล เช่น Lactobacilli, Leuconostoc, Streptococci และ Lactococci โดยพบเป็นเชื้อประจำถิ่นอยู่ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ซึ่งถูกรายงานว่าสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดได้ ดังนั้นเพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้นำแบคทีเรียกรดแลคติกจำนวน 6 สายพันธุ์ที่คัดเลือกมาใช้คือ *Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26), *L. lactis* C3 (C3), *Lactobacillus plantarum* TISTR 050 (Lp) และ *Enterococcus faecium* N15 (N15) มาศึกษาถึงคุณสมบัติเบื้องต้นที่สามารถนำไปใช้เป็นโปรไบโอติก ได้แก่ ความทนกรด ทนเกลือน้ำดี รวมทั้งการลดระดับคอเลสเตอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Man Rogosa Sharpe (MRS) ผลปรากฏว่าแบคทีเรียกรดแลคติกทั้ง 6 สายพันธุ์สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่ระดับ pH 4 ทั้งที่มีหรือไม่มีเกลือน้ำดี oxgall ความเข้มข้น 0.3% รวมทั้งสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มีหรือไม่มีเกลือน้ำดี oxgall ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเฉลี่ยที่ร้อยละ 27.21 ถึง 44.45 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบคทีเรียกรดแลคติกที่นำมาศึกษาทั้งหมดสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ได้ จึงน่าจะมีการศึกษาถึงคุณสมบัติดังกล่าวเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไกที่แน่ชัดของการลดระดับคอเลสเตอรอลที่เกิดขึ้นในมนุษย์ / สัตว์ เพื่อประโยชน์การนำไปใช้งานได้จริงในการช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : เกลือน้ำดี แบคทีเรียกรดแลคติก โปรไบโอติก ระดับคอเลสเตอรอล

¹ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² ผศ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

³ หน่วยวิจัยชีวเวชศาสตร์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

* Corresponding author: โทรศัพท์ 0-7567-2180, 0-7567-2104-5

Abstract

Probiotics are live microorganisms, which when administered in adequate amounts can confer a health effect on host. The most widely used probiotic bacteria are lactic acid bacteria (LAB), consist of twenty genera such as Lactobacilli, Leuconostoc, Streptococci and Lactococci. LAB are normal components of the intestinal microflora in both human and animals and have been associated with various health-promoting properties. One beneficial effect that has been suggested to result from human consumption of LAB is a reduction in serum cholesterol levels, as suggested by the results of several human and animal studies. This study evaluated the use of LAB strains as a probiotic with potential hypocholesterolemic properties. Six species of LAB; *Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L 26 (L26), *L. lactis* C3 (C3), *Lactobacillus plantarum* TISTR 050 (Lp) and *Enterococcus faecium* N 15 (N15) were studied in terms of their abilities to reduce serum cholesterol as well as tolerate to acids and bile salts. The results showed that all tested LAB could grow in Man Rogosa Sharpe (MRS) broth at pH 4 with or without 0.3% oxgall bile. Although, they reduced the serum cholesterol, ranging from 27.21% to 44.45% in the broth system, but the level of reduction among the tested strains was not significantly different. In this study, all tested LAB were observed as cholesterol reducing agents, thus may be beneficial for reducing serum cholesterol levels. However, a concern on the strains of LAB to be used as hypocholesterolemic agents in human / animals should be considered. Further studies are needed to evaluate the mechanism of cholesterol reduction ability of these of LAB.

Keywords: Bile Salt, Lactic Acid Bacteria, Probiotic, Cholesterol Level

บทนำ

ระดับคอเลสเตอรอลที่มีสูงในเลือดเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ ซึ่งสามารถรักษาได้ด้วยยาที่มีราคาแพงและอาจมีผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์ [1-3] จึงได้มีความพยายามหาทางเลือกเพิ่มขึ้นในการช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดโดยใช้โปรไบโอติก (probiotic) ที่เป็นแบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria : LAB) ในกลุ่ม lactobacilli และ streptococci ในรูปแบบอาหารหรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร [4-6] โดยทั่วไปแบคทีเรียกรดแลคติกจะมีรูปร่างแท่ง ทรงกลมและกึ่งแท่งกึ่งทรงกลม ติดสีแกรมบวก ไม่เคลื่อนที่ ไม่มีระบบไฮโดโครม ส่วนใหญ่ไม่สร้างสปอร์ ยกเว้นในสกุล *Bacillus* และ *Sporolactobacillus* ไม่สร้างเอนไซม์อะไมเลส แต่บางชนิดสร้าง pseudocatalase มีความต้องการอากาศเพียงเล็กน้อยในการเจริญ บางชนิดสามารถเจริญได้ในบริเวณที่ไม่มีอากาศ สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกันตั้งแต่ 35-37 องศาเซลเซียส (°C) และสามารถทนกรดได้ดี ส่วนใหญ่ไม่ก่อให้เกิดโรค แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นเชื้อประจำถิ่น พบได้ในร่างกาย เช่น บริเวณเยื่อภายในท่อนทางเดินอาหาร ช่องฟันและช่องคลอดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นอกจากนั้นยังพบทั่วไปตามธรรมชาติโดยเฉพาะในอาหาร เช่น อาหารหมักดอง ผลิตภัณฑ์นม เนื้อหมัก เครื่องใช้ในสัตว์และเครื่องดื่มต่างๆ เป็นต้น [4, 5] แบคทีเรียกรดแลคติกและนมหมักจากแบคทีเรียกรดแลคติกช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ช่วยให้ระบบการย่อยอาหารดีขึ้น [6,7] และยิ่งช่วยเพิ่มแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดและช่วยลดน้ำหนักเมื่อรวมกับการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ [1,5,8] นอกจากนี้ยังพบว่าคนที่ดื่มนมที่มีแบคทีเรีย

กรดแลคติกที่สามารถผลิตเอนไซม์ไฮโดรเลสย่อยเกลือแร่ (bile salt hydrolase : BSH) จะไปทำปฏิกิริยาการแตกตัว (deconjugation) ระหว่างคอเลสเทอรอลกับเกลือแร่ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้คอเลสเทอรอลถูกขับออกทางอุจจาระทำให้ช่วยลดระดับคอเลสเทอรอลได้ [2, 9] จากประโยชน์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดของแบคทีเรียกรดแลคติกโดยเฉพาะความสามารถในการลดระดับคอเลสเทอรอลในเลือด อาจใช้เป็นแนวทางเลือกใหม่ในการรักษาผู้ป่วยที่มีระดับคอเลสเทอรอลในเลือดสูงทดแทนการให้ผู้ป่วยรับประทานยาที่มีราคาแพงและมีผลข้างเคียง [1] อย่างไรก็ตามแบคทีเรียกรดแลคติกแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการลดระดับคอเลสเทอรอลในเลือดได้แตกต่างกันออกไป [2] จึงสนใจนำแบคทีเรียกรดแลคติกที่แยกได้จากตัวอย่างอาหารจำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ *Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26) [10], *L. lactis* C3 (C3) [11,12], *Lactobacillus plantarum* TISTR 050 (Lp) และ *Enterococcus faecium* N15 (N15) [13] ไปศึกษาการลดระดับคอเลสเทอรอลในหลอดทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการนำแบคทีเรียกรดแลคติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพและเกิดเป็นแนวทางนำไปใช้ร่วมเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

วิธีการวิจัย

แบคทีเรียกรดแลคติก

ได้แก่ *Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L 26 (L26), *L. lactis* C3 (C3), *Lactobacillus plantarum* TISTR 050 (Lp) และ *Enterococcus faecium* N 15 (N15) [10-13] นำมาใช้ศึกษาการลดระดับของคอเลสเทอรอลที่ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ในหลอดทดลอง

การเตรียมแบคทีเรียกรดแลคติก

หยดสารแขวนลอยเชื้อแต่ละสายพันธุ์จาก 15% glycerol ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -80 °c ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (มค.ล.) ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS บริเวณกลางจานเพาะเชื้อแล้วนำไปบ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °c ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% (candle jar) เป็นเวลา 48 ชม. หรือจนกระทั่งปรากฏโคโลนี จากนั้นนำไปขีดลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS บ่มเลี้ยงเชื้อในสภาวะเดิมข้างต้น เพื่อให้แยกเป็นโคโลนีเดี่ยวและนำไปทดสอบยืนยันเชื้อด้วยการย้อมสีแบบแกรมและทำการวินิจฉัยเชื้อเบื้องต้นด้วยการนำปททดสอบเอนไซม์เคสเลส ซึ่งแบคทีเรียกรดแลคติกจะให้ผลลบ

การศึกษาความสามารถทนต่อกรดและน้ำดี [14]

แยกเพาะเลี้ยงเชื้อแต่ละสายพันธุ์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ปริมาตร 10 มล. ในหลอดทดลองฝาเกลียว ขนาด 16x100 มม. บ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °c ที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% เป็นเวลา 48 ชม. แล้วแยกนำสารแขวนลอยเชื้อไปทดสอบความสามารถทนต่อกรดหรือทนเกลือแร่ ดังนี้

1. การทดสอบความสามารถทนต่อกรด

นำสารแขวนลอยเชื้อสายพันธุ์ละ 10 มค.ล. ในสัดส่วน 1% ไปถ่ายใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ปริมาตร 10 มล. ที่ระดับพีเอช (pH) 1 ถึง 7 บ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °c เป็นเวลา 48 ชม. สังเกตความขุ่นในหลอดทดลองแต่ละหลอด

2. การทดสอบความสามารถทนเกลือน้ำดี

นำสารแขวนลอยเชื้อสายพันธุ์ละ 10 มล. ในสัดส่วน 1% ไปถ่ายใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ปริมาตร 10 มล. ที่ผสมเกลือน้ำดี oxgall ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3 % (w/v) บ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชม. สังเกตความขุ่นในหลอดทดลองแต่ละหลอด

ความสามารถการลดระดับคอเลสเทอรอลของแบคทีเรียกรดแลคติก

1. การเตรียมเชื้อตั้งต้น

ปรับเทียบความขุ่นของเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ให้มีจำนวนเซลล์ประมาณ 10^8 เซลล์/มล. ด้วยการวัดค่าดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ให้มีค่า OD = 0.5

2. การบ่มเลี้ยงเชื้อในหลอดทดลองที่มีส่วนผสมต่างๆ

แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 8 ชุดต่อเชื้อ 1 ชนิด ในอาหารเลี้ยงเชื้อรวม 20 มล. ดังแสดงในตารางที่ 1 แล้วนำหลอดทดลองทั้งหมดไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชม. จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แยกเก็บส่วนของอาหารเลี้ยงเชื้อ / น้ำเลี้ยงเชื้อ เพื่อนำไปศึกษาการวัดระดับคอเลสเทอรอลที่หลงเหลืออยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ (%R) [$\%R = (\text{ผลต่างของระดับคอเลสเทอรอล} \times 100) / \text{คอเลสเทอรอลตั้งต้น}$]

3. การวัดระดับคอเลสเทอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อ

นำน้ำเลี้ยงเชื้อที่เตรียมได้จากข้อ 2. ปริมาตร 1 มล. ใส่หลอดปั่นเหวี่ยงพลาสติกกันแหลมขนาดบรรจุ 50 มล. เติม 95% ethanol ปริมาตร 6 มล. และเติม 50% KOH ปริมาตร 4 มล. ผสมให้เข้ากัน นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม hexane ลงไปปริมาตร 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องตีผสมสารที่ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 20 วินาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาทีที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดการแยกชั้น จากนั้นดูดสารละลายในชั้นเฮกเซน (hexane) ไปวัดระดับคอเลสเทอรอลตามวิธีการทดลองของ Rudel และ Morris, 1973 [15].

การวิเคราะห์ข้อมูล

One way ANOVA ใช้ในการทดสอบเพื่อดูว่าแบคทีเรียกรดแลคติกทั้ง 6 สายพันธุ์มีความสามารถในการลดระดับคอเลสเทอรอลได้ดีแตกต่างกันหรือไม่ เมื่อผ่านการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มีส่วนผสมต่างๆ กันเป็นเวลา 48 ชม. ที่อุณหภูมิ 37 °C

Independent t-test ใช้ในการทดสอบเพื่อดูว่าแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์เดียวกันมีความสามารถในการลดระดับคอเลสเทอรอลได้ดีแตกต่างกันหรือไม่ เมื่อผ่านการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มีหรือไม่มีเกลือน้ำดี oxgall เป็นเวลา 48 ชม. ที่อุณหภูมิ 37 °C

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อทดสอบการลดลงของระดับคอเลสเตอรอล

ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ	MRS ¹ (มล.)	คอเลสเตอรอล ² (มล.)	สารแขวนลอยเชื้อ ³ (มล.)
1. MRS	20	-	-
2. MRS+LAB	19	-	1
3. MRS+Cholesterol	18	2	-
4. MRS+Cholesterol+LAB	17	2	1
5. MRS+0.3% oxgall	20	-	-
6. MRS+0.3% oxgall+LAB	19	-	1
7. MRS+0.3% oxgall+Cholesterol	18	2	-
8. MRS+0.3% oxgall+Cholesterol+LAB	17	2	1

LAB, แบคทีเรียกรดแลคติกที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ *Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26), *L. lactis* C3 (C3), *Lactobacillus plantarum* TISTR 050 (Lp) และ *Enterococcus faecium* N15 (N15)

¹ MRS, Man Rogosa Sharpe

² ซีรัมม้าถูกใช้เป็นแหล่งของคอเลสเตอรอลมีความเข้มข้นตั้งต้น 820 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

³ สารแขวนลอยเชื้อมีจำนวนเซลล์ตั้งต้น 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ผลการวิจัย

การเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดสามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่ pH 4-7 และที่มีเกลือ น้ำดี oxgall ความเข้มข้น 0.3% โดยสังเกตได้จากความขุ่นด้วยสายตา และย้อมติดสีแกรมบวกมีรูปร่างเซลล์ภายใต้ กล้องจุลทรรศน์เป็นรูปกลม (cocci) ได้แก่ *L. lactis* C3 (C3) และ *Ent. faecium* N15 (N15) รูปกลมคู่สี่ (cocci in tetrad) ได้แก่ *P. pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25) และ *L. lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26) และรูปแท่งเกือกกลม (coccobacilli) ได้แก่ *L. plantarum* TISTR 050 (Lp)

การลดคอเลสเตอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดสามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มีส่วนผสมของซีรัมม้า ที่ใช้เป็นแหล่งคอเลสเตอรอลความเข้มข้นในช่วง 78.00+3.72 ถึง 81.00+1.65 มก.ก./มล. เมื่อบ่มเลี้ยงไว้ในอ่างน้ำควบคุม อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 °s เป็นเวลา 48 ชม. และพบว่ามีความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลที่หลงเหลือในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS แตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์ของเชื้อที่นำมาศึกษา โดยจะเห็นได้ว่าในสภาวะที่เติมเกลือ น้ำดี oxgall ความเข้มข้น 0.3% ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS จะมีการลดความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลได้ดีกว่าในหลอดที่มีเฉพาะซีรัมม้าเพียงอย่างเดียว ยกเว้น *P. acidilactici* L25 (L25), *L. lactis* C3 (C3) และ *Ent. faecium* N15 (N15) ดังแสดงในตารางที่ 2 เชื้อแบคทีเรียที่นำมาศึกษาทั้งหมดสามารถลดระดับความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ระดับคอเลสเตอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มีส่วนผสมต่างๆ ที่ผ่านการเลี้ยงแบคทีเรียกรดแลคติก 6 สายพันธุ์ เป็นเวลา 48 ชม. ที่อุณหภูมิ 37 °C

เชื้อ	ส่วนผสมต่างๆ	ความเข้มข้นของคอเลสเตอรอล* (มก.ก/มล.)		% R
		ก่อนบ่มเลี้ยง	หลังบ่มเลี้ยง	
Lp	MRS+Cho+Lp	79.00±2.65	58.43±2.93	26.04
	MRS+0.3% oxgall+Cho+Lp	80.00±1.65	44.44±9.12	44.45
L14/1	MRS+Cho+L14/1	79.00±6.05	56.03±19.24	29.08
	MRS+0.3% oxgall+Cho+L14/1	78.00±4.65	47.30±4.99	39.36
L26	MRS+Cho+L26	78.00±5.05	56.03±3.06	28.17
	MRS+0.3% oxgall+Cho+L26	79.00±2.65	50.05±1.99	36.65
L25	MRS+Cho+L25	81.00±2.53	56.33±14.55	30.46
	MRS+0.3% oxgall+Cho+L25	76.00±5.05	55.32±11.27	27.21
C3	MRS+Cho+C3	82.00±1.05	50.34±12.65	38.61
	MRS+0.3% oxgall+Cho+C3	81.00±3.65	53.85±17.72	33.52
N15	MRS+Cho+N15	78.00±5.05	48.61 ± 5.15	37.68
	MRS+0.3% oxgall+Cho+N15	79.00±7.65	51.89 ± 15.34	34.31

*ระดับคอเลสเตอรอลในหลอดทดลองที่ไม่มีเชื้อภายหลังการบ่มเลี้ยงมีความเข้มข้นระหว่าง 78.00±3.72 ถึง 81.00±1.65 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (มก.ก./มล.)

%R, เปอร์เซ็นต์ของคอเลสเตอรอลที่ลดลงหลังจากบ่มเลี้ยงแบคทีเรียกรดแลคติกไว้ 48 ชม.; Lp, *Lactobacillus plantarum* TISTR 050 (Lp); L14/1, *Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1); L26, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L 26 (L26); L25, *P. acidilactici* L25 (L25); C3, *L. lactis* C3; N15, *Enterococcus faecium* N 15 (N15); Cho, Cholesterol; MRS, Man Rogosa Sharpe

อภิปรายผลการศึกษา

แบคทีเรียกรดแลคติกที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ได้แก่ *P. pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25), *L. lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26), *L. lactis* C3 (C3), *L. plantarum* TISTR 050 (Lp), *Ent. faecium* N15 (N15) เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ซึ่งเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับคัดเลือกแบคทีเรียกรดแลคติก มีลักษณะโคโลนี กลม หนูน ขอบเรียบ ขาว ทึบแสง มันวาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. [16] และให้ผลการทดสอบเอนไซม์อะไมเลสเป็นลบ ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์เป็นแบคทีเรียติดสีแกรมบวก รูปร่างมีทั้งที่เป็นแบบกลม ท่อน ท่อนเกือกกลม [17-19] โดยมีการเรียงตัวที่แตกต่างกันออกไป เช่น กลมเป็นคู่สี่ (cocci in tetrad) ในกลุ่มของ *Pediococcus* [17] ท่อนเกือกกลม (coccobacilli) หรือรูปไข่ในกลุ่มของ *Enterococcus* [19]

แบคทีเรียกรดแลคติกทั้ง 6 สายพันธุ์สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มี pH 4 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของมณฑลและคณะ (2550) ที่รายงานว่าเชื้อในกลุ่มเดียวกันกับที่นำมาศึกษาในครั้งนี้เจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่ระดับ pH 4-11 และระดับ pH ของน้ำเลี้ยงเชื้อลดลงจากเดิมไปเป็นกรดอันเนื่องมาจากการที่เชื้อผลิตออกมาและผลิตสารเมตาบอไลต์ที่ออกฤทธิ์ด้านราได้ [20, 21] นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อกลุ่มที่นำมาใช้ศึกษาในครั้งนี้เจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่ผสมเกลือน้ำดี oxgall ความเข้มข้น 0.3% ซึ่งเป็นความสามารถในการรอดชีวิตของแบคทีเรียที่อาจนำไปใช้เป็นโปรไบโอติกกระหว่างการผ่านไปยังระบบทางเดินอาหารในส่วนของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กในร่างกายสิ่งมีชีวิตชั้นสูง [22,23] ซึ่งความทนทานต่อสารเคมีดังกล่าวจะแตกต่างกันออกไปกับสายพันธุ์ของเชื้อ และแบคทีเรียโปรไบโอติกที่ดีควรมีความสามารถในการเจริญที่ pH 2 และควรทนเกลือน้ำดีตั้งแต่ระดับความเข้มข้น 0.1-0.4% [22-26] โดยมีรายงานว่า *L. acidophilus*, *L. plantarum*, *P. acidilactici* (P2) สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ที่ pH 3 อย่างน้อยเป็นเวลา 3 ชม. [25,27] ดังนั้นโดยสรุปแล้วการคัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้เป็นโปรไบโอติกควรจะคัดเลือกกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความทนกรดและเกลือน้ำดีเพื่อให้สอดคล้องกับระบบกระเพาะอาหารและลำไส้ของสัตว์ชั้นสูงที่มีอยู่ในช่วง pH 2-8 [28-30]

มีรายงานการวิจัยในเบื้องต้นเกี่ยวกับการลดลงของระดับของคอเลสเตอรอลที่ผสมอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวในหลอดทดลองอย่างมากมาย ซึ่งส่วนใหญ่พบว่าเชื้อที่นำไปใช้ศึกษาส่วนใหญ่โดยเฉพาะในกลุ่มของ *Lactobacillus* สามารถช่วยลดระดับของคอเลสเตอรอลในระดับการศึกษาในหลอดทดลองได้เป็นอย่างดี [30] โดยอาจเนื่องมาจากการดูดซับคอเลสเตอรอลด้วยผนังเซลล์ของเชื้อแล้วถูกขับถ่ายออกมาพร้อมอุจจาระซึ่งวิธีการลดระดับคอเลสเตอรอลแบบนี้มักพบมีรายงานอยู่ในสภาพไร้อากาศ [22,31] และเกลือน้ำดีชนิดต่างๆ เช่น oxgall, cholic acid หรือ taurocholic acid ก็จะไปมีผลต่อการลดระดับของคอเลสเตอรอลในหลอดทดลองได้ โดยเฉพาะแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์ที่ทนเกลือน้ำดีได้ดีก็สามารถลดระดับของคอเลสเตอรอลในหลอดทดลองได้ดี [32] และพบว่าเชื้อแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการลดระดับคอเลสเตอรอลได้แตกต่างกันออกไป [30]

สภาวะในหลอดทดลองมีความแตกต่างกันกับในร่างกายของมนุษย์หรือสัตว์ทำให้อาจมีผลต่อการตรวจวัดระดับของคอเลสเตอรอล เช่นการตกตะกอนของเกลือน้ำดีกับคอเลสเตอรอลในหลอดทดลองกับในร่างกายมนุษย์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนซึ่งเกี่ยวกับค่า pH โดยการตกตะกอนจะเริ่มเกิดขึ้นในหลอดทดลองเมื่อมีระดับ pH เป็นกรด แต่ในร่างกายมนุษย์การตกตะกอนจะเกิดขึ้นที่ระดับ pH ที่สูงกว่า [32,33] นอกจากนี้อาจขึ้นอยู่กับสารเคมีที่เป็น องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS เช่น Tween 80 รวมทั้งไอออนของโลหะต่างๆ ซึ่งอาจทำให้ผลการลดระดับของคอเลสเตอรอลในหลอดทดลองไม่เหมือนกันกับในร่างกายมนุษย์ แต่ถ้าหากไม่คำนึงตรงจุดนี้จะเห็นได้ว่าเชื้อแบคทีเรียที่นำมาศึกษาสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวได้และแตกต่างกันออกไปในแต่ละ สายพันธุ์ที่นำมาทดสอบ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับรูปแบบและปริมาณของเซลล์ตั้งต้นที่รับประทานเข้าไปเพื่อให้เซลล์เหลือรอดอยู่ได้ใน

ระบบทางเดินอาหารได้ในปริมาณที่ยังคงมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์หรือสัตว์สูงสุด [2-3, 30] โดยปกติจุลินทรีย์โปรไบโอติกควรมีความทนทาน pH อย่างน้อยที่ pH 2 แต่เชื้อที่นำมาศึกษาทนต่อกรดได้เพียงที่ pH 4 ซึ่งเชื่อว่าจะตายไปทั้งหมดเมื่อเข้าสู่กระเพาะอาหาร ดังนั้นอาจมีแนวทางแก้ไขโดยเพิ่มปริมาณเซลล์ตั้งต้นในการให้รับประทานเข้าไปเพื่อให้มีเซลล์เหลือรอดผ่านลงไปในระบบทางเดินอาหารในปริมาณที่เพียงพอในระดับ 10^8 เซลล์/มล. เป็นอย่างน้อยที่ยังคงทำให้เกิดประโยชน์ของร่างกายในแง่ของการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร [30]

การลดลงของระดับคอเลสเตอรอลมีกลไกอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ 1) ถูกดูดซับ (absorb) โดยส่วนของผนังเซลล์ peptidoglycan แล้วจะถูกขับออกมาพร้อมกับอุจจาระทำให้มีการลดลงของระดับคอเลสเตอรอลในระบบทางเดินอาหาร โดยแบคทีเรียกรดแลคติกรูปท่อนจะมีการลดระดับของคอเลสเตอรอลได้ดีกว่าแบคทีเรียกรดแลคติกรูปกลม อาจเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับคอเลสเตอรอลมากกว่า [1, 2]; 2) แบคทีเรียกรดแลคติกสร้างเอนไซม์ BSH เพื่อแตกตัว เกลือน้ำดี (deconjugate bile salt) โดยเป็นการทำงานร่วมกันกับตับในการเปลี่ยน primary bile salt (conjugated form) ไปเป็น secondary bile acid (unconjugated form) และถูกขับทิ้งไปทางอุจจาระ [2-3, 33-35]; 3) แบคทีเรียนำคอเลสเตอรอลไปใช้ในวิถีเมแทบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ จึงทำให้ระดับคอเลสเตอรอลลดลง [1,9] ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาถึงกลไกที่แน่ชัดในการลดระดับคอเลสเตอรอล และควรมีการศึกษาในสัตว์ทดลองร่วมด้วย โดยคาดว่าจะน่าจะมีประโยชน์ในการนำแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีคุณสมบัติในการลดระดับคอเลสเตอรอลที่ดีไปใช้ในการพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่มีประโยชน์กับผู้ที่มีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูง และพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

สรุปผลการศึกษา

แบคทีเรียกรดแลคติกจำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ *P. pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *P. acidilactici* L25 (L25), *L. lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26), *L. lactis* C3 (C3), *L. plantarum* TISTR 050 (Lp) และ *Ent. faecium* N15 (N15) แสดงคุณสมบัติในเบื้องต้นที่สามารถนำไปใช้เป็นโปรไบโอติกได้โดยสามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่ระดับ pH 4 เกลือน้ำดี oxgall ความเข้มข้น 0.3% และเชื้อที่นำมาศึกษาสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่มีหรือไม่มีเกลือน้ำดี oxgall ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.02 ถึง 44.80 ซึ่งมีแนวโน้มที่จะนำเชื้อมาใช้ไปเป็นโปรไบโอติกในการลดระดับคอเลสเตอรอลในกลุ่มผู้ป่วยที่ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

คำขอบคุณ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (RSA5080008) และทุนสนับสนุนบางส่วนจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ (WU-51109) ขอขอบคุณสำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัย

อภิปรายผลการศึกษา

- [1] Jain, S., Yadav, H. and Sinha, P.R. (2009). Antioxidant and cholesterol assimilation activities of selected lactobacilli and lactococci cultures. *J Dairy Res.* 76, 385-391.
- [2] Ramasamy, K., Abdullah, N., Wong, M.C., Karuthan, C. and Ho, Y.W. (2009). Bile salt deconjugation and cholesterol removal from media by *Lactobacillus* strains used as probiotics in chickens. *J Sci Food Agri.* 90: 65-69.

- [3] Wang, Y., Xu, N., Xi, A., Ahmed, Z., Zhang, B. and Bai, X. (2009). Effects of *Lactobacillus plantarum* MA2 isolated from tibet kefir on lipid metabolism and intestinal microflora of rats fed on high-cholesterol diet. *Appl Microbiol Biotechnol.* 84: 341-347.
- [4] เบญจมาศ ถนอมทรัพย์. (2546). โปรไบโอติกและพรีไบโอติก. *เวชสารคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* 9: 89-94.
- [5] ศรัณย์ พรหมสาย. (2549). แบคทีเรียกรดแลคติก (*Lactic acid bacteria*). วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่.
- [6] อัยรา พันธนู. (2549). การเพิ่มปริมาณ conjugated linoleic acid (CLA) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโดยกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, จังหวัดนครราชสีมา.
- [7] ศรัณย์ พรหมสาย และ นฤมล ทองไว. (2548). การแยกและการคัดเลือกแบคทีเรียแลคติกที่สามารถผลิตแบคทีเรียโอซิน. *วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี* 45, 18-20.
- [8] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (ม.ป.ป.). *แบคทีเรียโอซิน*. สืบค้นเมื่อ 28 กุมภาพันธ์ 2553 (สารสนเทศออนไลน์) จาก http://dc.oas.psu.ac.th/dcms/files/02356/261468_ch1.pdf
- [9] Gilliland, S.E., Nelson, C.R. and Maxwell, C. (1985) Assimilation of cholesterol by *Lactobacillus acidophilus*. *Appl Environ Microbiol.* 49, 377-381.
- [10] มณฑล เลิศคณาวานิชกุล. (2550). การแยกและคัดเลือกแบคทีเรียกรดแลคติกที่ผลิตสารยับยั้งการเจริญของเชื้อราและการแสดงออกของยีนโคติเนส. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์* 4, 260-277.
- [11] Suchira, G. (2002). *Characterization and antimicrobial spectrum of bacteriocin C3*. produced by *Lactococcus lactis* C3. Thesis Mahidol University, Bangkok : 105 p.
- [12] Smet, D.I., Boever, P.D. and Verstraete, W. (1998). Cholesterol lowering in pigs through enhanced bacterial bile salt hydrolase activity. *Br J Nutr.* 79, 185-194.
- [13] Losteinkit, C.H., Uchiyama, K.E., Ochi, S.H., Takaoka, T.O., Nagahisa, K.E. and Shioya, S.U. (2001). Characterization of bacteriocin N15 produced by *Enterococcus faecium* N15 and cloning of the related genes. *J Biosci Bioeng.* 91, 390-395.
- [14] Pan, X., Chen, F., Wu, T., Tang, H. and Zhao, Z. (2009). The acid, bile tolerance and antimicrobial property of *Lactobacillus acidophilus* NIT. *Food Ctrl.* 20, 508-602.
- [15] Rudel, L.L. and Morris, M.D. (1973). Determination of cholesterol using o-phthalaldehyde. *J Lipid Res.* 14, 364-366.
- [16] Nakagawa A.K. and Kitahara, K. (1959). Taxonomic studies on the genus *Pediococcus*. *J Appl Microbiol.* 5, 95-126.
- [17] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. (2550). *แบคทีเรียกรดแลคติก*. กรุงเทพฯ : หจก. ภาพพิมพ์, 1-25.
- [18] ธารรัตน์ ศุภศิริ. (2542). PROBIOTIC : แบคทีเรียเพื่อสุขภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์* 52, 357-360.
- [19] วันดี เกตุแก้ว อภิญา อ้วนิก และ ปิยะนุช บุญคุ้มเกล้า. (2548). การผลิตสารแบคทีเรียโอซินจากเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย *Enterococcus faecium* HF84 ที่แยกได้จากระบบทางเดินอาหารของคน. *วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี* 5, 18-20.

- [20] มณฑล เลิศคณาวณิชกุล รัชฎาภรณ์ รักหวาน รัสณี อีแต และ รุสนะ ดุติง. (2550). ความทนทาน พิเอซของแบคทีเรียกรดแลคติกที่ผลิตสารต้านรา. **วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด** 19, 193-201.
- [21] มณฑล เลิศคณาวณิชกุล. (2548). การแยกและคัดเลือกแลคติกแอซิดแบคทีเรียที่ผลิตสารต้าน *Candida albicans*. **วารสารมหาวิทยาลัยวลักษณ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 2: 179-189.
- [22] Gilliland, S.E., Staley, T.E. and Bush, L.J. (1984). Importance of bile tolerance of *Lactobacillus acidophilus* used as dietary adjunct. **J Dairy Sci.** 67, 3045-3051.
- [23] Gilliland, S. and Speck, M. (1977). Deconjugation of bile acids by intestinal lactobacilli. **Appl Environ Microbiol.** 33, 15-18.
- [24] Chateau, N., Deschamps, A.M. and Hadi, S.A. (1994). Heterogeneity of bile salts resistance in the *Lactobacillus* isolates of a probiotic consortium. **Lett Appl Microbiol.** 18, 42-44.
- [25] Toit, M., Franz, C.M., Dick, L.M., Schilinger, U., Haberer, P., Warlies, B., et al. (1998). Characterization and selection of probiotic lactobacilli for a preliminary minipig feeding trial and their effect on serum cholesterol level faeces pH and faeces moisture content. **Int J Food Microbiol.** 40, 93-104.
- [26] Brennan, M., Wanismail, B. and Ray, B. (1983). Prevalence of viable *Lactobacillus acidophilus* in dried commercial products. **J Food Prot.** 46, 887-892.
- [27] Erkkila, S. and Petaja, E. (2000). Screening of commercial meat starter cultures at low pH and in the presence of bile salts for potential probiotic use. **Meat Sci.** 55, 297-300.
- [28] ปิ่นมณี ขวัญเมือง. (2546). การแยกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจากตัวอย่างหมอนของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นกล้ำเชื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- [29] Arihara, K., Ota, H., Itoh, M., Kondo, Y. and Sameshima, Y.T. (1998). *Lactobacillus acidophilus* group lactic acid bacteria applied to meat fermentation. **J Food Sci.** 63, 544-547.
- [30] Lin, S.Y., Ayres, J.W., Winkler, W. Jr, and Sandine, W.E. (1989). *Lactobacillus* effects on cholesterol: in vitro and in vivo results. **J Dairy Sci.** 72, 2885-2899.
- [31] Mott, G.E., Moore, R.W., Redmond, H.E. and Reiser, R. (1973). Lowering of serum cholesterol by intestinal bacteria in cholesterol-fed piglet. **Lipids** 8, 428-431.
- [32] Lin, M.Y. and Chen, T.W. (2000). Reduction of cholesterol by *Lactobacillus acidophilus* in culture broth. **J Food Drug Anal.** 8, 97-102.
- [33] Klaver, F.A.M., Meer, R. (1993). The assumed assimilation of cholesterol by *Lactobacilli* and *Bifidobacterium bifidum* is due to their bile salt-deconjugating activity. **Appl Environ Microbiol.** 59, 1120-1124.
- [34] Tanaka, H., Doesburg, K., Iwasaki, T. and Mireau, I. (1999). Screening of lactic acid bacteria for bile salt hydrolase activity. **J Dairy Sci.** 82, 2530-2535.
- [35] Tannock, G.W., Dashkevitz, M.P. and Feighner, S.D. (1989). *Lactobacillus* and bile salt hydrolase in the murine intestinal tract. **Adv Appl Microbiol.** 55, 1848-1851.

ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา Forecasting Model of the Rainfall in Songkhla Province

วรารัณ กิระติวิบูลย์^{1*}
Warangkhan Keerativibool^{1*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือ การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดของปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา โดยใช้อนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือนจากศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2555 จำนวน 132 เดือน ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ประกอบด้วยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยใน 120 เดือนแรก สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ชุดที่ 2 ประกอบด้วยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยใน 12 เดือนแรก สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ SARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

คำสำคัญ : ปริมาณน้ำฝน การทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย บ็อกซ์-เจนกินส์ การแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

Abstract

The purpose of this research is to create the proper forecasting model of the rainfall in Songkhla province. The average monthly rainfall time series of Climatological Center, Thai Meteorological Department ranging from January 2002 through December 2012 of 132 months are used and divided into two sets. The first series consists of the average rainfall in the first 120 months from January 2002 through December 2011 for creating the forecasting models by the methods of simple seasonal exponential smoothing, Box-Jenkins, and decomposition. The second series consists of the average rainfall in the last 12 months for comparing the accuracy of the forecasts via the criterion of

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง และนักวิจัยประจำศูนย์วิจัย

² พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

* Corresponding author: โทรศัพท์ 074-609600 ต่อ 2573 อีเมล warang27@gmail.com

smallest root mean squared error (RMSE). The result shows that the Box-Jenkins method by using SARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 1)₁₂ with no constant term is the most suitable for this time series.

Keywords: Rainfall, Simple Seasonal Exponential Smoothing, Box-Jenkins, Decomposition, Root Mean Squared Error (RMSE)

บทนำ

จังหวัดสงขลาตั้งอยู่ภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันออก มีขนาดพื้นที่ 7,393,889 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,853,249 ไร่ เป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่อันดับที่ 27 ของประเทศ และอันดับที่ 3 ของภาคใต้ รองจากสุราษฎร์ธานี และ นครศรีธรรมราช [1] ลักษณะภูมิประเทศตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมเมืองร้อน มีลมมรสุมพัดผ่านประจำทุกปี คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ จากอิทธิพลของลมมรสุมส่งผลให้มีฤดูกาลเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกรกฎาคม และฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนมกราคม [2] ในอดีตจังหวัด สงขลาได้ประสบกับปัญหาอุทกภัยหลายครั้ง ซึ่งสาเหตุหลักนั้นเกิดจากการมีปริมาณน้ำฝนมาก มีการระบายน้ำไม่ดี เพราะคูคลองตื้นเขิน และมีแนวคันกั้นขวางทางเดินของน้ำ ประกอบกับมีพื้นที่บางส่วนเป็นที่ลุ่ม รูปร่างกระทะ ดังนั้น การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลาจึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสนใจศึกษา จากการทบทวนวรรณกรรมของผู้วิจัย พบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลายังมีน้อย มีเพียงการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนของจังหวัด อื่น ๆ เช่น ชูเกียรติ โพนแก้ว [3] ศึกษาเรื่องการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจังหวัดเพชรบูรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบด้วยการ เฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายครั้งละ 2 ถึง 12 เดือน วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย และวิธีการทำให้เรียบ แบบเอกซ์โพเนนเชียลสองครั้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) ผลการศึกษาพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยการเฉลี่ยเคลื่อนที่ครั้งละ 12 เดือน มีความเหมาะสมมากที่สุด และสุพันธ์ อ้นแก้ว [4] ศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs) ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำล่วงหน้า 1 วัน ที่สถานี E.18 แม่น้ำชี กิ่งอำเภอทุ่งเขาหลวง จังหวัดร้อยเอ็ด โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนกับปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีสำรวจน้ำท่าและน้ำฝนต่าง ๆ ตั้งแต่ปี 2542 ถึง 2548 ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างแบบจำลองมีความเหมาะสมและให้ค่าการคาดการณ์ใกล้เคียงกับค่าที่วัด ได้จริงในวันนั้น ๆ โดยควรมีการปรับแบบจำลองทุก ๆ 5 ปี สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบ พยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดของปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา โดยใช้วิธีการทางสถิติ 3 วิธี คือ วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์ โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา เนื่องจากการพยากรณ์ ปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือที่สำคัญและมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปเป็นแนวทาง ในการป้องกันการเกิดอุทกภัย หรือแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยใช้อุณหภูมิปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร: มม.) เฉลี่ยต่อ เดือนของจังหวัดสงขลา จากศูนย์อุตุนิยมวิทยา สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึง เดือนธันวาคม 2555 จำนวน 132 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2554 จำนวน 120 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้ เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ซึ่ง 2 วิธีการพยากรณ์แรกผู้วิจัย ได้สร้างตัวแบบโดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 17 ในขณะที่วิธีการพยากรณ์สุดท้าย ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบโดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 16

Minitab รุ่น 16 เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม SPSS รุ่น 17 ที่คำสั่งของวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาไม่สามารถสร้างตัวแบบพยากรณ์ได้ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2555 จำนวน 12 ค่า นำมาใช้สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังนี้

Y_t และ $\hat{Y}_t$ แทนอนุกรมเวลา และค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกัน ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

Y_t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n เมื่อ n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

S แทนจำนวนฤดูกาล

T_t และ S แทนพารามิเตอร์ของตัวแบบแสดงส่วนประกอบของแนวโน้ม และความผันแปรตามฤดูกาล ตามลำดับ

$\hat{Y}_t$ และ $\hat{S}_t$ แทนค่าประมาณ ณ เวลา t ของพารามิเตอร์ T_t และ S_t ตามลำดับ

1. การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเป็นการพิจารณาในเบื้องต้นว่าอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใด มีส่วนประกอบของอนุกรมเวลาใดบ้าง (แนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร หรือเหตุการณ์ที่ผิดปกติ) โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา [5]

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 การพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย

วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่ายมีความเหมาะสมกับการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีเพียงความผันแปรตามฤดูกาล โดยไม่มีส่วนประกอบของแนวโน้ม ซึ่งมีตัวแบบและตัวแบบพยากรณ์ แสดงดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ [6]

$$Y_t = \beta_0 + S_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\hat{Y}_t = a_t + \hat{S}_t \quad (2)$$

เมื่อ β_0 และ a_t แทนพารามิเตอร์ของตัวแบบแสดงระยะตัดแกน และค่าประมาณ ณ เวลา t ตามลำดับ

$$a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)a_{t-1} \text{ และ } \hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

α และ δ แทนค่าคงที่การทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \delta < 1$

2.2 การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

การกำหนดตัวแบบของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ทำได้โดยการตรวจสอบคุณสมบัติฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ของอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารี (Stationary Time Series) กรณีที่อนุกรมเวลาไม่เป็นสเตชันนารี ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้เป็นสเตชันนารีก่อนที่จะกำหนดตัวแบบ [7] ตัวแบบทั่วไปของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ คือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (3) [8] และขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์แสดงรายละเอียดใน [9]

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (3)$$

เมื่อ $\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ แทนค่าคงที่ โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่เป็นสเตชันนารี

- $\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ p
(Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p: AR(p))
- $\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบมีฤดูกาลอันดับที่ P
(Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))
- $\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ q
(Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q: MA(q))
- $\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาลอันดับที่ Q (Seasonal Moving Average Operator of Order Q: SMA(Q))
- d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ
- B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

2.3 การพยากรณ์โดยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกส่วนเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่เน้นการแยกแต่ละส่วนประกอบของอนุกรมเวลาออกจากกัน เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยส่วนประกอบของอนุกรมเวลาที่มีอิทธิพลต่อค่าพยากรณ์ระยะสั้น คือ แนวโน้ม (Trend) และความผันแปรตามฤดูกาล (Seasonal) สำหรับความผันแปรตามวัฏจักร (Cyclical) และความผันแปรเนื่องจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular) จะไม่นิยมนำมาพิจารณา เนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด [6] โดยตัวแบบพยากรณ์อาจอยู่ในรูปแบบบวกหรือรูปแบบคูณขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของอนุกรมเวลากล่าวคือ ถ้าอนุกรมเวลามีการกระจายตัวคงที่ รูปแบบที่เหมาะสมคือรูปแบบบวก แต่ถ้าอนุกรมเวลา มีการกระจายตัวไม่คงที่ ควรใช้รูปแบบคูณ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ตัวแบบพยากรณ์ในรูปแบบบวก เนื่องจากปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลาของข้อมูลชุดที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2554 มีการกระจายตัวคงที่ตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (แสดงรายละเอียดในภาพที่ 1) ตัวแบบและตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ [10]

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$\hat{Y}_t = \hat{T}_t + \hat{S}_t \quad (5)$$

3. การเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา โดยการเปรียบเทียบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) จากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี ดังหัวข้อ 2.1 – 2.3 ตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่า RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด ซึ่งสูตรของ RMSE แสดงดังนี้ [11]

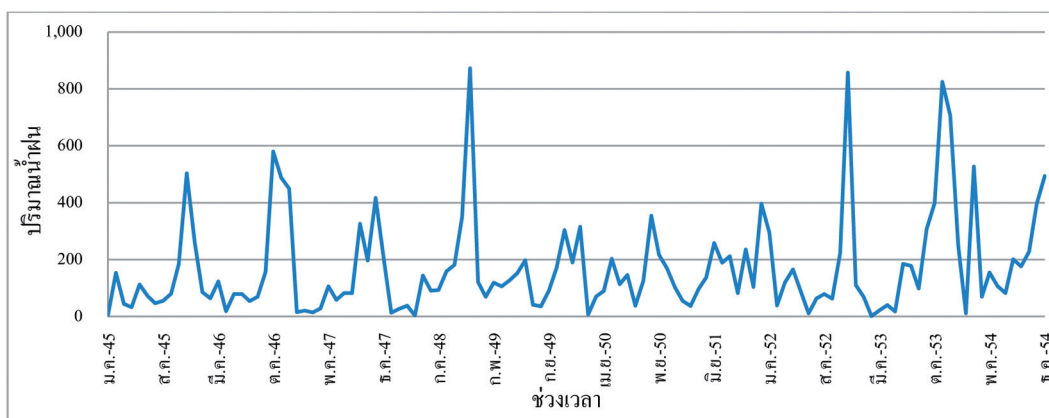
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (6)$$

เมื่อ t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลพยากรณ์ในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 คือ ปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2554 จำนวน 120 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีแนวโน้ม มีเพียงส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลเท่านั้น



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา
ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2554

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย

ตัวแบบพยากรณ์จากวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = 204.78801605 + \hat{S}_t \quad (7)$$

เมื่อ $\hat{S}_t$ แทนความผันแปรตามฤดูกาล หรือค่าดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณน้ำฝนช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม มีมากกว่าช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0

α และ δ มีค่าเท่ากับ 0.09987627 และ 0.00000395 ตามลำดับ

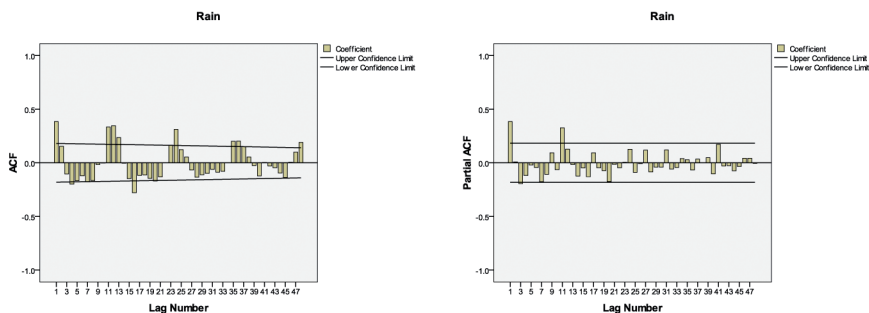
ตารางที่ 1 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา จากวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย

เดือน	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
ค่าประมาณดัชนีฤดูกาล	-29.26391991	-101.66601854	-40.96612050	-84.28622694	-31.65133903	-34.01895800
เดือน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
ค่าประมาณดัชนีฤดูกาล	-53.40408519	-48.19172200	7.77563005	140.97046934	155.72933607	118.96266531

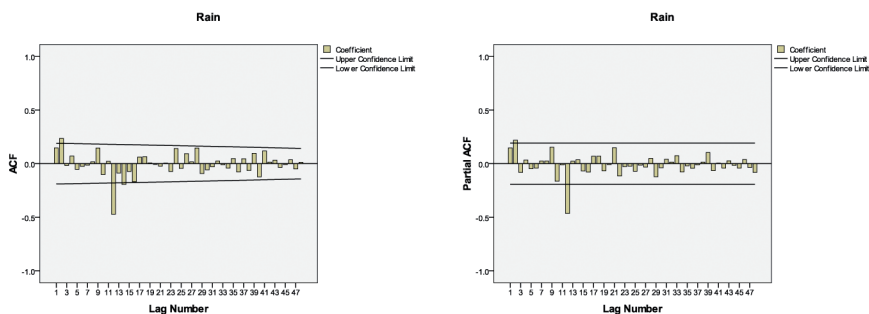
2.2 ผลการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2554 กราฟ ACF และ PACF ดังภาพที่ 1 และ 2 พบว่า อนุกรมเวลาไม่เป็น สเตชันนารี เนื่องจากมีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้น ณ ที่นี้จึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 เมื่อจำนวนฤดูกาลเท่ากับ 12 ($D = 1, s = 12$) ได้กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะเป็นสเตชันนารี จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยตัวแบบที่มีค่า BIC ต่ำที่สุด ($BIC = 9.569$) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($Ljung-Box Q = 18.845, p-value = 0.221$) คือ ตัวแบบ SARIMA(1, 0, 0)(1, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ เมื่อพิจารณากราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ในภาพที่ 4 พบว่า ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นช่วงเวลาที่ 9 มี ACF และ PACF เกินจากขอบเขตเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง e_t กับ e_{t-9} จึงไม่ผิดเสียแต่อย่างใด ดังนั้นตัวแบบ SARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = 0.210965Y_{t-1} + 0.638097Y_{t-12} - 0.134616Y_{t-13} + 0.361903Y_{t-24} - 0.076349Y_{t-25} - 0.404507e_{t-12} \quad (8)$$



ภาพที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา



ภาพที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา
เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

2.3 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

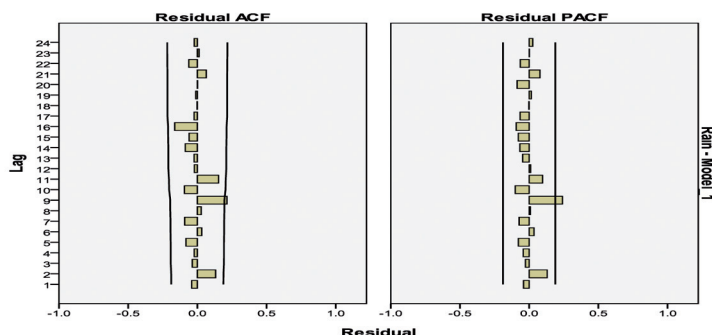
เนื่องจากอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา มีเฉพาะส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลเท่านั้น ไม่มีส่วนประกอบของแนวโน้ม ดังนั้นค่าประมาณของแนวโน้มจึงสามารถแทนได้ด้วยค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลา ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = \hat{T}_t + \hat{S}_t = 151.41571701 + \hat{S}_t \quad (9)$$

เมื่อ $\hat{S}_t$ แทนความผันแปรตามฤดูกาล หรือค่าดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณน้ำฝนช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม มีมากกว่าช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0

ตารางที่ 2 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s

ค่าประมาณพารามิเตอร์		SARIMA (1, 0, 1) (1, 1, 1) ₁₂	SARIMA (1, 0, 1) (1, 1, 1) ₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่	SARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 1) ₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่
ค่าคงที่	ค่าประมาณ	5.374247	-	-
	p-value	0.458	-	-
AR(1):	ค่าประมาณ	0.478030	0.501807	0.210965
ϕ_1	p-value	0.227	0.183	0.037
MA(1):	ค่าประมาณ	0.276427	0.296621	-
θ_1	p-value	0.518	0.469	-
SAR(1):	ค่าประมาณ	-0.345291	-0.356873	-0.361903
Φ_1	p-value	0.042	0.035	0.029
SMA(1):	ค่าประมาณ	0.408656	0.394114	0.404507
Θ_1	p-value	0.025	0.032	0.026



ภาพที่ 4 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ SARIMA (1, 0, 0) (1, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่

ตารางที่ 3 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา จากวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา

เดือน	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
ค่าประมาณดัชนีฤดูกาล	-24.01123264	-87.23206597	-56.19039931	-62.59074653	-27.24039931	-21.83206597
เดือน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
ค่าประมาณดัชนีฤดูกาล	-23.29074653	-57.37123264	2.98460069	163.16758681	101.25543403	92.35126736

3. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

ผลจากการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลา ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2555 ด้วยตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ได้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 111.16237, 84.62237 และ 103.03206 ตามลำดับ ดังนั้นวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ SARIMA (1, 0, 0)(1, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำที่สุด

สรุปผลการวิจัย

การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดของปริมาณน้ำฝน โดยใช้อนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน จากศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2545 ถึงเดือนธันวาคม 2554 จำนวน 120 ค่า ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา เปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ปริมาณน้ำฝนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2555 จำนวน 12 ค่า ด้วยเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีบอกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ SARIMA (1, 0, 0)(1, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ของค่าคงที่ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานจังหวัดสงขลา. (2556, 20 กุมภาพันธ์). **ที่ตั้งและขนาด**. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2556 จาก <http://demo-cv.com/demoweb/songkhla/location>
- [2] สำนักงานจังหวัดสงขลา. (2556, 20 กุมภาพันธ์). **ภูมิประเทศ/อากาศ**. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2556 จาก <http://demo-cv.com/demoweb/songkhla/landscape>
- [3] ชูเกียรติ โพนแก้ว. (2553). **การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจังหวัดเพชรบูรณ์**. รายงานการวิจัย. เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- [4] สุรพันธ์ อินแก้ว. (2551). **การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANNs) ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำลงหน้า 1 วัน ที่สถานี E.18 แม่น้ำชี**. รายงานการวิจัย. กลุ่มงานสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ.

- [5] ทรงศิริ แต่สมบัติ. (2549). **การพยากรณ์เชิงปริมาณ**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. (2548). **เทคนิคการพยากรณ์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [7] Bowerman, B.L. and O'Connell, R.T. (1993). **Forecasting and Time Series: An Applied Approach**. 3rd ed. California: Duxbury Press.
- [8] Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. (1994). **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.
- [9] วารางคณา กิริติวิบูลย์ และเจ๊ะอัฐพาน มาหิละ. (2556). ตัวแบบพยากรณ์ความเร็วลมตามแนวชายฝั่ง อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช. **วารสารวิจัย มข.** 18 (1), 32-50.
- [10] Makridakis, S., Wheelwright, S.C. and McGee, V.E. (1997). **Forecasting: Methods and Applications**. 3rd ed. New York: Wiley.
- [11] จุฑามาศ ศุภนคร. (2554). การพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับการวางแผนการผลิตชิ้นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์เบรจ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 21 (3), 595-606.

การจัดการห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลางของประเทศไทย Supply Chain Management of Cassava in Central Area of Northeast Thailand

ปัญญา สังวาลคำ¹ และ ระพีพันธ์ ปีตาเคโส^{2*}
Panya Sangwankam¹ and Rapeepan Pitakaso^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวแบบอ้างอิงดำเนินงาน เพื่อให้ทราบถึงห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางและประยุกต์ใช้แผนผังสายธารคุณค่า เพื่อวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าในห่วงโซ่อุปทาน ผลการศึกษาโดยตัวแบบอ้างอิงดำเนินงานทำให้ทราบว่า การไหลในโซ่อุปทานมีจำนวน 4 สายการไหล จากนั้นใช้แผนผังสายธารคุณค่ามาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าในการไหลแต่ละสายการไหล สามารถลดเวลาในแต่ละสายการไหลได้ ดังนี้ สายที่ 1 เวลาลดลง 2,977 นาที สายที่ 2 เวลาลดลง 2,343 นาที สายที่ 3 เวลาลดลง 2,829 นาที และสายที่ 4 เวลาลดลง 2,283 นาที และเวลาที่ลดลงดังกล่าวจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางของประเทศไทย

คำสำคัญ : การจัดการโซ่อุปทาน ตัวแบบอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน แผนผังสายธารคุณค่า

Abstract

This research presents applied the Supply Chain Operation Reference Model (SCOR Model) to know the cassava supply chain in central area of Northeast Thailand and applied the value stream mapping (VSM) to analyze the loss of the supply chain. The result revealed that the supply chain stream can be divided into four streams. Using the value stream mapping to analyze the loss of each supply chain stream can reduce time of each supply chain stream as the following : time line of the first supply chain stream can be reduced 2,977 minutes, time line of the second supply chain stream can be reduced 2,343 minutes, time line of the third supply chain stream can be reduced 2,829 minutes and time line of the fourth supply chain stream can be reduced 2,283 minutes. The reducing time affected on increasing the whole efficiency of cassava supply chain in central area of Northeast Thailand.

Keywords: Supply Chain Management, Supply Chain Operation Reference Model, Value Stream Mapping

1 นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 341902

2 รศ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 341902

* Corresponding author: โทรศัพท์/โทรสาร: 0-8592-10826 อีเมล enrapepi@ubu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันรัฐบาลกำลังให้ความสำคัญกับอุตสาหกรรมส่งออก ซึ่งมีอัตราการเติบโตสูงขึ้นทุกปีประกอบกับการที่ประเทศไทยได้มีการจัดทำข้อตกลงเขตการค้าเสรี กับหลายประเทศ ส่งผลให้ภาคอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการปรับตัวเพื่อรองรับการขยายตัวด้านการส่งออกของประเทศ นอกจากนี้ สถานการณ์การค้าของโลกที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วทำให้อุตสาหกรรมหลักต่างๆ ในประเทศต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงขีดความสามารถในการแข่งขันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการจัดการห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ [1] ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ประกอบการไทยยังขาดการบริหารจัดการที่ดี ขาดการเชื่อมโยงกันทั้งระบบห่วงโซ่อุปทาน ทำให้ต้นทุนรวมในระบบสูง การบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ดีจะช่วยเพิ่มศักยภาพของอุตสาหกรรมส่งออก ช่วยให้ประเทศไทยได้เปรียบทางการค้า และนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน การศึกษาระบบการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างจริงจัง จะช่วยให้ได้มาซึ่งแนวทางในการวางแผนนโยบายเพื่อการปรับปรุงและส่งเสริมกิจกรรมโลจิสติกส์ให้สามารถรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรม และสามารถลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์และต้นทุนรวมในระบบห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลัง ถือได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทยโดยที่ผ่านมามันสำปะหลังถูกนำไปแปรรูปเป็นแป้งมัน มันเส้น และมันอัดเม็ด ปีละประมาณ 21 ล้านตันโดยพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังภายในประเทศ 6.5 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้งประเทศ คือ 3.2 ตันต่อไร่ ข้อมูลจากกระทรวงพาณิชย์รายงานว่า ในปีพ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2551 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีปริมาณการส่งออกสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากข้าว และมีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับที่ 3 รองจากยางพาราและข้าว มูลค่าการส่งออกต่อปีมากกว่า 4 หมื่นล้านบาท และมีสัดส่วนใน GDP ภาคเกษตรเท่ากับ 1.8% ประเทศไทย เพื่อสนับสนุนยุทธศาสตร์ของรัฐบาล จำเป็นต้องตระหนักถึงสถานการณ์การแข่งขันที่กำลังก่อตัวขึ้นกับภาคอุตสาหกรรม [2] จึงได้มุ่งศึกษาการจัดการห่วงโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในกลุ่มจังหวัดเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางซึ่งเป็นสินค้าอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ

การวิจัยเกี่ยวกับมันสำปะหลังในปัจจุบันมีการวิจัยในหัวข้อ การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนามันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมเฉพาะพื้นที่ การวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง การวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางของประเทศไทยซึ่งศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 2 หัวข้อหลัก ได้แก่ ตัวแบบอ้างอิงดำเนินงานและแผนผังสายธารคุณค่า

บททวนวรรณกรรม

ตัวแบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานห่วงโซ่อุปทาน

สนั่น เกาชาธิ และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส [3] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานห่วงโซ่อุปทาน และ การวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ด้วยวิธีต้นทุนฐานกิจกรรม มาวัดประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานข้าว ผลการศึกษาพบว่าต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มของห่วงโซ่อุปทานข้าวมีความแตกต่างกันแต่ต้นทุนโลจิสติกส์ที่มีมูลค่ามากของเกือบทุกกลุ่มคือ ต้นทุนการขนส่ง และเสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการการขนส่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานข้าว งานวิจัยของเสาวนิตย์ จันทน์โรจน์ [4] ได้ประยุกต์แบบจำลองห่วงโซ่อุปทานเพื่อประเมินสมรรถนะห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล โดยสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีของ ทาโร่ ยามาเนะ (Taro Yamane) และใช้มาตรวัดตามตัวแบบ SCOR model เพื่อวัดสมรรถนะห่วงโซ่อุปทาน พบว่ากลุ่มผู้ผลิตมีสมรรถนะที่ต่ำกว่าผู้จัดจำหน่ายวัตถุดิบ และกลุ่มลูกค้า และผลหลังจากการปรับปรุงโดยการเพิ่มกระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบก่อนรับเข้าไปในกระบวนการผลิต สามารถลดปริมาณของเสียลงได้ถึง 7.45% ของปริมาณการผลิตรวม

แผนภาพการไหลของคุณค่า (Value Stream Mapping : VSM)

สนั่น เกชาขารี และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส [5] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้แผนผังสายธารคุณค่า เพื่อวิเคราะห์ความสูญเสียในระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นเป็นเวลาที่ใช้ในกิจกรรมการจัดเก็บข้าวเปลือก ในคลังสินค้าของสหกรณ์การเกษตร การจัดเก็บข้าวเปลือก ข้าวสารในคลังสินค้าของโรงสี สหกรณ์การเกษตร และคลังข้าวสารของพ่อค้าส่งออก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าว งานวิจัยของสุจิตตา อุ่นใจ [6] ได้ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตข้าว โดยลดความสูญเสียในแผนผังสายธารคุณค่า ผลการศึกษาพบว่าในการผลิตข้าว 1,800 กิโลกรัม มีกิจกรรมทั้งหมด 20 กิจกรรม ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 4,747.5 นาที (79.13 ชั่วโมง) มีกิจกรรมที่ทำให้ใบข้าวไม่มีคุณค่าเพิ่ม 16 กิจกรรม ใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 3,814.5 นาที (63.57 ชั่วโมง) กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม 3 กิจกรรม ใช้ระยะเวลาเฉลี่ย (3.16 ชั่วโมง) นอกจากนี้ยังพบการรอคอยระหว่างกระบวนการผลิตข้าว รวมทั้งสิ้น 420 นาที (7 ชั่วโมง) และงานวิจัยของภาชีนี พยงไธยม [7] ได้ศึกษาการปรับปรุงระบบห่วงโซ่อุปทานสำหรับผลิตภัณฑ์ไก่ปรุงสุกส่งออกในประเทศญี่ปุ่น จากการวิเคราะห์กิจกรรมด้วยเครื่องมือผังสายธารคุณค่าพบว่าเกิดกิจกรรมที่มีมูลค่าเพิ่ม (VA) 48.81% กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีมูลค่าเพิ่ม (NNVA) 35.87% และกิจกรรมที่ไม่มีมูลค่าเพิ่ม (NVA) 15.27% ในระบบ ซึ่งพบว่าปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุเกิดจากความแปรปรวนในระบบทั้งเรื่องความต้องการ ผลผลิต และวัตถุดิบรับเข้าที่มีความแปรปรวน

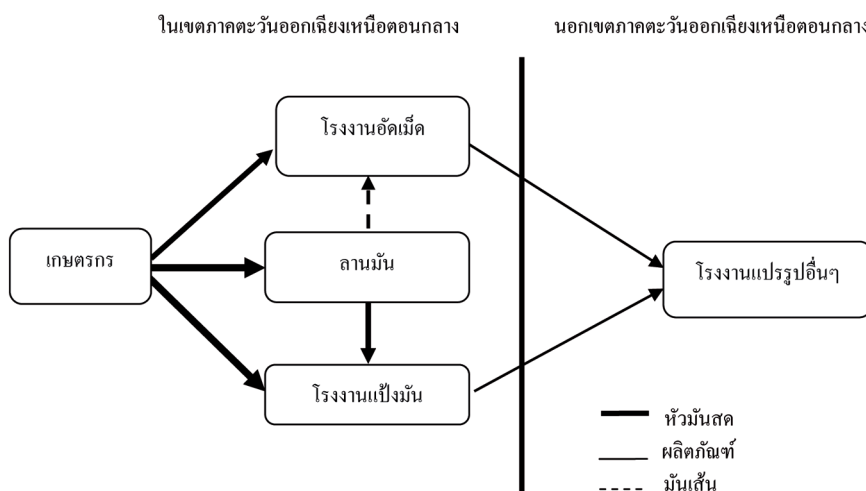
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบถึงแนวทางการจัดการห่วงโซ่อุปทานของมันสำปะหลังในกลุ่มจังหวัดเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง ด้วยการประยุกต์ใช้ตัวแบบอ้างอิงการดำเนินงาน (SCOR Model) และการประยุกต์ใช้แผนผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping : VSM) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานโดยรวมของห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง

วิธีการวิจัย

การสร้างตัวแบบอ้างอิงการดำเนินงาน (SCOR Model)

การดำเนินการในส่วนนี้ผู้ศึกษาได้นำเอาตัวแบบอ้างอิงการดำเนินงาน SCOR Model มาประยุกต์ใช้[1] ประกอบด้วย การวางแผน (Plan) การจัดซื้อจัดหา (Source) การผลิต (Make) การขนส่ง (Delivery) และการส่งคืน (Return) โดยห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 สำหรับผลิตภัณฑ์ Make-to-Order และการดำเนินการนั้นได้เริ่มต้นวิเคราะห์ต้นน้ำถึงปลายน้ำนั่นก็คือ เกษตรกร ลานมัน และโรงงานแปรรูป ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการสำรวจผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย แล้วคำนวณจำนวนตัวอย่างตามหลัก “การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ” (Stratified sampling) โดยจะแบ่งกลุ่มจำนวนครัวเรือนที่ปลูกมันสำปะหลังเป็น “ชั้นภูมิ” (Stratum) 4 ชั้นภูมิ (จังหวัด) โดยให้แต่ละชั้นภูมิมีลักษณะที่เหมือนกัน (Homogeneous stratum) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณขนาดตัวอย่าง [4] ประกอบไปด้วยจังหวัดร้อยเอ็ด จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดกาฬสินธุ์ รวมทั้งทั้งหมดมี 77 อำเภอ ได้ตัวอย่างจากการสุ่มแบ่งตามขนาดของอำเภอ คือ อำเภอขนาดใหญ่ 5 อำเภอ ขนาดกลาง 11 อำเภอ และขนาดเล็ก 61 อำเภอ แล้วคำนวณขนาดตัวอย่างแต่ละชั้นภูมิตามสูตรของทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) ซึ่งจำนวนประชากรทั้งหมด เท่ากับ 57,646 ราย ทำการคำนวณหาขนาดตัวอย่างทั้งหมดได้เท่ากับ 398 ราย แล้วนำขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้ไปหาขนาดตัวอย่างแบ่งตามชั้นภูมิได้จำนวนตัวอย่างของอำเภอขนาดใหญ่ เท่ากับ 111 ราย จำนวนตัวอย่างของอำเภอขนาดกลาง เท่ากับ 154 ราย และจำนวนตัวอย่างของอำเภอขนาดเล็ก เท่ากับ 134 ราย ส่วนกลุ่มตัวอย่างผู้ประกอบการลานมันมี 11 ลาน ทำการสุ่มตัวอย่างได้จำนวน 11 ลาน และกลุ่ม ตัวอย่างผู้ประกอบการโรงงานแปรรูปแบ่งออกเป็น โรงงานอัดเม็ดและโรงงานแป้งมัน ซึ่งโรงงานอัดเม็ดมีอยู่ 3 โรงงาน และมีโรงงานแป้งมัน 5 โรงงาน รวมเป็น 8 โรงงาน ทำการสุ่มตัวอย่างได้จำนวน 8 โรงงาน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิแล้วนำมาวิเคราะห์ผล ทำให้ทราบว่าการไหลในโซ่อุปทานมีจำนวน 4 สายการไหล การไหลสายที่ 1 เริ่มที่ เกษตรกร - ลานมัน - โรงมันอัดเม็ด การไหลสายที่ 2 เริ่มที่ เกษตรกร - ลานมัน - โรงงานแป้งมัน การไหลสายที่ 3 เริ่มที่ เกษตรกร - โรงมันอัดเม็ด และการไหลสายที่ 4 เริ่มที่ เกษตรกร - โรงงานแป้งมัน ตัวอย่างผลการประยุกต์ใช้ตัวแบบอ้างอิงการดำเนินงาน (SCOR Model) ที่ใช้กับเกษตรกร ดังนี้ 1) Plan (การวางแผน) ผลที่ได้ วางแผนการเพาะปลูก เดือนมีนาคมถึงเมษายนและวางแผนการเก็บเกี่ยวอายุครบ 8-12 เดือน 2) Source (การจัดหาจัดซื้อ) ผลที่ได้ การจัดหาท่อนพันธุ์ส่วนใหญ่จากไร่ของตนเองและการจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ในการเพาะปลูกจากร้านค้าทั่วไป 3) Make (การผลิต) ผลที่ได้ การเพาะปลูกส่วนใหญ่ว่าจ้างแรงงานคนในพื้นที่ 4) Deliver (การจัดส่ง) ผลที่ได้ การจัดส่งหรือการจำหน่ายผลผลิต มีการจำหน่ายให้ลานมันและโรงงานแปรรูป โดยใช้รถบรรทุกขนาดเล็ก เช่น รถบรรทุกหกล้อ รถกระบะ รถอีแต๋น และ 5) Return (การส่งคืน) ผลที่ได้ ไม่พบการส่งคืน และห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง ดังแสดงในภาพที่ 1 ลำดับต่อไปนำไปเขียนและวิเคราะห์แผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบันและอนาคตต่อไป



ภาพที่ 1 ห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง

การสร้างแผนผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping : VSM)

แผนผังสายธารคุณค่า ประกอบด้วยการสร้างและการวิเคราะห์ ซึ่งการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าโดยการวาดภาพสัญลักษณ์แทนโรงงาน และกล่องต้นทุนโลจิสติกส์ตามกระบวนการโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นที่แสดงเวลา โดยเริ่มจาก 1) ปริมาณการสั่งซื้อหรือสั่งผลิต เพราะเกี่ยวข้องกับการจัดซื้อ - จัดหา 2) การดำเนินงานตามคำสั่งซื้อและระบบข้อมูลข่าวสาร เพราะเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานตามคำสั่งซื้อ 3) การถือครองสินค้าคงคลัง เพราะเกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าคงคลัง 4) คลังสินค้า เพราะเกี่ยวข้องกับการคลังสินค้าและการจัดเก็บ 5) การขนส่ง (Transportation) เพราะเกี่ยวข้องกับการขนส่ง และ 6) การให้บริการลูกค้า (Customer Service) เพราะเกี่ยวข้องกับการบริการลูกค้า (7) ซึ่งมี การวาดภาพกระบวนการผลิตที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันของผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งจะแสดงการไหลของวัสดุและข้อมูลของผลิตภัณฑ์นั้น โดยใช้สัญลักษณ์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในแผนผังสายธารคุณค่า

สัญลักษณ์	ชื่อเรียก	ความหมาย
	Factory	1. ใช้แสดงแทนผู้จัดส่งวัตถุดิบ โดยเขียนอยู่บนซ้ายบนของแผนผัง ผู้จัดส่งวัตถุดิบจะเป็นจุดเริ่มต้นการไหลของวัสดุ 2. ใช้แสดงแทน ลูกค้า โดยเขียนอยู่บนบนด้านขวาของแผนผัง และลูกค้าจะเป็นจุดสิ้นสุดการไหลของวัสดุ
	Manufacturing Process	1. ใช้แสดงถึงขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตใดๆ ในสายการผลิตที่เกิดการไหลของวัสดุ 2. ใช้สัญลักษณ์นี้ 1 ภาพแทน 1 ขั้นตอนในการผลิต
	Shipment	1. ใช้แสดงถึงการไหลของวัสดุในรูปวัตถุดิบที่รับจากผู้จัดส่งเข้ามาสู่แผนกวัตถุดิบ 2. ใช้แสดงการไหลของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากแผนกขนส่งไปสู่ลูกค้า
	Truck	1. ใช้แสดงถึงการเคลื่อนย้าย การขนส่งทั้งภายในและภายนอกบริษัท 2. ใช้แสดงถึง ข้อมูลด้านความถี่ในการขนย้าย
	Manual Info	1. ใช้แสดงการไหลของข้อมูลแบบเอกสาร หรือรายงานทั่วไป
	Electronic Info	1. ใช้แสดง การไหลของข้อมูลที่สื่อสารกันด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น Internet, Electronic Data Interchange (EDI), Local Area Network (LAN) หรือ Wide Area Network (WAN) เป็นต้น

ในการคำนวณหาเวลาเฉลี่ยของกิจกรรม มีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากจำนวนกลุ่มประชากรที่ได้คำนวณไว้แล้ว ซึ่งเวลาที่ได้จากการรวบรวมไม่เป็นค่าตัวเลขที่แน่นอน ฉะนั้นจึงใช้เทคนิคของ PERT มาคำนวณหาเวลาเฉลี่ย หาได้จากเวลาที่เสร็จเร็วที่สุด (a) เวลาที่เสร็จช้าที่สุด (b) และเวลาที่เสร็จได้โดยส่วนมาก (m) ใช้เทคนิคของ PERT ดังนี้ $T_e = ((a+4m+b)/6)$ จากนั้นนำเวลาที่ได้ ใช้เป็นข้อมูลประกอบในการสร้างแผนภาพกระบวนการห่วงโซ่อุปทาน การวิเคราะห์สายธารคุณค่าเป็นการนำแผนผังสายธารคุณค่ากระบวนการผลิตที่ได้สร้างเสร็จแล้ว นำมาวิเคราะห์และหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการกำจัดกิจกรรมสูญเปล่าที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์และลูกค้าออกจากสายการผลิต เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ โดยจัดเป็น 3 ประเภทกิจกรรมตามแนวคิดของแผนผังสายธารคุณค่า แผนภูมิสายธารคุณค่า สามารถแสดงให้เห็นความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ ได้แก่ 1 การมีของเสีย (defect) 2 การผลิตที่มากเกินไปโดยไม่จำเป็น (over production) 3 การมีสินค้าคงคลังมากเกินไป (unnecessary inventory) 4 การมีกระบวนการที่ไม่จำเป็น (unnecessary processing) 5 การเคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่จำเป็น (unnecessary motion) 6 การขนส่งที่ไม่จำเป็น (unnecessary transportation) 7 การรอคอย (waiting) ผลทั้งการสร้างและวิเคราะห์แผนผังสายธารคุณค่า ได้ดังนี้

กรณีเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปลานมันและขายให้โรงงานอัดเม็ด

จากการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าสถานการณ์ปัจจุบัน เริ่มจากเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปลานมันและผ่านกระบวนการในลานมัน กระทั่งส่งขายให้โรงงานอัดเม็ดมันสำปะหลัง พบว่าการไหลในห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังสายนี้ใช้เวลารวม 3,509 นาที ซึ่งสามารถแสดงเวลารวมแต่ละประเภทกิจกรรมและสัดส่วนกิจกรรม ดังตารางที่ 2 และการวิเคราะห์โดยใช้แผนผังสายธารคุณค่าดังภาพที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาในแต่ละประเภทกิจกรรมและสัดส่วนกิจกรรม กรณีเกษตรกร-ลานมัน-โรงมันอัดเม็ด

กิจกรรม	จำนวนกิจกรรม	เวลาที่เข้าไปโดยเฉลี่ย (นาท)	สัดส่วน%
กิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า(VA)	12	857	48.00
กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า(NVA)	2	532	8.00
กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็น(NNVA)	11	2,120	44.00
รวม	25	3,509	100

จากการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าสถานการณ์ปัจจุบัน และทำการวิเคราะห์ความสูญเสียพบว่ากิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (NVA) ในขั้นตอนลานมันคือกิจกรรมใช้รถแทรกเตอร์กวาดไปมา ใช้เวลา 32 นาที และกิจกรรมการจัดเก็บในขั้นตอนโรงงานอัดเม็ด ใช้เวลา 500 นาที รวมเวลาความสูญเสียเท่ากับ 532 นาที เมื่อมุ่งเน้นการบริหารจัดการกิจกรรมดังกล่าว จะทำให้มีเวลาดลดลงเหลือ 2,977 นาที หรือลดลงร้อยละ 15.16

กรณีเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปลานมันและขายให้โรงงานแป้งมัน

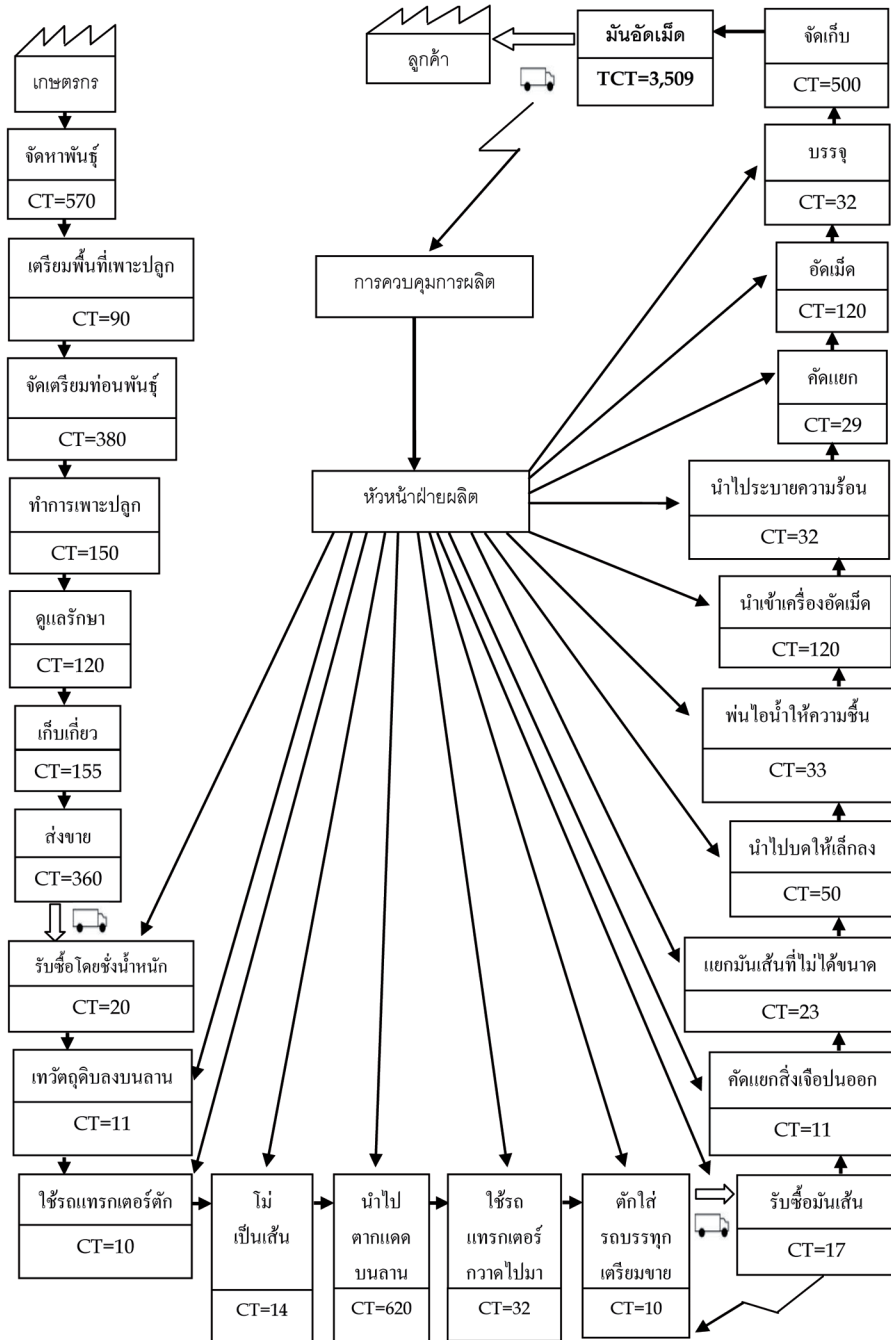
จากการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าสถานการณ์ปัจจุบัน เริ่มจากเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปลานมันและผ่านกระบวนการในลานมัน กระทั่งส่งขายให้โรงงานแป้งมันมันสำปะหลัง พบว่าการไหลในโซ่อุปทานมันสำปะหลังสายนี้ใช้เวลา รวม 2,833 นาที แล้วทำการวิเคราะห์ความสูญเสียพบว่ากิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (NVA) ในขั้นตอนโรงงานแป้งมันคือกิจกรรมการจัดเก็บ ใช้เวลา 490 นาที เมื่อมุ่งเน้นการบริหารจัดการกิจกรรมดังกล่าว จะทำให้มีเวลาดลดลงเหลือ 2,343 นาที หรือลดลงร้อยละ 17.30

กรณีเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปขายให้โรงงานอัดเม็ด

การสร้างแผนผังสายธารคุณค่าสถานการณ์ปัจจุบันในสายนี้ เริ่มจากเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปขายให้โรงงานอัดเม็ดมันสำปะหลัง พบว่าการไหลในโซ่อุปทานมันสำปะหลังสายนี้ใช้เวลา รวม 3,371 นาที เมื่อทำการวิเคราะห์ความสูญเสียพบว่ากิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (NVA) ในขั้นตอนโรงงานอัดเม็ดคือกิจกรรมใช้รถแทรกเตอร์กวาดไปมา ใช้เวลา 42 นาที และกิจกรรมการจัดเก็บ ใช้เวลา 500 นาที รวมเวลาความสูญเสียเท่ากับ 542 นาที เมื่อมุ่งเน้นการบริหารจัดการกิจกรรมดังกล่าว จะทำให้มีเวลาดลดลงเหลือ 2,829 นาที หรือลดลงร้อยละ 16.08

กรณีเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปขายให้โรงงานแป้งมัน

จากการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าสถานการณ์ปัจจุบัน เริ่มจากเกษตรกรส่งวัตถุดิบไปขายให้โรงงานทำแป้งมันสำปะหลัง พบว่าการไหลในโซ่อุปทานมันสำปะหลังสายนี้ใช้เวลา รวม 2,773 นาที และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสูญเสียพบว่ากิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (NVA) ในขั้นตอนโรงงานแป้งมันคือกิจกรรมการจัดเก็บ ใช้เวลา 490 นาที เมื่อมุ่งเน้นการบริหารจัดการกิจกรรมดังกล่าว จะทำให้มีเวลาดลดลงเหลือ 2,283 นาที หรือลดลงร้อยละ 17.67



ภาพที่ 2 แผนผังสายธารคุณค่า สถานะปัจจุบัน กรณีเกษตรกร-ลานมัน-โรงงานอัดเม็ด

สรุปผล

จากการจัดการห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางด้วยตัวแบบอ้างอิงดำเนินงาน พบว่ามีการไหลในห่วงโซ่อุปทานจำนวน 4 สายการไหล สายที่ 1 เริ่มที่ เกษตรกร-ลานมัน-โรงมันอัดเม็ด การไหลสายที่ 2 เริ่มที่ เกษตรกร-ลานมัน-โรงแป้งมัน การไหลสายที่ 3 เริ่มที่ เกษตรกร-โรงมันอัดเม็ด และการไหลสายที่ 4 เริ่มที่ เกษตรกร-โรงแป้งมัน และจากการนำแผนผังสายธารคุณค่ามาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ความสูญเสียในการไหลแต่ละสายการไหล ซึ่งแผนผังสายธารคุณค่าแสดงให้เห็นความสูญเสียทั้ง 7 ประการ พบว่ากิจกรรมการไหลสายที่ 1 ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าหรือเป็นกิจกรรมสูญเสียเปล่ามี 2 กิจกรรม เมื่อกำจัดความสูญเสียเปล่าออกทำให้เวลาจากเดิม 3,509 นาที ลดลงเหลือ 2,977 นาที หรือลดลงร้อยละ 15.16 กิจกรรมการไหลสายที่ 2 ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าหรือเป็นกิจกรรมสูญเสียเปล่ามี 1 กิจกรรม เมื่อกำจัดความสูญเสียเปล่าออกทำให้เวลาจากเดิม 2,833 นาที ลดลงเหลือ 2,343 นาที หรือลดลงร้อยละ 17.30 กิจกรรมการไหลสายที่ 3 ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าหรือเป็นกิจกรรมสูญเสียเปล่ามี 2 กิจกรรม เมื่อกำจัดความสูญเสียเปล่าออกทำให้เวลาจากเดิม 3,371 นาที ลดลงเหลือ 2,829 นาที ลดลงร้อยละ 16.08 และกิจกรรมการไหลสายที่ 4 ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าหรือเป็นกิจกรรมสูญเสียเปล่ามี 1 กิจกรรม เมื่อกำจัดความสูญเสียเปล่าออกทำให้เวลาจากเดิม 2,773 นาที ลดลงเหลือ 2,283 นาที ลดลงร้อยละ 17.67 เวลาที่ลดลงดังกล่าวจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของห่วงโซ่อุปทานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางของประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพจน์ เหล่างาม. (2552). การวัดสมรรถนะของห่วงโซ่อุปทาน สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2554 จาก http://www.logisticscorner.com /index.php?option=com_content&view=article&id=578:measuring-supply-chain-performance&catid=41:supply-chain&Itemid=89.
- [2] สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. (2553). รายงานข้อมูลการค้าระหว่างประเทศของไทย สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2554 จาก http://www.ops3.moc.go.th/export/recode_export/report.asp.
- [3] สนั่น เกษารีย์ และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2555). การจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 17 (1), 125-141
- [4] เสาวนิตย์ จันทนโรจน์. (2553). การประยุกต์แบบจำลองห่วงโซ่อุปทานเพื่อประเมินสมรรถนะห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 30 (4), 59-76.
- [5] สนั่น เกษารีย์ และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2555). การประยุกต์ใช้แผนผังสายธารคุณค่าในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 17 (5), 687-705
- [6] สุกิตตา อุ่นใจ. การศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตข้าว โดยลดความสูญเสียเปล่าในแผนผังสายธารคุณค่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, 2554.
- [7] ภาชีณี พงษ์แย้ม. การปรับปรุงระบบห่วงโซ่อุปทานสำหรับผลิตภัณฑ์ไก่ปรุงสุกส่งออกต่างประเทศญี่ปุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553.

ผลของเวลาและอุณหภูมิในการนึ่งฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของผงขมิ้นชัน Effects of Steam Sterilization Time and Temperature on Quality of Turmeric Powder

ทวีภรณ์ ศิริคช¹ ธวัชชัย ศรีสุวรรณ¹ รอกีเยาะ ตาเล²

โรสนานี เหมตระกุลวงศ์² สาป๊ะ เจ๊ะสะอิ² และ สนั่น ศุภธีรสกุล^{3*}

Thaweeporn Keereekoch¹, Thawatchai Srisuwan¹, Rokeeyoh Taleh²,

Rosenanee Hemtrakoonwong², Sapeenah Chesa-E² and Sanan Subhadhirasakul^{3*}

บทคัดย่อ

ศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อเตรียมผงขมิ้นชัน โดยแบ่งเหง้าขมิ้นชันสด เป็น 3 กลุ่ม 7 ชุดการทดลอง ได้แก่ กลุ่มที่ 1 นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 , 10 ,5 นาที กลุ่มที่ 2 นึ่งฆ่าเชื้อ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 115, 110, 105 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุม (ไม่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ) พบว่าที่อุณหภูมิ 121 และ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทยโดยไม่พบจุลินทรีย์ ส่วนอีก 5 ชุดการทดลองไม่ผ่านเกณฑ์ เมื่อพิจารณาปริมาณสารสำคัญ พบว่าที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์มากกว่าที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีปริมาณเกินเกณฑ์เพียง 0.67 และ 1.06 % v/w ตามลำดับ ดังนั้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม แต่ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่า จึงเป็นอีกวิธีที่สามารถใช้เตรียมผงขมิ้นชันที่ได้คุณภาพ

คำสำคัญ : ผงขมิ้นชัน การนึ่งฆ่าเชื้อ คุณภาพ เวลา อุณหภูมิ

¹ คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

² นักศึกษาปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

³ รศ., คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

* Corresponding Author: โทรศัพท์ 074-282700 อีเมล sanan.s@psu.ac.th

Abstract

The effects of steam sterilization time and temperature on quality of turmeric powder (*Curcuma longa* L.) were studied. Fresh turmeric rhizome divided into 3 groups of 7 treatments. The first group were steam sterilization at 121°C for 15, 10 and 5 minutes. The second group were steam sterilization at 115°C, 110°C and 105°C for 15 minutes. The third group was the control group which not exposed to steam sterilization. The results showed that steam sterilization of turmeric at 121°C for 15 minutes and 115°C for 15 minutes had no microbial contamination and passed the standards of Thai Herbal Pharmacopoeia. The other five conditions were not qualified. Steam sterilization at 121°C for 15 minutes had significantly ($p < 0.05$) higher curcuminoid content than 115°C for 15 minutes. It was found that volatile oil content was no statistical different between these two groups. Both passed higher than standards 0.67% and 1.06% v/w respectively. It is appropriate to use steam sterilization for turmeric at 121°C for 15 minutes. But steam sterilization at 115°C for 15 minutes had more volatile oil variation from benchmark. It may be another method to prepare quality turmeric powdered.

Keywords: *Curcuma longa* L., Turmeric Powder, Steam Sterilization, Quality, Time, Temperature

บทนำ

ขมิ้นชันเป็นพืชสมุนไพรที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากขมิ้นชันมีสรรพคุณที่เป็นประโยชน์มากมาย เช่น มีฤทธิ์ในการช่วยรักษาอาการแน่นจุกเสียด ลดการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร ต้านแบคทีเรีย และลดการอักเสบ เป็นต้น โดยขมิ้นชันแคปซูลได้รับการยอมรับว่าเป็นยาที่ปลอดภัยและมีผลการรักษาอาการแน่นจุกเสียดได้ดี จนได้รับการบรรจุในบัญชียาหลักแห่งชาติ [1] แต่จากการที่สถาบันวิจัยสมุนไพร กรมการแพทย์ได้ตรวจวิเคราะห์วัตถุเจือปนและขมิ้นชันแคปซูลจากโรงพยาบาลภูมิภาคทั่วประเทศในช่วงปี 2550 พบว่า คุณภาพทางเคมี-กายภาพ และปริมาณสารสำคัญของวัตถุเจือปนและขมิ้นชันแคปซูลส่วนใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน [2] โดยเฉพาะการมีปริมาณจุลินทรีย์เกินมาตรฐานในขมิ้นชันแคปซูล

Chusri *et al.* [3] พัฒนาวิธีการเตรียมผงขมิ้นชันให้มีคุณภาพเป็นไปตามตำรามาตรฐานยาสมุนไพร (Thai Herbal Pharmacopoeia: THP) โดยใช้วิธีต่าง ๆ เป็นเวลา 15 นาที ได้แก่ การแช่ในเอทานอล 70% การต้มเดือด การต้มด้วยน้ำส้มสายชูกลั่น 5% การนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว การนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และกลุ่มที่ไม่ผ่านกระบวนการลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ พบว่า การนึ่งฆ่าเชื้อเป็นวิธีการเตรียมผงขมิ้นชันที่ดีที่สุด และมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด แต่ยังไม่พบรายงานการศึกษาสภาวะอื่นๆ ในการนึ่งฆ่าเชื้อขมิ้นชันที่สามารถทำให้ปลอดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และคงไว้ซึ่งปริมาณสารสำคัญที่มากที่สุดในการเตรียมผงขมิ้นชัน จึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาเรื่องนี้ เพื่อให้ได้แนวทางอื่นๆ ในการพัฒนาการผลิตยาขมิ้นชันแคปซูลให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมผงขมิ้นชัน

ใช้ตัวอย่างเหง้าขมิ้นชันสดอายุ 10 เดือน โดยเก็บตัวอย่างเมื่อเดือนมิถุนายน 2555 จากแหล่งปลูกเดียวกันในจังหวัดพังงา นำตัวอย่างมาล้างน้ำทำความสะอาด ตัดราก และสะเด็ดน้ำให้แห้ง จากนั้นแบ่งตัวอย่างเหง้าขมิ้นชันเป็น 3

กลุ่ม 7 ชุดการทดลอง ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ศึกษาผลของเวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของผงขมิ้นชัน นำตัวอย่างเหง้าขมิ้นชันเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้เวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง คือ 15, 10 และ 5 นาที ตามลำดับ

กลุ่มที่ 2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการนึ่งฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของผงขมิ้นชัน นำตัวอย่างเหง้าขมิ้นชันเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้อุณหภูมิในการนึ่งฆ่าเชื้อที่แตกต่างกัน 3 ชุดการทดลอง คือ 115, 110 และ 105 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

กลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุม คือ ตัวอย่างเหง้าขมิ้นชันที่ไม่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ

จากนั้นนำขมิ้นชันที่ได้ในแต่ละชุดการทดลอง มาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ประมาณ 1-2 มิลลิเมตรด้วยเครื่องตัดหั่นสมุนไพร อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดเป็นผงให้ละเอียดด้วยเครื่องบดยาสมุนไพร นำไปร่อนผ่านร่อนเบอร์ 40 เก็บผงขมิ้นชันที่ได้ในภาชนะที่สะอาด เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพของผงขมิ้นชันในการทดลองต่อไป ขั้นตอนการเตรียมผงขมิ้นชันทำในห้องที่สะอาด ใช้หลอดยิวีเพื่อฆ่าเชื้อโรค และใช้เอทานอล 70% เช็ดฆ่าเชื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ก่อนใช้งานทุกครั้ง

2. การตรวจสอบคุณภาพของผงขมิ้นชัน ด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย [4, 5] ทุกทดลองทำ 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าเฉลี่ย ดังนี้

2.1 การตรวจหาปริมาณสิ่งแปลกปลอม (Determination of foreign matter)

สุ่มตรวจผงขมิ้นชันแต่ละชุดการทดลองจำนวน 100 กรัม นำมาเกลี่ยในภาชนะแบนราบ ตรวจหาและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยตาเปล่าหรือแว่นขยายกำลังขยาย 6 เท่า ชั่งน้ำหนักสิ่งแปลกปลอม และคำนวณร้อยละของสิ่งแปลกปลอมในผงขมิ้นชัน

2.2 การตรวจปริมาณความชื้น (Determination of water content)

ใช้วิธี Azeotropic Distillation โดยเติมโทลูอีน 200 มิลลิลิตร และน้ำ 2 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลม นำไปกลั่นด้วย dean-stark apparatus อ่านปริมาตรของน้ำที่ได้ (n) จากนั้นชั่งผงขมิ้นชัน 50 กรัม บรรจุในขวดก้นกลมพร้อม boiling chips 2-3 ชิ้น แล้วนำไปกลั่น เมื่อโทลูอีนเริ่มเดือดให้ปรับอัตราเร็วของการกลั่นเป็น 2 หยดต่อวินาที กลั่นจนน้ำถูกกลั่นเกือบหมด แล้วจึงปรับอัตราเร็วเป็น 4 หยดต่อวินาที เมื่อเกิดการกลั่นสมบูรณ์แล้ว ให้ล้าง condenser ด้วยโทลูอีนกลั่นต่ออีก 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและรอให้น้ำและโทลูอีนแยกชั้นออกจากกัน อ่านปริมาตรของน้ำ (n') แล้วคำนวณร้อยละปริมาณความชื้นในผงขมิ้นชัน

2.3 การตรวจปริมาณน้ำมันหอมระเหย (Determination of volatile oil)

ชั่งผงขมิ้นชัน 10 กรัม บรรจุในขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ ให้เข้ากัน นำไปกลั่นด้วย cleverger apparatus เติมน้ำลงใน graduate tube จนถึง standard line แล้วเติมน้ำ 2 มิลลิลิตร กลั่นที่อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส ปรับอัตราเร็วในการกลั่น 2-3 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปิดเครื่อง ทำความร้อน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ไซให้น้ำใน graduated tube ไหลออกช้าๆ จนกระทั่งระดับของสารละลายผสม ไซลิเนและน้ำมันหอมระเหยอยู่ที่ preparation line ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ปรับระดับของของผสมไซลิเนและน้ำมันหอมระเหยมาอยู่ที่ระดับศูนย์อ่านปริมาตร นำค่าปริมาตรที่อ่านได้ลบด้วยปริมาตรของไซลิเนแล้วคำนวณร้อยละปริมาณน้ำมันหอมระเหยในผงขมิ้นชัน

2.4 การตรวจปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล (Determination of ethanol-soluble extractive)

ชั่งผงขมิ้นชัน 5 กรัม บรรจุใน flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติเมทานอล 95% 100 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางให้แน่น เขย่าสม่ำเสมอ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้อีก 18 ชั่วโมง จากนั้นกรองอย่างรวดเร็ว นำสารละลายที่กรองได้จำนวน 20 มิลลิลิตร

ใส่ในขามระเหย (evaporating dish) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไประเหยแห้งบนอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณร้อยละของปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลในผงไขมันชั้น

2.5 การตรวจปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ (Determination of water-soluble extractive)

วิธีทำเช่นเดียวกับข้อ 2.4 แต่ใช้น้ำที่ต้มด้วยคลอโรฟอร์ม (chloroform water) เป็นตัวทำละลาย คำนวณร้อยละของปริมาณสารสกัดด้วยน้ำในผงไขมันชั้น

2.6 การตรวจปริมาณเคอร์คูมินอยด์ (Determination of curcuminoid content)

เตรียมกราฟมาตรฐานของเคอร์คูมิน โดยชั่งสารมาตรฐานเคอร์คูมิน 2 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอลและปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นดูดสารละลายมาตรฐานเคอร์คูมินด้วยไมโครปิเปตปริมาตร 20, 40, 50, 60 และ 80 ไมโครลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลจนครบ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงยูวี

เตรียมตัวอย่าง โดยชั่งผงไขมันชั้น 300 มิลลิกรัม บรรจุในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน tetrahydrofuran จนได้ปริมาตรครบ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง โดยเขย่าอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลจนครบ 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ดูดสารละลายที่ได้ 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลจนครบ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณปริมาณเคอร์คูมินอยด์ โดยการเทียบกับกราฟมาตรฐานของเคอร์คูมิน

2.7. การตรวจสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ [5]

เตรียมสารละลายไขมันชั้น ชั่งผงไขมันชั้น 10 กรัม ละลายใน Soybean-casein digest broth ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ใช้เป็น stock solution 1:10 จากนั้นทำ serial dilution โดยเจือจางต่อเป็น 1:10² และ 1:10³ ตามลำดับ

2.7.1. การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total aerobic microbial count) ด้วยวิธี Pour plate ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่จานเพาะเชื้อ เททับด้วย Plate count agar (PDA) จานละ 10 -15 มิลลิลิตร หมุนจานเพาะเชื้อเบา ๆ เพื่อผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แข็งประมาณ 15 นาที บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มี 30-300 โคโลนี และรายงานผลเป็น CFU/g

2.7.2. การตรวจหายีสต์และรา (Total combined yeasts and moulds count) ด้วยวิธี Pour plate ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่จานเพาะเชื้อ เททับด้วย Sabouraud dextrose agar (SDA) บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5-7 วัน ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มี 30-300 โคโลนี และรายงานผลเป็น CFU/g

2.7.3. การตรวจหา Bile-tolerant Gram-negative bacteria ด้วยวิธี Pour plate ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่จานเพาะเชื้อ เททับด้วย MacConkey agar (MCA) บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มี 30-300 โคโลนี และรายงานผลเป็น CFU/g

2.7.4. การตรวจหาแบคทีเรียกลุ่ม *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus* ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน Tryptic soy broth (TSB) ให้ครบ 100 มิลลิลิตร บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถ่ายเชื้อจาก TSB ไปเพาะใน MCA บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตดูโคโลนีที่เจริญบนอาหาร ถ้ามีโคโลนีสีชมพู ใช้ loop เขี่ยเชื้อ 3-5 โคโลนี นำไป streak (streak) บนอาหาร Eosine methylene blue (EMB) หากมีโคโลนีสี green metallic sheen แสดงว่ามีเชื้อ

Escherichia coli ถ่ายเชื้อจาก TSB ไปเพาะใน Cetrimide agar บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตดูโคโลนีที่เจริญบนอาหาร หากมีลักษณะสีเหลืองเขียวถึงน้ำเงิน แสดงว่ามีเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* ถ่ายเชื้อจาก TSB ไปเพาะใน Bismuth sulfite agar และ Salmonella-Shigella agar (ss agar) บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตดูโคโลนีที่เจริญบนอาหาร หากมีลักษณะสีดำ metallic sheen แสดงว่า มีเชื้อ *Salmonella* spp. ถ่ายเชื้อจาก TSB ไปเพาะใน Mannitol-salt agar (MSA) บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตดูโคโลนีที่เจริญ หากมีลักษณะสีเหลือง ใช้ loop เชี่ยวเชื้อ 3-5 โคโลนี ลง Coagulase test หากมีลักษณะเป็นลิ่ม แสดงว่ามีเชื้อ *Staphylococcus aureus*

2.7.5. การตรวจหา *Clostridium* spp. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมลงใน Cooked meat medium บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อไปเพาะใน Tryptose sulfite cycloserin agar บ่มที่ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เป็นเวลา 2-3 วัน สังเกตดูโคโลนีที่เจริญบนอาหาร หากมีลักษณะสีดำอยู่ตรงกลางโคโลนี แสดงว่ามีเชื้อ *Clostridium* spp.

2.8. คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผงไขมัน จากนั้นวิเคราะห์ spot ของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC) และวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยไขมันชั้นด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) เพื่อยืนยันคุณภาพของผงไขมันชั้นที่เตรียมจากสภาวะดังกล่าว

2.8.1. วิเคราะห์ spot ของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ด้วยวิธี TLC เตรียมสารละลายมาตรฐานของ เคอร์คูมิน โดยชั่งสารมาตรฐานเคอร์คูมิน 1 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอลปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเตรียมตัวอย่าง โดยชั่งผงไขมันชั้น 0.1 กรัม บรรจุใน flask ขนาด 10 มิลลิลิตร สกัดด้วยเมทานอล (1 มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิห้อง เขย่าสม่ำเสมอเป็นเวลา 30 นาที และกรอง จากนั้น spot สารละลายที่กรองได้ และสารละลายมาตรฐานของเคอร์คูมินบนแผ่น TLC (Si-60GF₂₅₄) ใช้คลอโรฟอร์ม: เบนซีน: เอทานอล (47.5: 47.5: 5) เป็นระบบนำพาสาร โดยให้เคลื่อนที่ประมาณ 6.8 เซนติเมตร และตรวจสอบการแยกของ spot ภายใต้แสง UV (254 nm)

2.8.2. วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยไขมันชั้นด้วยเทคนิค GC-MS (Trace GC Ultra/ISQMS, Thermo Scientific Inc., USA) สภาวะ GC ที่ใช้ทดสอบ ประกอบด้วย คอลัมน์ชนิด TR-5MS (30 m x 0.25 μ m x 0.25 mm) โหมดการฉีดแบบ split มี split ratio 250:1 ปริมาตรที่ฉีด 1 ไมโครลิตร ก๊าซตัวพา คือ ฮีเลียม อัตราการไหล 1.0 มิลลิเมตร/นาที อุณหภูมิของส่วนฉีดสาร 220 องศาเซลเซียส โปรแกรมอุณหภูมิเริ่มต้น 40 องศาเซลเซียส คงไว้ 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนเป็น 280 องศาเซลเซียส คงไว้ 20 นาที สภาวะของแมสสเปกโตรเมตรี mass ionization เป็น electron impact 70 eV อุณหภูมิ ion source 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ transfer line 250 องศาเซลเซียส ช่วงมวลในการวิเคราะห์ 35-500 am

3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การตรวจสอบการปนเปื้อนจุลินทรีย์ของผงไขมันชั้นทั้ง 7 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 1) พบว่า การนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที และ อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เพราะไม่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ต่าง ๆ ตามข้อกำหนดในตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย ส่วนอีก 5 ชุดการทดลองไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากตรวจพบเชื้อ *S. aureus* แม้ว่าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 15 นาที อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 15 นาที และกลุ่มควบคุมจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณยีสต์และเชื้อราต่ำกว่าเกณฑ์ มาตรฐานก็ตาม

Thaksin.J., Vol.17 (1) January-June 2014

ดังนั้นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งฆ่าเชื้อไขมันชั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพและปริมาณสารสำคัญของผงไขมันชั้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที และอุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที กับกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 1 การปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผงไขมันชั้นที่เตรียมโดยวิธีการนึ่งฆ่าเชื้อแห้งไขมันชั้นที่สภาวะต่าง ๆ

การวิเคราะห์	ข้อกำหนดตาม THP Vol.3,2009 [5]	กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2			กลุ่มที่ 3
		121°C	121°C	121°C 5	115°C	110°C	105°C	control
		15 นาที	10 นาที	นาที	15 นาที	15 นาที	15 นาที	
<i>Bile-tolerant gram-negative bacteria</i>	$\leq 10^3$ CFU /g or ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Total aerobic microbial count</i>	$\leq 2 \times 10^5$ CFU /g or ml	ND	ND	ND	ND	2.50×10^2	4.50×10^3	5.0×10^2
<i>Total combined yeasts and moulds</i>	$\leq 2 \times 10^4$ CFU /g or ml	ND	ND	ND	ND	1.42×10^3	1.35×10^3	1.1×10^2
<i>Clostridium spp.</i>	ND in 1 g or ml	ND	ND	ND	ND	ND	D	D
<i>Escherichia coli</i>	ND in 1 g or ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ND in 1 g or ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella spp.</i>	ND in 10 g or ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND in 1 g or ml	ND	D	D	ND	D	D	D

หมายเหตุ ND = ตรวจไม่พบ (Not Detected) D = ตรวจพบ (Detected)

การตรวจหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมของผงไขมันชั้นทั้ง 7 ชุดการทดลอง ไม่พบปริมาณสิ่งแปลกปลอมและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (กำหนดให้มีปริมาณสิ่งแปลกปลอมต้องไม่เกิน 2.0% โดยน้ำหนัก) เนื่องจากมีการล้างทำความสะอาดไขมันชั้น คัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก และเตรียมผงไขมันชั้นในห้องที่สะอาด ติดหลอดยวี่เพื่อฆ่าเชื้อโรค ใช้เอทานอล 70% เช็ดฆ่าเชื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ก่อนใช้งานทุกครั้ง

ตารางที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพของผงไขมันชั้นที่เตรียมโดยวิธีการนึ่งฆ่าเชื้อแห้งไขมันชั้นด้วยวิธีต่าง ๆ

รายการ	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3
	121°C	121°C	121°C	115°C	110°C	105°C	control
	15 นาที	10 นาที	5 นาที	15 นาที	15 นาที	15 นาที	
ปริมาณสิ่งแปลกปลอม ¹	0	0	0	0	0	0	0
ปริมาณความชื้น ²	7.57±0.75 ^{ab}	7.53±0.50 ^{ab}	7.05±0.67 ^a	8.93±0.31 ^c	8.77±0.74 ^c	8.33±0.25 ^{bc}	6.73±0.29 ^a
ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ³	6.67±0.29 ^a	7.00±0.20 ^a	6.86±0.12 ^a	7.06±0.31 ^{ab}	7.13±0.31 ^{ab}	7.50±0.30 ^{bc}	7.86±0.23 ^c
ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล ⁴	14.52±0.54 ^a	16.21±0.61 ^b	16.63±0.24 ^b	18.13±0.22 ^c	20.58±0.18 ^d	17.80±0.41 ^c	16.71±0.23 ^b
ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ ⁵	15.56±0.24 ^c	14.30±0.16 ^b	14.12±0.04 ^b	14.46±0.11 ^b	12.64±0.12 ^a	12.87±0.93 ^a	12.94±0.27 ^a
ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ ⁶	13.87±0.65 ^{cd}	14.31±0.37 ^d	10.64±0.65 ^a	11.72±0.75 ^{ab}	12.15±0.99 ^b	10.86±0.37 ^a	12.80±0.37 ^{bc}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกัน (a-d) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

เกณฑ์มาตรฐาน ¹ = ไม่เกิน 2% w/w ² = ไม่เกิน 10% v/w ³ = ไม่น้อยกว่า 6% v/w ⁴ = ไม่น้อยกว่า 10% w/w

⁵ = ไม่น้อยกว่า 9% w/w ⁶ = ไม่น้อยกว่า 5% w/w

การตรวจหาปริมาณความชื้นในผงขมิ้นชันที่เตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ (ตารางที่ 2) พบว่า ทั้ง 7 ชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 6.73-8.93 % v/w ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (กำหนดให้มีปริมาณความชื้นต้องไม่เกิน 10.0% โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) แสดงให้เห็นว่าการอบขมิ้นชันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ไม่ทำให้ปริมาณความชื้นของผงขมิ้นชันเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยพบว่าทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่กลุ่มที่ 2 มีปริมาณความชื้นสูงกว่ากลุ่มที่ 1 และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เนื่องจากการผลิตและเก็บตัวอย่างของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มควบคุมเป็นช่วงเวลากลางวันเหมือนกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Singh [6] พบว่าการใช้อุณหภูมิที่ 50-60 องศาเซลเซียส ในสถานะที่แห้งเป็นอุณหภูมิและสถานะที่ดีที่สุดต่อคุณภาพของผงขมิ้นชัน แต่การผลิตและเก็บตัวอย่างของกลุ่มที่ 2 เป็นช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากความชื้นขึ้นอยู่กับไอน้ำในอากาศและความจุไอน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิลดลงทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น [7] ซึ่งช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิลดลงกว่าตอนกลางวัน อากาศมีความชื้นสูง น้ำจะระเหยได้น้อยลง [8] ส่งผลให้กลุ่มที่ 2 มีปริมาณความชื้นที่สูงกว่า แต่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

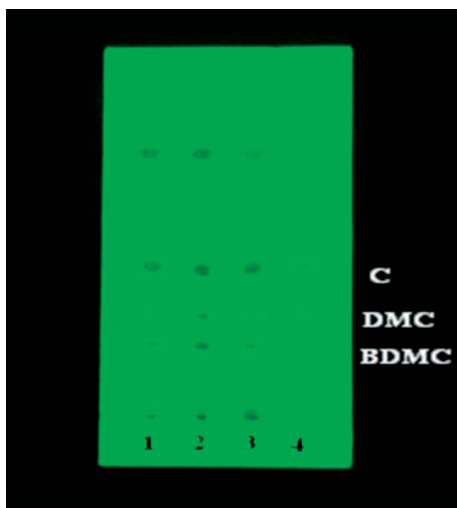
การตรวจหาปริมาณน้ำมันหอมระเหย (ตารางที่ 2) พบว่า ทั้ง 7 ชุดการทดลองมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วง 6.67-7.86% v/w ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (กำหนดให้มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยต้องไม่น้อยกว่า 6.0% โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) ภาพรวมพบว่า ผงขมิ้นชันในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่ากลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ หากพิจารณาปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที และอุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที พบว่า เกินเกณฑ์มาตรฐานเพียง 0.67 และ 1.06 % v/w ตามลำดับ แม้ว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเกินเกณฑ์มาตรฐานมากกว่า แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการนึ่งข้าวเพื่อทำให้มีการสูญเสียปริมาณน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chusri *et al.* [3] พบว่าการนึ่งข้าวเพื่อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดย Chusri *et al.* ศึกษาเฉพาะหัวแม่มขมิ้นชันซึ่งแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่ใช้ทั้งหัวแม่และแงขมิ้นชันปนกัน [10]

การตรวจปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล (ตารางที่ 2) พบว่า ทั้ง 7 ชุดการทดลองมีปริมาณสารสกัดอยู่ในช่วง 14.52-20.58 % w/w ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (กำหนดให้มีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลต้องไม่น้อยกว่า 10.0% โดยน้ำหนัก) เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลมากที่สุด รองลงมา คือ กลุ่มควบคุม และอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวแตกต่างจากงานวิจัยของ Chusri *et al.* [3] ที่พบว่าอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลมากที่สุด สันนิษฐานว่าการใช้ความร้อนที่เหมาะสมในช่วงอุณหภูมิ 115-121 องศาเซลเซียส อาจทำให้สารบางชนิดในขมิ้นชันสามารถละลายในเอทานอลได้มากขึ้น

การตรวจปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ (ตารางที่ 2) พบว่า ทั้ง 7 ชุดการทดลองมีปริมาณสารสกัดอยู่ในช่วง 12.94-15.56 % w/w ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (กำหนดให้มีปริมาณสารสกัดด้วยน้ำต้องไม่น้อยกว่า 9.0% โดยน้ำหนัก) เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณสารสกัดด้วยน้ำมากที่สุด รองลงมา คือ ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที และกลุ่มควบคุม ตามลำดับ การใช้อุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส ทำให้แป้งเกิด gelatinized ดังนั้นการนึ่งข้าวเพื่อที่อุณหภูมิ 105, 110, 115 และ 121 องศาเซลเซียส จะทำให้แป้งที่เป็นส่วนประกอบในแป้งขมิ้นชันเกิด gelatinized ทำให้โครงสร้างของแป้งเปลี่ยนแปลงไป [9] เมื่อตรวจหาปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ อาจทำให้โครงสร้างดังกล่าวละลายออกมาในน้ำได้มาก

การตรวจหาปริมาณเคอร์คูมินอยด์ โดยวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader (ตารางที่ 2) พบว่า มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์อยู่ในช่วง 10.64-14.31 % w/w ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (กำหนดให้มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ต้องไม่น้อยกว่า 5.0% โดยน้ำหนัก เมื่อคำนวณเป็นเคอร์คูมิน) เมื่อทำการวิเคราะห์ พบว่า กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์มากกว่าที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ขณะที่ทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าว (อุณหภูมิ 121 และ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Chusri *et al.* [3] ที่ใช้เฉพาะหัวแม่ขมิ้นชันพบว่า มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Subhadhirasakul [10] ได้รายงานว่ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชันที่มาจากส่วนของหัวแม่มีปริมาณมากกว่าผงขมิ้นชันที่มาจากส่วนของแง ดังนั้นหากพิจารณาปริมาณเคอร์คูมินอยด์ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ซึ่งมีปริมาณ เคอร์คูมินอยด์มากที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งฆ่าเชื้อขมิ้นชัน เพื่อให้การเตรียมผงขมิ้นชันมีคุณภาพเป็นไปตามตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย

จากการศึกษาข้างต้น พบว่า การเตรียมผงขมิ้นชันโดยการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และรองลงมา คือ การนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที ดังนั้นจึงวิเคราะห์ spot ของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ด้วยวิธี TLC และวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยขมิ้นชันด้วยเทคนิค GC-MS ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เพื่อยืนยันคุณภาพของผงขมิ้นชันที่เตรียมจากสภาวะดังกล่าว



ภาพที่ 1 TLC chromatogram ของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในสารสกัดขมิ้นชันที่เตรียมจากสภาวะต่าง ๆ (1-3) และสารมาตรฐานเคอร์คูมิน (4) สารดูดซับ (stationary phase): Si-60GF₂₅₄ ระบบนำพาสาร (solvent system): CHCl₃: C₆H₆: MeOH (47.5: 47.5: 5) ตรวจสอบภายใต้แสง UV 254

1 = สารสกัดจากขมิ้นชันนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที

2 = สารสกัดจากขมิ้นชันนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที

3 = กลุ่มควบคุม C = Curcumin DMC = Demethoxycurcumin และ BDMC = Bisdemethoxycurcumin

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ spot ของสารกลุ่มเทอร์คูมินอยด์ด้วยวิธี TLC

ระบบนำพาสาร	อัตราส่วน	ค่า R_f		
		C	DMC	BDMC
คลอโรฟอร์ม: เบนซีน: เมทานอล	47.5: 47.5: 5.	0.43	0.29	0.20
คลอโรฟอร์ม: เบนซีน: เอทานอล [11]	45: 45: 10	0.40	0.35	0.25

ตารางที่ 4 องค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยขมิ้นชัน

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)				
	121°C 15 นาที	115°C 15 นาที	control	Asghari <i>et al.</i> [11]	Leela <i>et al.</i> [12]
p-Cymene	0.37	0.91	1.14	0.40	3.00
1,8-Cineole	0.54	0.23	1.36	0.40	2.40
ar-Curcumene	1.90	2.08	2.18	0.80	6.30
Zingiberene	1.98	2.16	1.82	1.50	tr
β -Sesquiphellandrene	3.30	3.48	3.24	1.30	2.60
β -Turmerone	28.34	28.64	32.49	-	10.60
ar-Turmerone	30.64	29.48	25.79	68.90	31.10
α -Turmerone	19.26	18.29	18.47	20.90	10.00

หมายเหตุ - = ไม่รายงาน tr = ตรวจพบน้อยมาก

การวิเคราะห์ spot ของสารกลุ่มเทอร์คูมินอยด์ด้วยวิธี TLC ในสารสกัดขมิ้นชัน (ภาพที่ 1) พบว่า การนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 และ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที มี spot ของสารกลุ่มเทอร์คูมินอยด์ 3 ชนิด คือ Curcumin (C), Demethoxycurcumin (DMC) และ Bisdemethoxycurcumin (BDMC) ซึ่งไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม เมื่อคำนวณค่า R_f พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Asghari [11] (ตารางที่ 3) การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยขมิ้นชันด้วยเทคนิค GC-MS (ตารางที่ 4) พบว่า ภาพรวมทั้ง 3 ชุดการทดลองมีองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยเหมือนกัน ได้แก่ p-Cymene, 1,8- Cineole, ar-Curcumene, Zingiberene, β -Sesquiphellandrene, β -Turmerone, ar-Turmerone และ α -Turmerone โดยองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยขมิ้นชันทั้ง 3 ชุดการทดลองเป็นสารกลุ่ม sesquiterpenes 3 ชนิด คือ ar-Turmerone, β -Turmerone, และ α -Turmerone ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า [11-13] ดังนั้นคุณภาพของผงขมิ้นชันที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 และ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที จึงไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า การนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที และที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดในตารางมาตรฐานยาสมุนไพรไทย (ตารางที่ 1) และเมื่อพิจารณาปริมาณสารสำคัญ (ตารางที่ 2) พบว่าการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์มากที่สุด โดยมีปริมาณมากกว่าเมื่อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และพบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเกินเกณฑ์มาตรฐานเพียง 0.67 และ 1.06 % v/w ตามลำดับ ดังนั้นการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งฆ่าเชื้อขมิ้นชัน แต่การนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส 15 นาที อาจเป็นอีกวิธีที่สามารถใช้เตรียมผงขมิ้นชันที่มีคุณภาพได้เช่นกัน จึงควรทำการศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ รวมทั้งความคงตัวของปริมาณสารสำคัญในผงขมิ้นชันระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มเติม และในอนาคตควรมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งฆ่าเชื้อสมุนไพรอื่น ๆ ที่ใช้เหง้าเป็นยา เช่น ไพล กระเทียม เป็นต้น เพื่อให้การเตรียมผงสมุนไพรดังกล่าวให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนวิจัย คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการแห่งชาติด้านยา. (2549). **บัญชียาจากสมุนไพร พ.ศ. 2549 ตามประกาศคณะกรรมการแห่งชาติด้านยา(ฉบับที่ 5) พ.ศ. 2549 เรื่องบัญชียาหลักแห่งชาติ พ.ศ. 2547 (ฉบับที่ 4)**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- [2] จิตรัตน์ บุญรอด, อภิรักษ์ ศักดิ์เพชร และ ภูริทัต รัตนศิริ. (2551). คุณภาพของวัตถุดิบและยาขมิ้นชันและฟ้าทะลายโจรที่ใช้ในภูมิภาค. **วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก**, 6 (1), 32-41.
- [3] Chusri, C., Subhadhirasakul, S., Tahyoh, N., Billateh, C., Chaowuttikul, C., Chorachoo, J. and Voravuthi kunchai, S.P. (2012). Effect of Different Decontamination Methods on Microbiological Aspects, Bioactive Constituents and Antibacterial Activity of Turmeric (*Curcuma longa* Linn.) Powder. **European Journal of Medicinal Plants**, 2 (4), 276-289.
- [4]. Thai Herbal Pharmacopoeia. (1998). **Thai Herbal Pharmacopoeia**; Khamin Chan. Thai Pharmacopoeia Section, Bureau of Drug and Narcotic, Department of Medical Sciences, Prachachon Co Ltd., Ministry Of Public Health, Bangkok, Thailand.
- [5] Thai Herbal Pharmacopoeia. (2009). **Thai Herbal Pharmacopoeia; Microbial Limit Tests**. Thai Pharmacopoeia Section, Bureau of Drug and Narcotic, Department of Medical Sciences, Prachachon Co Ltd., Ministry of Public Health, Bangkok, Thailand.
- [6] Singh, G., Arora, S., and Kumar, S. (2009). Effect of Mechanical Drying Air Conditions on Quality of Turmeric Powder. **J Food Sci Technol**, 3 (47), 347-350.

- [7] Lutgens, F.R. and Tarbuck, E.J. (1979). *The Atmosphere : an Introduction to Meteorology*. New Jersey : 70.
- [8] สวนิต โกมลจินดา. (2003). **การศึกษาอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย สำหรับการประยุกต์เพื่อการศึกษาภูมิอากาศในอดีต** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารวิทยาศาสตร , มหาวิทยาลัยมหิดล).
- [9] Liu, H., Yu, Long., Dean, K., Simon, G., Petinakis, E. and Chen, L. (2009). Starch Gelatinization under Pressure Studied by High Pressure DSC. **Journal Devoted to Scientific and Technological Aspects of Industrially Relevant Polysaccharides**, 3 (75), 395-400.
- [10] Subhadhirasakul, S., Wangvarodom, S. and Ovattarnporn, C. (2007). The Content of Active Constituents of Stored Sliced and Powdered Preparations of Turmeric Rhizomes and Zedoary (Bulb and Finger) Rhizomes. **Songklanakarin J. Sci. Technol**, 29, 1527-1536.
- [11] Asghari, G., Mostajeran, A. and Shebli, M. (2009). Curcuminoid and Essential Oil Components of Turmeric at Different Stages of Growth Cultivated in Iran. **Research in Pharmaceutical Sciences**, 4 (1), 55-61.
- [12] Leela, N.K., Tava, A., Shafi, P.M., John, S.P. and Chempakam, B. (2002). Chemical Composition of Essential Oils of Turmeric (*Curcuma longa* L.). **Acta Pharm.**, 52, 137-141.
- [13] Manzan, A.C.C.M., Toniolo, F.S., Bredow, E. and Povh, N.P. (2003). Extraction of Essential Oil and Pigments from *Curcuma longa* [L.] by Steam Distillation and Extraction with Volatile Solvents. **J. Agric. Food Chem.**, 51, 6802-6807.

การเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ Choosing Statistics in Data Analysis for Health Science Research

บุญญพัฒน์ ไชยเมธ^{1*}
Bhunyabhadh Chaimay^{1*}

บทคัดย่อ

การเลือกใช้สถิติที่ถูกต้องและเหมาะสมสามารถลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล บทความนี้มุ่งเน้นการเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพโดยเฉพาะบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข สำหรับการเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพมีองค์ประกอบในการพิจารณาที่สำคัญ คือ 1) ข้อมูล ตัวแปรและระดับการวัดของข้อมูล 2) การทดสอบทางสถิติ 3) คำถามวิจัย และ 4) ประเภทของสถิติ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีความสำคัญและเชื่อมโยงสู่การเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สุขภาพอย่างถูกต้องและเหมาะสม นอกจากนี้ สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกออกเป็น สถิติพารามетริก และสถิตินอนพารามетริก ซึ่งสถิติทั้งสองประเภทมีข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ดังนั้น การวางแผนที่ดีสำหรับการเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลส่งผลต่อการนำเสนอข้อมูลที่ต้องและเหมาะสม ต่อไป

คำสำคัญ : สถิติ การวิเคราะห์ข้อมูล การวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ

Abstract

Choosing an accurate and appropriate statistics in data analysis are to decrease bias during the process of analysis. The purpose of this article is to emphasize on choosing statistics in data analysis for health science research. In particular, it is benefit for medical and health personnel. The component of choosing an appropriate statistics in health science research comprises of 1) data, variables and scale of measurement 2) statistics testing 3) research question and 4) type of statistics. Those components are linked to choosing an appropriate and accrual statistics in health science. In addition, statistical testing is divided into two major type such as; parametric and non-parametric statistics which have different assumptions. Hence, well-planned and organized into using an appropriate statistics is resulting to appropriate data presentation.

Keywords: Statistics, Data Analysis, Health Science Research

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

*Corresponding: โทรศัพท์/โทรสาร 074-693-997 อีเมล bchaimay@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพมีความก้าวหน้าและพัฒนาไปอย่างมาก โดยเฉพาะการนำองค์ความรู้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในการดูแลสุขภาพและพัฒนาคุณภาพชีวิต นอกจากนี้ องค์กรทางสุขภาพต่างมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้ความรู้จากงานวิจัยในการพัฒนาระบบงานในทุกระดับ ดังนั้น การทำวิจัยให้สำเร็จผู้วิจัยต้องดำเนินการวิจัยตามกระบวนการอย่างถูกต้อง [1] อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้สถิติที่ถูกต้องและเหมาะสมสามารถลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อมูล และส่งผลให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

“สถิติ” เป็นศาสตร์ที่ใช้ในการค้นหาข้อเท็จจริง [2] และมีความหมายหลายลักษณะ [3] ได้แก่ 1) ตัวเลขหรือข้อมูลสถิติ 2) ศาสตร์ที่เกี่ยวกับวิธีการศึกษาข้อมูลหรือระเบียบวิธีทางสถิติ [1] และ 3) วิชาสถิติ นอกจากนี้ สถิติเป็นเครื่องมือการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ [4] มีขั้นตอนที่สำคัญในการวิจัย การทดสอบทางสถิติเป็นการแปลงข้อมูลดิบสู่ผลการศึกษาที่มีความหมายและสามารถประยุกต์ใช้ต่อไป อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้สถิติได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมส่งผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ความแม่นยำและความน่าเชื่อถือจากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพพบว่า ประมาณ 2 ใน 3 มีข้อบกพร่องในการเลือกใช้สถิติทั้งสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน [5] และจากงานวิจัยที่เผยแพร่ตีพิมพ์ในวารสารทางวิทยาศาสตร์สุขภาพพบว่า มีการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนาเพียงอย่างเดียว (47%) และสถิติเชิงอนุมาน (31%) และสถิติพหุตัวแปร (22%) และสถิติขั้นสูง (19%) [6]

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยสถิติที่ไม่เหมาะสม [4] ส่งผลต่อการวิเคราะห์ การแปลผลที่ผิดพลาดและเป็นการลดคุณค่างานวิจัย นอกจากนี้การเลือกใช้สถิติยังเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาสนับสนุนทฤษฎี [7] การตัดสินใจเชิงนโยบายในกรณีที่ต้องใช้ข้อมูลหรือผลการศึกษาจากงานวิจัย (Evidence-based) ดังนั้น การเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมผู้วิจัยควรเริ่มจากวางแผนตั้งแต่โครงร่างวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับบทความนี้ มุ่งเน้นการเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สุขภาพโดยเฉพาะบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุขเพื่อใช้ประโยชน์ในการเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับวิทยาศาสตร์สุขภาพต่อไป

ข้อควรพิจารณาการเลือกใช้สถิติ

สำหรับการพิจารณาการเลือกใช้สถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ [4, 8-11] ควรคำนึงถึงประเด็นสำคัญ ดังนี้ 1) ตัวแปร ข้อมูล ระดับการวัดของข้อมูล 2) การทดสอบทางสถิติ 3) คำถามวิจัยหรือวัตถุประสงค์ และ 4) ประเภทของสถิติโดยมีรายละเอียด ดังนี้

ข้อมูลและตัวแปร และระดับของตัวข้อมูล

ข้อมูล คือ ข้อเท็จจริงที่ได้จากการวัด หรือสังเกต อาจอยู่ในรูปของตัวเลขหรือข้อความ [3, 12] ข้อมูลการวิจัยจำแนกเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data) และข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับระดับการวัดของข้อมูล [13] สำหรับตัวแปร (Variables) มีคุณลักษณะหรือคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ [3, 15] ทั่วไปแบ่งออกเป็น 1) ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent variables) คือ ตัวแปรเหตุหรือก่อให้เกิดการแปรผันของปรากฏการณ์ และ 2) ตัวแปรตาม (Dependent variables) คือ ตัวแปรที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ และเป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยมุ่งวัดหรือผลลัพธ์ (Outcomes)

ในส่วนของระดับการวัดของข้อมูล (Scale of measurement) [3, 15-18] จำแนกเป็นระดับนามบัญญัติ (Nominal scale) ระดับเรียงลำดับ (Ordinal scale) ระดับอันตรภาค (Interval scales) และระดับสัดส่วน (Ratio scale) หรือจำแนกออกเป็น 2 ประเภท [1, 14] คือ ข้อมูลแจกแจง (Category) และข้อมูลต่อเนื่อง (Continuous) สำหรับข้อมูลข้อมูลแจกแจง [4] คือ ข้อมูลในระดับนามบัญญัติและระดับเรียงลำดับ ส่วนข้อมูลต่อเนื่อง คือ ข้อมูลในระดับอันตรภาคและระดับสัดส่วน

การทดสอบทางสถิติ

การทดสอบทางสถิติเป็นการสรุปหาคำตอบจากกลุ่มตัวอย่างสู่กลุ่มประชากร [19] มีขั้นตอนที่สำคัญ [10, 14] ดังนี้ 1) การกำหนดคำถามวิจัยหรือวัตถุประสงค์ 2) การกำหนดสมมติฐาน 3) การพิจารณาเลือกสถิติที่เหมาะสม 4) การกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ 5) การทดสอบทางสถิติและการพิจารณาผลการวิเคราะห์และ 6) การแปลผล ในส่วนการทดสอบทางสถิติจำแนกเป็นการประมาณค่า และการทดสอบสมมติฐาน

การประมาณค่า (Estimation) เป็นวิธีการทดสอบทางสถิติเพื่ออธิบายลักษณะของประชากร[4, 14] หรืออ้างอิงข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างสู่กลุ่มประชากร[12, 13, 20] ค่าที่ได้จากการประมาณค่าในกลุ่มประชากร คือ ค่าพารามิเตอร์ (Parameters: μ , σ , P) [21, 22] และค่าที่ได้จากการประมาณค่าในกลุ่มตัวอย่าง คือ ค่าสถิติ (Statistics: $\bar{X}$, SD, p) [1, 13, 21, 22] การประมาณค่าจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ การประมาณค่าแบบจุด (Point estimation) และการประมาณค่าแบบช่วง (Interval estimation) สำหรับการประมาณค่าแบบจุดเป็นการประมาณค่าเพียงค่าเดียว ซึ่งผลจากการประมาณค่ามีโอกาสเท่ากับค่าจริงได้น้อย และเกิดโอกาสความคลาดเคลื่อนได้มาก สำหรับการประมาณค่าแบบช่วงเป็นการกำหนดช่วงความกว้างของค่าพารามิเตอร์ที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์ที่มีอยู่จริงในกลุ่มประชากร [14] นอกจากนี้การประมาณค่าแบบช่วงยังเป็นตัวบ่งชี้ความแม่นยำของการศึกษา สำหรับการคำนวณช่วงเชื่อมั่น (Confident interval) [13] มักกำหนดช่วงเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (95 percent confident interval: 95%CI) [14] โดยที่ร้อยละ 95 ครั้ง ของการศึกษาจะปรากฏค่าเฉลี่ยของประชากรในช่วงดังกล่าว

การวิจัยเป็นการค้นหาคำตอบหรือความเป็นระบบ [12] เพื่ออ้างอิงผลการศึกษากลุ่มประชากร [14, 23] วิธีการดังกล่าวเรียกว่า “การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing)” [3] หรือ “การทดสอบนัยสำคัญ (Test of significance)” [13] โดยการตั้งคำถามเพื่อคาดคะเนคำตอบ [22] ในลักษณะ ข้อความที่คาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ตามคำถามหรือวัตถุประสงค์การวิจัย [13] การสมมติฐานจำแนกออกเป็น สมมติฐานการวิจัย และสมมติฐานทางสถิติ

สำหรับสมมติฐานการวิจัย (Research hypothesis) เป็นข้อความที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นการพยากรณ์คำตอบจากการวิจัย โดยนำเหตุผล ประสบการณ์ องค์ความรู้ หรือผลจากการวิจัยที่ผ่านมาประกอบการพิจารณาการ และการเขียนสมมติฐานการวิจัยเป็นการแสดงลักษณะของความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ในขณะที่สมมติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis) อยู่ในรูปของโครงสร้างทางคณิตศาสตร์และใช้สัญลักษณ์แทนข้อความหรือตัวแปรเพื่อใช้ในการทดสอบทางสถิติจำแนกเป็นสมมติฐานว่าง (Null hypothesis: H_0) และสมมติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis: H_1) สมมติฐานว่างเป็นสมมติฐานมีลักษณะเป็นกลาง และใช้สัญลักษณ์ค่าพารามิเตอร์ของประชากรแทน เช่น ค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) และความแปรปรวนของประชากร (σ^2) และในลักษณะ “ไม่มีความสัมพันธ์” หรือ “ไม่มีความแตกต่าง” [4] ในขณะที่สมมติฐานทางเลือกเป็นสมมติฐานตรงข้ามกับสมมติฐานว่าง และเขียนในลักษณะ “ความแตกต่าง” หรือ “ความสัมพันธ์”

การสรุปผลจากสมมติฐานโดยเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Alpha: α) ที่ 0.01 หรือ 0.05 อย่างไรก็ดีตาม การทดสอบสมมติฐานอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ เช่น ความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 (Type 1 error) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อปฏิเสธสมมติฐานว่างในขณะที่สมมติฐานว่างถูกต้อง และความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 2 (Type 2 error) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อไม่ปฏิเสธสมมติฐานว่าง ในขณะที่สมมติฐานว่างกล่าวผิด

ความสัมพันธ์ระหว่างการวิจัยและการเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

คำถามหรือวัตถุประสงค์การวิจัยเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินการวิจัย [8] และเป็นสิ่งกำหนดทิศทางในการทำงานเพื่อเชื่อมโยงสู่การพิจารณาการเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูล [15, 16] คำถามหรือวัตถุประสงค์การวิจัย

จำแนกเป็น 1) วัตถุประสงค์เพื่อการพรรณนา เป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องการพรรณนาลักษณะ ธรรมชาติของการเกิดโรค เช่น ความชุก อุบัติการณ์การเกิดโรค เป็นต้น 2) วัตถุประสงค์เพื่อการเปรียบเทียบ ศึกษาความสัมพันธ์ หรือเพื่อการทำนาย และ 3) วัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม จากความสัมพันธ์ในวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ควรเลือกใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) และวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 และ 3 ควรเลือกใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics) ในการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น

ประเภทของสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกเป็น [1] 1) สถิติเชิงพรรณนา และ 2) สถิติเชิงอนุมาน สถิติเชิงพรรณนา [15] เป็นสถิติที่ใช้สำหรับการอธิบายคุณลักษณะของข้อมูล [24] เป็นสถิติที่ง่ายที่สุดในการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล การแปลผลไม่ซับซ้อน สถิติเชิงพรรณนาจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measure of central tendency) และการวัดการกระจาย (Measure of dispersion หรือ variability)

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นการวัดทางสถิติเบื้องต้น [21] และควรคำนึงถึง [17] 1) การเป็นตัวแทนของข้อมูล และ 2) การกระจายของข้อมูล ค่าสถิติที่ใช้ในการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) มัธยฐาน (Mean) และฐานนิยม (Mode) โดยที่ค่าเฉลี่ย คือ ค่ากลาง [14] หรือค่าที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด สำหรับค่ามัธยฐาน คือ ค่ากลางของชุดข้อมูลจากการเรียงลำดับ [14] ในขณะที่ฐานนิยม คือ ค่าความถี่ของข้อมูลที่ซ้ำกันมากที่สุด

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางมีความสัมพันธ์กับการกระจายของข้อมูล [21] ซึ่งข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำมากเกินไปกว่าปกติ (Outliers) มีโอกาสทำให้การวัดมีคลาดเคลื่อน [14]โดยที่ลักษณะการแจกแจงที่ดีต้องมี 1) การกระจายแบบโค้งปกติ (Normal distribution) ซึ่งค่าที่ได้จากการวัด [1, 4] ระหว่างค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยมจะมีค่าเท่ากัน หรือลักษณะของการกระจายแบบที่สมมาตร (Normal distribution, Gaussian distribution หรือ bell-shaped) 2) ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายแบบเบ้ [1, 25] จำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ เบ้ขวา (Positively skewed distribution หรือ right-skewed) และเบ้ซ้าย (Negatively skewed distribution หรือ left-skewed) ค่าที่ได้จากการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางจะมีความแตกต่างกันในกรณีการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับข้อมูลระดับนามบัญญัติ และเรียงอันดับการนำเสนอด้วยร้อยละ เหมาะสมที่สุด เนื่องจากข้อมูลประเภทดังกล่าวไม่มีคุณสมบัติในเชิงคำนวณ สำหรับข้อมูลระดับอันตรภาคและระดับสัดส่วนควรนำเสนอด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [15, 18]

สำหรับการวัดการกระจายเป็นการวัดการกระจายของข้อมูลดิบจากค่าเฉลี่ย ในกรณีที่ข้อมูลมีความแปรปรวนมาก หมายถึงข้อมูลมีการกระจายมาก [1, 17] การวัดการกระจายพิจารณาได้จากค่าสถิติ ดังนี้ 1) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: SD) คือ การวัดการกระจายหรือความแปรปรวนของชุดข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง (Data variability) หรือความแปรปรวนยกกำลังสอง 2) สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation: CV) คือ การวัดการกระจายของแต่ละตัวแปรเทียบกับค่าเฉลี่ย โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าใกล้ “0” หมายถึง มีการกระจายน้อย ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดข้อมูล และ 3) ค่า Interquartile range (IQR): คือ ค่าความแตกต่างของข้อมูลด้วยระยะห่างในลำดับที่ 3 และลำดับที่ 1 [17] ซึ่งแสดงเป็นลักษณะของพิสัยที่ร้อยละ 50 การนำเสนอด้วยค่า Interquartile range เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีการกระจายแบบอิสระหรือมีชุดข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำมากเกินไปกว่าปกติ [25]

สถิติเชิงอนุมานเป็นสถิติที่ใช้สำหรับการประมาณค่าและทดสอบสมมติฐาน [21] เพื่อเป็นการยืนยันองค์ความรู้หรือค้นพบโดยการจัดข้อโต้แย้ง [15]] และนำข้อค้นพบไปอธิบายหรือสรุปผลสู่กลุ่มประชากร ที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษา (Inference หรือ Generalization) [1, 26] โดยอาศัยหลักของความน่าจะเป็นในการทดสอบ [3, 14] สถิติเชิงอนุมานจำแนกเป็นสถิติพารามेटริก (Parametric statistics) และสถิตินอนพารามेटริก (Non-parametric statistics) โดยที่สถิติพารามेटริกมีอำนาจการทดสอบ (Power of test) สูงกว่าสถิตินอนพารามेटริก [14] ซึ่งสถิติทั้ง 2 ประเภทมีข้อตกลงเบื้องต้นในการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน [26] กล่าวคือ การทดสอบด้วยสถิติพารามेटริกข้อมูลต้องมีการวัดของข้อมูลในระดับอัตราส่วนหรืออัตราส่วน และมีการกระจายแบบโค้งปกติ (Normal distribution) เท่านั้น [4, 14] สำหรับสถิตินอนพารามेटริกนั้น ข้อมูลอยู่ในระดับอัตราส่วนหรืออัตราส่วนซึ่งมีรูปแบบการกระจายของข้อมูลไม่จำกัดรูปแบบ หรือมีระดับการวัดของข้อมูลในระดับนามบัญญัติหรือเรียงอันดับเท่านั้น

นอกจากนี้ ข้อตกลงเบื้องต้นในการเลือกใช้สถิตินอนพารามेटริกในการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้ 1) กลุ่มตัวอย่างมีจำนวนน้อย 2) ข้อมูลมีระดับการวัดแบบเชิงอันดับ 3) ไม่ทราบรูปแบบการกระจายของข้อมูล 4) ชุดข้อมูลมีค่าที่สูงหรือต่ำผิดปกติ (Outliers) และ 5) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของกลุ่มตัวอย่างไม่เท่ากัน

การเลือกสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ

การทดสอบทางสถิติจำแนกตามจำนวนชุดของข้อมูล คือ ข้อมูล 1 กลุ่ม และข้อมูล ≥ 2 กลุ่ม นอกจากนี้ การทดสอบยังสามารถจำแนกออกเป็น [26] การทดสอบความแตกต่าง (Test of difference) การทดสอบความสัมพันธ์ (Test of relationship) และสถิติขั้นสูง (Advanced statistics) สำหรับบทความนี้ มุ่งเน้น การเลือกสถิติโดยการจำแนกจำนวนชุดของข้อมูลตัวแปรตาม ดังแสดงในภาพที่ 1

การทดสอบทางสถิติสำหรับข้อมูล 1 กลุ่ม แบ่งตามลักษณะของข้อมูลออกเป็น ตัวแปรที่มีระดับการวัดแบบเชิงอันดับทดสอบด้วยสถิติ Pearson Chi-square test และ Fisher exact test ในกรณีที่ตัวแปรที่มีระดับการวัดแบบต่อเนื่อง ซึ่งก่อนทำวิเคราะห์ข้อมูลหรือทดสอบทางสถิติควรมีการทดสอบการกระจายของข้อมูลทุกครั้งว่ามีการกระจายแบบโค้งปกติหรือไม่ด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit-test [4] เพื่อใช้ในการตัดสินใจ สำหรับชุดข้อมูลที่มีการกระจายแบบโค้งปกติทำการทดสอบด้วยสถิติ One sample t-test และสถิติ Wilcoxon signed-rank test สำหรับข้อมูลที่ไม่มีการกระจายแบบโค้งปกติ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล 2 กลุ่มการเลือกสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลพิจารณาจากระดับการวัดของตัวแปรตาม และความเป็นอิสระของข้อมูล ในกรณีที่ตัวแปรตามมีระดับการวัดแบบเชิงอันดับและมีความเป็นอิสระต่อกันสถิติที่ใช้ Pearson chi-square test และ Fisher exact test นอกจากนี้ ในกรณีที่ข้อมูล 2 ชุด ไม่มีอิสระต่อกันสถิติที่ควรใช้ คือ McNemar test

อย่างไรก็ตาม สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ Pearson chi-square test และ Fisher's exact test มีข้อตกลงเบื้องต้นในการทดสอบที่แตกต่างกัน [27] กล่าวคือ การเลือกใช้สถิติ Pearson chi-square test ควรพิจารณาของขนาดกลุ่มตัวอย่าง (Observed value) ในแต่ละ Cell สำหรับตาราง 2×2 หรือ $M \times N$ ไม่น้อยกว่า 5 และควรมีค่าความคาดหวัง (Expected value) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามข้อตกลงดังกล่าวข้างต้นควรยุบตารางให้เหลือตาราง 2×2 และสถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ คือ สถิติ Fisher exact test

สำหรับตัวแปรตามที่มีระดับการวัดต่อเนื่อง (Continuous data) เบื้องต้นควรทดสอบการกระจายของข้อมูลทุกครั้งว่ามีการกระจายแบบโค้งปกติหรือไม่ [14] ในกรณีที่มีการกระจายแบบโค้งปกติสามารถทดสอบด้วยสถิติพารามेटริก คือ Independent t-test สำหรับข้อมูลที่มีความอิสระต่อกัน และสถิติ Paired t-test สำหรับข้อมูลไม่อิสระต่อกัน นอกจากนี้ ข้อมูลที่ไม่มีการกระจายแบบโค้งปกติสถิตินอนพารามेटริกที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ สถิติ Mann-Whitney U test สำหรับข้อมูลที่มีอิสระต่อกัน และสถิติ Wilcoxon signed-rank test สำหรับข้อมูลที่ไม่อิสระต่อกัน

ในกรณีข้อมูลจำนวน ≥ 2 กลุ่ม การพิจารณาเลือกสถิติสำหรับตัวแปรที่มีระดับการวัดแรงแงนับมีลักษณะเช่นเดียวกันกับที่กล่าวในข้างต้น โดยพิจารณาจากระดับการวัดของข้อมูล และความเป็นอิสระต่อกัน [14] สำหรับข้อมูลมีความอิสระต่อกันสถิติที่ใช้ คือ Pearson chi-square test และข้อมูลที่ไม่อิสระต่อกัน คือ Cochran Q test ในกรณีประเภทข้อมูลต่อเนื่องและข้อมูลมีการกระจายแบบโค้งปกติและไม่อิสระต่อกันสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ สถิติ Repeated ANOVA ส่วนสถิติ One-way ANOVA ใช้ในกรณีกลุ่มตัวอย่างมีความอิสระต่อกันนอกจากนี้ ในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการกระจายแบบโค้งปกติและข้อมูลมีความอิสระต่อกันควรใช้สถิติ Friedman test และข้อมูลที่ไม่อิสระต่อกันใช้สถิติ Kruskal-Wallis test ในการทดสอบ

นอกจากนี้ การเลือกใช้สถิติในการทดสอบความสัมพันธ์และการทำนาย ซึ่งสถิติดังกล่าวมีข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้สถิติเช่นเดียวกับการเลือกใช้สถิติในกรณีข้อมูล 1 กลุ่ม และ ≥ 2 กลุ่ม [14] โดยพิจารณาจากประเภทระดับการวัดของตัวแปรตาม และตัวแปรต้น ในกรณีการเลือกใช้สถิติในการทดสอบความสัมพันธ์และการทำนายสำหรับตัวแปรตามที่มีระดับการวัดประเภทแรงแงนับ [14] ส่วนตัวแปรต้นสามารถเป็นได้ทั้งตัวแปรแรงแงนับและตัวแปรต่อเนื่อง คือ Simple logistic regression analysis ในกรณีที่ตัวแปรตามเป็นประเภทต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นเป็นชนิดต่อเนื่องและ/หรือแรงแงนับสถิติที่ใช้ คือ Simple linear regression analysis

นอกจากนี้ การพิจารณาการเลือกใช้สถิติในการทดสอบความสัมพันธ์และการทำนายด้วยวิธีการทดสอบพหุตัวแปร (Multivariate analysis) [23, 28-29] ซึ่งวัตถุประสงค์ของการทดสอบดังกล่าวเพื่อเป็นการทดสอบความสัมพันธ์หรือการทำนายด้วยสมการถดถอย (Regression modeling) ระหว่างตัวแปรต้น (X_s) และตัวแปรตาม (Y) โดยมีการควบคุมตัวแปรกวน (Confounding factors หรือ Multicollinearity) ในกรณีมีระดับการวัดของตัวแปรตามประเภทต่อเนื่องควรใช้สถิติ Multiple regression analysis สำหรับการศึกษาทดสอบด้วยสถิติ Multiple logistic regression analysis เป็นการทดสอบที่เหมาะสมกับตัวแปรตามที่มีระดับการวัดประเภทแรงแงนับ และเป็นชนิด 2 ตัวแปร (Dichotomous หรือ binary outcome) เท่านั้น

บทสรุป

การเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมสำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพมีองค์ประกอบในการพิจารณาหลายประการ คือ 1) ข้อมูล ตัวแปรและระดับการวัดของข้อมูล 2) การทดสอบทางสถิติ 3) ค่าถามวิจัย และ 4) ประเภทของสถิติซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีความสำคัญและเชื่อมโยงสู่การเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สุขภาพอย่างถูกต้องและเหมาะสม

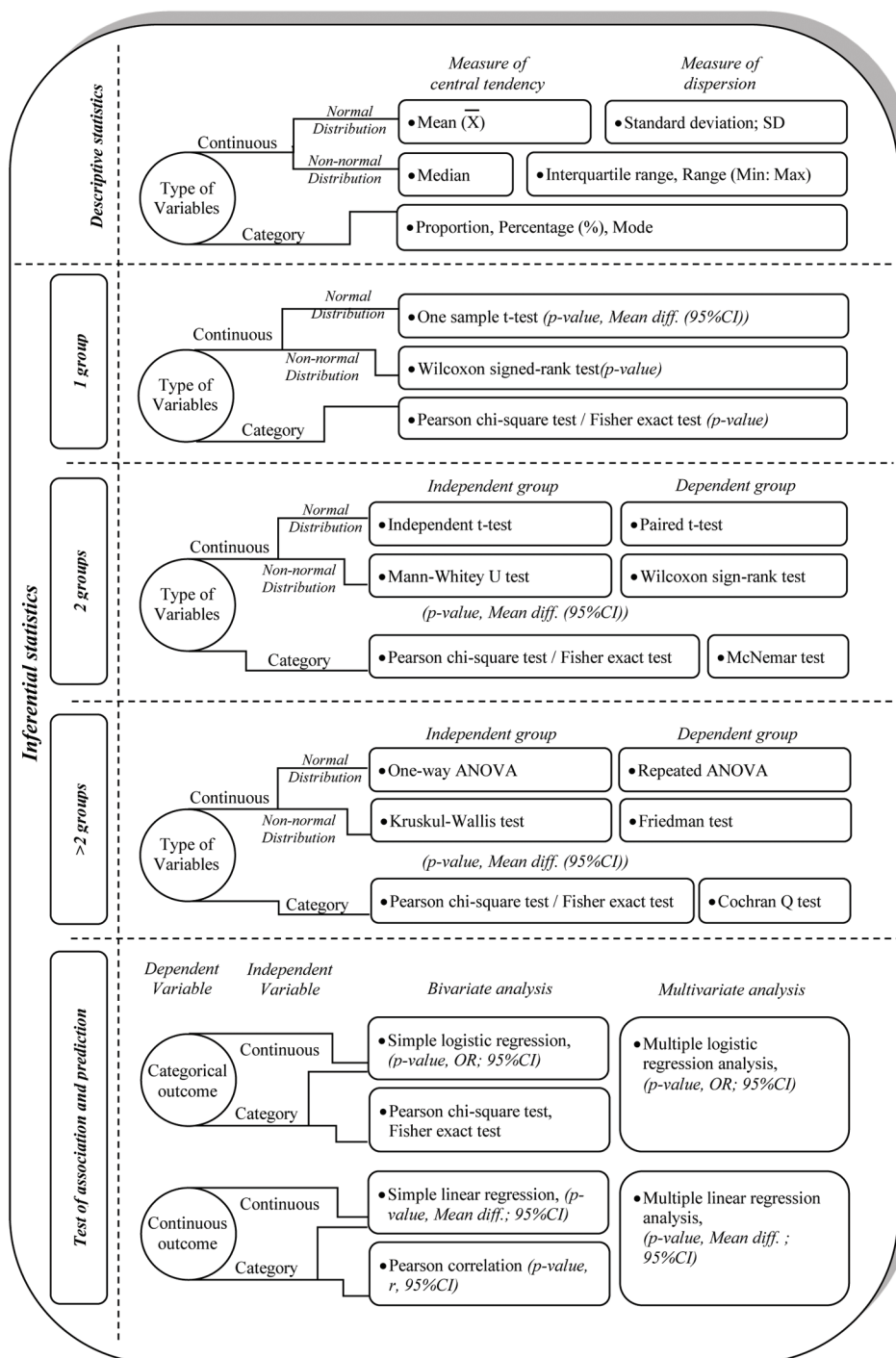
การดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยควรพิจารณาและวางแผนในการเก็บข้อมูลอย่างละเอียด และทำความเข้าใจถึงวัตถุประสงค์การวิจัย ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาว่ามีวัตถุประสงค์เพื่อการใด เช่น วัตถุประสงค์เพื่อการพรรณนา เปรียบเทียบ ทดสอบความสัมพันธ์หรือการทำนาย นอกจากนี้ สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ สถิติพารามетริกและสถิตินอนพารามетริก ซึ่งสถิติทั้งสองประเภทมีความแตกต่างกัน โดยที่สถิติพารามетริกเป็นการทดสอบโดยใช้ข้อมูลที่มีการกระจายแบบโค้งปกติ และสถิติเป็นการทดสอบโดยใช้ข้อมูลที่ไม่มีการกระจายแบบโค้งปกติ ซึ่งแต่ละประเภทมีการเลือกใช้โดยขึ้นอยู่กับระดับการวัดของตัวแปรตามและข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติแต่ละประเภท

ดังนั้น ผู้วิจัยควรมีการวางแผนในการเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลที่ถูกต้องและเหมาะสม ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Perez-Vicente S, Exposito Ruitz M. (2009). Descriptive statistics. *Allergol Immunopathol (Madr)*. 2009; 37(6): 314-320.
- [2] เชิดศักดิ์ โฆวาสินธุ์. (2531). สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย. *วารสารการพัฒนการศึกษา*. 10(29): 7-19.
- [3] นิภา เมธาวีชัย. (2543). สถิติสำหรับการวิจัย. *วารสารเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและงานวิจัย*. 9: 123-150.
- [4] Song JW, Haas A, Chung KC. (2009). Application of statistical tests in hand surgery. *J Hand Surg*. 34: 1872-1881.
- [5] Cruess DF. (1989). Review of use of statistics in THE AMERICAN JOURNAL OF TROPICAL MEDICINE AND HYGIENE FOR JANUARY-DECEMBER 1988. *Am. J. Trop. Med. Hyg*. 41(6): 619-529.
- [6] Goldin J, Zhu W, Sayre JW. (1996). A review of the statistical analysis used in papers published in Clinical Radiology and British Journal of Radiology. *Clinical Radiology*. 51: 47 -50.
- [7] อรุณ จิรวัดน์กุล. (2549). การเขียนวิธีวิเคราะห์ทางสถิติในโครงร่างวิจัย. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*. 15(5): 661-662.
- [8] Jaykaran. (2010). How to select appropriate statistical test? *J Pharm Negat Results*. 2010;1(2) :61-63.
- [9] Nam CM, Chung SY. (2012). Statistical methods for medical studies. *J Korean Med Assoc*. 55(6): 573 - 581.
- [10] du Prel JB, Röhrig B, Hommel G, Blettner M. (2010). Choosing statistical tests: part 12 of a series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int*. 107(19): 343-348.
- [11] Soyemi K. (2012). Research and statistics: Choosing the right statistical test. *Pediatrics in Review*. 33(5): e38-e44.
- [12] บุญมี พันธุ์ไทย. (2553). การใช้วิธีการทางสถิติในการทำวิจัย. *วารสารรามคำแหง*. 27(4): 37-52.
- [13] สมรัตน์ เลิศมหาฤทธิ์. (2543). สถิติในการวิจัย. ใน: ภิรมย์ กมลรัตนกุล, มนต์ชัย ขาลาประวรรตน์, ทวีสิน ต้นประยูร. *หลักการวิจัยให้สำเร็จ*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.
- [14] Overholser BR, Sowinski KM. (2007). Biostatistics Primer: Part I. *Nutr Clin Pract*. 22(6): 629-635.
- [15] อนันต์ เกิดดำ. (2552). แนวทางการเลือกใช้สถิติในการวิจัย. *คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีขั้นสูง*. 10: 8-14.
- [16] บุญเรือง ศรีเหรียญ. (2542). การเลือกใช้สถิติในการวิจัย. *วารสารเพชรบุรีวิทยาลัยการณ.*: 28-39.
- [17] Fisher MJ, Marshall AP. (2009). Understanding descriptive statistics. *Australian Critical Care*. 22: 93-97.
- [18] Thompson CB. (2009). Descriptive data analysis. *Air Medical Journal*. 28(2): 56-59.
- [19] อรุณ จิรวัดน์กุล. (2548). การเลือกตัวอย่าง และการอนุมานด้วยสถิติ. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*. 14(5): 739-740.
- [20] อรุณ จิรวัดน์กุล, มาลินี เหล่าไพบุลย์, จิราพร เขียวอยู่, ยุพา ถาวรพิทักษ์, จารุวรรณ โชคคณาพิทักษ์, บัณฑิต ถิ่นคำพร และคณะ. (2550). *ชีวสถิติ*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังน่านวิทยา.
- [21] สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร. (2537). การนำเสนอข้อมูลด้วยสถิติ. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 4(1): 10-25.
- [22] Wissing DR, Timm D. (2012). Statistics for the nonstatistician: Part I. *Southern Medical Association*. 105(3): 126-130.

- [23] Kocher MS, Zurakowski D. (2004). Clinical epidemiology and biostatistics: A primer for orthopaedic surgeons. *J Bone Joint Surg Am.* 86: 607-620.
- [24] มณีรัตน์ ชีระวิวัฒน์. (2543). เทคนิคการเลือกสถิติวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยพฤติกรรมสุขภาพ. *วารสารเพื่อนสุขภาพ.* 12(1): 54-57.
- [25] O'Brien PC. Shampo MA. Robertson JS. (1983). Statistics for nuclear medicine: introduction, descriptive statistics and graphic displays. *The Journal of Nuclear Medicine.* 24(1): 83-88.
- [26] วรณชนก จันทชุม. (2541). การใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยทางการแพทย์. *วารสารคณะพยาบาลศาสตร์.* 21(4): 1-8.
- [27] บุญญพัฒน์ ไชยเมธ. (2553). ข้อควรระวังในการใช้ Chi-square Test ในงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.* 13(1): 55-58
- [28] Leeper JD. The University of California at Los-angles. **What statistical analysis should I use?** Retrieved 11 November 2012 from http://www.ats.ucla.edu/stat/mult_pkg/whatstat/default.htm.



ภาพที่ 1 การพิจารณาการเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ

การลดคอเลสเตอรอลด้วยพืชสกุลส้ม Cholesterol Lowering by Citrus

สมฤทัย จิตภักดีบดินทร์^{1*}
Somrutai Jitpukdeebodintr^{1*}

บทคัดย่อ

มะนาว เป็นพืชสกุลส้มมีสารที่สามารถนำมาใช้ในการลดระดับคอเลสเตอรอลได้ มีสารได้แก่ สารนารินจิน และ เฮสเปอร์ดิน ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ และเส้นใยอาหารเปคติน โดยพบว่า สารนารินจิน และเฮสเปอร์ดินลดระดับคอเลสเตอรอลได้ด้วยกลไกยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทสและ เอนไซม์ เอ ซี เอ ที่ ส่วนเส้นใยอาหารเปคตินช่วยลดคอเลสเตอรอลโดยเพิ่มการขับออกของ คอเลสเตอรอล ด้วยการรวมตัวกับคอเลสเตอรอล, กรดน้ำดี และสเตียรอลที่เป็นกลาง นอกจากนั้นเปคตินยังไปรบกวนการดูดซึมไขมันที่ผนังลำไส้ด้วยการจับกับ กรดน้ำดี ทำให้ไขมันในลำไส้เล็กไม่สามารถรวมตัวเข้ากับน้ำดีได้ จึงไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ ทำให้ไม่เกิดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล

คำสำคัญ : มะนาว ฟลาโวนอยด์ นารินจิน เฮสเปอร์ดิน เปคติน คอเลสเตอรอล

Abstract

Lemon was one of *Citrus* fruits that were able to use as hypo-cholesterolemic substances. There were compounds in lemon, such as naringin and hesperidin which were flavonoids; and dietary fiber: pectin. It was found that cholesterol could be lowered by naringin and hesperidin with the mechanism of inhibition of enzyme HMG-coA reductase and ACAT. While dietary fiber: pectin, could lower cholesterol by increasing cholesterol excretion, binding with cholesterol, bile acid and neutral sterols. Moreover, pectin disturbed the intestinal fat absorption by competing fat emulsification. So intestinal fat could not bind with the bile and enable to absorbed into the cell for cholesterol synthesis.

Keywords: Lemon, Flavonoids, Naringin, Hesperidine, Pectin, Cholesterol

¹ ผศ., ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

* Corresponding author: โทรศัพท์/โทรสาร: 074-288-841 อีเมล Somrutai.j@psu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันระดับไขมันในเลือดมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของคน โดยคนจะระมัดระวังเรื่องการบริโภคอาหารเพื่อให้ไขมันในเลือดสูงกว่าปกติ จากการสำรวจพบว่าสาเหตุการตายที่สำคัญของประชากรโลก คือ โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (Coronary artery disease) และทำให้เป็นโรคหัวใจวาย ในสหรัฐอเมริกาผู้ป่วยด้วยโรคหัวใจวาย (heart attack) ประมาณ 1,250,000 คนต่อปี ซึ่งผู้ป่วยที่รักษาหรือแก้ไขไม่ทันและตายมากกว่า 650,000 คน [1][2] ประเทศไทยแม้จะไม่มีกรรบรวมสถิติที่แน่นอน แต่โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันก็จัดอยู่อันดับต้นๆ ของสาเหตุการตายในประชากรไทยเช่นกัน [1][2] จึงมีผู้พยายามศึกษาและรวบรวมสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคนี้ และพบว่าระดับไขมันในเลือดสูงเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่ง ดังนั้นจึงมีการศึกษาทดลองวิธีการลดระดับไขมันในเส้นเลือด และพบว่ามะนาว ซึ่งเป็นพืชสกุลส้ม (Citrus) มีชีวสาร (Biosubstances) หลายชนิดสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลได้ ได้แก่ สารฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ซึ่งมีสมบัติการเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่โดดเด่น โดยพบสารนารินจิน (Naringin) และเฮสเปอร์ิดิน (Hesperidin) ซึ่งจัดเป็นสารกลุ่มฟลาโวน (Flavone) [3] มีสมบัติลดระดับคอเลสเตอรอลได้ นอกจากนั้นเพคติน (pectin) ซึ่งเป็นสารเส้นใยอาหารในพืชและผลไม้โดยเฉพาะในพืชสกุลส้ม เช่น มะนาว มีสมบัติในการลดระดับคอเลสเตอรอลเช่นกัน [4][5]

สารอาหารจากมะนาวในการลดระดับคอเลสเตอรอล

พืชสกุลส้ม อยู่ในวงศ์ Rutaceae ได้แก่ ส้ม, มะนาว, ส้มโอ, และเกรฟฟรุต (Grapefruit) เป็นต้น เป็นไม้ผลที่ปลูกทั่วไปในประเทศไทยมีการปลูกทั่วทุกภาค เป็นพืชผลที่มีความสำคัญและอยู่คู่วิถีชีวิตของคนไทย โดยเฉพาะมะนาวซึ่งนำมาใช้ในอาหารและเครื่องดื่มในชีวิตประจำวัน จัดเป็นอาหารสุขภาพชนิดหนึ่ง มะนาวมีหลายสายพันธุ์และมีสารอาหาร (dietary substances) รวมทั้งชีวสารที่มีประโยชน์มากมาย [6] ได้แก่

1. โปรตีน (Protein) 0.44 g/100g
2. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) 9.01 g/100g
3. เกลือแร่ (Mineral) ได้แก่ แคลเซียม (calcium) 9 mg/100g, เหล็ก (iron) 0.03 mg/100g, แมกนีเซียม (magnesium) 6 mg/100g, ฟอสฟอรัส (Phosphorus) 7 mg/100g, โพแทสเซียม (Potassium) 109 mg/100g, โซเดียม (Sodium) 1 mg/100g, สังกะสี (Zinc) 0.06 mg/100g, ทองแดง (Copper) 0.03 mg/100g, แมงกานีส (Manganese) 0.008 mg/100g, ซีลีเนียม (Selenium) 0.1 µ/100g
4. วิตามิน (Vitamins) ได้แก่ วิตามิน ซี, บี, เอ, อี, และเค, เบต้าคริปโตแซนทีน (Beta-cryptoxanthin) โดยวิตามินซีมีมากที่สุดถึง 29.3 mg/100g วิตามินบีมีทั้งวิตามินบี-1 (Thiamin), ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) ไนอาซิน (Niacin), กรดแพนโทธีนิก (Pantothenic Acid), โฟเลตและกรดโฟลิก (Folate and Folic Acid), วิตามินบี-12 (Vitamin B12) วิตามินเอทั้งในรูปเรตินอล (retinol) และเรตินอล (retinol)
5. เส้นใยอาหาร (Fibre) ได้แก่ เพคติน (pectin)
6. คาร์โรทีนอยด์ ทั้งแอลฟาและเบต้าแคโรทีน (alpha and beta -carotene)
7. ฟลาโวนอยด์ ได้แก่ นารินจิน และเฮสเปอร์ิดิน ไลโคปีน (Lycopene), ลูเทออินและซีแซนทีน (Lutein & Zeaxanthin)
8. ลิโมนอยด์ ได้แก่ ลิโมนิน (limonin), โนมิลิน (nomilin), และโอบาควิโนน (obacunone) และอิซแซนจิน (ichangin) เป็นต้น
9. กรดไขมัน ทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

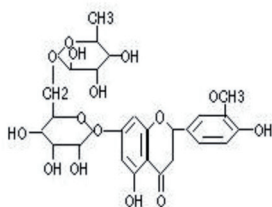
มะนาวเป็นพืชหนึ่งที่มีบทบาทในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ โดยมีสารสำคัญที่มีบทบาทในการลดระดับคอเลสเตอรอล สรุปดังตารางที่ 1 แต่สารที่มีบทบาทมากและมีการทดลองวิจัยการลดระดับคอเลสเตอรอล ซึ่งจะนำมากล่าวถึงในบทความนี้ได้แก่สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ได้แก่ นารินจีน (naringin), และเฮสเปอร์ิดิน (hesperidin) รวมทั้งสารในกลุ่มเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Water soluble fiber) ได้แก่ เพคติน (Pectin)

ตารางที่ 1 ชีวสารสำคัญในมะนาวที่มีบทบาทในการลดระดับคอเลสเตอรอล

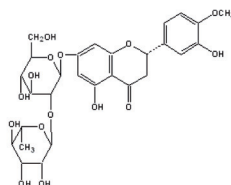
Biomaterials in lime	Example compounds
Carotenoids [7]	Carotene
Flavonoids [8]	Naringin, hesperidine, luteolin, nobiletin, tangeritin
Organic acids [9]	Citric, malic, oxalic, succinic, quinic, ascorbic
Terpenoids [10]	Limonin, nomilin, ichangin, obacunone
Coumarin [11]	Coumarin
Water soluble fiber [12]	Pectin

การลดระดับคอเลสเตอรอลของสารนารินจีนและเฮสเปอร์ิดิน (Naringin & Hesperidin)

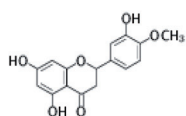
จากการทดลองของ Kuwska และคณะ [13] ในกระต่ายจำนวน 18 ตัว ที่ให้ดื่มน้ำส้ม (Orange juice) และน้ำเกรฟฟรุต (Grapefruit juice) แทนน้ำ (กลุ่มควบคุม) โดยตรวจวัดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด พบว่าคอเลสเตอรอลในเซรัมทั้งหมด (total cholesterol) ในสัตว์ทดลองที่ดื่มน้ำส้มและน้ำเกรฟฟรุต ลดลงจาก 4.90 ± 0.47 mmol/L เป็น 3.55 ± 0.49 และ 0.85 ± 0.35 mmol/L ตามลำดับ ส่วนคอเลสเตอรอลและไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำลดลงจาก 2.91 ± 0.32 mmol/L เป็น 1.66 ± 0.29 และ 1.99 ± 0.22 mmol/L ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าในน้ำผลไม้ทั้งสองมีสารสำคัญคือ เฮสเปอร์ิดิน และนารินจีน ซึ่งเป็นสารอะไกลโคโคน (aglycone) ของสารเฮสเปอร์ิดิน และนารินจีน ตามลำดับ และมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 1 นอกจากนั้นได้สังเกตปริมาณคอเลสเตอรอลและปริมาณน้ำตาลที่ขับออกทางอุจจาระ พบว่ามีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการทดลองดังกล่าว Kuwska และคณะจึงตั้งสมมติฐานว่าผลในการลดคอเลสเตอรอลทั้งหมดและไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ น่าจะเกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับ ไม่ได้เป็นผลจากการรบกวนการดูดซึมคอเลสเตอรอลที่ลำไส้เล็ก เพราะคอเลสเตอรอลที่ขับออกทางอุจจาระลดลง ซึ่งเป็นผลภายในของโครงสร้างเอง (Endogenous effects components) กล่าวคือ สารเฮสเปอร์ิดิน และนารินจีน มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับยาในกลุ่มสแตติน (Statin) ที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการลดไขมันในเลือด ดังภาพที่ 2 Kuwska และคณะ [12] สรุปว่าสารเฮสเปอร์ิดินและ นารินจีน จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลายเป็นสารอะไกลโคโคนเฮสเปอร์ิดิน และนารินจีนตามลำดับ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างใกล้เคียงกับยาในกลุ่มยั้งเอนไซม์เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทส (3-hydroxy-3-methyl-glutaryl-CoA reductase inhibitor หรือ HMG-CoA reductase inhibitor) ในรูปลูกโซ่เปิด (open chain) จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทส ในการเปลี่ยนรูปแบบของเอช เอ็ม จี โคเอ (HMG -CoA) ให้อยู่ในรูปเมวาโลเนต (Mevalonate) ซึ่งมีผลให้ไม่เกิดเมวาโลเนต ดังนั้น จึงลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลลง



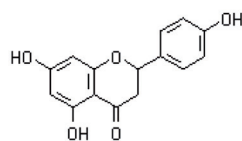
Hesperidin



Naringin

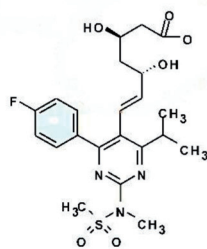


Hesperitin

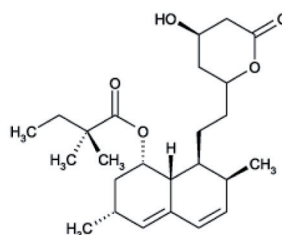


Naringenin

ภาพที่ 1 โครงสร้างของเฮสเปอริดิน นารินจิน เฮสเปอริติน และ นารินเจนิน



Statin



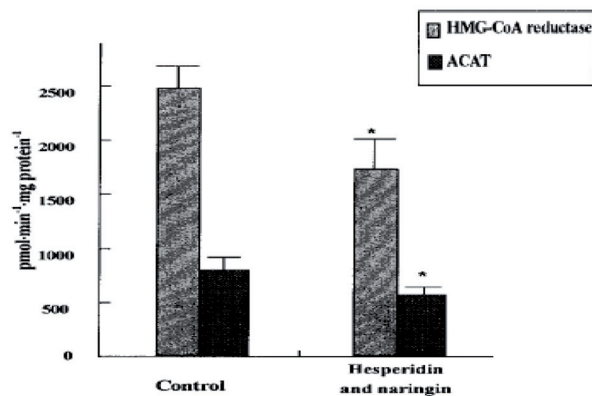
HMG-CoA reductase inhibitor

ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยาสแตตินและเอนไซม์เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทส

นอกจากนี้ Bok และคณะ [2] ได้ศึกษาทดลองผลของสารผสมของนารินจิน 0.05 g และเฮสเปอริติน 0.05 g ที่สกัดได้จากต้นส้มจีน (*Citrus reticulata* วงศ์ Rutaceae) ต่อสูตรอาหาร 100 g ที่ให้แก่หนูตะเภา ต่อระดับคอเลสเตอรอลในเลือดและในตับ, ระดับการทำงานของเอนไซม์เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทสและ เอนไซม์เอ ซี เอ ทีในสัตว์ทดลอง พบว่าของผสมเฮสเปอริตินและนารินจินสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดและในตับได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมดังแสดงในตารางที่ 2 นอกจากนี้ ระดับการทำงานของ เอนไซม์เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทสและ เอนไซม์เอ ซี เอ ทีก็ลดลงด้วย ดังกราฟแท่งในภาพที่ 3

ตารางที่ 2 ผลของการให้สารฟลาโวนอยด์เป็นอาหารเสริมแก่สัตว์ทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ต่อระดับไขมันคอเลสเตอรอลในพลาสมาและตับ [2]

ระดับไขมัน	กลุ่มควบคุม	กลุ่มที่ให้ Hesperidin + Naringin
PLASMA		
Total cholesterol, (mmol/L)	3.80 ± 0.28	2.42 ± 0.31
HDL cholesterol, (mmol/L)	0.57 ± 0.05	0.71 ± 0.04
HDL-C/total-C2	0.157 ± 0.016	0.299 ± 0.08
Triglyceride, (mmol/L)	1.12 ± 0.07	1.03 ± 0.13
Atherogenic index	6.3 ± 1.1	2.6 ± 1.1
LIVER		
Cholesterol, (mmol/L)	0.181 ± 0.003	0.131 ± 0.010
Triglyceride, (mmol/L)	0.095 ± 0.002	0.075 ± 0.006

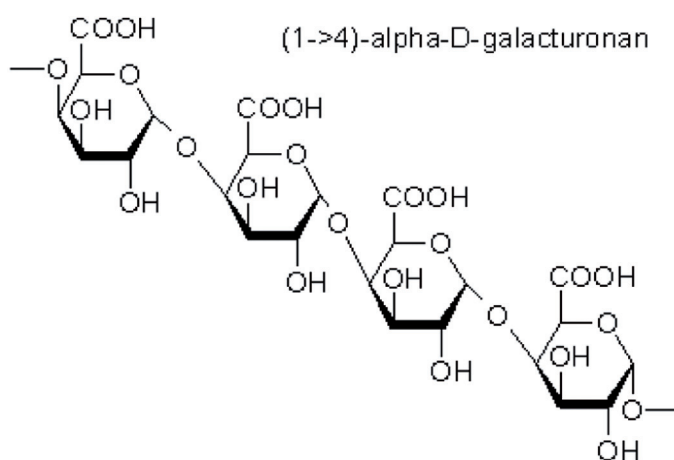


ภาพที่ 3 การทำงานของ เอนไซม์เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทสและ เอนไซม์เอ ซี เอ ที ในสัตว์ทดลอง [2]

การลดระดับคอเลสเตอรอลของเปคติน (Pectin)

เปคตินเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อของพืช พบได้ในพืชและผลไม้เป็นส่วนใหญ่ เช่น พืชสกุลส้ม (citrus) ทุกชนิด, แอปเปิ้ล, องุ่น, แครอท, กหล่ำ, ถั่วและบีท (beet) เป็นต้น เปคตินเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่พบในผนังเซลล์และใน middle lamella ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างเซลล์ (intercellular cement) เปคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่ได้จากธรรมชาติที่มีโครงสร้าง เป็นสายตรงของกรดดี-กาแลกทูโรนิก(D-galacturonic acid) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 ไกลโคซิดิก (α -1,4 glycosidic linkage) และหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl) บางส่วนถูกแทนที่

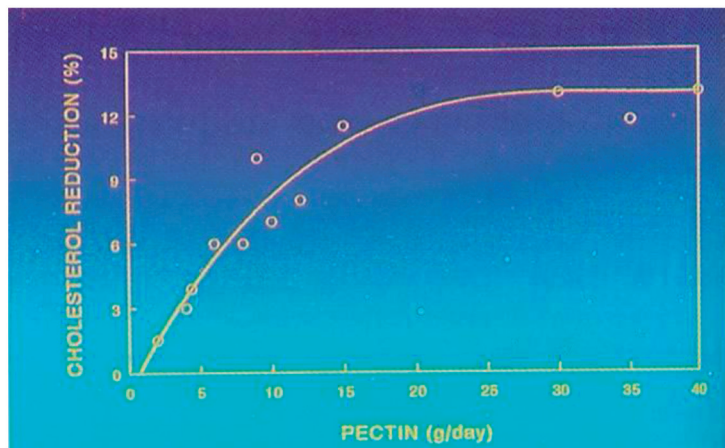
ด้วยหมู่เมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) ดังภาพที่ 4 เปคติน มีความสามารถในการดูดซับอาหารหลายอย่าง ได้แก่ น้ำตาล, โคเลสเตอรอล, และเกลือแร่บางชนิด ดังนั้นจึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย โดยเปคตินจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเจลและจะเคลือบผนังลำไส้ทำให้มีการดูดซึมสารอาหารที่มีประจุ เช่น น้ำตาล, โคเลสเตอรอล ฉะนั้นผู้บริโภคจึงนิยมใช้เส้นใยอาหาร เป็นอาหารเสริมสุขภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอลโดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจมากขึ้น เพราะข้อมูลการศึกษาทางระบาดวิทยาทั้งในมนุษย์และสัตว์ทดลองพบว่าเส้นใยอาหารที่มีเปคตินเป็นส่วนประกอบหลัก รวมทั้งการใช้เป็นสารเสริมอาหาร เป็นกลไกหลักในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด โดยเฉพาะคอเลสเตอรอลไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ



ภาพที่ 4 สูตรโครงสร้างของเปคติน

จากสูตรโครงสร้างของเปคติน หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group - COOH) ของเปคตินจะถูกเอสเทอริไฟด์ให้เป็นสารเปคตินเอสเทอร์ ซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำ [7] ถึงแม้ว่าเปคตินละลายน้ำได้แต่ก็ไม่สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารได้ในทางอุตสาหกรรมเปคตินสามารถสกัดได้จากพืชและผลไม้ 4 แหล่งที่ให้สารเปคตินมาก ได้แก่ แอปเปิ้ล ให้ปริมาณเปคติน 10-15% ,พีชตระกูลส้ม ให้ปริมาณเปคติน 25-35 % , ผักกาดฝรั่ง (Sugar beet) ให้ปริมาณเปคติน 10-20 % , ดอกทานตะวัน (Sunflower) ให้ปริมาณเปคติน 15-25 %

Baker และคณะ [12] ได้รวบรวมจากผลการศึกษา 15 เรื่องเกี่ยวกับผลของการใช้เปคตินเป็นอาหารเสริมในการลดระดับคอเลสเตอรอลในมนุษย์ สามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเปคตินที่รับประทานกับระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ดังภาพที่ 5 พบว่าระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการกินเปคติน โดยการกินเปคตินน้อยกว่า 6 กรัมต่อวันจะลดระดับคอเลสเตอรอลได้อย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นโดยเฉลี่ยการรับประทาน เปคตินปริมาณ 15- 20 กรัมต่อวัน จะสามารถลดคอเลสเตอรอลได้ 11-12 % ในคนปกติ และจะลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้มากถึง 31% ถ้าให้ร่วมกับยาคอเลสเตอรามิน (Cholestyramine) ซึ่งเป็นยาที่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลได้ 19 %



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเปคตินที่รับประทานกับระดับคอเลสเตอรอลในเลือดมนุษย์ จากการ
ศึกษา 15 เรื่อง [11]

นอกจากนี้ Fernandez และคณะ [14] ได้ศึกษาทดลองให้เปคติน (ที่ได้จากพืชตระกูลส้ม) ปริมาณ 0-12.5 % แก่หนูตะเภาที่ถูกเลี้ยงโดยให้อาหารที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลแตกต่างกันร่วมด้วยดังนี้ กลุ่มแรกให้อาหารที่มีคอเลสเตอรอล 0.04% จัดเป็นอาหารที่มีคอเลสเตอรอลต่ำ (low cholesterol) และกลุ่มที่สองให้อาหารที่มีคอเลสเตอรอล 0.25 % จัดเป็นอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูง (high cholesterol) และดูระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดหนูตะเภาทั้งสองกลุ่ม พบว่าการให้ปริมาณเปคตินเพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นน้อยไปความเข้มข้นมาก ในหนูกลุ่มแรกที่มีคอเลสเตอรอลต่ำ ระดับคอเลสเตอรอลลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่หนูกลุ่มที่สองที่มีคอเลสเตอรอลสูง ระดับคอเลสเตอรอลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังข้อมูลในตารางที่ 4 และพบความสัมพันธ์ของการเพิ่มปริมาณเปคตินที่ให้กับระดับคอเลสเตอรอลที่ลดลงจะเป็นสัดส่วนตรงข้ามกัน ดังนั้น Fernandez และคณะ[13] จึงสรุปว่าปัจจัยในการลดระดับคอเลสเตอรอลไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณเปคตินที่ให้เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับระดับคอเลสเตอรอลที่มีอยู่ในร่างกายด้วย

ตารางที่ 4 ปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาของหนูที่ให้กินเปคตินปริมาณต่างๆร่วมกับอาหารที่มีคอเลสเตอรอลต่ำ (กลุ่มที่ 1) และอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูง (กลุ่มที่ 2) [13]

Diet	Weight gain (g/4 weeks)	Plasma lipids (mmol/L)	
		Cholesterol	Triglycerides
Low cholesterol			
0% citrus pectin	223 ± 31	2.33 ±0.39	1.04 ± 0.37
2.5% citrus pectin	224 ± 21	2.61 ± 0.93	0.90 ± 0.20
5.0% citrus pectin	239 ± 23	2.04 ± 0.34	0.59 ± 0.26
7.5% citrus pectin	235 ±24	2.07 ± 0.49	1.02 ± 0.43
10.0% citrus pectin	231 ± 56	1.66 ± 0.36	1.02 ± 0.29
12.5% citrus pectin	257 ± 46	2.02 ± 0.54	1.24 ± 0.35
high cholesterol			
0% citrus pectin	166 ± 29	5.82 ± 1.50	1.17 ± 0.37
2.5% citrus pectin	157 ± 59	5.20 ± 1.27	1.19 ± 0.67
5.0% citrus pectin	185 ± 40	5.07 ± 0.69	0.95 ± 0.34
7.5% citrus pectin	202 ± 58	4.11 ± 0.78	1.07 ± 0.32
10.0% citrus pectin	206 ± 47	4.06 ± 0.80	1.06 ± 0.58
12.5% citrus pectin	147 ± 59	1.94 ± 1.29	1.16 ± 0.18

Hillman และคณะ [15] ได้ทดลองให้อาสาสมัครสุขภาพดีที่มีระดับไขมันในเลือดปกติรับประทานเปคติน 12 กรัมต่อวัน พบว่าระดับคอเลสเตอรอลในเลือดของอาสาสมัครไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Hillman และคณะจึงสรุปว่าเปคตินมีผลลดระดับคอเลสเตอรอลเฉพาะในผู้ป่วยที่มีระดับคอเลสเตอรอลสูงหรือในผู้ที่รับประทานอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูงเท่านั้น การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเปคตินจะรวมตัวกับคอเลสเตอรอลหรืออาหารต่างๆที่มีคอเลสเตอรอลในกระเพาะอาหาร จะพองตัวเกิดลักษณะของเจล ที่เคลื่อนตัวออกจากกระเพาะอาหารไปสู่ลำไส้เล็ก และเป็นตัวช่วยไม่ให้ไขมันในลำไส้เล็ก รวมตัวเข้ากับน้ำดี ทำให้กระบวนการดูดซึมไขมันที่ผนังลำไส้เล็ก และช่วยลดคอเลสเตอรอลได้ Hillman และคณะจึงสรุปว่าการรับประทานอาหารที่มีคอเลสเตอรอลสูง หรือจากการกระตุ้นของสารเคมีหรือพันธุกรรมทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดเพิ่มสูงขึ้น จะมีผลให้ประสิทธิภาพของเปคตินในการลดระดับคอเลสเตอรอลสูงขึ้น การศึกษาในมนุษย์ยังพบว่าเปคตินสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด โดยไปมีผลลดระดับคอเลสเตอรอลที่เป็นไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ แต่ไม่มีผลลดระดับคอเลสเตอรอลที่เป็นไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วยที่ได้รับยาลดไขมัน เช่น โลวาสแตติน (Lovastatin) ถ้ารับประทานเปคตินร่วมไปด้วย เปคตินจะไปลดการดูดซึมของยาจากทางเดินอาหาร ทำให้ปริมาณของยาลดไขมันในเลือดลดลง จึงไม่ควรรับประทานเปคตินหรือเส้นใยอาหารอื่นร่วมกับยากกลุ่มนี้

สรุป

ในพืชสกุลส้มมีสารอาหารและชีวสารหลายอย่างที่มีสมบัติในการลดระดับคอเลสเตอรอลได้ [16] เช่น เส้นใยอาหารเปคติน และสารฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีการศึกษาทดลองผลในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดแล้ว โดยเส้นใยอาหารเปคตินมีกลไกในการดูดซับคอเลสเตอรอล ส่งผลให้การสังเคราะห์และการดูดซึมของคอเลสเตอรอลลดลง, และสารฟลาโวนอยด์ ได้แก่ เฮสเปอร์ดิน และนารินจีน มีกลไกยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เอช เอ็ม จี โคเอ รีดักเทส และเอ็นไซม์อะเซติลโคเอคอเลสเตอรอลเอซิลทรานเฟอเรส หรือ เอ ซี เอ ที ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล นอกจากนี้ในพืชสกุลส้มยังมีสารอาหารและชีวสารอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งยังไม่มีนักวิจัยถึงผลในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ซึ่งทำให้ต้องศึกษาถึงผลของพืชในสกุลส้มในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศรีจันทร์ พรจิราศิลป์, (2540). “ยาที่ออกฤทธิ์ต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด” ,ใน **เภสัชวิทยา เล่ม 1** ,พิมพ์ครั้งที่ 1 ,จุฑาภรณ์ สุทธิสีสังข์ บรรณาธิการ, คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ , หน้า 454-460
- [2] Abdel-Maksoud, M.F., Eckel, R.H., Hamman, R.F. and Hokanson, J.E., 2012. Risk of coronary heart disease is associated with triglycerides and high-density lipoprotein cholesterol in women and non-high-density lipoprotein cholesterol in men. **Journal of Clinical Lipidology**, 6(4): 374-381.
- [3] Bok,S.H.,Lee,S-H. and Park,Y-B, (1999). Plasma and Hepatic Cholesterol and Hepatic Activities of 3-Hydroxy -3-methyl-glutaryl-CoA Reductase and Adcyl CoA:Cholesterol Transferase are lower in Rats Fed Citrus Peel Extract or a Mixture of Citrus Bioflavonoids. **European Journal of Nutrition**, 139: 1182-1185.
- [4] Bell, L.P.,Hectron ,K.J.,and Reynolds ,H., (1990). Cholesterol-lowering effects of soluble-fiber cereals as part of a prudent diet for patients with mild to moderate hypercholesterolemia. **American Society for Clinical Nutrition**. 59: 869-878.
- [5] Schwandt, P., Richter , W.O.,and Weinstock ,R.S., 1982. Meta-analysis of the cholesterol-lowering effects of dietary fiber. **Atherosclerosis**. 44: 379 – 383.
- [6] Anonymous, (March 30th, 2011). Nutrition Information : Lime juice (raw) Retrieved on March 30th, 2011 Retrieved from http://www.weightlossforgood.co.uk/nutrition/lime_juice.htm.
- [7] Yokoyama , H. and Vandercook , C.E., 1967. Citrus Carotenoids. I. Comparison of Carotenoids of Mature-Green and Yellow Lemons. **Journal of Food Science**, 32(1): 42-48.
- [8] Horowitz, R.M., 1957. Flavonoids of Citrus. II. Isolation of a New Flavonol from Lemons. **Journal of American Chemical Society**, 79(24): 6561-6562.
- [9] Ryan, J.J. and Dupont, J.A., 1973. Identification and analysis of the major acids from fruit juices and wines. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 21(1): 45-49.
- [10] Dreyer, D.L. 1965. Citrus bitter principles-ii application of NMR to structural and stereochemical problems. **Tetrahedron**. 21 : 75-87.
- [11] Fisher, J.F. and Trama, L.A., 1979. High-Performance Liquid Chromatographic Determination of Some Coumarins and Psoralens Found in Citrus Peel Oils. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 27(6): 1334-1337.

Thaksin.J., Vol.17 (1) January-June 2014

- [12] Baker, R.A., Saponins, V.J., Davidek, J.I. and Davidek, J..(1994), Potential Dietary Benefits of Citrus Pectin and Fiber, **Food Technology**, 48: 133-136.
- [13] Kuwska, E.M., Borradaile, N.M., and Spence, J.D., (2000). Hypocholesterolemic effects of Dietary Citrus Juices rabbits. **Nutrition Research**, 20: 121-129.
- [14] Fernandez, M.L., Sun, D.M. and Tosca, M.A., (1994). Plasma Cholesterol and Triglyceride concentrations of guinea pigs fed semipurified diets with low cholesterol and high cholesterol combination with increasing doses of citrus pectin (CP). **American Society for Clinical Nutrition**, 59: 869-78
- [15] Hillman, L.C., Peters, S.G., and Fisher, C.A., (1985). The effects of the fiber components pectin, cellulose and lignin on serum cholesterol levels. **American Society for Clinical Nutrition**, 42: 207-213.
- [16] Ladaniya, M.S., 2008. Nutritive and medicinal value of citrus fruits. **Citrus Fruit**, Academic Press, M.A., U.S.A. pages 501-514.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

จอมภพ แวศักดิ์	Jompob Waewsak	13
จิรศักดิ์ ญาติรักษ์	Jeerasak Yartrak	30
دنۇپول تۇننۇيۇپاس	Danupon Tonnayopas	5
ทวิภรณ์ คีรีคช	Thaweepon Keereekoch	57
ธเนศ ไชยชนะ	Tanate Chaichana	73
ธวัชชัย ศรีสุวรรณ	Thawatchai Srisuwan	57
ปัญญา สังกวาคำ	Panya Sangwankam	49
บุญญพัฒน์ ไชยเมล์	Bhunyabhadh Chaimay	68
พวงแก้ว บัวทอง	Poungkaew Bouthong	5
มณฑล เลิศคณาวนิชกุล	Monthon Lertcanawanichakul	30
รวีกานต์ อมฤตเบญจฤทัย	Rawikan Amritbenjaruethai	5
รอกีเยาะ ตาเละ	Rokeeyoh Taleh	57
ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	Rapeepan Pitakaso	49
โรสนานี เหมตระกูลวงศ์	Rosenanee Hemtrakoonwong	57
วรางคณา กิรติวิบูลย์	Warangkhan Keerativiboo	40
วิชัยพร ยืนยั้ง	Wichayaporn Yuenyang	30
วีรยา เพ็งช่วย	Weeraya Pengchuay	30
सनัน सुभधिराकुल	Sanan Subhadhirakul	57
สมพล ชีวมงคลกานต์	Somphol Chiwamongkhonkarn	13
สมฤทัย จิตภักดีบดินทร์	Somrutai Jitpukdeebodintr	77
สาปิ่นะ เจ๊ะสะอี่	Sapeenah Chesa	57
สิรินาถ โมพันดุง	Sirinath Mopundung	21
อาทิตย์ อัสวสุชี	Artit Ausavasukhi	21

ดัชนีคำสำคัญ

หน้า

การกำจัดสี	21
การจัดการโซ่อุปทาน	49
การทำให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย	40
การนั่งฆ่าเชื้อ	57
การแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา	40
การวิเคราะห์ข้อมูล	68
การวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ	68
กำลังอัด	5
เกลือน้ำดี	30
คอเลสเทอรอล	77
คุณภาพ	57
เคลย์ที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ	21
ตัวแบบอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน	49
นารินจิน	77
น้ำทิ้งจากการย้อมผ้า	21
บอกรี-เจนกินส์	40
แบคทีเรียกรดแลคติก	77
ปริมาณน้ำฝน	30
เปคติน	76
โปรไบโอติก	30
ผงขมิ้นชัน	57
แผนผังสายธารคุณค่า	49
พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	43
พลังงานลม	13
ฟลาโวนอยด์	76
เฟนตันออกซิเดชัน	21
มอร์ตาร์	5
มะนาว	77
ระดับคอเลสเทอรอล	30
ระดับจุลภาค	13
รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย	40
แร่ผสมเพิ่ม	5
วัสดุสารสีเซรามิก	5
เวลา	57
ศักยภาพ	13
สถิติ	68
หินฝุ่นแกรนิตตัดแปรร	5
อุณหภูมิต	57
เฮสเปอร์ดิน	77

Keywords Index	page
Bile Salt	31
Box-Jenkins	41
Ceramic Pigment	5
Cholesterol	77
Cholesterol Level	31
Compressive Strength	5
Computational Fluid Dynamics	13
<i>Curcuma longa</i> L.	58
Data Analysis	68
Decolorization	21
Decomposition	41
Fenton Oxidation	21
Flavonoids	77
Health Science Research	68
Hesperidine	77
Iron-Containing Clay	21
Lactic Acid Bacteria	31
Lemon	76
Microscale	13
Mineral Admixture	5
Modified Granite Fine	5
Mortars	5
Naringin	77
Pectin	77
Potential	13
Probiotic	31
Quality	58
Rainfall	41
Root Mean Squared Error (RMSE)	41
Simple Seasonal Exponential Smoothing	41
Statistics	68
Steam Sterilization	58
Supply Chain Management	49
Supply Chain Operation Reference Model	49
Temperature	58
Textile Dyeing Wastewater	21
Time	58
Turmeric Powder	58
Value Stream Mapping	49
Wind Energy	13

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ต้นฉบับบทความวิจัย บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2557) ได้รับการตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

- | | | |
|----|-------------------------------|--|
| 1 | รศ.ดร.กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม | คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 2 | รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 3 | รศ.ดร.กุลวดี โรจน์ไพศาลกิจ | คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ |
| 4 | รศ.เกษม อัสวตธีรรัตนกุล | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| 5 | รศ.ดร.นภา ศิวรังสรรค์ | คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 6 | รศ.ดร.ปฐมนิธิ ธีรวิระ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 7 | รศ.ดร.สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ | คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 8 | รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| 9 | รศ.รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล | คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 10 | ผศ.ดร.เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์ | บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 11 | ผศ.ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 12 | ผศ.ดร.ธวัฒน์ชัย เทพนวล | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| 13 | ผศ.ดร.นราทิพย์ จันสกุล | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 14 | ผศ.ดร.นุกูล อินทระสังขา | คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 15 | ผศ.ดร.บุญพัฒน์ ไชยเมล์ | คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| 16 | ผศ.ดร.ยุวดี วิทย์พันธ์ | สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ |
| 17 | ผศ.ทาริณี อัสววงศ์สวัสดิ์ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 18 | ผศ.บุษกร อุดรภิชาติ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ |

รูปแบบเนื้อหา

ลักษณะของวารสาร

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นวารสารเผยแพร่ผลงานวิจัย/บทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่างๆ

ข้อแนะนำทั่วไป

1. เรื่องที่รับพิมพ์ในวารสารวิจัยนี้ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสาร รายงานหรือสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน
2. ผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณเท่านั้น ยกเว้นบทความพิเศษที่กองบรรณาธิการพิจารณาให้ได้รับการยกเว้น
3. ต้นฉบับจะเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ถ้าเป็นผลงานการวิจัยต้องมีคำย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
4. เนื้อหา บทความ หรือข้อคิดเห็นที่พิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
5. ต้นฉบับจะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์

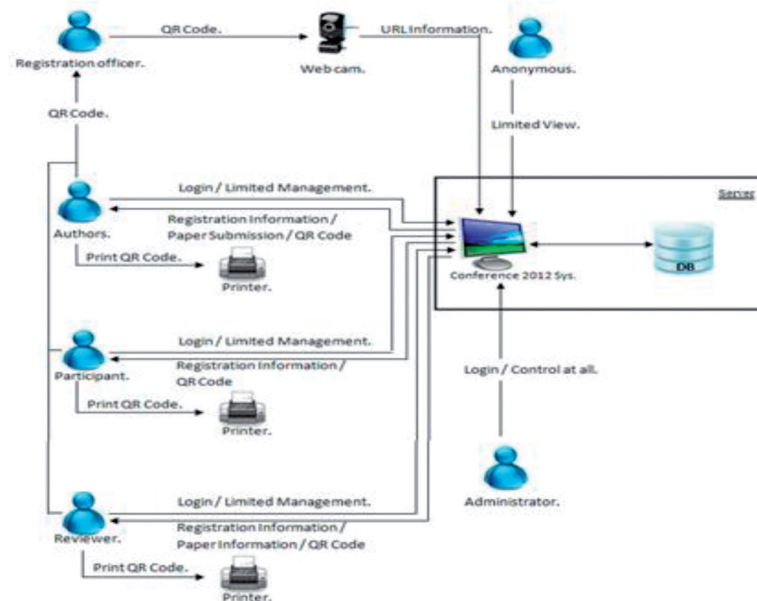
ประเภทของผลงานที่จะรับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Articles)
2. บทความวิชาการ (Articles)
3. จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letter to Editor) เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุนหรือโต้แย้งความเห็นของนักวิจัยอื่นๆ ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่น่าสนใจ

การเตรียมต้นฉบับทั่วไป

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์บนกระดาษขาว ขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียว เว้นขอบด้านหน้า 1 นิ้วครึ่ง ด้านหลัง 1 นิ้ว ไม่ต้องใส่เลขหน้ากำกับ โดยใช้แบบอักษร Angsana New ขนาดตัวอักษรปกติขนาด 14 และหัวข้อขนาด 16 ส่งเป็นต้นฉบับพร้อมแผ่นซีดีบันทึกไฟล์ข้อมูล
2. ถ้ามีภาพประกอบ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี คำบรรยายได้ภาพ ใช้คำว่า ภาพที่ เป็นตัวหนา และคำบรรยายเป็นตัวอักษรปกติ และจัดกลางหน้ากระดาษ

ตัวอย่างเช่น



ภาพที่ 1 แสดงขอบเขตของระบบ

3. ถ้ามีตารางใช้คำบรรยายบนตารางคำว่า ตารางที่ เป็นตัวหนา และจัดชิดขอบซ้าย

ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบแบบ Black-box testing. ส่วนหน้าระบบ

กรณีทดสอบ	ผลการทดสอบ
1. สามารถสมัครเป็นสมาชิกกับระบบได้ด้วยตนเอง	ผ่าน
2. สามารถดูข้อมูลทั่วไปของการประชุมวิชาการได้ เช่น รูปแบบกิจกรรม อัตราค่าลงทะเบียน รายชื่อผู้ลงทะเบียน ฯ	ผ่าน
3. ผู้เข้าร่วมการประชุมสามารถแก้ไขข้อมูลการลงทะเบียนของตนได้ เช่น ที่อยู่สำหรับออกใบเสร็จรับเงิน ชื่อ-สกุล ฯ	ผ่าน
4. ผู้เข้าร่วมการประชุม (นำเสนอผลงานวิจัย) สามารถแนบไฟล์ผลงานวิจัยผ่านเว็บไซต์ได้	ผ่าน
5. ผู้เข้าร่วมการประชุม (นำเสนอผลงานวิจัย) สามารถดูผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิผ่านเว็บไซต์ได้	ผ่าน

4. ถ้าเป็นภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาวโดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

5. ความยาวของเรื่อง รวมภาพ ตาราง ไม่เกิน 8 หน้า

6. ส่งต้นฉบับจำนวน 3 ชุด มายังกองบรรณาธิการวารสาร

การเตรียมต้นฉบับสำหรับบทความวิจัย

บทความวิจัยให้เรียงลำดับตามองค์ประกอบดังนี้

1. ชื่อเรื่อง (Title) ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
2. ชื่อผู้เขียน (Authors) ครบทุกคน
3. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกิน 200 คำ และอยู่ในบทความหน้า

1 เท่านั้น

4. คำสำคัญ (Key Words) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
5. เนื้อเรื่อง (Main Body) ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1) บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย

และอาทรวมการสำรวจเอกสาร (Review of Related Literature)

2) วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

3) ผลการวิจัย (Results)

4) อภิปรายผล (Discussion)

* 3) และ 4) อาจเขียนรวมกันได้

5) เอกสารอ้างอิง (References) **ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข**

6. แนบเอกสารแสดงการอนุญาตให้ทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ จรรยาบรรณการ
ใช้สัตว์ทดลอง หรือจริยธรรมของการทดลองในมนุษย์มาพร้อมกับบทความวิจัย

7. รูปแบบการใช้คำย่อ สัญลักษณ์ คำย่อที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำเต็มเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ
หลังจากนั้นสามารถใช้คำย่อเหล่านั้นได้ตามปกติ ควรใช้ให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการใช้คำย่อที่ชื่อเรื่องและในบทคัดย่อ ไม่
แนะนำให้ใช้คำย่อที่ใช้ไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 บทความ สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำจำกัดความหรือคำ
อธิบายเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบาย

การอ้างอิง (แบบตัวเลข)

การอ้างอิงแบบตัวเลข ใช้วิธีการดังนี้

1. ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในเครื่องหมาย [] ท้ายข้อความหรือข้อความที่อ้างอิง โดยให้ตัวเลขอยู่ในระดับบรรทัด
เดียวกันกับเนื้อหา เช่น [1] [2] [3]

2. ให้ใส่ตัวเลขอ้างอิงเรียงลำดับตั้งแต่เลข 1 เป็นต้นไป ต่อเนื่องกัน และในกรณีที่มีการอ้างอิงซ้ำให้ใช้ตัวเลข
เดิมที่เคยใช้อ้างมาก่อนแล้ว

3. แหล่งที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดในบทความจะไปปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิง (references) ท้ายบทความ โดยการ
เรียงลำดับตามหมายเลข และพิมพ์หมายเลขอยู่ในเครื่องหมาย []

4. กรณีที่อ้างอิงเอกสารหลาย รายการในคราวเดียวกัน

4.1 อ้างอิงไม่เกิน 2 รายการให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างอิงเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค
(,) คั่น เช่น [1, 2] หรือ [1, 5]

4.2 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการที่ต่อเนื่องกันให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างอิงเรียงลำดับ
โดยใส่เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่น เช่น [1-3] หรือ [1-5]

4.3 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่
อ้างอิงเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นในกรณีไม่ต่อเนื่อง และเครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นในกรณีต่อเนื่อง เช่น [1, 4-5]

การอ้างอิง ในเนื้อเรื่อง

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ใช้ระบบตัวเลขอยู่ในวงเล็บ “[]” หลังข้อความที่อ้างถึง โดยตัวเลขดังกล่าวเรียงตามลำดับการอ้างอิง

ตัวอย่าง

1. การใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยเชิงเดี่ยวบางชนิดนานและมากเกินไปผลทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลน [1]...
2. Scherer [2] รายงานว่า...
3. และยังทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชในดินเสียไปด้วย [3,4]...

การอ้างอิงเอกสารอ้างอิง

1) บทความวารสาร

ชื่อผู้เขียน. (ปี พ.ศ./ค.ศ.). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ (ฉบับ), หน้า.

ตัวอย่าง

- [1] อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ. (2549). ผลของการปลูกสับปะรดต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของชุดดินท่ายางในจังหวัดเพชรบุรี. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 29 (2), 297-305.
- [2] Scherer, H.W. (2001). Sulphur in crop production-invited paper. *European Journal of Agronomy*. 14 (3), 81-111.

2) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปี พ.ศ./ค.ศ.). ชื่อหนังสือ. สถานที่พิมพ์ : สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [3] มุกดา สุขสวัสดิ์. (2544). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- [4] 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.,

3) เอกสารที่ค้นได้จากเว็บไซต์

เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้รูปแบบเดียวกับบรรณานุกรมของสื่อสิ่งพิมพ์โดยทั่วไปก่อนที่จะนำมาใส่ในเว็บไซต์ต่าง ๆ เช่น เมื่อนำข้อมูลมาจากหนังสือ สามารถเขียนเอกสารอ้างอิงโดยประกอบด้วย ชื่อผู้แต่ง ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่อง และสถานที่พิมพ์ และเพิ่มข้อมูลที่อาจช่วยในการสืบค้น คือ วันที่สืบค้น และ URL โดยภาษาไทยใช้ว่า สืบค้นเมื่อ...จาก... และภาษาอังกฤษใช้ว่า Retrieved...from... หรือถ้านำข้อมูลมาจากบทความก็เขียนเอกสารอ้างอิงของบทความก่อน

ตัวอย่าง

- [5] อำนวย สุขเวทย์. (2542, 3 พฤษภาคม). เพื่อนคิดประกันชีวิต : ตัวแทนประกันมีบทบาทสำคัญอย่างไร. *ฐานเศรษฐกิจ* 19 (377), 25-28. สืบค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2542 จาก <http://www.thainews.th.com>
- [6] ระพีพล ฤทธิชัย ณ อยุธยา. (ม.ป.ป.). ความดันโลหิตสูง สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2550 จาก <http://www.thaiheartweb.com>.

ระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal) เป็นวารสารทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานภายนอก ซึ่งจัดพิมพ์เป็นราย 6 เดือน (ปีละ 2 ฉบับ มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม) สำหรับปี พ.ศ.2556 เป็นต้นไป ผู้สนใจที่จะเผยแพร่ผลงานทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถส่งผลงานของท่านทางระบบไปรษณีย์ มาที่กองบรรณาธิการวารสารฯ หรือ ส่งผ่านระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-journal) ด้วยระบบสมาชิกวารสารฯ ได้ที่ <http://rms.rdi.tsu.ac.th/ejournal> โดยเริ่มใช้ระบบวารสารฯ ตั้งแต่วินาที 1 (เดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2556) เป็นต้นไป ระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-journal) นี้ พัฒนาขึ้นโดยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการรับ-ส่งบทความผ่านระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ และการบริหารจัดการบทความให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการเผยแพร่บทความแก่ผู้สนใจให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น



ระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

ศุกร์ 8 เมษายน 2554 12:45:58

[หน้าหลัก](#)[ปฏิทินวารสาร](#)[Download](#)[ติดต่อกองบรรณาธิการ](#)

เข้าสู่ระบบ

ชื่อผู้ใช้

รหัสผ่าน

สถานะในการเข้าระบบ

Login

สมัครสมาชิก

เมนูหลัก

- > หน้าหลัก
- > วารสารทั้งหมด
- > ค้นหาบทความ
- > ขั้นตอนการส่งบทความ
- > คู่มือการเขียนบทความ
- > คณะบรรณาธิการ
- > ประเด็นระบบ

จำนวนผู้ใช้ระบบ

000186

ยินดีต้อนรับเข้าสู่ระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ลักษณะของวารสาร

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นวารสารเผยแพร่ผลงานวิจัย/บทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่างๆ

ประเภทของผลงานที่จะรับตีพิมพ์

- บทความวิจัย (Research Articles)
- บทความวิชาการ (Articles)
- จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letter to Editor) เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุนหรือโต้แย้งความเห็นของ นักวิจัยอื่นๆ ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่น่าสนใจ

กำหนดออก

ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม-มิถุนายน และ กรกฎาคม-ธันวาคม)

ข้อแนะนำทั่วไป

- เรื่องที่จะตีพิมพ์ในวารสารวิจัยนี้ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสาร วิทยานหรือสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน
- ผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณเท่านั้น ยกเว้นบทความพิเศษที่กองบรรณาธิการพิจารณาให้ได้รับการยกเว้น
- ต้นฉบับจะเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ถ้าเป็นผลงานการวิจัยต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ
- เนื้อหา บทความ หรือข้อคิดเห็นที่ตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
- ต้นฉบับจะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์

การนอกรับเป็นสมาชิก

ค่าสมาชิก ปีละ 100 บาท

แจ้งชื่อที่อยู่พร้อมรณาดินหรือเช็คไปรษณีย์ส่งจ่าย

บรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ทำการไปรษณีย์ควนขนุน จ.พัทลุง 93110

การติดต่อ

บรรณาธิการวารสาร มหาวิทยาลัยทักษิณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93110 โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7250-3 โทรสาร 0-7467-3227 E-mail Address: research.tsu@gmail.com

Copyright © สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ

ใบสมัครสมาชิก
วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ
THAKSIN UNIVERSITY JOURNAL

วันรับสมัคร.....

หมายเลขสมาชิก.....

(สำหรับเจ้าหน้าที่)

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ทางไปรษณีย์ที่ต้องการให้จัดส่งวารสาร.....

อำเภอ.....จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail.....

มีความประสงค์เป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ จำนวน.....ปี (ปีละ 200 บาท)

พร้อมนี้ได้ส่งค่าสมาชิกจำนวน.....บาท (.....)

โดย ธนาณัติ สั่งจ่าย ปณ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93110 ในนามบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ตัวแลกเงินธนาคาร.....เลขที่.....

(ลงชื่อ).....

...../...../.....

สำนักงานวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93110

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7250-8 โทรสาร 0-7467-3227

E-mail Address: research.tsu@gmail.com



ปัญญา จริยธรรม นำการพัฒนา

มหาวิทยาลัยทักษิณ

222 ม.2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93110

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7250-8 โทรสาร 0-74673227

E-mail : research.tsu@gmail.com