

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ Thaksin University Journal

ปีที่ 21 ฉบับที่ 2

Vol. 21 No. 2

กรกฎาคม - ธันวาคม 2561

July - December 2018



ISSN 0859-9807 (print)

ISSN 2651-0693 (online)



รูปแบบวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ชื่อวารสาร	วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal)	
เจ้าของ	มหาวิทยาลัยทักษิณ	
ที่ปรึกษา	อธิการบดี	(รศ.ดร.วิชัย ชำนิ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รองอธิการบดี	(อ.ดร.อุกฤษฏ์ มุสิกะพันธุ์) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	(อ.ดร.วันลก ดิษสุวรรณ) (มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.นิคม ชูศิริ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองบรรณาธิการ	ศ.ดร.จรัญ จันทลักษณ์	(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
	ศ.ดร.วิสุทธิ์ ใบไม้	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน	(มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)
	ศ.ดร.อภิชาติ สุขสำราญ	(มหาวิทยาลัยรามคำแหง)
	ศ.ดร.สุทรวัดน์ เบญจกุล	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	ศ.ดร.สุรินทร์ เศรษฐมนิต	(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
	ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์	(เลขที่ 422 ถ.เทศบาลรังรักษ์เหนือ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร)
	ศ.ดร.เสาวภา อังสุภาณิช	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
	รศ.ดร.กรรชิต มาลัยวงศ์	(สภากิจแห่งชาติ)
	รศ.ดร.หิรัญ เพชรมั่ง	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	รศ.ดร.บุญญพัฒน์ ไชยเมล์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.กรวิภา ก้องกุล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	ผศ.ดร.พญ.ภัทรวลัย ดลิ่งจิตร	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
	ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	อ.ดร.ศิริรัตน์ สีนประจักษ์ผล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	อ.ดร.ขวัญจิตต์ สุวรรณนพรัตน์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองจัดการ	นางสาวอรกมล ไกรวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวพิมพ์ผดุงดา มณีวงศ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางรานี อาษาชำนาญ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวกัญญณัชช เลี้ยวศรีชัย	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)

วัตถุประสงค์	1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความทางด้านสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่างๆ 2. เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 3. เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
กำหนดการออก	ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)
จำนวนพิมพ์	100 ฉบับ
รูปแบบเล่ม	ขนาด B5 (18x25.5 ซม.) ปกอาร์ตมัน 250 แกรม พิมพ์ 4 สี เคลือบด้าน เนื้อใน กระดาษปอนด์ 80 แกรม พิมพ์ 1 สี 120 หน้า
การเผยแพร่	จัดจำหน่ายและสมัครสมาชิก
การบอกรับเป็นสมาชิก	ค่าสมาชิก ปีละ 200 บาท ชำระผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายัง กองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ทางระบบออนไลน์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal
การติดต่อ	กองจัดการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242 E-mail address: tsujournal@gmail.com หรือ research.tsu@gmail.com
โรงพิมพ์	อาร์ต เวิร์ค แอนด์ มีเดีย โทรศัพท์ 089-925-8455, 085-440-5398

บรรณาธิการแถลง

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal) ฉบับนี้ เป็นวารสารที่ออกโดยมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นปีที่ 21 ฉบับที่ 2 (ประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2561) สำหรับวารสารฉบับนี้ได้นำเสนอบทความวิจัยทางด้านสหวิทยาาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 10 เรื่อง อีกเช่นเคย บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้เป็นบทความวิจัยที่น่าสนใจและมีเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 3 เรื่อง ด้านเภสัชศาสตร์ จำนวน 2 เรื่อง และด้านสุขภาพ ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ด้านเคมี ด้านพลังงานทางเลือก และทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา อีกด้านละ 1 เรื่อง รวมเป็น 5 เรื่อง และเนื่องด้วยตลอดทั้งปี พ.ศ. 2561 นี้ ทางมหาวิทยาลัยทักษิณ ได้จัดให้มีการเฉลิมฉลองการสถาปนามหาวิทยาลัยครบรอบ 50 ปี ทางคณะทำงานประจำกองบรรณาธิการของวารสารใคร่ขอแสดงความยินดีกับนักวิจัยและผู้สนใจทุกท่านที่มีผลงานทางวิชาการลงตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณฉบับดังกล่าวนี้อีกครั้งหนึ่ง เนื่องด้วยทุกท่านจะได้มีส่วนร่วมในการเฉลิมฉลองการสถาปนามหาวิทยาลัยครบรอบ 50 ปี โดยพร้อมเพรียงกันกับบุคลากรของมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ หากท่านสมาชิกและผู้อ่านวารสารทุกท่านที่มีข้อเสนอแนะเชิงสร้างสรรค์เกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของวารสาร กรุณาจัดส่งข้อเสนอแนะของท่านมายังกองบรรณาธิการวารสารเพื่อที่จะได้พิจารณาพัฒนา ปรับปรุง และแก้ไขในฉบับต่อไปและขอขอบพระคุณล่วงหน้า

ทางวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ใคร่ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้เกียรติและเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการกลั่นกรอง พิจารณา แก้ไข และให้ข้อเสนอแนะแก่บทความวิจัยทั้ง 10 เรื่อง เพื่อประโยชน์สูงสุดทางวิชาการที่ได้นำเสนอในวารสารฉบับดังกล่าวนี้ ขอขอบพระคุณต่อคณะที่ปรึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่าน อ. ดร. อุกฤษฏ์ ภูมิพิพัฒน์ รองอธิการบดี ที่เข้ามารับตำแหน่งใหม่ กองบรรณาธิการและกองจัดการ (ชุดใหม่) ทุกท่าน รวมทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด โดยเฉพาะสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานของวารสารด้วยดีตลอดมา แล้วพบกันใหม่ฉบับต่อไปครับ

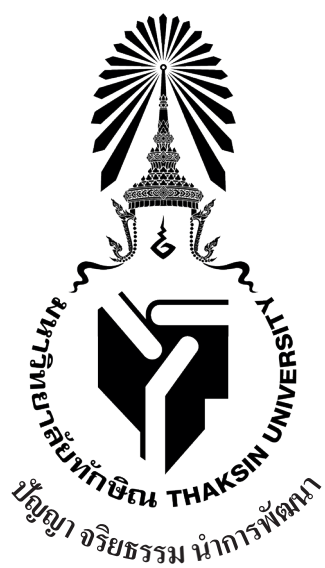
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ เกษราธิคุณ
บรรณาธิการประจำฉบับ

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Articles)

1. ผลต่อความผ่อนคลายของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งในอาสาสมัครสุขภาพดี
*Relaxation Effect of Essential Oil from Leaf of *Cinnamomum bejolghota* (Buch.- Ham.) Sweet. on Healthy Volunteers*
ธวัชชัย ศรีสุวรรณ Thawatchai Srisuwan จุฬารัตน์ สมคุณ Jularat Somkhun
ธัญชนก ชูเสือหึง Thanchanok Chusueahueng อภิญญา วัฒนภิญโญ Apinya Watthanapinyo
สนั่น ศุภธีรสกุล Sanan Subhadhirasakul.....1
2. ผลของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักและสัดส่วนร่างกายต่อมวลกระดูก ในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่
Effects of Basal Metabolic Rate and Body Composition on Bone Mass in Elderly and Adult
นิธิตา ปิยอัมรพันธุ์ Nitita Piya-amornphan เพ็ญภา ชลปฐมพิกุลเลิศ Pennapa Chonpathompikunlert.....11
3. การศึกษาประยุกต์ใช้แนวความคิดลีนเพื่อลดปัญหาการรอคอย: กรณีศึกษาแผนกผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี
Application of Lean Concepts for Reducing Waiting Time: A Case of Outpatient Department at Phrapokklao Hospital Chanthaburi.
ศศิณภา บุญพิทักษ์ Sasinapa Boonpitak กรณ์ปภพ รัตนวิจิตร Kornpaphop Ratanavijit.....21
4. การเปรียบเทียบคุณภาพเมล็ดจันทน์เทศจากไทยและอินโดนีเซีย
Quality Comparison of Nutmeg from Thailand and Indonesia
ทวิภรณ์ คีรีคช Thaweeporn Keereekoch, ธวัชชัย ศรีสุวรรณ Thawatchai Srisuwan
ณัฐนรี แสงแก้ว Natnaree Sangkaew ศุภกานต์ พิสิฐศุภกุล Supakarn Pisitsupakul
เบญจวรรณ ทองเคลื่อน Benjawan Thongkhluan สนั่น ศุภธีรสกุล Sanan Subhadhirasakul.....33
5. ผลของการเสริม *Bacillus licheniformis* ในอาหารที่ระดับต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การใช้อาหาร และแบคทีเรียในลำไส้ของปลานิลแดง
*Effect of Different Levels of *Bacillus licheniformis* Supplements in Diets on Growth Performance, Feed Utilization and Intestinal Bacteria of Hybrid Red Tilapia*
คณาธิป พรหมนวล Kanathip Promnuan สุภาภา คีรีรัฐนิคม Suphada Kiriratnikom.....43
6. การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด
Methylene Blue Adsorption onto Activated Charcoal Prepared from Mangosteen Peel
สุภาพร รัตนพันธุ์ Supaporn Rattanapan พนิดา กิ่งซุ่น Panita Kongsune.....51

7. การวิเคราะห์ก๊าซชีววมวลที่ได้จากแก๊สซิฟิเคเตอร์แบบไหลลงโดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง
Analysis of Producer Gas from Downdraft Gasifier by Using Coconut Shell as Fuel
พงษ์ศักดิ์ ทรัพย์สาร Pongsak Sabpayasan จักรพันธ์ ทองบุญชู Jakkraphan Thongbunchoo
อมาวดี รักเรือง Amawasee Rukruang ชเนศ ไชยชนะ Tanate Chaichana พนิดา กิ่งชุ่น Panita Kongsune
จตุพร แก้วอ่อน Jatuporn Kaew-On.....61
8. การนำถนนแอสฟัลต์มาใช้ใหม่โดยให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ
Recycled of Asphalt Road using Microwave Heating
ทวิศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล Thaweesak Runngsakthaweekul รัชศักดิ์ พรหมมาศ Ratthasak Prommas
นิชาภา มินาบุญ Nichapha Minabhun.....69
9. สหสัมพันธ์ใหม่สำหรับการทำนายค่าความดันลดขณะควบแน่นของสารทำความเย็น R134a ภายในท่อแบน
New Applicable Correlations to Predict Pressure Drop of R134a for the Flattened Tubes
รอนี บิลหมุด Ronee Bilmud อมาวดี รักเรือง Amawasee Rukruang
สมชาย วงศ์วิเศษ Somchai Wongwises จตุพร แก้วอ่อน Jatuporn Kaew-On.....79
10. การเขียนทางเดินของรังสีใด ๆ เพื่อหาดำแหน่งภาพจากเลนส์บางหรือกระจกโค้ง
Arbitrary Ray Tracing to Locate Image Formed by a Thin Lens or Spherical Mirror
เดชา สุภพิทยากรณ์ Decha Suppattayaporn.....91



ผลต่อความผ่อนคลายของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง ในอาสาสมัครสุขภาพดี

Relaxation Effect of Essential Oil from Leaf of *Cinnamomum bejolghota* (Buch.- Ham.) Sweet. on Healthy Volunteers

ธวัชชัย ศรีสุวรรณ¹, จุฬารัตน์ สมคุณ², ธัญชนก ชูเสือหึง²

อภิญญา วัฒนปัญญา² และสนั่น สุภธีรสกุล^{3*}

Thawatchai Srisuwan¹, Jularat Somkhun², Thanchanok Chusueahueng²,

Apinya Watthanapinyo² and Sanan Subhadhirasakul^{3*}

บทคัดย่อ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง (*Cinnamomum bejolghota* (Buch.- Ham.) Sweet) ที่กลั่นโดยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) พบว่าประกอบด้วยสารทั้งหมด 30 ชนิด โดยมี Linalool เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักที่พบในปริมาณมากที่สุด การศึกษาผลต่อการผ่อนคลายของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งในอาสาสมัครกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาเพศหญิง คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จำนวน 142 คน โดยคำนวณจากสูตรทาร์โร ยามาเน่และโปรแกรม G*power ในระหว่างเดือนธันวาคม 2559 ถึงเดือนมีนาคม 2560 พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยจำนวน 20 ไมโครลิตร เป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่มีผลต่อการผ่อนคลายมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

คำสำคัญ: ผลต่อการผ่อนคลาย น้ำมันหอมระเหย สมุลแว้ง

Abstract

Essential oil from the leaves of *Cinnamomum bejolghota* (Buch. Ham.) Sweet (Sa Mul la Wang) were obtained by hydrodistillation. Thirty compounds were identified in the oil by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) technique. Linalool was the main constituent found most in essential oil. The study of the relaxation effect of essential oil from the leaves was performed on 142 healthy female student volunteers

¹ นักวิทยาศาสตร์ คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90110

² นักศึกษาปริญญาตรี คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90110

³ รศ.ดร., คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90110

¹ Scientist, Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90110

² Undergraduate student, Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90110

³ Assoc. Prof. Dr., Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90110

* Corresponding author: E-mail address: sanan.s@psu.ac.th Tel. 074-282700

from the Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University from December 2016 to March 2017 using Taro Yamene's Formular and G*Power data analysis program. The result indicated that 20 μ l of essential oil was the minimum concentration needed for the highest relaxation effect which was statistically significant ($p < 0.05$) and had the effecting on relaxation with statistically significant ($p < 0.05$) when compared between the treatment and control group.

Keywords: Relaxation Effect, Essential Oil, *Cinnamomum bejolghota*

บทนำ

สมุนไพรเป็นสมุนไพรหนึ่งที่มีเขตการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติทั่วไปในป่าดงดิบชื้น มักพบใกล้แหล่งน้ำเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินแทบทุกชนิด ในทางการแพทย์แผนไทย สมุนไพรที่มีการใช้เปลือกเป็นองค์ประกอบในตำรับยาสามัญประจำบ้านหลายตำรับเช่น ยาหอมนวโกฐ ยาหอมอินทจักร์ ยาธาตุนครบรรจบ เป็นต้น ซึ่งจะใช้ประโยชน์จากเปลือกต้นเป็นหลัก หากมีการนำส่วนอื่นมาใช้ประโยชน์ได้ ก็จะสามารถเพิ่มมูลค่าของต้นสมุนไพรอีกทางหนึ่ง โดยจากการศึกษาขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยน้ำจากใบ ช่อดอก และเปลือกต้นของสมุนไพรในประเทศอินเดียของ Baruah *et al.* [1] ด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าในช่อดอกและใบสมุนไพรมีองค์ประกอบทางเคมีหลักคือ Linalool ซึ่งมีปริมาณ 62.82 % และ 57.41 % ตามลำดับ โดยในเปลือกต้นพบ Linalool เพียง 8.20 % และจากการศึกษาของ Nakamura *et al.* [2] พบว่า Linalool มีฤทธิ์ผ่อนคลายความเครียดในหนูคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาองค์ประกอบทางเคมี รวมถึงฤทธิ์ต่อการผ่อนคลายในอาสาสมัครของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุนไพรจากประเทศไทยเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จากน้ำมันหอมระเหยเพื่อใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมสุขภาพและการบำบัดรักษาโรคต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุนไพรในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาผลต่อการผ่อนคลายของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุนไพรในอาสาสมัครสุขภาพดีระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมน้ำมันหอมระเหย

1.1 เตรียมตัวอย่างสมุนไพร

เก็บใบสมุนไพรสด จากอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2559

1.2 วิธีการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

นำใบสมุนไพรสดมากลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการต้มกลั่นด้วยน้ำ (Water Distillation) ในขวดกลั่นความจุ 10 ลิตร ตามวิธีการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ระบุไว้ในมาตรฐานของสมุนไพรในตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย [3] และนำน้ำมันหอมระเหยที่ได้บรรจุใส่ขวดสีชา เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุนไพร

นำน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากใบสมุนไพรมาตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค GC-MS

(Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, 7890B GC-5977 A MSD, Agilent USA) จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยอ้างอิง Baruah *et al.* [1] ในการกำหนดสภาวะ GC ที่ใช้ทดสอบ ประกอบด้วย คอลัมน์ชนิด HP-5ms Ultra Inert, 30 m x 250 μ m Film Thickness x 0.25 μ m โหมดการฉีดแบบ Split มี Split Ratio 100 : 1 ก๊าซตัวพา คือ ฮีเลียม อัตราการไหล 1.0 มิลลิเมตร/นาที่ อุณหภูมิของส่วนฉีดสาร 250 องศาเซลเซียส โปรแกรมอุณหภูมิ Oven เริ่มต้น 75 องศาเซลเซียส คงไว้ 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 5 องศาเซลเซียส/นาที จนเป็น 200 องศาเซลเซียส คงไว้ 5 นาที และเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 15 องศาเซลเซียส/นาที จนเป็น 280 องศาเซลเซียส คงไว้ 1 นาที สภาวะของ MS เป็น Electron Ionization อุณหภูมิ Transfer Line 230 องศาเซลเซียส ช่วงมวลในการวิเคราะห์ 35-550 amu ฐานข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบกับคือ Wiley โดยมีเกณฑ์ค่า Match Factor $\geq 90\%$

3. การศึกษาผลต่อการผ่อนคลายของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง

น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากใบสมุลแว้งสดที่เพียงพอต่อการทดลองมาทดสอบผลต่อการผ่อนคลายในอาสาสมัคร โดยผ่านการพิจารณาและเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ให้ไว้ ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2559 เลขที่หนังสือรับรอง EC.59/B 06-006

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ นักศึกษา คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพศหญิง สุขภาพดีที่มีอายุระหว่าง 18-24 ปี มีสติสัมปชัญญะสมบูรณ์ สามารถสื่อสารความหมายได้เข้าใจ ไม่มีการรับยาที่เพิ่มหรือลดความดันโลหิต ยาทำให้สงบ ยาคลายกล้ามเนื้อ หรือยาต้านความวิตกกังวล ในระยะ 1 เดือน ไม่มีกลุ่มอาการที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง เช่น การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนต้น ไม่อยู่ในระยะตั้งครรภ์หรือมีประจำเดือน ไม่มีโรคประจำตัว หรือมีสัญญาณชีพตัวใดตัวหนึ่งผิดปกติ ไม่มีประวัติการแพ้ น้ำมันหอมระเหย และมีคะแนนประเมินความเครียดอยู่ในช่วง 6-25 คะแนน จำนวน 142 คน โดยกลุ่มตัวอย่างมาจากการคำนวณสูตรทาร์โร ยามาเน่ และ โปรแกรม G*Power แบ่งเป็นกลุ่มทำ Pre-test 40 คน กลุ่มทดลอง 51 คน และกลุ่มควบคุม 51 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 2 ประเภท

1) เครื่องมือวิทยาศาสตร์การแพทย์ประกอบด้วยเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ Stethoscope Classic II S.E / 71 cm (Littmann, USA) และเครื่องวัดความดันโลหิต Sphygmomanometer B&C mercurial CE0483 (Riester, Germany)

2) แบบบันทึกที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลทั่วไป

ส่วนที่ 2 แบบประเมินและวิเคราะห์ความเครียดด้วยตนเองของกรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข [4]

ส่วนที่ 3 แบบประเมินการผ่อนคลายชนิดเปรียบเทียบโดยสายตา (Visual Analogue Scale) [5]

ส่วนที่ 4 แบบบันทึกสัญญาณชีพก่อนและหลังการทดลอง

แบบประเมินและวิเคราะห์ความเครียดด้วยตนเองของกรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข [4] มีลักษณะเป็นคำถามมีทั้งหมด 20 ข้อ โดยประเมินว่าในระยะเวลา 2 เดือนที่ผ่านมา ผู้เข้าร่วมวิจัยมีอาการ พฤติกรรม หรือความรู้สึกต่อไปนี้มากน้อยเพียงใด โดยขีดเครื่องหมาย “√” ลงในช่องแสดงระดับอาการที่เกิดขึ้นกับตัวผู้เข้าร่วมวิจัยตามความเป็นจริงมากที่สุด คะแนน 0 หมายถึง ไม่เคยเลย คะแนน 1 หมายถึง เป็นครั้งคราว คะแนน 2 หมายถึง บ่อยๆ คะแนน 3 หมายถึง เป็นประจำ

การประเมินความเครียดคือ 0 - 5 คะแนน แสดงว่าผู้ตอบไม่จริงใจ ไม่แน่ใจในคำถาม 6 - 17 คะแนน แสดงว่าเครียดอยู่ในเกณฑ์ปกติ 18 - 25 คะแนน แสดงว่าเครียดสูงกว่าปกติเล็กน้อย 26 - 29 คะแนน แสดงว่าเครียดปานกลาง 30 คะแนนขึ้นไป แสดงว่าเครียดมาก

แบบประเมินการผ่อนคลายชนิดเปรียบเทียบโดยสายตา (Visual Analogue Scale) มีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวนอนมีความยาว 10 เซนติเมตร ตำแหน่งปลายสุดทางซ้ายมือจะเป็น 0 คะแนน ตรงกับความรู้สึกไม่ผ่อนคลายเลย ปลายขวาสุดเป็น 10 คะแนน มีความหมายว่าผ่อนคลายมากที่สุด ในการประเมินให้อาสาสมัครทำเครื่องหมายวงกลมลงบนเส้นที่ขีดบนมาตรวัดตรงตำแหน่งบนเส้นที่แสดงถึงระดับความผ่อนคลายที่ตนเองรู้สึกในขณะนั้น ซึ่งระดับการผ่อนคลายจะวัดจากทางปลายปิดทางซ้ายมือถึงระดับที่อาสาสมัครทำเครื่องหมายไว้มีหน่วยเป็นเซนติเมตร [5] (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แบบประเมินการผ่อนคลายชนิดเปรียบเทียบโดยสายตา [5]

การประเมินระดับการผ่อนคลายคือ 0 - 2 คะแนน (ไม่ผ่อนคลายเลย) 2.5 - 4 คะแนน (ผ่อนคลายเล็กน้อย) 4.5 - 6 คะแนน (ผ่อนคลายปานกลาง) 6.5 - 8 คะแนน (ผ่อนคลายมาก) และ 8.5 - 10 คะแนน (ผ่อนคลายมากที่สุด)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน โดยคิดแปลงมาจากการวิจัยของสร้อยจันทร์ [5] พอสังเขป

1) การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งที่เหมาะสมที่มีผลต่อการผ่อนคลาย (กลุ่ม Pre-Test) ในอาสาสมัครจำนวน 40 คนแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 10 คนโดยวิธีการจับสลากจำนวนหยดที่อาสาสมัครจะได้รับ (Simple Random Sampling Without Replacement) จำนวน 10 20 30 และ 40 ไมโครลิตร ตามลำดับ วิธีการทดลองในขั้นตอนนี้เริ่มจากผู้วิจัยอธิบายรายละเอียดของโครงการฯ ตามใบเชิญชวน และอาสาสมัครลงลายมือชื่อยินยอมเข้าร่วมการวิจัยใน “ใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย” จากนั้นให้อาสาสมัครบันทึกข้อมูลตามแบบบันทึกข้อมูลทั่วไป ทำแบบประเมินการผ่อนคลายชนิดเปรียบเทียบด้วยสายตา และทำแบบประเมินและวิเคราะห์ความเครียดด้วยตนเองของกรมสุขภาพจิต โดยคะแนนประเมินความเครียดต้องได้อยู่ในช่วง 6 - 25 คะแนน และผู้วิจัยทำการประเมินการผ่อนคลายของอาสาสมัครโดยการวัดสัญญาณชีพและบันทึกลงในแบบบันทึก จากนั้นทำการทดลองโดยใช้ น้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งผ่านการสูดดมน้ำมันหอมระเหยโดยตรง ซึ่งให้นั่งในห้องขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 3.8 เมตร สูง 2.8 เมตร ภายในห้องปรับอากาศอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หยดน้ำมันหอมระเหยลงบนแผ่นกระดาษทดสอบกลิ่น วางห่างจากปลายจมูกของอาสาสมัคร 3 นิ้ว เป็นแนวตรง (180 องศา) แล้วให้อาสาสมัครสูดดมซ้ำๆ เป็นจังหวะนาน 5 นาที ผู้วิจัยจึงทำการประเมินการผ่อนคลายของอาสาสมัครโดยการวัดสัญญาณชีพ และให้อาสาสมัครทำแบบประเมินการผ่อนคลายชนิดเปรียบเทียบด้วยสายตาหลังการทดลอง เพื่อนำจำนวนหยดของน้ำมันหอมระเหยที่น้อยที่สุดที่มีผลต่อการผ่อนคลายมากที่สุดมาใช้กับอาสาสมัครในขั้นตอนต่อไป

2) การศึกษาผลต่อการผ่อนคลายในอาสาสมัครจำนวน 102 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุม 51 คน กลุ่มทดลอง 51 คน ใช้วิธีการทดลองเช่นเดียวกับกลุ่ม Pre-test โดยที่กลุ่มควบคุมจะไม่ได้รับน้ำมันหอมระเหย กลุ่มทดลองจะได้รับน้ำมันหอมระเหย ซึ่งใช้จำนวนหยดที่น้อยสุดที่มีผลต่อการผ่อนคลายมากที่สุดจากขั้นตอนแรก

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์แบบ Two-Way ANOWA (Analysis of Variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) และสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยการหาค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

กลั่นน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง 4,536 กรัม ได้น้ำมันหอมระเหย 18.4 มิลลิลิตร คิดเป็นร้อยละ 0.41 โดยน้ำหนัก น้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งที่ได้มีลักษณะใส สีเหลืองอ่อน และมีกลิ่นหอม

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีหลักในน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งเรียงลำดับตามปริมาณ

ลำดับ	ชื่อสาร	ปริมาณ (%)	RT (นาที)	ลำดับ	ชื่อสาร	ปริมาณ (%)	RT (นาที)
1	Linalool (C ₁₀ H ₁₈ O)	33.28	9.17	16	Cis-1,4 Dimethyladamantane (C ₁₅ H ₂₆ O)	1.24	22.88
2	Bicyclogermacrene (C ₁₅ H ₂₄)	8.77	20.36	17	α -Terpineol (C ₁₀ H ₁₈ O)	1.10	11.84
3	α-Phellandrene (C ₁₀ H ₁₆)	5.64	6.09	18	Terpinen-4-ol (C ₁₀ H ₁₈ O)	0.93	11.43
4	Spathulenol (C ₁₅ H ₂₄ O)	4.25	22.30	19	Viridiflorol (C ₁₅ H ₂₆ O)	0.91	22.04
5	O-Cymene (C ₁₀ H ₁₄)	4.14	6.67	20	α-Pinene (C ₁₀ H ₁₆)	0.90	4.27
6	4,5-Dimethoxynaphthalen-1-ol (C ₁₅ H ₂₄ O)	3.65	23.76	21	(E)-Nerolidol (C ₁₅ H ₂₆ O)	0.78	21.9
7	Globulol (C ₁₀ H ₁₆)	3.58	22.45	22	α-Copaene (C ₁₅ H ₂₄)	0.57	17.19
8	α-Cadinol (C ₁₅ H ₂₆ O)	2.95	24.06	23	Cis-p-Menth-2-en-1-ol (C ₁₀ H ₁₈ O)	0.56	9.70
9	β-Phellandrene (C ₁₀ H ₁₆)	2.58	6.81	24	δ-Cadinol(C ₁₂ H ₁₂ O ₃)	0.55	23.85
10	δ-Cadinene (C ₁₅ H ₂₄)	2.41	20.97	25	3-Carene(C ₁₀ H ₁₆)	0.52	7.36
11	Epiglobulol (C ₁₅ H ₂₆ O)	1.99	22.63	26	α-Terpinene (C ₁₀ H ₁₆)	0.51	6.43
12	β-Caryophyllene (C ₁₅ H ₂₄)	1.87	18.36	27	Eucalyptol (C ₁₀ H ₁₈ O)	0.48	6.88
13	Dodecanal (C ₁₂ H ₂₄ O)	1.51	18.02	28	α-Humulene (C ₁₅ H ₂₄)	0.41	19.23
14	Spathulenol (C ₁₅ H ₂₆ O)	1.50	23.68	29	Cis-p-2-Menthen-1-ol (C ₁₀ H ₁₈ O)	0.39	10.25
15	Myrcene (C ₁₀ H ₁₆)	1.26	5.63	30	β-Pinene (C ₁₀ H ₁₆)	0.38	5.33

จากตารางที่ 1 พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีหลักของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งมีจำนวนประมาณ 30 ชนิด องค์ประกอบทางเคมีหลักที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในน้ำมันหอมระเหยคือ Linalool, Bicyclogermacrene, α -Phellandrene, Spathulenol และ O-Cymene ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีหลักในน้ำมันหอมระเหยที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานวิจัยของ Baruah *et al.* [1] พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีหลักที่เหมือนกันจำนวน 12 ชนิด คือ Linalool, α -Phellandrene, β -Phellandrene, β -Caryophyllene, Terpinen-4-ol, (R)- α -Pinene, Eucalyptol, β -Pinene, α -Tepineol, Myrcene, 3-Carene และ α -Humulene ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันอาจเกิดจากปัจจัยที่มีผลกระทบ คือ สถานที่ สภาพภูมิประเทศ ช่วงเวลา และฤดูกาลในการเก็บเกี่ยว [6]

ตารางที่ 2 สัญญาณชีพและคะแนนการผ่อนคลายก่อน-หลังการทดลองในกลุ่ม Pre-test

การทดลองในกลุ่ม Pre-Test		ตัวแปร							
		อัตราการเต้นของหัวใจ		อัตราการหายใจ		ความดันโลหิตช่วงบน		ความดันโลหิตช่วงล่าง	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
10 µl	Mean ± SD	83.30	79.00	18.20	17.20	97.00	96.50	70.60	68.90
		± 4.17	± 7.86	± 1.32	± 0.92	± 12.03	± 8.78	± 9.34	± 7.58
	p-value	0.240		0.061		0.911		0.602	
20 µl	Mean ± SD	84.30	80.20	19.00	17.80	97.80	98.40	70.20	65.20
		± 11.78	± 8.01	± 1.16	± 1.48	± 9.76	± 9.01	± 7.57	± 5.47
	p-value	0.262		0.026*		0.329		0.127	
30 µl	Mean ± SD	79.50	81.10	19.00	18.00	97.80	96.60	67.70	68.30
		± 7.34	± 6.30	± 0.94	± 1.25	± 9.76	± 10.27	± 7.27	± 8.56
	p-value	0.660		0.061		0.790		0.854	
40 µl	Mean ± SD	77.90	79.00	19.00	18.10	100.20	101.10	70.50	69.30
		± 8.31	± 9.02	± 0.82	± 1.37	± 10.50	± 9.48	± 6.43	± 4.60
	p-value	0.762		0.092		0.841		0.712	

*p-value < 0.05

จากตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่น้อยที่สุดที่มีผลต่อการผ่อนคลายมากที่สุดในการศึกษาครั้งนี้คือ Pre-Test พบว่าน้ำมันหอมระเหยจำนวน 20 ไมโครลิตร มีค่าเฉลี่ยผลต่างของอัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการหายใจลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับ จำนวน 10 30 40 ไมโครลิตร และน้ำมันหอมระเหย จำนวน 20 ไมโครลิตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรมากที่สุด ดังนั้นน้ำมันหอมระเหย จำนวน 20 ไมโครลิตร จึงเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่มีผลต่อการผ่อนคลายมากที่สุด โดยอาสาสมัครกลุ่มควบคุมไม่ได้รับน้ำมันหอมระเหย และให้อาสาสมัครกลุ่มทดลองสูดดมน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งที่หยดลงบนกระดาษทดสอบกลิ่น จำนวน 20 ไมโครลิตร นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ Two-Way ANOVA (Analysis of Variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) หลังการทดลอง พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจก่อนการทดลองและหลังการทดลองลดลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง อัตราการหายใจในกลุ่มทดลองก่อนการทดลองและหลังการทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับค่า $p < 0.05$ แต่ในกลุ่มควบคุมไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความดันโลหิตช่วงบนและความดันโลหิตช่วงล่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองลดลง แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ระดับคะแนนการผ่อนคลายก่อนการทดลองและหลังการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับค่า $p < 0.05$ ทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ตารางที่ 3 สัญญาณชีพ และคะแนนการผ่อนคลายก่อน-หลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ตัวแปร	กลุ่มของอาสาสมัคร	Mean $\pm$ SD	
		ก่อน	หลัง
อัตราการเต้นของหัวใจ	กลุ่มทดลอง	80.96 $\pm$ 11.71 ^{ab}	78.84 $\pm$ 11.82 ^b
	กลุ่มควบคุม	84.12 $\pm$ 10.16 ^{ab}	84.41 $\pm$ 9.19 ^a
อัตราการหายใจ	กลุ่มทดลอง	18.47 $\pm$ 1.24 ^a	17.22 $\pm$ 1.62 ^c
	กลุ่มควบคุม	17.67 $\pm$ 1.01 ^{bc}	18.00 $\pm$ 1.11 ^{ab}
ความดันโลหิตช่วงบน	กลุ่มทดลอง	103.98 $\pm$ 8.59 ^a	100.63 $\pm$ 9.36 ^a
	กลุ่มควบคุม	103.25 $\pm$ 8.24 ^a	101.29 $\pm$ 7.21 ^a
ความดันโลหิตช่วงล่าง	กลุ่มทดลอง	72.02 $\pm$ 7.48 ^a	70.04 $\pm$ 7.45 ^a
	กลุ่มควบคุม	70.80 $\pm$ 7.06 ^a	70.59 $\pm$ 7.34 ^a
ระดับคะแนนการผ่อนคลาย	กลุ่มทดลอง	5.33 $\pm$ 1.40 ^b	7.00 $\pm$ 1.27 ^a
	กลุ่มควบคุม	5.12 $\pm$ 1.65 ^b	6.45 $\pm$ 1.90 ^a

*a-c คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวนอนและแนวตั้ง ตัวอักษรต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างของแต่ละตัวแปรที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย a คือ ค่าที่ดีที่สุด ab b bc และ c เป็นค่าที่รองลงมาตามลำดับ

จากตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจและ อัตราหายใจมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับค่า $p < 0.05$ ส่วนความดันโลหิตช่วงบน ความดันโลหิตช่วงล่างและระดับคะแนนการผ่อนคลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากความแตกต่างของบุคคลในการตอบสนองต่อกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง รวมไปถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออารมณ์และจิตใจในการใช้น้ำมันหอมระเหย เช่น สภาวะที่กำลังใช้อยู่ อารมณ์ในขณะที่จะใช้ ความรู้สึกในอดีตเกี่ยวกับกลิ่นที่ใช้ ซึ่งในกลุ่มบุคคลที่มีค่าความดันโลหิตเพิ่มขึ้นหลังการทดลองอาจอยู่ในสภาวะอารมณ์ที่เครียดกว่ากลุ่มที่ผ่อนคลาย รวมไปถึงความรู้สึกในอดีตที่ไม่ดีเกี่ยวกับกลิ่นหรือรสนิยมที่ไม่พึงพอใจต่อกลิ่นดังกล่าว [7]

จากการเปรียบเทียบผลต่อการผ่อนคลายของอาสาสมัครก่อนและหลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองด้วยสถิติ Two-Way ANOVA (Analysis of Variance) พบว่ามีการผ่อนคลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับค่า $p < 0.05$ จึงสนับสนุนสมมติฐานการวิจัยที่กล่าวว่าน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งมีผลทำให้เกิดการผ่อนคลายเพิ่มขึ้นในอาสาสมัคร ซึ่งเป็นผลมาจากโมเลกุลของน้ำมันหอมระเหยที่อาสาสมัครสูดดมเข้าทางจมูกส่งผลให้ประสาทรับกลิ่นที่จมูกส่งการรับรู้ไปที่ Limbic System ซึ่งเป็นระบบที่ติดต่อกับสมองส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต การหายใจ ความจำ และการตอบสนองต่อความเครียด ไอหอมระเหยหรือโมเลกุลจะช่วยปรับสภาวะทางอารมณ์ ส่งผลดีต่อทางร่างกาย อารมณ์และจิตใจ เมื่อร่างกายผ่อนคลายจะแสดงผลต่างๆ เช่น ลดอัตราการเต้นของหัวใจ ลดความดันโลหิต ลดอัตราการหายใจ ทำให้รู้สึกสงบ สอดคล้องกับการออกฤทธิ์ของสารสำคัญที่พบมากที่สุดคือน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง คือ Linalool ที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ GABA Transaminase ที่ทำหน้าที่ทำลาย GABA กระตุ้นการทำงานของ Dopamine กระตุ้นการทำงานของ Serotonin ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับอารมณ์และการผ่อนคลาย [8] แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยมีผลทำให้เกิดความผ่อนคลายในกลุ่มทดลอง โดยการลดอัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการหายใจและเพิ่มระดับความผ่อนคลาย ส่วนอาสาสมัครกลุ่มควบคุมที่อัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการหายใจไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะไม่ได้รับการสูดดมน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง แต่มีการเพิ่มขึ้นของคะแนนการผ่อนคลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการนั่งพักทำให้ร่างกายผ่อนคลาย ความตึงเครียดประกอบกับสิ่งแวดล้อมที่สงบ (ห้องทดลอง) จึงทำให้อาสาสมัครกลุ่มควบคุมมีการผ่อนคลายเพิ่มขึ้นเช่นกัน

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้ง (*Cinnamomum bejolghota* (Buch.- Ham.) Sweet.) ซึ่งได้จากการกลั่นด้วยน้ำคิดเป็นร้อยละ 0.41 โดยน้ำหนัก การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยโดยใช้เทคนิค GC-MS พบองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด 30 ชนิด โดยมี Linalool เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักที่พบในปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 33.28 การศึกษาผลต่อการผ่อนคลายของน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งในอาสาสมัครกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักศึกษาแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยจำนวน 20 ไมโครลิตร เป็นจำนวนที่น้อยที่สุดที่มีผลต่อการผ่อนคลายมากที่สุด และผลการเปรียบเทียบการผ่อนคลายก่อนและหลังการทดลองระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง พบว่ามีการผ่อนคลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับค่า $p < 0.05$ จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงมีโอกาสนในการพัฒนาน้ำมันหอมระเหยจากใบสมุลแว้งไปใช้เป็นทางเลือกในสุนทรบำบัดเพื่อผ่อนคลายความเครียดในรูปแบบของเครื่องหอมหรือนำไปใช้ในการแต่งกลิ่นเครื่องสำอางในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนวิจัย คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Baruah, A., Subhan C.N., Ajit, K.H. and Tarun C.S. (1997). “Essential Oils of the Leaf, Stem Bark and Panicle of *Cinnamomum bejolghota* (Buch.- Ham.) Sweet”, **Journal of Essential Oil Research**. 9(2), 243-245.
- [2] Nakamura, A., Fujiwara, S., Matsumoto, I. and Abe, K. (2009). “Stress Repression in Restrained Rats by (R)-(-)-Linalool Inhalation and Gene Expression Profiling of Their Whole Blood Cells”, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 57(12), 5480–5485.
- [3] Sittichai, N. (2004). “Standards of Herbal in Thai Herbal Pharmacopoeia”, **Thai Journal of Phytopharmacy**. 11(1), 21-32.
- [4] Department of mental health, Ministry of Public Health. (n.d.). **Assessment Form and Self-Stress Analysis** (Online). Retrieved 12 January 2017, from <http://www.dmh.go.th/ebook/dl.asp?id=134>.
- [5] Paantong, S. (2002). **Effects of Enhancing Self-Efficacy in Muscle Relaxation on Blood Pressure in People with Hypertension**. Master of Nursing Science. Chiang Mai: Chiang Mai University.
- [6] Chaisaeng, P. (2009). **Production and Value Creation of Volatile Oil from True Laurel (*Cinnamomum Porrectum* (Roxb) Kosterm.) Wood Waste**. Master of Science. Bangkok: Kasetsart University.
- [7] Noosen, T., Jitsukummongkol, P., Arunothai, P. and Yangtong, R. (2009). **Relaxation Effect on Volunteers of Volatile Oils from *Desmos Chinensis* Flower**. Graduate of Science (Traditional Thai Medicine). Songkhla: Prince of Songkla University.
- [8] Sotanaphun, U. (2016). **Mechanism of Action of Aromatherapy on Central Nervous System**. Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Silpakorn University, Nakhon-Pathom (Online). Retrieved 25 January 2017, from http://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=206.

ผลของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักและสัดส่วนร่างกาย ต่อมวลกระดูก ในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่

Effects of Basal Metabolic Rate and Body Composition on Bone Mass in Elderly and Adult

นิติตา ปิยอมนรพันธุ์^{1*} และเพ็ญภา ชลปฐมพิกุลเลิศ²

Nitita Piya-amornphan^{1*} and Pennapa Chonpathompikunlert²

บทคัดย่อ

โรคกระดูกพรุนเป็นปัญหาสำคัญทั่วโลก มักเกิดจากการลดลงของมวลกระดูกตามอายุที่เพิ่มขึ้น มีรายงานแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดลงของมวลกระดูกแต่ผลกระทบของบางปัจจัยยังไม่ทราบแน่ชัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักและสัดส่วนร่างกายต่อมวลกระดูกในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ วิธีการศึกษาเป็นแบบตัดขวาง เก็บข้อมูลมวลกระดูก มวลกล้ามเนื้อ มวลไขมัน และ อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก พบว่ามวลกระดูกผู้สูงอายุและผู้ใหญ่มีความสัมพันธ์ระดับสูงกับอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก ($r = 0.979, 0.971$; $p = 0.000$) และ มวลกล้ามเนื้อ ($r = 0.947, 0.924$; $p = 0.000$) ในผู้สูงอายุ มวลกระดูกมีความสัมพันธ์กับมวลไขมันด้วย อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักส่งผลต่อมวลกระดูกทั้งสองกลุ่มอายุมากที่สุด (Adjusted Beta Coefficients = $0.979, 0.971$; $p = 0.000$) จากงานวิจัยสรุปได้ว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักมีความสัมพันธ์กับมวลกระดูกและอาจส่งผลกระทบต่อมวลกระดูกทั้งในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่

คำสำคัญ: มวลกระดูก อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก สัดส่วนร่างกาย

Abstract

Osteoporosis is a worldwide problem and mostly result from the age-dependent bone loss. Literatures show factors involved in bone loss, but impacts of that are not totally clarify. This study primary aimed to investigate whether basal metabolic rate and body composition affect bone mass in elderly and adult. Cross-sectional study was performed to collect the data set of bone mass, muscle mass, fat mass, and basal metabolic rate. The result showed that bone mass was highly correlate with basal metabolic rate ($r = 0.979, 0.971$; $p = 0.000$) and muscle mass ($r = 0.947, 0.924$; $p = 0.000$) in elderly and adult. Aged bone mass also related

¹ อ.ดร., สาขาวิชากายภาพบำบัด สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² ผศ.ดร., วิทยาลัยการแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพฯ 10900

¹ Lectuer, Dr., Department of Physical Therapy, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

² Asst. Prof. Dr., Alternative Medical College, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, 10900

* Corresponding author: E-mail address: nitita.do@wu.ac.th. Tel.: 0-7567-2756

to fat mass. Bone mass in both age-groups were mostly influenced by basal metabolic rate (adjusted beta coefficients = 0.979, 0.971; $p = 0.000$). In conclusion, basal metabolic rate was correlate with bone mass and may be the factor affecting bone mass in both elderly and adult.

Keywords: Bone Mass, Basal Metabolic Rate (BMR), Body Composition

บทนำ

โรคกระดูกพรุน (Osteoporosis) เป็นปัญหาสำคัญทางการแพทย์เนื่องจากเป็นโรคที่เป็นสาเหตุสำคัญของการลดคุณภาพชีวิต การเกิดความพิการ และการตายในผู้สูงอายุ ความชุกของโรคกระดูกพรุนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากสถิติจำนวนประชากรผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้น [1] มูลนิธิโรคกระดูกพรุนนานาชาติรายงานว่าผู้ป่วยโรคกระดูกพรุนทั่วโลกมากกว่า 200 ล้านคน ในกลุ่มคนที่อายุเกิน 50 ปี และพบว่าผู้หญิงอย่างน้อย 1 ใน 3 คน และผู้ชายอย่างน้อย 1 ใน 5 คน เคยกระดูกหักจากโรคกระดูกพรุน จากการศึกษาของมูลนิธิโรคกระดูกพรุนแห่งประเทศไทยพบว่าผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 70 ปีขึ้นไป จะพบโรคกระดูกพรุนได้มากกว่าร้อยละ 50 และมักเป็นสาเหตุของกระดูกสะโพกหัก ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะเสียชีวิตภายหลังกระดูกสะโพกหักในระยะเวลา 1-2 ปี การวินิจฉัยโรคกระดูกพรุนมักทำได้ล่าช้าเนื่องจากเป็นโรคที่ไม่มีอาการและอาการแสดงชัดเจน การป้องกันมวลกระดูกให้เสื่อมลงช้าที่สุดเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการดูแลรักษาโรคกระดูกพรุน [2-3]

กลไกการเกิดโรคกระดูกพรุนยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดแต่พบว่าเกี่ยวข้องกับการเสียสมดุลระหว่างเซลล์สร้างกระดูก (Osteoblast) และเซลล์สลายกระดูก (Osteoclast) กล่าวคือมีการลดลงของเซลล์สร้างกระดูกและ/หรือมีการเพิ่มขึ้นของเซลล์สลายกระดูกทำให้มวลกระดูกลดลง [4-5] ปัจจุบันพบปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อสมดุลการสร้างและการสลายกระดูกดังกล่าว เช่น อายุ การสูบบุหรี่ การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โรคเรื้อรัง การออกกำลังกาย และ น้ำหนักตัว เป็นต้น [6-7] สัดส่วนร่างกาย (Anthropometric) หมายถึง สัดส่วนของร่างกายมนุษย์ที่บ่งชี้ลักษณะทางกายภาพ สัดส่วนร่างกายประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ มวลร่างกายส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน และมวลไขมัน ถึงแม้ว่าผลของน้ำหนักตัวต่อมวลกระดูกจะเป็นที่ทราบอย่างชัดเจนแล้ว กล่าวคือ ผู้ที่มีน้ำหนักตัวมากมีมวลกระดูกมากกว่าผู้ที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่าในอายุเท่ากันทั้งเพศหญิงและเพศชาย [8-9] อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของมวลกระดูกต่อสัดส่วนร่างกายอื่นๆ ที่มักส่งผลต่อน้ำหนักตัว ได้แก่ มวลกล้ามเนื้อ และมวลไขมัน ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด นอกจากนั้นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อมวลกระดูกหรือไม่อย่างไรก็ยังไม่ทราบเช่นกัน

อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก (Basal Metabolic Rate (BMR)) หมายถึง พลังงานที่น้อยที่สุดที่ร่างกายสามารถใช้ได้อย่างปกติ ปัจจุบันพบว่าการลดลงของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักมักมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคจากความเสื่อมถอยของร่างกายตามอายุ (Degenerative Diseases) [10] โดยทั่วไปอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ในขณะที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบหายใจ หรือ มวลกล้ามเนื้อมากขึ้น [11] อย่างไรก็ตามยังไม่แน่ชัดว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักจะสัมพันธ์และมีผลต่อมวลกระดูกด้วยหรือไม่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักและสัดส่วนร่างกายต่อมวลกระดูกในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ และมีการวัดวัตถุประสงค์รองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวในทั้ง 2 กลุ่มอายุ รวมถึงความแตกต่างของปัจจัยดังกล่าวระหว่างกลุ่มอายุ เนื่องจากการประเมินสัดส่วนร่างกายและอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักสามารถทำได้

โดยใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน หากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อมวลกระดูกจะมีประโยชน์ในการใช้เป็นตัวบ่งชี้มวลกระดูกได้ในเบื้องต้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

วัสดุ อุปกรณ์

แบบสัมภาษณ์ใช้ในการสัมภาษณ์คัดกรองผู้รับการตรวจประเมินประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานซึ่งแบบสัมภาษณ์ได้ถูกทำลายหลังนำข้อมูลเข้าในโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ ข้อมูลประวัติสุขภาพจะถูกคัดกรองจากเวชระเบียนด้วยใช้เครื่องมือ Body Composition Analyzer[®] Tanita SC-330 เพื่อประเมินอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก (BMR) มวลกระดูก (Bone Mass) มวลกล้ามเนื้อ (Muscle Mass) และ มวลไขมัน (Fat Mass)

กลุ่มประชากร

ผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ยินยอมให้เก็บข้อมูลวิจัย

วิธีดำเนินการ

รูปแบบการศึกษาเป็นแบบเชิงวิเคราะห์ (Analytic Study) เก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์แบบตัดขวาง (Cross-sectional Study) เป็นระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 โดยสุ่มเลือกตัวอย่างตามความสะดวกของผู้วิจัย (Convenience Sampling) โดยประชาสัมพันธ์การดำเนินโครงการวิจัยผ่านการบริการวิชาการตรวจสอบสุขภาพในจังหวัดนครศรีธรรมราช ผู้รับการตรวจประเมินจะได้รับการแจ้งรายละเอียดการดำเนินโครงการวิจัยและแจ้งยินยอมเข้าร่วมโครงการก่อนรับการตรวจประเมิน ผู้รับการตรวจประเมินจะถูกสัมภาษณ์ข้อมูลพื้นฐาน โดยข้อมูลโรคประจำตัวและการรักษา ประวัติสุขภาพในระยะ 3 เดือนที่ผ่านมา จะถูกยืนยันจากเวชระเบียนด้วย จากนั้นผู้รับการตรวจประเมินจะถูกวัดส่วนสูงและน้ำหนักตัวเพื่อหาค่าดัชนีมวลกาย ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยจะได้รับการประเมิน BMR Bone Mass Muscle Mass และ Fat Mass โดยใช้เครื่องมือ Body Composition Analyzer โดยให้ผู้รับการตรวจประเมินยืนบนเครื่องมือหนึ่งๆ เป็นเวลาประมาณ 10 วินาที จากนั้นเครื่องมือจะรายงานผลข้อมูล การวัด BMR และ สัดส่วนร่างกายโดยใช้เครื่องมือ Body Composition Analyzer จัดเป็นวิธีแบบไม่รุกราน (Non-invasive Method) เพื่อควบคุมตัวแปรรบกวนในการศึกษาครั้งนี้ สัดส่วนเพศชายและหญิง ช่วงอายุ และ สัดส่วนดัชนีมวลกายระหว่างกลุ่มผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ถูกจำกัดให้ใกล้เคียงกัน และมีการคัดกรองผู้รับการตรวจประเมินตามเกณฑ์คัดเข้าและเกณฑ์คัดออก ดังนี้

เกณฑ์การคัดเข้า

- อายุ 35-85 ปี
- สามารถเดินได้ด้วยตัวเอง
- สามารถสื่อสารภาษาไทยได้
- มีค่าดัชนีมวลกายเท่ากับ $17.00-24.90 \text{ kg/m}^2$

เกณฑ์การคัดออก

- มีโรคประจำตัวที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือ ไม่ได้รับการรักษา
- ได้รับการวินิจฉัยว่ามีภาวะผิดปกติทางโภชนาการ
- เข้ารับการรักษาก่อนเป็นผู้ป่วยในโรงพยาบาลในระยะ 3 เดือน ก่อนเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ

เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่มผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ โดยใช้ Unpaired Student *t*-test หาความสัมพันธ์และผลกระทบของ BMR Muscle Mass Fat Mass ต่อ Bone Mass โดยใช้ Pearson's Correlation และ Regression Analysis ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 21.0

โครงการวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เลขที่โครงการ 3-028-59

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไป

ผู้ได้รับการประเมินกลุ่มผู้สูงอายุมีอายุอยู่ในช่วง 61-85 ปี เป็นเพศหญิง ร้อยละ 80 และเป็นเพศชาย ร้อยละ 20 มี BMI เฉลี่ยในระดับปกติ (ค่าปกติ 18.50-22.99) กลุ่มผู้ใหญ่อายุอยู่ในช่วง 36-59 ปี เป็นเพศหญิง ร้อยละ 81 และ เป็นเพศชาย ร้อยละ 19 มี BMI เฉลี่ยในระดับปกติ (ค่าปกติ 18.50-22.99) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูลทั่วไป	ผู้สูงอายุ	ผู้ใหญ่
จำนวน (คน)	74	36
เพศ (คน)		
หญิง	59	29
ชาย	15	7
อายุ (ปี)	71.20 ± 5.93	52.14 ± 5.43
BMI (kg/m ²)	22.99 ± 3.00	22.97 ± 3.24

มวลกระดูก มวลกล้ามเนื้อ มวลไขมัน และ อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่

จากการประเมิน Bone Mass Muscle Mass Fat Mass และ BMR ในช่วงอายุผู้สูงอายุกับช่วงอายุผู้ใหญ่พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตาม BMR และ Bone Mass ของผู้สูงอายุมีแนวโน้มต่ำกว่า BMR และ Bone Mass ของผู้ใหญ่ (ลดลง ร้อยละ 1.15 และ 0.92 ตามลำดับ) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 มวลกระดูก มวลกล้ามเนื้อ มวลไขมัน และ อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่

ข้อมูล	ผู้สูงอายุ	ผู้ใหญ่	p-value
Bone Mass (kg)	2.15 ± 0.40	2.17 ± 0.32	0.406
Muscle Mass (kg)	37.41 ± 6.63	36.98 ± 5.20	0.738
Fat Mass (% Body Weight)	27.58 ± 9.09	28.47 ± 8.32	0.621
BMR (kcal.kg ⁻¹ .h ⁻¹)	1114.00 ± 173.70	1127.00 ± 139.70	0.347

ความสัมพันธ์ของมวลกระดูกกับมวลกล้ามเนื้อ มวลไขมัน และ อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักในผู้สูงอายุ และผู้ใหญ่

ในผู้สูงอายุพบว่า Bone Mass มีความสัมพันธ์กับ BMR Muscle Mass และ Fat Mass โดยมีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับ BMR และ Muscle Mass แต่มีความสัมพันธ์ระดับต่ำกับ Fat Mass (ตารางที่ 3) ในผู้ใหญ่พบว่า Bone Mass มีความสัมพันธ์ระดับสูงกับ BMR และ Muscle Mass เช่นกัน แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับ Fat Mass (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก มวลกล้ามเนื้อ มวลไขมัน และ มวลกระดูกในผู้สูงอายุ และผู้ใหญ่

ปัจจัย	Muscle Mass	Fat Mass	BMR
ผู้สูงอายุ			
Bone Mass			
Pearson Correlation (r)	0.947***	-0.270**	0.979***
p-value	0.000	0.009	0.000
ผู้ใหญ่			
Bone Mass			
Pearson Correlation (r)	0.924***	-0.310	0.971***
p-value	0.000	0.430	0.000

p < 0.01, *p < 0.001

ผลกระทบของอัตราการเผาผลาญร่างกายขณะพัก มวลกล้ามเนื้อ และ มวลไขมันต่อมวลกระดูกในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่

จากการหาผลกระทบของ BMR Muscle Mass และ Fat Mass ต่อ Bone Mass ในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่โดยใช้โปรแกรม Stepwise Linear Regression พบว่า BMR เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อมวลกระดูกมากที่สุดทั้งในวัยผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ ในขณะที่ Muscle Mass ส่งผลต่อ Bone Mass ในผู้สูงอายุ แต่ไม่ส่งผลต่อ Bone Mass ในผู้ใหญ่ และ Fat Mass ไม่ส่งผลต่อ Bone Mass ทั้งในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลกระทบของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก มวลกล้ามเนื้อ และ มวลไขมัน ต่อมวลกระดูกในผู้สูงอายุ และผู้ใหญ่

ปัจจัย	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	t	p-value
	B	Std. Error			
ผู้สูงอายุ					
(Constant)	-0.363	0.061		-5.996	
BMR	0.002	0.000	0.979***	41.959	0.000
(Constant)	-0.206	0.078		-1.015	
BMR	0.004	0.000	1.588***	12.256	0.000
Muscle Mass	-0.034	0.007	-0.572***	-5.696	0.000

ตารางที่ 4 ผลกระทบของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก มวลกล้ามเนื้อ และ มวลไขมัน ต่อมวลกระดูกในผู้สูงอายุ และผู้ใหญ่ (ต่อ)

ปัจจัย	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	t	p-value
	B	Std. Error			
(Constant)	-0.305	0.129		-2.355	
BMR	0.004	0.000	1.685***	12.547	0.000
Muscle Mass	-0.390	0.008	-0.652***	-5.132	0.000
Age	0.003	0.001	0.045*	2.142	0.036
(Constant)	-0.370	0.109		-3.399	0.002
ผู้ใหญ่					
(Constant)	-0.370	0.109		-3.399	0.002
BMR	0.002	0.000	0.971***	23.511	0.000
(Constant)	-0.693	0.146		-4.741	0.000
BMR	0.002	0.000	0.961***	25.750	0.000
Age	0.007	0.002	0.111**	2.979	0.005

Dependent Variable: Bone Mass; *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001

การอภิปรายผล

งานวิจัยระยะยาวก่อนหน้าพบว่ามวลกระดูกในผู้สูงอายุ ช่วง 67-90 ปี มีการลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 4 ปี ร้อยละ 0.2-4.8 [12] การลดลงของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักตามอายุที่เพิ่มขึ้นจะเห็นชัดในช่วงอายุ 51-81 ปี [13] Fukagawa และคณะพบว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักในผู้สูงอายุ (n = 44, อายุ 67-89 ปี) ต่ำกว่าในวัยหนุ่มสาว (n = 24, อายุ 18-33 ปี) โดยค่าเฉลี่ยอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักในผู้สูงอายุในเพศชาย เท่ากับ 1.04 ± 0.02 kcal/min ในเพศหญิงเท่ากับ 0.84 ± 0.02 kcal/min [14] ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของมวลกระดูกและอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักระหว่างกลุ่มผู้สูงอายุและผู้ใหญ่อ้างเนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่น้อย และอายุเฉลี่ยของกลุ่มผู้ใหญ่มาก่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการศึกษาอื่นๆ

การศึกษานี้พบว่า ในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่มวลกระดูกมีความสัมพันธ์ระดับสูงกับอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก และอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อมวลกระดูกมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยที่สำรวจอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักและความหนาแน่นของกระดูก (Bone Mineral Density) ในผู้หญิง (n = 289, อายุ 40-80 ปี) พบว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักสามารถบ่งชี้ความหนาแน่นของกระดูก โดยผู้ที่มีความหนาแน่นของกระดูกอยู่ในเกณฑ์เป็นโรคกระดูกพรุนจะมีอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักต่ำกว่าผู้ที่มีความหนาแน่นของกระดูกอยู่ในช่วงปกติในทุกช่วงอายุ (< 49, 50-59, 60-69, และ > 70 ปี) [15] นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักและความหนาแน่นของกระดูกในผู้ป่วยไขสันหลังบาดเจ็บ (n = 30, อายุ 20-45 ปี) พบว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของกระดูก [16] การศึกษาของ Andreoli และคณะ พบว่าอัตรา

การเผาผลาญของร่างกายขณะพักเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของมวลกระดูกและเห็นชัดเจนในผู้สูงอายุ ($n = 420$, อายุ 17-78 ปี) [17] แสดงว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักจะบ่งชี้ความหนาแน่นของกระดูกได้ โดยเฉพาะในกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงเป็นโรคกระดูกพรุน การรักษาระดับอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก โดยการเพิ่มสมรรถภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบหายใจ และ รักษาระดับมวลกล้ามเนื้อ อาจเป็นแนวทางในการชะลอการลดลงของมวลกระดูก ปัจจุบันพบว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักมีความสัมพันธ์ต่อ Mitochondria Function และ Mitochondria Dysfunction เป็นสาเหตุสำคัญของ Degenerative Diseases [18] อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาที่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่า Mitochondria Dysfunction มีความเกี่ยวข้องต่อการลดลงของมวลกระดูกตามอายุด้วยหรือไม่

เป็นที่น่าสนใจว่ามวลกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับมวลกระดูกในระดับสูงทั้งในผู้สูงอายุและผู้ใหญ่ แต่ส่งผลต่อมวลกระดูกเฉพาะในผู้สูงอายุ มีรายงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ามวลกระดูกมีความสัมพันธ์กับมวลกล้ามเนื้อในผู้สูงอายุ โดยอธิบายว่าการลดลงของมวลกระดูกตามอายุที่เพิ่มขึ้นเป็นกระบวนการปรับตัวของร่างกายให้สัมพันธ์กับการลดลงของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและมวลกล้ามเนื้อที่พบตั้งแต่อายุ 30 ปี แต่มีข้อโต้แย้งว่าการลดลงของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและมวลกล้ามเนื้อไม่สามารถอธิบายการลดลงของมวลกระดูกตามอายุที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากการลดลงของมวลกระดูกเกิดก่อนการลดลงของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและมวลกล้ามเนื้อ [19] Baumgartner รายงานว่ามวลกล้ามเนื้อและมวลกระดูกสัมพันธ์กันเฉพาะช่วงสูงอายุ [20] ถึงแม้ว่ารายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกระดูกและกล้ามเนื้อยังมีข้อโต้แย้งอยู่มาก แต่ก็เป็นที่ทราบว่าการรักษามวลกล้ามเนื้อให้อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการรักษาสุขภาพโดยรวม และจากผลการวิจัยครั้งนี้สนับสนุนความจำเป็นในการรักษามวลกล้ามเนื้อโดยเฉพาะในผู้สูงอายุ

ยังไม่มีการรายงานความสัมพันธ์ระหว่างมวลกระดูกและมวลไขมันมากนัก อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยครั้งนี้พบความสัมพันธ์ของมวลกระดูกและมวลไขมันเฉพาะในผู้สูงอายุ จากการศึกษาผลของมวลไขมันต่ออัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก ($n = 150$) พบว่ามวลไขมันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักเช่นเดียวกับมวลร่างกายส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน [21] ดังนั้นจากผลวิจัยนี้เป็นไปได้ว่ามวลไขมันอาจไม่ส่งผลโดยตรงต่อมวลกระดูกแต่อาจส่งผลในผู้สูงอายุโดยเกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก

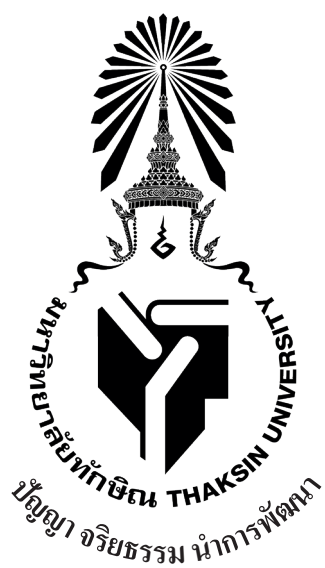
สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่าอัตราการเผาผลาญร่างกายขณะพักส่งผลต่อมวลกระดูกทั้งใน 2 กลุ่มอายุและมวลกล้ามเนื้อส่งผลต่อมวลกระดูกเฉพาะในผู้สูงอายุ การประเมินมวลกล้ามเนื้อและอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อนและการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านี้มักถูกสังเกตได้ชัดเจนกว่าการเปลี่ยนแปลงมวลกระดูก จึงน่าจะใช้เป็นตัวบ่งชี้มวลกระดูกได้ในเบื้องต้น อย่างไรก็ตามการศึกษาเพิ่มเติมในกลุ่มประชากรขนาดใหญ่ที่จำแนกตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น เกณฑ์ดัชนีมวลกาย ระดับกิจกรรมทางกาย และโรคประจำตัว เป็นต้น และการศึกษาแบบระยะยาว (Longitudinal Study) มีความจำเป็นต่อการยืนยันผลวิจัยครั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้มีระยะเวลาและงบประมาณในการดำเนินการเป็นข้อจำกัด ทำให้กลุ่มตัวอย่างน้อย และอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน (สุ่มตามความสะดวก) ซึ่งอาจทำให้กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรที่แท้จริงได้ และการศึกษาแบบตัดขวางทำให้ไม่สามารถบอกผลของอัตราการเผาผลาญของร่างกายต่อการเปลี่ยนแปลงมวลกระดูกได้โดยตรง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Reginster, J.Y. and Burlet, N. (2006). "Osteoporosis: A Still Increasing Pprevalence", **Bone**. 38, S4-9.
- [2] Wang, W.J., Kuo, K.L., Liaw, C.K., Wu, T.Y., Chie, W.C. and Chen, J.M. (2017). "Bone Health among Older Adults in Taiwan", **Archives of Gerontology and Geriatrics**. 70, 155-161.
- [3] Cosman, F., Klege, J.H., Looker, A.C., Schousboe, J.T., Fan, B., Sarafrazi I. N., Shepherd, J.A., Krohn, K.D., Steiger, P., Wilson, K.E. and Genant, H.K. (2017). "Spine Fracture Prevalence in a Nationally Representative Sample of US Women and Men Aged ≥ 40 Years: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2013-2014", **Osteoporosis International**. 28, 1857-1866.
- [4] Campos-Obando, N., Koek, W.N., Hooker, E.R., van der Eerden, B.C., Pols, H.A., Hofman, A., van Leeuwen, J.P., Uitterlinden, A.G., Nielson, C.M. and Zillikens, M.C. (2017). "Serum Phosphate is Associated with Fracture Risk: the Rotterdam Study and MrOS", **Journal of Bone and Mineral Research**. 32, 1182-1193.
- [5] Lassen, N.E., Andersen, T.L., Pløen, G.G., Søre, K., Hauge, E.M., Harving, S., Eschen, G.E.T. and Delaisse, J.M. (2017). "Coupling of Bone Resorption and Formation in Real Time: New Knowledge Gained from Human Haversian BMUs", **Journal of Bone and Mineral Research**. 32, 1395-1405.
- [6] Nahar, V.K., Nelson, K.M., Ford, M.A., Sharma, M., Bass, M.A., Haskins, M.A. and Garner, J.C. (2016). "Predictors of Bone Mineral Density among Asian Indians in Northern Mississippi: A Pilot Study", **Journal of Research in Health Sciences**. 16, 228-232.
- [7] Kenny, A.M., Prestwood, K.M., Marcello, K.M. and Raisz, L.G. (2000). "Determinants of Bone Density in Healthy Older Men with Low Testosterone Levels", **The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**. 55, M492-M497.
- [8] Kang, D.H., Guo, L.F., Guo, T., Wang, Y., Liu, T., Feng, X.Y. and Che, X.Q. (2015). "Association of Body Composition with Bone Mineral Density in Northern Chinese Men by Different Criteria for Obesity", **Journal of Endocrinological Investigation**. 38, 323-331.
- [9] Jiang, Y., Zhang, Y., Jin, M., Gu, Z., Pei, Y. and Meng, P. (2015). "Aged-related Changes in Body Composition and Association between Body Composition with Bone Mass Density by Body Mass Index in Chinese Han Men Over 50-Year-Old", **PLoS One**. 10, e0130400. doi: 10.1371/journal.pone.0130400.
- [10] White, E., Mehnert, J.M. and Chan, C.S. (2015). "Autophagy, Metabolism and Cancer", **Clinical Cancer Research**. 21, 5037-5046.
- [11] Lee, H.J. and Yang, S.J. (2017). "Aging-Related Correlation between Serum Sirtuin 1 Activities and Basal Metabolic Rate in Women, but not in Men", **Clinical Nutrition Research**. 6, 18-26.
- [12] Hannan, M.T., Felson D.T., Dawson-Hughes B., Tucker, K.L., Cupples, L.A., Wilson, P.W. and Kiel, D.P. (2000). "Risk Factors for Longitudinal Bone Loss in Elderly Men and Women: the Framingham Osteoporosis Study", **Journal of Bone and Mineral Research**. 15, 710-720.
- [13] Poehlman, E.T., Goran, M.I., Gardner, A.W., Ades, P.A., Arciero, P.J., Katzman-Rooks, S.M., Montgomery, S.M., Toth, M.J. and Sutherland, P.T. (1993). "Determinants of Decline in Resting Metabolic Rate in Aging Females", **American Journal of Physiology**. 264, E450-E455.

- [14] Fukagawa, N.K., Bandini, L.G. and Young, J.B. (1990). "Effect of Age on Body Composition and Resting Metabolic Rate", **American Journal of Physiology**. 259, E233-E238.
- [15] Hsu, W.H., Fan, C.H., Lin, Z.R. and Hsu, R.W. (2013). "Effect of Basal Metabolic Rate on the Bone Mineral Density in Middle to Old Age Women in Taiwan", **Maturitas**. 76, 70-74.
- [16] Yilmaz, B., Yasar, E., Goktepe, A.S., Onder, M.E., Alaca, R., Yazicioglu, K. and Mohur, H. (2007). "The Relationship between Basal Metabolic Rate and Femur Bone Mineral Density in Men with Traumatic Spinal Cord Injury", **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. 88, 758-761.
- [17] Andreoli, A., Garaci, F., Cafarelli, F.P. and Guglielmi, G. (2016). "Body Composition in Clinical Practice", **European Journal of Radiology**. 85, 1461-1468.
- [18] Soares, M.J., Cummings, N.K. and Ping-Delfos, W.L. (2011). "Energy Metabolism and the Metabolic Syndrome: Does a Lower Basal Metabolic Rate Signal Recovery Following Weight Loss?", **Diabetes & Metabolic Syndrome**. 5, 98-101.
- [19] Burr, D.B. (1997). "Muscle Strength, Bone Mass and Age-Related Bone Loss", **Journal of Bone and Mineral Research**. 12, 1547-1551.
- [20] Baumgartner, R.N. (2000). "Body Composition in Healthy Aging", **Annals of the New York Academy of Sciences**. 904, 437-448.
- [21] Johnstone, A.M., Murison, S.D., Duncan, J.S., Rance, K.A. and Speakman, J.R. (2005). "Factors Influencing Variation in Basal Metabolic Rate Include Fat-Free Mass, Fat Mass, Age and Circulating Thyroxine but Not Sex, Circulating Leptin, or Triiodothyronine", **The American Journal of Clinical Nutrition**. 82, 941-948.



การศึกษาประยุกต์ใช้แนวความคิดลีนเพื่อลดปัญหาการรอคอย:
กรณีศึกษาแผนกผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี
**Application of Lean Concepts for Reducing Waiting Time: A Case of
Outpatient Department at Phrapokklao Hospital Chanthaburi.**

ศสินภา บุญพิทักษ์^{1*} และกรณ์ปกพ รัตนวิจิตร¹
Sasinapa Boonpitak¹ and Kornpaphop Ratanavijit¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดแบบลีนเพื่อลดปัญหาการรอคอยของระบบการบริหารจัดการในแผนก OPD (เวลาปกติ) จากงานวิจัยพบว่า ปัญหาการรอคอยมากที่สุดรองลงมาคือ ห้องยา ในกรณีมีสิทธิการรักษา (Investigation) พบเวลารอคอยเฉลี่ย (Delay) 40.37 นาที คิดเป็น 80.82 % กรณีไม่มีสิทธิการรักษา (Non-Investigation) พบเวลารอคอยเฉลี่ย 41.02 นาที คิดเป็น 80.38 % คณะผู้วิจัยได้นำหลักการ 5W 1H มาวิเคราะห์ถึงแนวทางการแก้ไขปัญหานี้ และนำหลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify) มาใช้แก้ไขปัญหานี้ในการปรับปรุงกระบวนการไหลการบริการห้องยาใหม่ พบว่าลดขั้นตอนการดำเนินการจาก 15 ขั้นตอน เหลือ 12 ขั้นตอน ลดลงได้ 3 ขั้นตอน และยังมีการสลับตำแหน่งเจ้าหน้าที่เภสัชกร ผู้ช่วยเภสัช เพื่อเพิ่มความคล่องตัวและความเหมาะสมในการปฏิบัติงาน รวมทั้งการจัดงาน การรวมกันของงานเพื่อให้ง่ายขึ้น หลังจากการปรับปรุงกรณีมีสิทธิการรักษา สามารถลดการรอคอยลงได้ 29.45 นาที คิดเป็น 21.23 % และกรณีไม่มีสิทธิการรักษา สามารถลดการรอคอยลงได้ 30.10 นาที คิดเป็น 20.79 %

คำสำคัญ: การรอคอย แผนผังกิจกรรมกระบวนการ แนวคิดแบบลีน

Abstract

This research entitled Application of Lean Concept reduce delay time of management system in the Out Patient Department (OPD). Thus, brought the minor issues to resolving issues and the improving processes are pharmacy case with investigation found average delay time of 80.82 minutes (40.37 %) and the case with no investigation found average delay time of 41.02 minutes (80.38 %). 5W 1H theory has been applied to analyze solution and use the principle of ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify) to improve flowing process of new pharmacy. It found that the flowing process enabled to decrease the operational steps from 15 steps to 12 steps, so it reduced 3 steps, and there was also switching positions between Assistant Pharmacist, Pharmacist and Flexible Pharmacy, to increase flexibility and working suitability, including management and integration of tasks to make it easier. After the improvement in the case of investigation, the delay time was reduced for 29.45 minutes (21.23 %) and the case of non- investigation it was reduced for 30.10 minutes. (20.79 %).

Keywords: Delay, Process Activity Mapping, Lean Concepts

¹ อ., หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

¹ Lecturer, Bachelor of Engineering Program, Department of Logistics Engineering, Rambhaibarni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

* Corresponding author: E-mail address: sasinapa_b@yahoo.co.th

บทนำ

ระบบงานบริการผู้ป่วยนอกอาศุรกรรม (OPD) เริ่มจาก ห้องคัดแยกผู้ป่วยนอก ห้องบัตร พยาบาลคัดกรอง แพทย์ห้องตรวจ ห้องจ่ายยาหรือห้องยา ปัญหาที่พบ คือผู้ป่วยที่มาใช้บริการในโรงพยาบาลพระปกเกล้าจันทบุรี ต้องรอหลายชั่วโมง ก่อนจะได้พบแพทย์หรือทำบัตร รอตรวจสอบสิทธิ รอเจาะเลือด รอ X-ray หรือการตรวจวินิจฉัยอื่น ๆ รอผลการตรวจเมื่อ ได้พบแพทย์ แพทย์มีเวลาตรวจผู้ป่วยเพียง ไม่เกินที่ รอจ่ายเงิน รอรับยา กว่า จะ ได้กลับบ้าน โดยเฉลี่ยคนไข้รอประมาณ 3 - 4 ชั่วโมงต่อคน เพราะพนักงานขาดความเข้าใจในระบบงานก่อให้เกิดความสูญเปล่า ซึ่งมีผลทำให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานลดลง ค่าใช้จ่ายทำงานไม่ทัน งานค้าง การตรวจสอบ การขนย้าย การรอ ซึ่งล้วนเป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า ทั้งทางโรงพยาบาล พนักงาน และผู้มาใช้บริการ

จากการศึกษาพบว่ากรณีผู้ที่ไม่มีสิทธิในการรักษา คือกลุ่มคนที่ไม่มีหลักประกันสังคมหรือบัตร 30 บาท ไม่ได้แจ้งสิทธิก่อนการรักษา จำนวน 321 คนคิดเป็น 23 % กลุ่มนี้จะต้องเสียเวลาย้อนกลับไปที่ศูนย์สิทธิประโยชน์ ก่อนซึ่งในกระบวนการนี้อยู่ในกลุ่มงานบริการห้องจ่ายยาผู้ป่วยนอก หมายความว่าคนไข้จะพึงรู้ว่าตัวเองไม่มีสิทธิการรักษาหรือหมายความว่าต้องชำระเงินเต็มจำนวนของการรักษาตามใบเสร็จในกระบวนการที่ 7 คือ ขั้นตอนการเงินหรือตรวจสอบสิทธิ ตามรูปภาพที่ 1 และ 3 จึงใช้เวลารอคอยนานมากกว่ากลุ่มผู้มีสิทธิในการรักษา คือ กลุ่มที่มีบัตรประกันสุขภาพถ้วนหน้าในเขตหรือนอกเขต บัตรประกันสังคม บัตรข้าราชการ บัตรประกันสุขภาพอื่น ๆ เพื่อใช้สิทธิเบิกจ่ายฟรีในการรักษา

จากการศึกษาปัญหาการรอคอยจึงเป็นประเด็นจุดเริ่มต้นในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุหรือปัจจัยที่เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการไหล การปรับปรุงการระบบงานบริการในห้องจ่ายยานอกโดยนาระบบลิ้นเข้ามาใช้ร่วมกับผู้ให้บริการรักษาพยาบาลผู้ป่วยนอกอาศุรกรรมในโรงพยาบาลพระปกเกล้าจันทบุรี เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการดำเนินงานจะเกิดขึ้นในลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการไหล (Flow Chart) และวิเคราะห์ปัญหาการรอคอย
2. ประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลิ้นเพื่อลดเวลาการรอคอยไม่ต่ำกว่า 15 %

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษากระบวนการไหลของโรงพยาบาลพระปกเกล้าจันทบุรี
2. สร้างเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ในงานบริการของผู้ป่วยนอกอาศุรกรรม (เวลาปกติ 07.00 - 16.00 น.) โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนส่วนที่ 1 ข้อมูลปฐมภูมิ คือ การสังเกตการณ์การปฏิบัติงาน สัมภาษณ์ ผู้ปฏิบัติงาน ได้แก่ แพทย์ เภสัช พยาบาล ผู้ช่วยเภสัช ผู้ช่วยพยาบาล เจ้าหน้าที่พนักงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการปฏิบัติงานและพนักงานเก็บแบบบันทึกข้อมูล (Check Sheet) ส่วนที่ 2 ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลงานวิจัยของโรงพยาบาลพระปกเกล้าจันทบุรี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีที่สามารถประยุกต์ใช้กับงานวิจัย และเว็บไซต์ต่างๆ

2.1 กำหนดกลุ่มประชากร ได้แก่ ประเภทผู้ป่วยนอกที่มาใช้บริการงานผู้ป่วยนอกอาศุรกรรม (เวลาปกติ) โรงพยาบาลพระปกเกล้าจันทบุรี

2.2 การสุ่มตัวอย่างผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างผู้ป่วยนอกที่มารับบริการผู้ป่วยนอกอาศุรกรรม (เวลาปกติ)

จากข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน พบว่าโดยเฉลี่ยจำนวนประชากรที่เข้ารับบริการมีจำนวนประมาณ 6000 คนต่อเดือน ซึ่งมารับบริการในช่วงเวลา 07.00 น. – 16.00 น. โดยคำนวณได้จากสูตร Taro Yamane

คำนวณได้จากสูตร Taro Yamane ดังนี้	$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$
	$e = \text{ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง}$
	$N = \text{ขนาดของประชากร}$
	$n = \text{ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง}$
แทนค่าสูตร	$n = \frac{200}{(1+200 \times 0.05^2)}$
	$= 133$

จำนวนแบบสอบถามที่ควรทำ คือ 133 คน ต่อ 1 วัน การทำวิจัยโดยอาศัยการเก็บข้อมูลจำนวน 2 สัปดาห์ โดยการเก็บจะเป็นแบบ Passive และการเก็บกลุ่มตัวอย่างจะเป็นแบบสุ่ม รวม 1330 ข้อมูล ป้องกันความเสียหายของข้อมูลได้เก็บเพื่อ 5 % $(1330 \times 5 \%) = 1396$ ข้อมูล

3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
1. วันที่ให้บริการ	เวลาในการให้บริการกลุ่มงานผู้ป่วยนอก
2. รหัสประจำตัวคนไข้ (HN)	- เวลาคัดแยกผู้ป่วยนอก
3. กลุ่มงานที่ให้บริการ	- เวลาห้องบัตร
4. กรณีมีสิทธิในการรักษา	- เวลาพยาบาลคัดกรอง
5. กรณีไม่มีสิทธิในการรักษา	- เวลาแพทย์ห้องตรวจ
	- เวลาห้องยา

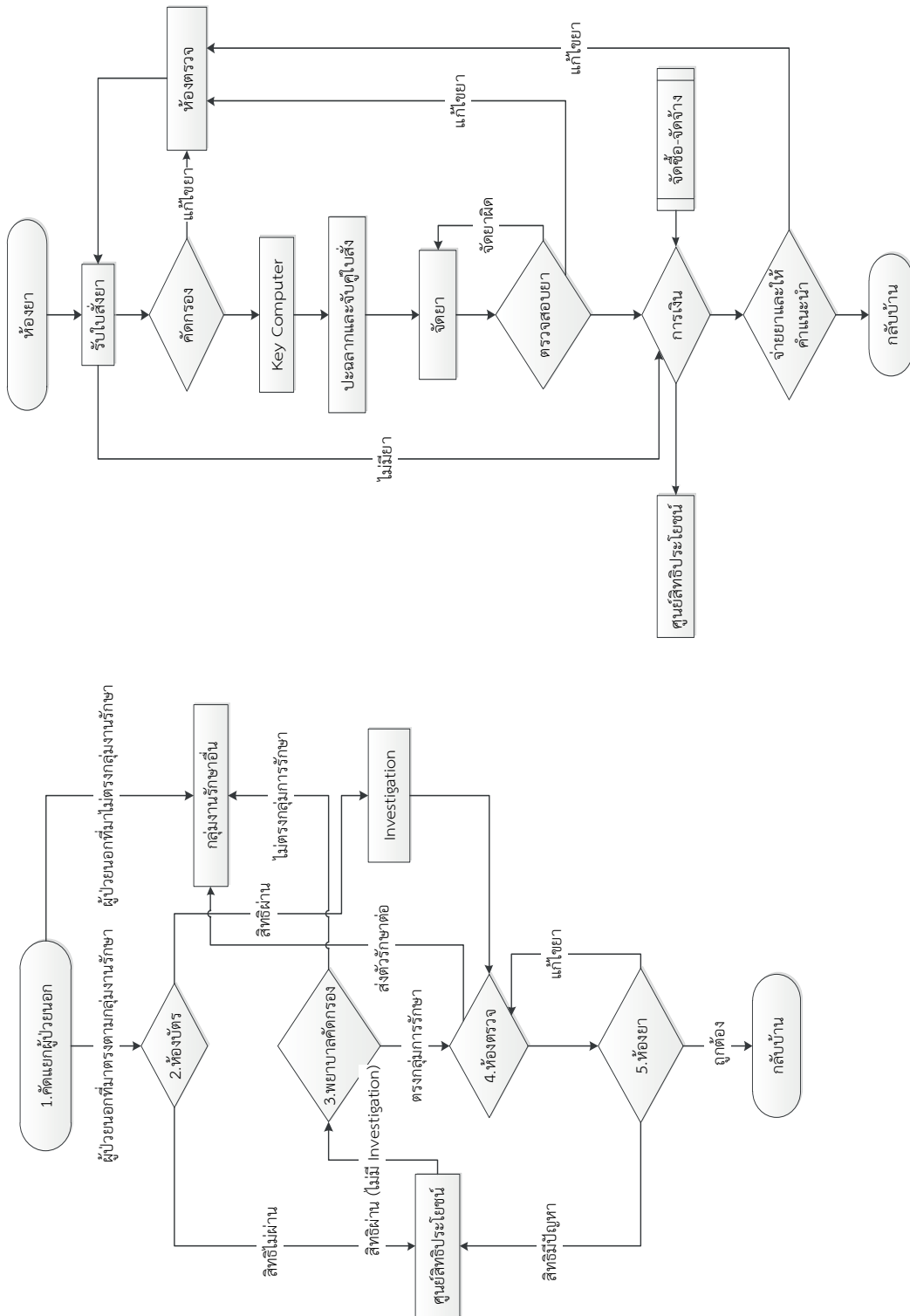
การศึกษาในครั้งนี้ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยเช็คชีท (Check Sheet) แบบบันทึกเวลา โดยใช้เวลามาตรฐาน Standard Time ซึ่งเป็นวิธีศึกษาเวลา มี 4 วิธี ผู้วิจัยได้นำมาเพียง 1 วิธี เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือ การศึกษาเวลาโดยตรง (โดยการจับเวลาแบบต่อเนื่อง การสร้างแบบสอบถาม ประกอบด้วย 2 ส่วน)

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป วันที่มารับบริการ รหัสประจำตัวคนไข้ (HN) กลุ่มงานที่ให้บริการรักษา สิทธิการรักษา

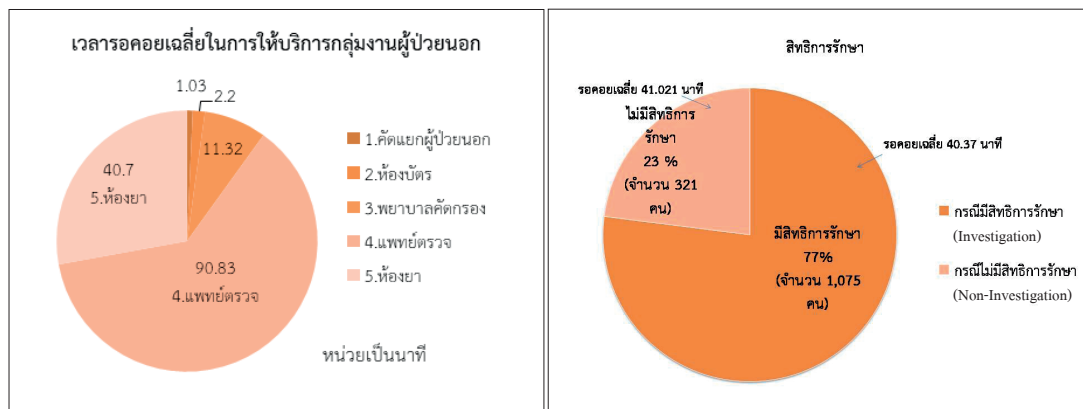
ส่วนที่ 2 แบบบันทึกเวลาการบริการงานผู้ป่วยนอกกฤษฎกรรม (เวลาปกติ) แบ่งออกเป็น 5 จุดบริการคือ

1. เวลาคัดแยกผู้ป่วยนอก
 2. เวลาห้องบัตร
 3. เวลาพยาบาลคัดกรอง
 4. เวลาแพทย์ห้องตรวจ
 5. เวลาห้องยา
4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะนำแบบบันทึกที่รวบรวมได้มาตรวจสอบความสมบูรณ์ บันทึกข้อมูลและประมวลผลด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปกลุ่มตัวอย่างใช้สถิติพรรณนา วิเคราะห์ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [2]

5. แนวทางในการแก้ไขปัญหาของงานบริการจ่ายยาผู้ป่วยนอกโดยนำหลักการ 5W 1H (Who, What, Where, Why, When, How) มาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของงานที่เกิดปัญหาโดยการใช้เทคนิคการตั้งคำถาม เช่น ควรปรับปรุงโครมาทำงานในส่วนนี้แทนอะไรคือสาเหตุปัญหาที่เกิดขึ้นบ้าง ควรปรับปรุงให้เกิดขึ้นที่ใดมากที่สุด เหตุใดต้องเกิดขึ้นเวลานี้เกิดขึ้นเมื่อไหร่ ควรแก้ไขปรับปรุงอย่างไร จากนั้นผู้วิจัยได้ตัดสินใจในการปรับปรุงกระบวนการ โดยใช้หลักการ ECRS มาปรับปรุงวิธีการทำงานของแผนภูมิกระบวนการไหล ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) การทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่ายๆ ที่สามารถใช้ ในการเริ่มลดความสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4] ทำให้เห็นถึงกิจกรรมที่สูญเสียและไม่เพิ่มมูลค่า สามารถปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อทำให้กิจกรรมต่างๆดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง (Continuous Flow) โดยปราศจาก การติดขัด การอ้อม การย้อนกลับ การรอคอย [5]



ภาพที่ 1 กระบวนการไหลโดยรวมของระบบและแผนกห้องยา



ภาพที่ 2 ข้อมูลเวลารอคอยเฉลี่ยบริการกลุ่มงานผู้ป่วยและสิทธิการรักษา

ผลการวิจัย

ปัญหาที่พบและการแก้ไข

จากการศึกษาข้อมูลรูปภาพที่ 2 พบว่าปัญหาการรอคอยมากที่สุด คือกระบวนการรอแพทย์ตรวจเนื่องด้วยปริมาณผู้มาใช้บริการมีจำนวนมากเกิดการรอคิวการรักษา สาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่สามารถควบคุมได้ คือ การรักษาโรคแต่ละชนิดใช้เวลาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กัสุขภาพร่างกายของคนไข้จากข้อจำกัดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกแก้ไขปัญหาการรอคอยในกระบวนการห้องจ่ายยาพบปัญหาการรอคอยมากที่สุดรองลงมาโดยพบว่ากลุ่มผู้ให้บริการมี 2 กลุ่มคือกลุ่มที่มีสิทธิการรักษาและไม่มีสิทธิในการรักษา โดยมีเวลารอคอยไม่เท่ากัน โดยแบ่งเวลาออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงเวลาปฏิบัติงานจ่ายยา และช่วงเวลารอคอย เมื่อแบ่งงานแต่ละงาน ออกเป็นช่วงเวลาปฏิบัติงานได้ 8 ขั้นตอน ช่วงเวลารอคอย 7 ช่วง ซึ่งทำการศึกษาเวลาปฏิบัติงานโดยใช้เทคนิคการจับเวลาแบบต่อเนื่อง ซึ่งแสดงเวลาในแต่ละช่วงเวลา (ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2) คณะผู้วิจัยได้ปรับปรุงกระบวนการ ดังนี้

1. จุดคัดกรอง เนื่องด้วยจุดรับใบสั่งยาและแจกบัตรคิวมีเจ้าหน้าที่น้อยเกินไปจึงทำให้งานมาค้างตรงจุดคัดกรอง เพราะจุดคัดกรองใช้เวลาในการพิจารณามากกว่ามีเจ้าหน้าที่พนักงานเภสัชเพียง 1 คน กำลังคนไม่เพียงพอเกิดคอขวดการแยกประเภทของชนิดยาไม่ชัดเจน แนวทางในการปรับปรุง ควรรวมขั้นตอน ในลำดับที่ 1 คือ การรับใบสั่งยาและแจกบัตรคิว รวมกับ ลำดับที่ 2 คัดกรองให้เป็นจุดเดียวกัน สามารถลดขั้นตอนลงได้ 1 ขั้นตอน และเพิ่มช่องรับใบสั่งยาเพิ่ม 1 ช่อง พร้อมเพิ่มเจ้าหน้าที่เภสัชกร 1 ท่านการแยกประเภท ของใบสั่งยาเป็น 3 ประเภท ดังนี้ 1. ประเภทด่วนพิเศษข้อความจะเป็น TV จะใช้กระดาษเล็กสีแดง 2. ประเภทโรควัณโรคหรือโรคอื่นๆ ในกลุ่มติดต่อ ข้อความจะเป็น CV จะใช้กระดาษเล็กสีเขียว 3. ประเภททั่วไปข้อความจะเป็น ทั่วไปจะใช้กระดาษใหญ่หลายสีในประเภทที่ 1 2 จะจัดยาให้ก่อนประเภทที่ 3 เพราะเป็นโรคที่มีการติดต่อได้ง่าย เช่น กลุ่มผู้ป่วยที่เป็น โรควัณโรคปอด ผู้ใหญ่ (TB) โรคติดเชื้อ (Infectious) โรคระบบทางเดิน (Chest) จะได้รับการบริการที่เร็วกว่ากลุ่มโรคทั่วไป

2. จุดบันทึกข้อมูล (Key Computer) เป็นการบันทึกประวัติการใช้ยาและบันทึกยอดการเบิกจ่าย โดยจากเดิมเป็นผู้ช่วยเภสัช 1 ท่าน กำลังคนไม่เพียงพอ จึงมีการสลับตำแหน่งหน้าที่ โดยนำเจ้าหน้าที่จากจุดที่ 1 มาปฏิบัติงานในส่วนนี้แทน

3. จุดจัดยา จัดยาผิดเพราะพนักงานยังขาดทักษะเรื่องความรู้ยา ควรปรับตำแหน่งสลับหน้าที่โดยให้
ผู้ช่วยเภสัชมาปฏิบัติงานในส่วนนี้แทน เพราะมีความรู้เรื่องยามากกว่าแล้วปรับลดเจ้าหน้าที่พนักงาน 1 คนให้อยู่
ในจุดชำระเงินค่ายาแทน

4. จุดตรวจสอบยา เป็นการตรวจประวัติคนไข้และขนาดของการจ่ายยาและตรวจสอบว่ายานั้นตามใบสั่งยา
แพทย์ถูกต้องไหมเกิดความล่าช้าเพราะพนักงานไม่เพียงพอ ควรปรับตำแหน่งสลับหน้าที่ โดยให้เภสัชกรมาปฏิบัติ
งานในส่วนนี้เพิ่ม

5. จุดตรวจสอบสิทธิการรักษา เป็นการตรวจสอบสิทธิการรักษาของผู้ป่วยว่ามีสิทธิการรักษาประเภทไหน
ควรขจัด (Eliminate) ขั้นตอนการตรวจสอบสิทธิการรักษาออกไปในลำดับที่ 13 นำไปรวมห้องตรวจบัตรเพื่อตรวจสอบ
สิทธิรักษาตั้งแต่ต้น

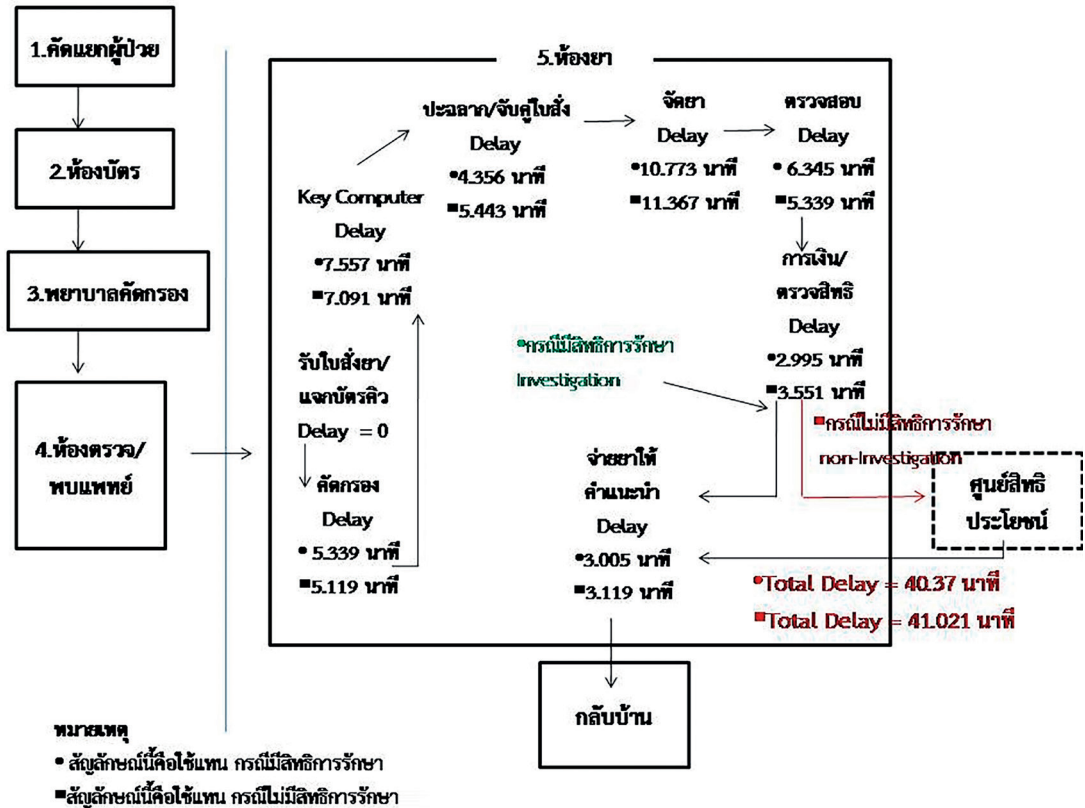
จากข้อมูลเบื้องต้น (ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2) แสดงว่าระบบทำงานปกติมีระยะเวลาการปฏิบัติงานและ
ระยะเวลารอคอยแตกต่างจากระบบทำงานหลังปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพราะค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมี
ค่าไม่คงที่หรือแตกต่างจากเดิมหรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบทำงานปกติใช้เวลาในการบริการมากกว่าระบบปรับปรุง
ทั้งในกรณีมีสิทธิการรักษาและไม่มีสิทธิการรักษา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานและเวลาการออกค่าบริการห้องจ่ายยา กรณีมี Inverstigation

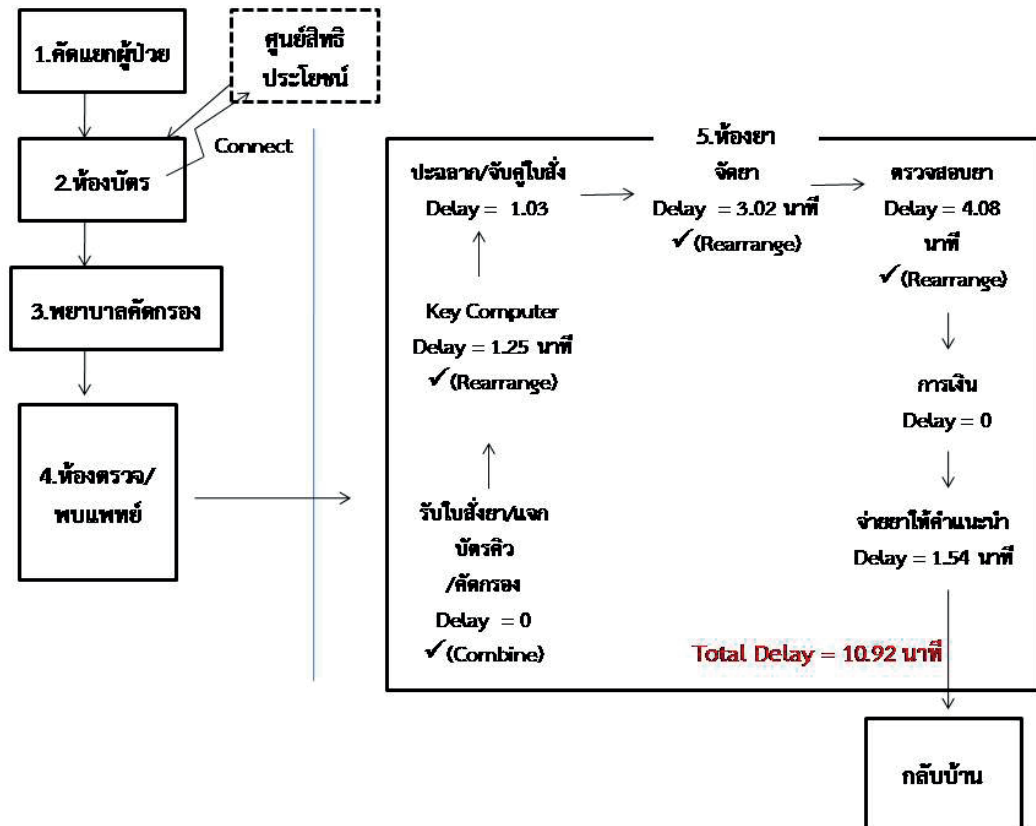
เวลาการปฏิบัติงานบริการห้องจ่ายยา				เวลารอคอยการปฏิบัติงานบริการห้องจ่ายยา			
ลำดับ	ระยะเวลาเฉลี่ย	ก่อน		ลำดับ	ระยะเวลาเฉลี่ย	ก่อน	
		($\bar{X}$)	S.D			($\bar{X}$)	S.D
1	ระยะเวลาปรับเปลี่ยนยา/แจกคิว	0.30	0.49	1	ระยะเวลาการออกคัตเครื่อง	5.339	1.56
2	ระยะเวลาคัดกรอง	0.40	0.15	2	ระยะเวลาการออก Key Computer	7.557	2.78
3	ระยะเวลา Key Computer	1.08	0.59	3	ระยะเวลาการออกประเภทและข้อปฏิบัติ	4.356	2.90
4	ระยะเวลาประเภทและข้อปฏิบัติ	1.08	0.79	4	ระยะเวลาการจัดยา	10.773	3.89
5	ระยะเวลาจ่ายยา	2.29	1.25	5	ระยะเวลาการตรวจสอบยา	6.345	2.77
6	ระยะเวลาตรวจสอบ	1.41	1.11	6	ระยะเวลาการตรวจสอบสิทธิ	2.995	1.15
7	ระยะเวลาการตรวจสอบสิทธิรักษา	1.17	0.58	7	ระยะเวลาการจ่ายยาและให้คำ	3.005	1.34
8	ระยะเวลาจ่ายยาและให้คำแนะนำ	1.23	0.78	แนะนำ			
รวม		9.58		รวม		40.37	10.92

ตารางที่ 2 ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานและเวลาการบริการห้องจ่ายยา กรณีไม่มี (non-Investigation)

เวลาการปฏิบัติงานบริการห้องจ่ายยา				เวลารอคอยการปฏิบัติงานบริการห้องจ่ายยา			
ลำดับ	ระยะเวลาเฉลี่ย	ก่อน		ลำดับ	หลัง	ก่อน	
		($\bar{X}$)	S.D			($\bar{X}$)	S.D
1	ระยะเวลาปรับเตียง/เตียง	0.415	0.51	1	ระยะเวลาการคอยคัดกรอง	5.119	1.39
2	ระยะเวลาคัดกรอง	0.444	0.21	2	ระยะเวลาการคอย Key Computer	7.091	2.58
3	ระยะเวลา Key Computer	1.0	0.54	3	ระยะเวลาการคอยประเภทยาและจัดใบสั่ง	5.443	2.60
4	ระยะเวลาประเภทยาและจัดใบสั่ง	1.119	0.89	4	ระยะเวลาการคอยจัดยา	11.367	3.15
5	ระยะเวลาจัดยา	2.319	1.45	5	ระยะเวลาการคอยตรวจสอบ	5.339	2.19
6	ระยะเวลาตรวจสอบ	1.551	1.12	6	ระยะเวลาการคอยตรวจสอบสิทธิการรักษา	3.551	1.08
7	ระยะเวลาการตรวจสอบสิทธิการรักษา	1.069	0.68	7	ระยะเวลาการคอยจ่ายยาและให้คำแนะนำ	3.119	1.13
8	ระยะเวลาจ่ายยาและให้คำแนะนำ	1.23	0.63				
รวม		10.01		รวม		41.021	10.92



ภาพที่ 3 แผนภูมิกระบวนการไหลการบริการห้องจ่ายยาก่อนปรับปรุง



ภาพที่ 4 แผนภูมิกระบวนการไหลการบริการห้องจ่ายยาหลังปรับปรุง

สรุปผลและอภิปราย

ผลการวิเคราะห์พบปัญหาการรอคอยที่แสดงถึงความสูญเสียเปล่าเกิดขึ้น 7 ขั้นตอน

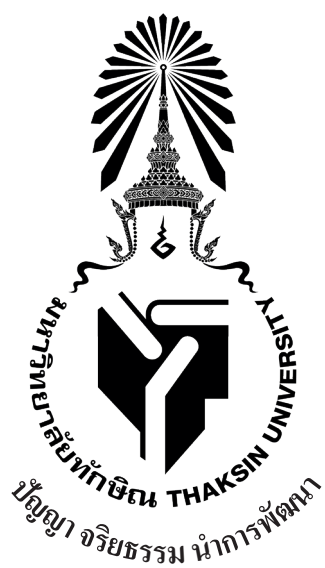
ความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการทำงาน ที่ซ้ำซ้อน การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงานที่ไม่เหมาะสมของผู้ปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอน ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการ 5WIH มาวิเคราะห์ถึงแนวทางการแก้ไขปัญหามา และ นำหลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการไหลการบริการห้องยาใหม่ พบว่าลดขั้นตอนการดำเนินการจาก 15 ขั้นตอน เหลือ 12 ขั้นตอน ลด 3 ขั้นตอน โดยห้องปฏิบัติงานบริการห้องจ่ายยา จัดไป 1 ขั้นตอน และจัดขั้นตอนการรอคอยห้องปฏิบัติงานบริการห้องจ่ายยา 2 ขั้นตอน รวมทั้งในขั้นตอนอื่นปัญหาการรอคอยก็ยังลดลงนั้นแสดงถึงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันในทางที่ดีขึ้น

สอดคล้องกับงานวิจัยของแสงระวี เทพรอด และคณะ [3] ที่ศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพให้บริการผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลคลองหลวงเสนอวิธีการปรับปรุงกระบวนการบริการโดยลดขั้นตอนจากเดิม 6 ขั้นตอน เหลือ 5 ขั้นตอน โดยรวมงานคัดกรองและบันทึกข้อมูลเข้าด้วยกัน

สอดคล้องกับงานวิจัยของศุภกฤษฎ์ ธาราพิทักษ์วงศ์และคณะ [1] โดยใช้เทคนิค 5WIH (What, Why, When, Where, Who and How) มาวิเคราะห์แต่ละกระบวนการและใช้หลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify) ในการปรับงานของวิสาหกิจชุมชนบ้านสันทรายต้นกอกสามารถลดปริมาณสินค้าระหว่างผลิตคงคลัง (Work in Process in Ventory) ลดลง 5 %

เอกสารอ้างอิง

- [1] Supakit, T. (2014). “Application of Wastes Mangement in Community Business: A Case Study of Baan Sansai-Toonkok Commumity Enterprises”, **Journal of Mangement Sciences**. 10(2), 7-19.
- [2]Tanita, C., Jiraporn, N. and Napaporn, W. (2014). “Applying the Lean Concept for Quality Improvement in the Diabetic Clinic of Rayong Hospital”, **Journal of the Ministry of Public Health**. 26(3), 121-134.
- [3] Sangrawee, T. (2013). “Development of Service Efficiency: A Case of Outpatient Department at Khlong Luang Hospital Pathum Thani”, In **Proceedings of Social Sciences Conference Humanities and Education 2013**. 153-158. Bangkok. 21-22th February 2013 by Faculty of Social Sciences and Humanities, Mahidol University.
- [4] Thanida, S. (2013). “Production Line Efficiency Improvement: A Case of Stator D Frame Model Production Line”, In **Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2012**. 649-654. Cha-am Phetchaburi. 17-18th October 2012 by Industrail Engineering, Faculty of Engineering, Sripratum University.
- [5] Cherdchai, P. (2010). **Lean Thinking in Healthcare** (Online). Retrieved 24 March 2016, from WWW1.si.mahidol.ac.th/nursing/sins/index.php/download/108-doc-lean-thinking-healthcare.



การเปรียบเทียบคุณภาพเมล็ดจันทน์เทศจากไทยและอินโดนีเซีย

Quality Comparison of Nutmeg from Thailand and Indonesia

ทวิภรณ์ ศิริคช¹ ธวัชชัย ศรีสุวรรณ¹ ณัฐนรี แสงแก้ว²

ศุภกานต์ พิสิฐสุกกุล² เบญจวรรณ ทองเคลื่อน² และสนั่น ศุภธีรสกุล^{3*}

Thaweeporn Keereekoch¹, Thawatchai Srisuwan¹, Natnaree Sangkaew²,

Supakarn Pisitsupakul², Benjawan Thongkhluan² and Sanan Subhadhirasakul^{3*}

บทคัดย่อ

การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศจากไทยและอินโดนีเซียตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในตำราเภสัชตำรับอายุรเวทของอินเดีย โดยใช้เมล็ดจันทน์เทศจาก 5 แหล่งปลูก ได้แก่ เมล็ดจันทน์เทศของไทยจากจังหวัดพังงา ตรัง ชุมพร และนครศรีธรรมราช และเมล็ดจันทน์เทศของอินโดนีเซียจากหมู่เกาะโมลุกกะ พบว่าเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีคุณภาพดีกว่าเมล็ดจันทน์เทศจากไทย เมล็ดจันทน์เทศจากภาคใต้ฝั่งตะวันตกของไทยมีคุณภาพดีกว่าเมล็ดจันทน์เทศจากภาคใต้ฝั่งตะวันออกของไทย เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศจากแหล่งปลูกต่างๆ พบว่าเมล็ดจันทน์เทศจากพังงาและอินโดนีเซียผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล ปริมาณสารสกัดด้วยอีเทอร์ และปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่า แต่มีปริมาณสารสกัดด้วยน้ำน้อยกว่าเมล็ดจันทน์เทศจากพังงาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิค GC-MS พบว่ามีองค์ประกอบหลักไม่แตกต่างกัน คือ Sabinene, 4-Terpineol, Myristicin, Safrole และ γ -Terpinene แต่สารที่เป็นองค์ประกอบมากสุดมีความแตกต่างกัน โดยเมล็ดจันทน์เทศจากพังงามี *Cis*-Isolemicin มากที่สุด ขณะที่เมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมี Myristic Acid มากที่สุด

คำสำคัญ: เมล็ดจันทน์เทศ น้ำมันหอมระเหย GC-MS

Abstract

This study was to compare the quality of nutmeg grown in Thailand and Indonesia by the standard test of the Ayurvedic Pharmacopoeia of India. The nutmeg was divided accordingly to the five resources. Thai nutmeg was from the four provinces, namely, Phangnga, Trang, Chumporn and Nakhon Si Thammarat. Indonesia nutmeg was from Maluku Islands. The results showed that nutmeg from Indonesia was higher quality than nutmeg from Thailand. Nutmeg from the southern west coast of Thailand was higher quality than the southern

¹ นักวิทยาศาสตร์ คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

² นักศึกษาปริญญาตรี คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

³ รศ.ดร., คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

¹ Scientist, Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

² Undergraduate Student, Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

³ Assoc. Prof. Dr., Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

* Corresponding author: E-mail address: sanan.s@psu.ac.th

east coast of Thailand. The nutmeg from Phangnga province and Indonesia has passed the standard test. The ethanol-soluble extractive, ether-soluble extractive and essential oil content of Indonesia nutmeg was significantly higher than the Phangnga nutmeg. Although the water-soluble extractive was significantly lower than Phangnga nutmeg ($p < 0.05$). Furthermore, the analysis of essential oil from Phangnga and Indonesia nutmeg by GC-MS method indicated no differences between the major components, such as Sabinene, 4-Terpineol, Myristicin, Safrole and γ -Terpinene. However, the highest component of Phangnga nutmeg essential oil was *Cis*-Isoelemicin, whereas Indonesia nutmeg essential oil was Myristic acid.

Keywords: Nutmeg, Essential Oil, GC-MS

บทนำ

เมล็ดจันทน์เทศ (Nutmeg) เป็นผลผลิตที่ได้จากต้นจันทน์เทศ (*Myristica fragrans* Houtt.) จัดอยู่ในวงศ์ Myristicaceae มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะโมลุกกะ ประเทศอินโดนีเซีย ต้นจันทน์เทศมีการปลูกอย่างแพร่หลายในอินเดีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออสเตรเลียตอนเหนือ และหมู่เกาะแปซิฟิก โดยประเทศอินโดนีเซียเป็นแหล่งปลูกและส่งออกเมล็ดจันทน์เทศคุณภาพดีที่สำคัญของโลก พบว่าเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหอมแรง [1] สำหรับประเทศไทยมีการปลูกต้นจันทน์เทศมากทางภาคใต้ เช่น จังหวัดตรังและนครศรีธรรมราช

เมล็ดจันทน์เทศเป็นยาสมุนไพรที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในการแพทย์แผนตะวันออกเนื่องจากเมล็ดจันทน์เทศมีสรรพคุณที่เป็นประโยชน์มากมาย สำหรับการแพทย์แผนไทยใช้เมล็ดจันทน์เทศแก้ไข้ แก้เสมหะ แก้ร้อนใน กระหายน้ำ บรรเทาอาการปวดท้อง จุกเสียด แน่นเฟ้อจากอาหารไม่ย่อย แก้กลิ้นไส้ อาเจียน แก้ท้องร่วง แก้บิด และบำรุงโลหิต โดยเมล็ดจันทน์เทศเป็นส่วนประกอบในยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ 13 ตำรับ จากทั้งหมด 24 ตำรับ ได้แก่ ขาววิสมขยาใหญ่ ยาประสะกานพลู ยาแสงหมึก ขามันทราตุ ยาประสะเจตพังคี ขามหาจักรใหญ่ ยาธรณีสันตะฆาต ยาธาตุนครจวบ ยาหอมเทพจิตร ยาหอมทิพโอสถ ยาหอมอินทจักร ยาหอมนวโกฐ และยาประสะประาใหญ่ [2]

เมล็ดจันทน์เทศประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งรวมทั้งเซลล์ไขมันประมาณร้อยละ 45-60 และส่วนที่เป็นน้ำมันประมาณร้อยละ 30-55 ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันระเหยยาก (Fixed Oil) หรือเรียกว่า เนยจันทน์เทศ (Nutmeg Butter) มีประมาณร้อยละ 24-40 ได้จากการบีบอัดเมล็ดจันทน์เทศหรือการสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นของแข็งแข็ง มีสีน้ำตาลอมแดง มีรสขมและกลิ่นของจันทน์เทศประกอบด้วย Triministin ประมาณร้อยละ 75 ซึ่งเป็น Triglyceride ของ Myristic Acid และส่วนที่เป็นน้ำมันอีกชนิด คือ น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) มีประมาณร้อยละ 5-15 ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำ เป็นของเหลวไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นหอม ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ละลายในน้ำ ส่วนใหญ่น้ำมันหอมระเหยจันทน์เทศประกอบด้วยสารกลุ่ม Terpene Hydrocarbons ประมาณร้อยละ 60-80 ได้แก่ Sabinene, Pinene, Camphene, p-Cymene, Phellandrene, Terpinene, Limonene, Myrcene สารกลุ่ม Terpene Derivatives ประมาณร้อยละ 5-15 ได้แก่ Linalool, Geraniol, Terpineol และสารกลุ่ม Phenyl Propanoid Ether ประมาณร้อยละ 15-20 ได้แก่ Myristicin, Elemicin, Safrole, Eugenol, Eugenol Derivatives [3] ปริมาณและองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันไปตามแหล่งปลูก พบว่าน้ำมันหอมระเหยจันทน์เทศของหมู่เกาะอินเดียนตะวันออกเฉียงใต้ปลูกในอินโดนีเซียและประเทศอื่นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม และเผ็ดร้อนมากกว่า

น้ำมันหอมระเหยจันทน์เทศของหมู่เกาะอินเดียนตะวันตกที่ปลูกในเกรเนดาเนื่องจากมีสัดส่วนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันหอมระเหยจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีสัดส่วนของ α -Pinene, β -Pinene, Safrole และ Myristicin มากกว่า ขณะที่น้ำมันหอมระเหยจันทน์เทศจากเกรเนดามีสัดส่วนของ Sabinene มากกว่า [1] การศึกษาองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจันทน์เทศจากอินโดนีเซีย หมู่เกาะอินเดียนตะวันตก และปาปัวนิวกินี พบสารกลุ่ม Aromatic Ether ที่มีมากที่สุด คือ Myristicin, Mleminin และ Safrole ตามลำดับ [4] นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจันทน์เทศแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ พบว่าเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซีย (*M. fragrans*) มี Myristicin ร้อยละ 2 เมล็ดจันทน์เทศจากปาปัวนิวกินี (*M. argentea*) มี Myristicin ร้อยละ 0.13 และไม่มีการรายงานปริมาณ Myristicin ในเมล็ดจันทน์เทศจากออสเตรเลีย (*M. muelleri*) และพบว่า *M. fragrans*, *M. argentea* และ *M. muelleri* ปริมาณ Safrole เท่ากับร้อยละ 0.13 0.51 และ 0.245 ตามลำดับ [1]

มีรายงานว่าจันทน์เทศจากอินโดนีเซียเป็นจันทน์เทศสายพันธุ์ดี ลูกจันทน์เทศจะมีเมล็ดยาวรี กลิ่นหอมแรง รกจันทน์เทศมีขนาดใหญ่ เนื้อหนา และกลิ่นหอมแรงกว่าจันทน์เทศจากไทย [5] อีกทั้งการผลิตยาสมุนไพรโดยใช้องค์ความรู้ของหมอพื้นบ้านกล่าวว่าเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียซึ่งมีลักษณะยาวรีมีคุณภาพดีกว่าเมล็ดจันทน์เทศจากไทยซึ่งมีลักษณะกลม ดังนั้นเพื่อหาหลักฐานมาสนับสนุน ผู้วิจัยจึงทำการศึกษารวบรวมคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศจากไทยและอินโดนีเซีย โดยใช้เกณฑ์ของตำราเภสัชตำรับยาสมุนไพรของอินเดีย [6] เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เมล็ดจันทน์เทศในการผลิตยาสมุนไพรให้มีคุณภาพมากขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การเตรียมผงเมล็ดจันทน์เทศ

ใช้เมล็ดจันทน์เทศอายุ 6-9 เดือน จากแหล่งปลูกจันทน์เทศ 5 แหล่งดังนี้ เมล็ดจันทน์เทศของไทยเตรียมโดยเก็บผลจันทน์เทศสดที่ปลูกในภาคใต้ฝั่งตะวันตกจากอำเภอเมือง จังหวัดพังงา และอำเภอเมือง จังหวัดตรัง และเก็บผลจันทน์เทศสดที่ปลูกในภาคใต้ฝั่งตะวันออกจากอำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร และอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนเมล็ดจันทน์เทศของอินโดนีเซียเตรียมโดยสั่งซื้อเมล็ดจันทน์เทศแห้งจากหมู่เกาะโมลุกกะ นำผลจันทน์เทศสดมาแยกเอาเฉพาะเมล็ด ล้างทำความสะอาดเมล็ดจันทน์เทศและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 ชั่วโมง โดยเมล็ดจันทน์เทศของอินโดนีเซียมีลักษณะค่อนข้างยาวรีมากกว่าเมล็ดจันทน์เทศของไทย น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อเมล็ดเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ เมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซีย (6.18 กรัม) ตรัง (5.25 กรัม) ชุมพร (4.00 กรัม) พังงา (3.48 กรัม) และนครศรีธรรมราช (2.19 กรัม) จากนั้นกระเทาะเปลือกเอาเฉพาะเนื้อในเมล็ด นำไปบดเป็นผงให้ละเอียดด้วยเครื่องบดยาสมุนไพร ผ่านร่อนเบอร์ 100 และเก็บผงเมล็ดจันทน์เทศในภาชนะที่สะอาด

2. การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศ

ตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศจาก 5 แหล่งปลูกด้วยวิธีการที่ระบุไว้ในตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย [7] ได้แก่ การตรวจปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้าทั้งหมด ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ ปริมาณสารสกัดด้วยอีเทอร์ และปริมาณน้ำมันหอมระเหย โดยทำการทดลองทำ 3 ซ้ำและคำนวณหาค่าเฉลี่ย จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศด้วยเทคนิค GC-MS (Trace GC Ultra/ISQMS, Thermo Scientific Inc., USA) เพื่อยืนยันคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศจากแหล่งปลูกต่างๆ สภาวะ GC ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย คอลัมน์ชนิด TR-5MS (30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร)

โหมดการฉีดแบบ Split มี Split Ratio 100:1 ปริมาตรที่ฉีด 1 ไมโครลิตร แก๊สตัวพาคือฮีเลียม อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร ต่อ นาที อุณหภูมิของส่วนฉีดสาร 280 องศาเซลเซียส โปรแกรมอุณหภูมิเริ่มต้น 60 องศาเซลเซียส คงไว้ 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อ นาที จนถึง 300 องศาเซลเซียส คงไว้ 2 นาที สภาวะของ MS ที่ใช้ทดสอบเป็น Electron Ionization อุณหภูมิ Ion Source 240 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ Transfer Line 300 องศาเซลเซียส ช่วงมวลในการวิเคราะห์ 35-500 amu ฐานข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ คือ Wiley9

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ t-test และสถิติ ANOVA โดยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชจากไทยและอินโดนีเซีย (ตารางที่ 1) พบว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากอินโดนีเซียผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามตำราเกษตรกรรมของอินเดีย โดยมีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล สารสกัดด้วยอีเทอร์ และน้ำมันหอมระเหยมากกว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากไทย แต่มีปริมาณเถ้าทั้งหมดน้อยกว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากไทยอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และพบว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากไทยมีปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ สารสกัดด้วยอีเทอร์ และน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

การศึกษาคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชจากภาคใต้ฝั่งตะวันตกและภาคใต้ฝั่งตะวันออกของไทย (ตารางที่ 2) พบว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากภาคใต้ฝั่งตะวันตกของไทยผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามตำราเกษตรกรรมของอินเดีย โดยมีปริมาณเถ้าทั้งหมด สารสกัดด้วยเอทานอลและสารสกัดด้วยน้ำมากกว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากภาคใต้ฝั่งตะวันออกของไทยอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และพบว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากภาคใต้ฝั่งตะวันออกของไทยมีปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ สารสกัดด้วยอีเทอร์ และน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืชจากไทยและอินโดนีเซีย

คุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืช	มาตรฐาน [6]	เมล็ดพันธุ์พืช		p-value
		ไทย	อินโดนีเซีย	
ปริมาณความชื้น	$\leq 10.0 \% \text{ w/w}$	2.25 ± 0.45	2.44 ± 0.10	0.478
ปริมาณเถ้าทั้งหมด	$\leq 3.0 \% \text{ w/w}$	2.36 ± 0.43	1.85 ± 0.06	0.002*
ปริมาณเถ้าไม่ละลายในกรด	$\leq 0.5 \% \text{ w/w}$	0.36 ± 0.08	0.45 ± 0.06	0.091
ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล	$\geq 11.0 \% \text{ w/w}$	15.60 ± 3.83	32.86 ± 0.14	0.000*
ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ	$\geq 7.0 \% \text{ w/w}$	6.59 ± 2.01	7.20 ± 0.04	0.320
ปริมาณสารสกัดด้วยอีเทอร์	$\geq 25.0 \% \text{ w/w}$	21.70 ± 8.22	43.45 ± 4.33	0.001*
ปริมาณน้ำมันหอมระเหย	$\geq 5.0 \% \text{ v/w}$	4.37 ± 1.38	6.16 ± 0.29	0.049*

หมายเหตุ * หมายถึง ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม เมื่อทดสอบด้วยสถิติ t-test ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชจากภาคใต้ฝั่งตะวันตกและภาคใต้ฝั่งตะวันออกของไทย

คุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืช	มาตรฐาน [6]	เมล็ดพันธุ์พืชของไทย		p-value
		ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	
ปริมาณความชื้น	$\leq 10.0 \% \text{ v/w}$	2.50 ± 0.18	2.00 ± 0.50	0.061
ปริมาณเถ้าทั้งหมด	$\leq 3.0 \% \text{ w/w}$	2.73 ± 0.28	2.00 ± 0.09	0.001*
ปริมาณเถ้าไม่ละลายในกรด	$\leq 0.5 \% \text{ w/w}$	0.40 ± 0.06	0.32 ± 0.08	0.077
ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล	$\geq 11.0 \% \text{ w/w}$	18.87 ± 0.93	12.33 ± 2.39	0.001*
ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ	$\geq 7.0 \% \text{ w/w}$	7.83 ± 2.27	5.36 ± 0.31	0.045*
ปริมาณสารสกัดด้วยอีเทอร์	$\geq 25.0 \% \text{ w/w}$	26.13 ± 8.55	17.27 ± 5.35	0.062
ปริมาณน้ำมันหอมระเหย	$\geq 5.0 \% \text{ v/w}$	5.17 ± 0.52	3.58 ± 1.56	0.056

หมายเหตุ * หมายถึง ข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม เมื่อทดสอบด้วยสถิติ t-test ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืชจากแหล่งปลูกต่างๆ

คุณภาพของ เมล็ดพันธุ์พืช	มาตรฐาน [6]	เมล็ดพันธุ์พืชจากแหล่งปลูก				
		พังงา	ตรัง	ชุมพร	นครศรีธรรมราช	อินโดนีเซีย
ปริมาณความชื้น	$\leq 10.0 \% \text{ v/w}$	2.61 ± 0.19^b	2.39 ± 0.10^b	2.44 ± 0.19^b	1.56 ± 0.10^a	2.44 ± 0.10^b
ปริมาณเถ้าทั้งหมด	$\leq 3.0 \% \text{ w/w}$	2.97 ± 0.14^d	2.50 ± 0.05^c	1.92 ± 0.02^a	2.08 ± 0.03^b	1.85 ± 0.06^a
ปริมาณเถ้าไม่ ละลายในกรด	$\leq 0.5 \% \text{ w/w}$	0.36 ± 0.04^b	0.43 ± 0.05^{bc}	0.39 ± 0.00^{bc}	0.24 ± 0.00^a	0.45 ± 0.06^c
ปริมาณสารสกัด ด้วยเอทานอล	$\geq 11.0 \% \text{ w/w}$	19.55 ± 0.28^d	18.20 ± 0.86^c	10.15 ± 0.08^a	14.52 ± 0.02^b	32.86 ± 0.14^e
ปริมาณสารสกัด ด้วยน้ำ	$\geq 7.0 \% \text{ w/w}$	9.85 ± 0.72^c	5.80 ± 0.24^a	5.16 ± 0.35^a	5.56 ± 0.06^a	7.20 ± 0.04^b
ปริมาณสารสกัด ด้วยอีเทอร์	$\geq 25.0 \% \text{ w/w}$	33.62 ± 3.70^c	18.64 ± 0.87^b	12.71 ± 1.71^a	21.83 ± 2.50^b	43.45 ± 4.33^d
ปริมาณน้ำมันหอม ระเหย	$\geq 5.0 \% \text{ v/w}$	5.50 ± 0.50^c	4.83 ± 0.29^b	2.17 ± 0.29^a	5.00 ± 0.00^{bc}	6.16 ± 0.29^d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกัน (a-e, bc) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยสถิติ ANOVA

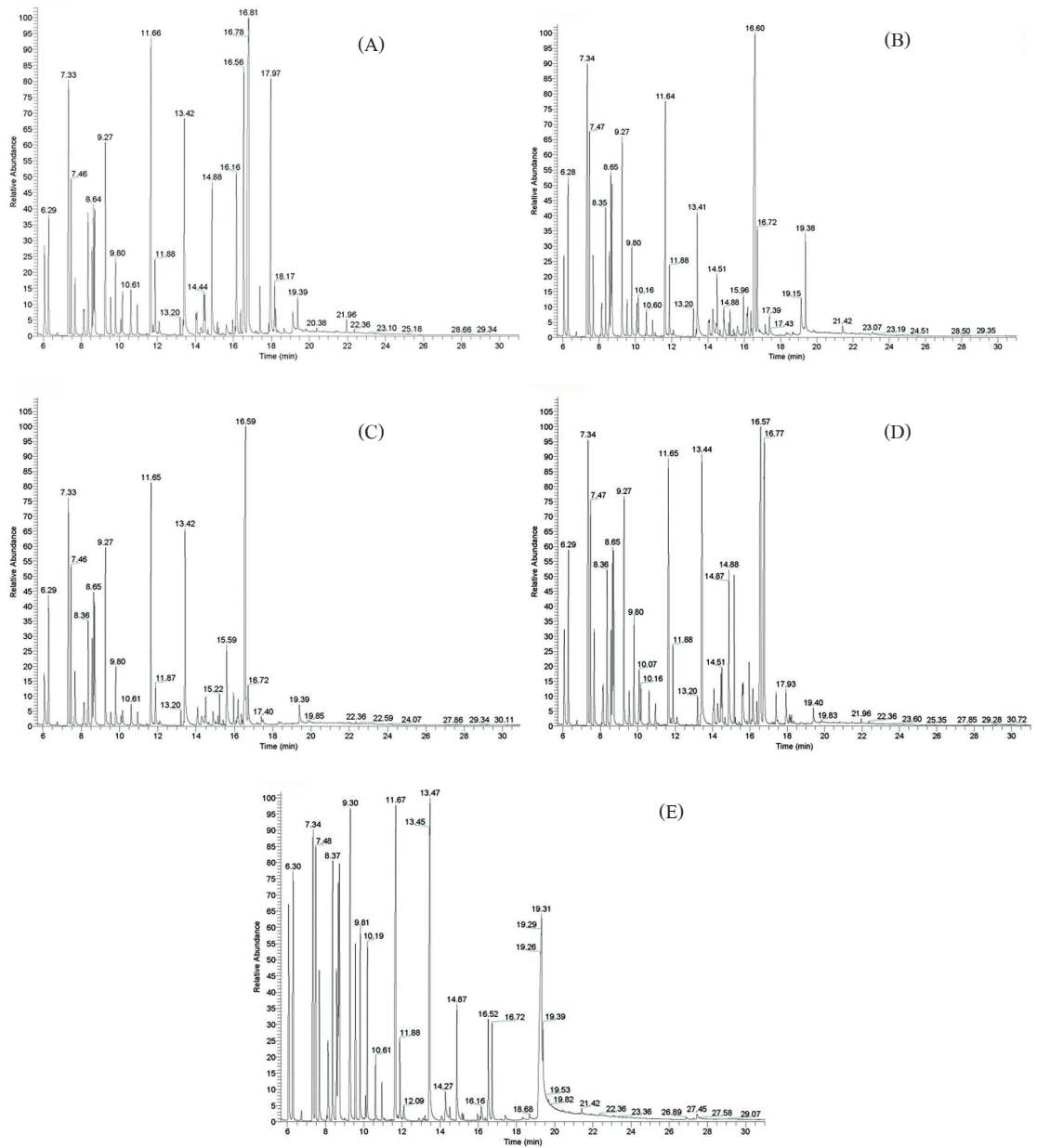
การศึกษาคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชจาก 5 แหล่งปลูก คือ พังงา ตรัง ชุมพร นครศรีธรรมราช และอินโดนีเซีย (ตารางที่ 3) พบว่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 5 แหล่งปลูกผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยเมล็ดพันธุ์พืชจาก นครศรีธรรมราชมีความชื้นน้อยกว่าแหล่งปลูกอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พืชจาก นครศรีธรรมราชมีขนาดเล็กที่สุด เมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งที่เท่ากัน จึงมีอัตราการระเหยของ น้ำมากที่สุด ทำให้มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด

ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดของเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 5 แหล่งปลูกผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แสดงถึงการปนเปื้อน ของสารอนินทรีย์ เช่น ดิน ทราขอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด พบว่าเมล็ดพันธุ์พืชจากนครศรีธรรมราชมีปริมาณเถ้า ที่ไม่ละลายในกรดน้อยกว่าแหล่งปลูกอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พืชจากนครศรีธรรมราช มีขนาดเล็กที่สุด จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับดินทรายน้อย ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากดินทรายน้อยที่สุด

ปริมาณเถ้าทั้งหมดของเมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 5 แหล่งปลูกผ่านเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าเมล็ดพันธุ์พืช จากพังงามีปริมาณเถ้าทั้งหมดมากกว่าแหล่งปลูกอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยปริมาณเถ้าทั้งหมดแสดงถึง ปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อสมุนไพรรวมธรรมชาติ และอาจเกิดจากสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น ดิน ทราข รวมทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกพืช เนื่องจากแหล่งปลูกจังหวัดพังงามีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักชีวภาพ ที่ผลิตเอง ขณะที่แหล่งปลูกจังหวัดจากไทยแหล่งอื่นๆ ใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักชีวภาพ ช่วยเพิ่มแร่ธาตุอาหารให้ดินจังหวัดอื่นอีกทั้งปุ๋ยหมักชีวภาพช่วยทำให้แร่ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินแปรสภาพมาอยู่ ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่ายขึ้น ทำให้เมล็ดพันธุ์พืชจากพังงามีการสะสมสารอนินทรีย์มาก จึงทำให้ มีปริมาณเถ้าทั้งหมดมากที่สุด

ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำของเมล็ดพันธุ์พืชจากพังงาและอินโดนีเซียผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยเมล็ดพันธุ์ พืชจากพังงามีปริมาณสารสกัดด้วยน้ำมากกว่าแหล่งปลูกอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ดี ดังนั้นเมล็ดพันธุ์พืชจากพังงาซึ่งมีสารอนินทรีย์มาก จึงมีสารสกัดด้วยน้ำมากที่สุด

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของเมล็ดพันธุ์พืชจากพังงา นครศรีธรรมราช และอินโดนีเซียผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันไปตามแหล่งปลูกจังหวัด โดยเมล็ดพันธุ์พืชจากอินโดนีเซียมีปริมาณ น้ำมันหอมระเหยมากกว่าแหล่งปลูกอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) รองลงมาคือ เมล็ดพันธุ์พืชจากพังงา นครศรีธรรมราช ตรัง และชุมพร ตามลำดับ พบว่าการใส่ปุ๋ยส่งผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยของเมล็ดพันธุ์ พืชจากไทยอย่างชัดเจนโดยแหล่งปลูกจังหวัดพังงาที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ร่วมกับปุ๋ยหมักชีวภาพ ซึ่งช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้ดินจังหวัดเคบิโตอย่างสมบูรณ์ เมล็ดพันธุ์พืชที่ได้จึงมีคุณภาพสูง ขณะที่แหล่งปลูกจังหวัดจากไทยแหล่งอื่นๆ ใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยแหล่งปลูกจังหวัด นครศรีธรรมราชและตรังใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ซึ่งมีการเพิ่มโพแทสเซียม และแหล่งปลูกจังหวัดชุมพร ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20-20-0 ซึ่งไม่มีการเพิ่มโพแทสเซียม ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์พืชจากชุมพรมีปริมาณน้ำมันหอมระเหย น้อยที่สุดเนื่องจากโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสง การหายใจ การลำเลียงสารประกอบที่ได้อาก การสังเคราะห์แสง การสร้างโปรตีนและน้ำมันในพืช และมีบทบาทในการคายไคซิสของเอนไซม์ต่างๆ อีกทั้ง โพแทสเซียมช่วยเพิ่มคุณภาพของผลผลิตโดยเฉพาะพืชให้ผล ทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้น มีรสชาติดีขึ้น มีปริมาณ น้ำตาลมากขึ้น และพืชน้ำมันมีปริมาณน้ำมันมากขึ้น [8]



ภาพที่ 1 GC-MS Chromatogram ของน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากแหล่งปลูกต่างๆ (A) พังงา (B) ตรัง (C) ชุมพร (D) นครศรีธรรมราช และ (E) อินโดนีเซีย

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากแหล่งปลูกต่างๆ

No.	Rt	Components	Peak Area (%)				
			พังกา	ตรัง	ชุมพร	นครศรีธรรมราช	อินโดนีเซีย
1	6.07	α -Thujene	2.15	2.43	2.13	2.22	4.23
2	6.29	α -Pinene	2.54	4.42	4.22	3.76	4.96
3	7.33	Sabinene	6.37	9.88	8.06	8.48	6.45
4	7.47	β -Pinene	3.13	5.58	4.94	4.74	5.25
5	7.67	α -Myrcene	1.27	2.15	1.87	1.92	2.38
6	8.14	α -Phellandrene	0.87	1.29	1.18	1.26	1.89
7	8.36	α -Humulene	2.47	3.16	3.29	3.07	4.91
8	8.57	ρ -Cymene	1.66	1.93	2.52	1.77	2.53
9	8.65	Limonene	2.59	4.32	4.09	3.74	4.93
10	8.70	β -Phellandrene	2.58	3.82	3.84	3.41	4.26
11	9.27	γ -Terpinene	4.11	5.24	5.51	4.83	7.39
12	9.54	<i>Trans</i> -Sabinene Hydrate	0.69	0.83	0.40	0.66	2.69
13	9.80	α -Terpinolene	1.49	2.12	1.87	2.03	2.78
14	10.07	Linalool	0.37	0.78	0.38	1.00	0.29
15	10.16	<i>Cis</i> -Sabinene Hydrate	0.86	0.98	0.54	0.82	3.02
16	10.61	<i>Cis</i> - ρ -2-Menthen-1-ol	0.89	0.66	0.72	0.67	0.91
17	10.95	β -Terpineol	0.61	0.43	0.45	0.44	0.54
18	11.66	4-Terpineol	9.04	6.83	8.66	6.40	7.96
19	11.88	α -Terpineol	1.49	1.76	1.43	1.56	1.16
20	12.09	Piperitol	0.34	0.32	0.24	0.29	0.28
21	13.20	Bornyl-Acetate	0.27	0.52	0.36	0.44	0.07
22	13.42	Safrole	5.81	4.12	7.63	7.85	9.79
23	14.08	α -Terpinyl acetate	0.49	0.88	0.82	1.04	0.10
24	14.88	Methyleugenol	3.41	1.13	0.75	3.20	1.97
25	15.59	<i>Cis</i> -Isoeugenol	0.45	0.58	3.59	1.88	ND
26	16.19	α -Bisabolene	3.90	1.48	1.13	1.07	0.38
27	16.57	Myristicin	7.70	17.02	20.10	10.66	1.67
28	16.72	<i>Cis</i> -Isoelemicin	16.21	2.74	1.55	10.16	1.54
29	17.97	<i>Trans</i> -Isoelemicin	7.44	ND	ND	0.82	ND
30	19.14	Myristic Acid	0.81	1.61	ND	ND	10.69

หมายเหตุ ND: Not Detected, Rt: Retention time

การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศด้วยเทคนิค GC-MS (ภาพที่ 1 และตารางที่ 4) พบว่าองค์ประกอบที่พบมาก 5 อันดับแรกในน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากพังงา คือ *Cis*-Isoelemicin, 4-Terpineol, Myristicin, *Trans*-Isoelemicin และ Sabinene น้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากตรัง คือ Myristicin, Sabinene, 4-Serpineol, β -Sinene และ γ -Serpene น้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากชุมพร คือ Syristicin, 4-Terpineol, Sabinene, Safrole และ γ -Terpinene น้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากนครศรีธรรมราช คือ Myristicin, *Cis*-Isoelemicin, Sabinene, Safrole และ 4-Terpineol และน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซีย คือ Myristic Acid, Safrole, 4-Terpineol, γ -Terpinene และ Sabinene โดยพบว่าน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากไทยและอินโดนีเซียมี Sabinene และ 4-Terpineol เป็นองค์ประกอบที่พบมากสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่า น้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีองค์ประกอบหลัก คือ Sabinene (21.38 %) และ 4-Serpineol (13.92 %) [9] และน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากไทยมีองค์ประกอบหลัก คือ Sabinene (14.22 %) และ 4-Terpineol (9.81 %) [10] ขณะที่น้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากไทยมี Myristicin มาก ซึ่งมีกลิ่นหอมใช้ผ่อนคลายความเครียด แต่งกลิ่นในยาและอาหาร [1] แต่น้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมี Myristic Acid มาก ซึ่งพบในเนยจันทน์เทศมักใช้ในน้ำหอมและยาสำหรับใช้ภายนอก เพื่อแก้อาการเคล็ดและโรคไขข้ออักเสบ [1] โดยองค์ประกอบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ลักษณะของดินที่ปลูก ปริมาณน้ำ และการใส่ปุ๋ย

ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลของเมล็ดจันทน์เทศจากพังงา ตรัง นครศรีธรรมราช และอินโดนีเซียผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และปริมาณสารสกัดด้วยอีเทอร์ของเมล็ดจันทน์เทศจากพังงาและอินโดนีเซียผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลและอีเทอร์มากกว่าแหล่งปลูกอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด ซึ่งละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ และมีกรดไขมันอิ่มตัว Myristic Acid เป็นองค์ประกอบมากที่สุด ซึ่งละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และอีเทอร์ จึงทำให้เมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลและอีเทอร์มากที่สุด

สรุปผล

จากการศึกษาคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศจากไทยและอินโดนีเซีย พบว่าเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีคุณภาพดีกว่าเมล็ดจันทน์เทศจากไทย โดยมีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล ปริมาณสารสกัดด้วยอีเทอร์ และปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าเมล็ดจันทน์เทศจากไทยอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศที่ปลูกในภาคใต้ฝั่งตะวันตกและภาคใต้ฝั่งตะวันออกของไทย พบว่าเมล็ดจันทน์เทศที่ปลูกในภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีคุณภาพดีกว่า โดยมีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอลและปริมาณสารสกัดด้วยน้ำมากกว่าเมล็ดจันทน์เทศที่ปลูกในภาคใต้ฝั่งตะวันออกอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การเปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดจันทน์เทศทั้ง 5 แหล่งปลูก พบว่ามีเมล็ดจันทน์เทศ 2 แหล่งปลูกที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของตำราเภสัชตำรับอายุรเวชของอินเดีย คือ เมล็ดจันทน์เทศจากพังงาและอินโดนีเซีย โดยพบว่าเมล็ดจันทน์เทศจากอินโดนีเซียมีปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล ปริมาณสารสกัดด้วยอีเทอร์ และปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่า ขณะที่ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำน้อยกว่าเมล็ดจันทน์เทศจากพังงาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยเมล็ดจันทน์เทศด้วยเทคนิค GC-MS พบว่ามีองค์ประกอบหลักไม่แตกต่างกัน แต่สารที่เป็นองค์ประกอบมากที่สุดมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการคัดเลือกเมล็ดจันทน์เทศจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยไปใช้ในการผลิตยาสมุนไพรให้มีประสิทธิภาพจึงควรเลือกใช้เมล็ดจันทน์เทศจากพังงา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rema, J. and Krishnamoorthy, B. (2001). “Nutmeg and Mace”, in Peter K.V. (ed.). **Handbook of Herbs and Spices**. 2, 399-416. Cambridge : Woodhead.
- [2] Traditional Home Remedies 2013. (2013, 14 February). **Government Gazette**. Chapter 130 Special Issue 21 d. 30-49.
- [3] Jaiswal, P., Kumar, P., Singh, V.K. and Singh, D.K. (2009). “Biological Effects of *Myristica fragrans*”, **ARBS Annual Review of Biomedical Sciences**. 11, 21-29.
- [4] Ehlers, D., Kirchhoff, J., Gerard, D. and Quirin, K.W. (1998). “High Performance Liquid Chromatography Analysis of Nutmeg and Mace Oils Produced by Supercritical CO₂ Extraction - Comparison with Steam-Distilled Oils - Comparison of East Indian, West Indian and Papuan Oils”, **International Journal of Food Science and Technology**. 33, 215–223.
- [5] Kreangsuwan, D. (Author, moderator). (2004, 1 November). **Thai Fruits and Vegetables are Valuable as both Food and Medicine : Nutmeg**. (Agricultural Radio Program Radio Station FM 88 MHz). Songkhla : Faculty of Natural Resources Prince of Songkla University.
- [6] Government of India. Ministry of Health and Family Welfare. Department of AYUSH. (1990). **The Ayurvedic Pharmacopoeia of India**. Pt. 1, Vol. 1. India : Department of AYUSH. Ministry of Health and Family Welfare. Government of India.
- [7] Ministry of Public Health. Department of Medical Sciences. (1998). **Thai Herbal Pharmacopoeia**. Vol. 1. Bangkok : Prachachon.
- [8] Vityakon, P. (2004). **Advanced Soil Fertility** (2nd ed.). Khon Kaen : Department of Land Resources and Environment. Faculty of Agriculture. Khon Kaen University.
- [9] Muchtaridi, M., Subarnas, A., Apriyantono, A. and Mustarichie, R. (2010). “Identification of Compounds in the Essential Oil of Nutmeg Seeds (*Myristica fragrans* Houutt.) that Inhibit Locomotor Activity in Mice”, **International Journal of Molecular Sciences**. 11, 4771-4781.
- [10] Santos, M.C.D., Lima, K.D.S.C., Silva, O.F., Oliveira, S.E.M.D., Sousa, R. B. and Lima, A.L.D.S. (2013). “Comparison between the Composition of Nutmeg Essential Oils from Brazil and Thailand”, **Anais do Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos 10 Slaca**. 1, 14144.

ผลของการเสริม *Bacillus licheniformis* ในอาหารที่ระดับต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพ
การเจริญเติบโต การใช้อาหาร และแบคทีเรียในลำไส้ของปลานิลแดง
Effect of Different Levels of *Bacillus licheniformis* Supplements in Diets
on Growth Performance, Feed Utilization and Intestinal Bacteria of
Hybrid Red Tilapia

กณธิป พรหมนวน^{1*} และสุภฎา คีร์รัตนนิคม²
Kanathip Promnuan^{1*} and Suphada Kiriratanikom²

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการเสริม *B. licheniformis* ในความเข้มข้นระดับต่างๆ คือ 10^5 10^6 10^7 และ 10^8 CFU/กิโลกรัม อาหารในอาหารปลานิลแดง และเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผสมโปรไบโอติก พบว่าปลานิลแดงหลังจากได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร มีการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหารสูงกว่าอาหารทดลองอื่นๆ จากการตรวจสอบประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ปลาด้วยเทคนิค DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) พบว่า การเสริม *B. licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อประชากรแบคทีเรียประจำถิ่นในลำไส้ และการเสริม *B. licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์จากอาหาร ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเสริม *B. licheniformis* ลงในอาหารปลานิลแดงมีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลาในการเพาะเลี้ยงได้

คำสำคัญ: โปรไบโอติก ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การใช้อาหาร แบคทีเรียในลำไส้ ปลานิลแดง

Abstract

Determination of optimal levels of *B. licheniformis* supplemented in hybrid red tilapia diet at 10^5 , 10^6 , 10^7 and 10^8 CFU/g and compared to the control diet was investigated. The results found that growth performance and feed utilization after the fish fed supplemented *B. licheniformis* diet at a concentration level of 10^5 CFU/g was better than other concentrations. The fish intestine microbial population was determined by DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) technique founded the supplementation *B. licheniformis* at different concentrations can result in changes in the microflora population in intestinal fish *B. licheniformis* at a concentration level of 10^5 CFU/g promoted growth performance and feed utilization. This suggests that supplementation *B. licheniformis* in hybrid red tilapia fish feed promotes growth of the fish in the aquaculture industry.

Keywords: Probiotics, Growth Performance, Feed Utilization, Intestinal Bacteria, Hybrid Red Tilapia

¹ นิสิตปริญญาโท, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Graduate Student, Master Degree, Program in Biotechnology, Faculty of Science Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Asst. Prof. Dr., Department of Biological and Environmental Sciences, Faculty of Science Thaksin University, Phatthalung, 93210

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

บทนำ

ปลานิลแดงจัดเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีผลผลิตเป็นอันดับหนึ่ง ของประเทศไทย ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงปลาในกลุ่มปลานิลในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณ 203,737 ตัน คิดเป็น มูลค่า 5,883,668,000 บาท ไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาในกลุ่มปลานิลในปี พ.ศ. 2549 ประมาณ 11,005 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 620 ล้านบาท การเพาะเลี้ยงปลานิล และปลานิลแดงในไทยยังมีโอกาสขยายตัวเพิ่มได้อีก เนื่องจากตลาดปลาในกลุ่มปลานิลทั่วโลกมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [1] ทำให้มีการพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำหลายชนิด มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และการเสริม โปรไบโอติกเป็นทางเลือกหนึ่งที่ยอมรับและเชื่อถืออย่างแพร่หลาย รวมทั้งสกุลสกุลแบคทีเรียที่ใช้เป็นอาหารเสริมในสัตว์น้ำและปรับปรุงคุณภาพน้ำ โปรไบโอติกมีประโยชน์ต่อสุขภาพผ่านกลไกต่างๆ คือ 1) แข่งขันยึดเกาะภายในเหงือกและทางเดินอาหารกับเชื้อก่อโรค 2) ผลิตสารยับยั้ง 3) การปรับปรุงประสิทธิภาพของเอนไซม์ย่อยอาหาร 4) การให้สารอาหาร 5) กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และ 6) ปรับปรุงคุณภาพน้ำ [2] อีกทั้งสกุลแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ที่สามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้ เช่น ความร้อนสูง เพื่อต่อต้านความแห้งแล้ง และภาวะขาดสารอาหาร [3] Meidong *et al.* [4] เสริมแบคทีเรียในอาหารปลาโมง (*Pangasius bocourti*) ส่งผลให้มีการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหารที่ดีขึ้น และการเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของปลาโมง Aly *et al.* [5] เสริม *B. subtilis* ลงในอาหารปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ซึ่งนำไปสู่การเจริญเติบโตที่ดีขึ้นของปลานิล และการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน คือ กิจกรรมของนิวโทรฟิลและไลโซไซม์ และการเสริม *B. pumilus* ร่วมกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า (Organic Green™) หรือ *B. amyloliquefaciens* ช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และเพิ่มภูมิคุ้มกันของปลานิลให้ดียิ่งขึ้น [6-7] ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาระดับที่เหมาะสมของ *B. licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อการพัฒนาการเจริญเติบโตและการใช้อาหารของปลานิลแดง

วัตถุประสงค์ และวิธีดำเนินการ

1. ศึกษาผลของการเสริมแบคทีเรียแบคทีเรียแบคทีเรียต่ออัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ในปลานิลแดง

1.1 การเตรียมแบคทีเรียแบคทีเรีย

ใช้แบคทีเรียจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) *B. licheniformis* TISTR1109 เลี้ยงในอาหาร TSA เก็บรักษาเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และถ่ายเชื้อใหม่ทุก 1 เดือน

1.2 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design, CRD) ประกอบด้วยการศึกษาผลของ *B. licheniformis* ในระดับปริมาณเชื้อ 10^5 10^6 10^7 และ 10^8 CFU/กิโลกรัมอาหาร เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผสมจุลินทรีย์ รวมทั้งสิ้น 5 ชุดการทดลอง ดำเนินการทดลองชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ

1.3 การเตรียมปลาทดลอง

นำปลานิลแดงแปลงเพศ ขนาด 1.5-2.0 เซนติเมตร และน้ำหนัก 0.8-1.2 กรัม จำนวน 2,000 ตัว จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพัทลุงมาเลี้ยงในบ่อคอนกรีตขนาดความจุ 3,000 ลิตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนการทดลอง เพื่อปรับสภาพปลาให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และทำการสุ่มปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 20 ตัว ลงเลี้ยงในตู้ทดลอง ขนาดความจุ 100 ลิตร โดยเลี้ยงปลาทดลองที่ระดับน้ำ 80 ลิตร จำนวน 15 ตัว ติดตั้งระบบให้อากาศ และระบบเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วยระบบเดิมน้ำแบบน้ำไหลผ่านตลอด

1.4 การเตรียมเซลล์จุลินทรีย์ สำหรับใช้ผสมอาหารทดลอง

เตรียมเซลล์เพื่อใช้ผสมอาหารทดลอง ตามวิธีการของ Essa *et al.* [8] โดยเลี้ยงหัวเชื้อบริสุทธิ์ของ *B. licheniformis* เลี้ยงในอาหาร Nutrient Broth (NB) ที่ปราศจากเชื้อจากนั้นนำไปบ่มเชื้ออุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขยายปริมาณเชื้อโดยเลี้ยงในตูบ่มเชื้ออุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เก็บเกี่ยวเซลล์โดยนำเชื้อที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกเซลล์ที่ 10,000 rpm 15 นาที ล้างเซลล์ที่แยกได้ 2 ครั้งด้วย Phosphate Buffer Saline (PBS) pH 7 และนำมาใช้ผสมในอาหารทดลองแต่ละสูตร

1.5 การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลองโดยใช้สูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลแดงที่มีปริมาณ โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ไขมัน 8-10 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้กากปาล์ม 25 เปอร์เซ็นต์เป็นวัตถุดิบโปรตีนทดแทนปลาป่นสำหรับใช้ในสูตรอาหารปลานิล [9] ทำอาหารทดลองตามขั้นตอนการผลิตอาหารปลาของ Kiriratnikom, S. and Kiriratnikom, A. [10] อบแห้งอาหาร แล้วนำอาหารสำหรับเลี้ยงปลาในแต่ละชุดการทดลองมาผสมเซลล์จุลินทรีย์แต่ละชนิด ตามชุดการทดลองโดยคิด ฟันเซลล์จุลินทรีย์ในสารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS) ลงบนอาหารทดลองในปริมาณที่มีเซลล์จุลินทรีย์ 10^6 CFU/g โดยการวัดความขุ่นของสารแขวนลอยเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ของ OD กับจำนวนเซลล์และเตรียมอาหารผสมจุลินทรีย์ดังกล่าวในปริมาณที่ใช้หมดใน 24 ชั่วโมงส่วนอาหารทดลองชุดควบคุมเตรียมโดยผสมอาหาร ด้วยสารละลาย PBS ที่ไม่มีจุลินทรีย์ ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (v/w) อาหารทดลอง เลี้ยงปลานิลแดงด้วยอาหารใน แต่ละชุดการทดลอง โดยให้อาหารวันละ 3 เวลา คือ 08.00-09.00 น. 12.00-13.00 น. และ 16.00-17.00 น. โดยให้อาหารในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวต่อวัน เป็นเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์

2. การเก็บข้อมูล

2.1 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมดในแต่ละตู้เมื่อเริ่มทดลอง ทุก 2 สัปดาห์ของการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ นับจำนวนปลาทุกครั้งที่มีการชั่งน้ำหนัก บันทึกปริมาณอาหารที่ใช้ทำการตรวจสอบวัดการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลองด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ตามวิธีการ Aly *et al.* [6] ได้แก่ อัตราการรอดตาย (Survival Rate) การวัดน้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น (Weight Gain) อัตราการเจริญจำเพาะ (Specific Growth Rate) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (Feed Conversion Rate) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (Feed Conversion Efficiency)

2.2 การวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (Protein Retention)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำปลานิลแดง จากแต่ละชุดการทดลอง สลบให้หมดความรู้สึกด้วยสารละลาย น้ำมันกานพลู (Clove Oil) 100 ppm เป็นเวลา 15 นาที และนำวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของตัวปลา ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC. [11] นำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา คำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และค่าการสะสมโปรตีน (Protein Retention) ตามวิธีการของ Halver and Hardy [12]

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยแบบ One Way Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. การตรวจสอบกลุ่มประชากรแบคทีเรียในทางเดินอาหาร

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เก็บตัวอย่างลำไส้ของปลา จากแต่ละชุดการทดลอง สกัด Genomic DNA คัดแปลงวิธีจาก Burrell *et al.* [13] เพื่อนำไปเพิ่มปริมาณ 16S rDNA โดยใช้เทคนิค PCR ประกอบด้วย Primer 27F และ Primer 1525R จากนั้นนำไปแยกแแถบ DNA ด้วย Gel Electrophoresis ที่ 60 volt ที่ 60 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบแแถบ DNA ที่แยกได้ จากนั้นเพิ่มปริมาณ 16S rDNA บริเวณ V3 โดยใช้เทคนิค PCR ประกอบด้วย Primer 357F และ Primer 518R และนำศึกษาความหลากหลายของประชากรจุลินทรีย์โดยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) จากนั้นนำแแถบที่แสดงลักษณะสำคัญในการจัดจำแนกไปตรวจสอบลำดับเบส เทียบกับ Gene Bank เพื่อยืนยันกลุ่มแบคทีเรียในลำไส้ของปลาที่ได้รับอาหารแต่ละชุดการทดลอง

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

การเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์จากอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีในตัวปลานิลแดง

การเสริม *B. licheniformis* ลงในอาหารปลานิลแดงในระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร สามารถเพิ่มน้ำหนักปลานิลแดงได้มากกว่าชุดควบคุมร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1) ในระยะเวลา 8 สัปดาห์ และปลานิลแดงในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^7 และ 10^8 CFU/กิโลกรัมอาหาร สามารถเพิ่มน้ำหนักให้ปลานิลแดงได้ร้อยละ 8 และ 5 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามการเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^6 CFU/กิโลกรัมอาหาร ทำให้ปลานิลแดงมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 1.2 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของปลานิลแดงแปรผันตรงกับอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะในแต่ละวัน (ตารางที่ 1) ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวเกิดจากแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* sp. สามารถผลิตสารอาหารที่จำเป็นบางอย่าง เช่น กรดอะมิโน วิตามินเค และ วิตามินบี 12 [14] เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของเจ้าบ้านให้ดีขึ้น และมีส่วนช่วยในกระบวนการย่อยอาหาร โดยการสร้างเอนไซม์ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน เป็นน้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโน [15] ทั้งนี้ปลานิลแดงที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร ส่งผลต่อการเจริญเติบโตดีที่สุด

ในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในแต่ละชุดการทดลองซึ่งกลุ่มปลานิลแดงที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหารมีประสิทธิภาพการใช้อาหารมากกว่าชุดควบคุมร้อยละ 16 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับประสิทธิภาพการใช้อาหารที่มากกว่าชุดควบคุม ร้อยละ 16 ซึ่งทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อน้อยกว่าชุดควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณอาหารที่ได้รับต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแดง ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของอาหารที่ปลานิลได้รับ จากผลการทดลองอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร ทำให้น้ำหนักของปลานิลเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ และสอดคล้องกับประสิทธิภาพการใช้อาหาร และค่าการสะสมโปรตีน อย่างไรก็ตาม ปลานิลแดงกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^6 10^7 และ 10^8 CFU/กิโลกรัมอาหาร มีประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงร้อยละ 26 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการใช้อาหาร ทำให้ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตามในด้านองค์ประกอบทางเคมีในตัวปลานิลแดง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร มีปริมาณโปรตีนในตัวปลาไม่แตกต่างจากชุดควบคุม แต่สูงกว่าปริมาณโปรตีนในตัวปลาที่ได้รับ

อาหารเสริม *B. licheniformis* 10^7 และ 10^8 CFU/กิโลกรัมอาหาร (ตารางที่ 3) ทั้งนี้การเสริม *B. licheniformis* 10^7 CFU/กิโลกรัมอาหาร เป็นระดับที่เหมาะสม ซึ่งโปรไบโอติกส่วนใหญ่มีคุณสมบัติก่อให้เกิดการปรับปรุงสมดุล จุลินทรีย์ในลำไส้ ทำให้เจ้าบ้านมีการย่อยสลายอาหารดีขึ้น การดูดซึมที่มีประสิทธิภาพ และเพิ่มกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์มากขึ้น [16] และนอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายโปรตีนน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็น โมเลกุลเปปไทด์และ กรดอะมิโนที่เป็นน้ำหนักร่นต่ำ [17] ซึ่งส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของ ปลาและส่งผลให้การใช้โปรตีนในอาหารปลามีประสิทธิภาพมากขึ้น

การตรวจสอบกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารในปลานิลแดง

จากผลการตรวจสอบประชากรแบคทีเรียในปลานิลแดงที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับ ความเข้มข้นต่างๆ จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า แบคทีเรียประจำถิ่นของปลานิลแดงในทุกชุดการทดลอง คือ *Enterococcus* sp. และพบกลุ่มของ *Bacillus* sp. ในลำไส้ปลานิลทุกชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ยกเว้นความเข้มข้น 10^6 CFU/กิโลกรัมอาหาร นอกจากนั้นการเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^5 และ 10^6 CFU/กิโลกรัมอาหาร ลงในอาหารพบว่า ทำให้แบคทีเรียกลุ่ม *Clostridium* sp. ลดลง เมื่อเทียบกับชุด ควบคุม อีกทั้งการเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร ไม่พบกลุ่ม *Lachnospiraceae* sp. และ *Chitinivibrio* sp. และการเสริม *B. licheniformis* ทุกระดับความเข้มข้น ส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่ม *Escherichia* sp. หายไปจากลำไส้ของปลานิลแดงในทุกชุดการทดลองที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ แบคทีเรียในลำไส้ดังกล่าวทั้งหมด อาจส่งผลกับการเจริญเติบโตของปลานิลแดง โดยมีรายงานว่า จุลินทรีย์ใน ระบบทางเดินอาหารมีบทบาทสำคัญในด้านโภชนาการและภูมิคุ้มกัน ตามการรายงานของ Nayak [18] ได้รายงานว่า จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารมีบทบาทสำคัญในการทำงานทางโภชนาการที่สำคัญ ได้แก่ การย่อยอาหาร การใช้ประโยชน์จากสารอาหาร และการผลิตกรดอะมิโนที่จำเพาะ เอนไซม์ กรดไขมันสายสั้น วิตามิน และแร่ธาตุ และการเสริม *B. subtilis* C-3102 ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (10^5 CFU/g) ในอาหารเปลี่ยนแปลงกลุ่มประชากร จุลินทรีย์ในลำไส้ของปลานิลแดง ชักนำให้เกิดการแสดงออกของยีนในระบบภูมิคุ้มกันมากขึ้น (IL-1b TGF- β และ TNF- α) [19] ดังนั้นการเสริม *B. licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำส่งผลต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยง ปลานิลได้ดีกว่าการเสริมในระดับที่สูงขึ้น

สรุป

จากการศึกษาปลานิลแดงหลังจากที่ได้รับอาหารเสริม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหาร มีผลการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์จากอาหาร ได้มากกว่า ระดับอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มประชากรแบคทีเรียที่เมื่อ เทียบกับชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่นๆ ให้ผลในด้านการเจริญเติบโตได้ดีกว่า ดังนั้น การเสริม *B. licheniformis* ที่ระดับความเข้มข้น 10^5 CFU/กิโลกรัมอาหารลงในอาหารปลานิลแดงสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ ปลานิลแดง และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลานิลแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภท ทุนวิจัยร่วมบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารผสมแบคทีเรียโปรไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

อาหารเสริมโปรไบโอติก (CFU/กิโลกรัมอาหาร)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
1. Control (PBS buffer)	3.61 ± 0.010 ^a	53.02 ± 3.55 ^a	1367.32 ± 100.53 ^a	4.79 ± 0.12 ^{ab}	95.00 ± 5.00 ^a
2. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁵	3.61 ± 0.010 ^a	63.01 ± 3.69 ^b	1643.95 ± 104.41 ^b	5.10 ± 0.11 ^b	96.67 ± 2.89 ^a
3. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁶	3.61 ± 0.010 ^a	52.44 ± 7.50 ^a	1351.11 ± 206.47 ^a	4.76 ± 0.26 ^a	96.67 ± 5.77 ^a
4. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁷	3.61 ± 0.008 ^a	56.91 ± 5.31 ^{ab}	1477.43 ± 149.66 ^{ab}	4.92 ± 0.17 ^{ab}	100.00 ± 0.00 ^a
5. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁸	3.67 ± 0.074 ^a	56.19 ± 3.27 ^{ab}	1434.53 ± 113.73 ^{ab}	4.87 ± 0.13 ^{ab}	98.33 ± 2.89 ^a

ตัวอักษร a b และ c มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) ตัวอักษร ab ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง a และ b

ตารางที่ 2 การใช้ประโยชน์จากอาหารเสริมแบคทีเรียโปรไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นต่างกันของปลานิลแดงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

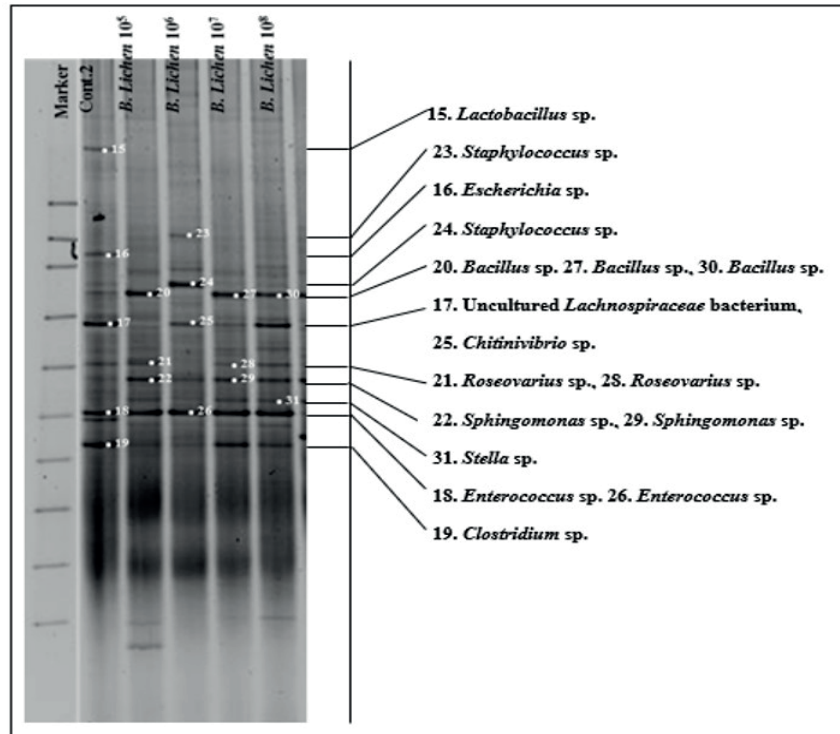
อาหารเสริมโปรไบโอติก (CFU/กิโลกรัมอาหาร)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	ค่าการสะสมโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าการสะสมไขมัน (เปอร์เซ็นต์)
1. Control (PBS buffer)	1.59 ± 0.05 ^{ab}	0.63 ± 0.02 ^a	2.10 ± 0.07 ^a	29.53 ± 0.94 ^{bc}	68.69 ± 2.19 ^b
2. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁵	1.37 ± 0.09 ^a	0.73 ± 0.05 ^b	2.45 ± 0.16 ^b	36.85 ± 2.38 ^d	63.30 ± 4.18 ^b
3. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁶	1.61 ± 0.15 ^{ab}	0.62 ± 0.06 ^a	2.09 ± 0.18 ^a	30.85 ± 2.73 ^c	49.83 ± 4.61 ^a
4. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁷	1.71 ± 0.17 ^b	0.59 ± 0.06 ^a	1.97 ± 0.20 ^a	25.78 ± 2.63 ^{ab}	60.47 ± 6.18 ^b
5. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁸	1.78 ± 0.17 ^b	0.57 ± 0.06 ^a	1.90 ± 0.19 ^a	22.70 ± 2.31 ^a	60.80 ± 6.14 ^b

ตัวอักษร a b และ c มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) ตัวอักษร ab ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง a และ b
 ตัวอักษร bc ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง b และ c

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีในตัวของปลานิลแดงหลังจากได้รับอาหารเสริมแบคทีเรียโปรไบโอติกที่ระดับความเข้มข้นต่างกันเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

อาหารเสริมโปรไบโอติก (CFU/กิโลกรัมอาหาร)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	องค์ประกอบทางเคมีในตัวของปลา (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)		
		โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
1. Control (PBS buffer)	73.29 ± 1.29 ^a	52.83 ± 1.78 ^{abc}	23.226 ± 5.14 ^a	15.88 ± 1.70 ^{ab}
2. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁵	73.99 ± 0.89 ^a	57.88 ± 1.79 ^c	19.188 ± 7.06 ^a	13.33 ± 1.15 ^{ab}
3. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁶	74.08 ± 0.57 ^a	57.09 ± 4.61 ^{bc}	18.000 ± 1.32 ^a	13.32 ± 3.66 ^{ab}
4. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁷	72.66 ± 2.08 ^a	48.17 ± 5.23 ^{ab}	21.341 ± 3.14 ^a	12.11 ± 1.60 ^a
5. <i>B. licheniformis</i> 10 ⁸	74.14 ± 1.93 ^a	47.00 ± 7.77 ^a	23.533 ± 0.65 ^a	16.65 ± 1.42 ^b

ตัวอักษร a, b และ c มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p < 0.05) ตัวอักษร ab ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง a และ b
 ตัวอักษร bc ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง b และ c ตัวอักษร abc ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่าง a, b และ c



ภาพที่ 1 ความหลากหลายของจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค DGGE จากตัวอย่างลำไส้ปลาชนิดแดงที่ได้รับอาหารผสม *B. licheniformis* ในระดับความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pongthana, N. (2010). **Factors Cultured Tilapia and Red Tilapia Success**. Extension Paper No. 2/2010 Pathumthani Fisheries Test and Research Center Aquatic Animal Genetics Research and Development Institute 1-47.
- [2] Middlemiss, K.L., Daniels, C.L., Urbina, M.A. and Wilson, R.W. (2015). "Combined Effects of UV Irradiation, Ozonation, and the Probiotic *Bacillus* spp. on Growth, Survival and General Fitness in European Lobster (*Homarus gammarus*)", **Aquaculture**. 444, 99-107.
- [3] Lee, S., Lee, J., Jin, Y.I., Jeong, J.C., Chang, Y.H., Lee, Y., Jeong, Y. and Kim, M. (2017). "Probiotic Characteristics of *Bacillus* Strains Isolated from Korean Traditional Soy Sauce", **LWT - Food Science and Technology**. 79, 518-524.
- [4] Meidong, R., Khotchanalekha, K., Doolgindachbaporn, S., Nagasawa, T., Nakao, M., Sakai, K. and Tongpim, S. (2018). "Evaluation of Probiotic *Bacillus aerius* B81e Isolated from Healthy Hybrid Catfish on Growth, Disease Resistance and Innate Immunity of Pla-Mong *Pangasius bocourti*", **Fish & Shellfish Immunology**. 73, 1-10.
- [5] Aly, S.M., Abdel-Galil, A.Y., Abdel-Aziz, G.A. and Mohamed, M.F. (2008). "Studies on *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*, as Potential Probiotics, on the Immune Response and Resistance of Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*) to Challenge Infections" **Fish & Shellfish Immunology**. 25(1), 128-136.

- [6] Aly, S.M., Mohamed, M.F. and John, G. (2008). "Effect of Probiotics on the Survival, Growth and Challenge Infection in Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*)", **Aquaculture Research**. 39(6), 647-656.
- [7] Ridha, M.T. and Azad, I.S. (2012). "Preliminary Evaluation of Growth Performance and Immune Response of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* Supplemented with Two Putative Probiotic Bacteria", **Aquaculture Research**. 43(6), 843-852.
- [8] Essa, M.A., EL- Serafy, S.S., El-Ezabi, M.M., Daboor, S.M., Esmael, N.A. and Lall, S.P. (2010). "Effect of Different Dietary Probiotics on Growth, Feed Utilization and Digestive Enzymes Activities of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*", **Journal of the Arabian Aquaculture Society**. 5, 143-162.
- [9] Sukkasem, N. and Ruangsri, J. (2007). "Effects of Plam Kernel Cake (PKC) on Growth Performance, Blood Components and Liver Histopathology of Sex Reversed Red Tilapia (*Oreochromis niloticus*)", **Songklanakarin Journal**. 29, 1283-1299.
- [10] Kiriratnikom, S. and Kiriratnikom, A. (2012). "Growth, Feed Utilization, Survival and Body Composition of Fingerlings of Slender Walking catfish, *Clarias nieuhofii*, Fed Diets Containing Different Protein Levels", **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. 34, 37-43.
- [11] AOAC. (1990). **Official Method of Analysis AOAC**. 15th ed. Washington, DC: The Association of official Analytical Chemists.
- [12] Halver, J.E. and Hardy, R.W. (2002). **Fish Nutrition**, 3rd ed. New York: Academic Press.
- [13] Burrell, P.C., Keller, J. and Blackall, L.L. (1998). "Microbiology of a Nitrite-Oxidizing Bioreactor", **Applied and Environmental Microbiology**. 64, 1878-1883.
- [14] Sanders, M.E., Morelli, L. and Tompkins, T.A. (2003). "Sporeformers as Human Probiotics: *Bacillus*, *Sporolactobacillus*, and *Brevibacillus*", **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 2, 101-110.
- [15] Sonenshein, A.L., Hoch, J.A. and Losick, R. (1993). ***Bacillus subtilis* and Other Gram-Positive Bacteria: Biochemistry, Physiology, and Molecular Genetics**. (1st ed). Washington, DC: American Society of Microbiology.
- [16] Tovar, D., Zambonino, J., Cahu, C., Gatesoupe, F.J., Vázquez-Juárez, R. and Lésel, R. (2002). "Effect of Live Yeast Incorporation in Compound Diet on Digestive Enzyme Activity in Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Larvae", **Aquaculture**. 204, 113-123.
- [17] De Schrijver, R. and Ollevier, F. (2000). "Protein Digestion in Juvenile Turbot (*Scophthalmus maximus*) and Effects of Dietary Administration of *Vibrio proteolyticus*", **Aquaculture**. 186, 107-116.
- [18] Nayak, S.K. (2010). "Role of Gastrointestinal Microbiota in Fish", **Aquaculture Research**. 41, 1553-1573.
- [19] He, S., Zhang, Y., Xu, L., Yang, Y., Marubashi, T., Zhou, Z. and Yao, B. (2013). "Effects of Dietary *Bacillus subtilis* C-3102 on the Production, Intestinal Cytokine Expression and Autochthonous Bacteria of Hybrid Tilapia *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*", **Aquaculture**. 412-413, 125-130.

การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด

Methylene Blue Adsorption onto Activated Charcoal Prepared from Mangosteen Peel

ศุภาพร รัตนพันธุ์¹ และพนิตา กังซุ่น^{2*}
Supaporn Rattanapan¹ and Panita Kongsune^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู ทำการทดลองแบบเบตซ์โดยศึกษาไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์การดูดซับ ผลการทดลองพบว่า ไอโซเทอร์มการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองของแลงเมียร์ จลนพลศาสตร์การดูดซับสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียม กลไกการดูดซับอธิบายว่าขึ้นกำหนดอัตราคือขึ้นการแพร่ของเมทิลีนบลูเข้าสู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์ ปฏิกิริยาการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นแบบคายความร้อนมีค่าเอนทัลปีเท่ากับ -14.63 กิโลจูลต่อโมล การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์แสดงให้เห็นว่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์สามารถเกิดขึ้นได้เอง

คำสำคัญ: เมทิลีนบลู ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด ไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์ อุณหพลศาสตร์

Abstract

The activated carbon from mangosteen peel was used as an adsorbent for removal of methylene blue from the solution in a batch adsorption system. The isotherms, kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption were examined. The Langmuir isotherm was better in describing the adsorption process. The kinetics adsorption was fit well with pseudo-second order model. The mechanism of process was shown that the film diffusion was a rate-determining factor in the adsorption process. The thermodynamics study revealed that a change in enthalpy was -14.63 kJ/mol illustrated the exothermic adsorption process. The Gibbs free energy was negative value, suggesting spontaneous of adsorption process.

Keywords: Methylene Blue, Mangosteen Peel Activated Carbon, Isotherm, Kinetics, Thermodynamics

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Graduate Student, Master Degree, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

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

* Corresponding author: E-mail address: panita487@hotmail.com. Tel.: 076-609-634

บทนำ

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้เนื่องจากสามารถดูดซับตัวอย่างที่เป็นของเหลว ก๊าซ และไอได้ดี ไม่ว่องไวต่อความชื้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีรูพรุนชนิดที่แตกต่างกัน และที่สำคัญราคาไม่แพง [1] ถ่านกัมมันต์นิยมเตรียมได้จากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีชีวมวลหลายชนิดที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น ผลทุเรียน [2] ไม้ไผ่ [3-4] กากกาแฟ [5] เปลือกทุเรียน [6] กะลามะพร้าว [1] กะลาปาล์ม [7] กากชา [8]

มังคุด เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ ได้รับการยกย่องให้เป็น “ราชินีแห่งผลไม้” (Queen of Fruits) มังคุดส่วนใหญ่นิยมรับประทานสด และภาคอุตสาหกรรมแปรรูปเป็นผลไม้กระป๋อง ทำให้มีส่วนที่เป็นเปลือกเหลือทิ้งค่อนข้างมาก ผลมังคุด 10 กิโลกรัมคิดเป็นเปลือกถึง 6 กิโลกรัม [9-10] ช่วงมังคุดออกผลเป็นช่วงฝนตกหนักทำให้ผลมังคุดหล่นจากต้นจำนวนมากซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ กอปรกับในชุมชน ต.นาหมอนบุญ อ.จุฬาภรณ์ จ.นครศรีธรรมราช มีการทำน้ำส้มควันไม้จากเปลือกมังคุดทำให้มีถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำเปลือกมังคุดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และเหตุผลที่สำคัญอีกประการคือเปลือกมังคุดมีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างสูง ความชื้นและปริมาณสารระเหยไม่สูงมาก [9] ซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุที่เหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และใช้เป็นวัสดุดูดซับสีเมทิลีนบลู ซึ่งถือได้ว่าเป็นการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีอยู่พัฒนาทรัพยากรท้องถิ่นได้อย่างคุ้มค่าด้วยการเพิ่มมูลค่าเปลือกมังคุด

สีเมทิลีนบลูเป็นสีเบสิก (Basic Dyes) ใช้กันมากที่สุดในการย้อมสี เมื่อมีการปนเปื้อนในน้ำจะก่อให้เกิดความเสี่ยง เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ [11] ดังนั้นจึงควรต้องมีการกำจัดสีเมทิลีนบลูในน้ำก่อนทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะ

ในงานวิจัยนี้สนใจลดปริมาณเมทิลีนบลูโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดเป็นวัสดุดูดซับ และศึกษาไอโซเทอร์ม จลนพลศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์ (วัสดุดูดซับ)

ล้างเปลือกมังคุดด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บริเวณผิวของเปลือกมังคุด ผึ่งแดดให้แห้งนำไปเผาในเตาเผาโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส บดย่อยและคัดขนาดถ่านให้มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 200 ไมโครเมตร ผสมถ่านกับซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 (ถ่านต่อซิงค์คลอไรด์) [12] เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เพื่อเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ ล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำปราศจากไอออน อบถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น ลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดแสดงใน Rattanapan *et.al* [12]

2. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีเมทิลีนบลู

ชั่งถ่านกัมมันต์ 0.25 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 40 60 80 100 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิตร ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 เขย่าที่ความเร็ว 240 รอบต่อนาที วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่เหลือด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-1700 Phamaspac) ความยาวคลื่น 668 นาโนเมตร หาความสามารถในการดูดซับตามสมการที่ 1

$$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{m} \right) V \quad (1)$$

เมื่อ q_e คือความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย เมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อลิตร) C_e คือความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) V คือปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ลิตร) และ m คือน้ำหนักถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม) [9-11]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู

ไอโซเทอร์มของการดูดซับคือการนำข้อมูลจากการทดลองที่สภาวะสมดุลมาหาไอโซเทอร์มที่เหมาะสมเพื่ออธิบายลักษณะการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด ไอโซเทอร์มที่นิยมศึกษาได้แก่ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ [13] ฟรุนดลิช [14] เทมกิน [14] และคูบินิน [15]

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ใช้อธิบายลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์แสดงดังสมการที่ 2

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m} \quad (2)$$

เมื่อ K_L คือค่าคงที่การดูดซับแบบแลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม) และ q_m คือปริมาณดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม) เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/q_m$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/K_L q_m$ แสดงในภาพที่ 1(A)

สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้อธิบายลักษณะของการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับแบบหลายชั้นบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ สมการเส้นตรงของแบบจำลองของฟรุนดลิชแสดงดังสมการที่ 3

$$\log(q_e) = \log(K_F) + \frac{1}{n} \log(C_e) \quad (3)$$

เมื่อ K_F คือค่าคงที่ของการดูดซับแบบฟรุนดลิช และ $1/n$ คือความเข้มของการดูดซับ ถ้า $n > 1$ การดูดซับเกิดขึ้นเป็นอย่างดี เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(q_e)$ กับ $\log(C_e)$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log(K_F)$ ซึ่งแสดงในภาพที่ 1(B)

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเทมกินเป็นไอโซเทอร์มที่ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานของการดูดซับ สมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเทมกินแสดงดังสมการที่ 4

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \quad (4)$$

เมื่อ K_T คือพลังงานของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ B_T คือความร้อนของการดูดซับ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของการดูดซับหน่วยเป็นเคลวิน R คือค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/K.mol) B_T และ K_T คำนวณได้จากการเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง q_e และ $\ln C_e$ จะได้เส้นตรงที่มีความชัน B_T และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $B_T \ln K_T$ ซึ่งแสดงในภาพที่ 1(C)

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบดูบินินสามารถบอกพลังงานการดูดซับที่เกิดขึ้นได้ และสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับ Dubinin-Radushkevich แสดงดังสมการที่ 5-7

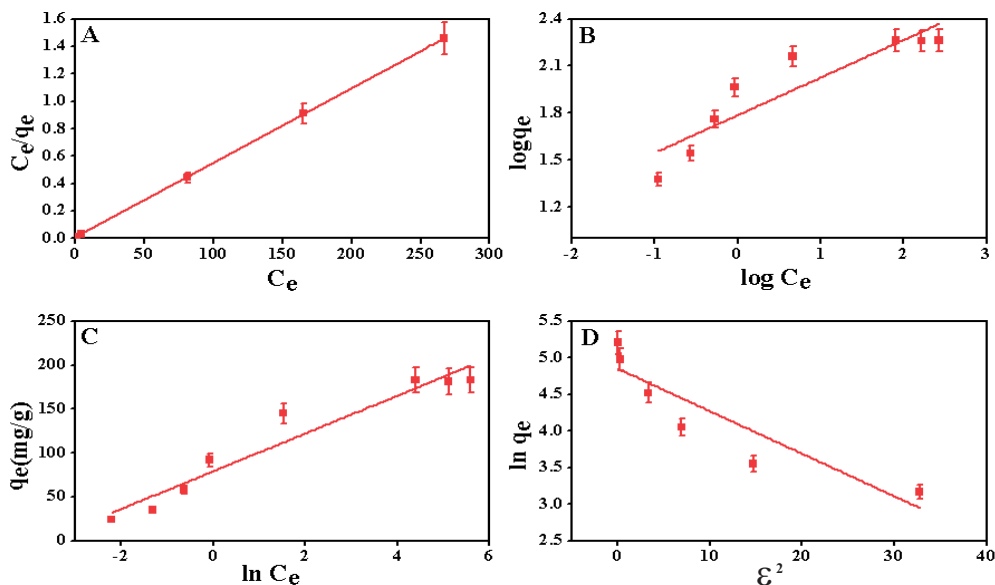
$$\ln q_e = \ln q_m - K_D \varepsilon^2 \quad (5)$$

$$\varepsilon = RT \ln(1 + 1/C_e) \quad (6)$$

$$E = 1/\sqrt{2K_D} \quad (7)$$

K_D คือค่าพลังงานของการดูดซับ ส่วน ε^2 คือค่าความเข้มข้นสมมูลคำนวณได้จากสมการที่ 7 ส่วน E คือค่าพลังงานของการดูดซับ (kJ/mol) สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์แยกประเภทของการดูดซับ [2] เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln q_e$ และ $\ln C_e$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-K_D$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $\ln q_m$ แสดงในภาพที่ 1(D) และค่าคงที่ไอโซเทอร์มการดูดซับของสมการแลงเมียร์ ฟรุนดลิช เทมกิน และ ดูบินินแสดงดังตารางที่ 1

พิจารณาภาพที่ 1 และค่าคงที่ไอโซเทอร์มการดูดซับในตารางที่ 1 พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มากกว่าแบบฟรุนดลิชเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.99 ซึ่งมากกว่า R^2 ของแบบจำลองฟรุนดลิชมีค่าเท่ากับ 0.84 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์และเมื่อพิจารณาค่าความสามารถดูดซับสูงสุดดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า q_m เท่ากับ 181.81 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง 175.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด 1 กรัมสามารถดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูสูงสุด 181.82 มิลลิกรัม จากแบบจำลองไอโซเทอร์มของเทมกิน B_1 เท่ากับ 21.54 กิโลจูลต่อโมลแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เป็นปฏิกิริยาการดูดซับแบบคายความร้อนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lemraski, E.G. and Sharafinia, S. [15] และจากแบบจำลองไอโซเทอร์มของดูบินินมีค่า K_D เท่ากับ 0.06 ลิตรต่อมิลลิกรัม และ E เท่ากับ 2.79 กิโลจูลต่อโมล แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบกายภาพ [2]



ภาพที่ 1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ (A) แลงเมียร์ (B) ฟรอนด์ลิช (C) เทมกิน และดูบินิน (D)

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มการดูดซับของสมการแลงเมียร์ ฟรอนด์ลิช เทมกิน และ ดูบินิน

Model	Langmuir			Freundlich			Temkin			Dubinin-Radushkevich			
Parameters	K_L	q_m	R^2	K_F	n	R^2	K_T	B_1	R^2	K_D	q_m	E	R^2
value	1.00	181.81	0.99	61.16	4.16	0.84	39.44	21.54	0.94	0.06	141.28	2.79	0.84

2. จลนศาสตร์การดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู

การศึกษาอัตราเร็วของการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด โดยใช้แบบจำลองแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-First Order) และ ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-Second Order) สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมแสดงได้ดังสมการที่ 8

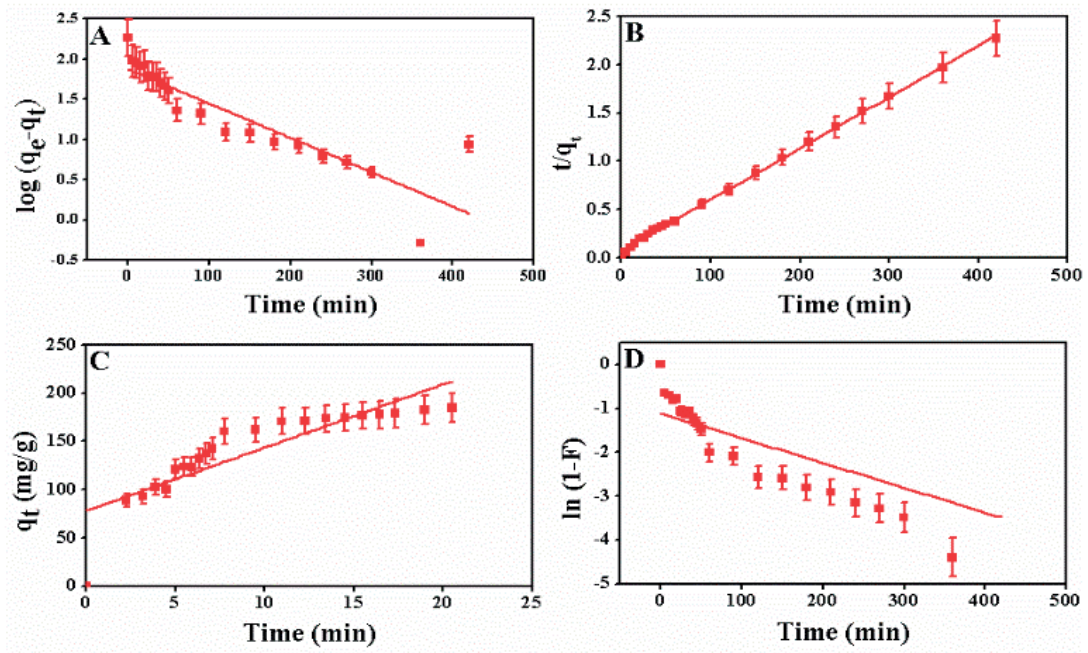
$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1 t}{2.303} \quad (8)$$

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาผลความเข้มข้นมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\log (q_e - q_t)$ กับ t จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-K_1/2.303$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $\log q_e$ ดังแสดงในภาพที่ 2(A) และสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียมแสดงดังสมการที่ 9

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (9)$$

เมื่อ K_2 คือค่าคงที่อัตราเร็วการดูดซับของปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที่) นำข้อมูลจากการศึกษาผลความเข้มข้นมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับ t ได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในภาพที่ 2(B) ที่มีความชันเท่ากับ $1/q_e$ และจุดตัดแกนตั้งเท่ากับ $1/K_2 q_e^2$ ข้อมูลของการศึกษาอัตราเร็วของการดูดซับแสดงดังตารางที่ 2

ผลการศึกษากลไกการดูดซับของการดูดซับเปรียบเทียบกับสมการจลพลศาสตร์ 2 แบบ พบว่าค่า R^2 ที่ได้จากอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมีความสอดคล้องกับจลนพลศาสตร์การดูดซับเมทิลีนบลูมากกว่าสมการจลนพลศาสตร์อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม โดยค่าการดูดซับที่สมดุลที่ได้จากการคำนวณจากสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียมหรือค่า $q_{e(cal)}$ เท่ากับ 200.00 มิลลิกรัมต่อกรัม มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองหรือค่า $q_{e(exp)}$ เท่ากับ 175.84 มิลลิกรัมต่อกรัมมากกว่าแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมที่แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li, G., *et al.* [16]



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่งเทียม (A) ปฏิกิริยาเทียมอันดับสองเทียม (B) Intraparticle Diffusion Model (C) และ Film Diffusion Model (D)

ตารางที่ 2 ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม และปฏิกิริยาอันดับสองเทียม

Model	Pseudo-First Order				Pseudo-Second Order			
Parameters	$q_{e(cal)} (mg/g)$	$q_{e(exp)}$	$K_1 (min)^{-1}$	R^2	$q_{e(cal)} (mg/g)$	$q_{e(exp)}$	$K_2 (g/mg.min)$	R^2
Value	74.82	175.84	0.01	0.80	200.00	175.84	0.0004	0.99

3. กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์

การศึกษากลไกการดูดซับของการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดโดยใช้รูปแบบการแพร่หรือ Intraparticle Diffusion อธิบายลักษณะการแพร่ของตัวถูกดูดซับหรือเมทิลีนบลูไปสู่ตัวดูดซับหรือถ่านกัมมันต์ซึ่งแสดงดังสมการที่ 10 [17]

$$q_t = K_{\text{dif}} t^{1/2} + C \quad (10)$$

เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง q_t และ $t^{1/2}$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ K_{dif} และมีจุดตัดแกนเท่ากับ C ซึ่งแสดงในภาพที่ 2(C) การแพร่ระหว่างโมเลกุลจะเป็นขึ้นกำหนดอัตราเมื่อกราฟตัดผ่านจุดกำเนิดหรือเมื่อ C เท่ากับ 0 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.74 และ ค่า C เท่ากับ 78.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะการแพร่ระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลายหรือเมทิลีนบลูไปสู่ตัวดูดซับหรือถ่านกัมมันต์ไม่ได้เป็นขึ้นกำหนดอัตรา

ส่วน Liquid Film Diffusion เป็นแบบจำลองศึกษาการแพร่สู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์แสดงดังสมการที่ 11 [19]

$$\ln(1 - F) = -K_{\text{fd}} t \quad (11)$$

โดยที่ $F = q_t/q_\infty$ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(1 - F)$ และ t จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-K_{\text{fd}}$ ซึ่ง K_{fd} คือค่าคงที่การแพร่สู่ชั้นฟิล์ม แสดงดังภาพที่ 2(D) เมื่อพิจารณาค่าที่แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.93 และค่าคงที่การแพร่สู่ชั้นฟิล์มเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อนาที และจุดตัดแกนเท่ากับ 0.79 ถือได้ว่าผ่านจุดกำเนิด ซึ่งเป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่าการแพร่สู่ชั้นฟิล์มเป็นขึ้นกำหนดอัตรา ดังนั้นการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการแพร่สู่ชั้นฟิล์ม การแพร่สู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์นั้นถ้าชั้นฟิล์มหนาจะทำให้มีแรงต้านระหว่างไอออนของเมทิลีนบลูกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaudhry, S.A., *et al.* [19]

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของกลไกการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด

Model	Intraparticle Diffusion Model			Film Diffusion Model	
Parameter	$K_i(\text{mg/g.min})$	C	R^2	$K_{\text{fd}}(\text{mg/g.min})$	R^2
Value	6.56	78.11	0.74	0.01	0.93

4. พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์

พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ (ΔS°) คำนวณได้จากสมการที่ 12 เมื่อ R คือค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 J/mol K) และ T คืออุณหภูมิ (K) เมื่อเขียนกราฟตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 12 จะได้ค่าพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์แสดงดังตารางที่ 4 และพลังงานอิสระของกิบส์คำนวณได้จากสมการ $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$

$$\ln \frac{q_e}{C_e} = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (12)$$

จากตารางการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH°) เท่ากับ -14.63 กิโลจูลต่อโมลแสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุดเป็นการดูดซับแบบคายความร้อนซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาแบบจำลองไอโซเทอรัมของเทมกิน ส่วนการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS°) เท่ากับ -0.04 กิโลจูลต่อโมลต่อเคลวินแสดงว่าความไม่เป็นระเบียบของถ่านกัมมันต์ลดลงหลังจากดูดซับเมทิลีนบลู การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ (ΔG°) พบว่าค่าที่ได้เป็นลบแสดงให้เห็นว่าการดูดซับเกิดได้เองและความสามารถในการดูดซับลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการดูดซับ

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด

ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (KJ/mol.K)	ΔG° (KJ/mol)		
		303K	323K	343K
-14.63	-0.04	-2.00	-1.15	-0.32

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดพบว่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 175.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ลักษณะการดูดซับบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว และเป็นการดูดซับทางกายภาพ ส่วนจลนพลศาสตร์การดูดซับอธิบายได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียม กลไกการดูดซับอธิบายว่าขึ้นกำหนดอัตราคือขึ้นการแพร่ของเมทิลีนบลูเข้าสู่ชั้นฟิล์มของถ่านกัมมันต์ปฏิกิริยาการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นแบบคายความร้อนมีค่าเอนทัลปีเท่ากับ -14.63 กิโลจูลต่อโมล การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เองและความสามารถในการดูดซับลดลงเมื่ออุณหภูมิของการดูดซับเพิ่มขึ้น

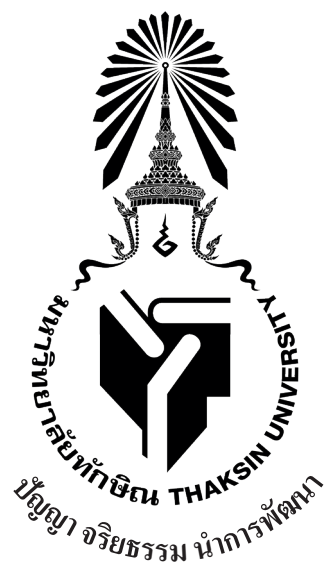
คำขอบคุณ

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการการวิจัยเงินรายได้ มหาวิทยาลัยทักษิณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนวิจัยร่วมบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tan, Y.L., Islam, M.A., Asif, M. and Hameed, B.H. (2014). "Adsorption of Carbon Dioxide by Sodium Hydroxide-Modified Granular Coconut Shell Activated Carbon in a Fixed Bed", **Energy**. 77, 926-931.
- [2] Ghasemi, M., Zeinaly, K.M., Bavand, A.A., Ghasemi, N., Javadian, H. and Fattahi, M. (2015). "Microwave-Assisted Functionalization of *Rosa Canina-L* fruits Activated Carbon with Tetraethylenepentamine and its Adsorption Behavior Toward Ni(II) in Aqueous Solution: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies", **Powder Technology**. 274, 362-371.
- [3] Liu, Q.S., Zheng, T., Li, N., Wang, P. and Abulikemu, G. (2009). "Modification of Bamboo-Based Activated Carbon Using Microwave Radiation and its Effects on the Adsorption of Methylene Blue", **Applied Surface Science**. 256(10), 3309-3315.
- [4] Chotitham, L., Sumanatrakul, P. and Kongsune, P. (2016). "Preparation Characterization and Application for Lead Adsorption of *Dendrocalamus Asper Backer* Bamboo Activated Carbon", **Thaksin University Journal**. 19(2), 43-52.
- [5] Hirata, M., Kawasaki, N., Nakamura, T., Matsumoto, K., Kabayama, M., Tamura, T. and Tanada, S. (2002). "Adsorption of Dyes onto Carbonaceous Materials Produced from Coffee Grounds by Microwave Treatment", **Journal of Colloid and Interface Science**. 254(1), 17-22.
- [6] Nuithitikul, K., Srikhun, S. and Hirunpraditkoon, S. (2009). "Influences of Pyrolysis Condition and Acid Treatment on Properties of Durian Peel-Based Activated Carbon", **Bioresource Technology**. 101(1), 426-429.

- [7] Kongnoo, A., Inthrapat, P., Worathanakul, P. and Phalakornkule, C. (2016). “Diethanolamine Impregnated Palm Shell Activated Carbon for CO₂ Adsorption at Elevated Temperatures”, **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 4(1), 73-81.
- [8] Gokce, Y. and Aktas, Z. (2014). “Nitric Acid Modification of Activated Carbon Produced from Waste Tea and Adsorption of Methylene Blue and Phenol”, **Applied Surface Science**. 313, 352-359.
- [9] Foo, K.Y. and Hameed, B.H. (2012). “Factors Affecting the Carbon Yield and Adsorption Capability of the Mangosteen Peel Activated Carbon Prepared by Microwave Assisted K₂CO₃ Activation”, **Chemical Engineering Journal**. 180, 66-74.
- [10] Chen, Y., Huang, B., Huang, M. and Cai, B. (2011). “On the Preparation and Characterization of Activated Carbon from Mangosteen Shell”, **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 42(5), 837-842.
- [11] Suttanan, R. and Piyamongkala, K. (2011). “Kinetic and Thermodynamic Adsorption of Methylene Blue by Modified Rice Husk”, **The Journal of KMUTNB**. 21, 337-348.
- [12] Rattanapan, S., Pengjam, P. and Kongsune, P. (2014). “Preparation and Characterization of Mangosteen Peel Activated Carbon”, **Thaksin University Journal**. 17(3), 13-21.
- [13] Langmuir, I. (1918). “The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum”, **Journal of the American Chemical Society**. 40, 1361-1403.
- [14] Freundlich, H. (1906). “Over the adsorption in solution”, **Journal of Physical Chemistry**. 57, 385-470.
- [15] Lemraski, E.G. and Sharafinia, S. (2016). “Kinetics, Equilibrium and Thermodynamics Studies of Pb²⁺ Adsorption onto New Activated Carbon Prepared from Persian Mesquite Grain”, **Journal of Molecular Liquids**. 219, 482-492.
- [16] Li, G., Zhang, D., Wang, M., Huang, J. and Huang, L. (2013). “Preparation of Activated Carbons from Iris Tectorum Employing Ferric Nitrate as Dopant for Removal of Tetracycline from Aqueous Solutions”, **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 98, 273-282.
- [17] Chaudhry, S.A., Ahmed, M., Siddiqui, S.I. and Ahmed, S. (2016). “Fe(III)–Sn(IV) Mixed Binary Oxide Coated Sand Preparation and its Use for the Removal of As(III) and As(V) from Water: Application of Isotherm, Kinetic and Thermodynamics”, **Journal of Molecular Liquids**. 224 Part A, 431-441.



การวิเคราะห์ก๊าซชีววมวลที่ได้จากแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

Analysis of Producer Gas from Downdraft Gasifier by Using Coconut Shell as Fuel

พงษ์ศักดิ์ ทรัพย์สาร¹ จักรพันธ์ ทองบุญชู² อมาวสี รุกเรือง² ธเนศ ไชยชนะ³ พนิดา กังซุ่น⁴ และจตุพร แก้วอ่อน^{5*}

Pongsak Sabpayasan¹, Jakkraphan Thongbunchoo², Amawasee Rukruang², Tanate Chaichana³,

Panita Kongsune⁴ and Jatuporn Kaew-On^{5*}

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพลังงานทดแทนได้เข้ามามีบทบาทและมีความนิยมนำมากขึ้น เนื่องจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มราคาสูงขึ้น แก๊สเชื้อเพลิงเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทน โดยที่แก๊สเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบหลักคือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) แก๊สมีเทน (CH₄) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแก๊สอื่นๆ ซึ่งได้จากการกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่ผลิตได้จากการบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ด้วยชุดแก๊สซิไฟเออร์แบบการไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยใช้กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง และใช้ช่วงความเร็วอากาศเข้าที่ 7 10 และ 14 m/s ซึ่งผลการศึกษาพบว่า องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว มีร้อยละองค์ประกอบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 15.64 17.39 แก๊สไฮโดรเจน (H₂) 15.89 8.47 แก๊สมีเทน (CH₄) 4.77 2.36 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 16.09 และ 18.17 ตามลำดับ โดยช่วงความเร็วอากาศที่ดีที่สุดคือช่วงความเร็วอากาศเข้า 10 m/s ให้ร้อยละประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิไฟเออร์สูงสุดเท่ากับ 57.45 84.59 ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้ 6,307 4,441 kJ/m³ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.58 และ 2.86 kg/h ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการพัฒนาแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สซิไฟเออร์ แก๊สเชื้อเพลิง กะลามะพร้าว

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ ผศ.ดร., สาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

⁴ อ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

⁵ ผศ.ดร., หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Undergraduate Student, Program in Technology and Energy Management, Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Graduate Student, Master Degree Program in Energy Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Asst. Prof. Dr., Program in Renewable Engineering, School of Renewable Engineering, Maejo University, Chiang Mai, 50290

⁴ Lecturer, Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

⁵ Asst. Prof. Dr., Program in Energy Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: +6690-9908704, E-mail address: kaew_on@yahoo.com

Abstract

Renewable energy is widely used at recent time because the trend of fossil fuel price continues to increase. Alternative energy from gasification process can be produced fuel gas that producer gas compositions such as carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂), methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and other. This research study is based on analysis producer gas from downdraft gasifier by using coconut shell and coconut shell charcoal with the adjustable air speed at blower outlet 7, 10 and 14 m/s. The experimental result shows that the average producer gas composition of coconut shell and coconut shell charcoal are carbon monoxide (CO) 15.64, 17.39 %, hydrogen (H₂) 15.89, 8.47 %, methane (CH₄) 4.77, 2.36 %, carbon dioxide (CO₂) 16.09 and 18.17 % respectively. The suitable air speed is 10 m/s will be given the highest efficiency of downdraft gasifier are 57.45, 84.59 %, the High Heating Value (HHV) are 6,307, 4,441 kJ/m³, fuel consumption rate are 2.58 and 2.86 kg/h respectively. According to the experimental result, the downdraft gasifier by using coconut shell can be improved as one potential energy of alternative energy in the next future.

Keywords: Gasification Process, Gasifier, Producer Gas, Coconut Shell

บทนำ

ปัจจุบัน โลกเผชิญกับปัญหาด้านพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil) ซึ่งนับวันยังมีปริมาณเหลือใช้ลดลง การเพิ่มขึ้นของประชากร การเติบโตทางเศรษฐกิจและอัตราการขยายตัวของเขตเมืองทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น อันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแนวโน้มทางด้านราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิลให้สูงขึ้นเรื่อยๆ ต้นทุนด้านพลังงานเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้จะต้องมีความเหมาะสมและไม่เป็นอุปสรรคต่อการใช้งานในระยะยาว จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดให้การสำรวจและหาแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เพื่อมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล พบว่าพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพในการนำมาใช้งานได้แก่ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ลม แสงอาทิตย์ น้ำ และชีวมวล เป็นต้น

ชีวมวลก่อนข้างมีบทบาทสำคัญในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน จากการสำรวจข้อมูลทางสถิติการเกษตรของประเทศไทย พบว่าไทยเป็นประเทศผู้ผลิตมะพร้าวที่สำคัญ 1 ใน 10 ของโลก โดยที่ผลผลิตมะพร้าวในปี 2557 ประมาณ 0.97 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.61 ของมะพร้าวรวมทั้งโลก สำหรับภาคใต้จะมีพื้นที่ในการปลูกมะพร้าวเยอะที่สุดในประเทศคิดเป็นร้อยละ 52.47 ของพื้นที่การปลูกมะพร้าวในประเทศ ปริมาณพื้นที่การปลูกมะพร้าวในภาคใต้ได้แก่ หมู่พรสุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช ตามลำดับ [1] จึงทำให้เกิดปัญหาจากมะพร้าวส่วนที่ไม่ต้องการเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกะลามะพร้าวมีเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมะพร้าว 1 ลูก ประกอบด้วยกะลาร้อยละ 15 [2]

การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้โดยตรงจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศซึ่งส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Technology) เป็นการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งอยู่ในสถานะของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโดยการจำกัดอากาศในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สเชื้อเพลิง

ที่เกิดขึ้นเรียกว่า โปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer Gas) ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) โปรดิวเซอร์แก๊สที่มีค่าความร้อนปานกลางสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการขนส่งและเป็นสารตั้งต้นในการผลิตแอมโมเนีย ส่วนโปรดิวเซอร์แก๊สที่มีค่าความร้อนต่ำจะนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยใช้ร่วมกับเครื่องยนต์แก๊สหรือระบบหม้อไอน้ำ [3-5]

ทั้งนี้ การนำเชื้อเพลิงชีววมวลมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อนยังสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) ได้มีการตั้งเป้าหมายการใช้ชีววมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า 5,570 เมกะวัตต์ (MW) และความร้อน 22,100 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภายในปี พ.ศ. 2579 [6]

การนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเปลี่ยนรูปพลังงานจึงมีความสำคัญและส่งผลให้การใช้ชีววมวลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษาองค์ประกอบโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงโดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้โปรดิวเซอร์แก๊สในระบบอื่นๆ รวมทั้งตอบสนองต่อแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ของประเทศต่อไป

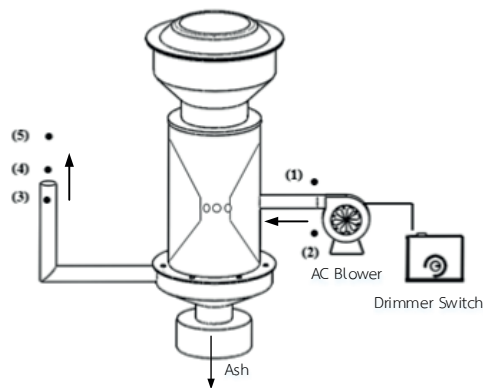
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการ

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1.1 ระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจะใช้เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงที่เติมเชื้อเพลิงได้เพียงครั้งละ 7 กิโลกรัม (Batch Downdraft Gasifier) ดังแสดงในภาพที่ 1 ใช้พัดลม (AC Blower) ต่อกับชุดปรับความเร็วลม (Dimmer Switch) เพื่อป้อนอากาศเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ ระยะเวลาในการเกิดโปรดิวเซอร์แก๊สประมาณ 15-35 นาที สามารถทดสอบการเกิดโปรดิวเซอร์แก๊สได้โดยการจุดติดไฟบริเวณท่อทางออกของแก๊สเมื่อควันขาวเริ่มจางลง บริเวณภายนอกห้องเผาไหม้จะมีช่องสำหรับดูเปลวไฟ ช่องอากาศเข้า และช่องระบายขี้เถ้าเมื่อหยุดใช้งาน

1.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบขดลวดความร้อน (Hot Wire Anemometer) รุ่น Kimo VT 100 นำมาใช้เพื่อวัดความเร็วของโปรดิวเซอร์แก๊สและความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ ซึ่งสามารถวัดความเร็วอากาศในช่วง 0.15 - 30 m/s ความละเอียด 0.1 m/s โดยจะวัดความเร็วลมบริเวณกึ่งกลางของท่อทางออกพัดลมอัดอากาศและกึ่งกลางท่อทางออกของโปรดิวเซอร์แก๊ส

1.3 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) รุ่น Testo 350-XL ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊ส ที่ติดตั้งบริเวณท่อทางออกของแก๊ส การทดลองนี้ จะใช้ความเร็วลมป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์ 3 ค่า ได้แก่ 7 10 และ 14 m/s



ภาพที่ 1 ไคอะแกรมของระบบผลิตโปรคิวเซอร์แก๊สในเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงและตำแหน่งเก็บข้อมูลในการทดลอง (1) ความเร็วลม (2) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (3) อุณหภูมิของแก๊สและความเร็วแก๊ส (4) องค์ประกอบของแก๊ส (5) อุณหภูมิเปลวไฟ

2. การเตรียมเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่เลือกใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว การเตรียมเชื้อเพลิงสามารถทำได้ดังนี้

2.1 ทำการลดความชื้นเชื้อเพลิงโดยทำการอบในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ได้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งน้อยกว่า 15 %

2.2 ลดขนาดเชื้อเพลิงให้มีขนาดประมาณ 10 - 15 เซนติเมตร ด้วยวิธีการใช้ค้อนทุบ ซึ่งขนาดดังกล่าวเหมาะสมกับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เนื่องจากเตาแก๊สซิไฟเออร์ที่ใช้มีขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพที่ 2 และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างเชื้อเพลิง (ก) กะลามะพร้าวสด (ข) ถ่านกะลามะพร้าว

3. การประเมินประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง

3.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิไฟเออร์หาได้จากความร้อนที่ได้จากแก๊สเทียบกับความร้อนที่ใส่เข้าไป สามารถหาได้จากสมการดังนี้ [8]

$$\eta_{th} = \frac{Q_{gas} \times HHV_{gas}}{FCR_{fuel} \times HHV_{fuel}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
 Q_{gas} คือ อัตราการไหลของแก๊ส (m^3/s)
 FCR_{fuel} คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/s)
 HHV_{gas} คือ ค่าความร้อนของแก๊ส (kJ/m^3)
 HHV_{fuel} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ค่าความร้อนของชีววมวลซึ่งประกอบด้วย องค์ประกอบของแก๊ส CO , H_2 และ CH_4 สามารถหาได้จากสมการดังนี้ [9]

$$HHV_{gas} = \sum_{i=1}^n H_i X_i \quad (2)$$

เมื่อ H_i คือ ค่าความร้อนของโปรคิวเซอร์แก๊ส (CO , H_2 และ CH_4)
 X_i คือ สัดส่วนโดยปริมาณของโปรคิวเซอร์แก๊ส

อัตราการไหลของแก๊ส (Gas Flow Rate) ภายในท่อ มีหน่วยเป็น m^3/s สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Q_{gas} = A \times V \quad (3)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อแก๊ส (m^2)
 V คือ ความเร็วของแก๊ส (m/s)

อัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption Rate, FCR) มีหน่วยเป็น kg/s สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$FCR_{fuel} = \frac{m_{fuel}}{t} \quad (4)$$

เมื่อ m_{fuel} คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจนหมด (s)

3.2 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air Fuel Ratio) สามารถหาได้จากสมการดังนี้ [10]

$$A/F_{Ratio} = \frac{\dot{m}_{air}}{FCR_{fuel}} \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_{air}$ คือ อัตราไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s) หาได้จาก

$$\dot{m}_{air} = \rho \times A \times V = \rho \times Q_{gas} \quad (6)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (kg/m^3)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว

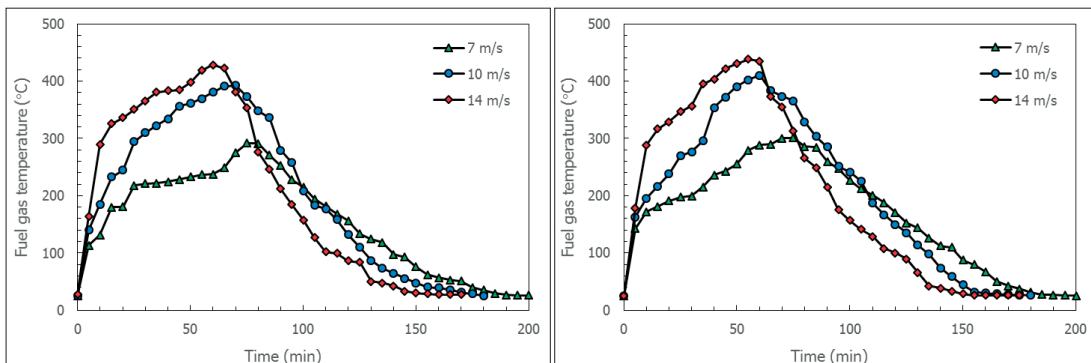
เชื้อเพลิง	ความเร็ว อากาศ (m/s)	ความชื้น มาตรฐานแห้ง (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	ถ่าน (%)	HHV _{fuel} * (kJ/kg)
กะลามะพร้าวสด	7	11.87	66.93	99.04	1.63	20,208.72
	10		58.77	99.16	1.89	
	14		64.27	99.08	1.65	
ถ่านกะลามะพร้าว	7	10.23	63.26	99.10	1.43	31,212.64
	10		48.12	99.31	1.46	
	14		45.63	99.35	1.50	

*ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (High Heating Value, HHV) กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว [7]

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของโปรคิวเซอร์แก๊ส

ในการทดลองใช้กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง พบว่าเมื่อปรับความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซิไฟเออร์เป็น 7 10 และ 14 m/s จะทำให้อุณหภูมิของโปรคิวเซอร์แก๊สจะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยที่อุณหภูมิของโปรคิวเซอร์แก๊สเมื่อใช้เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสด ได้แก่ 291.8 392.2 และ 428.7 องศาเซลเซียส และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าว ได้แก่ 300.9 409.9 และ 438.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิของกะลามะพร้าวสดจะต่ำกว่าถ่านกะลามะพร้าว เนื่องจากกะลามะพร้าวสดมีความหนาแน่นสูงกว่า จึงทำให้เกิดการแตกตัวและสลายตัวของเชื้อเพลิงได้ช้ากว่า ส่งผลให้เกิดการกลั่นตัวในโซนไพโรไลซิสได้น้อยกว่า และใช้เวลาในการระเหยความชื้นออกจากเชื้อเพลิงนานกว่าถ่านกะลามะพร้าว



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโปรคิวเซอร์แก๊สและเวลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วลม 7 10 และ 14 m/s
(ก) กะลามะพร้าวสด (ข) ถ่านกะลามะพร้าว

2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโปรคิวเซอร์แก๊ส

องค์ประกอบของโปรคิวเซอร์แก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวมีส่วนของแก๊สติดไฟเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ที่ความเร็วอากาศ 10 m/s จะให้ปริมาณของโปรคิวเซอร์แก๊สสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยที่เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดจะมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 16.54 15.12 และ 4.82 และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าวมีส่วนของแก๊สร้อยละ 17.67 8.07 และ 2.52 ตามลำดับ การเพิ่มความเร็วลมทางเข้าเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนทำให้การเผาไหม้ในโซนการเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อเข้าสู่โซนรีดักชันจะทำให้สามารถสังเคราะห์แก๊สติดไฟได้มากขึ้นด้วย

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดขึ้นในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

เชื้อเพลิง	ความเร็วอากาศ (m/s)	องค์ประกอบของโปรคิวเซอร์แก๊ส (%)			
		CO	H ₂	CH ₄	CO ₂
กะลามะพร้าวสด	7	15.62	14.55	4.82	15.21
	10	16.54	15.12	5.09	16.48
	14	16.79	14.45	4.27	17.97
ถ่านกะลามะพร้าว	7	17.18	8.22	2.46	7.84
	10	17.67	8.07	2.52	8.67
	14	17.32	8.08	2.11	8.89

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลลง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเออร์จากเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดสูงกว่าถ่านกะลามะพร้าว โดยมี ร้อยละประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 26.67-50.97 และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าวอยู่ในช่วง 12.01-19.40 เนื่องจากกะลามะพร้าวสดมีความหนาแน่นมากกว่าถ่านกะลามะพร้าวซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยพบว่าความเร็วลมป้อนเข้าที่ 10 m/s ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดร้อยละ 50.97 และ 19.40 ซึ่งอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 23.57 และ 21.26 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเออร์และคุณสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

เชื้อเพลิง	ความเร็วอากาศ (m/s)	ประสิทธิภาพ (%)	A/F Ratio	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)	HHV _{gas} (kJ/m ³)
กะลามะพร้าวสด	7	26.67	17.51	2.43	5,996
	10	50.97	23.57	2.58	6,307
	14	47.96	29.35	2.90	5,906
ถ่านกะลามะพร้าว	7	12.01	17.00	2.50	4,373
	10	19.40	21.26	2.86	4,441
	14	18.64	27.33	3.11	4,223

สรุปผลการทดลอง

องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงโดยใช้กะลามะพร้าวสด และถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง พบว่าความเร็วอากาศป้อนเข้าเตาแก๊สซิฟิเคชัน 10 m/s ให้โปรตีนเซอร์แก๊สสูงสุดประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) และมีเทน (CH_4) โดยที่เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดจะมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 16.54 15.12 และ 4.82 และเชื้อเพลิงถ่านกะลามะพร้าวมีสัดส่วนของแก๊สร้อยละ 17.67 8.07 และ 2.52 ตามลำดับ เตาแก๊สซิฟิเคชันมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดร้อยละ 50.97 และ 19.40 มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสม 23.57 และ 21.26 ตามลำดับ และมีค่าความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊สสูงสุดเท่ากับ 6,307 kJ/m³ และ 4,441 kJ/m³ ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. (2016). **Agricultural Statistics of Thailand, 2016** (Online). Retrieved 17 March 2017, from <http://www.oae.go.th>.
- [2] Industrial Technology Service Center. (n.d.). **Coconut and Poconut Products Processes** (Online). Retrieved 14 June 2017, from <http://www.kmutt.ac.th/titec/gtz/coconut-detail-upload5.html>.
- [3] Jatuporn, K., Jompob, W., Marina, M and Suwit, P. (2005). "Biomass Energy Conversion: Gasification", **Thaksin University Journal**. 2(2), 56-67.
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2015). **Alternative Energy Development Plan: AEDP2015**. Retrieved 14 June 2017, from <http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf>
- [5] Ismail, T.M. and El-Salam, M.A. (2017). "Parametric Studies on Biomass Gasification Process on Updraft Gasifier High Temperature Air Gasification", **Applied Thermal Engineering**. 112, 1460-1473.
- [6] Wang, X., Niu, B., Deng, S., Liu, Y. and Tan, H. (2014). "Optimization Study on Air Distribution of an Actual Agriculture Up-draft Biomass Gasification Stove", **Energy Procedia**. 61, 2335-2338.
- [7] Department of Industrial Works. (2012). **Guideline and Criteria for Wastes for Processing as Fuel Rods and Binder Blocks** (Online). Retrieved 14 June 2017, from <https://books.google.co.th/books?id=evlmlwEACAAJ>.
- [8] Chawdhury, M.A. and Mahkamov, K. (2011). "Development of a Small Downdraft Biomass Gasifier for Developing Countries", **Journal of Scientific Research**. 1, 51-64.
- [9] Yothapakdee, J. (2013). **Performance Report on Cooperative Education Maejo University** (Online). Retrieved 17 March, 2017, from http://aookaui.fireexit.co.th/MJUnew/course_detail/22/Jidapa%20Yothapakdee.pdf.
- [10] Puchaporn, N., Nikran, H., Kittikorn, S., and Akkarin, I. (2010). "Performance Assessment of Downdraft Gasifier Operated on Agricultural Residues", In **The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference**. Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

การนำถนนแอสฟัลต์มาใช้ใหม่โดยการใช้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

Recycled of Asphalt Road using Microwave Heating

ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล¹, รัฐศักดิ์ พรหมมาศ^{2*} และณิชภา มินาบุญ³

Thaweesak Rungsakthawekul¹, Ratthasak Prommas^{2*} and Nichapha Minabhun³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการย่อยผิวนถนนแอสฟัลต์โดยการใช้ไมโครเวฟทำความร้อนเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผิวนถนนแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนจากคลื่น ไมโครเวฟ และศึกษา กำลังงานไมโครเวฟ (วัตต์) รวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ผิวนถนนแอสฟัลต์อ่อนตัว โดยทำการทดลอง เริ่มต้นที่กำลัง 400 500 600 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 5 นาที 10 นาที 15 นาที 20 นาที และ 25 นาที ผลการศึกษา คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟและการศึกษา กำลังวัตต์รวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำให้แอสฟัลต์อ่อนตัวเหมาะกับการ Recycling ผลการศึกษาพบว่า ที่กำลัง 600 วัตต์ เวลา 10 นาที เป็นช่วงที่แอสฟัลต์มีอุณหภูมิสม่ำเสมอเท่ากันทั้งก้อนคืออุณหภูมิ $146.00 \pm 0.70^\circ\text{C}$ เหมาะสมกับการ Recycling มากที่สุด ผลการวิเคราะห์พบว่าใช้พลังงานไฟฟ้า 0.099 kWh และเมื่อนำไปเทียบกับ กำลังวัตต์และเวลาอื่นๆ ที่ไม่ทำให้แอสฟัลต์เสียคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลเปลี่ยนไปคือระหว่าง $120^\circ\text{C} - 160^\circ\text{C}$ จากการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์อบผิวนถนนแอสฟัลต์ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลง ตลอดจนเป็นการรักษาสภาพแวดล้อม และการอนุรักษ์พลังงาน

คำสำคัญ: คลื่นไมโครเวฟ แอสฟัลต์ การนำกลับมาใช้ใหม่

Abstract

This research studied the asphalt recycling process of microwave pre-heating which mainly targeted the physical and mechanical properties of asphalt after microwave pre-heating process, effect of microwave power causes a change in temperature of asphalt and suitable time of microwave pre-heating for turning hard asphalt into soft asphalt. The experiment was studied at the power of magnetron of 400, 500, 600, 700 and 800 Watts

¹ อ., สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจวบคีรีขันธ์ 77110

² อ.ดร., สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

³ อ., สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

¹ Lecturer, Civil Engineering Division, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Prachuabkirikhan, 77110

² Lecturer Dr., Mechanical Engineering Division, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakonpathom, 73170

³ Lecturer, Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakonpathom, 73170

* Corresponding author: E-mail address: ratthasak.pro@mutr.ac.th

and heating time of 5, 10, 20 and 25 minutes. The research results regarding the physical and mechanical properties of asphalt heated by microwave including watt and suitable time for soft asphalt in recycling found that at power 600 Watts, 10 minutes time, the asphalt had a uniform temperature especially at $146.00 \pm 0.70^\circ\text{C}$ and which was most appropriate for recycling. The economic analysis showed that electric energy at 0.099 kWh was deemed as saving energy when compared with the other time and Wattage which did not change asphalt's physical and mechanical properties between 120°C - 160°C . Accordingly, the research result can be applied for the design and creation of an effective drying device for asphalt road surface, as well as reducing energy consumption.

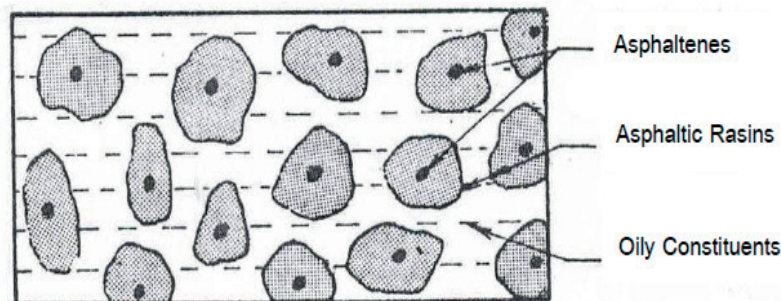
Keywords: Microwave, Asphalt Road, Recycled Process

บทนำ

ถนนเป็นเส้นทางขนส่งทางบกที่สำคัญของประเทศไทยมาเป็นระยะเวลานาน เมื่อพิจารณาตามลักษณะโครงสร้าง สามารถแบ่งถนนได้เป็นประเภทผิวทางคงรูปและประเภทผิวทางยืดหยุ่น ถนนส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีผิวทางประเภทยืดหยุ่นที่ใช้แอสฟัลต์เป็นส่วนผสมและนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทางของถนนมากที่สุด ถนนที่ผ่านการใช้งานมาระยะเวลาหนึ่งมักจะเกิดการเสียหายขึ้นตามอายุการใช้งาน ประกอบกับอาจมีการออกแบบและทำงานอย่างไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ถนนเกิดการชำรุดเสียหาย [1] ปัจจุบันถนนแอสฟัลต์สามารถนำมาย่อยเพื่อการผสมแอสฟัลต์ใหม่ โดยกระบวนการในการย่อยเพื่อรักษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์นั้น จะต้องให้ความร้อนในกระบวนการย่อยที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้คุณสมบัติการเปลี่ยนรูป (Elastic Deformation Property) ลดลง การ Recycling [2] เป็นการนำวัสดุที่ใช้นำมาใช้ใหม่ในปี 1915 Florida Department of Transportation ได้นำวัสดุโครงสร้างทางเก่ากลับมาใช้ใหม่โดยใช้ปูนซีเมนต์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของถนน [3] อายุของผิวจราจรแบบยืดหยุ่นจะอยู่ที่ประมาณ 20 ปี [4] ข้อได้เปรียบของการทำ Pavement Recycling ว่าเป็นการเพิ่มคุณค่าของวัสดุทางเดิม ซึ่งบางพื้นที่วัสดุทางเดิมมีการใช้งานสั้น วัสดุก่อสร้างใหม่มีราคาสูงและมีข้อจำกัดทางธรรมชาติ ดังนั้นการทำ Recycling เป็นการประหยัดพลังงาน อนุรักษ์ระบบนิเวศน์ สิ่งแวดล้อม และอนุรักษ์แหล่งวัสดุธรรมชาติ [5] ถนนที่จะทำ Recycling ควรมีความลึกของชั้นวัสดุที่เหมาะสมต้องพิจารณาการเพิ่มเม็ดหิน เข้าผสมกับวัสดุโครงสร้างทางเดิมว่ามีความเหมาะสมเพียงใด ถนนที่จะทำ Recycling ควรมีความยาวไม่น้อยกว่า 5 กม. จึงมีความประหยัดและคุ้มค่า [6]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการวิจัย การย่อยผิวถนนแอสฟัลต์โดยใช้ไมโครเวฟทำความร้อนเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นแนวทางในการให้ความร้อนกับผิวถนนแอสฟัลต์ในการย่อยและนำกลับมาผสมทำถนนแอสฟัลต์ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟมีลักษณะการทำงานคือให้ความร้อนจากภายในสู่ภายนอก ทำให้เกิดความร้อนในชั้นผิวถนนแอสฟัลต์กระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอและไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป โดยชั้นผิวถนนแอสฟัลต์ที่ให้ความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟนั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าการให้ความร้อนโดยการนำพาความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น จะขึ้นอยู่กับ กำลังวัตต์ คุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric Property) และเวลาที่ใช้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์อบผิวถนนแอสฟัลต์สำหรับการรีไซเคิลได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ทำให้ลดปริมาณการใช้พลังงานและเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ยางแอสฟัลต์ประกอบด้วยของแข็ง 2 อย่างคือ Asphalt Tanes และ Asphaltic Rasins และส่วนที่เป็นน้ำมันเหลว ในการเกาะตัวกัน Asphalt Tanes จะทำหน้าที่คล้าย Nucleus และห่อหุ้มด้วย Asphaltic Rasins ส่วนประกอบ ทั้ง 2 อย่างนี้แขวนลอยอยู่ใน Oily Constituents [7] ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของยางแอสฟัลต์ [7]

สารที่เป็นฉนวนไฟฟ้าหรือ Dielectric Material เช่น ไม้ กระดาษ พลาสติก ถูกนำเข้าไปในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โมเลกุลของสาร Dielectric Material จะหมุนและเคลื่อนที่หลายล้านครั้ง โดยจะเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงของ สนามไฟฟ้า โดยแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งภายใน Dielectric Material จะมี Dipole ของแต่ละโมเลกุลเรียงตัวอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่ง Dipole ในแต่ละโมเลกุลจะประกอบไปด้วยขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อมีสนามไฟฟ้าวิ่งผ่าน Dielectric Material ทำให้ Dipole ในแต่ละโมเลกุลจะเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและสลับขั้วตามการเปลี่ยนแปลง ของคลื่นซึ่งจากการสลับขั้วไปมาอย่างรวดเร็วของ Dipole ทำให้ความเสียดทานเกิดขึ้นกับโมเลกุลตัวอื่น ๆ ทำให้ เกิดพลังงานออกมาในรูปของความร้อนภายใน Dielectric Material [8]

ข้อดีของการทำความร้อนไมโครเวฟ

1. ใช้เวลาน้อย ประหยัดเนื้อที่และแรงงาน ลดจำนวนชิ้นงานที่เสียเนื่องจากอุปกรณ์ทำงานส่วนใหญ่ไม่เคลื่อนที่
2. การทะลุทะลวงของพลังงานไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงเข้าไปกำเนิดพลังงานความร้อนภายในวัสดุ ทำให้มีความร้อนกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนวัสดุกล่าวได้ว่าวิธีการนี้เป็นการให้ความร้อนเชิงปริมาตร ในขณะที่ การให้ความร้อนแบบอื่นจะให้ความร้อนที่ผิววัสดุแล้วส่งถ่ายความร้อนเข้าสู่ภายในโดยกลไกการนำความร้อน ซึ่งหากวัสดุได้รับความร้อนนี้เป็นเวลานานๆ อาจก่อให้เกิดความเสียหายที่ผิวด้านนอกเพราะมีอุณหภูมิสูงเกินไป ในขณะที่ภายในเนื้อวัสดุยังได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยัง ใช้เวลามากเพราะมีข้อจำกัดทางด้านความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นการทำความร้อนด้วยพลังงาน ไมโครเวฟจึงทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า
3. ความสามารถในการเลือกวัตถุที่จะรับความร้อน วัตถุบางอย่างสามารถดูดซับพลังงานจากไมโครเวฟ ได้ทันทีแต่วัสดุบางอย่างไม่มี คุณสมบัติเหล่านี้ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของกระบวนการไมโครเวฟ ยกตัวอย่างเช่น เราสามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในหีบห่อโดยไม่ทำลายหีบห่อนั้น
4. การควบคุมอย่างทันทีทันใดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ในอุปกรณ์ให้ความร้อนแบบเก่า เช่น เตาอบ ต้องใช้เวลามากในการปรับอุณหภูมิ ในขณะที่เตาไมโครเวฟสามารถปรับอุณหภูมิได้ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่ง ใช้เวลาน้อยมาก (ภายในเสี้ยววินาที)

5. มีประสิทธิภาพสูง ในการให้ปริมาณความร้อนที่เท่ากัน วิธีการทางไมโครเวฟใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีแบบเก่ามาก (ประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 60 % - 70 % ในขณะที่วิธีแบบเก่ามีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 10 % - 30 %)

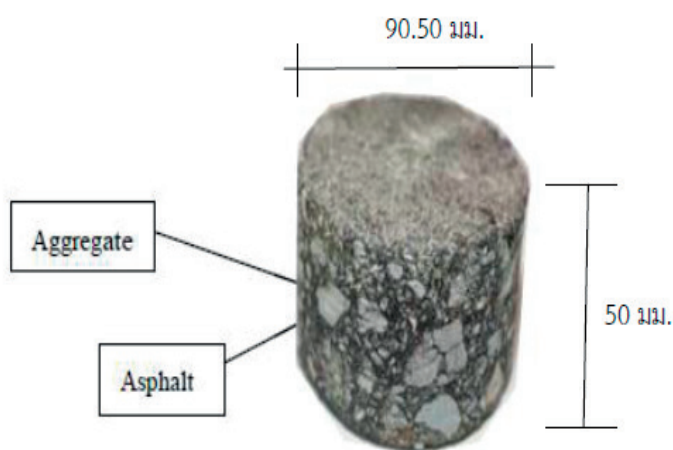
6. ไม่ก่อมลภาวะ กระบวนการทางไมโครเวฟเป็นกระบวนการที่สะอาด ไม่สร้างมลภาวะต่างจากกระบวนการให้ความร้อนวิธีอื่นที่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้

ในปัจจุบันกระบวนการทางไมโครเวฟได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เช่น การอบแห้งอาหาร อบแห้งสิ่งทอ อบแห้งไม้และกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก การทำสเตอร์ไรส์ และอื่น ๆ อีกมากมาย กระบวนการทางไมโครเวฟยังได้ถูกนำไปใช้งานทางการแพทย์ เช่น การคลายเนื้อเยื่อที่แข็งตัว การอุ่นเลือด และกำจัดเนื้องอก นอกจากนี้ไมโครเวฟยังสามารถนำไปใช้ในงานแยกส่วนประกอบที่เป็นสารระเหยจากวัสดุ เช่น การแยกกำมะถันออกจากถ่านหิน โดยการ Pre-Combustion Treatment และการแยกสารสกปรกออกจากดิน เป็นต้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

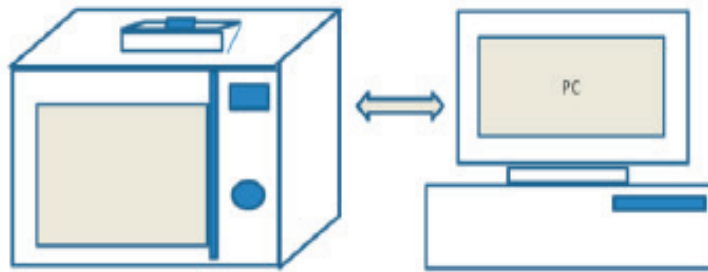
งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยการนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ มาทดลองโดยการใช้อย่างไมโครเวฟย่อยสลายแอสฟัลต์ ทำการขูดเจาะเก็บก้อนตัวอย่างด้วยเครื่องเจาะเก็บก้อนตัวอย่าง (Coring) ของกรมทางหลวง

โดยขนาดก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นแอสฟัลต์ที่ตัดมาจากถนนแอสฟัลต์ทั่วไปที่เกิดการชำรุดเสียหาย โดยก้อนตัวอย่างมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90.50 มม. หนา 50 มม. (โดยทั่วไปความหนาของแอสฟัลต์สูงสุดที่ชั้นทางละ 50 มม.) ผิวทุกด้านของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์เรียบและสม่ำเสมอและมีส่วนผสมระหว่างมวลรวม (Aggregate) ผสมกับตัวเชื่อมประสาน (Binder) ซึ่งทั่วไปจะใช้แอสฟัลต์ (Asphalt) กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดดังแสดงในภาพที่ 2



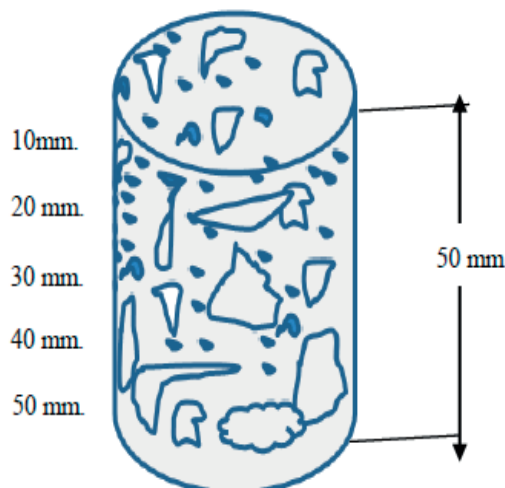
ภาพที่ 2 แท่งแอสฟัลต์ (ชั้นทดสอบ)

ในการทดลอง จะดำเนินการโดยนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ เข้าทดลองโดยการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่กำลัง 800 700 600 500 400 วัตต์ ที่เวลา 5 10 15 20 25 นาที ตามลำดับ เพื่อศึกษากำลังวัตต์ (W) และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ผิวนถนนแอสฟัลต์อ่อนตัว โดยใช้ก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน/กำลังวัตต์ ดังภาพที่ 3 แสดงการติดตั้งการทำความร้อนของไมโครเวฟ



ภาพที่ 3 เตาไมโครเวฟและการบันทึกผลที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่กำลังวัตต์ 800 700 600 500 400 วัตต์ ที่เวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที ตามลำดับ จะมีการวัดค่าต่าง ๆ ทุกระดับความสูงทุก 10 มม.จำนวน 5 ตำแหน่ง นับจากพื้นผิวแอสฟัลต์จนถึงฐาน รวมถึงวัดอุณหภูมิผิวบนและผิวข้างของก้อนตัวอย่างด้วย จากนั้นบันทึกอุณหภูมิทุกกำลังวัตต์ เวลา ที่ทุกระดับความสูง จำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองทุกการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังวัตต์และเวลาต่าง ๆ พร้อมทั้งสังเกตและบันทึกผลการทดลอง เพื่อนำไปศึกษากำลังวัตต์ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ผิวถนนแอสฟัลต์อ่อนตัว ดังภาพที่ 4 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของแท่งแอสฟัลต์



ภาพที่ 4 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของแท่งแอสฟัลต์ (ชิ้นทดสอบ)

จากการขุดเจาะเก็บก้อนตัวอย่างด้วยเครื่องเจาะเก็บก้อนตัวอย่าง (Coring) นำมาทดลองด้วยการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 400 500 600 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที จากนั้นนำผลการศึกษามาทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมด้านคุณสมบัติเชิงกลเพื่อเทียบกับการทำ Recycling ผสมร้อนในขั้นตอนการประเมินวัสดุและทดสอบตามวิธี Marshall โดยทำการทดสอบการหาขนาดการกระจายของเม็ดหินใช้การร้อนตาม ASTM C 117/ AASHTO T 27-70 และ T 37-70 และ การหาจำนวนยางแอสฟัลต์ที่ผสมอยู่ใช้ ASTM

D2172/AASHO T164A การหาโดยวิธีนี้มีความจำเป็นเพราะจะได้ทราบปริมาณที่ต้องการและเกรดของยางแอสฟัลต์ในการออกแบบส่วนผสมเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและสามารถนำไปพัฒนาการใช้งานในงานวิจัยได้ต่อไป

ผลการวิจัย

จากการทดลองครั้งนี้ ได้นำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ มาทดลองโดยใช้ไมโครเวฟในเวลาและกำลังวัตต์ต่าง ๆ กัน ทำการศึกษาตัวอย่างจากถนนที่ชำรุด ทำการทดลองโดยใช้คลื่น ไมโครเวฟทำความร้อนที่เวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที โดยใช้กำลังวัตต์ 400 500 600 700 และ 800 วัตต์ ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

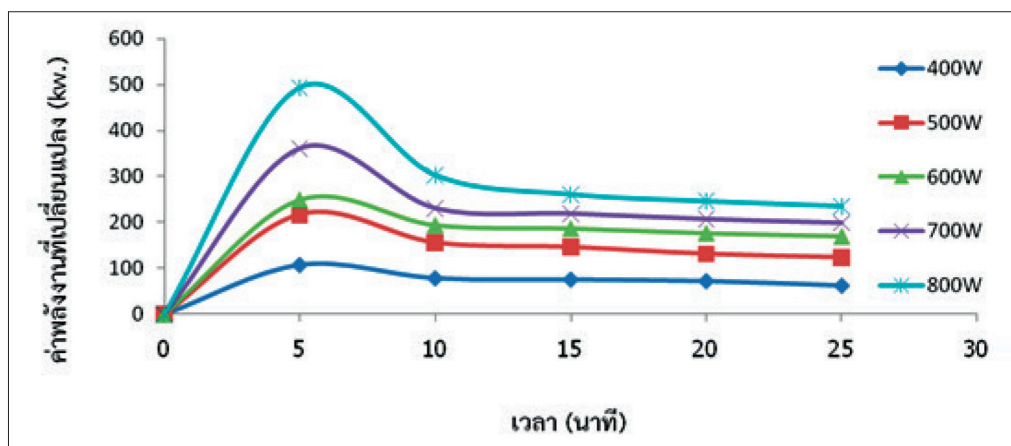
ในการทดลองครั้งนี้เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพของผิวถนนแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนที่เวลาและกำลังวัตต์ต่าง ๆ กัน ทำการวิเคราะห์ทางกายภาพจะพบว่าแอสฟัลต์จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

Asphaltenes มีสีน้ำตาลเกือบดำ มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอย เป็นตัวทำให้เกิดความข้นหนืดในแอสฟัลต์

Resins เป็นของแข็งสีน้ำตาลแก่ เป็นของเหลวเมื่อถูกความร้อนทำหน้าที่ช่วยให้ Asphaltenes กระจายตัวในแอสฟัลต์

Oily Constituents มีลักษณะเป็นน้ำมันเหลวไร้สี

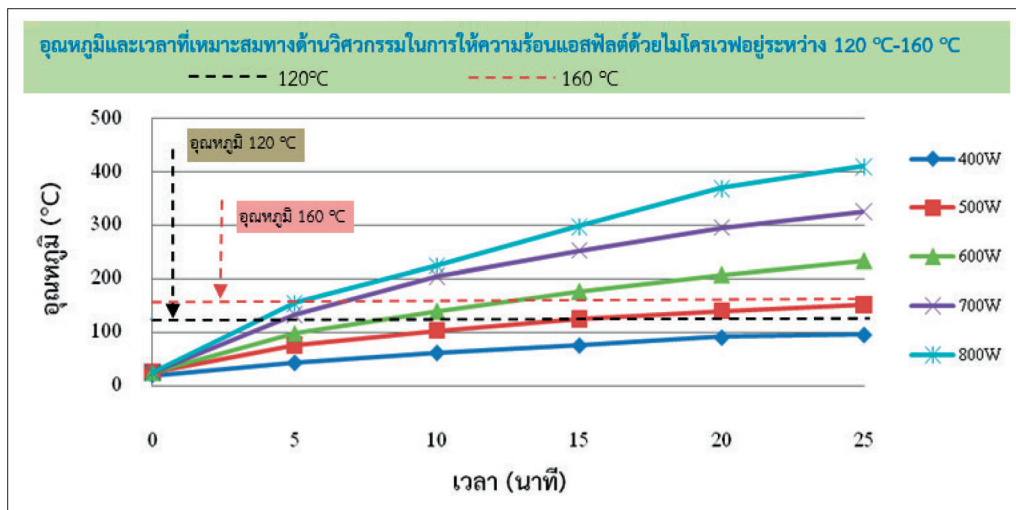
จากการศึกษาค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนกับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่เวลาและกำลังวัตต์ต่าง ๆ โดยที่ความร้อนจำเพาะของแอสฟัลต์ = $220 \text{ cal/gr}^{\circ}\text{C}$ จากสมการคาลอริฟิค (Calorific) ได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 5 ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนกับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่เวลาและกำลังวัตต์ต่าง ๆ

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพลังงาน จากภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนกับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่เวลาและกำลังวัตต์ต่าง ๆ แสดงให้เห็นผลต่างของค่าพลังงานที่ได้จากกระบวนการให้ความร้อนโดยช่วงแรกจะเห็นได้ว่ากราฟมีค่าพลังงานที่ต่างกันคือด้วยกลไกการเกิดความร้อนจากภายในของระบบที่ใช้คลื่นไมโครเวฟพบว่าการถ่ายเทมวลในช่วงต้นจะเกิดขึ้นจากความแตกต่าง

ของความดันรวมที่ทำให้เกิดไออย่างรวดเร็วภายในวัสดุ และทำให้มีค่าพลังงานเพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากอุณหภูมิอยู่ในสภาวะไม่คงตัวทำให้มีค่าพลังงานมาก และจากนั้นเมื่อเวลาเพิ่มและกำลังวัตต์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อุณหภูมิจะเริ่มปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงตัว ค่าพลังงานจะปรับตัวลงสู่สภาวะปกติ คือพอเข้าสู่ท้ายกระบวนการการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟค่าพลังงานจะมีค่าคงที่



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาในการทำความร้อนด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่เวลาและกำลังวัตต์ต่าง ๆ

จากภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ กับเวลาที่ในการทำความร้อนก้อนแอสฟัลต์ด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่เวลาและกำลังวัตต์ต่าง ๆ จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปกำลังวัตต์เพิ่มขึ้นความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามกราฟ มีการกระจายตัวเนื่องจากมีส่วนผสมของมวลรวมที่ต่างกันของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ใช้ในการทดสอบที่กำลังวัตต์และเวลามากขึ้นนั้น จากการทดลองพบว่าบริเวณผิวแอสฟัลต์เริ่มละลาย หากใช้เวลาในการให้ความร้อนด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่กำลังวัตต์สูงสุด 800 วัตต์ ใช้เวลา 25 นาที จะเกิดความร้อนสูงสุดถึง $19.4 \pm 0.014^{\circ}\text{C}$ ทำให้แอสฟัลต์อ่อนตัวจนเสียรูป ซึ่งจากการทดลองพบว่าก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ละลายเป็นของเหลวไม่สามารถวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ได้อีกและไม่สามารถทำการทดลองต่อไปอีกได้

การทำความร้อนด้วยคลื่น ไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ เวลา 3 นาที อุณหภูมิ $123.00 \pm 4.32^{\circ}\text{C}$ นั้น เป็นช่วงที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดและอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแอสฟัลต์เปลี่ยนไป คืออยู่ระหว่าง $120^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$ และที่กำลัง 600 วัตต์ใช้เวลา 10 นาที อุณหภูมิ $146.00 \pm 0.70^{\circ}\text{C}$ เป็นช่วงที่แอสฟัลต์มีอุณหภูมิเท่ากับทั้งก้อนตัวอย่างเหมาะสมที่สุดในการทำ Recycling ถนนแอสฟัลต์ เพราะเป็นการประหยัดพลังงานและไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลเปลี่ยนไป ส่วนที่กำลัง 400 วัตต์ เวลา 5 - 25 นาที นั้นสามารถสามารถทำ Recycling ถนนแอสฟัลต์ได้ เมื่อเทียบแล้วเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาด้านกายภาพความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, เวลา และกำลังวัตต์ที่เหมาะสมในการทำผิวถนนแอสฟัลต์ร้อนตัว พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปกำลังวัตต์เพิ่มขึ้นความร้อนจะเพิ่มขึ้น กราฟจะมีการกระจายตัวเนื่องจากมีส่วนผสมของมวลรวมที่ต่างกัน พบว่าระหว่างอุณหภูมิ 120°C - 160°C มีกำลังวัตต์และเวลาที่เหมาะสมในการรักษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ เช่น 500 วัตต์ เวลาตั้งแต่ 14 - 25 นาที กำลัง 600 วัตต์ เวลาตั้งแต่ 8 - 13 นาที กำลัง 700 วัตต์ เวลาตั้งแต่ 4 - 7 นาที และกำลัง 800 วัตต์ เวลาตั้งแต่ 3 - 6 นาที จากการทดลองพบว่าที่กำลัง 600 วัตต์ เวลา 10 นาที นั้น ก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากันทั้งก้อนโดยอุณหภูมิพื้นผิวบนสุด พื้นผิวภายนอก และภายในก้อนเท่ากันคือ $146.00 \pm 0.70^{\circ}\text{C}$ ถือว่าเหมาะกับการ Recycling มากที่สุดเนื่องจากก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิมั่วเสมอเท่ากันทั้งก้อน

ข้อเสนอแนะ

การทดสอบนี้ เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ในสนามอาจจะไม่ได้ผลอย่างที่คิด เนื่องจากเป็นการ Recycling โดยการนำวัสดุที่ใช้แล้วมาทำกรรมวิธีเพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้อีก ในการศึกษาวิจัยนั้นยังอยู่ในขั้นตอนของ Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) คือสิ่งที่เราได้จากการศึกษานี้ในมาตรฐานกรมทางหลวงเรียกว่า RAP คือ วัสดุผิวจราจรที่ได้นำออกไปหรือที่ได้ผ่านกรรมวิธีแล้ว ซึ่งประกอบด้วยแอสฟัลต์และหิน และถือว่าการวิจัยที่ทำการศึกษานี้อยู่ในช่วงการประเมินวัสดุ คือมีการหาขนาดการกระจายของหิน ปริมาณยางและความหนืดของยางที่สกัดออกจากผิวจราจรที่ใช้แล้ว โดยขั้นตอนการประเมินวัสดุนี้นี้ถือว่ามีความจำเป็นมากเพราะจะได้ทราบปริมาณที่ต้องการและเกรดของยางแอสฟัลต์ในการออกแบบส่วนผสมต่อไป ฉะนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิจัยในเพื่อใช้สำหรับเป็นฐานข้อมูลด้านการทำความร้อนผิวถนนแอสฟัลต์ด้วยไมโครเวฟในกระบวนการต่อไปอีก คือการออกแบบ Recycling ผสมร้อน ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 410/2542 (Standard No. DH-S 410/2542)

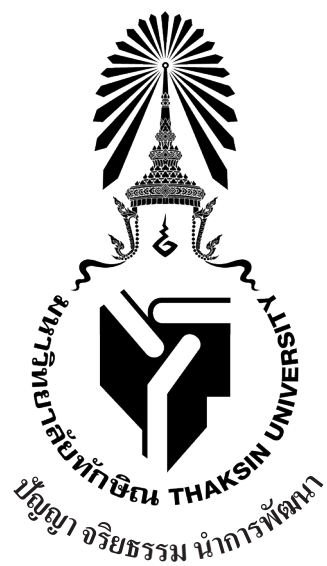
กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Saipong, A. (2007). "Performance of Highway Embankments on Bangkok Clay", **The 2nd Seminar on Highway Engineering**. Bangkok. 409-427.
- [2] Henrikas, S. Justas, B. and Olegas, P. (2017). "Technologies and Principles of Hot Recycling and Investigation of Preheated Reclaimed Asphalt Pavement Batching Process in an Asphalt Mixing Plant", **Applied Sciences**. 7(11), 2-20.
- [3] Rammanujam, J.M. (1995). "Performance Monitoring of Thin Lift (Cement/Bitumen) and Deep Lift (Cement/Fly Ash, Cement/Slag) Pavement Recycling Project", **Pavement Rehabilitation Workshop**. Queensland. 12, 1-20.

- [4] Reeves, I.N. (1995). “Innovation Impacting Pavement Recycling Options”, **Pavement Rehabilitation Workshop**. Queensland. 38, 1-11.
- [5] Black, D.J. (1995). “Towards A Specification for Deep Lift in Situ Pavement Stabilization”, **Road & Traffic Authority**. 10, 1-4.
- [6] Walton, J.E. (1995). “Cold In Place Recycling Results and Procedures Most Often Ask Questions and Answer”, **Pavement Rehabilitation Workshop**. Queensland. 26, 1-15.
- [7] Narong, K. (2000). **Asphalt Technology**. SE-EDUCATION Public Company Limited, Bangkok.
- [8] Ratthasak, P. (2008). “Energy and Exergy Analysis in Drying Process of Porous Media Using Hot Air”, **International Communications in Heat and Mass Transfer**. 37, 372-378.
- [9] Vongpradubchai, S. and Rattanadecho, P. (2009), “The Microwave Processing of Wood using a Continuous Microwave Belt Drier”, **Chemical Engineering and Processing**. 33, 472-481.
- [10] Rattanadecho, P., Aoki, K. and Akahori, M. (2002). “The Characteristics of Microwave Melting of Frozen Packed Bed Using a Rectangular Waveguide”, **IEEE Transaction of Microwave Theory and Techniques**. 50, 1495-1502.



สหสัมพันธ์ใหม่สำหรับการทำนายค่าความดันลดขณะควบแน่น ของสารทำความเย็น R134a ภายในท่อแบน

New Applicable Correlations to Predict Pressure Drop of R134a for the Flattened Tubes

รอนี บิลมุด¹ อมาวสี รุกเรือง² สมชาย วงศ์วิเศษ³ และจตุพร แก้วอ่อน^{4*}

Ronee Bilmud¹, Amawasee Rukruang², Somchai Wongwiset³ and Jatuporn Kaew-On^{4*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอสหสัมพันธ์ใหม่ที่ใช้ในการทำนายค่าความดันลดขณะควบแน่นของสารทำความเย็น R134a ภายในท่อแบน ที่อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงต่างกัน 3 ขนาดคือ 0.72 (FT1) 3.49 (FT2) และ 7.06 (FT3) เปรียบเทียบกับท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.55 มิลลิเมตร ที่ฟลักซ์มวล 200 ถึง 800 kg/m²s ฟลักซ์ความร้อนที่ 10 - 40 kw/m² ความดันอิ่มตัวที่ 8 10 และ 12 bar คุณภาพไอที่ 0.2 ถึง 0.8 ผลจากการศึกษาทดลองพบว่าค่าความดันลดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อฟลักซ์มวล ฟลักซ์ความร้อนและค่าคุณภาพไอเพิ่มขึ้น และที่ความดันอิ่มตัวที่ 8 10 และ 12 bar ค่าความดันลดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตามลำดับ ค่าความดันลดของท่อแบนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากที่ฟลักซ์มวลสูง เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับสหสัมพันธ์ที่มีผู้ศึกษามาแล้วพบว่า สมการดังกล่าวไม่สามารถใช้ทำนายค่าความดันลดของท่อแบนได้ ดังนั้นสหสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ทำนายค่าความดันลดของข้อมูลจำนวน 80 % โดยให้ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 30 %

คำสำคัญ: การควบแน่น ความดันลด สารทำความเย็น R134a ท่อแบน

Abstract

The objective of this study that proposed new correlations to predict pressure drop during condensation of R134a for the flattened tubes. The flattened tubes are made from 3.55 mm inner diameter of round tubes. The tested tube configurations are as follows: circular tube with 3.55 mm inner diameter; flattened tube with aspect

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ ศ.ดร., ประจำห้องปฏิบัติการ Fluid Mechanics, Thermal Engineering and Multiphase Flow Research Laboratory (FUTURE), ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

⁴ ผศ.ดร., ประจำห้องปฏิบัติการ Thermal-Fluids Lab หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Graduate Student, Mater Degree, Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung, 93210

² Graduate Student, Mater Degree, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University Phattalung, 93210

³ Prof. Dr. of Fluid Mechanics, Thermal Engineering and Multiphase Flow Research Lab. (FUTURE) Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok, 10140

⁴ Asst. Prof. Dr., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phattalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 0848571176. E-mail address: ronee.bi@gmail.com, kaew_on@yahoo.com

0.72 (FT1); 3.49 (FT2); and 7.06 (FT3) aspect ratio respectively. The experimental range covers mass flux of 200-800 kg/m²s, heat flux 10 - 40 kW/m², saturation pressure 8, 10 and 12 bar, and vapor quality 0.1 - 0.8. The results showed that condensation pressure drop increased with the increase of mass flux, heat flux and vapor quality in the other hand; pressure drop decreased that have significantly affected by saturation pressure 8, 10, and 12 respectively. The existing correlations are not successful for the prediction condensation pressure drop of flattened tubes. A proposed correlation can be used to predict pressure drop as 80 % of the experimental data within ± 30 %.

Keywords: Condensation, Pressure Drop, Refrigerant, R134a , Flattened Tubes

บทนำ

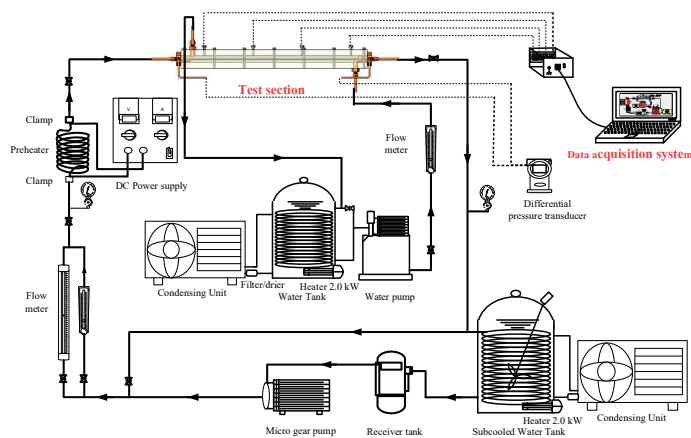
การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดี สามารถนำไปสู่ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในระบบเครื่องปรับอากาศเครื่องทำความเย็นตลอดจนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้ในหลายๆ วิธี ท่อแบนได้รับความสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำมาใช้แทนท่อกลมในส่วนประกอบหลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะท่อแบนจะมีลักษณะเด่นอยู่สองอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับท่อกลมคือ การมีพื้นที่ผิวการสัมผัสในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Surface Heat Transfer Contact Area) มากขึ้น และการสัมผัสระหว่างสารทำงานและผิวภายในท่อมีมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการนำท่อที่มีลักษณะแบนมาใช้ก็มีข้อเสียเหมือนกันนั่นคือความดันตกที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นด้วยดังนั้นในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น นอกจากความสำคัญของประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความดันตกที่เกิดขึ้นด้วย เพราะนั่นหมายถึงการใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิต

จากการศึกษางานในอดีต พบว่าในปี 2009 ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกแบบประหลาดระหว่างการไหลสองสถานะของไพรเฟน ของท่อขนาดเล็กแบบราบเรียบในแนวราบของท่อสแตนเลส ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเป็น 1.5 mm และ 3.0 mm และความยาวเป็น 1,000 mm และ 2,000 mm ที่ฟลักซ์ความร้อน 5 - 10 kW/m² และ ฟลักซ์มวลที่ 50 - 400 kg/m²s อุณหภูมิอิ่มตัว 10.5 และ 0 องศาเซลเซียส และมีคุณภาพไอ 1.0 จากการศึกษาครั้งนี้ได้มีการสร้างสหสัมพันธ์ขึ้นมาใหม่สำหรับการทำนายค่าจากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องทางขนาดเล็ก [1] การศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันตกจากสารทำความเย็น ในท่อแบน ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลม 5.0 มิลลิเมตร ที่ทำให้เปลี่ยนรูปที่อัตราส่วนที่แตกต่างกันสามขนาดที่ 2 4 และ 6 ความสูงภายในของท่อแบนเป็น 3.1 mm 1.7 mm และ 1.2 mm ตามลำดับ ที่อุณหภูมิอิ่มตัว 45 องศาเซลเซียส ฟลักซ์ความร้อน 10 kW/m² ฟลักซ์มวล 100 - 400 kg/m²s และคุณภาพของไอ 0.2 - 0.8 ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนอัตราส่วนของท่อกลม ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีการเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถ้ามองถึงความเป็นจริง ค่าความดันตกเพิ่มขึ้นเสมอเมื่ออัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของท่อมีการเพิ่มขึ้น สมการการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม สหสัมพันธ์ที่ใช้ไม่สามารถที่จะทำนายข้อมูลการถ่ายเทความร้อนของท่อแบนได้ [2] และจากการศึกษาในอดีตพบอีกว่าสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการหาค่าความดันตกมีการนำเสนอในหลายๆ สมการ ไม่ว่าจะเป็นของ Chisholm, D. [3] Friedel, L. [4] Lockhart, R.W. and Martinelli, R.C. [5] Mishima, K. and Hibiki, T. [6] Zhang, M. and Webb, R.L. [7] จากการทบทวนงานในอดีตที่ผ่านมาพบว่า ค่าสหสัมพันธ์ที่ใช้หาค่าความดันตกส่วนใหญ่เป็นท่อกลม ซึ่งส่วนของท่อแบนยังมีอยู่น้อย

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงค่าความดันลดที่เกิดขึ้นภายในท่อแบบขณะเกิดการควบแน่นของสารทำความเย็นชนิด R134a ซึ่งเป็นสารทำความเย็นชนิดที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศในปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลภายในท่อแบบ และศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับทอกลม จากนั้นก็นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ที่มีอยู่ซึ่งได้จากการทบทวนงานในอดีต สุดท้ายของงานวิจัยนี้ก็จะเป็นการนำเสนอสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายค่าความดันลด ซึ่งสหสัมพันธ์ที่ได้นี้ก็จะได้ถูกนำมาใช้ได้จริงในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ท่อแบบ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนในท่อแบบจะดำเนินการทดสอบโดยกระบวนการควบแน่น ที่มีของไหลเป็นสารทำความเย็น R134a และน้ำเป็นสารหล่อเย็น ซึ่งจะดำเนินการทดลองในรูปแบบการไหลสองสถานะ โดยควบคุมอุณหภูมิอมิตัวที่ 40 ถึง 50 °C ฟลักซ์ความร้อน 10 ถึง 40 kW/m² ฟลักซ์มวล 200 ถึง 800 kg/m²s และค่าคุณภาพไอน้ำ 0.2 ถึง 0.8 ในชุดการทดลองที่แสดงดังภาพที่ 1 ส่วนประกอบหลักของระบบมี 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนของชุดทดสอบทดสอบ ส่วนของการทำความเย็น ส่วนของการทำความร้อน ส่วนของการระบายความร้อน และส่วนชุดของการเก็บข้อมูล

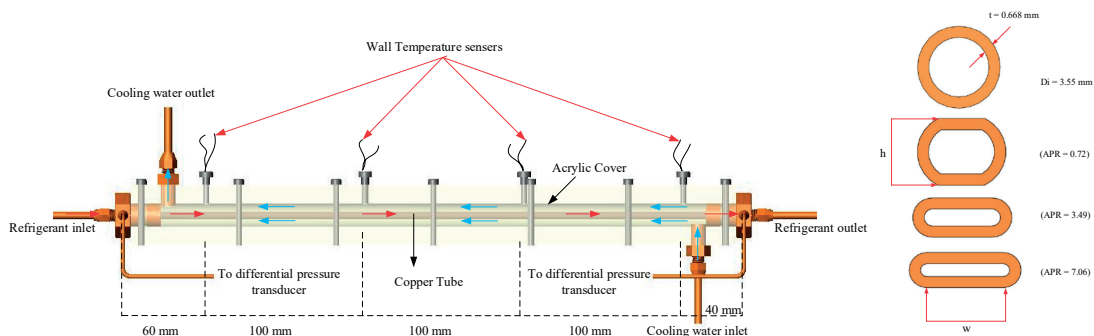


Experimental conditions

Working fluid	R134a
Water temperature	40 - 50 (°C)
Circular Copper (mm)	3.55
Fate tube No.1	APR = 0.72
Fate tube No.2	APR = 3.49
Fate tube No.3	APR = 7.06
Heat flux	10 - 40 (kW/m ²)
Mass flux	200 - 800 (kg/m ² s)
Vapor quality	0.1 - 0.8



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลองและเงื่อนไขการทดลอง



ภาพที่ 2 แผนภาพชุดทดสอบและขนาดท่อทดสอบ

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระบวนการไหลเวียนของสารทำความเย็น แสดงภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากใช้เกียร์ปั๊มสูบล้างสารทำความเย็นในสถานะของเหลวจากถังเก็บเข้าสู่ส่วนทดสอบ โดยที่อัตราการไหลของสารจะถูกควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) อุณหภูมิของสารทำความเย็นด้วยวิธีการรับความร้อนโดยตรง (Direct Heating Method) โดยใช้ DC Power Supply ขนาด 15 โวลต์ (V) 120 แอมแปร์ (A) เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ควบคุมค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกในช่วง 0.2 - 0.8 สารทำงานที่ออกจากช่วงการทดสอบจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงใช้ชุดระบายความร้อน (Cooling Loop) ในการปรับอุณหภูมิของสารทำงานให้กลับมาสู่ค่าเดิม และเมื่อสารทำงานมีอุณหภูมิเท่ากับเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้จะถูกส่งไปเก็บที่ถังเก็บ และเริ่มใช้เป็นสารทำงานต่อไป ใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติเก็บค่าที่ตำแหน่งต่างๆ บนชุดทดสอบ (Test Section) โดยมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (Type T) และ Pressure Transducer เพื่อวัดค่าจากการทดลอง

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

ความดันลดของการไหลสองสถานะ

การวิเคราะห์ความดันลดของการไหลสองสถานะก็มีพื้นฐานจากการไหลของสถานะเดียว โดยใช้สมการพื้นฐาน คือ สมการอนุรักษ์มวล สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน ค่าความดันลดรวมทั้งหมดของระบบสามารถหาได้จากสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความดันลดเนื่องจากความเร่งของของไหล ความดันลดทางเข้า ความดันลดทางออกจากการสมการ

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{fric}} + \Delta P_a + \Delta P_{\text{inlet}} + \Delta P_{\text{outlet}} \quad (1)$$

เมื่อ ΔP_{total} คือ ความดันลดรวมทั้งหมดระบบ ΔP_{fric} คือ ความดันลดเนื่องจากแรงเสียดทานจากความขรุขระของท่อ ΔP_a คือ ความดันลดเนื่องจากแรงเสียดทานจากความเร่ง ΔP_{inlet} คือ ความดันเนื่องจากแรงเสียดทานทางเข้า ΔP_{outlet} คือ ความดันลดเนื่องจากแรงเสียดทานทางออกโดยที่ความดันลดเนื่องจากแรงเสียดทานจากความขรุขระของท่อ ΔP_{fric} จะหาได้จาก

$$\Delta P_{\text{fric}} = \Delta P_L \phi_L^2 \quad (2)$$

เมื่อ ΔP_L คือ ความดันลดที่ได้จากการคำนวณของสถานะของเหลว ϕ_L^2 คือ Two-phase multiplier โดยที่ความดันลดที่ได้จากการคำนวณของสถานะของเหลว

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D_h} \frac{G^2}{2\rho} \quad (3)$$

เมื่อ f คือ สัมประสิทธิ์เสียดทานที่เกิดจากการไหล G คือ ฟลักซ์มวล L คือ ความยาวของชุดทดสอบ D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ρ คือ ความหนาแน่น โดยที่ Two-phase Multiplier จะหาได้จากสมการ

$$\phi_L^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2} \quad (4)$$

โดยที่ X คือ Martinelli Parameter ซึ่งจะหาได้จากสมการ

$$X^2 = \left(\frac{dp}{dz} \right)_L / \left(\frac{dp}{dz} \right)_G \quad (5)$$

ผลการวิจัย

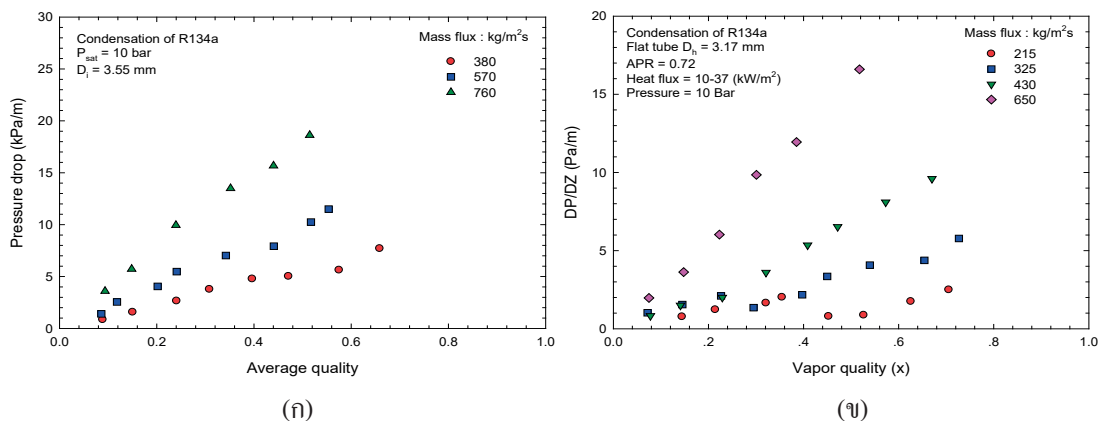
ผลการทดลองของค่าความดันลด

จากภาพที่ 4(ก) และ 4(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดต่อค่าคุณภาพไอน้ำที่ฟลักซ์มวลต่างกัน ซึ่งภาพที่ 4(ก) เปรียบเทียบจากท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.55 mm ฟลักซ์มวลต่างกัน 380 570 และ 760 kg/m²s และภาพที่ 4(ข) เปรียบเทียบจากท่อแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก 3.17 mm ฟลักซ์มวลต่างกัน 215 325 430 และ 650 kg/m²s จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ทั้งสอง แสดงให้เห็นว่าค่าความดันลดมีค่าเพิ่มตามค่าคุณภาพไอน้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อฟลักซ์มวลมีค่าเพิ่มขึ้นค่าความดันลดก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

จากภาพที่ 5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดต่อค่าฟลักซ์มวลที่ฟลักซ์ความร้อนต่างกัน ที่ความดัน 10 bar โดยจะเห็นได้ว่าที่ฟลักซ์มวลต่ำๆ 350 ถึง 390 ค่าความดันลดจะมีค่าใกล้เคียงกัน ที่ค่าของฟลักซ์ความร้อนต่างกันแต่ที่ฟลักซ์มวลสูงๆ 750 ถึง 790 ค่าความดันลดจะมีค่าสูงขึ้นที่ฟลักซ์ความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ของฟลักซ์ความร้อนต่อค่าความดันลดสรุปได้ว่า ค่าความดันลดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อฟลักซ์มวลและฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูง และจากภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดต่อค่าคุณภาพไอน้ำ ที่ความดันต่างกัน 8 10 และ 12 bar ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความดันลดจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าคุณภาพไอน้ำเพิ่มขึ้นและที่ความดันต่างกัน 8 10 และ 12 bar จะเห็นได้ว่าค่าความดันลดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ความดัน 12 bar มีค่าความดันลดน้อยสุด และที่ความดัน 8 bar มีค่าความดันลดมากที่สุด จากภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดกับค่าคุณภาพไอน้ำที่อัตราส่วนของท่อต่างกัน ที่ท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.55 mm ท่อแบน 3 ขนาดที่อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงที่ 0.72 3.49 และ 7.06 ที่ความดันอิ่มตัว 10 bar ฟลักซ์ความร้อนอยู่ที่ 370 - 440 และ 590 - 750 kg/m²s ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความดันลดของท่อแต่ละท่อนั้นเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งขนาดของท่อนั้นไม่ได้ส่งผลต่อค่าความดันลดมากนักแต่ตัวที่ส่งผลต่อค่าความดันลดคือค่าฟลักซ์มวล

จากภาพที่ 8(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและค่าคุณภาพไอน้ำที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ของท่อกลม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.55 mm ฟลักซ์ความร้อนอยู่ที่ 10 - 40 kW/m² ฟลักซ์มวล 380 390 และ 560 kg/m²s และได้นำสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Lockhart-Martinelli

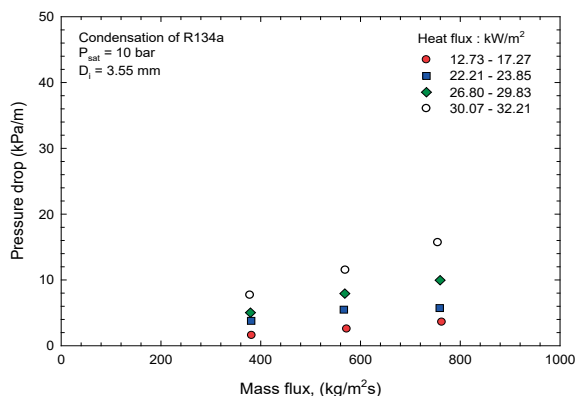
[5] Friedel [4] Mishima and Hibiki [6] Zhang and Webb [7] และ Müller [8] มาเปรียบเทียบ ซึ่งเห็นได้ว่าค่าความดันลดที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าความดันลดที่ได้จากสหสัมพันธ์ ซึ่งจากกราฟเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าความดันลดจากการทดลองมีค่าสูงกว่าค่าความดันลดจากสหสัมพันธ์ ซึ่งสรุปได้ว่า ในท่อที่มีขนาดเล็กมากและท่อแบนนั้น ค่าความดันลดมีค่าสูง สหสัมพันธ์ที่นำมาใช้ไม่สามารถทำนายค่าความดันลดของท่อกลมขนาดเล็กและท่อแบนได้ เนื่องจากท่อที่ใช้ในชุดทดลองนี้มีขนาดเล็กมาก และมีความแบนที่แตกต่างกัน อีกทั้งสหสัมพันธ์ที่ใช้มีความเก่าแก่



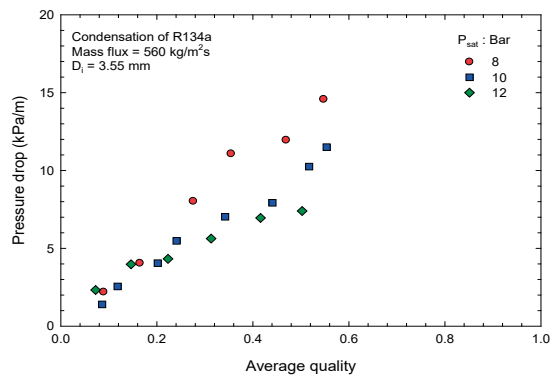
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดกับค่าคุณภาพไอที่ฟลักซ์มวลต่างกัน

(ก) ท่อกลม ฟลักซ์มวล 380 570 และ 760 kg/m²s และ (ข) ท่อแบน ฟลักซ์มวล 215 325 430 และ 650 kg/m²s

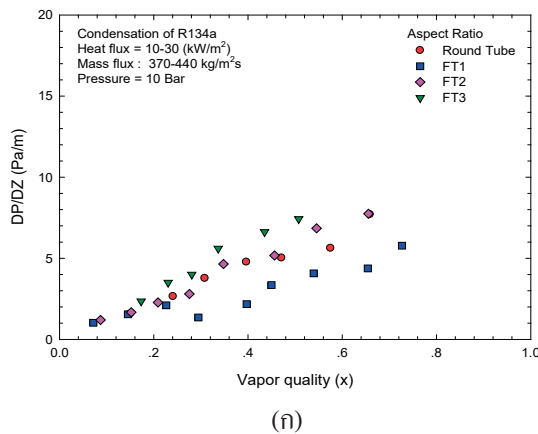
ภาพที่ 8(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและค่าคุณภาพไอที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ของท่อแบน $D_h = 3.17$ mm (FT1) ที่ฟลักซ์มวลต่างกัน 215 325 430 และ 650 kg/m²s และได้นำสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Lockhart-Martinelli [5] Chisholm [3] Friedel [4] Mishima and Hibiki [6] Wang *et al.* [9] Tran *et al.* [10] Zhang and Webb [7] และ Wilson *et al.* [11] มาเปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่าเมื่อฟลักซ์มวลมีค่าสูงขึ้น ผลของค่าความดันลดที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่าของสหสัมพันธ์ที่นำเสนออย่างชัดเจน แต่ที่ฟลักซ์มวลน้อยๆ นั้น ค่าความดันลดจากการทดลองมีค่าไปในทางเดียวกันกับสหสัมพันธ์



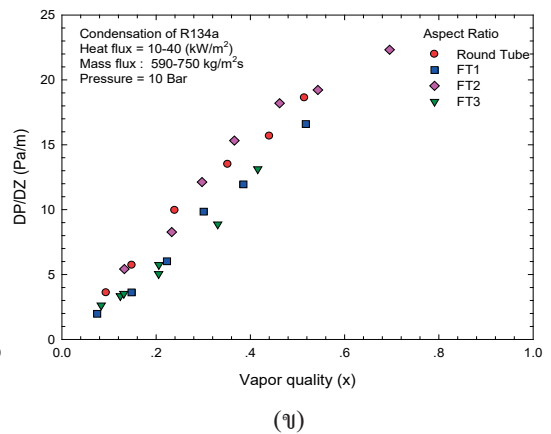
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดต่อค่าฟลักซ์มวลที่ฟลักซ์ความร้อนต่างกัน



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดกับค่าคุณภาพไอที่ความดันต่างกัน

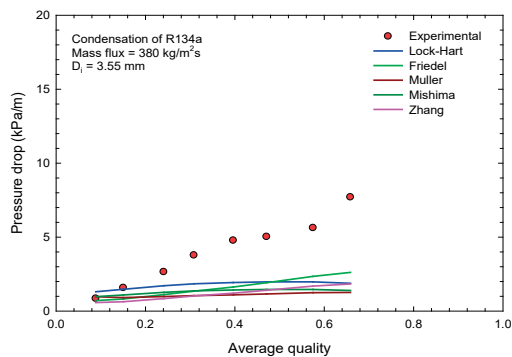


(ก)

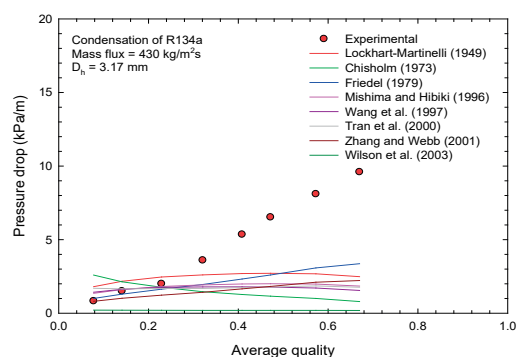


(ข)

ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดกับค่าคุณภาพไอที่อัตราส่วนของท่อต่างกัน
เมื่อฟลักซ์ความร้อน (ก) 370 - 440 kg/m²s (ข) 590 - 750 kg/m²s



(ก)

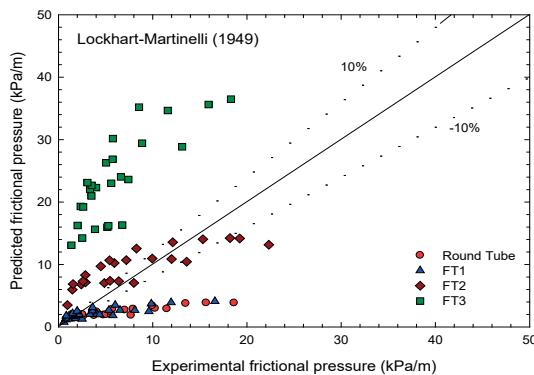


(ข)

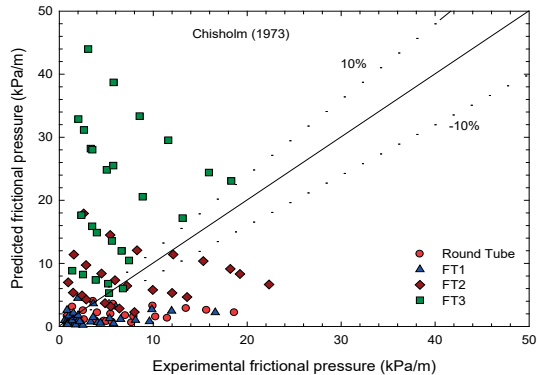
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดจากการทดลองเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์

จากภาพที่ 9(ก) 9(ข) 9(ค) 9(ง) และ 9(จ) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความดันที่ได้จากการทดลองเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Lockhart-Martinelli [5] Chisholm [3] Friedel [4] Wang *et al.* [9] และ Wilson *et al.* [11] ตามลำดับ เห็นได้อย่างชัดเจน ว่าสหสัมพันธ์ในอดีตนั้นไม่สามารถใช้ทำนายค่าความดันลดของชุดทดสอบนี้ได้

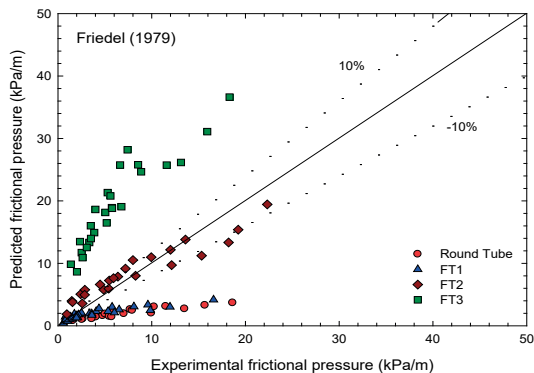
จากภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Two-phase Friction Multiplier กับ Martinelli พารามิเตอร์ของท่อกลมและท่อแบนทั้ง 3 ขนาด กราฟเส้นคือ ค่าคงที่ของ Chisholm [3] 5 10 20 ซึ่งค่าคงที่จะแตกต่างกันจาก 5 ถึง 20 ขึ้นอยู่กับสภาพการไหลของไอและของเหลว ซึ่งที่ $C = 5$ จะเป็นการไหลสองสถานะแบบราบเรียบที่ $C = 10$ จะเป็นการไหลของไอและของเหลวทั้งแบบราบเรียบและปั่นป่วน และที่ $C = 20$ จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วนของไอและของเหลว โดยจะเห็นได้ว่าค่า Two-phase Friction Multiplier มีค่าสูงที่ท่อกลมและที่แบน (FT1) และท่อแบน (FT3) มีค่า Two-phase Friction Multiplier น้อยที่สุด



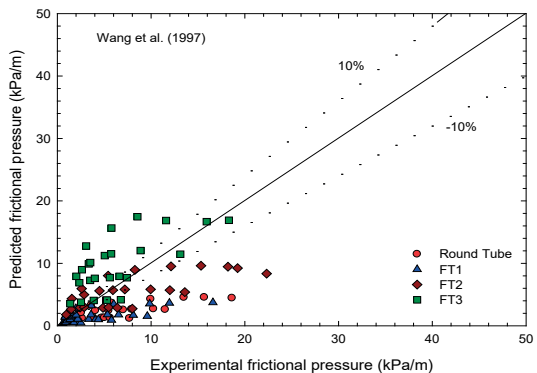
(ก)



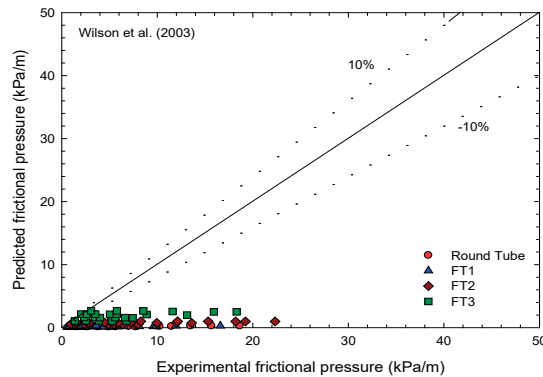
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดจากการทดลองเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์

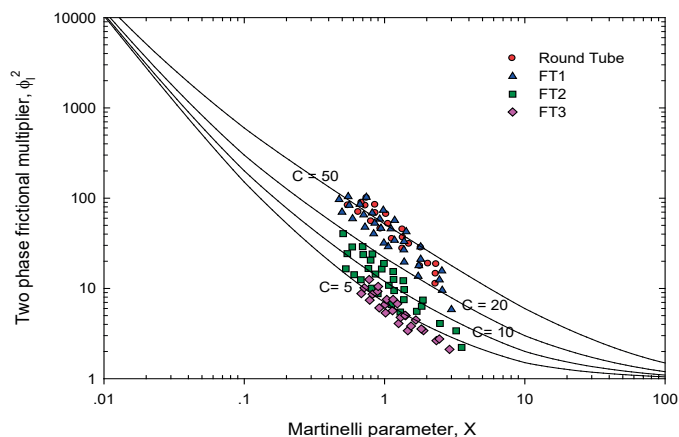
(ก) Lockhart-Martinelli [5] (ข) Chisholm [3] (ค) Friedel [4] (ง) Wang *et al.* [9] และ (จ) Wilson *et al.* [11]

จากภาพที่ 10 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าคงที่ C ไม่สามารถใช้ได้กับการหาค่าของ C ในการทดลองนี้ เพราะอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับ Martinelli Parameter เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความสัมพันธ์ของ เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ และ อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของท่อด้วย ดังนั้นจึงได้นำเสนอความสัมพันธ์ของค่า C ขึ้นมาใหม่ดังนี้

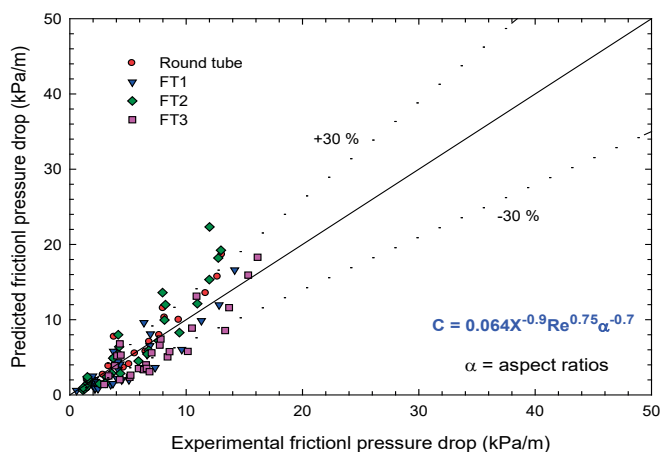
$$C = 0.064X^{-0.9}Re^{0.75}\alpha^{-0.7}$$

เมื่อ X คือ Martinelli Parameter Re คือ เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ และ α คืออัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของท่อทดสอบ

จากภาพที่ 11 แสดงค่าความดันลดที่ให้ความสัมพันธ์ ของค่า C ที่นำเสนอกับค่าความดันลดที่ได้จากการทดลอง เห็นได้ว่าประมาณ 80 % ของชุดข้อมูล อยู่ในส่วนเบี่ยงเบน ± 30 %



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Two-phase Frictional Multiplier กับ Martinelli Parameter



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดจากการทำนายกับจากการทดลองของสมการที่นำเสนอ

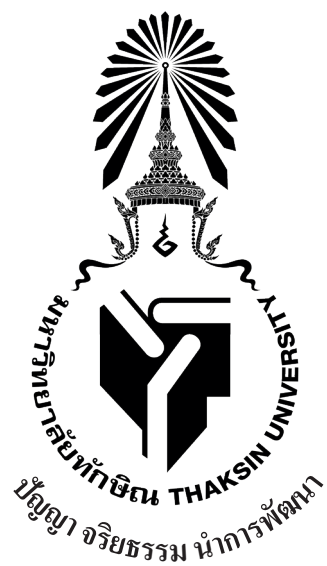
การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยนี้ค่าความดันลดมีการเพิ่มขึ้นเมื่อฟลักซ์มวล ฟลักซ์ความร้อนและค่าคุณภาพไอเพิ่มขึ้น และที่ความดันอิ่มตัวที่ 8 10 12 bar ค่าความดันลดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตามลำดับค่าความดันลดของท่อแบน มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากที่ฟลักซ์มวลสูง จากการทดลองเมื่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูง จะมีค่าความดันลดสูงด้วย ซึ่งในระบบค่าความดันลดควรมีค่าน้อยเนื่องจากความดันลดมีผลต่อการใช้พลังงานในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นในการทดลองนี้ได้นำเสนอสหสัมพันธ์ใหม่ที่ใช้ในการทำนายค่าความดันลดสำหรับท่อขนาดเล็กมากและท่อแบน ซึ่งท่อแบนที่ใช้จะต้องไม่แบนมากจนเกินไปเพราะมีผลต่อความดันลดในระบบ และค่าฟลักซ์มวลไม่ควรต่ำกว่า 200 และมากกว่า 500 $\text{kg/m}^2\text{s}$ ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีและมีความดันลดไม่สูงนัก อีกทั้งยังได้สหสัมพันธ์ใหม่ที่สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kwang-II, C., Pamitran, A.S., Ohb, J.T. and Saitoc, K. (2009). "Pressure Drop and Heat Transfer during Two-phase Flow Vaporization of Propane in Horizontal Smooth Mini Channels", **International Journal of Refrigeration**. 32, 837–845.
- [2] Kim, N.H., Lee, E.J. and Byun, H.W. (2013). "Condensation Heat Transfer and Pressure Drop in Flattened Smooth Tube Shaving Different Aspect Ratios", **International Journal of Experimental Thermal and Fluid Science**. 46, 245–253.
- [3] Chisholm, D. (1973). "Pressure Gradients Due to Friction during the Flow of Evaporating Two-phase Mixtures in Smooth Tubes and Channels", **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 16, 347–358.
- [4] Friedel, L. (1979). "Improved Frictional Pressure Drop Correlation for Horizontal and Vertical Two-phase Flow", **Proceedings European Two Phase Flow Group Meeting**. 18(7), 485–491.

- [5] Lockhart, R.W. and Martinelli, R.C. (1949). “Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-phase, Two-Component Flow in Pipes”, **Chemical Engineering Progress**. 45, 39–48.
- [6] Mishima, K. and Hibiki, T. (1996). “Some Characteristics of Air–water Two-phase Flow in Small Diameter Tube”, **International Journal of Multiphase Flow**. 22, 703–712.
- [7] Zhang, M. and Webb, R.L. (2001). “Correlation of Two-phase Friction for Refrigerants in Small Diameter Tubes”, **Experimental Thermal and Fluid Science**. 25, 131–139.
- [8] Müller-Steinhagen, H. and Heck, K. (1986). “A Simple Friction Pressure Drop Correlation for Two-phase Flow in Pipes”, **Chemical Engineering and Processing**. 20, 297–308.
- [9] Wang, W.W., Radcliff, T.D. and Christensen, R.N. (2002). “A Condensation Heat Transfer Correlation for Millimetre-scale Tubing with Flow Regime Transition”, **Experimental Thermal and Fluid Science**. 26, 473–485.
- [10] Tran, T.N., Wambsganss, M.W. and France D.M. (1996). “Small Circular and Rectangular Channel Boiling with Two Refrigerants”, **International Journal of Multiphase Flow**. 22, 485–498.
- [11] Wilson, M.J., Newell, T.A., Chato, J.C., Infante, C.A. and Ferreira, A. (2003). “Refrigerant Charge Pressure Drop and Condensation Heat Transfer in Flattened Tubes”, **International Journal of Refrigeration**. 26, 442–451.



การเขียนทางเดินของรังสีใด ๆ เพื่อหาดำแหน่งภาพจากเลนส์บาง หรือกระจกโค้ง

Arbitrary Ray Tracing to Locate Image Formed by a Thin Lens or Spherical Mirror

เดชา สุภพิทยากรณ์^{1*}

Decha Suppattayaporn^{1*}

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการเขียนทางเดินแสงเพื่อหาดำแหน่งภาพสำหรับเลนส์บางและกระจกโค้งอีกวิธีหนึ่ง โดยไม่ใช่ Principle Rays แต่ใช้รังสีใด ๆ (Arbitrary Rays) แทน วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอน เรื่อง แสงเชิงเรขาคณิต เพื่อเพิ่มความเข้าใจและช่วยลดความเข้าใจคลาดเคลื่อนบางประการเกี่ยวกับการเกิดภาพในเลนส์บางหรือกระจกโค้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่เลนส์หรือกระจกถูกปิดบางส่วนและใช้ในเขียนทางเดินแสงแสดง การเกิดภาพในระบบเลนส์ประกอบหรือกระจกโค้งในกรณีที่เกิดวัตถุเสมือนได้

คำสำคัญ: การเขียนทางเดินแสง เลนส์บาง กระจกโค้ง

Abstract

This article presents an alternative method for ray tracing to locate image position for thin lenses and spherical mirrors without using the principle rays but arbitrary rays instead. This method can be used to engage in fundamental geometric optics classroom to enhance students' understanding as well as to overcome some misconception about image formation by thin lenses or spherical mirrors particularly in cases of a partial covered lens/mirror and a compound system of lenses or mirrors dealing with virtual object.

Keywords: Ray Tracing, Thin Lens, Spherical Mirror

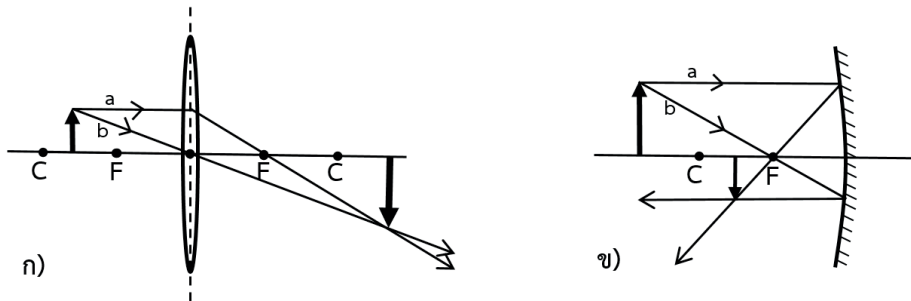
¹ อ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

¹ Lecturer, Dr., Department of Science Education, Faculty of Science, Chiang Mai University, 50200

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

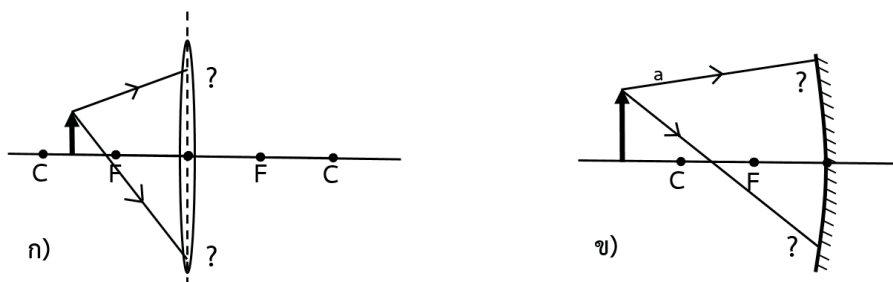
บทนำ

ในการหาตำแหน่งและลักษณะของภาพที่เกิดจากการหักเหผ่านเลนส์หรือการสะท้อนของแสงจากกระจกโค้งปกติในตำราฟิสิกส์พื้นฐานทั่วไป (เช่น Young, Freedman and Ford [1]) สามารถหาได้โดยเขียนรังสีตกกระทบที่เรียกว่า Principal Rays อย่างน้อย 2 เส้น ซึ่งอาจจะเป็น 1) รังสีตกกระทบที่ขนานกับแกนमुखสำคัญ รังสีหักเห (เลนส์) หรือรังสีสะท้อน (กระจกโค้ง) จะผ่านจุดโฟกัส 2) รังสีตกกระทบที่ผ่านจุดโฟกัส รังสีหักเห (เลนส์) หรือรังสีสะท้อน (กระจกโค้ง) จะขนานกับแกนमुखสำคัญ 3) รังสีที่ผ่านจุดศูนย์กลางความโค้ง รังสีหักเห (เลนส์) หรือรังสีสะท้อน (กระจกโค้ง) จะผ่านจุดศูนย์กลางความโค้งเช่นกัน และ 4) รังสีที่ผ่านจุดกึ่งกลาง (เฉพาะเลนส์) รังสีหักเหจะเดินทางเป็นเส้นตรงต่อไป ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเขียนทางเดินแสงเพื่อหาตำแหน่งภาพโดยใช้ Principal Rays จำนวน 2 เส้น
 สำหรับเลนส์นูน (ก) และกระจกเว้า (ข)

อย่างไรก็ตาม การเขียนทางเดินแสงโดยใช้ Principal Rays อย่างเดียว ในบางกรณีอาจจะทำไม่ได้เพราะแสงหรือรังสีตกกระทบอาจจะเลี้ยวเบนเลนส์หรือกระจก บางกรณีก็อาจจะทำให้เกิดความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง [2] จึงเกิดคำถามว่าจะมีวิธีเขียนทางเดินแสงโดยใช้รังสีเส้นอื่นที่เป็นรังสีใด ๆ (Arbitrary Rays) ที่ไม่ใช่ Principal Rays ได้หรือไม่ (ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 2)

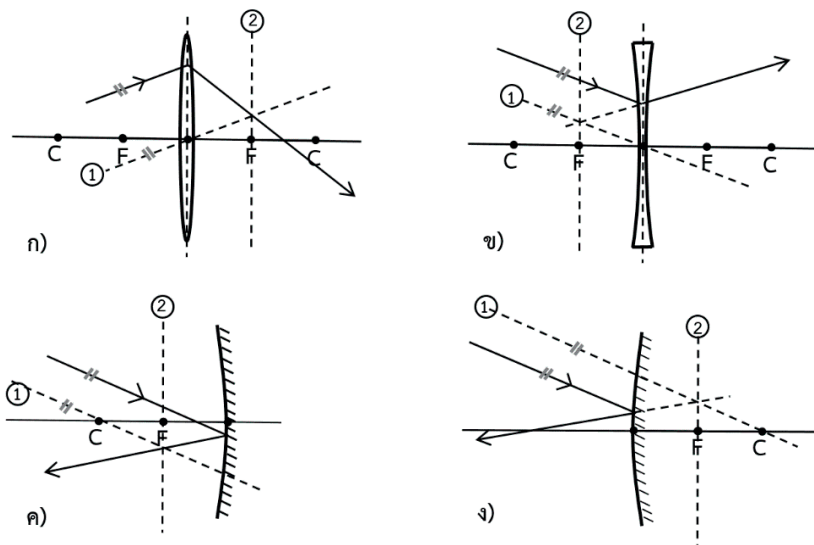


ภาพที่ 2 รังสีตกกระทบใด ๆ ที่ไม่ใช่ Principal Rays กระทบเลนส์หรือกระจก
 ซึ่งหลายคนอาจจะสงสัยว่าจะเขียนทางเดินของแสงอย่างไร

คำตอบคือ ได้ ผู้เขียนได้เคยเขียนวิธีการไว้ [3] สำหรับเลนส์และนำมาขยายความในที่นี้ให้ครอบคลุมกรณีของกระจกโค้งด้วย ซึ่งวิธีการนี้อาจจะช่วยเพิ่มความเข้าใจของนักเรียนหรือนักศึกษาให้ถูกต้องหลายประการ เช่น ช่วยให้ผู้เรียนตระหนักว่าแสงไม่ได้ออกจากวัตถุเพียงแค่ 2 หรือ 3 เส้นเท่านั้น [4] นอกจากนี้ยังจะช่วยลดความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากการเกิดภาพในเลนส์หรือกระจกที่ถูกปิดหรือบังบางส่วน [2] และวิธีการนี้จะเป็วิธีการเขียนทางเดินแสงสำหรับวัตถุเสมือนเพิ่มเติมอีกวิธีหนึ่ง นอกเหนือจากวิธีของ Leinoff [5]

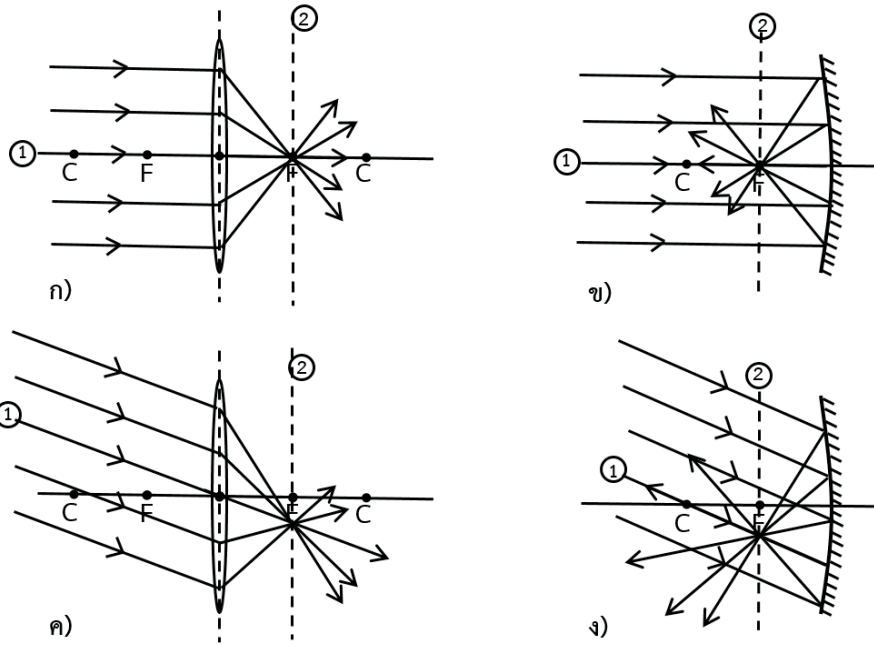
วิธีการ

ในการเขียนรังสีหักเหจากเลนส์หรือรังสีสะท้อนจากกระจกโค้งของรังสีตกกระทบใดๆ ทำได้โดยการเขียนเส้นที่ผู้เขียนขอเรียกว่าเส้นนำทาง (Guiding Lines เป็นเส้น ไม่ใช่รังสีของแสง) จำนวน 2 เส้น ดังภาพที่ 3 โดยที่สำหรับเลนส์เส้นนำทางเส้นแรกคือเส้นตรงที่ต้องลากให้ขนานกับรังสีตกกระทบและผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์ (เส้นประ (1) ในภาพที่ 3-ก และ 3-ข) เส้นที่สองคือเส้นตรงที่ต้องลากให้ผ่านจุดโฟกัสและตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญ (เส้นประ (2) ในภาพที่ 3-ก และ 3-ข) แล้วรังสีหักเหหรือแนวของรังสีหักเหจะผ่านจุดตัดของเส้นนำทางสองเส้นนี้เสมอ ส่วนกระจกโค้งเส้นนำทางเส้นแรกคือเส้นตรงที่ต้องลากให้ขนานกับรังสีตกกระทบและผ่านจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจก (เส้นประ (1) ในภาพที่ 3-ค และ 3-ง) และเส้นนำทางเส้นที่สองคือเส้นตรงที่ต้องลากให้ผ่านจุดโฟกัสและตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญ (เส้นประ (2) ในภาพที่ 3-ค และ 3-ง) รังสีสะท้อนหรือแนวของรังสีสะท้อนจะผ่านจุดตัดของสองเส้นนี้เสมอ



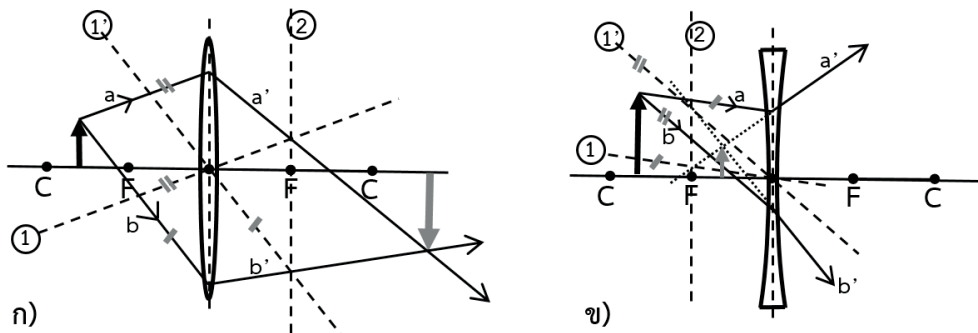
ภาพที่ 3 เส้นนำทาง (1) และ (2) ที่ใช้ในการหาแนวรังสีหักเหและรังสีสะท้อนสำหรับเลนส์บางและกระจกโค้ง โดยรังสีหักเหหรือรังสีสะท้อนจะผ่านจุดตัดของเส้นนำทางทั้งสองเส้นนี้เสมอ

ผู้อ่านอาจจะสงสัยหรือต้องการคำอธิบายว่าทำไมถึงใช้สองเส้นนี้เป็นเส้นนำทางได้ ลองพิจารณากรณีที่มีแสงขนานมาตกกระทบเลนส์หรือกระจกโค้งดังที่แสดงในภาพที่ 4 โดยที่แนวของแสงขนานกับแกนमुखสำคัญ ดังภาพที่ 4-ก และ 4-ข แสงหักเหของเลนส์หรือแสงสะท้อนจากกระจกก็ไปรวมกันที่จุดโฟกัสเสมอ และถ้าแนวของแสงขนานที่ตกกระทบเลนส์หรือกระจกโค้งไม่ขนานกับमुखสำคัญดังตัวอย่างในภาพที่ 4-ค และ 4-ง จะพบว่าแสงหักเหของเลนส์และแสงสะท้อนของกระจกเว้าก็ไปรวมกันบนระนาบโฟกัส (Focal Plane) เมื่อสังเกตดูจะพบว่าสำหรับเลนส์นูน แสงหักเหจะผ่านจุดตัดของรังสีเส้นที่ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์ (เส้น (1) ในภาพ 4-ก และ 4-ค) กับเส้นที่เป็นแนวของระนาบของจุดโฟกัส (เส้น (2) ในภาพที่ 4-ก และ 4-ค) เสมอ สำหรับกระจกเว้าแสงสะท้อนทุกเส้นจะไปรวมกันที่จุดตัดของเส้นที่ผ่านจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจกหรือ C (เส้น (1) ในภาพที่ 4-ข และ 4-ง) กับเส้นที่เป็นแนวของระนาบของจุดโฟกัส (เส้น (2) ในภาพที่ 4-ข และ 4-ง) เสมอ เราจึงสามารถใช้สองเส้นนี้เป็นเส้นนำทางของรังสีที่เหลือได้ในกรณีของเลนส์เว้าหรือกระจกนูนก็สามารถหาเส้นนำทางได้ด้วยวิธีคล้ายๆ กันนี้



ภาพที่ 4 แสงขนานผ่านเลนส์นูนและกระบอกเว้าจะรวมกันที่จุดตัดของเส้น (1) และ (2) เสมอ

ดังนั้นถ้าต้องการหาตำแหน่งภาพโดยวิธีดังกล่าว ก็สามารถใช้รังสีตกกระทบใดๆ ก็ได้ที่ไม่จำเป็นต้องเป็น Principal Rays แต่ใช้เส้นนำทาง 2 เส้น ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5 ในกรณีของเลนส์นูนและภาพที่ 6 ในกรณีของกระบอกโค้ง

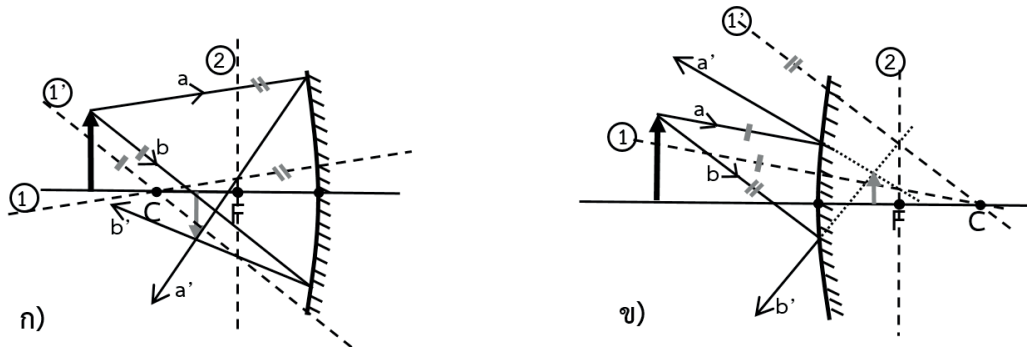


ภาพที่ 5 การเขียนทางเดินแสงเพื่อหาตำแหน่งภาพโดยใช้รังสีใด ๆ โดยใช้เส้นนำทาง 2 เส้นสำหรับเลนส์นูน

ภาพที่ 5-ก แสดงตัวอย่างการเขียนทางเดินของแสงเพื่อหาตำแหน่งภาพเมื่อวางวัตถุไว้หน้าเลนส์นูน (เช่นเดียวกับภาพที่ 1-ก) โดยใช้รังสีตกกระทบใด ๆ สมมติให้เป็นรังสี a และ b ในการหาทิศทางของรังสีหักเหของรังสีทั้งสองนี้ทำได้โดยการลากเส้นนำทาง (1) สำหรับรังสีตกกระทบ a โดยให้ขนานกับรังสี a และผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์และจะต้องลากเส้นนำทาง (1') สำหรับรังสีตกกระทบ b โดยให้ขนานกับรังสี b และผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์และลากเส้นนำทาง (2) ที่ผ่านจุด F และตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญ รังสีหักเหของ a จะผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1) กับ (2) เป็นรังสี a' และรังสีหักเหของ b จะผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1') กับ (2) เป็นรังสี b' ภาพจะเกิดที่ตำแหน่ง

ที่รังสีหักเห a' และ b' ไปตัดกัน ดังที่แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งถ้าเทียบภาพที่ 5-ก กับภาพที่ 1-ก ที่วางวัตถุไว้ที่ตำแหน่งเดียวกันจะพบว่าเกิดภาพที่เหมือนกันและสำหรับเลนส์เว้าก็เขียนทางเดินแสงทำนองเดียวกันได้ ดังภาพ ที่ 5-ข โดยการลากเส้นนำทาง (1) ขนานกับรังสีตกกระทบ a แล้วแนวของรังสีหักเห a' (ต่อถอยหลัง) จะผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1) และ (2) ซึ่งเป็นระนาบของจุดโฟกัสและลากเส้นนำทาง (1') ให้ขนานกับรังสีตกกระทบ b แล้วแนวของรังสีหักเห b' (ต่อถอยหลัง) จะผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1') และ (2) ภาพจะเกิดจากจุดที่แนวของรังสี a' และ b' ไปตัดกัน (ต่อถอยหลังเป็นรังสีเสมือน) จะพบว่าได้ผลเหมือนกับการใช้ Principle Rays ทุกประการ

ภาพที่ 6 แสดงการเขียนทางเดินแสงโดยใช้เส้นนำทาง 2 เส้นสำหรับกระจกโค้ง เส้นนำทางเส้นแรกแตกต่างไปจากกรณีเลนส์เล็กน้อยที่ต้องลากให้ขนานกับรังสีตกกระทบและผ่านจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจก (C) แทน



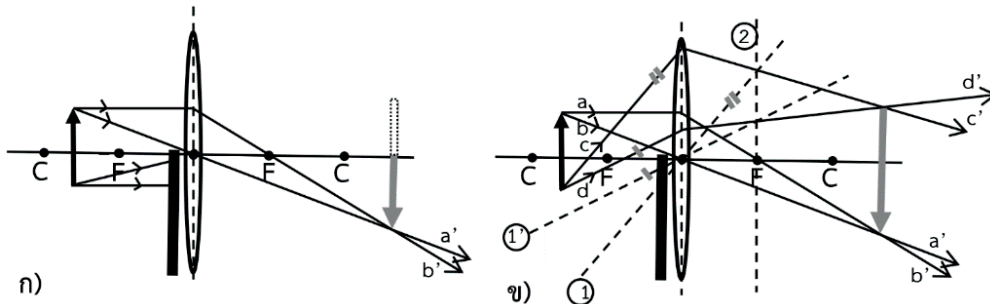
ภาพที่ 6 การเขียนทางเดินแสงเพื่อหาตำแหน่งภาพโดยใช้รังสีใด ๆ ที่โดยใช้เส้นนำทาง 2 เส้นสำหรับกระจกโค้ง

ภาพที่ 6-ก แสดงตัวอย่างการเขียนทางเดินแสงเพื่อหาตำแหน่งภาพเมื่อวางวัตถุไว้หน้ากระจกเว้า สมมติว่าใช้รังสีตกกระทบจากวัตถุเป็นรังสีใด ๆ a และ b ในการหาทิศทางของรังสีสะท้อนของ a ทำได้โดยการลากเส้นนำทาง (1) ให้ขนานกับรังสี a และผ่านจุด C และการหารังสีสะท้อนของ b ทำได้โดยการลากเส้นนำทาง (1') ให้ขนานกับรังสี b และผ่านจุด C หลังจากนั้นลากเส้นนำทาง 2 ให้ผ่านจุด F และตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญ แล้วรังสีสะท้อนของ a จะผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1) กับ (2) เป็นแนวของรังสีสะท้อน a' และในการหาทิศทางของรังสีสะท้อน b ต้องลากเส้นนำทาง (1') ให้ขนานกับรังสี b แล้วรังสีสะท้อน b' จะผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1') กับ (2) และภาพจะเกิดที่ตำแหน่งที่รังสีสะท้อน a' และ b' ไปตัดกันดังที่แสดงในภาพที่ 6 ซึ่งถ้าเทียบกับภาพที่ 6-ก กับภาพที่ 1-ข จะพบว่าเกิดภาพที่เหมือนกัน และสำหรับกระจกนูนก็เขียนทางเดินแสงทำนองเดียวกันได้ ดังภาพที่ 6-ข เส้นนำทาง (1) ต้องลากให้ขนานกับรังสี a ทำให้ได้รังสีสะท้อน a' ที่มีแนวผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1) และ (2) ส่วนเส้นนำทาง (1') ต้องลากให้ขนานกับรังสี b ทำให้ได้รังสีสะท้อน b' ที่มีแนวผ่านจุดตัดของเส้นนำทาง (1') และ (2) ภาพที่เกิดขึ้นจะผ่านจุดตัดของรังสีสะท้อน a' และ b' (ต้องต่อรังสีสะท้อนถอยหลังไปตัดกัน ได้ภาพเสมือน)

มาถึงจุดนี้หลายคนอาจจะตั้งคำถามว่า ทำไมเราต้องใช้วิธีการที่ยุ้งยากกว่าวิธีการเดิมที่ใช้แค่ Principal Rays อย่างไรก็ตาม มีผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใช้ Principal Rays อย่างเดียวอาจจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนหรือเข้าใจเนื้อหาไม่สมบูรณ์ในบางกรณี เช่นกรณีเลนส์หรือกระจกที่ถูกปิดไว้บางส่วนหรือไม่สามารถเขียนทางเดินของแสงในกรณีที่มีวัตถุเสมือน (วัตถุที่อยู่หลังเลนส์หรือกระจก) ได้ ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไป

เลนส์หรือกระจกที่ถูกปิดไว้บางส่วน

มีผลการวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าหลังจากการสอนให้นักเรียนหรือนักศึกษาเขียนทางเดินแสงโดยใช้ Principle Rays พบว่ามีจำนวนมากที่เข้าใจว่าถ้าปิดเลนส์หรือกระจกไว้ครึ่งหนึ่งและเอาวัตถุไว้ด้านหน้า ภาพที่เกิดขึ้นจะหายไปครึ่งหนึ่ง (เช่น Goldberg and McDermott [2]) เพราะที่ไม่สามารถเขียนทางเดินของแสงโดยใช้ Principal Rays ผ่านครึ่งของเลนส์หรือกระจกที่ถูกบังไว้ ผู้เขียนก็เคยมีประสบการณ์ในการสอนระดับมัธยมศึกษา รวมทั้งนักศึกษาครูก็พบว่ามีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกัน ดังที่แสดงภาพที่ 7 ซึ่งถ้าหากไปทดลองกับเลนส์จริง เราจะพบว่าภาพไม่ได้หายไปครึ่งหนึ่ง เพียงแต่ภาพอาจจะจางลงไปหรือมีความสว่างลดลง ถ้าผู้เรียนสามารถเขียนทางเดินแสงโดยใช้รังสีใด ๆ ที่ไม่ใช่ Principal Rays อย่างเดียวก็อาจจะช่วยให้ผู้เรียนสร้างภาพเองและเข้าใจได้ถูกต้องมากขึ้น

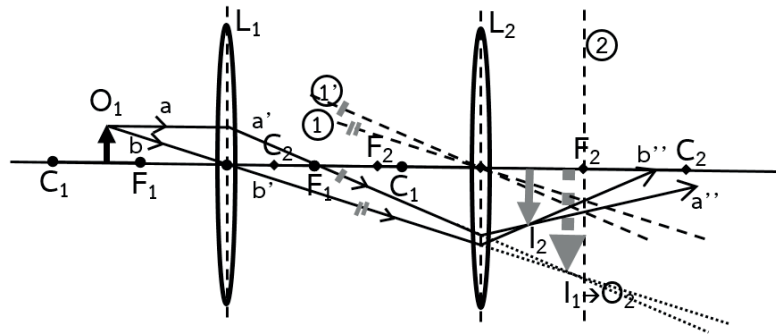


ภาพที่ 7 ผู้เรียนหลายคนเข้าใจผิดว่าภาพจะหายไปครึ่งหนึ่งถ้าเลนส์ที่ถูกปิดไว้ครึ่งหนึ่ง
 (ก) และวิธีการเขียนทางเดินแสงเพื่อแสดงให้เห็นว่าภาพไม่ได้หายไปครึ่งหนึ่ง (ข)

ภาพที่ 7-ก แสดงการเขียนทางเดินแสงผ่านเลนส์ที่ถูกบังไว้ครึ่งหนึ่ง ผู้เรียนจำนวนมากเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าภาพที่เกิดขึ้นจะหายไปครึ่งหนึ่งเพราะ ไม่สามารถเขียนทางเดินแสงจากท่อนล่างของวัตถุผ่านเลนส์ที่ถูกบังไว้ได้ แต่ถ้าผู้เรียนสามารถเขียนทางเดินแสงโดยใช้รังสีใด ๆ ได้ ดังภาพที่ 7-ข ซึ่งได้แสดงการเขียนทางเดินแสงของรังสี c และ d โดยการลากเส้นนำทาง (1) ให้ขนานกับรังสี c และเส้นนำทาง (1') สำหรับรังสี d ให้ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์ และลากเส้นนำทาง (2) ให้ผ่านจุด F และตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญ เพื่อหาจุดตัดกันของรังสี c' และ d' จะพบว่ารังสีหักเหไปตัดกันทำให้เกิดภาพยังเต็มขนาดและผู้เรียนควรจะทำความเข้าใจได้ว่าภาพที่เกิดขึ้นจะต้องจางลงเนื่องจากปริมาณแสงที่ผ่านทะลุเลนส์ไปจะน้อยลงตามสัดส่วนที่ปิดหรือบังไว้ และแน่นอนว่าวิธีการนี้ใช้ได้กับเลนส์เว้า กระจกเว้าหรือกระจกนูนที่ถูกบังบางส่วนได้เช่นกัน

วัตถุเสมือนในระบบเลนส์ประกอบ

ในระบบเลนส์ประกอบ ในบางกรณีวัตถุของเลนส์ตัวที่สองอาจจะเป็นวัตถุเสมือน (วัตถุอยู่หลังเลนส์) เราไม่สามารถเขียนทางเดินแสงย้อนกลับมาหาเลนส์ใดๆ จากด้านหลังเลนส์ได้ จึงจะต้องใช้รังสีที่ตกกระทบบนด้านหน้าเลนส์นั้นเขียนทางเดินแสงต่อไป ซึ่งส่วนใหญ่อาจจะไม่ใช่ Principal Rays ด้วย การใช้เส้นนำทางจะช่วยให้เขียนทางเดินแสงต่อไปได้ ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การเขียนทางเดินแสงในระบบเลนส์ประกอบที่ประกอบด้วยเลนส์นูน 2 ตัว และมีวัตถุเสมือนสำหรับเลนส์ตัวที่สอง

ภาพที่ 8 แสดงการวางวัตถุไว้หน้าเลนส์นูน 2 ตัว (L_1 และ L_2) โดยวัตถุ (O_1) อยู่ระหว่างจุด C_1 กับ F_1 และถัดไปเป็นเลนส์นูนอีก 1 ตัว การเขียนทางเดินแสงที่เลนส์ตัวแรก (L_1) สามารถใช้ Principal Rays หาค่าตำแหน่งภาพได้ (รังสี a และ b) และภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพจริงหัวกลับ (I_1) ซึ่งเป็นจุดตัดของรังสี a' และ b' ที่อยู่ด้านหลังเลนส์ L_2 และภาพนี้จะป็นวัตถุ (O_2) ของเลนส์ L_2 จึงเป็นวัตถุเสมือนแน่นอนว่าจะไม่มีแสงเดินทางจากวัตถุนี้ย้อนกลับไปหาเลนส์ L_2 จะเขียนทางเดินแสงย้อนกลับไม่ได้ ดังนั้นต้องเขียนต่อจากรังสีตกกระทบเลนส์นี้คือรังสี a' และ b' โดยการลากเส้นนำทาง (1) ให้ขนานกับรังสี a' และผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์ ลากเส้นนำทาง (1') ให้ขนานกับรังสี b' และผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์ และเส้นนำทาง (2) ให้ผ่านจุด F_2 และตั้งฉากกับแกนหลัก ทำให้งานเขียนรังสี a'' และ b'' ได้ จุดตัดของรังสีทั้งสองจะเป็นจุดที่เกิดภาพสุดท้าย (I_2) จะพบว่า เป็นภาพจริงหัวกลับอยู่ระหว่างเลนส์ L_2 กับจุดโฟกัส F_2 ถ้าตรวจสอบโดยการคำนวณโดยใช้สมการสำหรับเลนส์บางจะพบว่าผลการเขียนทางเดินแสงนี้สอดคล้องกับผลการคำนวณโดยใช้สมการหรืออาจจะทำได้โดยการเขียนทางเดินแสงด้วยวิธีของ Leinoff [5] ก็ได้

อภิปรายและข้อเสนอแนะ

ในการเขียนทางเดินแสงโดยใช้เส้นนำทางที่นำเสนอในที่นี้ไม่ได้เป็นวิธีใหม่ อย่างไรก็ตามในตำราฟิสิกส์ทั่วไประดับมัธยมศึกษาหรือฟิสิกส์มหาวิทยาลัยมหาวชิราลงกู ปี 1 ไม่ได้กล่าวถึง ผู้เขียนได้สืบค้นและพบว่า มีตำราเก่าที่ได้กล่าวถึงวิธีการนี้อยู่เล่มหนึ่งคือ Fundamentals of Optics ของ Jenkins and White [6] ใช้รังสีที่คล้ายกับเส้นนำทางเส้นแรก เรียกว่า Chief Ray ซึ่งพบว่า ไม่มีหนังสือฟิสิกส์พื้นฐานเล่มใดนำมาใช้สำหรับเส้นนำทางที่สองถ้าสังเกตดูจะเป็นเส้นที่อยู่ในแนวของระนาบโฟกัส ที่จริงควรจะเป็นระนาบ แต่การเขียนภาพแบบสองมิติตามระนาบของกระดาษแล้วมองเป็นระนาบอาจจะเป็นเรื่องที่ซับซ้อนสำหรับผู้เรียน โดยเฉพาะผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาจึงกำหนดให้เป็นเส้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าสามารถเขียนเป็นภาพสามมิติและการมองเป็นระนาบน่าจะช่วยให้ผู้เรียนได้ตั้งขึ้นในกรณีนี้ให้วัตถุมีมิติของความลึกด้วย สำหรับกรณีกระจกโค้ง วิธีการใช้เส้นนำทางสองเส้นนี้ก็สอดคล้องกับกฎการสะท้อนและสมการของกระจกโค้งเช่นกัน

สำหรับการเกิดภาพที่เกิดจากเลนส์หรือกระจกที่ถูกบังไว้ครึ่งหนึ่ง มีผู้เรียนจำนวนมากเข้าใจว่าภาพจะหายไปครึ่งหนึ่ง [2] หากผู้เรียนเข้าใจวิธีการนี้ อาจจะช่วยให้ผู้เรียนมีอิสระในการเลือกรังสีตกกระทบใดๆ ก็ได้ ภาพที่เกิดขึ้นจะไม่หายไปส่วนหนึ่ง เพียงแต่จะจางลงเนื่องจากปริมาณแสงที่ผ่านเลนส์ลดลงไปตามสัดส่วนที่ถูกปิด นอกจากนี้อาจจะมีวิธีอื่นที่จะพิสูจน์ให้เห็นว่าแสงจากทุกส่วนเดินทางจากวัตถุผ่านเลนส์แล้วไปทำให้เกิดภาพเต็มขนาด เช่น การใช้แผ่นกรองแสงสีแดงปิดครึ่งบนของเลนส์และใช้แผ่นกรองแสงสีเขียวปิดครึ่งล่างของเลนส์แล้วนำวัตถุสีขาวไว้หน้าเลนส์จะพบว่าภาพของวัตถุที่เกิดขึ้นมีสีเหลืองทั้งภาพ การเขียนทางเดินแสงโดยใช้รังสีใด ๆ น่าจะช่วยให้ผู้เรียนตระหนักได้ว่าแท้จริงแล้วมีรังสีมากมายที่เดินทางจากทุกส่วนของวัตถุไปที่เลนส์หรือกระจก [4]

ในส่วนของ การเกิดวัตถุเสมือน (วัตถุที่อยู่หลังเลนส์) เราไม่สามารถเขียนทางเดินแสงย้อนจากวัตถุชนิดนี้ไปหาเลนส์หรือกระจกได้ เพราะไม่ได้มีวัตถุจริง ๆ อยู่ตรงนั้น การใช้เส้นนำทางที่นำเสนอในที่นี้ก็ช่วยแก้ปัญหาได้ อย่างไรก็ตามก็มีอีกแนวทางหนึ่งที่ Leinoff [5] ได้เสนอไว้ ซึ่งใช้วิธีการที่แตกต่างไปจากที่นำเสนอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Young, H.D., Freedman, R.A. and Ford, A.L. (2010). **Sears & Zemansky's University Physics: with Modern Physics**. 13th Edition, Addison-Wesley, Sanfancisco, 1124-1135.
- [2] Goldberg, F.M. and McDermott, L.C. (1987). "An Investigation of Student Understanding of the Real Image Formed by a Converging Lens or Concave Mirror", **American Journal of Physics**. 55, 108-119.
- [3] Suppapittayaporn, D., Phanijpan, B. and Emmarat, N. (2010). "Can We Trace Arbitrary Rays to Locate an Image Formed by a Thin Lens?", **The Physics Teacher**. 48(4), 256-257.
- [4] Valadares, E.C. and Cury, L.A. (1996). "An Image is Worth a Thousand Rays", **The Physics Teacher**. 34, 432-433.
- [5] Leinoff, S. (1991). "Ray Tracing with Virtual Objects", **The Physics Teacher**. 29, 275-277.
- [6] Jenkins, F.A. and White, H.E. (1957). **Fundamentals of Optics**. McGraw-Hill, New York, 44-53.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

กรณ์ปกพ รัตนวิจิตร	Kornpaphop Ratanavijit	21
คณาธิป พรหมนวล	Kanathip Promnuan	43
จตุพร แก้วอ่อน	Jatuporn Kaew-On	61, 79
จักรพันธ์ ทองบุญชู	Jakkraphan Thongbunchoo	61
จุฬารัตน์ สมคุณ	Jularat Somkhun	1
ณัฐนรี แสงแก้ว	Natnaree Sangkaew	33
ณิชภา มินาบุญ	Nichapha Minabhun	69
เดชา สุภพิทยากรณ์	Decha Suppapittayaporn	93
ทวีกรณ์ ศิริคช	Thaweeporn Keereekoch	33
ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล	Thaweesak Runngsakthaweekul	69
ธนศ ไชยชนะ	Tanate Chaichana	61
ธวัชชัย ศรีสุวรรณ	Thawatchai Srisuwan	1, 33
ธัญชนก ชูเสื่อหึง	Thanchanok Chusueahueng	1
นิธิตา ปิยอมรพันธุ์	Nitita Piya-amornphan	11
เบญจวรรณ ทองเกลื่อน	Benjawan Thongkhluan	33
พงษ์ศักดิ์ ทรัพย์สาร	Pongsak Sabpayasan	61
พนิดา กังซุ่น	Panita Kongsune	53, 61
รอนี บิลหมุด	Ronee Bilmud	79
รัฐศักดิ์ พรหมมาศ	Ratthasak Prommas	69
ศศิณฑา บุญพิทักษ์	Sasinapa Boonpitak	21
ศุภกานต์ พิธิฐศุภกุล	Supakarn Pisitsupakul	33
สนั่น สุภธีรสกุล	Sanan Subhadhirasakul	1, 33
สมชาย วงศ์วิเศษ	Somchai Wongwises	79
สุกญา ศิริรัฐนิคม	Suphada Kiriratnikom	43
สุภาพร รัตนพันธ์	Supaporn Rattanapan	51
อภิญา วัฒนปัญญา	Apinya Watthanapinyo	1
อมาวสี รักเรือง	Amawasee Rukruang	61, 79

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
กระจกโค้ง	91
กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน	61
กะลามะพร้าว	61
การเขียนทางเดินแสง	91
การควมแน่น	79
การใช้อาหาร	43
การนำกลับมาใช้ใหม่	69
การรอกอย	21
แก๊สเชื้อเพลิง	61
แก๊สซิฟิเออร์	61
คลื่นไมโครเวฟ	69
ความดันลด	79
จลนพลศาสตร์	51
ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด	51
ท่อแบน	79
น้ำมันหอมระเหย	1, 33
แนวคิดแบบสิ้น	21
แบคทีเรียในลำไส้	43
ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต	43
ปลานิลแดง	43
โปรไบโอติก	43
ผลต่อการฟ่อนคลาย	1
มวลกระดูก	11
แผนผังกิจกรรมกระบวนการ	21
เมทิลีนบลู	51
เมล็ดจันทน์เทศ	33
เลนส์บาง	91
สมุลแว้ง	1
สัดส่วนร่างกาย	11
สารทำความเย็น	81
อัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก	11
อุณหพลศาสตร์	51
แอสฟัลต์	69
ไอโซเทอร์ม	51

Keyword Index	Page
Aspect Ratio	80
Asphalt Road	70
Basal Metabolic Rate (BMR)	12
Body Composition	12
Bone Mass	12
<i>Cinnamomum bejolghota</i>	2
Coconut Shell	62
Condensation	80
Delay	21
Essential Oil	2, 34
Feed Utilization	44
Flattened Tubes	80
Gasification Process	62
Gasifier	62
GC-MS	34
Growth Performance	44
Hybrid Red Tilapia	44
Intestinal Bacteria	44
Isotherm	51
Kinetics	51
Lean Concepts	21
Mangosteen Peel Activated Carbon	51
Methylene Blue	51
Microwave Heating	70
Nutmeg	34
Pressure Drop	82
Probiotics	44
Process Activity Mapping	21
Producer Gas	62
R134a	80
Ray Tracing	91
Recycled Process	72
Refrigerant	80
Relaxation Effect	2
Spherical Mirror	91
Thermodynamics	51
Thin Lens	91

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ต้นฉบับบทความวิจัย บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2561) ได้รับการตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

- | | |
|---|--|
| 1. รศ.ดร.กาญจนา ไชยพันธุ์
(เกษียณอายุราชการ) | คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 2. รศ.ดร.ณสรณ์ ผลโคก | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| 3. รศ.ดร.ดวงมณี จงรักษ์ | คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 4. รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 5. รศ.ดร.ธราธร มงคลศรี | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 6. รศ.ดร.นันทวิทย์ อารีชัยน | คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 7. รศ.ดร.ไพศาล นาผล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| 8. รศ.ดร.ระวีวรรณ แก้วอมดวงค์ | คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 9. รศ.ดร.รุ่งรัตน์ กิษฐ์เพ็ญ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 10. รศ.ดร.วรัชญ์ ภิรมย์ศักดิ์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 11. รศ.ดร.วรรณวิมล อารยะปรางค์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต |
| 12. รศ.ดร.วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 13. รศ.ดร.ศรัทธา สุนทรไชย | สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช |
| 14. รศ.ดร.สัมฤทธิ์ ไม้พวง | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 15. รศ.ดร.สิทธิชัย แสงอาทิตย์ | สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 16. รศ.ดร.อัญชลี สงวนพงษ์ | คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 17. รศ.เกียรติไกร आयวัฒน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 18. รศ.อาชีวนัน แกสมาน | คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 19. ผศ.ดร.ชัชชัย เผือกสามัญ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ |
| 20. ผศ.ดร.วิรัชดิ ตั้งจิรภัทร | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 21. ผศ.ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 22. ผศ.ดร.สมชาย มณีวรรณ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 23. ผศ.ดร.สุนีย์ จันทร์สากว | คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 24. ผศ.ดร.อุดม ทิพราช | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |

ข้อมูลทั่วไปของวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ลักษณะของวารสาร

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นวารสารผลงานวิจัย/ ผลงานวิชาการ และผลงานวิชาการรับใช้สังคม สาขาวิชาสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่าง ๆ

ข้อแนะนำทั่วไป

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

ประเภทของผลงานที่จะรับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Articles)
2. บทความวิชาการ (Academic Articles)
3. บทความรับใช้สังคม (Socially-Engaged Articles)
4. จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letter to Editor) เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุนหรือโต้แย้งความเห็นของนักวิจัยอื่น ๆ ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่น่าสนใจ

รูปแบบการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์บนกระดาษขาวขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียว ใส่เลขหน้ากำกับหน้าทุกหน้า โดยใช้แบบอักษร Angsana New ขนาดตัวอักษร 14 ความยาวของเนื้อหา รวมภาพ ตาราง ไม่ควรเกิน 8 หน้า

2. การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- | | | | |
|-------------------------------|------|------|---------------------|
| ● ระยะขอบบน (Top margin) | ขนาด | 1" | หรือ 2.54 เซนติเมตร |
| ● ระยะขอบล่าง (Bottom margin) | ขนาด | 1" | หรือ 2.54 เซนติเมตร |
| ● ระยะขอบซ้าย (Left margin) | ขนาด | 1.5" | หรือ 3.00 เซนติเมตร |
| ● ระยะขอบขวา (Right margin) | ขนาด | 1" | หรือ 2.54 เซนติเมตร |

3. การส่งต้นฉบับ ดังนี้

ส่งทางระบบวารสารออนไลน์ Thai Journals Online (ThaiJO) สามารถเข้าไปได้ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>

4. การสมัครสมาชิก มี 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 บุคคลทั่วไป ที่ไม่ประสงค์ส่งบทความ สามารถสมัครสมาชิกได้เลย

กรณีที่ 2 บุคคลที่ต้องการส่งบทความ เพื่อขอรับการพิจารณาบทความ เมื่อบทความได้รับการพิจารณาแล้วจะต้องสมัครสมาชิกพร้อมชำระเงิน จำนวน 200 บาท ผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชีวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ทางระบบออนไลน์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> หรือติดต่อกองจัดการวารสารฯ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 074-609600 ต่อ 7242 หรือ 081-5407304 โทรสาร 074-609654-5 อีเมล tsujournal@gmail.com

5. การยกเลิกบทความ หรือ การถอนบทความ มีรายละเอียดดังนี้

การยกเลิกบทความ คือ การเพิกถอนบทความก่อนที่จะมีการตีพิมพ์เผยแพร่

การถอนบทความ คือ การถอนบทความที่ดำเนินการตีพิมพ์และเผยแพร่เรียบร้อยแล้ว

ในกรณี การยกเลิกหรือการถอนบทความ สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ใน <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> และ หากมีการส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความแล้วเจ้าของบทความต้องเป็นผู้รับผิดชอบคำตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ

รายละเอียดการเตรียมต้นฉบับ

บทความวิจัยให้เรียงลำดับตามองค์ประกอบดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษ อักษรตัวแรกของทุกคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 20 ตัวหนา
2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ครบทุกคน และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดอยู่กึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้กำกับหมายเลขกำกับไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อตำแหน่งหรือตำแหน่งวิชาการ และหน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนของเชิงอรรถ (หน้าที่ 1) โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดระดับภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย หรือจากงานย่อย ถึงระดับสูงให้ตรงกับตัวเลขกำกับที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกัน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
3. **บทคัดย่อ และ Abstract** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกิน 200 คำ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ
4. **คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้เลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความไม่เกิน 5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อ และ Abstract ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดชิดซ้ายของหน้ากระดาษ Keywords ให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ
5. **เนื้อเรื่อง (Main Body)** ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้
 - 1) บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและอาจรวมการ สืบค้นเอกสาร (Review of Related Literature)

- 2) วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)
- 3) ผลการวิจัย (Results)
- 4) อภิปรายผล (Discussion)
- 5) สรุปผลการวิจัย (Conclusion)
- * 4) และ 5) อาจเขียนรวมกันได้

6) เอกสารอ้างอิง (References) ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข (Numeric) และต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น

6. **แนวเอกสาร** แสดงการได้รับอนุญาตให้ทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ จรรยาบรรณ การใช้สัตว์ทดลอง หรือจริยธรรมของการทดลองในมนุษย์มาพร้อมกับบทความวิจัย

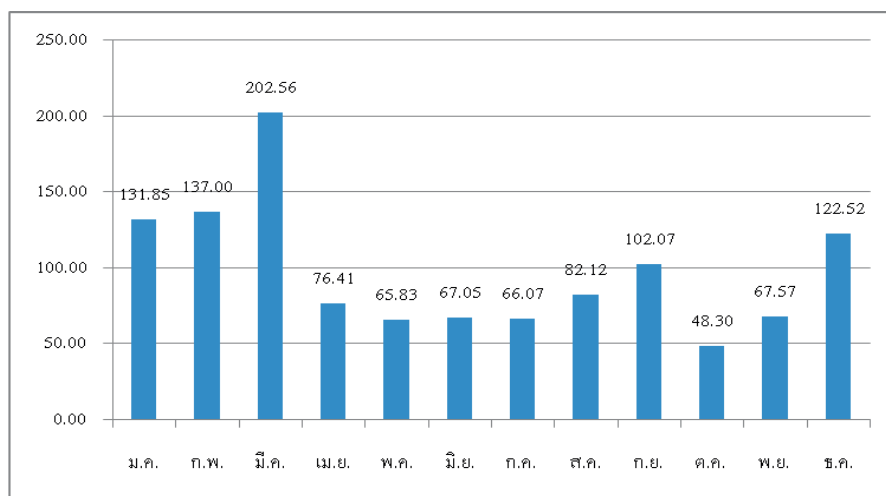
7. **การใช้คำย่อ สัญลักษณ์** คำย่อที่ใช้ในบทความจะต้องมีค่าเต็มเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นสามารถใช้คำย่อเหล่านั้นได้ตามปกติ ควรใช้ให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการใช้คำย่อที่ชื่อเรื่องและในบทคัดย่อ ไม่แนะนำให้ใช้คำย่อที่ใช้ไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 บทความ สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำจำกัดความ หรือคำอธิบายเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบาย

8. **รูปภาพ** จัดกึ่งกลาง คำบรรยายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี คำบรรยายได้ภาพ ใช้คำว่า **ภาพที่** เป็นตัวหนา และคำบรรยายเป็นตัวอักษรปกติ และจัดกลางหน้ากระดาษ

ถ้ามีภาพประกอบ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี และถ้ามีภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาว โดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

ตัวอย่างเช่น

กิโลกรัม/ไร่



ภาพที่ 1 การร่วงหล่นของซากส่วนใบในแต่ละเดือน

9. ตาราง จัดชิดซ้ายของคอลัมน์ คำบรรยายตารางพิมพ์ไว้ด้านบนของหัวข้อตาราง และใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ถ้ามีตารางใช้คำบรรยายบนตารางคำว่า ตารางที่ เป็นตัวหนา และจัดชิดขอบซ้าย

ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในซากพืชส่วนใบที่เหลือจากการย่อยสลายในระยะต่าง ๆ

ลำดับที่	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

ถ้าเป็นภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาวโดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

การอ้างอิง (References) แบบตัวเลข (Numeric) ต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น

การอ้างอิงแบบตัวเลข ใช้วิธีการดังนี้

1. ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในเครื่องหมาย [] ทำข้อความหรือชื่อบุคคลที่อ้างอิง โดยให้ตัวเลขอยู่ในระดับบรรทัดเดียวกันกับเนื้อหา เช่น [1]

2. ให้ใส่ตัวเลขอ้างอิงเรียงลำดับตั้งแต่เลข 1 เป็นต้นไป ต่อเนื่องกัน และในกรณีที่มี การอ้างอิงซ้ำให้ใช้ตัวเลขเดิมที่เคยใช้อ้างมาก่อนแล้ว

3. แหล่งที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดในบทความจะไปปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิง (references) ทำบทความ โดยการเรียงลำดับตามหมายเลข และพิมพ์หมายเลขอยู่ในเครื่องหมาย []

4. กรณีที่อ้างอิงเอกสารหลายรายการในคราวเดียวกัน

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

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

4.3 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นในกรณีไม่ต่อเนื่อง และเครื่องหมายขีดกั้น (-) คั่นในกรณีต่อเนื่อง เช่น [1, 4-5]

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ใช้ระบบตัวเลขอยู่ในวงเล็บ “[]” หลังข้อความที่อ้างถึง โดยตัวเลขดังกล่าวเรียงตามลำดับการอ้างอิง

ตัวอย่าง

1. การใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยเชิงเดี่ยวบางชนิดนานและมากเกินไปมีผลทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลน [1]...
2. Scherer [2] รายงานว่า...
3. และยังทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชในดินเสียไปด้วย [3-4]...

การอ้างอิงเอกสารอ้างอิง

ภาษาต่างประเทศ คนแรกให้ขึ้นด้วยนามสกุล, ตามด้วยอักษรย่อของชื่อหน้า ชื่อกลาง (ถ้ามี) คนถัดไปจะเขียนระบบเดียวกับคนแรก และต้องเหมือนกันทุกรายการ เช่น

ประสงค์ เกษราธิคุณ นิคม ชูศิริ และฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ

Kessaratikoon, P., Choosiri, N. and Boonkrongcheep, R.

1) หนังสือ

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

ตัวอย่าง

- [1] Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. (2005). **Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management**. New Jersey. Pearson Education, Inc.,

ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// **ชื่อหนังสือ**/(ครั้งที่พิมพ์).// เมืองที่พิมพ์:/: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [2] Satirajinda, M. (2000). **Iron & Steel Heat Treatment Engineering** (7th ed). Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage.

2) บทความในวารสาร

ชื่อผู้เขียน.// (ปี พ.ศ./ค.ศ.)// “**ชื่อบทความ**”, **ชื่อวารสาร**.// ปีที่/(ฉบับ)/, หน้า.

ตัวอย่าง

- [3] Ukonmaanaho, L., Merila, P., Nojd, P. and Nieminen, T.M. (2008). “Litterfall Production and Nutrient Return to the Forest Floor in Scots Pine and Norway Spruce Stands in Finland”, **Boreal Environment Research**. 13, 67-91.

3) บทความในรายงานการประชุมวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// “ชื่อเรื่อง”.// ใน/ชื่อการประชุม./เลขหน้า.//วันที่/เดือน/ปี./สถานที่ประชุม.//
เมืองที่พิมพ์./สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [4] Boonkrongcheep, R., Maeha, A. and Kessaratikoon, P. (2016). “Measurement and Analysis of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Thai Rice Bag Samples”, In **The 24th Thaksin University National Academic Conference**. 18. May 21-24, 2016, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla : Thaksin University.

4) บทความในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// “ชื่อบทหรือบทความในหนังสือ”.// ใน/ชื่อผู้แต่งหรือผู้รวบรวม
หรือบรรณาธิการ(ถ้ามี).//ชื่อหนังสือ./เลขหน้า.//เมืองที่พิมพ์./สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

- [5] Lawrence, J. A. and Dodds, A. E. (2003). “Goal-Directed Activities and Life-Span Development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.)”, **Handbook of Developmental Psychology**. 517-533. London, England: Sage Publications.

5) บทความในหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์, วันที่/เดือน).// “ชื่อบทความ”.//ชื่อหนังสือพิมพ์.//เลขหน้า.

ตัวอย่าง

- [6] Schultz, S. (2005, December 28). “Calls Made to Strengthen State Energy Policies”, **The Country Today**. 1A, 2A.

6) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์.// (ปีที่พิมพ์).//ชื่อวิทยานิพนธ์.//ระดับของวิทยานิพนธ์/ชื่อปริญญา.//
เมืองที่พิมพ์./ชื่อสถานการศึกษา.

ตัวอย่าง

- [7] Paungfoo, C. (2003). **Use of Molecular Biology Techniques in Studying the Nitrifying Bacteria Community from Shrimp Farming System**. Doctoral Dissertation. Prince of Songkla University.

7) เอกสารที่ค้นได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้รูปแบบเดียวกับบรรณานุกรมของสื่อสิ่งพิมพ์โดยทั่วไปก่อนที่จะนำมาใส่ในเว็บไซค์ต่างๆ เช่น เมื่อนำข้อมูลมาจากหนังสือ สามารถเขียนเอกสารอ้างอิงโดยประกอบด้วย ชื่อผู้แต่ง ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่อง และสถานที่พิมพ์ และเพิ่มข้อมูลที่จะช่วยในการสืบค้น คือ วันที่สืบค้น และ URL โดยภาษาอังกฤษใช้ว่า Retrieved...from... หรือถ้านำข้อมูลมาจากบทความก็เขียนเอกสารอ้างอิงของบทความก่อน

ชื่อผู้แต่ง./(ปีที่พิมพ์)./ชื่อเรื่อง (ออนไลน์)./เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์./สืบค้นเมื่อ...../
จาก <http://www.....>

ตัวอย่าง

[8] Department of Foreign Trade. (2012). **The Situation of Sawn Rubber Wood Thailand** (Online). Retrieved 3 August 2016, from <http://www.dft.go.th/en-us/Information-Service/PR-Materials/ctl/DetailUserContent/mid/660/conternted/4252>.

8) รูปแบบการเขียนนิตยสาร

ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ตำแหน่ง./ สถานที่สัมภาษณ์./วันเดือนปีที่สัมภาษณ์./สัมภาษณ์.

ตัวอย่าง

[9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.

9) สิทธิบัตร

ชื่อผู้จดสิทธิบัตร./(ปีที่ได้รับการจดสิทธิบัตร)./ชื่อสิ่งประดิษฐ์. ประเทศที่จดสิทธิบัตร. หมายเลขของสิทธิบัตร.

ตัวอย่าง

[10] นินนาท จันทรัฐ และคณะ. (2558). **ชุดสังเคราะห์ทองคำนาโนโดยใช้ทองคำเปลว**. ประเทศไทย. เลขที่ 1303000492.



ใบสมัครสมาชิก
วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ
THAKSIN UNIVERSITY JOURNAL

วันรับสมัคร.....

หมายเลขสมาชิก.....

(สำหรับเจ้าหน้าที่)

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ทางไปรษณีย์ที่ต้องการให้จัดส่ง.....ตำบล.....

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

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail.....

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

พร้อมนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน.....บาท (.....)

โดย ชำระเงินผ่านทาง ธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9
สาขา มหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารฯ
ทางระบบออนไลน์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>

(ลงชื่อ).....

(.....)

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

สำนักงานวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242, 081-5407304 โทรสาร 0-7460-9654-5

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



สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ

222 หมู่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242 โทรศัพท์/โทรสาร 0-7460-9655

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

