



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ISSN 1906-0874 (Print)

ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562

Vol.13 No.1 January - June 2019

Rajamangala University of Technology Krungthep Research Journal

- ➔ การลดความชื้นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในกระบวนการรักษาเนื้อไม้ของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูปด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน
- ➔ การศึกษาสมบัติทางแร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติกายภาพของดินเหนียวจากแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน ชุมชนโรงอ่าง จังหวัดปัตตานี
- ➔ การผลิตถ่านกัมมันต์จากทางจากในแหล่งชุมชนลุ่มน้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง
- ➔ การปรับปรุงอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ
- ➔ การออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam
- ➔ Decision Support System to Improve Railway Track Maintenance Using Track-Quality Index (TQI)
- ➔ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเบต้าแคโรทีน โลโคพิน และฟลาโวนอยด์ ของมะม่วงรับประทานดิบ สายพันธุ์พื้นบ้านในประเทศไทยหลังการเก็บเกี่ยว
- ➔ Effect of Total Phenolic Content on Metal Chelation and Free Radical Scavenging Activity of *Rhizophora apiculata*
- ➔ Screening and partial purification of antibacterial compounds from *Streptomyces* sp. strain RS2
- ➔ Knowledge and Understanding of Hazardous Waste by Community Participation of Khoksa-ad sub-district Administrative Organization, Khongchai district, Kalasin Province
- ➔ การศึกษาการจัดคราบเลือดโดยใช้ฝักโขม
- ➔ การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกด้วยลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท
- ➔ การพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าด้วยเทคนิคการประเมินแบบสองขั้นตอน
- ➔ ตัวแบบพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟ
- ➔ กลไกการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติสำหรับคำถามแบบปรนัยโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบออนโทโลยี
- ➔ การใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนสำหรับจำแนกลักษณะเด่นของฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจีย



วารสารวิจัย

มทร.กรุงเทพ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
Rajamangala University of Technology Krungthep Research Journal
ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2562 Vol 13 No.1 January – June 2019

เจ้าของ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ดร.สุกิจ นิดินัย	อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม	กรรมการสภาวิชาการมหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์สมชาย วงศ์วิเศษ	กรรมการสภามหาวิทยาลัย
ดร.สิริเบญจา กอวัฒนา	กรรมการสภามหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำภรณ์ บางเจริญพรพงศ์	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพรัตน์ ภักย์วิมุตติ	ผู้ช่วยอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชุตติเจื้อจัน	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวรุ่งทิพา วงศ์ไพศาลฤทธิ์	รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ดร.สุธรรม ศิวาวุธ	รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
-------------------	-----------------------------------

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ จ้าวสุวรรณ	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
ดร.กฤษณ์ สงวนพวง	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.อัฉรา จันทรฉาย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศเรฐ พัฒนเดช	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วรวจน์ ศรีวงศ์คล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ชนิษฐา เจริญลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัย จันทรมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุราษฎร์ พรหมจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมกริช ละวรรณวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจรีต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรนาถ ไกรภู
ดร.ประกอบ ชาตฤกษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เจ้าหน้าที่ประจำวารสาร

นางสาวเกตุดี อุเทน
นางนาฏนภา จรัส
นางสาวขวัญใจ ยุกศิริรัตน์
นางสาวศิริพร ช้างอยู่
นายวีระวัฒน์ ราษฎร์สภา
นายวันนิวัติ วันทนา

นางวิไรรัตน์ ราษฎร์สภา
นางจันทนา สังข์อู่
นางสาวกนกวรรณ วอนเพียร
นางสาวอัจฉรา จินดาจำนง
นางสาววันทนา ประณีธานธรรม

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ความเป็นมา

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ISSN 1906 - 0874 เป็นวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา ได้มีการจัดทำวารสารอย่างต่อเนื่องตั้งแต่พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารไทย (TCI) กลุ่มที่ 1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเผยแพร่เป็นราย 6 เดือน ซึ่งตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับละ 15-20 บทความ) และมีการดำเนินงาน จัดพิมพ์บทความประเภทต่าง ๆ ได้แก่ บทความวิจัย (Research paper) และ บทความวิชาการ (Academic paper)

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นบทความที่สร้างองค์ความรู้และมีคุณภาพในทางวิชาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอ้างอิงได้ เพราะผ่านการพิจารณาถ่วงถ่วงและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง อย่างน้อย 2 ท่าน ซึ่งเป็นการประเมินแบบไม่แสดงชื่อผู้แต่งและผู้ประเมิน (Double blinded) ก่อนที่จะเผยแพร่สู่สาธารณชน จึงทำให้วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ เป็นวารสารวิชาการที่มีคุณภาพ

กองบรรณาธิการ วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ จัดทำวารสารเป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่ให้กับสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นเพื่ออ้างอิงหรืออ่านบทความที่เปี่ยมด้วยองค์ความรู้ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research paper) และบทความวิชาการ (Academic paper) ที่มีคุณภาพของอาจารย์นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย
2. เพื่อส่งเสริมและเป็นกลไกการขับเคลื่อนงานวิจัย ทำให้เกิดผลงานวิจัยที่เข้าไปสู่การพัฒนาต่อภาคสังคม ชุมชน และนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนเพื่อต่อยอด และเกิดความเชื่อมโยงระหว่างงานวิจัยงานวิชาการ ซึ่งนำมาสู่การเกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และตอบสนองต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทย

นโยบายการรับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ มีความยินดีที่จะรับบทความจากอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาวิทยาศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ซึ่งผลงานวิชาการที่ส่งมาขอตีพิมพ์ต้องไม่เคยเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น

การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการพิจารณาถ่วงดุลคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

ข้อความที่ปรากฏอยู่ในแต่ละบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเล่มนี้ เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่าน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพแต่อย่างใด ความรับผิดชอบด้านเนื้อหา และการตรวจร่างบทความแต่ละบทความเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตนเองแต่ผู้เดียว

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์มีให้นำเนื้อหา หรือข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ ไปเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการ อย่างเป็นลายลักษณ์อักษร ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสาร

ผู้ประสงค์จะส่งบทความกรุณาอ่านรายละเอียดการส่งบทความที่คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ ซึ่งได้ระบุไว้ในเล่มวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ หรือ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> และสามารถส่ง Online ได้โดยกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนในระบบการส่งบทความ Online หากต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม ติดต่อได้ที่

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทร. 0 2286 9600 ต่อ 1177 โทรสาร 0 2287 9684
E-mail: utk_research_journal@mail.rmutk.ac.th
www.rdi.rmutk.ac.th

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ (ทุก 6 เดือนต่อฉบับ)
ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน
ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

การเผยแพร่

มอบให้สถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย และ
<https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk>

สถานที่ออกแบบและจัดพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัดศรีบูรณคอมพิวเตอร์การพิมพ์
95/84 ถนนสุขสวัสดิ์ ตำบลในคลองบางปลากด อำเภอพระสมุทรเจดีย์
จังหวัดสมุทรปราการ 10290
โทร. 02 816 2221, 089 519 2093
E – mail: sbpprinting@gmail.com

สารบัญ

หน้า

การลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในกระบวนการรักษาเนื้อไม้ของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูป
ด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน

Turbidity and Color Reduction of Reused Boron-Based Solution from Wood Preservation
Process of Rubber wood Processing Industry by Coagulation and Flocculation 1

อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์, พิษญา ธนาพัฒน์, ศิริวิวัฒนา รินทราณี, อิทธิวัฒน์ บุญสร้างสม

การศึกษาสมบัติทางแร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติกายภาพของดินเหนียวจากแหล่งผลิตเครื่องปั้น
ดินเผาพื้นบ้านชุมชนโรงอ่าง จังหวัดปัตตานี

Study of Mineralogy, Chemical Composition and Physical Properties of Clays from L°Cal
Pottery Areas Rongang Community Pattani Province 17

สุนารี บดีพงศ์, ปิยะ ผ่านศึก, อภิญา ศุภรัตน์

การผลิตถ่านกัมมันต์จากทางจากในแหล่งชุมชนลุ่มน้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง

The production of Activated Carbons from Nipa palm stalk in Palain River Basin Community,
Trang Province 30

สุปราณี วุ่นศรี, วราวุฒิ ดวงศิริ, นพดล โพธิ์ก่าเหน็ด

การปรับปรุงอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ

Improvement of temperature in compressor room to reduce the energy consumption of
compressed air system 42

ธีรนนท์ นามวงษา, ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์, ฉัตรชัย เบญจปิยะพร, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

การออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam

Flexible Pavement Overlay Design from Benkelman Beam 52

ธรรมมา เลียรธรวานิช, สวัสดิ์ ศรีเมืองธน

Decision Support System to Improve Railway Track Maintenance Using Track-Quality
Index (TQI) 59

Thawatchai Phanyakit, Thaned Satiaenam

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเบต้าแคโรทีน โลโคพีน และฟลาโวนอยด์ของมะม่วงรับประทานดิบสายพันธุ์
พื้นบ้านในประเทศไทยหลังการเก็บเกี่ยว

Antioxidant activity, beta-carotene, lycopene and flavonoid content of Thai native cultivars
of green mango (Mangifera indica) after harvest. 68

กฤษณ์ สงวนพวง

Effect of Total Phenolic Content on Metal Chelation and Free Radical Scavenging Activity of <i>Rhizophora apiculata</i>	82
Luksamee Vittaya, Juntra Ui-eng, Nararak Leesakul	
Screening and partial purification of antibacterial compounds from <i>Streptomyces</i> sp. strain RS2	90
Nongyao Nonpanya, Nattadon Pannuchaoenwong, Supunee Pladsrichuay, Kumpanat Chaiphet	
Knowledge and Understanding of Hazardous Waste by Community Participation of Khoksa-ad sub-district Administrative Organization, Khongchai district, Kalasin Province	98
Chompoo Nuasri, Nukool Kudthalang, Cherdchai Sombatyotha, Watchara Senajuk, Somsuk Trisupakitti	
การศึกษาการขจัดคราบเลือดโดยใช้ผักโขม	
The Study of Blood Stain Removal by using Spinach	109
นลินอร น้อยปลอด	
การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกด้วยลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท	
Ethanol Production from Ripe Palmyra Palm Fruit Pulp Extract using Loog Pang Khao MaK and Loog Pang Satho	116
โกสินทร์ ทีปักษ์พันธ์, ณิชชา ประสงค์จันทร์, นพดล โพชกำเหนิด	
การพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าด้วยเทคนิคการประเมินแบบสองขั้นตอน	
The Development of Rental Car Efficiency using Two-Phase Technique	128
ดวงกมล จุลกะเศียน, ธรีณี มณีศรี, ศิริประภา มโนมัยย์	
ตัวแบบพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟ	
Forecasting Model for Coffee Bean Prices.....	141
วรางคณา เรียนสุทธิ์	
กลไกการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติสำหรับคำถามแบบปรนัยโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบออนโทโลยี	
Automatic Quiz Generation Mechanism for Multiple Choices Question by Applying Ontological Data.....	156
ศศิธร หนูทอง, สุนทร วิฑูรพจน์, เบญจพร หนูทอง	
การใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนสำหรับจำแนกลักษณะเด่นของฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจีย	
Supervised Learning for Demospongiae Identification using Graph Mining Technique	167
ณัฐธิมา สุรเดช, วิลาวัลย์ ยาทองคำ	

การลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในกระบวนการรักษาเนื้อไม้
ของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูปด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน
Turbidity and Color Reduction of Reused Boron-Based Solution from Wood
Preservation Process of Rubber wood Processing Industry by Coagulation
and Flocculation

อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์^{1*}, พิชญา ธนาผยนันต์¹, ศิริวัฒนา รินทราณี¹, อธิวัฒน์ บุญสร้างสม¹
Usarat Thawornchaisit^{1*}, Pichaya Thanartyanan¹, Siriwatthana Rinthamee¹,
Ittiwat Boonsangsom¹

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

*Corresponding author Tel: 08 6310 3831, E-mail: usarat.th@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้น้ำยาโบรอนซ้ำในกระบวนการรักษาเนื้อไม้โดยวิธีการอัดน้ำยาด้วยแรงดันของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูป ทำให้สีของน้ำยาโบรอนเปลี่ยนจากใสเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นจนถึงสีดำซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการนำกลับไปใช้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสีธรรมชาติของไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยา งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้เป็นน้ำยารักษาเนื้อไม้ด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ และค่าพีเอชของน้ำยาโบรอน ผลการศึกษาพบว่า การลดความขุ่นและสีเกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนเท่ากับ 8 เมื่อใช้ปริมาณสารส้ม (Alum) เพอร์ริคคลอไรด์ (FeCl_3) และโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ที่ 4.7, 1.7 และ 3.3 กรัมต่อลิตร ตามลำดับที่ภาวะดังกล่าว ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้คือ PAC (95.6%) > FeCl_3 (92.1%) > Alum (87.4%) ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่าเป็นดังนี้คือ FeCl_3 (97.8%) > PAC (96.7%) > Alum (96.1%) ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกโคแอกกูแลนต์เพื่อใช้ในการกำจัดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการรักษาเนื้อไม้

คำสำคัญ: การกำจัดสารสี การกำจัดความขุ่น โคแอกกูแลนต์ กรดบอริก อุตสาหกรรมไม้ยางพารา

ABSTRACT

The reusability of boron solution in wood preservation process using pressurizing impregnation process of the rubber wood industry causes the color in the solution

Received 17-11-2018
Revised 04-01-2019
Accepted 07-01-2019

changed from colorless to dark brown and even black as the increase number of its reused cycles. Applying those solutions to the process affects the natural color of the treated wood. This research was conducted to investigate the efficiency of coagulation and flocculation to reduce the turbidity and color of boron solution that was used as wood preservative. Types of coagulants, coagulant dosage and initial pH of boron solution were studied. Results showed that the maximum reduction of turbidity and color occurred when alum, ferric chloride (FeCl_3), and polyaluminium chloride (PAC) at the amount of 4.7, 1.7, and 3.3 g/L, respectively, were added to boron solution with initial pH of 8.0. At the stated conditions, removal efficiency for turbidity were in order of PAC (95.6%) > FeCl_3 (92.1%) > Alum (87.4%). Color removal efficiency were in order of FeCl_3 (97.8%) > PAC (96.7%) > Alum (96.1%). The results of the current study can be used as preliminary information for the selection of coagulants for the removal of turbidity and color of boron solution for recycling purpose in the wood preservation process.

Keywords: Decolorization, Turbidity removal, Coagulant, Boric acid, Rubber wood industry

1. บทนำ

ในอดีตไม้ยางพาราถือเป็นผลพลอยได้จากการผลิตยางของเกษตรกร ซึ่งชาวสวนยางมักโค่นต้นยางและเผาทิ้งเมื่อต้นยางมีอายุมากและให้ผลผลิตน้อยไม่คุ้มค่ากับต้นทุนการผลิต ในยุคแห่งการตื่นตัวของประเทศทั่วโลกเกี่ยวกับการอนุรักษ์และรักษาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้และต้นน้ำ ทำให้แต่ละประเทศรวมทั้งประเทศไทย ดำเนินนโยบายผลักดันให้หยุดการตัดหรือการเลื่อยแปรรูปไม้จากป่าไม้ธรรมชาติ ส่งผลให้ไม้ยางพาราเข้ามามีบทบาทต่อการค้าระหว่างประเทศ ตลอดจนการนำมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศมากขึ้น อีกทั้งไม้ยางพาราเป็นเพียงไม้ชนิดเดียวของไทยที่ได้รับอนุญาตให้ส่งออกได้ไม่จำกัดปริมาณและเป็นไม้เศรษฐกิจหลักที่สร้างรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศ [1] กลุ่มธุรกิจไม้ยางพาราแปรรูปจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศ ดังจะเห็นได้จากปริมาณส่งออกไม้ยางพารา

แปรรูปที่ขยายตัวมากขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2555 ถึง 1.5 เท่า [1] ซึ่งเป็นสิ่งจูงใจให้ผู้ประกอบการแปรรูปไม้ยางพารารายใหม่มากขึ้น ประกอบกับผู้ประกอบการรายเดิมขยายกำลังการผลิต ส่งผลให้อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราจัดเป็นกลุ่มธุรกิจที่มีการแข่งขันกันสูง การควบคุมหรือลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นแนวทางปฏิบัติสำคัญเพื่อให้ได้กำไรต่อหน่วยอยู่ในระดับที่ผู้ประกอบการพึงพอใจ

กระบวนการแปรรูปไม้ยางพาราประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การเลื่อยแปรรูปไม้ยางพารา 2) การอัดน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ และ 3) การอบแห้ง เนื่องจากในเนื้อไม้ยางพารามีแป้งสะสมอยู่มากกว่าเนื้อไม้ทั่วไปถึง 5 เท่า [2] ทำให้ไม้ยางพาราที่ผ่านการตัดโค่นหรือผ่านการเลื่อยแปรรูปใหม่ ๆ เป็นไม้ที่ถูกศัตรูทำลายเนื้อไม้ เช่น เชื้อรา แมลงจำพวกมอดหรือปลวก เข้าทำลายได้ง่ายและรวดเร็ว การรักษาเนื้อไม้ด้วยการอบ/อัดน้ำยาจึงเป็นขั้นตอนที่ต้องรีบดำเนินการทันทีภายหลังจาก

การเลื่อยแปรรูปไม้ เพื่อยับยั้งหรือป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเนื้อไม้จากการเจริญเติบโตของศัตรูทำลายไม้ ถึงแม้ว่าไมยางพาราเป็นไม้ที่ทนน้ำยาได้ง่าย แต่เนื่องจากวิธีการอาบน้ำยา เช่น การจุ่ม/แช่ไม้ในน้ำยา ทำให้ตัวน้ำยาเคลือบอยู่ที่ผิวไม้หรืออาจซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้เพียงเล็กน้อย ส่งผลให้ปริมาณที่อยู่บนเนื้อไม้อาจไม่เพียงพอที่จะป้องกันศัตรูทำลายไม้ [3] ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการที่มีกำลังหรือเงินทุนในการสร้างเครื่องอัดน้ำยา มักเลือกใช้วิธีการอัดน้ำยาแบบใช้แรงอัดหรือแรงดัน หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “การอัดน้ำยาไม้” เป็นขั้นตอนการรักษาเนื้อไม้ วิธีการดังกล่าวมักจะใช้ร่วมกันกับยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายน้ำ เช่น สารประกอบโบรอนหรือน้ำยาโบรอน [2, 4] โดยน้ำยาจะถูกอัดภายใต้แรงดันเข้าไปในเซลล์เนื้อไม้ในถังทรงกระบอก (Cylinder) ที่มีฝาปิดเปิดได้และสามารถต้านทานต่อกำลังอัด (Pressure) ได้สูง จึงเรียกถังนี้ว่า ถังอัดน้ำยา (Impregnating cylinder) ถังอัดน้ำยาทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1.8-2.7 เมตร ยาวตั้งแต่ 4.5 เมตรขึ้นไป [5] หากคำนวณปริมาตรน้ำยาที่บรรจุเต็มความจุของถังทรงกระบอก พบว่าในแต่ละรอบของการอัดน้ำยา ผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้ปริมาตรน้ำยาสูงระหว่าง 25-38 ลูกบาศก์เมตร หรืออาจมากกว่าตามความยาวของถังที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องนำน้ำยารักษาเนื้อไม้กลับมาใช้ซ้ำ ๆ ในกระบวนการอัดน้ำยา การดำเนินการด้วยวิธีดังกล่าวจะช่วยควบคุมต้นทุนในการแปรรูปไมยางพาราที่เกิดจากการเปลี่ยนน้ำยารักษาเนื้อไม้ใหม่ และค่ากักเก็บน้ำยารักษาเนื้อไม้ที่เสื่อมสภาพ ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำยาเสื่อมสภาพก่อนปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

“น้ำยาโบรอน” หรือ “สารประกอบโบรอน” เป็นของผสมระหว่างกรดบอริก (H_3BO_3) กับบอแรกซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) ซึ่งนิยมนำมาใช้ในกระบวนการรักษาเนื้อไม้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไมยางพาราของไทยและอีกหลายประเทศในทวีปเอเชีย เนื่องจากตัวน้ำยาไม่มีสี และแพร่กระจายแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ดี รวมถึงมีฤทธิ์ยับยั้งศัตรูทำลายไม้ได้หลายชนิด [2, 6-9] ประกอบกับวิธีการเตรียมน้ำยาเพื่อนำไปใช้งานทำได้ไม่ยุ่งยาก [10] เพื่อเป็นการควบคุมต้นทุนการผลิตไมยางแปรรูปดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น น้ำยาโบรอนจะถูกนำมาใช้ซ้ำ ๆ พร้อมกับมีการเติมตัวยาลงในน้ำยาดังกล่าวเป็นประจำเพื่อรักษาปริมาณสารประกอบโบรอนให้เพียงพอที่จะปรากฏในเนื้อไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยา ผลจากการใช้น้ำยาโบรอนติดต่อกันหลายครั้ง จะทำให้น้ำยาโบรอนมีความเข้มข้นและสีเข้มขึ้นจนถึงสีดำคล้ำตามจำนวนรอบการนำกลับมาใช้ ความเข้มของสีเกิดจากการชะละลายของอินทรีย์วัตถุทางธรรมชาติ (Natural organic matters, NOMs) ออกมาจากเนื้อไม้ ซึ่งสารปนเปื้อนที่สำคัญได้แก่ สารอินทรีย์พวกโพลีฟีนอล แทนนิน เพคติน และลิกนิน [11] การนำน้ำยาโบรอนที่มีสีคล้ำดังกล่าวมาใช้ซ้ำจะส่งผลต่อคุณภาพของสีไม้ที่จะอัดน้ำยาในครั้งต่อไป ด้วยเหตุนี้การลดหรือกำจัดความขุ่นและสีในน้ำยาโบรอนเพื่อคืนสภาพความใสให้กับน้ำยาโบรอนจึงเป็นแนวทางหนึ่งของการนำน้ำยาโบรอนกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของไมยางพาราแปรรูปที่ผ่านการอัดน้ำยารวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการกักเก็บน้ำยาโบรอนที่เสื่อมสภาพ ตลอดจนลดปริมาณการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation-flocculation) เป็นวิธีการ

หนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดความขุ่นจากอนุภาคสารแขวนลอย [12-13] ตลอดจนสารสีในน้ำที่เกิดจากอินทรีย์วัตถุทางธรรมชาติ [11, 14-15] หรือสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช [16] วิธีการดังกล่าวเริ่มจากการเติมสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอน หรือที่เรียกว่า โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) เพื่อทำให้อนุภาคสารแขวนลอยรวมทั้งสารสีที่ไม่เสถียรเริ่มรวมตัวกัน โดยอาศัยการปั่นกวอย่างรวดเร็ว (Rapid mixing) จากนั้นอนุภาคที่ไม่เสถียรนี้สามารถเคลื่อนมาสัมผัสกันแล้วเกิดการเกาะติดกันจนเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ หรือที่เรียกว่า ฟล็อก (Floc) ด้วยวิธีการปั่นกวอย่างช้า (Slow mixing) เรียกกระบวนการนี้ว่าการสร้างตะกอนหรือฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) งานวิจัยที่ผ่านมาของจรรยาและคณะ [11] ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PAC) เข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร ร่วมกับสารช่วยสร้างตะกอนจำพวกพอลิเมอร์แบบแอนไอออน (Anionic polymer) และพอลิเมอร์แบบแคทไอออน (Cationic polymer) ในปริมาณ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีในน้ำยาโบรอนที่มีพีเอชเท่ากับ 8 ได้เป็นอย่างดี โดยกระบวนการดังกล่าวสามารถกำจัดสีของน้ำยาโบรอนได้สูงถึง 96 % งานวิจัยของปวีณาและคณะ [17] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สารส้ม (Alum) ในการลดสีของน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา พบว่าสารส้มสามารถกำจัดสีของน้ำยาโบรอน ซึ่งมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 ได้ถึง 95 % เมื่อใช้ในปริมาณ 3.5 กรัมต่อลิตร ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ PAC มีราคาต่อหน่วยน้ำหนักสูงกว่าเมื่อเทียบกับ Alum และ $FeCl_3$ ซึ่งเป็นโคแอกกูแลนต์อีกชนิดที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสียด้วยเช่นกัน ประกอบกับยังไม่พบการศึกษาใด ๆ ที่ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ

โคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดนี้ในการบำบัดน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำ ๆ ของอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูปงานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในกระบวนการอัดน้ำด้วยวิธีการโคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชัน โดยใช้โคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม (Alum) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PAC) และเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride, $FeCl_3$) ซึ่งจะทำให้ได้แนวทางในการคืนสภาพน้ำยาโบรอนเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องสีกับเนื้อไม้ยางพาราแปรรูปที่ผ่านการอัดน้ำยา

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 น้ำยาโบรอนและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

น้ำยาโบรอนที่ใช้ในการศึกษาได้รับมาจากโรงงานไม้ยางพาราแปรรูปแห่งหนึ่งของอำเภอแกลง จังหวัดระยอง เป็นตัวอย่างน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งานในกระบวนการรักษาเนื้อไม้ด้วยวิธีใช้แรงอัดแบบเต็มเซลล์ (Full cell process) โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย Alum $FeCl_3$ และ PAC ซึ่งสารเคมีทั้งสามชนิดเป็นสารเคมีเกรดทางการค้าจำหน่ายโดยบริษัทเอเพกซ์ เคมีคัล จำกัด

2.2 การบำบัดน้ำยาโบรอนด้วยวิธีการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี

การลดความขุ่นและสารสีของน้ำยาโบรอนด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน หรือที่เรียกว่า โคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชัน (Coagulation-Flocculation) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องจาร์เทสต์ (Jar test) รุ่น JLT6 บริษัท VELP ประเทศอิตาลี ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ชนิดของโคแอกกูแลนต์ ปริมาณของโคแอกกูแลนต์ และ

ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษ โดยใช้ตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ที่มีพีเอชเริ่มต้นตามที่จะศึกษา มาปั่นกวนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติม โคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดในปริมาณที่ต่างกัน ตามที่กำหนดเดินใบพัดเพื่อปั่นกวนเร็วที่ความเร็ว รอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และกวนช้า ที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ถ่าย ตัวอย่างทั้งหมดลงในกรวยอิมมอฟ ขนาด 1000 มิลลิลิตร เพื่อวางให้ตกตะกอนนาน 2 ชั่วโมง เพื่อนำ ส่วนใสมาวัดความขุ่นและสี เพื่อประเมิน ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสีของ กระบวนการ พร้อมกับวัดปริมาณกรดบอริก เพื่อ ประเมินความสามารถของกระบวนการในการคืน สภาพของน้ำยาโบรอน

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำยาโบรอน

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำยา โบรอนทั้งก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดที่ทำการ วิเคราะห์ ได้แก่ พีเอชด้วยเครื่องมือวัดค่าพีเอช (pH meter, Metrohm 827) ความขุ่นด้วยเครื่องมือวัด ความขุ่น (Turbidity meter, HACH 2100A) ค่าสีใน หน่วย ADMI ด้วยวิธี 2120E-ADMI Tristimulus filter method [18] ปริมาณกรดบอริกด้วยวิธีการไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ [19]

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

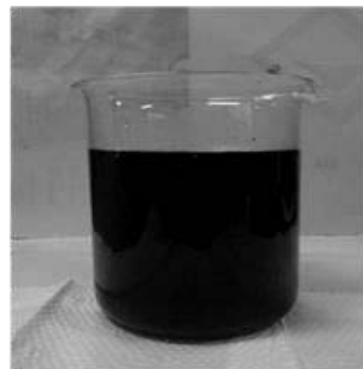
นำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสี ความขุ่น และปริมาณกรดบอริกที่ได้จากการวัดตัวอย่างใน แต่ละระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษา มาคำนวณ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลที่วัดได้ในแต่ละ ระดับของปัจจัยที่ศึกษา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วย

สถิติการผันแปรทางเดียว (One way analysis of variance: ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 17.0 กรณีที่ผลทดสอบทางสถิติพบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % จะใช้การเปรียบเทียบความแตกต่าง ค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple comparison test) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะและสมบัติของน้ำยาโบรอน

ลักษณะของน้ำยาโบรอนที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังภาพที่ 1 ผลจากการใช้งานซ้ำหลายรอบใน การอัดน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ ทำให้น้ำยาโบรอนมีสี น้ำตาลเข้มจนถึงเกือบดำ สีที่เข้มขึ้นของน้ำยาโบรอน สันนิษฐานว่าเกิดจากการละลายของสารสีจำพวก โพลีฟีนอล แทนนิน เพคติน และลิกนิน ซึ่งจะละลาย ออกมาจากเซลล์ของเนื้อไม้ระหว่างการอัดน้ำยาแบบ ใช้แรงดัน [11] ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำยา โบรอน พบว่าตัวอย่างที่ได้รับมาจากโรงงานแปรรูปไม้ ยางพารามีค่าพีเอชเป็นด่าง (8.14 ± 0.01) ความขุ่น มีค่าเท่ากับ 70.5 ± 0.26 NTU สีของตัวอย่างมีค่า เท่ากับ 813 ± 11 ADMI และมีปริมาณกรดบอริก เท่ากับ 9.78 ± 0.16 กรัมต่อลิตร

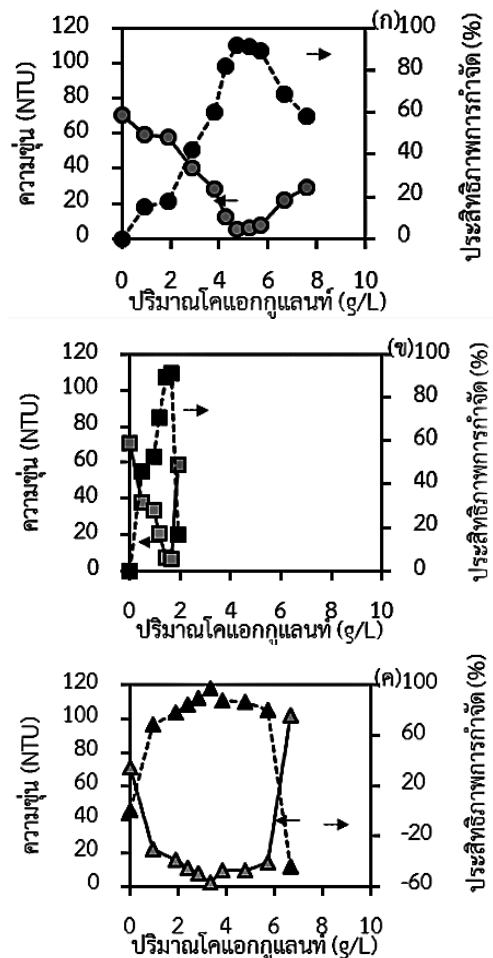


ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำยาโบรอน ที่ใช้ในการศึกษา

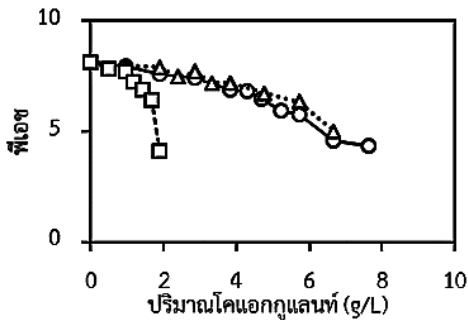
3.2 ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่นและการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัด

เมื่อนำตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชตามสภาพที่ได้รับมาบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อกกูเลชัน โดยแปรผันปริมาณของโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ Alum FeCl_3 และ PAC พบว่าความสามารถในการกำจัดความขุ่นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการสร้างตะกอนดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่นของโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือความขุ่นของน้ำยาโบรอนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของโคแอกกูแลนต์จนถึงระดับหนึ่ง และเมื่อเพิ่มปริมาณโคแอกกูแลนต์จากจุดดังกล่าว ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้ Alum ปริมาณ 1.0 กรัมต่อลิตร ทำให้ความขุ่นของน้ำยาโบรอนลดลงจาก 70.5 NTU (ก่อนบำบัด) เหลือ 59.7 NTU การเพิ่มปริมาณ Alum จาก 1.0 ถึง 4.7 กรัมต่อลิตร ทำให้ความขุ่นของน้ำยาโบรอนลดลงจาก 59.7 เป็น 5.47 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น 92.2 % (ภาพที่ 2ก) และเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum เป็น 5.2 ถึง 7.6 กรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของ Alum มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ความสามารถในการกำจัดความขุ่นที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณ Alum มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) ที่มีมากขึ้นในระบบ ซึ่งไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมนี้สามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคสารแขวนลอยที่มีประจุตรงข้าม ส่งผลให้เกิดการกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น

นอกจากนี้การเติม Alum นี้ยังทำให้พีเอชของน้ำมีค่าลดลง โดยพีเอชของน้ำยาโบรอนมีค่าลดลงจาก 8.1 (ก่อนบำบัด) เหลือ 6.5 เมื่อใช้ปริมาณ Alum ที่ 4.7 กรัมต่อลิตร และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้ Alum ในปริมาณมากขึ้น (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 ความสามารถในการกำจัดความขุ่นของน้ำยาโบรอนเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อ (ก) Alum (ข) FeCl_3 และ (ค) PAC



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคแอกกูแลนต์กับพีเอชของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัด เมื่อ $\circ$ คือ Alum, $\square$ คือ FeCl_3 , $\triangle$ คือ PAC

การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายมีผลต่อปริมาณสารคอมเพล็กซ์ระหว่างอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) กับไฮดรอกไซด์ (OH^-) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งจะพบเกิดขึ้นเป็นหลักเมื่อพีเอชของน้ำมีค่าในช่วงระหว่าง 6-7 และจะมีปริมาณสูงสุดเมื่อพีเอชมีค่าเท่ากับ 6.5 [20-21] ด้วยเหตุนี้การเติม Alum ในปริมาณมากขึ้นจะทำให้เกิดผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสให้สารแขวนลอยรวมทั้งสารสีเกาะเกิดเป็นตะกอนแยกออกจากน้ำได้ในปริมาณมากขึ้น [22-23] เส้นกราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดจึงมีค่าสูงขึ้น (ภาพที่ 2ก) สำหรับการลดลงของร้อยละการกำจัดความขุ่นเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum เป็น 5.2 กรัมต่อลิตรเป็นต้นไปนั้น สะท้อนถึงผลของการเติม Alum ในปริมาณมากเกินไป (ภาพที่ 2ก) การเติม Alum ในช่วงดังกล่าวไม่เพียงลดความสามารถในการกำจัดความขุ่น ยังทำให้พีเอชของน้ำตัวอย่างมีค่าเป็นกรดมากขึ้น (ภาพที่ 3) ซึ่งจะก่อให้เกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวกของ Al^{3+} กับ OH^- เช่น $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})^{+}_2$ ไปล้อมรอบที่ผิวอนุภาคของสารแขวนลอยในจำนวนมากขึ้น จนทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคสารแขวนลอยแทนที่

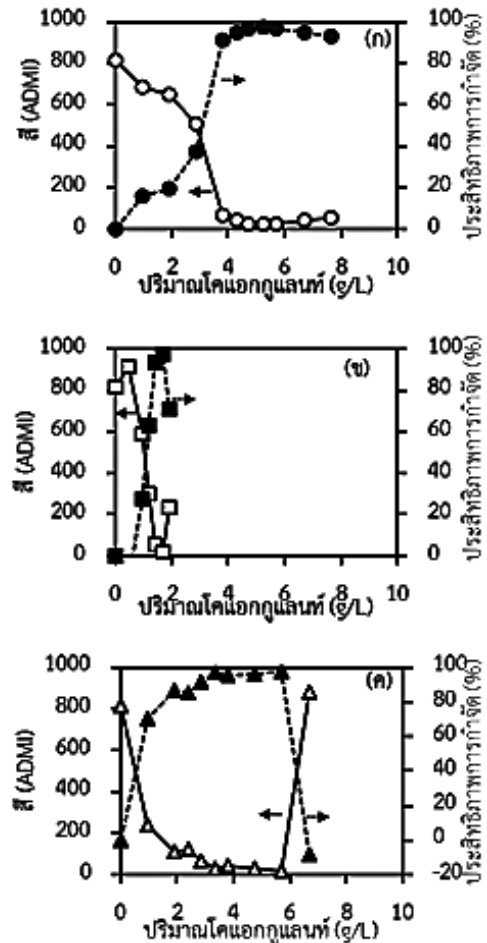
การจับตัวกัน ส่งผลให้อนุภาคสารแขวนลอยในน้ำกลับมาอยู่ในสถานะเสถียร (Restabilization) [12-13] สำหรับความสามารถในการกำจัดความขุ่นของ FeCl_3 พบว่ามีรูปแบบของผลการทดลองคล้ายกับการใช้ Alum ต่างกันที่ FeCl_3 สามารถกำจัดความขุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า (ภาพที่ 2ข) ดังจะเห็นได้จากปริมาณ FeCl_3 ที่ 1.7 กรัมต่อลิตร ทำให้น้ำยาโบรอนมีความขุ่นเท่ากับ 6.37 NTU คิดเป็นร้อยละของการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 91 % ซึ่งถือว่าใช้ปริมาณน้อยกว่า Alum 2-3 เท่า แต่ได้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะความขุ่นของน้ำยาโบรอนเกิดจากสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ถูกชะจากเนื้อไม้ยางพาราในระหว่างกระบวนการอัดน้ำยาโดยใช้แรงดัน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Mesdaghinia et al. [24] ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ Alum กับ FeCl_3 ในการกำจัด NOMs ด้วยการทดสอบจารทดสอบ และพบว่า FeCl_3 มีประสิทธิภาพในการกำจัด NOMs ได้ดีกว่า Alum ซึ่งอาจเกี่ยวเนื่องกับการที่ FeCl_3 มีจำนวนประจุบวกแอ็กทีฟ (Active positive charges) มากกว่า Alum เมื่อเทียบต่อหน่วยน้ำหนักที่เท่ากัน ทำให้ FeCl_3 มีอำนาจหรือความสามารถในการเพิ่ม/ให้ประจุบวกกับอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำได้ดีกว่า ส่งผลให้เกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ได้มากกว่า Alum [24]

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ PAC ต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่นของน้ำยาโบรอน พบว่ามีแนวโน้มในทำนองเดียวกับการใช้ Alum และ FeCl_3 ยกเว้น PAC สามารถกำจัดความขุ่นได้สูงกว่า ดังจะเห็นได้จากปริมาณการใช้ PAC ที่ 3.3 กรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นของน้ำยาโบรอนลงเหลือ 2.2 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้

สูงถึง 96.9 % (ภาพที่ 2ค) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ PAC จัดเป็นพอลิเมอร์อนินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (มวลโมเลกุลเท่ากับ 440,000 ดาลตัน [16] เมื่อใส่ลงในน้ำยาโบรอนซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลาย จะให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นจำนวนมากเกาะกับอนุภาคสารแขวนลอย ซึ่งจะสามารถรวมตัวกับอนุภาคสารแขวนลอยได้ดีและเกิดเป็นกลุ่มตะกอนได้เร็ว ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ดีกว่าของ PAC เมื่อเทียบกับ Alum และ FeCl_3 ได้ถูกรายงานไว้เช่นกันในงานวิจัยของ Aktas et al. [16] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความสามารถของโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดนี้ในการกำจัดฟิโคไฟโตแพลงก์ตอน (Picophytoplankton) ที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ

3.3 ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อความสามารถในการกำจัดสี

เมื่อนำตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชตามสภาพที่ได้รับมาบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน โดยแปรผันปริมาณของโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ Alum FeCl_3 และ PAC พบว่าเส้นกราฟการกำจัดสีมีรูปแบบของผลการทดลองคล้ายกับลักษณะที่พบในเส้นกราฟการกำจัดความขุ่น กล่าวคือการเพิ่มปริมาณโคแอกกูแลนต์ ทำให้ความสามารถในการกำจัดสีของโคแอกกูแลนต์มีค่าเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมโคแอกกูแลนต์ในปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ Alum มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ปริมาณ Alum ระหว่าง 4.7-5.7 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะดังกล่าว Alum มีความสามารถในการกำจัดสีอยู่ระหว่าง 96.7-97.4 % (ภาพที่ 4ก)



ภาพที่ 4 ความสามารถในการกำจัดสีของน้ำยาโบรอนเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อ (ก) Alum (ข) FeCl_3 และ (ค) PAC

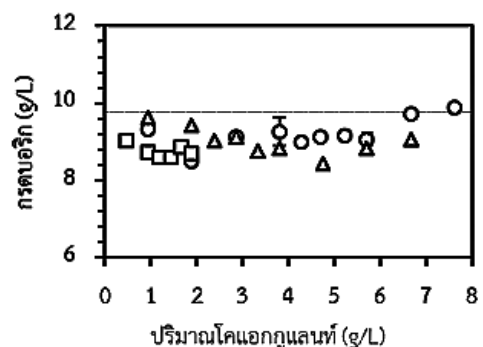
ส่วนความสามารถในการกำจัดสีของ PAC จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 96.2-97.7 % เมื่อใช้ PAC ในปริมาณระหว่าง 3.3-5.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ค) ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ FeCl_3 เกิดขึ้นได้ดีสุดที่ 97.6 % เมื่อใช้ FeCl_3 ปริมาณ 1.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ข) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีของโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิด พบว่า

FeCl_3 ซึ่งใช้ปริมาณน้อยกว่าสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อควรระวังในเรื่องการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโคแอกกูแลนต์ เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดสีของ FeCl_3 มีความอ่อนไหวอย่างมากต่อปริมาณของ FeCl_3 ที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบ ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มปริมาณ FeCl_3 จาก 1.7 เป็น 1.9 g/L ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีมีค่าลดลงจาก 97.6 เป็น 71.3 % การใช้ Alum และ PAC เป็นโคแอกกูแลนต์ จึงมีข้อได้เปรียบกว่า ในเรื่องข้อควรระวังเกี่ยวกับปริมาณของโคแอกกูแลนต์ เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดสีของ Alum และ PAC มีความอ่อนไหวน้อยกว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโคแอกกูแลนต์ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีตั้งแต่ 90 % ขึ้นไป จึงพบได้ในช่วงปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่กว้างกว่าเมื่อเทียบกับ FeCl_3 โดยในกรณีของ Alum จะพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีตั้งแต่ 90 % เมื่อใช้ในปริมาณระหว่าง 3.8-7.2 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ก) เช่นเดียวกับ PAC ที่พบว่าให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีตั้งแต่ 90 % ขึ้นไป เมื่อใช้ในปริมาณ PAC ระหว่าง 2.9-5.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ค) สีของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดในช่วงปริมาณดังกล่าวมีค่าระหว่าง 18.2-69.9 ADMI ในขณะที่ปริมาณการใช้ FeCl_3 เพื่อกำจัดสีให้ได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ Alum หรือ PAC นั้นจะมีช่วงที่แคบกว่า คือ 1.4-1.7 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4ข)

3.4 ผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ต่อปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน

ปริมาณกรดบอริกมีความจำเป็นต่อการรักษาเนื้อไม้ ด้วยเหตุนี้ระดับความเข้มข้นของกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดจึงเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่ยกถึงความสามารถของโคแอกกูแลนต์ในการคืนระดับความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้นการเติม Alum ใน

ปริมาณ 6.7 กรัมต่อลิตรและ 7.6 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามผลการศึกษามิพบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคแอกกูแลนต์กับปริมาณกรดบอริกที่เปลี่ยนแปลงไป สะท้อนให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณโคแอกกูแลนต์ไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน จากผลการศึกษาข้างต้นร่วมกับผลการศึกษาในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 จึงเลือกปริมาณ Alum, PAC และ FeCl_3 ที่ 4.7 , 3.3 และ 1.7 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพื่อใช้ในการศึกษาผลของพีเอชต่อไป

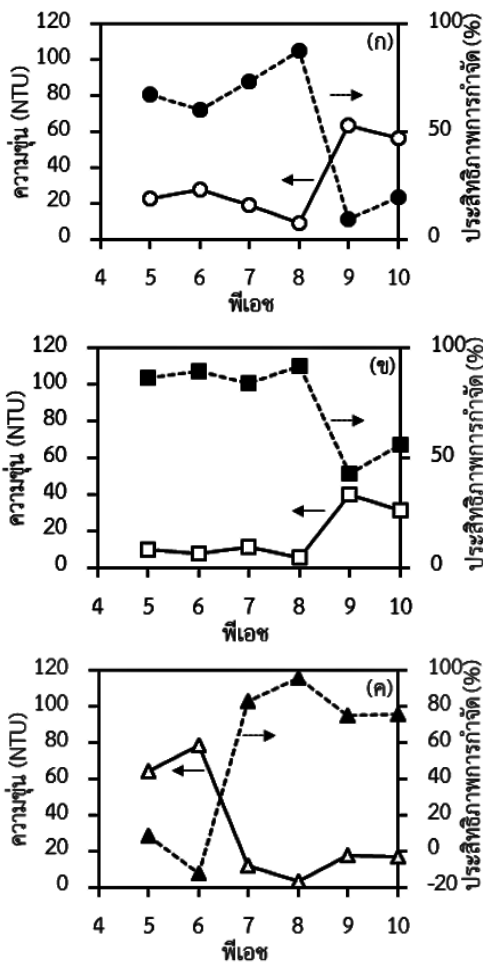


ภาพที่ 5 ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ในปริมาณต่างกันเมื่อเส้นประ (-----) แสดงปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนก่อนการบำบัด, ○ คือ Alum, □ คือ FeCl_3 , และ △ คือ PAC

3.5 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการกำจัดความขุ่น

เมื่อนำตัวอย่างน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งปรับพีเอชเริ่มต้นให้เป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 มาบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนโดยใช้ปริมาณ Alum FeCl_3 และ PAC ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 3.4 พบว่าการเพิ่มพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนจาก 5 เป็น 8 ทำให้ประสิทธิภาพ

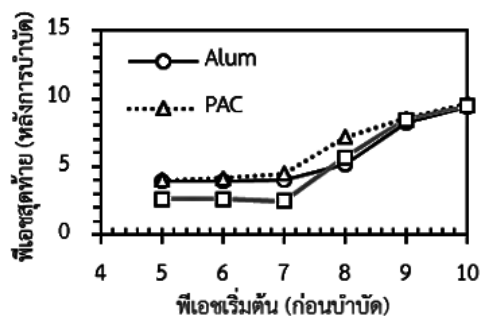
การกำจัดความขุ่นโดยใช้ Alum และ PAC มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยน้ำยาโบรอนมีความขุ่นต่ำสุดเท่ากับ 8.9 และ 3.3 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 87.4 และ 95.6 %ตามลำดับ (ภาพที่ 6 และ 6ค)



ภาพที่ 6 ความสามารถของ (ก) Alum (ข) FeCl₃ และ (ค) PAC ในการกำจัดความขุ่นของน้ำยาโบรอนที่พีเอชต่างกัน

เมื่อเพิ่มพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนเป็น 9.0 และ 10.0 ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่า

ลดลง โดยประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของ Alum และ PAC เกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่าเท่ากับ 8.0 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติม Alum และ PAC ทำให้พีเอชของน้ำยาโบรอนลดต่ำลงไปถึงสภาวะที่เอื้อต่อการเกิดตะกอนเบาของ $Al(OH)_3$ ซึ่งตะกอนดังกล่าวเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าระหว่าง 6-7 [20-21] ผลที่ตามมาคือระบบจะมี $Al(OH)_3(s)$ ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสในการกำจัดอนุภาคสารแขวนลอย รวมทั้งสารสีในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น สอดรับกับผลการวิเคราะห์พีเอชหลังการบำบัดในการศึกษาครั้งนี้ ที่พบว่า การเติม Alum และ PAC ลงในน้ำยาโบรอนที่มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 จะทำให้พีเอชของน้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดมีค่าลดลงเป็น 5.2 และ 7.1 ตามลำดับ (ภาพที่ 7)



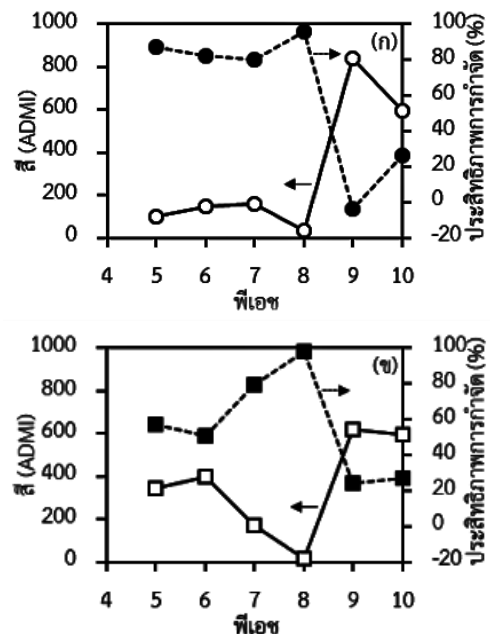
ภาพที่ 7 พีเอชของน้ำยาโบรอนหลังจากการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ที่พีเอชเริ่มต้นต่างกัน

การลดลงของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่ามากกว่า 8.0 อาจเกิดจากการเปลี่ยนรูปของสารประกอบเชิงซ้อนหรือสารคอมเพล็กซ์ระหว่าง Al^{3+} กับ OH^- จากรูปฟอร์มตะกอนเบาของ $Al(OH)_3$

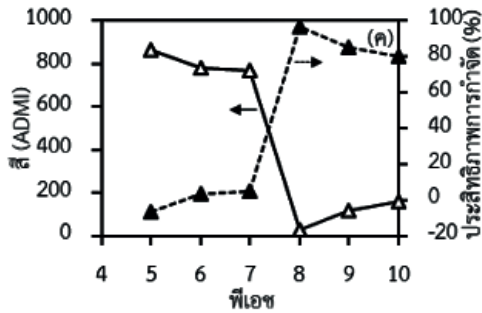
เป็นสารคอมเพล็กซ์ประจุลบที่สำคัญคือ $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ [25] ซึ่งอาจเป็นประจุเดียวกันกับอนุภาคของสารแขวนลอยในน้ำ อย่างเช่นคอลลอยด์ รวมไปถึงสารสีในน้ำยาโบรอน อย่างเช่น NOMs ซึ่งอาจมีประจุที่เป็นลบ ดังระบุไว้ในงานวิจัยของ Saeid et al. [14] ส่งผลให้ Alum และ PAC มีความสามารถในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ลดลง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจึงลดลงตามไปด้วย ในกรณีของ FeCl_3 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงพีเอชเริ่มต้นระหว่าง 5 ถึง 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน แต่ไม่ชัดเจนดังในกรณีของ Alum และ PAC ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของ FeCl_3 ที่พีเอชเริ่มต้นระหว่าง มีค่าระหว่าง 7-5 % 89.5-84.3 การกำจัดความขุ่นของ FeCl_3 เกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่าเท่ากับ คิดเป็น 8 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้เท่ากับ 92.1 % โดยการเพิ่มพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนเป็น 10 และ 9 ทำให้น้ำยาโบรอนภายหลังการบำบัดมีความขุ่นเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้อาจเกี่ยวข้องกับ การละลายน้ำและการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ FeCl_3 ในช่วงพีเอชน้อยกว่า ซึ่งจะได้เฟอร์ริกไอออน 8 (Fe^{3+}) และสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น $\text{Fe}(\text{OH})_2^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ที่ทำหน้าที่สะเทินประจุลบของสารแขวนลอยหรือสารสีที่มีในน้ำ รวมถึงการเกิดตะกอนของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ที่ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคสารแขวนลอยหรือสารสีมาเกาะยึดและเกิดการตกตะกอนแยกออกจากน้ำ [14, 26] การเพิ่มพีเอชเป็น 9 และ 10 ทำให้เกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบได้แก่ $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ [26] ส่งผลให้ความสามารถในการสร้างและรวมตะกอนของ FeCl_3 นั้นลดลงเช่นเดียวกับที่ปรากฏใน Alum และ PAC

3.6 ผลของพีเอชต่อความสามารถในการกำจัดสี

ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนต่อความสามารถในการกำจัดสีของ Alum FeCl_3 และ PAC ให้ผลการทดลองในรูปแบบที่คล้ายกับลักษณะการกำจัดความขุ่น กล่าวคือความสามารถในการกำจัดสารสีในน้ำยาโบรอนโดยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิด เกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อน้ำยาโบรอนมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 96.1, 96.7 และ 97.8 % เมื่อใช้ Alum PAC และ FeCl_3 ที่ 4.7, 3.3 และ 1.7 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 8ก-8ค) นอกจากนี้พบว่า น้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส (ภาพที่ 9) ทั้งนี้สีที่เกิดขึ้นในน้ำยาโบรอนที่ถูกนำไปใช้ซ้ำในกระบวนการอัดน้ำยาเพื่อรักษาเนื้อไม้ เกิดมาจากการละลายของสารประกอบอินทรีย์ทางธรรมชาติจำพวกโพลีฟีนอล แทนนิน เพคติน และลิกนิน ออกมาจากเนื้อไม้ [11]



ภาพที่ 8 ความสามารถของ (ก) Alum (ข) FeCl_3 และ (ค) PAC ในการกำจัดสีของน้ำยาโบรอนที่พีเอชต่างกัน



ภาพที่ 8 (ต่อ) ความสามารถของ (ก) Alum (ข) FeCl₃ และ (ค) PAC ในการกำจัดสีของน้ำยาโบรอนที่พีเอชต่างกัน



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

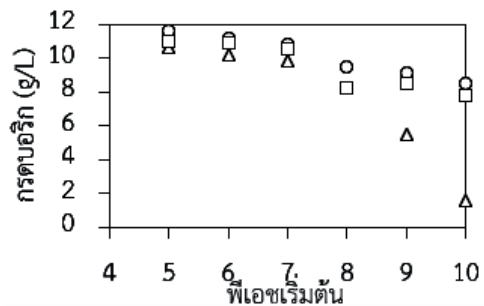
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบลักษณะน้ำยาโบรอน เมื่อ (ก) ตัวอย่างที่ได้รับจากโรงงานเทียบกับตัวอย่างหลังบำบัดที่พีเอชเริ่มต้น 8 โดยใช้โคแอกกูแลนต์ (ข) Alum 4.7 กรัมต่อลิตร (ค) FeCl₃ 1.7 กรัมต่อลิตร และ (ง) PAC 3.3 กรัมต่อลิตร

ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า กระบวนการโคแอกกูแลชันและฟล็อกคูชันด้วยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดสามารถกำจัดสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำยาโบรอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนได้สารละลายใส

ที่สามารถหมุนเวียนนำกลับไปใช้ใหม่ในถังพักน้ำยาของกระบวนการอัดน้ำยาโดยใช้แรงดันได้

3.7 ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน ภายหลังจากการบำบัดโดยใช้ Alum 4.7 กรัมต่อลิตร FeCl₃ 1.7 กรัมต่อลิตร และ PAC 3.3 กรัมต่อลิตร ที่พีเอชเริ่มต้นต่างกัน พบว่าปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชที่ใช้ในการบำบัดมีค่าสูงขึ้น (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนหลังการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนที่แตกต่างกัน O คือ Alum, □ คือ FeCl₃, และ Δ คือ PAC

แสดงให้เห็นว่าโคแอกกูแลนต์ที่ใช้มีความสามารถในการกำจัดโบรอนได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karaka et al [27] ที่แสดงให้เห็นว่า PAC สามารถกำจัดโบรอนในน้ำตัวอย่างที่มีพีเอชระหว่าง 7-9 ได้ เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ผลการเปรียบเทียบปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอน ซึ่งบำบัดที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 โดยใช้โคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิดในปริมาณตามที่ระบุข้างต้น กับปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ได้รับจากทางโรงงาน ซึ่งมี

เพื่อหาตามสภาพที่ได้รับเป็น 8.14 พบว่าปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโคแอกกูแลนต์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณกรดบอริกที่มีในน้ำยาโบรอนก่อนการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สะท้อนให้เห็นว่าการตรวจสอบปริมาณกรดบอริกในน้ำยาที่ผ่านการบำบัดก่อนหมุนเวียนนำกลับไปใช้ในกระบวนการอัดน้ำยาเป็นขั้นตอนที่ควรปฏิบัติ การดำเนินงานดังกล่าวไม่จัดเป็นการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการทำงานให้กับผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากปริมาณกรดบอริกในน้ำยารักษาเนื้อไม้มีค่าลดลงอยู่แล้วหลังจากกระบวนการอัดน้ำยา เป็นผลมาจากน้ำยาโบรอนที่ถูกแรงดันผลักเข้าไปในเซลล์ของเนื้อไม้ ประกอบกับการสอบถามข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานของโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราแห่งนี้พบว่าจะมีการเติมของผสมระหว่างกรดบอริกและสารบอแรกซ์อยู่เป็นประจำเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารประกอบโบรอนให้คงที่ ด้วยเหตุนี้การเติมสารประกอบโบรอนในน้ำยาที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน จึงไม่ถือว่าเป็นการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการปฏิบัติงานของกระบวนการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราแต่อย่างใด

4. สรุปผลการทดลอง

กระบวนการสร้างและรวมตะกอนด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารสร้างตะกอนหรือโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ Alum FeCl_3 และ PAC สามารถลดความขุ่นและสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้งานซ้ำ ๆ ในกระบวนการอัดน้ำยาด้วยแรงดันของอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส จนสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้เตรียมเป็นน้ำยาโบรอนที่มี

ปริมาณกรดบอริกและบอแรกซ์ตามต้องการได้ใหม่โดยไม่ต้องทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ผลจากการดำเนินงานวิจัยนี้ ไม่เพียงได้วิธีการลดสีและความขุ่นเพื่อคืนสภาพให้กับน้ำยาโบรอน ยังได้แนวทางในการลดปริมาณการระบายทิ้งของน้ำยาโบรอนเสื่อมสภาพสู่สิ่งแวดล้อมและแนวทางในลดค่าใช้จ่ายในการกักเก็บหรือบำบัดน้ำยาโบรอนที่เสื่อมสภาพให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับเงินสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณอุดหนุนการทำโครงการงานพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบพระคุณบริษัทรีแล็กซ์ อินดัสตรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาโบรอน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนาสุส บุญทอง, นิลวรรณ พู่เฟื่องสิน. เจาะลึกอุตสาหกรรมไม้ยางแปรรูป: ภายนอกที่สดใส ความท้าทายซ่อนอยู่. กรุงเทพฯ: กรู๊ฟเทรจเจอร์กิจ [อินเทอร์เน็ต]. 27 มี.ค. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ย. 2561]; คอลัมน์นิสต์: แจงส์เปี้ย. จาก: <http://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/644254>.
- [2] ชีระ วิณิน. การคำนวณปริมาณรับน้ำยาในการอัดน้ำยาไม้ยางพารา. ใน: พสุธา สุนทรห้าว, บรรณาธิการ. 8 ทศวรรษ วนศาสตร์ศาสตร์แห่งชีวิต [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2559 [เข้าถึงเมื่อ 17 พ.ย. 2561]. น. 52-3. จ ก ก : <https://kukr.lib.ku.ac.th/db/index>.

- php?/BKN_FOR/search_detail/result/352428
- [3] อธิระ วิณิน. การอาบน้ำยาไม้ยางพาราตามกรรมวิธีจุ่มแล้วหมักด้วยสารประกอบโบรอนเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของมอด. วารสารวนศาสตร์. 2535; 11:60-5.
- [4] น้ำยารักษาเนื้อไม้. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. [อินเทอร์เน็ต]. 2530 [เข้าถึงเมื่อ พ.ย. 2561]; 114:13-7. จาก : http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2530_114_p1317.pdf
- [5] บริษัท เฟลิกซ์แพลน ดีไซน์. การอัดน้ำยาไม้บ้านเนทúra [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ; 2550. [เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ย. 2561]. จาก : <http://www.baannatura.com/th/mat/content/detail/109.html>
- [6] Freeman MH, McIntyre CR, Jackson D. A critical and comprehensive review of boron in wood preservation. 105th Annual Meeting of the American Wood Protection Association. [Internet]. American Wood Protection Association; 2009 April 19-21; Texas, USA. Alabama; 2009 [cited 2018 Nov 12]. p. 279-94. Available from: <http://niscorp.com/images/uploads/documents-other/AWPA-Freeman-Boron-Paper-08.pdf>
- [7] Obanda DN, Shupe TF, Barnes HM. Reducing leaching of boron-based wood preservatives- a review of research. Bioresource Technol. 2008; 99:7312-22.
- [8] Salamah S, Mohd Dahlan J. Vacuum-pressure treatment of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) using boron-based preservative. J Trop For Sci. 2008; 20:1-7.
- [9] Temiza A, Alfredsenb G, Eikenesb M, et al. Decay resistance of wood treated with boric acid and tall oil derivatives. Bioresource Technol. 2008; 99:2102-6.
- [10] Yongdong Z, Mingliang J, Ruiqing G, et al. Rubber wood processing manual: Demonstration of rubber wood processing technology and promotion of sustainable development in China and other Asian countries [Internet]. Beijing: Chinese Academy of Forestry; 2007 [cited 2018 Nov 13]. Available from: [http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2392/Technical/Rubberwood%20Processing%20Manual\(English\).pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2392/Technical/Rubberwood%20Processing%20Manual(English).pdf).
- [11] จรรยา อินทมณี, จันทิมา ชั่งสิริพร, จริญญา บุญกาญจน์. การนำกลับมาใช้ใหม่ของน้ำยาโบรอนในกระบวนการอัดเนื้อไม้ยางพารา. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21; 10-11 พ.ย. 2554; หอประชุมนานาชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา; 2554.
- [12] Baghavan A, Zand AD, Mehrdadi N, et al. Optimizing coagulation process for low to high turbidity waters using aluminum and iron salts. American J Environ Sci. 2010; 6:442-8.

- [13] อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล, แสงนวล ศรีรัตนชัยวาลย์, และคณะ. ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของแข็งโดยใช้เครื่องลอยตะกอนชนิดอากาศละลายแบบกะ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2544; 11:40-8.
- [14] Saeid F, Bahador N, Abdalmajid F, et al. Removal of natural organic matter (NOM), turbidity and color of surface water by integration of enhanced coagulation process and direct filtration. J Adv Environ Health Res. 2017; 5:108-113.
- [15] Sillanpaa M, Matilainen A. Chapter 3-NOM Removal by Coagulation, In: Sillanpaa M, Natural organic matter in water: Characterization and treatment methods. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann; 2015. p.55-80.
- [16] Aktas TS, Takeda F, Maruo C. et al. Comparison of four kinds of coagulants for the removal of picophytoplankton. Desalination Water Treat. 2013; 51:3547-57.
- [17] ปวีณา วังซัง, ปิยดา จินศิริ, มุนดา สลามเต๊ะ. การบำบัดน้ำยาโบรอนที่เสื่อมสภาพด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน [โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2556.
- [18] American Public Health Association, Water Environment Federation, American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF; 2005.
- [19] พันธกานต์ ยันต์ฉิมพลี. การบำบัดสีของน้ำยาโบรอนที่ใช้ซ้ำในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราด้วยกระบวนการโอโซนชั้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2558.
- [20] Carrier X, Marceau E, Lambert J-F, et al. Transformations of gamma-alumina in aqueous suspensions: 1. Alumina chemical weathering studied as a function of pH. J Colloid Interface Sci. 2007; 308:429-37.
- [21] Khemis M, Leclerc J-P, Tanguy G, et al. Treatment of industrial liquid wastes by electrocoagulation: Experimental investigations and an overall interpretation model. Chem Eng Sci. 2006; 61:3602-9.
- [22] สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า. วารสารเทคนิค เครื่องกลไฟฟ้า อุตสาหกรรม. 2551; 283:138-44.
- [23] วณิดา ชูอักษร. เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2555; 17:181-91.
- [24] Mesdaghinia A, Rafiee M, Vaezi F, et al. Control of disinfection by products formation potential by enhanced coagulation. Int J Environ Sci Technol. 2006; 2:335-42.

- [25] Tezcan UU, Koparal AS, Bakir Ogutveren U, Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes. J Environ Manage. 2009; 90: 428-33.
- [26] Reynolds TD. Unit operations and processes in environmental engineering. 2nd ed. Massachusetts: PWS publishers; 1982.
- [27] Karakas ZK, Yilmaz MT, Boncukcuglu R, et al. The effect of the pH of the solution in the boron removal using polyaluminium chloride (PAC) coagulant with chemical coagulation method. In: Ozdemir C, Şahinkaya S, Kalıpcı E, et al., editors. ICOEST'2013 – Cappadocia. [Digital Proceeding]. The International Conference on Environmental Science and Technology; 2013 June 18-21; Nevsehir, Turkey; 2013. p.340-6.

การศึกษาสมบัติทางแร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติกายภาพของดินเหนียว
จากแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านชุมชนโรงอ่าง จังหวัดปัตตานี
Study of Mineralogy, Chemical Composition and Physical Properties of Clays
from L°Cal Pottery Areas Rongang Community Pattani Province

สุนารี บดีพงษ์^{1*}, ปิยะ ผ่านศึก¹, อภิญญา สุกรัตน์²
Sunaree Bordeepong^{1*}, Piya Phansuke¹, Apinya Sukolrat²

¹แผนกวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

²ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

¹Physics Section, Department of Science, Faculty of Science and Technology,
Prince of Songkla University, Pattani Campus, Thailand

²Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University, Hatyai Campus, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 0 7331 2201, Email: sunaree.b@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติทางแร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาชุมชนโรงอ่างจาก จ.ปัตตานี พบว่าดินเหนียวส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ อิลไลต์-เคลโอไลต์เล็กน้อย มี SiO_2 สูง ร้อยละ 47.68-58.36 รองลงมาเป็น Al_2O_3 ร้อยละ 24.11-26.94 Fe_2O_3 ร้อยละ 2.35-3.18 และ TiO_2 ร้อยละ 1.32-1.46 ดินขนาดเล็กลงกว่า 45 ไมโครเมตร ที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช พบมากที่สุดร้อยละ 61.94 เป็นอนุภาคที่มีความละเอียดทำให้ดินมีความเหนียว เมื่อเผาผลาญตัวอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 700-900 °C พบว่ามวลจะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากสูญเสียไอน้ำและอินทรีย์วัตถุถูกเผาไหม้ การทดสอบดินเหนียวหลังเผาอุณหภูมิ 700-900 °C พบว่ามีการหดตัวร้อยละ 5.10-7.95 ความหนาแน่นหลังเผา 1.69-1.71 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็งแรงหลังการเผาเท่ากับ 1.42-3.88 เมกะพาสคัล ดินเหนียวจากชุมชนโรงอ่างมีสมบัติสำหรับที่จะใช้เป็นวัตถุดิบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน โดยมีจุดเด่นตรงที่มีปริมาณ Al_2O_3 สูงเหมาะที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ทนไฟ ผลิตภัณฑ์หดตัวเล็กน้อยหลังการเผาอุณหภูมิ 900 °C จึงไม่เสียรูปทรงหรือบิดเบี้ยวแต่มีข้อเสียที่มีอนุภาคควอตซ์ขนาดใหญ่กว่า 300 ไมโครเมตร ปนอยู่ทำให้เนื้อดินเหนียวมีความพรุนสูงและความแข็งแรงน้อยหากปรับปรุงดินจะทำให้มีสมบัติดีขึ้น

คำสำคัญ: ดินเหนียว แร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ

ABSTRACT

Mineralogical, chemical composition and ceramic properties of clay from l^oCal pottery area in Rongang community Pattani Province were studied to assess their potential for use. The majority of clay was quartz with slightly kaolinite and illite. High SiO₂ content (47.68-58.36%), Al₂O₃ (24.11-26.94%), Fe₂O₃ (2.35-3.18%) and TiO₂ (1.32-1.46%) was determined. Large amount of clay (61.94%) with the size less than 45 µm were passed sieve number of 325 mesh as the fine particles resulting to increase the clay toughness. It was found that weight was rapidly decreased in the temperature range of 700-900 °C, the weight decreases slightly due to the loss of water and organic matter. Testing of clay after fired at temperatures of 700-900 °C was found that the linear shrinkage were 5.10-7.95%. Densities were 1.69-1.71 g/cm³. Flexural strength of colcined somples were 1.42-3.88 MPa. Clay from Rongang community can use as raw materials l^oCal pottery with a high Al₂O₃ content suitable for refractory products. The product was slightly shrinkage after the temperature of 900 °C with non-deformation or distortion however, there were disadvantages with large quartz particles size higher than 300 µm resulting in rough texture, high porosity and less strength. Therefore, the quality of soil was improved, their properties will be also improved.

Keywords: Clay, Mineralogical, Chemical composition, Ceramic properties

1. บทนำ

เครื่องปั้นดินเผาเป็นผลิตภัณฑ์หัตถกรรมไทยที่ผูกพันกับชีวิตคนไทยมาช้านาน เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านจัดเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกแบบดั้งเดิม (Tradition ceramics) ชนิดเอิร์ทเทินแวร์ (Earthen ware) ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผาไม่สูงมากอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 800-1,150 °C [1] ได้แก่ อิฐ กระถาง โอ่ง ฯลฯ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถหาได้ในท้องถิ่น ราคาไม่แพง สามารถผลิตออกมาเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่สามารถสร้างรายได้แก่ชาวบ้าน “โรงอ่ง” เป็นชุมชนเก่าแก่ ตั้งอยู่ใน ต.สะบารัง อ.เมือง จ.ปัตตานี แสดงดังภาพที่ 1 มีอายุประมาณ 100 ปี และมีการทำเครื่องปั้นดินเผา ที่มีชื่อเสียงมานาน โดยมีคำขวัญประจำชุมชนว่า “เรือกอและหลากหลายสาย

ธาราตานีไหลผ่าน สะพานคู่กลางน้ำแหล่งทำอ่างอันเลื่องลือ” เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงที่มาของชื่อ “ชุมชนโรงอ่ง” โดยผู้บุกเบิกคือชาวจีนที่อพยพมาตั้งถิ่นฐานสร้างโรงงานผลิตอ่างและเครื่องปั้นดินเผาบริเวณแม่น้ำปัตตานีถ่ายทอดมาหลายชั่วอายุคนจนกลายเป็นสินค้าที่เป็นเอกลักษณ์ของชุมชนโรงอ่ง [2] ปัจจุบันโรงอ่งหรือโรงปั้นดินเผาแห่งนี้กำลังเลือนหายไปเหลือผู้ผลิตเพียง 1 ราย ที่ยังคงสืบทอดภูมิปัญญาซึ่งเป็นกิจการของตระกูลแซ่โห้ แต่ประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานเนื่องจากช่างทำอ่างเหลือน้อยมาก ผสมกับสถานการณ์ความรุนแรงทำให้ช่างไม่กล้ามาอยู่ที่ปัตตานี อีกทั้งแหล่งดินที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ ซึ่งเดิมจะนำดินที่ขุดมาจากที่ดินของ

ตนเองแต่ปัจจุบันนี้ไม่สามารถขุดได้เพราะหน้าดินเหนียวหมดแล้ว จึงต้องซื้อดินจาก นาข้าว ต.ปะกาฮะรัง อ.เมือง จ.ปัตตานี [3] สำนักงานพัฒนาชุมชน จ.ปัตตานี ได้ส่งเสริมให้เป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) เนื่องจากมีจุดเด่นที่เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาหนึ่งเดียวของจังหวัดปัตตานี แต่มีอุปสรรคคือไม่มีการตรวจสอบสมบัติของดินที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ การทำผลิตภัณฑ์จะทำจากประสบการณ์ที่ได้รับถ่ายทอดจากคนรุ่นเก่า ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ปัจจุบันเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการค้าขายของภูมิปัญญาการทำเครื่องปั้นดินเผาของชุมชนโรงอ่างเป็นอย่างมาก

คณะผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของการสืบทอดภูมิปัญญาของชาวบ้านชุมชนโรงอ่างจากการค้นคว้าและตรวจสอบเอกสารพบว่า "ดินเหนียว" มีบทบาทสำคัญในการแสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เช่น การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง วัสดุดิบที่ใช้คือดินเหนียวที่หาได้ในท้องถิ่นมักมีสาร

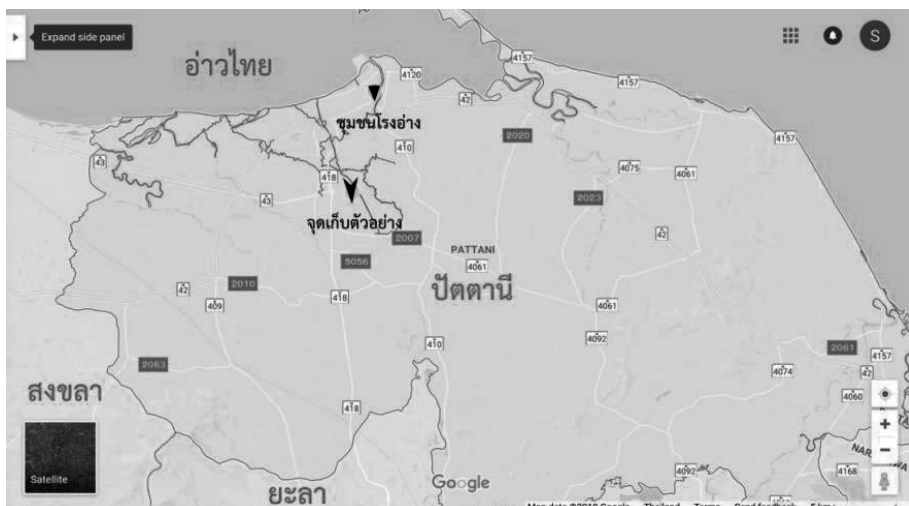
อื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วย เช่น ทราย อินทรียวัตถุ สมบัติของดิน จะขึ้นกับธรรมชาติและสัดส่วนของสิ่งเจือปน

งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงโครงสร้างและสมบัติต่าง ๆ ของดินดังนี้ สมบัติทางแร่วิทยา (Mineralogy) องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) และสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อดิน และควบคุมประสิทธิภาพการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้มีคุณภาพตามมาตรฐานและสามารถใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการตรวจสอบคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อส่งเสริมและอนุรักษ์ให้งานหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาของชุมชนโรงอ่างดำรงอยู่ต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วิธีเก็บตัวอย่างดินเหนียว

2.1.1 จุดเก็บตัวอย่างดิน ต.ปะกาฮะรัง อ.หนองจิก จ.ปัตตานี พิกัด 6°47'32.1"N 101°14'05.7"E แสดงดังภาพที่ 1



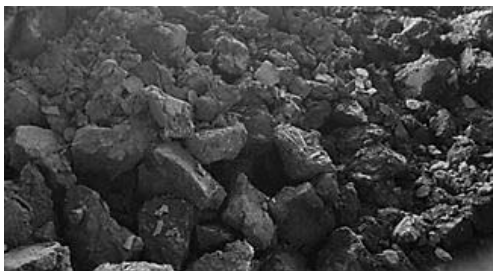
ภาพที่ 1 แสดงที่ตั้งของชุมชนโรงอ่าง ต.ปะกาฮะรัง และจุดเก็บตัวอย่าง ต.ปะกาฮะรัง จ.ปัตตานี ที่มา: ดัดแปลงจาก Google map [4]

2.1.2 ขุดหน้าดินลึกประมาณ 50 cm ออก และขุดเอาหน้าดินเหนียวความลึกประมาณ 1 m พื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 1

2.1.3 นำดินมาเก็บไว้เพื่อเตรียมเป็นเนื้อดิน ปั้น แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ลักษณะพื้นที่เก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 2 ตัวอย่างดินเหนียวที่เก็บได้

2.2. การเตรียมขึ้นทดสอบตัวอย่างดิน

2.2.1 นำตัวอย่างดินแช่น้ำประมาณ 2 คืนใน กระบะสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ทำด้วยไม้ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระบะไม้เก็บตัวอย่างดิน

2.2.2 ใช้เครื่องนวดดิน 2 ครั้ง แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครื่องนวดตัวอย่างดิน

2.2.3 ใช้ลวดเหล็กบาง ๆ สับดินให้เป็นแฉ่น เล็ก ๆ เพื่อคัดเมล็ดทราย ก้อนกรวด และดินที่ยังจับ กันเป็นก้อนออก

2.2.4 ขึ้นรูป $1.5 \times 1.5 \times 12 \text{ cm}^3$

2.3. เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

2.3.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, Philips, XRD), รุ่น X Pert MPD ประเทศเนเธอร์แลนด์ ใช้ศึกษาชนิดของแร่ในดิน ช่วง การทดสอบ $2\theta = 5-50^\circ \text{ CuK}\alpha (\lambda=1.54 \text{ \AA})$

2.3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-5800, JEOV ประเทศญี่ปุ่น ใช้ศึกษารูปร่าง ขนาดของอนุภาคดิน และองค์ประกอบทางเคมี

2.3.3 ชุดวิเคราะห์ความร้อนโน้มถ่วง (Thermo gravimetric analysis, TGA), Perkin รุ่น TGA 7, Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ ทดสอบค่า LOI บรรยายอากาศการเผาแก๊สออกซิเจน heating rate 10°C/min

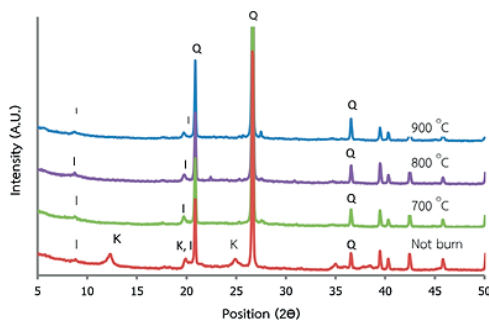
2.4 วิธีทดสอบสมบัติกายภาพ

สี ขนาดและการกระจายอนุภาคของเนื้อดิน ด้วยวิธี Wet sieve ตามมาตรฐาน ASTM C 325-81 [5] การหัตถ์ตามมาตรฐาน ASTM C 326-03 [6], การดูดซึมน้ำหลังเผา และความหนาแน่นรวมตาม มาตรฐาน ASTM C 373-88 [7,8]

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 แร่ในดินเหนียว

ก่อนและหลังการเผาอุณหภูมิ 700 °C 800 °C และ 900 °C เมื่อทดสอบด้วย XRD ดินเหนียวก่อน การเผาจะมีส่วนประกอบของแร่ Quartz (SiO_2) Illite ($2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) และ Kaolinite ($\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$) ในดินหลังการเผาจะ พบแร่ Quartz และ Illite แต่ไม่พบ Kaolinite เนื่องจากเกิดการหลอมตัวเมื่อได้รับความร้อน แสดง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ XRD ของแร่ในดินเหนียว
I=Illite K=Kaolinite และ Q=Quartz

เนื่องจาก kaolinite เมื่อเผาจนอุณหภูมิถึง 450 °C กลุ่ม OH^- ถูกขจัดออกโครงสร้างผลึก และเรียงตัวใหม่เป็น Metakaolin ซึ่งเป็นกลุ่มอะตอมที่มี โครงสร้างไม่เป็นระเบียบ หลังการเผาจึงไม่สามารถ ตรวจพบได้ด้วย XRD [9]

3.2 การศึกษาทางความร้อนด้วย TGA

เมื่อเริ่มเผามวลจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง อุณหภูมิที่ 700 – 900 °C มวลจะลดลงเล็กน้อยแสดง ดังภาพที่ 6

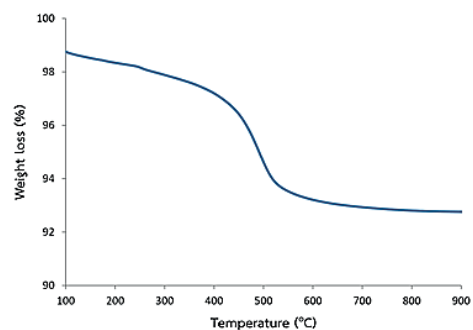
มวลที่ลดลงสามารถอธิบายได้ดังนี้

อุณหภูมิ 100-200 °C: น้ำรอบ ๆ อนุภาคดิน จะระเหยเป็นไอ

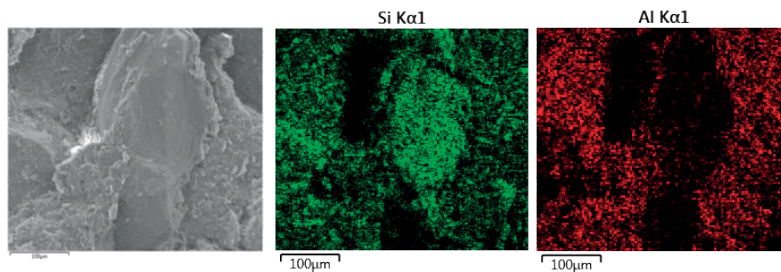
อุณหภูมิ 450 °C: น้ำที่เป็นส่วนประกอบทาง เคมีในเนื้อดินเริ่มระเหย $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

อุณหภูมิ 500-600 °C: น้ำที่เป็นส่วนประกอบ ทางเคมีถูกเผาไหม้ อินทรีย์สารในดินเริ่มถูกเผาไหม้

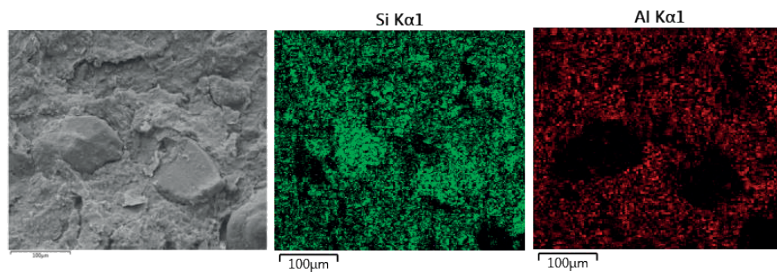
อุณหภูมิสูงกว่า 800 °C: อินทรีย์สารถูกเผา ไหม้หมดไป [1]



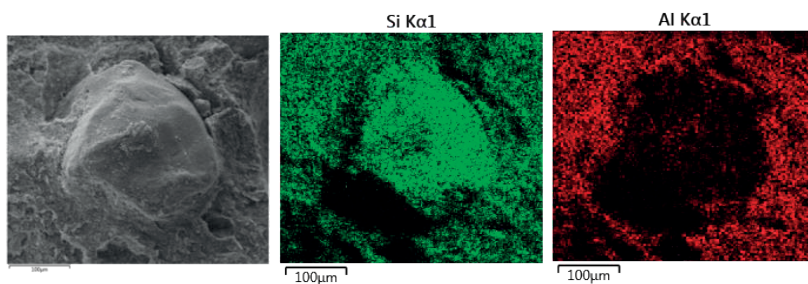
ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก ดินเหนียวกับอุณหภูมิ



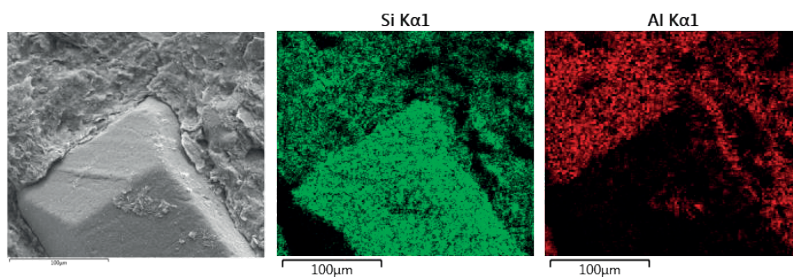
ก)



ข)



ค)



ง)

ภาพที่ 7 ภาพถ่าย SEM และ SEM-Mapping ของดินเหนียว ก) ก่อนการเผา ข) 700 °C ค) 800 °C ง) 900 °C

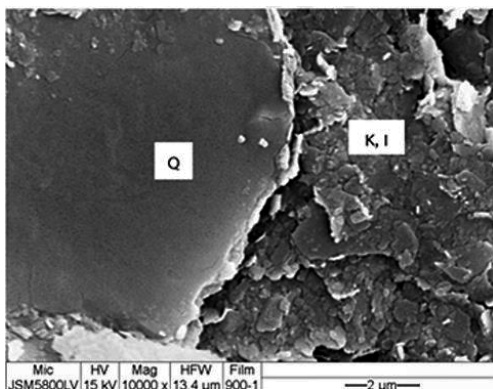
3.3 SEM-Mapping

จากการวิเคราะห์ดินเหนียวก่อนและหลังการเผาด้วยเทคนิค SEM-Mapping แสดงดังภาพที่ 7

SEM-Mapping ในส่วนที่เป็นก้อนพบธาตุ Si แต่ในบริเวณเดียวกันไม่พบธาตุ Al แสดงว่าบริเวณดังกล่าวเป็น Quartz (SiO_2) ขนาด $\sim 100 \mu\text{m}$ หรือใหญ่กว่า กระจายอยู่ในชั้นตัวอย่างแม้จะผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C ก็ไม่หลอมรวมกับตัวอย่าง ทำให้การดูดซึมน้ำสูง (20.96%) และความแข็งแรงน้อย (3.88 MPa) และบริเวณรอบ ๆ Quartz เป็น Kaolinite ($\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$) และ Illite ($2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) พบธาตุ Si และ Al ปรากฏอยู่ในบริเวณเดียวกัน ดังภาพที่ 8

3.4 การศึกษาปรับปรุงดินเหนียวด้วย SEM

จากภาพถ่าย SEM ดังภาพที่ 9 และ SEM-Mapping ดังภาพที่ 8 ดินเหนียวมีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ และเป็นก้อนมาเกาะรวมกัน ส่วนที่เป็นก้อนใหญ่เป็นแร่ Quartz [10] และส่วนที่มีลักษณะเป็นแผ่นเป็น Kaolinite และ Illite [10,11]



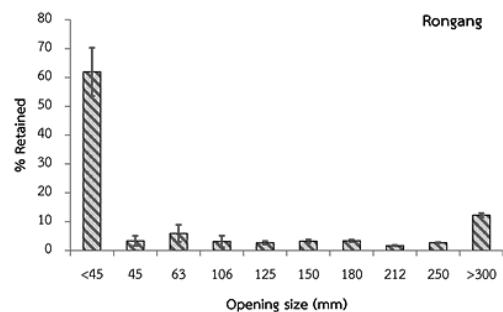
ภาพที่ 8 ภาพถ่าย SEM ของดินเหนียวก่อนเผา

3.5 ธาตุในดินเหนียวด้วย SEM-EDX

ในตารางที่ 1 เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในดินเหนียวด้วย SEM-EDX ให้ผลสอดคล้องกับผลทดสอบ XRD พบว่า SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลักโดย SiO_2 พบ 47.68-58.36% Al_2O_3 24.11-26.94% และ K_2O 0.08-1.03% ซึ่งเป็นองค์ประกอบใน Quartz (SiO_2) Kaolinite ($\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$) และ Illite ($2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) นอกจากนี้ยังพบ Fe_2O_3 2.35-3.18% ทำให้ดินมีสีน้ำตาลแดง ส่วน TiO_2 1.32-1.46% ปนอยู่ในตัวอย่างเล็กน้อยซึ่งไม่สามารถตรวจพบได้ด้วย XRD เนื่องจากมีอยู่ปริมาณน้อยมาก

3.6 การกระจายขนาดดินวิธี Wet sieve

จากการคัดขนาดด้วยวิธี Wet sieve พบว่าดินเหนียวที่มีขนาดเล็กกว่า $45 \mu\text{m}$ มีปริมาณมากที่สุดถึง 61.94% ทำให้ดินมีความเหนียวสามารถขึ้นรูปได้ และพบดินเหนียวที่มีขนาดใหญ่กว่า $300 \mu\text{m}$ รองลงมาปริมาณ 12.22% ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้เนื้อดินหยาบและมีรูพรุนสูง แสดงดังภาพที่ 9



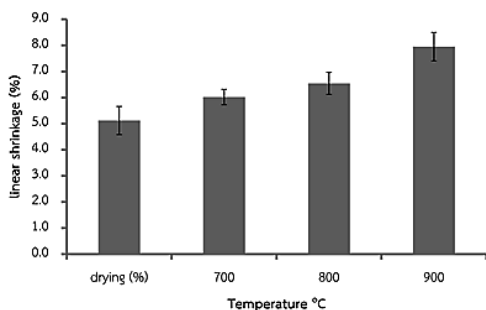
ภาพที่ 9 ผลการเปรียบเทียบขนาดรูเปิดและ มวลที่ค้างตะแกรง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในดินเหนียวด้วยเทคนิค SEM-EDX

Analyzed	Concentration (Weight %)							
	Unfired		700 °C		800 °C		900 °C	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
MgO	0.46	0.05	0.50	0.10	0.45	0.05	0.50	0.03
Al ₂ O ₃	25.30	0.76	26.94	2.23	24.11	4.80	26.81	1.49
SiO ₂	47.68	0.92	55.92	2.99	58.36	6.95	54.57	2.14
K ₂ O	0.89	0.03	1.03	0.09	0.90	0.18	0.99	0.08
TiO ₂	1.32	0.11	1.32	0.14	1.32	0.26	1.46	0.37
Fe ₂ O ₃	2.35	0.18	3.18	1.01	2.53	0.57	2.82	0.51

3.7 การหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage)

ในภาพที่ 11 ดินเหนียวจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหลังจากการอบแห้ง เนื่องจากน้ำที่อยู่ระหว่างอนุภาคหลังขึ้นรูป ได้ระเหยออกไปอนุภาคของดินจะเข้ามาชิดกันทำให้ตัวอย่างหดตัว มีผลทำให้ตัวอย่างเสียรูปทรง หรือโค้งงอ [1]



ภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการหดตัวเชิงเส้นก่อนและหลังการเผา (700-900 °C)

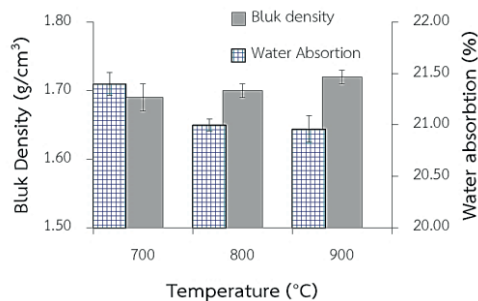
จากการทดสอบการหดตัวเชิงเส้นก่อนการเผา มีค่าเป็น $5.10 \pm 0.54\%$ หลังการเผา 700 °C มีค่าเป็น $6.02 \pm 0.29\%$ หลังการเผา 800 °C มีค่าเป็น $6.54 \pm 0.42\%$ และหลังการเผา 900 °C มีค่าเป็น $7.95 \pm 0.55\%$ หลังจากที่ดินแห้งแล้วเมื่อนำมาเผาจะหดตัวอีกครั้งเนื่องจากสารอินทรีย์ น้ำ และแร่

ในดินจะเกิดการสลายตัวและเรียงตัวใหม่ทำให้อนุภาคชิดกันมากขึ้นเป็นผลทำให้ขนาดเล็กลงขึ้นกับชนิดของแร่ ความละเอียดหากมีการหดตัวมากอาจทำให้ชิ้นตัวอย่างโค้งงอมาก และเกิดการแตกหักได้ [1]

3.8 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) และความหนาแน่นรวม (Bulk density)

การดูดซึมน้ำหลังการเผา แสดงดังภาพที่ 11 พบว่าที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าเป็น $21.40 \pm 0.11\%$, 800 °C มีค่าเป็น $21.00 \pm 0.06\%$ และที่อุณหภูมิ 900 °C มีค่าเป็น $20.96 \pm 0.13\%$ เมื่อการดูดซึมน้ำสูงเป็นผลทำให้รูพรุนในชิ้นงานมีจำนวนมาก ส่วนการวัดความหนาแน่นจะวัดรวมทั้งก้อน ซึ่งรวมช่องว่างระหว่างชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าเป็น $1.69 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$, 800 °C มีค่าเป็น $1.70 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ และที่อุณหภูมิ 900 °C มีค่าเป็น $1.72 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ผลจากความหนาแน่นสามารถนำไปคำนวณหาค่าความพรุนตัวของชิ้นงานได้ดังนี้ ที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าเท่ากับ $36.27 \pm 0.11\%$, 800 °C มีค่าเท่ากับ $35.95 \pm 0.08\%$ และ 900 °C มีค่าเท่ากับ $35.63 \pm 0.79\%$ และหลังการเผาตัวอย่างจะมีความพรุน (Porosity) ลดลงเล็กน้อยแสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นวัสดุบางชนิดถึงจุดหลอมตัว

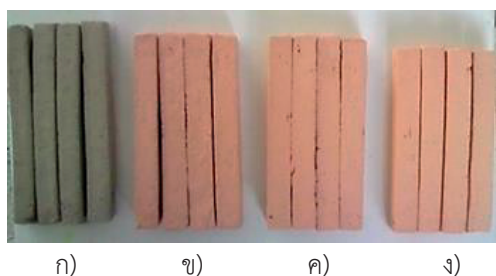
มีการหลอมละลายของแร่มาปิครพูนในเนื้อดินแต่ยังมีค่าค่อนข้างสูง (35.63-36.27%) เนื่องจากตัวหลอมละลายในเนื้อดินมีน้อย [9] สังเกตได้จากผลการทดสอบองค์ประกอบธาตุในดินเหนียว พบ K₂O เพียง 0.89-1.03% เท่านั้น การดูดซึมน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นซึ่งจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กับอุณหภูมิหลังการเผา

3.9 สีของดินตัวอย่างก่อนและการหลังเผา

สีของดินก่อนและหลังการเผาดังภาพที่ 12 พบว่าดินเหนียวก่อนเผามีสีเทา หลังการเผา 700°C เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม 800°C สีน้ำตาล และ 900°C สีน้ำตาลอ่อน จึงเหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์หัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านที่ต้องการสีธรรมชาติ



ภาพที่ 12 สีของตัวอย่างดิน ก) ตัวอย่างแห้ง ข) เผา 700°C ค) เผา 800°C ง) เผา 900°C

3.10 ความเหนียวของดิน

ผลการศึกษาความเหนียวของดินแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าดินเหนียวจะมีค่าปริมาณน้ำมากที่สุดที่ทำให้ดินสามารถรวมตัวเป็นก้อนไม่ไหลเป็นของเหลว Liquid limit (LL) 27.81% และปริมาณน้ำน้อยที่สุดที่ทำให้ดินสามารถยึดกันเป็นก้อนได้ Plastic limit (PL) คือ 14.54% สามารถคำนวณหาค่าความเหนียวของดินได้ Plasticity index (PI) คือ 13.26%

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความเหนียวของดินโรงอ่าง

Test	Average (%)	SD (%)
Liquid Limit (LL) %	27.81	0.84
Plastic Limit (PL) %	14.54	1.02
Plasticity Index (PI) %	13.26	1.28

3.11 ความแข็งแรงต่อแรงดัด (Modulus of Rupture: MOR)

ค่า MOR ของดินเหนียวก่อนและหลังการเผาแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าอุณหภูมิการเผาสูงขึ้นค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของดินก่อนเผาและหลังการเผา

Test	Unfired	Fired (°C)		
		700	800	900
MOR (MPa)	1.42	2.23	2.93	3.88
SD	0.14	0.30	0.21	0.75

3.12 การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยอื่น และมาตรฐาน มอก./มผช.

การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีในดินเหนียวจากงานวิจัยแหล่งดินอื่นในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ดินเหนียวโรงอ่างมี Al_2O_3 สูงกว่าแหล่งอื่นเป็นผลดีเพราะชิ้นงานจะมีความทนไฟ แต่มีปริมาณ SiO_2 น้อยกว่าแหล่งอื่น ๆ การหดตัวจากตารางที่ 5 ต่ำกว่าแหล่งอื่น ๆ เป็นผลดีเพราะชิ้นงานจะไม่เสียรูปหรือแตกหักหลังเผา ร้อยละของมวลหินที่หายไปหลังการเผา (LOI) จากตารางที่ 4 มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งดินอื่น ๆ และมีค่าน้อย (<15%) หลังเผาอุณหภูมิ 700-900 °C ดินมีการหดตัวน้อย (6.02-7.95%)

แต่การดูดซึมน้ำมีค่าสูงกว่าแหล่งอื่น ๆ จากตารางที่ 6 (21.11-21.26%) และความแข็งแรงจากตารางที่ 8 มีค่าต่ำกว่าดินจากแหล่งอื่น ๆ และมาตรฐาน มอก./มผช. เนื่องจากมีแร่ Quartz ขนาดใหญ่ ($\phi > 300 \mu m$) ปนอยู่ และมี Kaolinite อยู่่น้อย สังเกตได้จากตารางที่ 7 มีปริมาณดินที่ค้างตะแกรงขนาด 325 mash เพียง 3% หากต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้นต้องทำการร่อน Quartz ขนาดใหญ่ออกไป หรือใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมาก

โดยชื่อย่อดินในตารางต่าง ๆ มาจากงานวิจัยแหล่งดินในประเทศไทยดังภาคผนวก

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีในดินกับจากงานวิจัยอื่น [12]

Analyzed	C01	C02	C04	C05	C07	C08	Research
MgO	0.65	1.03	0.78	1.20	1.15	1.30	0.46
Al_2O_3	17.74	18.49	21.04	20.08	15.18	15.18	25.30
SiO_2	66.60	64.23	63.85	60.67	60.67	60.67	47.68
K_2O	0.74	2.24	2.20	2.23	3.12	3.12	0.89
TiO_2	1.08	0.95	0.95	0.89	1.18	1.18	1.32
Fe_2O_3	3.63	3.67	2.74	6.54	7.61	7.61	2.35
LOI	9.23	7.19	7.93	7.63	-	-	7.24

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผากับงานวิจัยอื่น [12]

Clay	C09	C10	C03	C11	Research
Drying Linear shrinkage (%)	8.19	9.44	7.25	4.68	5.1
Firing linear shrinkage (%)	13.20	13.80	12.60	7.22	6.02-7.95

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำหลังเผากับงานวิจัยอื่นและค่ามาตรฐาน [12-15]

clay	C09	C03	C12	Research	มอก. (601/2546)	มผช. (46/2556)
Absorption (%)	5.93	11.82	9.23	21.11-21.26	<8%	<8%

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบขนาดการกระจายของเนื้อดินกับงานวิจัยอื่น [12]

Clay	C06	C02	C09	C10	C13	Research
Retained weight 325 mesh (%)	5	6	6.93	9.33	12	3.10

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของดินก่อนเผาและหลังเผากับงานวิจัยอื่น [13]

Clay	C15±SD	C14±SD	C16±SD	C17±SD	Research±SD
ก่อนเผา MOR (MPa)	2.48±0.20	4.05±1.45	3.22±0.21	2.38±0.20	1.42±0.14
หลังเผา 800 °C (MPa)	2.31±0.14	5.56±1.48	3.79±0.21	2.03±0.28	2.93±0.21

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสมบัติทางแร่วิทยา องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว จากชุมชนโรงอ่าง ต. สะบารัง อ.เมือง จ.ปัตตานี และทดลองเผาที่อุณหภูมิ 700-900 °C ดินเหนียวจากชุมชนโรงอ่างมีสมบัติสำหรับเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านที่ต้องการสีธรรมชาติ โดยมีจุดเด่นตรงที่มีปริมาณ Al_2O_3 สูงเหมาะที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ทนไฟที่ต้องการรูพรุนแต่ดูดซึมน้ำสูง จากการทดลองสามารถเผาได้ถึงอุณหภูมิ 900 °C โดยผลิตภัณฑ์หดตัวเพียงเล็กน้อย จึงไม่เสียรูปทรงหรือบิดเบี้ยวแต่มีข้อเสียที่มีอนุภาคควอตซ์ขนาดใหญ่กว่า 300 μm ปนอยู่ทำให้เนื้อดินหยาบมีความพรุนสูงและความแข็งแรงน้อยหากปรับปรุงดินจะทำให้มีสมบัติดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัย วิทยาเขตปัตตานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

6. อ้างอิง

[1] ไพจิตร อิงศิริวัฒน์. เนื้อดินเซรามิก กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2541.

- [2] บุษมีตานี. ตระกูลแซ่โห้: ครอบครัวสุดท้ายที่ป็น อ่างคูเมืองปัตตานี. [อินเทอร์เน็ต]. ปัตตานี; 2551 [เข้าถึงเมื่อ 29 พ.ค. 2558]. จาก: http://commsci.pn.psu.ac.th/commsci/web_bumee/index.php.
- [3] ตามไปดูโรงปั้นดินเผามรดกประวัติศาสตร์หนึ่งเดียวชุมชนโรงอ่างปัตตานี. [อินเทอร์เน็ต]. สำนักข่าวอามา; 2553 [เข้าถึงเมื่อ 10 ต.ค. 2558]. จาก: <http://thai.amannews.org/view/view.php?id=729>.
- [4] Google. [Internet]; 2018 [cited 2018 Nov 22]. Available from: <https://www.google.com/maps/>.
- [5] ASTM Committee on Standards. Standard Test Method for Wet Sieve Analysis of Ceramic Whiteware Clay West Conshohocken: Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: Astm Intl; 1997.
- [6] ASTM Committee on Standards. Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays West Conshohocken: Annual Book

- of ASTM Standard. West Conshohocken: Astm Intl; 2003.
- [7] ASTM Committee on Standards. Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Product West Conshohocken: Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: Astm Intl; 1999.
- [8] เชษฐ อุทัยยัง, วชิรินทร์ สิทธิเจริญ, นทีชัย ผัสดี. การพัฒนากระบวนการผลิตหลังคาด้วยวัสดุธรรมชาติคอมโพสิต. วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพฯ. 2017; 11(2):69-78.
- [9] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เซรามิกส์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2547.
- [10] Sengupta P, Saikia PC, Borthakur PC. SEM-EDX characterization of an iron-rich kaolinite clay. Am J Sci Ind Res. 2008; 67(10):812-8.
- [11] Bohor BF, Hughes RE. Scanning electron microscope of clays and clay mineral. Clay Clay Miner. 1971; 19:49-54.
- [12] ฤดี นิยมรัตน์, สมเกียรติ กอบัวแก้ว, ไสว ศิริทองถาวร. รายงานผลการดำเนินโครงการบริการวิชาการ โครงการอบรมปฏิบัติการสร้างงานเซรามิกจากดินเหนียวท้องถิ่น. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 2558.
- [13] ศิริรัตน์ รัตนจันทร์, จรัสศรี ลอประยูร, สุธรรม ศรีหล่อมศักดิ์. การศึกษาคุณภาพดินในจังหวัดนครราชสีมาเพื่อใช้ในงานด้านเซรามิก. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2545.
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาชนะเซรามิกที่ใช้กับอาหาร: เออร์เทนแวร์. มอก. 601-2546; 2546.
- [15] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เครื่องปั้นดินเผาเออร์เทนแวร์. มผช. 46/2556; 2556.

7. ภาคผนวก

ชื่อย่อดินในตารางที่ 4-8 จากงานวิจัยแหล่ง
ดินในประเทศไทย

C01: บ้านหม้อ ต.เขวา อ.เมือง จ.มหาสารคาม

C02: บ้านสทิงหม้อ ต.สทิงหม้อ อ.สิงหนคร
จ.สงขลา

C03: บ้านบ่อขาด ต.ป่าขาด อ.สิงหนคร จ.สงขลา

C04: บ้านศาลาปูน ต.ปากพูน อ.เมือง จ.นครศรี
ธรรมราช

C05: บ้านทุ่งน้ำเค็ม ต.โมคลาน อ.ท่าศาลา
จ.นครศรีธรรมราช

C06: บ้านศาลาบางปู อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช

C07: บ้านบาล จ.พระนครศรีอยุธยา

C08: บ้านบางปะหัน จ.พระนครศรีอยุธยา

C09: บ้านท่าไห อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี

C10: บ้านโนนทราย ต.หนองบัว อ.กันทรารมย์
จ.ศรีสะเกษ

C11: บ้านดงเปือย จ.สุรินทร์

C12: บ้านทะเลแก้ว ต.พลายชุมพล อ.เมือง
จ.พิษณุโลก

C13: ม่อนเขาแก้ว ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง

C14: ดินเหนียวด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา

C15: ดินทรายด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา

C16: ดินขาว ในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จ.นครราชสีมา

C17: ดินจักราช อำเภोजักราช จ.นครราชสีมา

การผลิตถ่านกัมมันต์จากทางจากในแหล่งชุมชนลุ่มน้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง
The production of Activated Carbons from Nipa palm stalk in Palain River
Basin Community, Trang Province

สุปราณี วุ่นศรี^{1*}, วรารุณิ ดวงศิริ¹, นพดล โพชกำเหนิด¹

Supranee Wunsri^{1*}, Woorawood Duagsiri¹, Noppadon Podkumnerd¹

^{1*} หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

Science Program, Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala

University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 08 1539 0193, E-mail: kongsuwan9153575@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติถ่านกัมมันต์ทางจาก โดยการใช้ทางจากของต้นจากไปเตรียมถ่านทางจากด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน และนำถ่านจากไปกระตุ้นทางเคมี ใช้เทคนิคการให้ความร้อนโดยการกลั่นไพลย้อนกลับเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ทางจาก โดยศึกษาชนิดของสารละลายความเข้มข้น อัตราส่วนระหว่างถ่านทางจากต่อสารกระตุ้น เวลาที่ใช้กระตุ้น และวิเคราะห์สมบัติในการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู จากการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ทางจาก เมื่อใช้ $ZnCl_2$ ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างของถ่านทางจากต่อสารกระตุ้น เป็น 1 : 4 ใช้เวลาการกระตุ้น 3 ชั่วโมง ที่ภาวะดังกล่าวได้ถ่านกัมมันต์ทางจากที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด เท่ากับ 659.90 ± 28.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจะต้องมีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ต่ำกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู เท่ากับ มีค่าการดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ร้อยละ 96.54 ± 0.15 ใช้ปริมาณถ่าน 1.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมีค่าเท่ากับร้อยละ 98.94 ใช้ปริมาณถ่าน 1.0 กรัมต่อลิตร

คำสำคัญ : ทางจาก ถ่านจาก ชีวมวล ถ่านกัมมันต์

Abstract

This study was investigated the properties of activated carbon prepared from Nipa palm stalk. The stalk was used to produce charcoal by carbonization process. The charcoal was then activated by chemicals. Reflux technique was used for heating in order to optimize the synthesis

Received 23-01-2019
Revised 01-04-2019
Accepted 03-04-2019

Conditions activated carbon from Nipa palm stalk. The optimized parameters were ratio of activated chemical to charcoal, time, absorption of Iodine, absorption of methylene blue. The results showed that the use of 30% of ZnCl_2 at the ratio of 1:4 (w/w) of Nipa palm stalk activated carbon and activated chemical, activated time of 3 hours, gave the highest performance for Iodine absorption (659.90 ± 28.17 mg/g). This was higher than that of the industrial product standards which state a minimum Iodine absorption at 600 mg/g. The methylene blue absorption was 96.54 ± 0.15 % for 1.0 g/l of charcoal which is slightly lower than industrial product standards (98.94 % for activated carbon 1.0 g/l)

keywords : Nipa palm stalk, Nipa palm activated carbon, Biomass

1. บทนำ

วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักทั้งหลาย เช่น ชีวมวล เซลลูโลส ลิกไนต์และถ่านหิน สามารถเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์หรือคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์เป็นสารคาร์บอนที่มีโครงสร้างรูพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะภายในสูง ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นหลัก (ร้อยละ 87 ถึง 97) มีปริมาตรรูพรุนรวมมากกว่า 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม มีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะภายในมากกว่า 400 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดความกว้างรูพรุนในช่วง 0.3 นาโนเมตร ถึง หลายพันนาโนเมตร [1] สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการดูดซับสารพิษ [2 - 3] จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้ เช่น บำบัดน้ำเสีย [4] ผลิตน้ำดื่ม ดูดซับโลหะหนัก และการแก้ปัญหามลพิษทางอากาศ เช่น การปรับปรุงแก๊สไปโอไฮโดรเจนให้มีความบริสุทธิ์ [5] ดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สไนโตรเจน (N_2) ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เคลือบโคโคซาน [6] เป็นต้น

จากการศึกษาชุมชนตำบลวังวน อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ประกอบอาชีพหลัก คือ การแปรรูปยอดจากเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ใบจากสุบ

ติหมาเป็นภาชนะใส่น้ำ และเครื่องจักสาน เพื่อจำหน่ายทั่วประเทศ ดังภาพที่ 1 ซึ่งในการแปรรูปยอดจากก็จะมีเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก มีการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งไปประยุกต์ใช้น้อย ส่งผลให้เกิดปัญหาขยะในชุมชน ทำให้ชุมชนเสียพื้นที่ในการนำไปใช้ประโยชน์ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์นำโรค และมีปัญหากลิ่นเหม็นของขยะหมัก



(a) ใบจากสุบ



(b) ติหมา



(c) เครื่องจักสาน

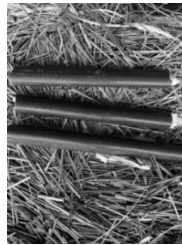
ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์จาก

จากการพิจารณาก่อนทางจากเป็นวัสดุชีวมวลที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ในขณะที่ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และสารระเหยมีค่าต่ำ [7] ซึ่งจากสมบัติดังกล่าวก่อนจากเป็นวัสดุชีวมวลที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ได้ [8 – 12] ซึ่งในการศึกษางานวิจัยนี้เป็นศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นทางเคมี เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากทางจากให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสามารถกำจัดมลพิษต่าง ๆ ได้ ส่งผลให้สามารถลดปริมาณขยะชีวมวลที่มีในชุมชน ลดแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์ที่มีพิษ และทำให้ชุมชนน่าอยู่

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมถ่านทางจากด้วยวิธีการคาร์บอนใน-เซชัน

นำทางจากมาล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บริเวณผิวของทางจาก แล้วนำมาผ่านกระบวนการดังภาพที่ 2 หลังจากนั้นนำมาตากให้แห้ง แล้วนำทางจากมาเผาด้วยเตาเผาถ่านที่อุณหภูมิ 800 - 1000°C แล้วนำถ่านจากมาการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของทางจากและถ่านกัมมันต์ทางจากประกอบด้วย ค่าความชื้น (Moisture content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2867-95 [13] (Annual Book of ASTM Standard, 1998) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D5832-95 [14] (Annual Book of ASTM Standard, 1998) ปริมาณเถ้า (Ash) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2866-94 [15] (Annual Book of ASTM Standard, 1998) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)



(a) การตัดทางจาก



(b) การผ่าทางจาก



(c) การดัดเยื้องจากออก



(d) ทางสำหรับเตรียมถ่าน

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมถ่านจากทางจาก

2.2 การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ทางจากด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วยชนิดของสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย อัตราส่วนระหว่างถ่านต่อสารละลาย และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น โดยพิจารณาจากค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์หลังการกระตุ้นทางเคมีในภาวะที่เหมาะสม

2.2.1 การศึกษาชนิดของสารละลายสำหรับการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก

นำถ่านกัมมันต์ทางจากผสมกับ $ZnCl_2$ [16], KOH และ H_3PO_4 [17 - 18] ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากต่อสารละลาย 1 : 4 แล้วนำไปให้ความร้อนโดยการกลั่นไอลย้อนกลับ (Reflux) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำถ่านกัมมันต์ทางจากมาล้างจนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้าง มีค่า pH = 7 หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วอบที่อุณหภูมิ 110 - 120°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

แล้วนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D4607-94 [19]

2.2.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายสำหรับการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก

นำถ่านกัมมันต์ทางจากที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลายที่เหมาะสมจากข้อ 2.2.1 มาผ่านการกระตุ้นที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 แล้วนำมาผ่านกระบวนการตามขั้นตอนในข้อ 2.2.1 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ทางจากไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน

2.2.3 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากต่อสารละลาย

นำถ่านกัมมันต์ทางจากอบที่อุณหภูมิ 110 - 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผสมกับชนิดสารละลายและความเข้มข้นของสารละลายที่เลือกจากภาวะที่เหมาะสม จากข้อที่ 2.2.1 และข้อที่ 2.2.2 ตามลำดับ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากต่อสารละลาย เป็น 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 และ 1 : 5 แล้วนำมาผ่านกระบวนการตามขั้นตอนในข้อ 2.2.1 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ทางจากมาวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน เพื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม

2.2.4 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก

นำถ่านกัมมันต์ทางจากอบที่อุณหภูมิ 110-120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาผสมกับชนิดของสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย และอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากข้อที่ 2.2.1, 2.2.2 และ 2.2.3 ตามลำดับ แล้วนำไปให้ความร้อนโดยการกลั่นไพล์ย้อนกลับ (Reflux)

เป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง [20] แล้วนำมาผ่านกระบวนการตามขั้นตอนในข้อ 2.2.1 จากนั้นวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางจาก เพื่อพิจารณาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้น

2.2.5 การศึกษาสมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ของทางจาก

เริ่มจากการนำเมทิลีนบลูมาละลายในน้ำกลั่น นำมาเติมในถ่านกัมมันต์ทางจากที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.0-8.0 กรัมต่อลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร กับปิเปตเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ นำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนกระทั่งถึงสมดุลของการดูดซับ แล้วจึงกรองถ่านกัมมันต์ทางจากออก นำไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Biochrom LiBra S22, UK) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาร้อยละของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู [21] และนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู [22]

2.3 การตรวจหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์ทางจาก

นำถ่านกัมมันต์ทางจากที่เตรียมได้ตามภาวะที่เหมาะสมไปตรวจหาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น Quanta400 FE1 Czech Republic ในการศึกษาลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทางจากเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระตุ้นและหลังการกระตุ้น

3. ผลและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการเตรียมถ่านทางจากด้วยวิธีการคาร์บอนเซชัน

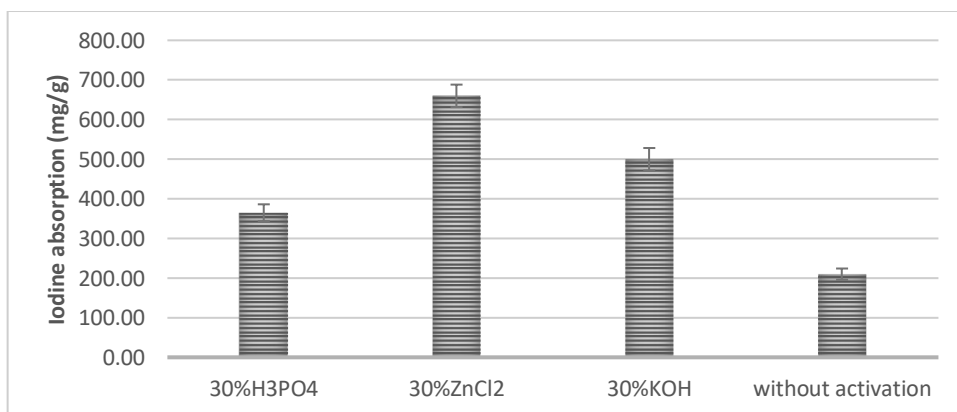
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านทางจาก พบว่า มีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้าและคาร์บอนคงตัว มีค่าเป็น ร้อยละ 10.32 ± 0.33 , ร้อยละ 10.34 ± 2.81 , ร้อยละ 8.73 ± 0.32 และ ร้อยละ 70.60 ± 2.33 ตามลำดับ

3.2 ผลการศึกษากิจกรรมการกระตุ้นทางเคมีเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางจาก

3.2.1 ผลการศึกษาชนิดของสารละลายที่ใช้กระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก

จากการศึกษากิจกรรมการหาสารละลายที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก คือ

$ZnCl_2$ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากต่อสารละลาย 1:4 ที่อุณหภูมิ $550^\circ C$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำถ่านกัมมันต์ทางจากมาวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่า มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงที่สุดเท่ากับ 659.89 ± 28.37 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังภาพที่ 4 สอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดสียอมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู พบว่า การกระตุ้นถ่านคาร์บอนเซชันด้วย $ZnCl_2$ ในอัตราส่วนน้ำหนักแห้งของถ่านต่อ $ZnCl_2$ เป็น 1 : 3 ที่อุณหภูมิ $650^\circ C$ เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด คือ 743.99 มิลลิกรัมต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องมาจาก $ZnCl_2$ สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของถ่านจากทางจากได้มากกว่า KOH และ H_3PO_4 [23]



ภาพที่ 3 การศึกษาสารละลายที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ คือ H_3PO_4 , $ZnCl_2$ และ KOH ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30

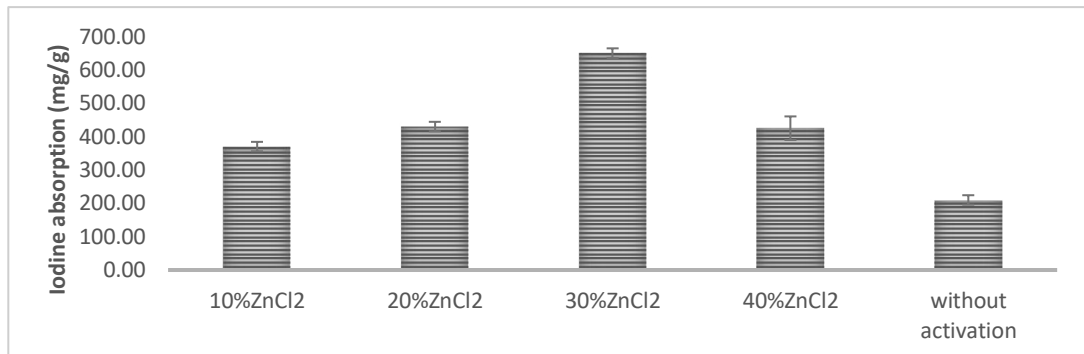
3.2.2 ผลของการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก

จากการศึกษาชนิดของสารละลายในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก ประกอบด้วย

$ZnCl_2$, KOH และ H_3PO_4 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ดังภาพที่ 5 พบว่า $ZnCl_2$ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงที่สุด เท่ากับ 649.98 ± 14.32 มิลลิกรัมต่อกรัม และ $ZnCl_2$ ที่ความเข้มข้น

ร้อยละ 10 มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 369.93 ± 14.18 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์

ทางจากที่ไม่ผ่านการกระตุ้นมีค่าการดูดซับไอโอดีน เท่ากับ 209.97 ± 14.15 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

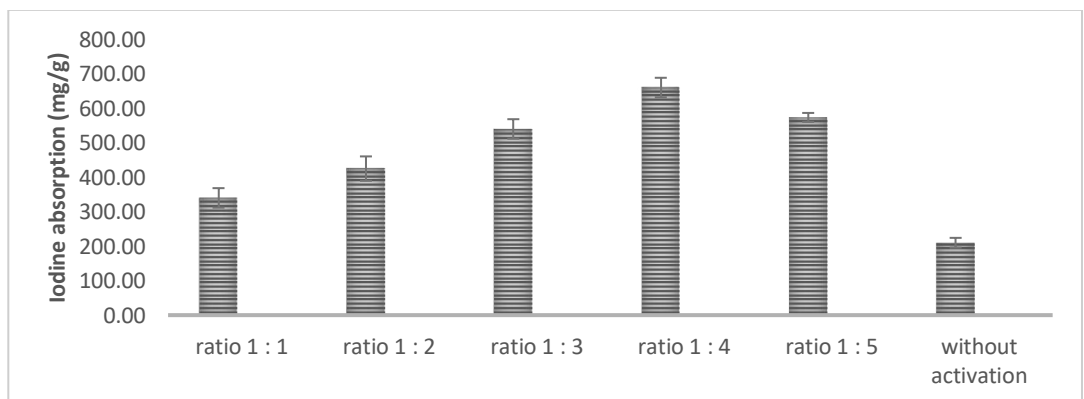


ภาพที่ 4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมในการกระตุ้น โดยใช้ ZnCl₂ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, 30 และ 40

3.2.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากกับสารกระตุ้น

จากการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากต่อสารกระตุ้น เป็น 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 และ 1 : 5 ดังภาพที่ 5 แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่า

อัตราส่วน 1 : 4 มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงที่สุด เท่ากับ 659.88 ± 28.33 มิลลิกรัมต่อกรัม และอัตราส่วน 1 : 1 มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 339.92 ± 28.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นมีค่าการดูดซับไอโอดีน เท่ากับ 209.97 ± 14.15 มิลลิกรัมต่อกรัม

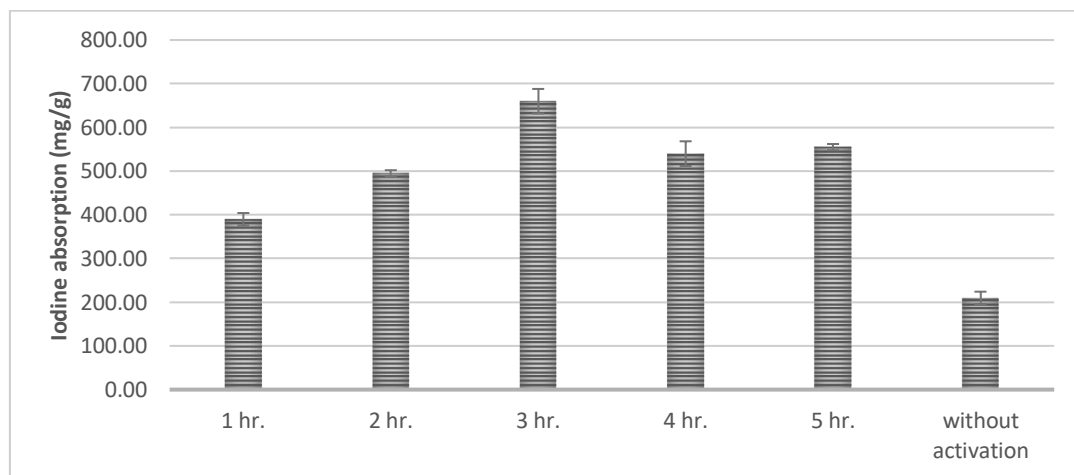


ภาพที่ 5 การศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากต่อสารกระตุ้นที่อัตราส่วน 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 และ 1 : 5

3.2.4 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้กระตุ้น ถ่านกัมมันต์ทางจาก

จากการศึกษาเวลาที่ใช้สำหรับการกระตุ้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ดังภาพที่ 6 พบว่า เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 3 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงที่สุด เท่ากับ 659.90 ± 28.17 มิลลิกรัมต่อกรัม และที่เวลากระตุ้น 1 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับ

ไอโอดีนต่ำที่สุด 389.90 ± 14.17 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงให้เห็นว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมเนื่องจากถ้าใช้เวลามากกว่านี้ปริมาณพื้นที่ผิวในการดูดซับมีค่าลดลงเนื่องจากผนังของรูพรุนเกิดการยุบตัว และอุดปิดรูพรุนบางส่วน [24] ส่งผลทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับที่แตกต่างกัน [25]



ภาพที่ 6 การศึกษาระยะเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจากที่เหมาะสมที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง

3.2.5 ผลการดูดซับสารละลายของถ่าน กัมมันต์ทางจาก

3.2.5.1 ผลการดูดซับสารละลาย ไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางจาก

จากการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางจาก พบว่า กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากต่อสารกระตุ้น 1 : 4 ที่อุณหภูมิ $550^\circ C$ เวลาที่ใช้กระตุ้น 3 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับสารละลายไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 659.90 ± 28.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าการดูดซับไอโอดีนเกรดการค้าผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

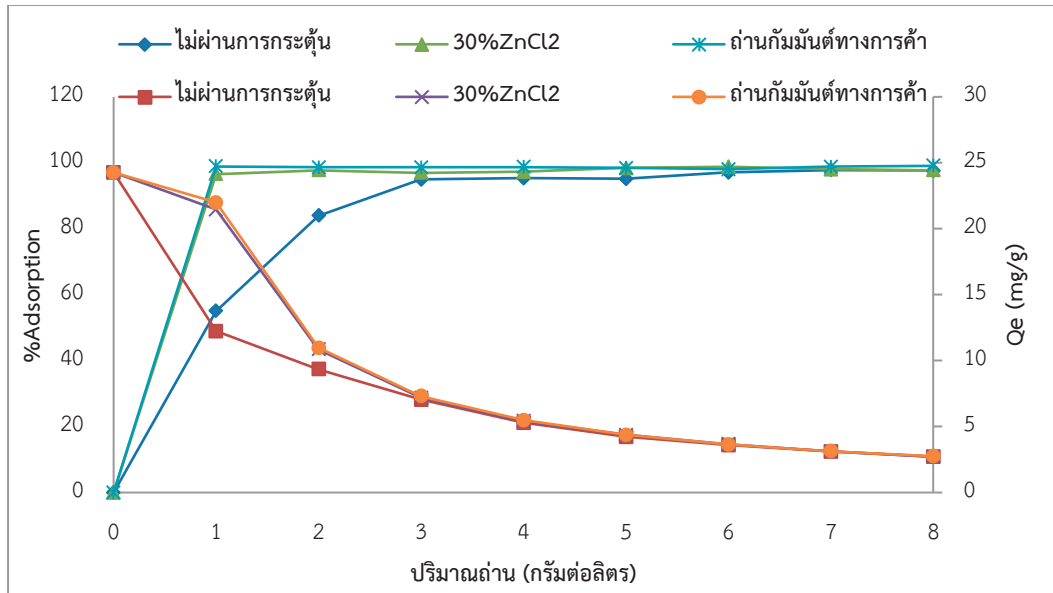
ที่ผลิตเพื่อจำหน่ายซึ่งจะต้องมีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ต่ำกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม [26]

3.2.5.2 ผลการดูดซับสีเมทิลีนบลูของ ถ่านกัมมันต์ทางจาก

จากการศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ทางจากที่ผ่านการกระตุ้นด้วยภาวะที่เหมาะสม ดังภาพที่ 7 พบว่า มีค่าการดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ ร้อยละ 96.54 ± 0.15 ใช้ปริมาณถ่าน 1.0 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ทางจากที่ไม่ผ่านการกระตุ้น สามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ ร้อยละ 94.92 ใช้ปริมาณถ่าน 3.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณของถ่านกัมมันต์มากขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสี

ของเมทิลีนบลูจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจาก มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสีเพิ่มขึ้น [27] และมีค่า ไกล่เคียงกับค่าการดูดซับเมทิลีนบลูถ่านกัมมันต์เกรด

การค้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 98.94 ใช้ปริมาณถ่าน 1.0 กรัมต่อลิตร

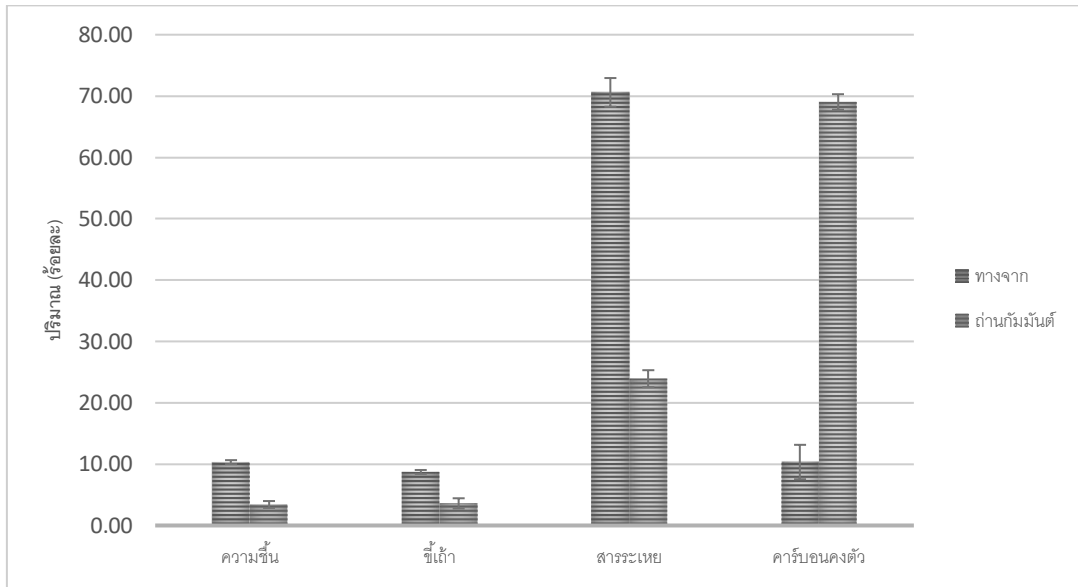


ภาพที่ 7 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ทางจาก

3.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ ถ่านกัมมันต์ทางจาก

จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ทางจาก ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมีที่เหมาะสม แล้วนำมา วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วยค่า ความชื้น เท่ากับ ร้อยละ 3.42 ± 0.56 ปริมาณสาร ระเหย เท่ากับ ร้อยละ 23.93 ± 1.38 ปริมาณเถ้า เท่ากับ ร้อยละ 3.60 ± 0.83 และคาร์บอนคงตัว เท่ากับ ร้อยละ 69.04 ± 1.26 และเมื่อนำมา

เปรียบเทียบกับทางจาก ดังภาพที่ 8 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากทางจากมีค่าคาร์บอนคงตัวสูงกว่า ทางจาก และในด้านของค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหยต่ำกว่าทางจาก ซึ่งถ่านกัมมันต์ จากทางจากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ถือว่าเป็น สมบัติที่ดีของวัตถุดิบที่จะนำมาเตรียมถ่านกัมมันต์ และการมีปริมาณเถ้าต่ำ ส่งผลต่อความสามารถ ในการดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ เตรียมได้สูงตามไปด้วย

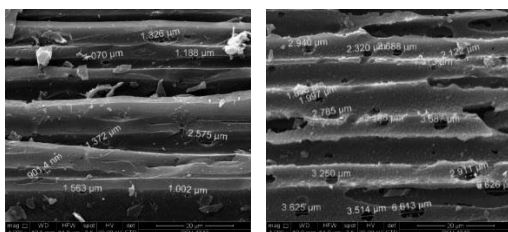


ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของถ่านทางจากกับถ่านกัมมันต์ทางจาก

3.4 ผลการศึกษาความพรุนของถ่านกัมมันต์

ทางจาก

จากการศึกษาความพรุนของถ่านกัมมันต์ทางจาก ดังภาพที่ 9 ด้วยเทคนิคการทดสอบแบบถ่ายภาพอิเล็กตรอนไมโครกราฟ เพื่อเปรียบเทียบความพรุนก่อนและหลังการกระตุ้นทางเคมีของตัวอย่าง ซึ่งพบว่า ถ่านกัมมันต์ทางจากหลังการกระตุ้นด้วยภาวะที่เหมาะสมทำให้มีปริมาณรูพรุนมากกว่าก่อนการกระตุ้น



(a) ก่อนการกระตุ้น (b) หลังการกระตุ้น

ภาพที่ 9 ภาพถ่ายอิเล็กตรอนไมโครกราฟ

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ทางจาก เป็นวิธีการการกระตุ้นทางเคมีในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางจาก เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสม โดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$, KOH และ H_3PO_4 และใช้เทคนิคการให้ความร้อนโดยการกลั่นไพลย้อนกลับ พบว่าสารละลาย $ZnCl_2$ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกัมมันต์ทางจากกับสารละลาย เท่ากับ 1 : 4 ที่อุณหภูมิ $550^\circ C$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นภาวะที่เหมาะสม ซึ่งได้ถ่านกัมมันต์จากทางจากที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงที่สุด เท่ากับ 659.89 ± 28.37 มิลลิกรัมต่อกกรัม ซึ่งมีการดูดซับไอโอดีนสูงเกณฑ์มาตรฐานเกรดการค้าที่กำหนดไว้มากกว่า 600 mg/g และมีค่าการดูดซับสีเมทิลีนบลู เท่ากับ ร้อยละ 96.54 ใช้ปริมาณถ่าน 1.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน

เกรดการค้า เท่ากับ ร้อยละ 98.94 ± 0.15
ใช้ปริมาณถ่าน 1.0 กรัมต่อลิตร

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายของ
ทางจาก พบว่า ทางจากสามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์
จากทางจาก เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง มี
ปริมาณสารระเหย และปริมาณเถ้าต่ำ เป็นสมบัติของ
ชีวมวลที่ดีในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และ
สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวดูดซับสารพิษ
ในกระบวนการทางด้านการบำบัดน้ำเสีย และ
การแก้ปัญหามลพิษทางอากาศ ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่ได้
ให้การสนับสนุนมอบทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณ
รายได้ ประจำปี 2561 ขอขอบคุณอาจารย์ประจำ
หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะ
ศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
สงขลา ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จ
ลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สัมฤทธิ์ ไม้พวง. ถ่านกัมมันต์. พิษณุโลก:
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2558.
- [2] Hayashi J, Kazehaya A, Muroyama K,
et al. Preparation of activated carbon
from lignin by chemical activation.
Carbon. 2000; 13(38):1873-8.
- [3] Nabais JV, Carrot RMM, Luz V. et al.
Influence of preparation conditions in
the textural and chemical properties of

activated carbons from a novel biomass
precursor: the coffee endocarp.
Bioresour Technol. 2008; 99(15):7224-
7231.

- [4] Song XL, Liu HY, Cheng L. et al. Surface
modification of coconut-based activated
carbon by liquid-phase oxidation and its
effects on lead ion adsorption.
Desalination. 2010; 255(1-3):78-84.
- [5] Founghuen J, Pairin N, Phalakornkule C.
Impregnation of chitosan onto activated
carbon for biohydrogen purification.
KMUTNB Int J Appl Sci Technol. 2016;
9(3): 197-209.
- [6] Pitakchon T. Adsorption equilibrium and
kinetics study of CO₂ [Subscript] CH₄
[Subscript] and N₂ [Subscript] on
chitosan impregnated activated carbon.
[dissertation]. Bangkok: King Mongkut's
University of Technology North Bangkok;
2011.
- [7] Ahmedna M, Marshall WE, Rao RM.
Production of granular activated carbon
from select agricultural by product and
evaluation of their physical, chemical
and adsorption properties. Bio resour
Technol. 2000; 71(2):113-23.
- [8] Achaw OW, Afrane G. Theevaluation of
the pore structure of coconut shells
during the preparation of coconut shell
coconut based activated carbons.

- Microporous Mesoporous Mat. 2008; 112(1-3):284-291.
- [9] Hayashi J, Yamamoto N, Horikawa T. Preparation and characterization of high specific surface-area activation carbon from K_2CO_3 -treated waste polyurethane. J of Colloid Interface Sci. 2005; 281(2): 437-43.
- [10] Hu Z, Srinivasan MP. Preparation of High-Surface-Area Activated Carbons from Coconut Shell. Micro Porous and Mesoporous Materials. 1999; 27(1):11-8.
- [11] Phothitontimongkol T. Activated carbon from agricultural residues by chemical activation for the application of pollutant removal in water. J Res Unit Sci Tech Environ Learning. 2017; 8(1):197-214.
- [12] Qiao WM, Korai Y, Maeda T. Preparation of an activated carbon artifact: factors influencing strength when using a thermoplastic polymer as binder. Carbon. 2001; 39(15):2355-2368.
- [13] ASTM Committee on Standards. Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon D2867-95. 15.01. 709-711: Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: Astm Intl; 1998.
- [14] ASTM Committee on Standards. Standard Test Method for Total Volatile Matter Content of Activated Carbon Sample D5832-95. 15.01. 782: Annual Book of ASTM Standard. West Conshohocken: Astm Intl; 1998.
- [15] ASTM Committee on Standards. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon D2866-94. 15.01. 707-708: Annual Book of ASTM Standard. Conshohocken: Astm Intl; 1998.
- [16] Sahu JN, Jyotikusum A, Meikap BC. Optimzation of production conductions for activated carbons from Tamarind wood by zine chloride using response surface methodology. Bioresourec Tech. 2010; 101(6):1974-82.
- [17] Prahas D, Kartika Y, Indraswati N, et al. Activated carbon from jackfruit peel waste by H_3PO_4 chemical activated: Pore structure and surface chemistry characterization. Chem Eng J. 2008; 140(1-3):32-42.
- [18] Ould-Idriss A, Stitou M, Cuerda-Correa E., et al. Preparation of activated carbons from olive-tree wood re-visited. I. Chemical activated with H_3PO_4 . Fuel Process Tech. 2011; 92(2):261-5.
- [19] ASTM Committee on Standards. Standard Test Method for Determination of Iodine number of Activated carbons. annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: Astm Intl; 1998.

- [20] พัทธ์ชัย อยู่มี. การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากผงถ่านไม้โดยการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2015; 43(4):788-98.
- [21] รวิจันทร์ สุทธะนันท์, โกวิท พิชะมังคลา. จุลนาโนสตรและเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้เปลือกถั่วลิสง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2008; 31(4):751-63.
- [22] รวิจันทร์ สุทธะนันท์, โกวิท พิชะมังคลา. จุลนาโนสตรและเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้แกลบ ตัดแปร. วารสารวิชาการพระจอมเกล้า พระนครเหนือ. 2011; 21(2), 337-48.
- [23] อรดี ฤทธิชัย, ศศิธร มั่นเจริญ. การกำจัดสีข้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปอ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2014; 19(1):131-40.
- [24] Sun J, Hippo EJ, Marsh H, et al. Activated Carbon Produced from an Illinois Basin Coal. Carbon. 1997; 35(3):341-52.
- [25] Wang LG, Yan GB. Adsorptive removal of directed yellow dye from aqueous solution using bamboo charcoals activated with different chemicals. Desalination. 2011; 274(1/3):81-90.
- [26] มาตรฐานการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์มอก. 900-2547. 2547.
- [27] Ozer D, Dursum G, Ozer A. Methylene blue adsorption from aqueous solution by dehydrated peanut hull. J Hazard Mater. 2007; 144(1-2):171-9.

การปรับปรุงอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ[†]

Improvement of temperature in compressor room to reduce the energy consumption of compressed air system

ธีรนนท์ นามวงษา¹, ณัฐดนัย พรณูเจริญวงศ์^{2*}, ฉัตรชัย เบญจปิยะพร¹, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช²
Teranon Namwongsa¹, Nattadon Pannucharoenwong^{2*}, Chatchai Benjapiyaporn¹,
Phadungsak Ratanadecho²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

¹Department of mechanical engineering, Faculty of engineering, Khon Kaen University, Thailand

²Department of mechanical engineering, Faculty of engineering, Thammasat University, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 0 3825 9050-55, Email: pnattado@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศต่อการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยใช้ระบบอัดอากาศของบริษัท พานาโซนิค แมนูแฟคเจอร์ (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น การเก็บข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง โดยช่วงที่หนึ่งเป็นการเก็บข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงเพื่อลดอุณหภูมิ ในการปรับปรุงนั้นได้ทำการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศจากขนาด 1,060 m³/min เป็นขนาด 1,700 m³/min และขนาดท่อสุญญากาศดูดความร้อนให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นทำการเก็บข้อมูลที่ได้โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิรอบ ๆ เครื่องและภายในห้อง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการผลิตอากาศอัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ อีซีโอ พาวเวอร์มิเตอร์ และ โพลมิเตอร์ ตามลำดับ จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกห้องอยู่ที่ 28°C และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องลดลงจาก 38°C เป็น 33°C ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในช่วงไหลลดลงจาก 6.63 kW/m³/min เป็น 6.4 kW/m³/min ปริมาณการใช้พลังงานลดลงจาก 5,846 kWh/day เป็น 5,704 kWh/day และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการเกิด CO₂ สามารถลดไปได้ 27 ตัน CO₂ ต่อปี ในช่วงที่ 2 และ 3 เป็นการติดตามผลเมื่ออุณหภูมิภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง โดยช่วงที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกอยู่ที่ 31°C มีการใช้พลังงาน 5,688 kWh/day และช่วงที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกอยู่ที่ 36°C มีการใช้พลังงาน 5,737 kWh/day จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิภายนอกไม่ได้เป็นผลกระทบโดยตรงที่ทำให้อุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศสูงขึ้น แต่มาจากความร้อนที่ถูกปล่อยจากตัวเครื่อง ดังนั้นการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นต้นทุนในการผลิตได้

คำสำคัญ: ระบบอัดอากาศ อุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศ การใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ

[†] บทความจากงานประชุมวิชาการระดับชาติเชิงสร้างสรรค์ครั้งที่ 2
ราชชมงคลกรุงเทพวิชาการ ระหว่างวันที่ 24-26 กรกฎาคม 2561

Abstract

This research aims to study the effect of temperature at compressor room on the energy consumption of compressed air system at Panasonic Manufacturing (Thailand) co. Ltd Khon Kaen branch. The data was recorded for three periods. First period was pre and post compressed air system improvement to reduce temperature. The improvement was done by changing the exhaust fan capacity from 1,060 to 1,700 m³/min, and relocate installing position of vacuum suction from above the compressor to compressor exhaust. Then, the data including the temperature around machine and inside room, power consumption and air flow rate were measured by thermo logger, ECD power metter and flow rate meter, respectively. The results founded that an average temperature inside room was decreased from 38 to 33 °C, efficiency of the compressor was increased from 6.63 kW/m³/min to 6.4 kW/m³/min, and energy was decreased from 5,846 to 5,704 kWh/day. In addition, this improvement can reduce amount of carbon dioxide (CO₂) for 27 tons per year. For second and third periods the results were observed when outside temperature was changed. The second period, there was energy consumption of 5,688 kWh/day when an average outside temperature was 31 °C. In addition, outside temperature at 36 °C, there was energy consumption of 5,737 kWh/day in the third period. From the results showed that it was the change of outside temperature does not affect on temperature at compressor room, but obtained from heat of machines. Therefore, temperature reduction can increase the efficiency of the compressor, resulting to save the energy as a production cost.

Keywords: Compressed air system, Temperature in compressor room, Energy consumption

1. บทนำ

บริษัท พานาโซนิค แมนูแฟกเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น เป็นโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากระบบอัดอากาศ สาเหตุที่ระบบอัดอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก เพราะอากาศอัดเป็นพลังงานสะอาดเหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมประเภทนี้ [1] และเครื่องจักรผลิตชิ้นงานของโรงงานใช้ระบบนิวเมติกส์เป็นระบบต้นกำลังสำหรับเครื่องจักรเป็นส่วนใหญ่ จึงต้องมีการผลิตอากาศ

อัดเพื่อมาใช้กับเครื่องจักรเหล่านี้และส่วนอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการในการผลิตดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องจักรในกระบวนการผลิต

จึงต้องมีการผลิตอากาศอัดเพื่อมาใช้กับเครื่องจักร และส่วนอื่น ๆ ในกระบวนการผลิต จากการศึกษา มาตรการจัดการพลังงานจากแหล่งต่าง ๆ พบว่าส่วน ใหญ่แล้วให้ความสำคัญกับการลดการใช้พลังงานของ ระบบอัดอากาศเป็นอย่างมาก [2] โดยการหา มาตรการจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศ และ การจัดการกับตัวแปรต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งการเลือก สถานที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การทำงานของเครื่อง [3] เพื่อนำไปสู่การหาภาวะที่ เหมาะสมสำหรับเครื่องอัดอากาศ [4] ซึ่งจากการเก็บ ข้อมูลของค่าไฟฟ้าในปี 2559 ของโรงงาน พบว่ามี มูลค่าสูงถึง 100 ล้านบาท แต่หากคิดเป็นมูลค่าของ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอัดอากาศทั้งหมดของโรงงาน โดยจะคิดเป็นค่าพลังงานร้อยละ 36 ของค่าพลังงาน ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน จะเป็นมูลค่า 36 ล้านบาท ต่อปี และอีกหนึ่งปัญหาที่พบ ณ สภาพปัจจุบันคือ ภายในห้องอัดอากาศมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูง อากาศจะมีความหนาแน่นน้อย จึงต้องใช้พลังงานใน การดูดอากาศเพื่อให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการมาก ในขณะที่อากาศเย็นความหนาแน่นจะสูงจึงใช้ พลังงานในการดูดอากาศน้อยลงนั่นเอง [5] จึงทำให้ เครื่องอัดอากาศต้องใช้พลังงานในการทำงานมาก เนื่องจากอากาศที่ดูดเข้าเครื่องมีอุณหภูมิสูง หาก โรงงานมีการจัดการกับพลังงานที่ใช้ในระบบอัด อากาศของโรงงานได้อย่างเหมาะสม จะสามารถลด การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้ [6] จึงได้เลือก ระบบอัดอากาศของอาคารที่ 1 เป็นกรณีศึกษาโดย ระบบดังแสดงในภาพที่ 2 เพื่อศึกษาอุณหภูมิภายใน ห้องที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องอัดอากาศ โดย การปรับปรุงระบบระบายอากาศเพื่อลดอุณหภูมิ ภายในห้องอัดอากาศลง แล้วนำผลที่ได้ก่อนและหลัง ปรับปรุงมาวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งคาดว่าหลังจาก

ปรับปรุงลดอุณหภูมิลงแล้ว เครื่องอัดอากาศจะ ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและยังจะเป็นการช่วย ลดการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศนี้อีกด้วย



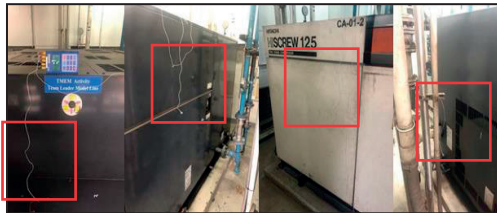
ภาพที่ 2 เครื่องอัดอากาศในระบบ

ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปเป็นแนวทางใน การลดพลังงานของระบบอื่น ๆ ในโรงงานได้หรือ ประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ [7] และจะเป็นการลดการใช้พลังงานของโรงงาน อุตสาหกรรม ที่ถือว่าเป็นกลุ่มที่ใช้พลังงานมากเป็น อันดับต้นของประเทศลงได้ [8] ดังนั้นบทความนี้จึง เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศที่ มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ [9]

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

ในการศึกษารั้วนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผล ของอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศต่อปริมาณการใช้ พลังงานของระบบอัดอากาศ จะทำการวัดอุณหภูมิ ภายในห้องอัดอากาศโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ เป็น เครื่องมือในการวัด โดยจะทำการติดตั้งไว้บริเวณบน เครื่องอัดอากาศทั้งหมดในระบบ แต่ละเครื่องจะวัด ทั้งหมด 5 ตำแหน่งได้แก่ ซ้าย ขวา หน้า หลังและ บริเวณช่องดูดอากาศเข้าดังแสดงในภาพที่ 3 ทำ

การวัดตลอดทั้งวัน 24 ชั่วโมง แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละช่วงเวลามาเฉลี่ยกัน



ภาพที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

ส่วนค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศในระบบทุก ๆ เครื่องสามารถดูได้จากฮิสโตแกรมมอเตอร์ ที่มีการติดตั้งไว้ที่ห้องควบคุมไฟฟ้าของอาคาร จะเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครื่องวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

และการวัดค่าของอัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องจะใช้โฟลมิเตอร์ ในการตรวจวัด โดยจะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดตัวนี้ก่อนอากาศอัดจะเข้าเครื่อง แอร์ไดเออร์ ในลักษณะต่อท่อเป็น 3 ทาง มีวาล์วลมเปิด-ปิด ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 จุดที่ติดตั้ง Flow Meter

สำหรับการเก็บข้อมูลในช่วงแรกจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนก่อนและหลังปรับปรุงระบบระบายอากาศ และหลังจากนั้นช่วงที่ 2 และ 3 จะเป็นการเก็บข้อมูลในช่วงที่อากาศภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง (ฤดูหนาวและฤดูร้อน) เพื่อดูว่าอุณหภูมิภายนอกห้องจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องอัดอากาศและอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศมากน้อยเพียงใด จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ห้องอัดอากาศมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือไม่ โดยจะใช้ระยะเวลา 2 สัปดาห์ในการเก็บข้อมูลในแต่ละส่วน แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ โดยช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูล	ช่วงเวลาเก็บข้อมูล (เดือน)
ก่อนปรับปรุง	กรกฎาคม
หลังปรับปรุง	สิงหาคม
ฤดูหนาว	พฤศจิกายน
ฤดูร้อน	เมษายน

ซึ่งการปรับปรุงระบบระบายอากาศ จะคำนวณดูจาก ปริมาณการปล่อยความร้อนออกมาของแต่ละเครื่อง เพื่อนำไปหาเครื่องระบายอากาศที่มีความเหมาะสม กับปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาของเครื่องอัด อากาศในระบบและการเพิ่มขนาดของท่อดูดอากาศ ให้มีลักษณะที่ครอบคลุมเครื่องทั้งระบบดังแสดงใน ภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การวางท่อดูดอากาศในห้องอัดอากาศ

โดยความร้อนที่ออกมาจากเครื่องอัดอากาศที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบันคือเครื่อง Model : OSP-125S5WT มีการปล่อยความร้อนออกมาเท่ากับ 122.0 MJ/h ใน อาคารที่ทางผู้วิจัยทำการศึกษา มีเครื่องในระบบมี ทั้งหมด 4 เครื่อง จะมีการปล่อยความร้อนออกมา เท่ากับ 488.0 MJ/h และได้มีการกำหนดให้มีค่า รักษาสภาพคงที่บวกเพิ่ม 5 % = 24.4 MJ/h แล้วจึง มาคำนวณหาค่าความร้อนจากสมการ (1)

$$Q = H / (0.00126 \times T \times 60) \quad (1)$$

เมื่อ Q = การระบายอากาศที่ต้องการ (m^3/min)
 H = ความร้อนที่ปล่อยออกมา (MJ/h)
 T = อุณหภูมิที่อนุญาตเพิ่มขึ้น ($^{\circ}C$)

นำข้อมูลที่เก็บได้มาเปรียบเทียบกับ เพื่อดูว่า หลังจากทำการปรับปรุงระบบระบายอากาศแล้ว จะ มีการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานอย่างไรและ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อปริมาณการใช้ พลังงานของระบบอัดอากาศมากน้อยเพียงใด ใน การเก็บข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บ ข้อมูลในแต่ละวันและค่าความคลาดเคลื่อนของ อุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลแต่ละตัวดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะเวลาเก็บข้อมูลและค่า ความคลาดเคลื่อนของแต่ละอุปกรณ์

Devices	Accuracy	Test
Thermo logger	$\pm 0.3^{\circ}C$	ทุก 5 นาที
ECO Power Meter	$\pm 2.5\%$	ทุก 5 นาที
Flow Meter	$\pm 3\%$	ทุก 5 นาที

หลังจากเก็บข้อมูลต่าง ๆ ตามตารางที่ 2 แล้ว จึงนำ ค่าที่เก็บได้มาคำนวณหา Energy consumption, Energy cost และ CO_2 emission จากสมการที่ (1), (2) และ (3) ในการคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี จะคิดที่ 350 วัน โดยอ้างอิงจากข้อมูลวันทำงานจริง ของบริษัท

$$\begin{aligned} \text{Energy consumption (kWh/year)} = \\ \text{Power} \times 350 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Energy cost (THB/year)} = \text{Energy consumption} \times \text{unit} \quad (3)$$

$$\text{CO}_2 \text{ emission (ton CO}_2\text{/year)} = \text{Energy consumption} \times (0.539/1000) \quad (4)$$

การหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศ จะทำการหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในช่วงไหลของแต่ละเครื่องจากสมการที่ (4) แล้วนำค่าที่ได้ของแต่ละเครื่องมาเฉลี่ยกันให้ได้เป็นประสิทธิภาพรวมของเครื่องในระบบ

$$\text{Actual specific power (kW/m}^3\text{/min)} = \text{Power consumption} / \text{Air flow rate} \quad (5)$$

หลังจากหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะได้แล้ว จึงนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมาตรฐานของเครื่องดังแสดงในตารางที่ 3 เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศในระบบ

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานของเครื่องอัดอากาศในระบบ

Information	Spec
Facility name	Air Compressor
Manufacturer	Hitachi
Manufacturing year	2004
Discharge pressure (MPa)	0.69
Air delivery (m ³ /min)	23.3
Voltage (V)	380
Nominal output (kW)	125
Heat generation (MJ/h)	122

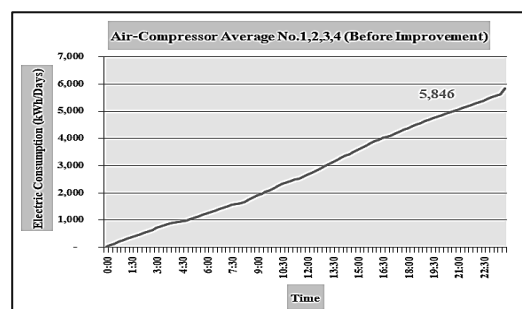
โดยตัวแปรที่ศึกษาและเก็บข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์หาผล ที่เกี่ยวข้องกับระบบอัดอากาศของอาคาร 1 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบ

Parameter	Symbol	Value	Unit
ขนาดถังเก็บ	V	6,000	L
อากาศ			
อัตราการใช้ไฟฟ้า	E	ทดลอง	kWh
อัตราการผลิตอากาศ	Q	ทดลอง	m ³ /min
อุณหภูมิภายในห้อง	T _{in}	ทดลอง	°C

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการปรับปรุงอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ ในช่วงแรกก่อนปรับปรุงระบบระบายอากาศเก็บข้อมูลในช่วงเดือนกรกฎาคม อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกห้อง 28°C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอยู่ที่ 38°C ซึ่งที่อุณหภูมินี้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 5,846 kWh/day ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ค่าการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงลดอุณหภูมิ

ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าช่วงโหลดเฉลี่ยจาก 4 เครื่องเท่ากับ 87.87 kW และมีอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยเท่ากับ 13.25 m³/min ทำให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเท่ากับ 6.63 kW/m³/min ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าพลังงานก่อนการปรับปรุง

เครื่อง	อัตราการ ผลิตอากาศ (m ³ /min)	กำลังไฟ ฟ้าช่วง โหลด (kW)	พลังงานไฟฟ้า จำเพาะ (kW/m ³ /min)
No.1	12.7	87.6	6.90
No.2	13.1	88.6	6.76
No.3	13.5	88.1	6.53
No.4	13.8	87.2	6.32

เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมาเทียบกับค่ามาตรฐานของเครื่องแล้วทำให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศในระบบอยู่ที่ 76% จากข้อมูลที่ได้มาในส่วนแรก จึงได้มีการปรับปรุงระบบระบายอากาศเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศ โดยจะคำนวณหาขนาดของพัดลมดูดอากาศที่จะเปลี่ยนเพื่อให้มีความเหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่เครื่องปล่อยออกมาดังนี้

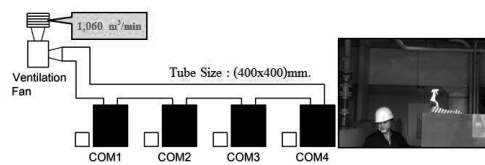
- ความร้อนที่เครื่องในระบบปล่อยออกมา 488 MJ/h
- รักษาสภาพคงที่บวกเพิ่ม 5 % = 24.4 MJ/h
- อุณหภูมิที่อนุญาตเพิ่มขึ้น 4°C

แทนค่าในสมการ (1)

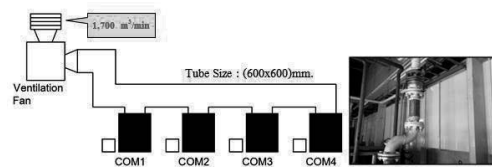
$$Q = (488+24.4) / (0.00126 \times 4 \times 60)$$

$$Q = 1,694 \text{ m}^3/\text{min} = 1,700 \text{ m}^3/\text{min}$$

หลังจากการคำนวณ จะได้ขนาดพัดลมดูดอากาศที่มีความเหมาะสมกับความร้อนที่เครื่องในระบบทั้ง 4 เครื่องปล่อยออกมา แล้วจึงทำการเปลี่ยนพัดลมดูดอากาศรวมไปถึงการเพิ่มขนาดท่อดูดอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและติดตั้งให้อยู่ใกล้กับบริเวณที่ปล่อยความร้อนของเครื่องอัดอากาศดังแสดงในภาพที่ 8 และภาพที่ 9

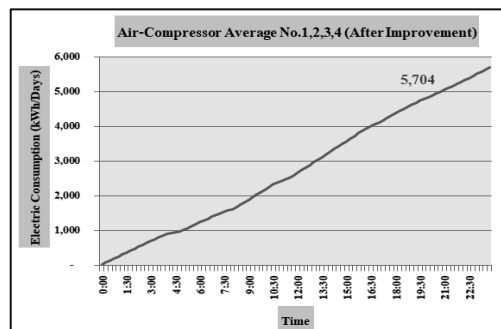


ภาพที่ 8 การปรับปรุงระบบระบายอากาศ (ก่อน)



ภาพที่ 9 การปรับปรุงระบบระบายอากาศ (หลัง)

หลังจากปรับปรุงลดอุณหภูมิภายในห้องอัดอากาศ วัดค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องลดลงเหลือ 33°C ซึ่งที่อุณหภูมินี้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 5,704 kWh/day ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ค่าการใช้พลังงานหลังปรับปรุงลดอุณหภูมิ

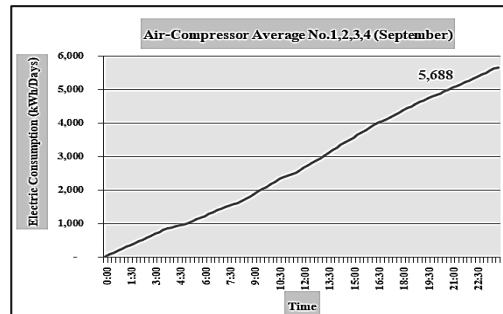
ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าช่วงโหลดเฉลี่ยจาก 4 เครื่องเท่ากับ 86.75 kW และมีอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยเท่ากับ 13.5 m³/min ทำให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเท่ากับ 6.4 kW/m³/min ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าพลังงานหลังการปรับปรุง

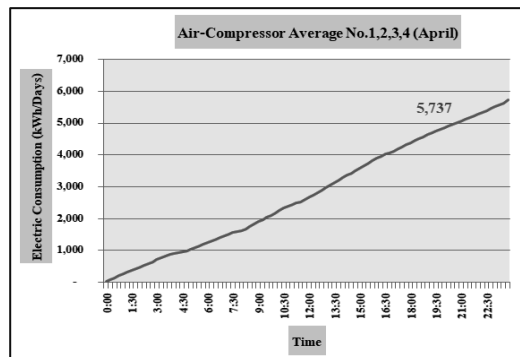
เครื่อง	อัตราการ ผลิต อากาศ (m ³ /min)	กำลังไฟฟ้า ช่วงโหลด (kW)	พลังงานไฟฟ้า จำเพาะ (kW/m ³ /min)
No.1	13.5	87.1	6.45
No.2	13.3	86.7	6.52
No.3	13.5	86.7	6.40
No.4	13.8	86.5	6.27

เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะมาเทียบกับค่ามาตรฐานของเครื่องแล้วทำให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องในระบบอยู่ที่ 80.6% ในช่วงของช่วงที่ 2 เก็บข้อมูลในช่วงเดือนพฤศจิกายน มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกห้องอยู่ที่ 22°C และวัดค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องได้ 31°C ซึ่งที่อุณหภูมินี้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 5,688 kWh/day ดังแสดงในภาพที่ 11 ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าช่วงโหลดเฉลี่ยจาก 4 เครื่องเท่ากับ 86.66 kW และมีอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยเท่ากับ 13.57 m³/min ทำให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเท่ากับ 6.38 kW/m³/min และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องในระบบอยู่ที่ 80.9% และในส่วนในช่วงที่ 3 เก็บข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกห้องอยู่ที่ 36°C และวัดค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องได้

34°C ซึ่งที่อุณหภูมินี้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 5,737 kWh/day ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 11 ค่าการใช้พลังงานในช่วงที่ 2 (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 12 ค่าการใช้พลังงานในช่วงที่ 3 (ฤดูร้อน)

ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าช่วงโหลดเฉลี่ยจาก 4 เครื่องเท่ากับ 87.12 kW และมีอัตราการผลิตอากาศอัดเฉลี่ยเท่ากับ 13.6 m³/min ทำให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะเท่ากับ 6.4 kW/m³/min และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องในระบบอยู่ที่ 80.6%

3.1 เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ในส่วนของการวิเคราะห์ทางด้าน เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมากสำหรับการจะตัดสินใจปรับปรุงเครื่องจักรหรือจัดการกับการใช้พลังงานของโรงงาน เพราะทุกอย่างล้วนแล้วแต่มีต้นทุนในการลงทุน จึง

ทำให้ก่อนปรับปรุงต้องมีการคำนึงเรื่องนี้เป็นสำคัญ และยังส่งผลต่อภาคอุตสาหกรรมอย่างมากเพราะ การลดการใช้พลังงาน เปรียบเสมือนการลดต้นทุนในการผลิตลงและยังเป็นการลดการเกิด CO₂ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการคำนวณหาค่า Energy consumption จากสมการที่ (2), Energy cost จากสมการที่ (3) และ CO₂ emission จากสมการที่ (4) เพื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับก่อนและหลัง การปรับปรุงลดอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศเพื่อดู ถึงจุดที่จะคุ้มทุนของการลงทุนปรับปรุงระบบระบาย อากาศและท่อดูดอากาศในครั้งนี้หลังจากคำนวณได้ ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบเศรษฐศาสตร์และ สิ่งแวดล้อม

Parameter	Before	After	Def.
Energy consumption (kWh/year)	2,046,100	1,996,400	49,700
Energy cost (THB/year)	6,363,371	6,208,804	154,567
CO ₂ emission (t-CO ₂ /year)	1,103	1,076	27

ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีลงได้ร้อยละ 3 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศของ อาคาร 1 โดยในปรับปรุงระบบระบายอากาศครั้งนี้ใช้ เงินลงทุนทั้งหมดประมาณ 500,000 บาท เมื่อ เปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานที่สามารถลดลงได้ ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3 ปี 1 เดือน

5. สรุปผลการทดลอง

การทำงานของเครื่องอัดอากาศก่อนที่จะมีการปรับปรุงเพื่อลดอุณหภูมิ มีค่าการใช้พลังงาน เท่ากับ 5,846 kWh/day และค่าพลังงานไฟฟ้า จำเพาะเท่ากับ 6.63 kW/m³/min พอหลังมีการปรับปรุงระบบระบายอากาศอุณหภูมิลดลงจาก 38°C เป็น 33°C มีค่าการใช้พลังงานลดลงเหลือ 5,704 kWh/day และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลง เหลือ 6.4 kW/m³/min จะเห็นได้ว่าในภาวะที่ อุณหภูมิที่ต่ำ เครื่องจะทำงานได้มีประสิทธิภาพ มากกว่าและค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ จะน้อย กว่าในภาวะที่อุณหภูมิสูง ต่อมาจึงได้มีการติดตามผล เพื่อที่จะดูว่าอุณหภูมิภายนอกห้องอัดอากาศที่ลดลง ตามฤดูกาลจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องและ อุณหภูมิภายในห้องมากน้อยเพียงใด ซึ่งจากการเก็บ ข้อมูลในช่วงที่ 2 ห้องอัดอากาศมีอุณหภูมิ 31°C มีการใช้พลังงาน 5,688 kWh/day และในช่วงที่ 3 ห้องอัดอากาศมีอุณหภูมิ 34°C มีการใช้พลังงาน 5,737 kWh/day จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายนอกห้อง มีผลต่อการทำงานของเครื่องอัดอากาศน้อยมากแทบ ไม่แตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าความร้อนภายในห้องอัด อากาศหลัก ๆ แล้วจะมาจากตัวเครื่องอัดอากาศที่ ปลดปล่อยความร้อนออกมา

ดังนั้นการปรับปรุงระบบระบายอากาศหรือ วิธีการต่าง ๆ ที่สามารถทำให้อุณหภูมิภายในห้องอัด อากาศลดลง จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ของโรงงานได้ นอกจากการลดอุณหภูมิภายในห้อง อัดอากาศ ยังสามารถทำได้อีกหลายวิธีจากที่ได้ ทำการศึกษามา ซึ่งในแต่ละวิธีการ จะสามารถลด

ปริมาณการใช้พลังงานได้ต่างกันไป มีทั้งการแก้ไขที่ตัวเครื่อง ระบบส่งจ่ายและผู้ใช้อากาศอัด ถึงแม้ว่าจะมีการปรับปรุงระบบอัดอากาศให้ดีมากแค่ไหน แต่หากผู้ใช้งานอากาศอัดไม่ตระหนักถึงคุณค่าหรือการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ใช้งานไม่ถูกวิธี จะไม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบอัดอากาศได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท พานาโซนิค แมนูแฟคเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น ที่อนุเคราะห์สถานที่และยอมให้บริษัทเป็นกรณีศึกษาและเก็บข้อมูลในการทำวิจัย สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ช่วยอนุเคราะห์ทุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

7. อ้างอิง

- [1] Mousavi S, Kara S, Kornfeld B. Energy efficiency of compressed air systems. *Procedia CIRP*. 2014;15:313–8.
- [2] Saidur R, Rahim NA, Hasanuzzaman M. A review on compressed-air energy use and energy savings. *Renew Sustain Energy Rev*. 2010; 14(4):1135–53.
- [3] Zahlan J, Asfour S. A multi-objective approach for determining optimal air compressor location in a manufacturing facility. *J Manuf Syst*. 2015; 35:176–90.
- [4] Yang M. Air compressor efficiency in a Vietnamese enterprise. *Energy Policy*. 2009; 37(6):2327–37.
- [5] Faxsaeng A, Yongchareon W. Energy Management of the compressed air system in glass industry. *J South Tech*. 2015; 6(1):1-8.
- [6] Benedetti M, Bertini I, Bonfa F, et al. Assessing and improving compressed air systems' energy efficiency in production and use: Findings from an explorative study in large and energy-intensive Industrial firms. *Energy procedia*. 2017;105:3112–7.
- [7] Pannuchaoenwong N. Comparison of biomethane gas wobbe index in different animal manure substrate. *Energy procedia*. 2017; 138:273–77.
- [8] Chaichan W, Tongnork S, Ornying P, et al. Study and design vertical axis wind turbine for low wind speed area. *UTK Res J*. 2017;11(2):17–25.
- [9] Samakkurn V, Latae A, Burandej W. Improve air compressors used in automation to reduce in the system. Chonburi. Burapha University. 2011.

การออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam Flexible Pavement Overlay Design from Benkelman Beam

ธรรมมา เจียรธรวานิช^{1*}, สวัสดิ์ ศรีเมืองธน¹

Thamma Jairtalawanich^{1*}, Sawat Srimuangthon¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep,
Thailand

*Corresponding author. Tel.: 0 2287 9638, E-mail: thamma.j@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam (BB) โดยการหาค่าการแอ่นตัวของผิวทาง ค่าความหนาเสริมผิวทาง และสมบัติการใช้งานของผิวทางที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam (BB) ซึ่งในการศึกษานี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูล การแอ่นตัวของผิวทางภายใต้น้ำหนักกระทำของโครงสร้างทางที่ได้เปิดการจราจรแล้วเฉพาะผิวทางชนิดแอสฟัลต์ คอนกรีต โดยศึกษาในด้านส่วนประกอบของโครงสร้างทาง สภาพของผิวทางที่ปรากฏ อายุการใช้งานและสภาพของ โครงสร้างชั้นทาง โดยทำการศึกษาในพื้นที่ภาคกลางทั้งหมด 10 สายทาง แบ่งเป็น 27 ช่วงทดลอง ช่วงทดลอง ละ 2 กิโลเมตร โดยมีการจัดแยกกลุ่ม Test section ตามปริมาณการจราจร ความหนาของผิวทางแอสฟัลต์ คอนกรีตและอายุการให้บริการ โดยวัดค่าการแอ่นตัวของผิวทางภายใต้น้ำหนักกระทำเป็นการเก็บข้อมูลค่า การแอ่นตัว ความหนาและประเภทวัสดุชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างทาง อุณหภูมิ ขนาดของร่องล้อ เพอร์เซ็นต์ การแตกร้าว และปริมาณการจราจร ซึ่งสามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่เก็บมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ Benkelman beam ใช้วิธีมาตรฐานของกรมทางหลวง (DOH standard) และนำค่าที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติช่วยในการหาความสัมพันธ์และค่าทางสถิติ ดังนั้น สำหรับผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ใช้ในการศึกษาพบว่าการใช้วิธี Benkelman beam ออกแบบเสริมผิวทางจะช่วยให้ได้ค่าการแอ่นตัวและค่าความหนาเสริมผิวทางมีการกระจายตัวและค่าผิดพลาดมาตรฐานน้อยลง ทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น เพื่อให้ถนนมีคุณภาพที่ดีขึ้น ลดการเสียหาย ช่วยประหยัดงบประมาณในการดูแล ซ่อมแซมถนนของประเทศลงได้

คำสำคัญ: Benkelman beam การออกแบบเสริมผิวทาง ผิวทางแบบยืดหยุ่น

ABSTRACT

This study aims to investigate the measurement of flexible pavement overlay design using Benkelman beam (BB). In this case, pavement deflection, pavement overlay thickness, and pavement usage property parameters that reported from measuring tool. In this study, data of pavement deflection under load was collected. Selected pavements are in asphalt concrete type and under usage. The structure component, appearances, usage lifetime, and layer structure were also investigated. For case study, 10 pavements in central region of Thailand were selected and separated into 27 test section, each range of 2 kilometers. Then, test sections were grouped according to traffic volume, asphalt concrete pavement thickness and service lifetime. Tool used for measuring pavement deflection parameter under load are Benkelman beam (BB), For testing, data of deflection parameter, thickness and type of material in each structure layer, temperature, rut depth, percent of cracking, and traffic volume were collected and analyzed Benkelman beam according to DOH standard to determine the relationship. In this step, statistical programming was used to determine relationship and statistical parameter. Therefore, this design resulted in reduction of construction cost, and the maintenance cost could be reduced.

Keywords: Benkelman beam, Overlay design, Flexible pavement

1. บทนำ

ในการทำการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้นำเสนอการเปรียบเทียบการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam ซึ่งจะช่วยลดปัญหาผิวทางที่มีสภาพชำรุด โดยเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การขยายตัวของปริมาณการจราจรที่เพิ่มสูงขึ้น การจราจรที่ติดขัด รถบรรทุกที่มีน้ำหนักเกินกว่าที่กำหนด โดยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จึงได้ทำการศึกษาเพื่อศึกษาผลการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam [1] เพื่อศึกษาว่าผลการออกแบบเสริมผิวทางที่ได้นั้นมีผลอย่างไร และวิธีการดังกล่าวทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพดีและเป็นการช่วยพัฒนาคุณภาพการออกแบบเสริมผิวทางในงานทางต่อไป [2]

นอกจากนี้ยังศึกษาวิธีการสำรวจในสนามและวิธีการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam เพื่อพิจารณาสมบัติ และประเมินสภาพผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบภายในสนามที่ใช้ในการศึกษา และเพื่อศึกษาผลการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman Beam และมีขอบเขตของการศึกษาคือ ผิวทางที่ใช้ในการศึกษาคือ ผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible pavement) โดยผิวทางที่ใช้ในการศึกษาจะมีอายุบริการตามที่ได้ออกแบบผิวทางไว้ 7 ปี ทำการศึกษาในพื้นที่ภาคกลางทั้งหมด 10 สายทาง แบ่งเป็น 27 ช่วงทดลอง ช่วงทดลองละ 2 กิโลเมตร โดยการศึกษาจะมุ่งศึกษาผลการออกแบบเสริม

ผิวทางแบบยึดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam และพิจารณาถึงสมบัติต่าง ๆ ของผิวทางแบบยึดหยุ่นที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งได้แก่ค่าการแอ่นตัว (Deflection) ขนาดของร่องล้อ (Rut depth) เพอร์เซ็นต์การแตกร้าว (Cracking) และความหนาเสริมผิวทาง (Overlay thickness) [3]

ดังนั้นประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ ทำให้ทราบว่าการทดสอบผิวทางแบบยึดหยุ่นสายทางเดียวกัน โดยทำการหาค่าการแอ่นตัวของผิวทางที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam จะทำให้ผลการออกแบบเสริมผิวทางแบบยึดหยุ่นที่ได้จากการออกแบบนั้นเป็นอย่างไร โดยพิจารณาว่าวิธีการดังกล่าวให้เหมาะสมต่อการออกแบบเสริมผิวทางแบบยึดหยุ่น เพื่อให้ถนนมีคุณภาพที่ดีขึ้น ลดการเสียหาย ช่วยประหยัดงบประมาณในการดูแลซ่อมแซมถนนของประเทศลงได้

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วิธีการทดลองของเครื่องมือ Benkelman beam

วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองของกรมทางหลวง ซึ่งมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้ [4]

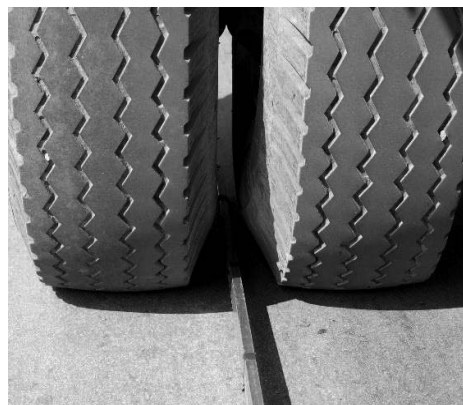
2.1.1 นำรถบรรทุกเข้าจอดตามแนวของถนน ให้ช่องล้อคู่หน้าออกอยู่ในแนวของจุดทดลองขนานกับถนน ศูนย์กลางของล้ออยู่หลังจุดทดลอง 0.20 เมตร

2.1.2 สอดปลายคาน Beam จากด้านหลังรถ เข้าไปในช่องว่างระหว่างล้อคู่หน้าจุดปลายเดียว (Probe) อยู่บนจุดทดลอง ปรับแนวคานให้อยู่ในแนวของล้อรถบรรทุกเมื่อรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แล้วแก้มยางด้านหนึ่งด้านใดต้องไม่สัมผัสกับตัวคาน จัดขาตั้งหน้าและหลังให้มั่นคง คลายหมุดบังคับที่อยู่ด้านหน้า ปลายเดียวจะสัมผัสจุดทดลอง และคลาย

หมุดบังคับที่อยู่ด้านหลังให้ปลายคานอีกด้านหนึ่งสัมผัสกับเดือยของ Dial gauge โดยให้ Dial gauge หมุนอย่างน้อย 3-4 รอบ เปิดสวิทช์ให้ Buzzer ทำงาน ปรับ Dial gauge ไปที่ 0 เป็น Initial reading

2.1.3 ให้สัญญาณรถบรรทุก ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างช้า ๆ (Creep speed) ไม่เกิน 4 กม./ชม. ผ่านจุดทดลอง อ่านค่า Reverse reading (Rv) เมื่อเข็มขึ้นมากที่สุดก่อนที่จะเข็มจะเริ่มหมุนกลับให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ต่อไปเรื่อย ๆ จนพ้นจากจุดทดลองไม่น้อยกว่า 5.00 ม. อ่านค่า Rebound reading (Rb) เมื่อเข็มหยุดนิ่งหรือเข็มหมุนไม่เกิน 0.025 มม./นาที่ ดังสมการที่ 1

$$R_i = \text{Individual Deflection} = R_v + R_b \quad (1)$$



ภาพที่ 1 วิธีการทดลองของเครื่องมือ Benkelman beam

2.1.4 หมุนปิดหมุดบังคับ (Beam lock) ก่อนที่จะเคลื่อนย้ายตัว Beam เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องมือ เนื่องจากแขนของ Beam ที่สัมผัสกับเดือยของ Dial gauge จะไปตีเดือย Dial gauge ทำให้เสียหายได้ ดังแสดงในภาพที่ 1 วิธีการทดลองของเครื่องมือ Benkelman beam [5]

2.2 การออกแบบเสริมผิวทางโดยวิธี Benkelman Beam

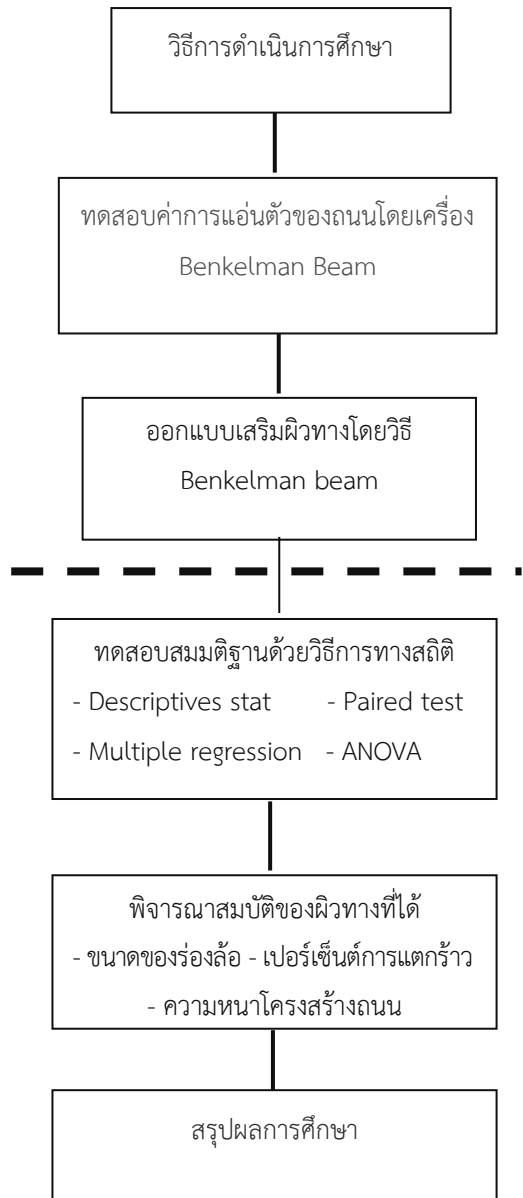
โดยการคำนวณค่าการแอ่นตัวของถนน และการคำนวณออกแบบเสริมความแข็งแรง ซึ่งวิธีการออกแบบนี้ เป็นวิธีการปรับปรุงมาจาก California method เป็นการคำนวณเสริมความแข็งแรงให้เพียงพอเพื่อลดค่าการแอ่นตัวให้อยู่ในความสามารถรับน้ำหนักและปริมาณการจราจรได้ตลอดอายุการออกแบบ [6]

ดังนั้นจากการทดสอบในสนามโดยเครื่องมือ Benkelman beam เราสามารถนำมาทำการวิเคราะห์คำนวณได้ค่าต่าง ๆ เช่น ค่าการแอ่นตัวของถนน และค่าการออกแบบความหนาเสริมผิวทาง [7]

2.3 การทดสอบสมมติฐานโดยวิธีการทางสถิติ

การทดสอบในขั้นตอนนี้ ก็เพื่อตรวจวัดว่า ช่วงทดลองที่ทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบ และออกแบบที่ช่วงต่างกัน จะทำให้ได้ค่าการแอ่นตัว และค่าความหนาเสริมผิวทางแตกต่างกันหรือไม่ รวมทั้งทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการทางสถิติ คือ การวิเคราะห์ค่าทางสถิติเบื้องต้น การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ (Multiple regression analysis) และ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way

analysis of variances) โดยการทดสอบในสนาม การวิเคราะห์ข้อมูล และการวิเคราะห์ทางสถิติ จะสามารถนำมาสรุปเป็นแผนภาพในภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดในการศึกษา



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดในการศึกษา

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางแบบยึดหยุ่นนำมาทำการออกแบบค่าความหนาเสริมผิวทางด้วยวิธี Benkelman beam โดยทำการพิจารณาถึงสมบัติของช่วงทดลองที่ใช้ในการทดสอบร่วมด้วย จากนั้นจึงนำค่าการแอ่นตัวและค่าความหนาเสริมผิวทางที่ได้จากการทดสอบและออกแบบ มาทำการเปรียบเทียบกับค่าการแอ่นตัว ค่าความหนาเสริมผิวทาง และสมบัติต่าง ๆ โดยผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า

3.1 จากการศึกษาวิธีการสำรวจในสนามและวิธีการออกแบบเสริมผิวทางแบบยึดหยุ่นที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือ Benkelman beam นั้น ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิในการทดสอบจะไม่ต่างกันหรือต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากทำการทดสอบติดต่อกันทันทีในจุดทดสอบในช่วงเดียวกัน ซึ่งจากการทดสอบภายในสนาม นั้นค่อนข้างที่จะอันตรายต่อผู้ทดสอบ ในการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางดังกล่าว จะนำไปทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติจะได้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย และค่าผิดพลาดมาตรฐาน

3.2 จากการพิจารณาคุณสมบัติ และประเมินสภาพผิวทางแบบยึดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบภายในสนามที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งในการพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ของช่วงทดลองที่ใช้ในการทดสอบดังกล่าว พบว่า ค่าขนาดร่องล้อ ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ค่าปริมาณการจราจร และค่าความหนาชั้นผิวทาง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน

จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดร่องล้อกับค่าสมบัติต่าง ๆ ของผิวทางสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2 ดังนี้

$$RD = 0.520 \text{ Crack} + 7.032E-05 \text{ AADT} + 1.114E-02 \text{ AC} \quad (2)$$

เมื่อ

RD = ค่าเฉลี่ยขนาดร่องล้อ (มม.)

Crack = ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว (%)

AADT = ค่าปริมาณการจราจร (คัน/วัน)

AC = ค่าความหนาชั้นผิวทาง (มม.)

จากความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้ พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวมีค่ามากกว่าค่าขนาดร่องล้อ แต่แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจากสมบัติของผิวทางจะส่งผลถึงการทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของผิวทางได้ เนื่องจากการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางด้วยเครื่อง Benkelman beam ถ้าหากมีขนาดร่องล้อหรือการแตกร้าวที่ผิวทางจะมีผลโดยตรง

ซึ่งในการศึกษานี้ทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางแบบยึดหยุ่นมีผลเป็นอย่างไร โดยใช้รถบรรทุกหนัก 566 kPa (80 kN) ในการทดสอบโดยใช้วิธีของ Standard method DOH ซึ่งปรับปรุงมาจากวิธีการทดลองตามแบบ Transient deflection และจากผลการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางของทุกจุดทดสอบทั้งหมด 1,101 จุดทดสอบ สามารถนำมาสรุปค่าทางสถิติในเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติในเบื้องต้นของค่าการแอ่นตัวของผิวทางทุกจุดทดสอบ

ค่าทางสถิติ	Benkelman beam
Max	1.600
Min	0.020
Range	1.580
Mean ($\bar{x}$)	0.400
Standard Deviation (SD)	0.201
Coefficient of Variation (C.V.)	0.503
Standard Error (SE)	0.006
Percentile 85	0.600

จากผลการทดสอบค่าการแอ่นตัวเฉลี่ยของผิวทางของช่วงทดลองที่ใช้ในการทดสอบ ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติในเบื้องต้นของค่าการแอ่นตัวเฉลี่ยของผิวทาง

ค่าทางสถิติ	Benkelman beam
Max	0.626
Min	0.050
Range	0.576
Mean ($\bar{x}$)	0.399
Standard Deviation (SD)	0.149
Coefficient of Variation (C.V.)	0.373
Standard Error (SE)	0.020
Percentile 85	0.548

จากผลการทดสอบพบว่าค่าขนาดร่องล้อ ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ค่าปริมาณการจราจร และค่าความหนาชั้นผิวทางจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปใน

ทิศทางเดียวกัน ซึ่งจากสมบัติของผิวทางจะส่งผลถึงการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางได้ เนื่องจากการทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางด้วยเครื่อง Benkelman beam ถ้าหากมีขนาดร่องล้อหรือการแตกร้าวที่ผิวทางจะมีผลโดยตรง

4. สรุปผลการทดลอง

จากการพิจารณาสมบัติ และประเมินสภาพผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบภายในสนามที่ใช้ในการศึกษา พบว่า ค่าขนาดร่องล้อ ค่าเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ค่าปริมาณการจราจร และค่าความหนาชั้นผิวทาง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดร่องล้อกับค่าสมบัติต่าง ๆ ของผิวทาง และทดสอบค่าการแอ่นตัวของผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman beam พบว่าสำหรับผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ใช้ในการศึกษา จะช่วยให้ทราบข้อมูลค่าการแอ่นตัวและค่าความหนาเสริมผิวทางรวมทั้งสามารถนำข้อมูลไปทำการออกแบบเสริมผิวทางเพื่อพัฒนาคุณภาพถนนให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ลดการเสียหาย ช่วยประหยัดงบประมาณในการดูแลซ่อมแซมถนนของประเทศลงได้

5. ข้อเสนอแนะ

โดยข้อเสนอต่อไปนี้จะจัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ต่อการปรับปรุง และพัฒนาการออกแบบถนน รวมทั้งการบำรุงรักษาถนนให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยดำเนินการทดสอบวัดค่าการแอ่นตัวของถนนสายทางต่าง ๆ โดยสม่ำเสมอตลอดปี เช่น ตรวจวัดทุก ๆ ระยะ 3 เดือน เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่ต่อเนื่อง และทราบถึงความเปลี่ยนแปลงของค่าการแอ่นตัวในฤดูต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ประกอบ

การบูรณะบำรุงรักษาถนน และพัฒนาวิธีการออกแบบและก่อสร้างถนนให้มี คุณภาพดี และเหมาะสมยิ่งขึ้น ดำเนินงานวิจัยด้านการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุชั้นทางต่าง ๆ ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม โดยใช้ วัสดุจากแหล่งต่าง ๆ กัน และดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาวิธีซ่อมแซม และปรับปรุงคุณภาพของถนน เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของถนนได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณแสงชัย เทพสิทธิพรภรณ์ และคุณประเสริฐ บุญรักษา ส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง สำนักวิศวกรรมและตรวจสอบกรมทางหลวง ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบและข้อมูลในการทำวิจัย

7. อ้างอิง

[1] ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, ธรรมมา เจียรธรวานิช. การเปรียบเทียบการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam และ Falling Weight Deflectometer. วิศวกรรมสาร มก. 2549; 57:46-59.

- [2] ธรรมมา เจียรธรวานิช. การเปรียบเทียบการออกแบบเสริมผิวทางแบบยืดหยุ่นที่ได้จากเครื่องมือ Benkelman Beam และ Falling Weight Deflectometer. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2546.
- [3] Atkins HN. Highway Materials , Soils and Concretes. 3rd ed. U.S.A.: APrentice-Hall; 1997.
- [4] Canadian Good Road Association, (CGRA). A Guide for the Structural Design of Flexible and Rigid Pavement in Canada. Canada: 1965.
- [5] Huang YH. Pavement Analysis and Design. 1st ed. U.S.A.: A Prentice-Hall; 1993.
- [6] The Asphalt Institute. Asphalt Overlay and Pavement Rehabilitation (MS-17). U.S.A.: College Park, Md.; 1969.
- [7] Ullidtz P. Pavement Analysis. 1st ed. Denmark.: Polyteknisk Forlag; 1987.

Decision Support System to Improve Railway Track Maintenance Using Track-Quality Index (TQI)

Thawatchai Phanyakit^{1*}, Thaned Satiaenam¹

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.

*Corresponding author. E-mail: Thawatchai.enkku@gmail.com

ABSTRACT

In recent years, studies on track degradation in railways have attracted a great deal of attention. Intensive research activities have been carried out by many organizations with the aim of securing a high level of safety and reliability of the infrastructure system. New technologies and stringent safety standards are constantly being introduced for several reasons, not only to prevent the assets from failure or damage but also to minimize the main sources of problems associated with the performance degradation in terms of quality, comfort and safety of each journey. Following these shortcomings, this research aims to develop a logical model for the deterioration of track geometry and to incorporate the proposed model as basis for optimizing maintenance in practice. For the purpose of analysis, a segment of Northeastern line from Thanon Chira junction to Nong Khai station comprising 320.900 km. and 35 stations, in length will be considered and multivariate statistical analyzes will be employed in some geometric parameters. The results will be used to derive the optimization model for scheduling track maintenance by means of tamping in a given period of time.

Keywords: Track quality index (TQI), Ballasted track, Track irregularity

1. INTRODUCTION

Railway network in Thailand with a total distance of 4,033 kilometers covering 47 provinces. Most of the railway tracks are single tracks, totaling a length of 3,569 kilometers or 88.5% of Thailand's railway network, while the rest of the network is either double tracks or three-way tracks, totaling a length of 464 kilometers or 11.5% of Thailand's railway network. Overall, 62% of the tracks have been used for more than 30 years and 1,509 kilometers, or 35% of the tracks still have wooden rail sleepers, making them incapable of efficiently supporting increased train speed and weight [1].

According to the International Institution for management (IMD), World

competitiveness yearbook 2014, rail transportation development in Thailand ranked 43rd among 60 countries in Asia and had a track network density of 0.009 km/sq.km. Service quality and safety were also reported as unsatisfactory, with train operation lacking punctuality and with a low train speed of only 54 km/h. Moreover, information quality of tracks in Thailand (72nd among 148 countries) as per the World economic forum report 2013-2014 ranked much worse than Singapore (10th) and Malaysia (18th) [1].

Typically, the track structure can be grouped in two main categories: superstructure and substructure. The superstructure consists of rails, fastening system, rail-pads and sleepers, while the

Received 25-02-2019

Revised 14-05-2019

Accepted 16-05-2019

substructure consists of ballast, sub-ballast and sub-grade that the components as shown in Figure 1.

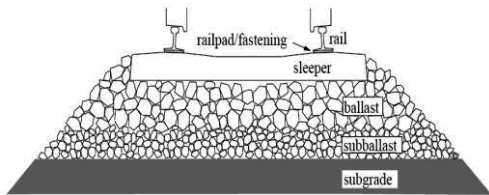


Figure 1. Design of a ballasted track [2]

Some important parameters that describe the layout and path of the track are defined as “track geometry”. By design, track geometry should contain the specific criteria to ensure the optimal comfort and safety for train operation. For this reason, the European standards [prEN 13848-5] have specified the requirements for the homologation of track geometry including longitudinal profile, alignment, gauge, cross level (or super-elevation irregularity) and twist that schematic description regarding these geometry variables. Figure 2 illustrates a schematic description regarding these geometry variables.

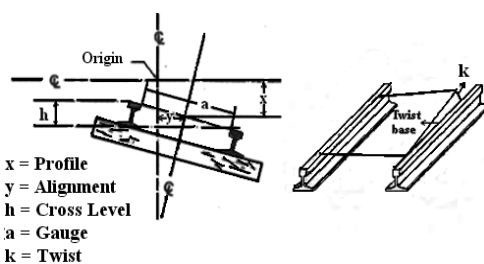


Figure 2. Track geometry parameters [3]

Longitudinal profile and alignment are delineated with the track geometry of each rail projected longitudinally against the vertical and horizontal plane, respectively. Any change in the elevation of the two rails relative to a designated level is called longitudinal profile deviation. For

an upward vertical deviation, the sign is denoted as positive while a downward deviation is expressed by a negative value. The alignment irregularity is caused by the lateral variation of the rails from a given centerline of the track. If the lateral deviation bends to the left, the sign is symbolized as positive while a negative value is given when the track deviates to the opposite direction. Gauge specifies the inner distance between two rails measured at 14 mm below the top surface of the railhead. In Thailand, the gauge for railway lines is 1.00 m., although a wide variety of gauges are used around the world. The term of gauge irregularity, therefore, refers to the deviation of the track from its specified value. Figure 3 illustrates a schematic description regarding Measurement of the inner distance between two rails.

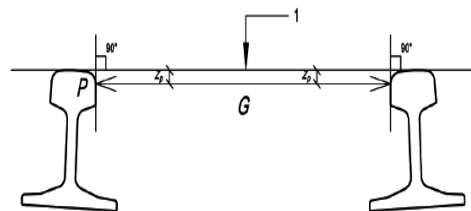


Figure 3. Measurement of the inner distance between two rails measured at 14 mm (requires $Z_p = 14$ mm) [4]

The other parameter, cross level or cant irregularity, measures the amount of vertical deviation between two flat rails from the design value. This design value, commonly called super-elevation, helps to compensate the centrifugal force of the vehicle on a given curve. Consequently, cross level is not considered a defect unless it deviates from the predefined super-elevation. The last geometry variable, twist, is also associated with super-elevation. It measures the difference in the super-elevation between two points taken at a separate fixed distance along the track [2]

1.1 Assessment of track condition

The track geometry is subjected to atmospheric influences and dynamic stresses due to the operational loads. These processes lead to the modification of the track geometry, which, if not controlled to a certain degree, may result in safety risk and derailment. In order to prevent the track from these issues, the railway network should be inspected as well as regularly maintained in accordance with the railway engineering standards.

1.2 Track inspection Car (TIC)

Prior to the maintenance works, the measurement of the track geometry parameters is normally carried out within a specific time interval. The results are recorded as numerical values, which can be used to indicate the level of track quality. In the first method, the measurement is conducted manually, by workers who walk along the track to detect the existence of any geometry problems [Lichtberger, 2005]. However, this technique is considered inefficient, particularly in terms of time and labor cost, due to the extent and large scale of the railway network. The accuracy of this method is questionable as well, since not all rail defects can be directly detected by the human eye. With the advancement of technology, the application of sophisticated cars has been incorporated as supplement to the previous technique. The use of the track inspection car has proven to be efficient, yielding more outputs in the track information data.

In Thailand, track condition monitoring for railway track is performed by the Track inspection car (TIC) EM 120N (Figure 4&5). This machine can acquire traditional geometry parameters, such as gauge, cross level or superelevation irregularity, twist, alignment and longitudinal profiles with a sampling rate of 0.25 m.

In order to perform those functions, the machine is embedded with two main modules: a car with real time measurement module and a stationary data storage module [5]. The first module is designed to read any gap in the geometry parameters from the predefined design and then sends the results to the second module for storage purposes. The computer program, which links to the Global positioning system (GPS) receiver, will analyze the data and give the information according to customer specifications.



Figure 4. Track inspection Car EM120N [SRT]



Figure 5. Monitoring track quality by EM120N [SRT]

The irregularity data provided by EM 120N is based on the measurement of a 10 m chord-versine, this technique is to assess the gap corresponding to the observed

roughness of a straight-line in the center point of the track in the 10 m distance measurement. This gap is then defined as track geometry irregularity. The following Figure6 illustrates how the track geometry parameters are measured by EM 120N.

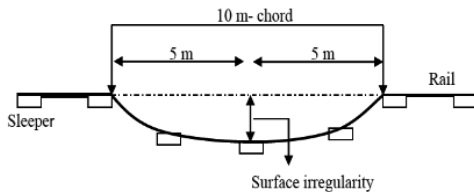


Figure 6. Track surface irregularity [6]

1.3 Track quality index tolerance

The track quality Index tolerance SRT was defined divided into 5 types, and each consists of index in each deviation list as follows:

Table 1. Standard for track quality index tolerance [7]

Track Quality Condition	P Value or TQI value each Item (%)					Accumulate P or TQI value (%)
	Grade	Profile	Cross Level	Alignment	Twist	
Very Good	A	0-13	0-5	0-9	0-14	0-10
Good	B	14-20	6-13	10-20	15-27	11-20
Fair	C	21-30	14-22	21-31	28-36	21-30
Not Fair	D	31-40	23-31	32-41	37-46	31-40
Not Acceptance	E	>41	>32	>42	>47	>41

1.3 Track Degradation Mechanism

Having the knowledge of the degradation process will aid in the estimate of the future state of a track condition and in the mitigation of the problems associated with operational safety. The following section presents the theoretical framework and the current practices related with railway track degradation.

Track degradation is a complex process. The mechanism involves many influencing parameters such as axle load, traffic speed, climate, track characteristics and topography (Figure 7). Today, research efforts have been carried out not only to address the degradation problems, but also to determine the contribution of each parameter to the entire process.

Ferreira & Murray [1997] have investigated the physical factors that may have impact on track deterioration. According to the results, the authors argue that the declination in the track quality is mainly driven by three parameters, i. e. dynamic forces, axle load and train speed. Speed contributes to the deterioration process by increasing the dynamic forces at high speeds and decreasing those at low speeds. Load contributes to increased rail wear and fatigue, wheel wear, and strains in rails and sleepers. Consequently, cracks in the rail and sleepers will occur, the railhead will be worn out, the rail fastening will be loosening, and the ballast load will thus be redistributed. These situations will lead to reduce travel safety and comfort and increase track components deterioration and delays. [8]

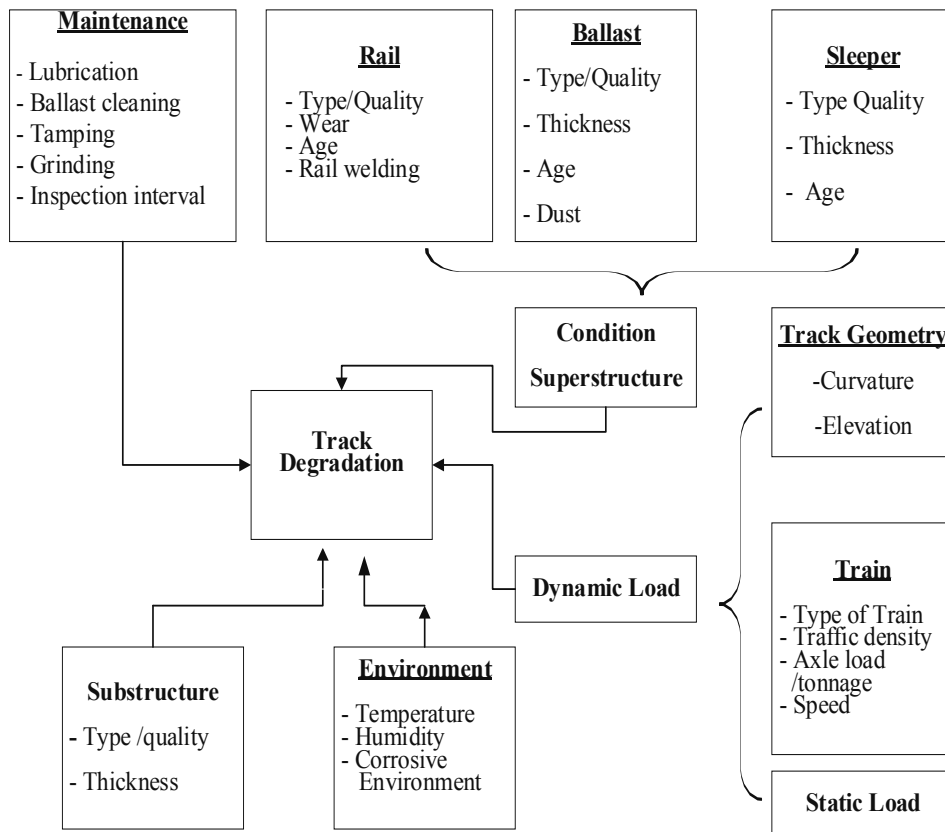


Figure 7. Parameters of Track degradation [8]

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Phase I

This section discusses the activities of the research methodology. Such activities include literature review, data collection, research approaches and procedures used to develop the optimization model. The literature survey the concept of track degradation and the application of existing methodologies for assessing track quality, including track quality index. The aims are to develop a comprehensive understanding of the track degradation mechanism, to systemize the normative aspects that should be considered in the framework modelling, and to identify the feasibility of current approaches in adapting the changes in track performance behavior. In order to obtain

this information, different databases from many sources were explored. These data can be classified as primary and secondary data. The data collected by the researcher for the purpose of study through various experiments or from the on-site data recording are called primary data. The data taken by the researcher from secondary sources, internal and external, are called secondary data, this study, the primary data were collected from refer databases. consisted of measurement reports conducted by Track inspection car (TIC) EM 120N, which comprised all information about the geometrical quality of the track, such as longitudinal profile, horizontal alignment, gauge, super-elevation, network topography, etc. Over 10 years of

inspection records were acquired from March 2007 to March 2016. The area of line chosen for this study was Thailand's Northeastern line from Thanon Chira

junction to Nong Khai station comprising 320.900 km. and 35 stations, as shown in Figure 8.

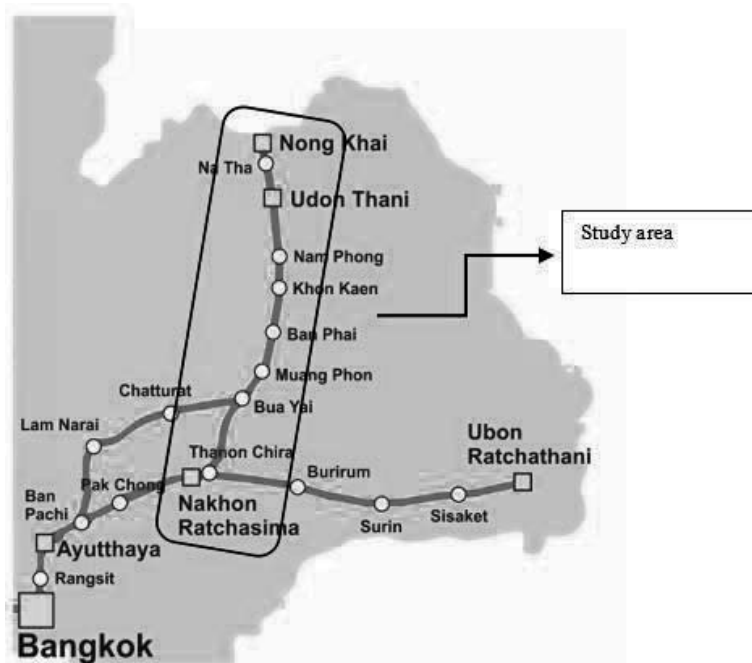


Figure 8. Proposed study area location, NE Line

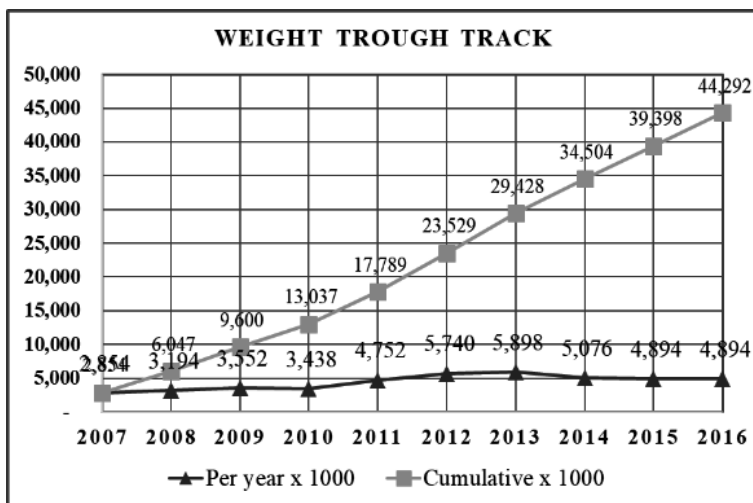


Figure 9. Weight through the track of NE Line [9]

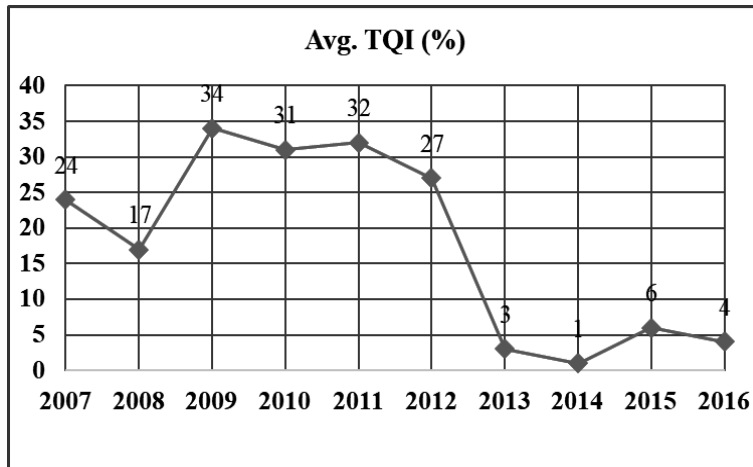


Figure 10. TQI value by EM120N [9].

For the secondary data, the full text of many journal articles and books were found in electronic databases, such as Elsevier, Emerald, ASCE, Transportation research record, etc. The researcher also studied relevant reports, master thesis and PhD dissertations from various universities. Furthermore, from the literature research in the field of track degradation models, it appears that there is a lack of studies employing the methodology of power spectral density to assess the quality of railway geometry.

2.2 Phase II

This section discusses the activities analyzing data and developing methodologies for optimizing the maintenance strategy to be subsequently validated in practice. The data analysis comprises the inspection, transformation, and modeling of the data with the purpose of highlighting useful information for the proposition of the study. The statistical approaches, such as correlation analysis, and variance and regression analyses are used to obtain the analytical representation of the statistical relationship among the track geometry parameters. The statistical relationships are the main aim of this research, which will enable to provide a rational model to predict the future value of

track irregularity and at the same time, to create the transition model of track degradation. Finally, the research problem in phase II can be concluded when the estimation model has been validated.

2.3 Calculation method of tolerances for track irregularity or track quality Index (P or TQI)

Each P or QI value, the tolerances for track irregularity value (P) can be obtained by applying the value of the item. The item is analyzed using the following statistical process as following; Given:

m = the mean value of accuracy, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ (mm), N = the number of points measured, F_i = the number of points that value of accuracy has X_i value, S = the standard deviation (mm)

$$m = \frac{\sum F_i X_i}{N}$$

$$S = \sqrt{S_o^2 - m^2}$$

$$S_o^2 = \frac{\sum F_i X_i^2}{N} - m^2$$

$$\text{ORDINATE} = \frac{(a + m)}{S}$$

Theoretically, P or TQI is the sum of the tolerance for track irregularity value, which has limit $+a$ and $-a$, which defined in a statistically that the P or TQI value is the area under the normal distribution curve, the segment is between $\pm a$ and $\pm \alpha$ when compared to the area under all normal distribution curves, if giving P_1 is the condition index calculated from the error value that is positive (+),% and P_2 is the value of the condition index calculated from the tolerance for track irregularity value that is negative (-),%
So, P or TQI value = $P_1 + P_2$ %

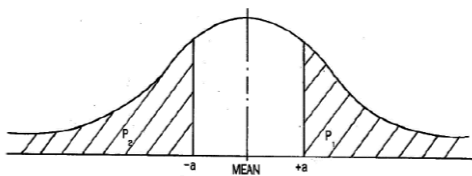


Figure 11. Normal distribution curve of the tolerance for track irregularity value [3]

The maintenance division of SRT is assigned a value equal to 3 mm, which is an optimize value, which makes the MEAN value between 0-1 and standard deviation (S.D) there is value between 1-3 with values between 1-3 for general conditions when P or TQI each item is profile level of left-right rail, cross level of left & right rail, alignment of left & right rail and twisted, then calculate P_{sum} or TQI_{sum} by weighting each index.

Therefore,

$$P_{sum} = [P_{profile} + P_{twist} + P_{cross\ level} + 2P_{alignment}] / 5$$

$$TQI_{sum} = [TQI_{profile} + TQI_{twist} + TQI_{cross\ level} + 2TQI_{alignment}] / 5$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

The investigation was then further continued by evaluating the existing relationship between various types of track geometry parameters. The value of TQI that classified TQI into 4 section consisting not fair, fair, good and very good which the results as shown in Table2.

Table 2. P or TQI (%) of NE line

Year	Avg. P or TQI Value (%)	TQI Compared with SRT Standards	Remark
2007	24	Fair	
2008	17	Good	
2009	34	Not Fair	
2010	31	Not Fair	
2011	32	Not Fair	
2012	27	Fair	
2013	3	Very Good	Track Rehabilitation
2014	1	Very Good	Track Rehabilitation
2015	6	Very Good	Track Rehabilitation
2016	4	Very Good	Track Rehabilitation

4. CONCLUSIONS

In order to keep the railway infrastructure in the satisfactory condition, the way this condition of every single railway Infrastructure element changes, should be understood. Understanding this change in condition in fact means understanding the behavior of railway infrastructure objects, which paves the way towards predicting it. In order to relate the observed (captured) behavior in the past with the predicted behavior in the future, so called “degradation models” are needed. The research presented in this paper describes a generic/ universal degradation model that was developed specifically so that it would be flexible enough to be applicable to any parameter’s deterioration,

yet powerful and flexible enough to accurately represent/ fit various condition behaviors. Developing such a generic degradation model and empowering it with LCC and numerical optimization techniques, and incorporating them all in a suitable, powerful yet flexible, track maintenance management system, allows railways to perform true long-term simulations of the track behavior, balancing effectively achieved quality with the costs of maintenance works, inspections and other consequences like traffic disruptions, availability, etc., enabling significant cost-savings.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This study would not have been successful without the support of the department of civil engineering, faculty of engineering, Khon Kaen university, Thailand. In addition, sincere gratitude goes to maintenance division chief Khon Kaen permanent way inspector of the state railway of Thailand (SRT), who is one part of this accomplishment supporting valuable data for the study.

6. REFERENCES

- [1] Office of the National Economics and Social Development Board. Report on infrastructure status in Thailand B.E. 2554. Bangkok; 2011.
- [2] Dahlberg T. Railway track settlements – a literature review. Report for the EU project super-track, Division of Solid Mechanics, Linköping: Linköping University; 2003.
- [3] Bing AJ, Gross A. Development of railway track degradation models. *Transport Res Rec*.1983; 939:27-31.
- [4] Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Thailand. Maintenance manual Railway structure. Bangkok; 2018.
- [5] Cacho M. Manutencao e conservacao em fias-ferreas:o caso da via alfarelos-figuera da foz. Licenciatura thesis. Civil Engineering Department, University of Coimbra; 2009.
- [6] Oyama T, Miwa M. Mathematical modeling analysis for obtaining an optimal railway track maintenance. *Jpn J Ind Appl Math*. 2006; 23(2):207-224.
- [7] The State Railway of Thailand (SRT). Track maintenance manual. Bangkok: 1964.
- [8] Ferreira L, Murray M. Modelling rail track deterioration and maintenance current practices and future needs. *Transport Rev*. 1997; 17:207-221.
- [9] Freight Service Department, State Railway of Thailand, Report on Weight and Train through the Railway 2007-2016.Bangkok; 2017.

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเบต้าแคโรทีน ไลโคพีน และฟลาโวนอยด์
ของมะม่วงรับประทานดิบสายพันธุ์พื้นบ้านในประเทศไทยหลังการเก็บเกี่ยว
Antioxidant activity, beta-carotene, lycopene and flavonoid content of Thai
native cultivars of green mango (*Mangifera indica*) after harvest

กฤษณ์ สงวนพุก¹
Krish Sa-nguanpuag¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand
Corresponding author. Tel.: 0 2287 9600, E-Mail: krish.sa@mutk.ac.th

บทคัดย่อ

มะม่วงเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในประเทศไทยสามารถปลูกมะม่วงได้ตลอดทั้งปี ซึ่งมะม่วงที่เพาะปลูกมีทั้งที่เป็นมะม่วงรับประทานดิบและรับประทานสุก สำหรับมะม่วงรับประทานสุกเท่านั้นเป็นที่นิยมและสามารถจำหน่ายในตลาดต่างประเทศได้ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามะม่วงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงในมะม่วงรับประทานสุก สำหรับมะม่วงรับประทานดิบเป็นที่นิยมรับประทานในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย แต่ยังคงขาดข้อมูลทางด้านสุขภาพ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถส่งเสริมให้ผู้บริโภคเห็นความสำคัญในการรับประทานมะม่วงรับประทานดิบมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเบต้าแคโรทีน ไลโคพีน และฟลาโวนอยด์ของมะม่วงรับประทานดิบสายพันธุ์พื้นบ้านของประเทศไทยหลังการเก็บเกี่ยว โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP ปริมาณเบต้าแคโรทีน ไลโคพีน และฟลาโวนอยด์ โดยวิธี HPLC จากผลการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP ของมะม่วงทั้ง 13 สายพันธุ์ มีค่าระหว่าง 121.99 – 641.75 มิลลิกรัม Gallic acid/ 100 กรัม น้ำหนักสด มี 0.35 – 1.25 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด และมี 0.03 – 0.17 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในแต่ละสายพันธุ์ สำหรับปริมาณเบต้าแคโรทีน พบว่าในมะม่วงทั้ง 13 สายพันธุ์ มีค่าระหว่าง 5.53 – 41.68 ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด โดยมะม่วงสายพันธุ์ทองดำมีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุดเท่ากับ 42.43 ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด สำหรับปริมาณไลโคพีน มีปริมาณระหว่าง 0.11 – 0.23 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด และพบว่ามีมะม่วงเพียง 5 สายพันธุ์ ที่มีสารไลโคพีน คือ แก้ว มหาชนก น้ำดอกไม้ ทองดำ และพิมเสน สำหรับปริมาณฟลาโวนอยด์ในมะม่วงรับประทานดิบทั้ง 13 สายพันธุ์ มีค่า

อยู่ในช่วง 24.97 – 172.38 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด โดยมะม่วงสายพันธุ์ “โชคอนันต์” มีปริมาณฟลาโวนอยด์ในเนื้อผลมากที่สุด เท่ากับ 172.38 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด

คำสำคัญ: กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณเบต้าแคโรทีน ปริมาณไลโคปีน ปริมาณฟลาโวนอยด์ มะม่วงดิบ

Abstract

Mango is an economic crop. In Thailand, mango can growth for every season in the year and can be grown both green and ripe mango. Ripe mango is very famous and can be exported to international market. A study found that Thai native ripe mango was found to have great nutritional value. Green mango was widely consumed in local market. However, there was lacks of its nutritional information. The nutritional information can encourage consumer to increase green mango consumption. The aim of this research was to study antioxidant activity, beta-carotene, lycopene and flavonoid content of Thai native green mango cultivars. The total phenolic content, DPPH activity, FRAP activity, beta-carotene, lycopene and flavonoid content by HPLC were determined. The results showed that total phenolic content, DPPH activity and FRAP activity of Thai native cultivars of green mango were 121.99 – 641.75 mg gallic acid/ 100g fresh weight, 0.35 – 1.25 mmole Trolox/100 g FW, and 0.03 – 0.17 mmole Trolox/100 g fresh weight, respectively. There were slight differences among cultivars. The beta-carotene content was found to be 5.53 – 41.68 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ fresh weight. The ‘Thong Dam’ cultivar was found to have the highest beta-carotene content, 42.43 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ fresh weight. Lycopene content was 0.11 – 0.23 mg/100g fresh weight and high enough to be detected in only Keaw, Mahachanok, Nam Dok Mai, Thong Dam, and Pim-Sean Man cultivars . The thirteen cultivars mango had flavonoid content of 24.97 – 172.38 mg/100 g fresh weight. The ‘Chokana’ cultivar of mango gave the highest flavonoid content.

Keywords: Antioxidant activity, Beta-carotene Content, Lycopene content, Flavonoid content, Green mango

1. บทนำ

ผลไม้สดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีปริมาณไขมัน และให้พลังงานต่ำ การรับประทานผลไม้ยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคได้ โดยประเทศไทยสามารถปลูกผลไม้ได้หลากหลายชนิดตลอดทั้งปี และมีการส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศเป็น

จำนวนมาก มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีการปลูกกันมากและสามารถปลูกได้ทั่วประเทศไทย คนไทยชอบบริโภคผลมะม่วงทั้งในระยะผลดิบและผลสุก มะม่วงสายพันธุ์ท้องถิ่นที่เหมาะสมสำหรับบริโภคในระยะผลดิบของแต่ละภูมิภาคในประเทศไทยนั้น บางชนิดมีศักยภาพในการส่งเสริมให้เกิดการจำหน่ายเชิงพาณิชย์

แต่ทั้งนี้ยังขาดข้อมูลทางด้านคุณค่าทางพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในผล โดยมะม่วง (*Mangifera indica* Linn.) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่นิยมบริโภคกันทั่วโลก ซึ่งในประเทศไทย มีมะม่วงหลายสายพันธุ์ ซึ่งบางสายพันธุ์สามารถกินผลได้ตลอดทั้งปี มะม่วงยังเป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เพราะนอกจากจะมีศักยภาพในการผลิตและการตลาดอยู่ในระดับสูงแล้วยังมี แนวโน้มและในการขยายการส่งออกยังเป็นไปได้มาก [1] สำหรับมะม่วง สามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ มะม่วงแบบรับประทานผลสุก และมะม่วงแบบรับประทานผลดิบ ในผลมะม่วงแก่ดิบจะให้พลังงานต่อร่างกาย ซึ่งประกอบด้วย เส้นใย แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก เบต้า แคโรทีน วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง ไนอาซิน วิตามินซี เป็นต้น มะม่วงจึงเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง [2] เนื้อมะม่วงยังมีสมบัติในการป้องกันการเกิดโรคนี้่วในไต (Antilithialic) และการกำจัดอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging) โดยไปลดการเข้าทำลายผนังเซลล์ (lipid peroxidation) และเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระ (Superoxide dismutase และ catalase) อีกทั้งยังต่อต้านสารที่กระตุ้นตัวรับเบต้าแอดรีเนอร์จิก (isoproterenol) [3] นอกจากนี้ เนื้อมะม่วง ยังพบ วิตามิน สารอินทรีย์คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) และสารหอมระเหยต่าง ๆ [4, 5] จากการศึกษา พบว่า สารประกอบฟีนอลิกในเนื้อผลมะม่วงและเปลือก ประกอบไปด้วย วิตามินซี (Ascorbic acids และ dehydroascorbic acids), ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids), แคโรทีนอยด์ (Carotenoids), แซนโทน (Xanthones), กรดฟีนอลิก (Phenolic acids) และ แกลโลแทนนิน (Gallotannins) เป็นต้น [6-11]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารออกฤทธิ์บางชนิดในผลมะม่วงในระยะผลดิบ เช่น เบต้า แคโรทีน (Beta-carotene) ไลโคเพน (Lycopene) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP, ABTS) โดยใช้ผลมะม่วงดิบทั้ง 13 สายพันธุ์ คือ เชี่ยวเสวย ฟาลัน แรด แก้ว สามฤดู เบา มหาชนก หนองแซง น้ำดอกไม้ ทองคำ มั่นขุนศรี พิมเสนมัน โชคอนันต์ จัดแบ่งการเก็บเกี่ยวและทำการทดลองตามฤดูกาลให้ผลผลิตของมะม่วงแต่ละสายพันธุ์ตลอดทั้งปี ซึ่งข้อมูลและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อส่งเสริมการบริโภคและการขยายผลไม้ไทยทั้งภายในประเทศในส่วนของท่าน้องถิ่นอื่น ๆ และใช้ในการประชาสัมพันธ์เพื่อทำการตลาดในต่างประเทศ นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรและขยายโอกาสในการส่งออกสู่ระดับสากลแล้ว ยังช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคเล็งเห็นความสำคัญของการบริโภคผลไม้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีทั้งในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพ รวมถึงลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์อาหารเสริมบำรุงสุขภาพ ซึ่งเป็นของปรุงแต่งที่มีราคาแพงและนิยมกันมากในปัจจุบัน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการเตรียมผลผลิตผล

การเก็บเกี่ยวผลผลิตตามดัชนีการเก็บเกี่ยวทางการค้า (Commercial maturity index) คัดเลือกและทำการเก็บผลผลิตจากศูนย์วิจัยปากช่อง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครราชสีมา ในช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายน โดยในแต่ละชนิดผลผลิตสุ่มเก็บตัวอย่าง ทำการคัดเลือกผลที่สมบูรณ์ปราศจากบาดแผล ตาหนิที่เกิดจากโรคและแมลงเข้า

ทำลาย มีขนาดผล รูปร่างและความบริสุทธิ์ใกล้เคียงกัน ทำการทดลอง 6 ซ้ำ และในซ้ำทำ duplicate นำผลผลิตที่ได้มาทำการล้างทำความสะอาดก่อนการเตรียมการวิเคราะห์ทางเคมี

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคพีนในผลิตภัณฑ์

นำผลิตภัณฑ์ได้แยกส่วนเปลือกและเนื้อ หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -80°C จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคพีน ดังนี้

วิธีการสกัด เบต้าแคโรทีน และไลโคพีน [12] นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ จำนวน 3-5 กรัม ที่ปั่นละเอียด ใส่ในขวดแก้วสีน้ำตาล เติม 10% Ascorbic acid ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ 2 M Ethanolic potassium hydroxide (KOH in Ethanol) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการผสมกันและต้มในอ่างน้ำร้อน 30 นาที ต่อมานำตัวอย่างทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นใส่ Hexane ปริมาตร 70 มิลลิลิตร ทำการเขย่าอย่างต่อเนื่องนาน 2 นาที หลังจากแยกเป็น 2 ชั้น ให้แยกสารชั้นบนใส่ในขวดแก้วสีน้ำตาล กรวยแยกที่มี 5% (w/v) KOH ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการสกัดแยกสาร 2 ครั้งด้วย Hexane ปริมาตร 35 มิลลิลิตร ต่อมาล้าง Hexane ออกจากสารที่สกัดได้ด้วย 10% (w/v) Sodium chloride ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และล้างตะกอนด้วยน้ำ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อล้าง Alkali ออก จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างที่ได้มาทำการระเหยตัวทำละลายจากสารสกัดออกด้วยเครื่อง R evaporator ภายใต้ความดัน 60 มิลลิบาร์ ในอ่างน้ำร้อนที่ 37°C ละลายสารสกัดที่ได้ นำมาละลายด้วยคลอโรฟอร์มเข้มข้น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเมทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

นำสารละลายไปแยกวิเคราะห์หาสารเบต้าแคโรทีน และ ไลโคพีน มาเปรียบเทียบกับสารเบต้าแคโรทีน และ ไลโคพีน มาตรฐาน ความเข้มข้น 100 ppm โดยนำสารละลายมาตรฐาน เบต้าแคโรทีน และ ไลโคพีน มาตรฐาน ละลายในอะซิโตน คลอโรฟอร์ม และ เมทานอล อัตราส่วน 10:1:1 นำไปวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC-PAD (LC-20AT prominence liquid chromatograph (Shimadzu, Japan) - SPD-M20A Diode array detector (PAD)) [13] โดยใช้ Inertsil ODS-3 column ($5\ \mu\text{m}$ 4.6 I.D. $\times$ 250 mm S/N 5F186218) และบันทึกข้อมูลโดย Solution programme (Shimadzu, Japan) โดยใช้ mobile phase ประกอบด้วย acetonitrile (CH_3CN) : tetrahydrofuran (THF) : methanol (CH_3OH) : triethylamine (TEA), ของ 80:40:6:0.1 (v/v/v/v) ประกอบด้วย 0.2% Ammonium acetate ที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที สำหรับสาร เบต้าแคโรทีน และไลโคพีน ตรวจสอบที่ความยาวคลื่น 450 nm

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ในผลิตภัณฑ์

วิธีการสกัดฟลาโวนอยด์ [13, 14] นำตัวอย่างมะม่วง 5 กรัม ของผลิตภัณฑ์มาปั่นให้ละเอียดในอะซิโตน 80% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มีกรดฟอร์มิก 0.2% เขย่าที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วกรองด้วย Whatman filter paper No. 4 นำกากมาสกัดซ้ำด้วยอะซิโตนอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารสกัดที่ได้มารวมกัน จากนั้นระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 37°C ในสภาพกึ่งสุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator ปรับปริมาตรสารสกัดด้วยน้ำกลั่นที่มีกรดฟอร์มิก 3% นำสารสกัดมาแยกด้วย C18 Sep-Pak cartridge (Waters) ล้างด้วยน้ำกลั่นที่มี

กรดฟอร์มิก 3% เพื่อให้ให้น้ำตาล กรดอินทรีย์ และ สารประกอบบิสระที่ละลายน้ำได้ถูกชะออกมา จากนั้นชะ ฟลาโวนอยด์ ออกมาด้วย เมทานอลที่มี กรดฟอร์มิก 3% นำมากรองด้วย Membrane filter ขนาด 0.45 ไมครอน ก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC

การตรวจวัดปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยเครื่อง HPLC-PAD (LC-2 0 AT prominence liquid chromatograph (Shimadzu, Japan) - SPD-M2 0 A Diode array detector (PAD)) [13] โดยใช้ Inertsil ODS-3 column (5 μ m 4.6 I.D. x 250 mm S/N 5 FI86218) และบันทึกข้อมูลโดย Solution programme (Shimadzu, Japan) การแยกฟลาโวนอยด์ ทำโดยใช้สัดส่วน gradient solutions ของ solvent A (4% phosphoric acid) และ solvent B (100% acetonitrile) ที่ 3000 psi โดยใช้อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตร/นาที ทำการตรวจสแกนคลื่นแสงระหว่าง 250 และ 550 nm นำมาเปรียบเทียบกับสารละลาย มาตรฐาน Kaempferol ความเข้มข้น 100 ppm โดย นำสารละลายมาตรฐาน Kaempferol ละลายใน อะซิโตนความเข้มข้น 80%

2.4 การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ในผลิตภัณฑ์

2.4.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) [15]

นำตัวอย่างเนื้อมะม่วงผสมกับสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 80 % ในอัตราส่วน 1:1 (W/V) ปั่นให้ละเอียดแล้วนำไป เหวี่ยงแยกที่แรงเหวี่ยง 12,000g เป็นเวลา 20 นาที นำสารละลายส่วนใส (Supernatant) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์หา สารประกอบฟีนอลิก โดยทำให้เจือจางลง 10 เท่า แล้วปิเปตสารตัวอย่างที่ทำการเจือจางนี้มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง หลังจากนั้นเติมสารละลาย

Folin-ciocalteu (สารละลาย Folin-ciocalteu ความเข้มข้น 2N เจือจางลง 10 เท่าด้วยน้ำกลั่น) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเติมสารละลาย sodium carbonate (ละลายสารละลาย Sodium carbonate จำนวน 75 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับ ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง จากนั้นนำไปวางไว้ในน้ำอุ่น อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วย้ายไปแช่ในน้ำ เย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึง นำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่า การดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu, Japan) ที่ความยาวคลื่น 760 nm นำค่าที่ อ่านได้มาคำนวณกราฟมาตรฐานของ gallic acid ความเข้มข้น 20 40 60 80 และ 100 ppm ทำการ Plot graph ระหว่างเปอร์เซ็นต์การต้านปฏิกิริยา ออกซิเดชันที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารสกัด แล้วหาสมการเส้นตรง และแทนค่า 50 % ได้ค่า Inhibition concentration คือ ค่าความสามารถของ ปริมาณสารที่ทำการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง (IC50)

2.4.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP)

การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็น สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) [16]

นำมะม่วงดิบที่ผ่านการคั้นเป็นน้ำแบบ เข้มข้นจำนวน 40 ไมโครลิตร ผสมกับ สารละลาย DPPH 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที แล้ว วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 517 nm และนำมาคำนวณเทียบกับ กราฟมาตรฐานของ Trolox (10-50 มิลลิกรัม/ลิตร)

และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับวิตามินซีซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก (Positive Control) ในการทดลอง

2.4.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP assay) [17]

โดยการอ่านสารละลาย FRAP ที่อุณหภูมิ 37 °C และผสมสารละลาย FRAP 3 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 300 ไมโครลิตร และสารละลาย Ferrous sulphate เข้มข้น 0.6 ไมโครโมลต่อลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วนำไปบันทึก spectrum ที่ความยาวคลื่น 350 – 700 nm โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น Blank และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับวิตามินซีซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก (Positive control) ในการทดลอง

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในด้านสารออกฤทธิ์สำคัญของผลิตภัณฑ์แต่ละสายพันธุ์ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทุกค่าแสดงโดยค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คิดโดยใช้จำนวนซ้ำ 6 ซ้ำเป็นอย่างน้อย

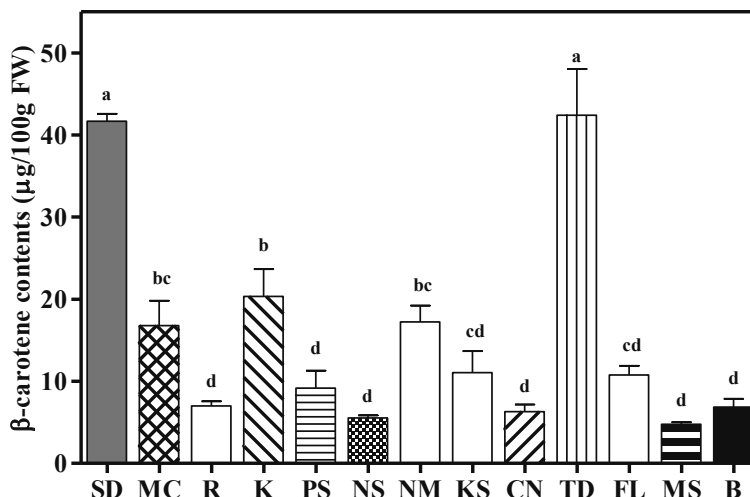
3. ผลการวิจัย

3.1 ปริมาณเบต้าแคโรทีน ไลโคปีน และฟลาโวนอยด์ในเนื้อของผลมะม่วง

สารเบต้าแคโรทีน และสารไลโคปีนในเนื้อผลมะม่วงดิบ พบว่ามะม่วงทั้ง 13 สายพันธุ์ มีปริมาณสารเบต้า แคโรทีนในเนื้อดิบอยู่ในช่วง 5.53 – 41.68 ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ซึ่งมะม่วงต่างสายพันธุ์ก็มีการสะสมสารเบต้าแคโรทีนที่แตกต่างกัน

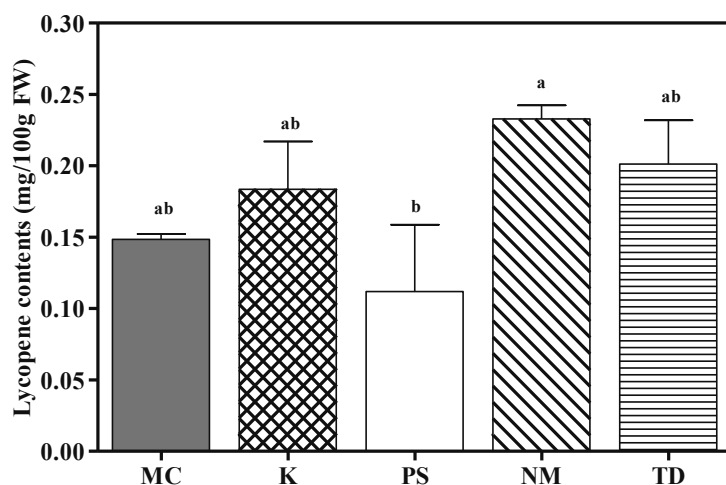
($P < 0.05$) มะม่วงสายพันธุ์ทองดำ ซึ่งลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะม่วงสายพันธุ์ทองดำ ผลดิบจะมีลักษณะขาวปนเหลือง และสามฤดู มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด เท่ากับ 42.43 และ 41.68 ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ ในขณะที่มะม่วงสายพันธุ์ พิมเสนมัน แรด เบา หนองแซง และมันขุนศรี มีปริมาณเบต้าแคโรทีนต่ำที่สุด เท่ากับ 9.17, 7.01, 6.86, 5.53 และ 4.75 ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ (ภาพที่ 1) ในด้านของการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในเนื้อมะม่วงดิบพบว่า มีเพียง 5 สายพันธุ์ เท่านั้นที่สามารถตรวจสอบพบว่ามีสารสะสมสารไลโคปีนในเนื้อผลดิบ คือสายพันธุ์ มหาชนก แก้ว พิมเสนมัน น้ำดอกไม้ และ ทองดำ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.11 – 0.23 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด โดยมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ มีปริมาณไลโคปีน มากที่สุด เท่ากับ 0.23 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ในขณะที่มะม่วงพิมเสนมัน มีปริมาณไลโคปีน น้อยที่สุด เท่ากับ 0.11 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด (ภาพที่ 2)

ปริมาณฟลาโวนอยด์ในมะม่วงรับประทานผลดิบทั้ง 13 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 24.97 – 172.38 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด โดยมะม่วงสายพันธุ์ โชคอนันต์ มีปริมาณฟลาโวนอยด์ในเนื้อผลมากที่สุด เท่ากับ 172.38 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด รองลงมาคือ สายพันธุ์ มันขุนศรี ทองดำ และ มหาชนก ที่พบการสะสมปริมาณฟลาโวนอยด์ในเนื้อผล เท่ากับ 118.21, 113.70 และ 111.25 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ส่วนมะม่วงสายพันธุ์เขียวเสวย มีปริมาณฟลาโวนอยด์ในเนื้อผลน้อยที่สุด เท่ากับ 24.97 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสดซึ่งเนื้อของมะม่วงสายพันธุ์โชคอนันต์ มีสารฟลาโวนอยด์มากกว่า 'เขียวเสวย' ถึง 7 เท่า (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อผลมะม่วงรับประทานดิบทั้ง 13 สายพันธุ์: SD = ‘Sam Rudu’, MC = ‘Mahachanok’, R = ‘Rad’, K = ‘Kaew’, PS = ‘Pim Sean Mun’, NS = ‘Nong Sang’, NM = ‘Nam Dok Mai’, KS = ‘Kheaw Savouy’, CN = ‘Choke Anan’, TD = ‘Thong Dam’, FL = ‘Fah Lan’, MS = ‘Mun Khun Sri’, B = ‘Bao’

ตัวอักษรโรมันบนกราฟแท่งที่ต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน คำนวณโดย Duncan’s new multiple Range Test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 2 ปริมาณไลโคปีนในเนื้อผลมะม่วงรับประทานดิบทั้ง 5 สายพันธุ์: MC: ‘Mahachanok’, K: ‘Kaew’, PS: ‘Pim Sean Mun’, NM: ‘Nam Dok Mai’, TD: ‘Thong Dam’

ตัวอักษรโรมันบนกราฟแท่งที่ต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน คำนวณโดย Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 1 ปริมาณฟลาโวนอยด์ในเนื้อผลมะม่วงรับประทานผลดิบทั้ง 13 สายพันธุ์

Cultivars	Total Flavonoids Content (mg/100 g fresh weight)
Kheaw Savouy	24.977±0.016
Fah Lan	106.272±0.067
Rad	90.201±0.072
Nam Dok Mai	104.351±0.002
Choke Anan	172.388±0.024
Thong Dam	113.708±0.015
Mun Khun Sri	118.217±0.038
Mahachanok	111.251±0.031
Nong Sang	59.489±0.025
Keaw	76.282±0.263
Pim Sean Mun	45.538±0.012
Bao	70.096±0.368
Sam Rudu	98.631±0.028

3.2 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อของผลมะม่วง

จากการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลมะม่วงรับประทานผลดิบในประเทศไทยทั้ง 13 สายพันธุ์ คือ เชี่ยวเสวย น้ำดอกไม้ มหาชนก โชคอนันต์ แรด ฟาลัน แก้ว พิมเสนมัน ทองดำ หนองแซง เบา มั่นขุนศรี และ สามฤดู ในระยะเก็บเกี่ยวทางการค้า พบว่า การวิเคราะห์หากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ในเนื้อผลมะม่วงรับประทานผลดิบทั้ง 13 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.35 – 1.25 มิลลิโมล Trolox /100 กรัม น้ำหนักสด โดยชนิดและสายพันธุ์มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) มะม่วงสายพันธุ์โชคอนันต์ และ เชี่ยวเสวย มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เท่ากับ 1.25 และ 1.24 มิลลิโมล

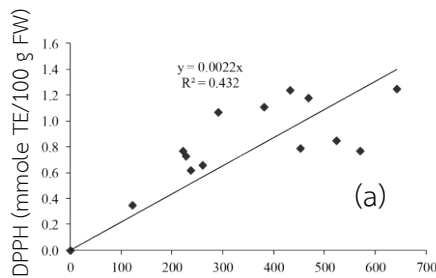
Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ ในขณะที่มะม่วงสายพันธุ์ ‘พิมเสนมัน’ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด เท่ากับ 0.35 มิลลิโมล Trolox /100 กรัม น้ำหนักสด สามารถแบ่งกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของมะม่วงออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระน้อย (0.30 – 0.64 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด) คือมะม่วงสายพันธุ์ พิมเสนมัน และหนองแซง กลุ่มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระปานกลาง (0.65 – 1.00 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด) คือมะม่วงสายพันธุ์ น้ำดอกไม้ มหาชนก แรด ฟาลัน แก้ว และมั่นขุนศรี กลุ่มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมาก (> 1.00 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด) ประกอบด้วยมะม่วงสายพันธุ์เชียวเสวย โชคอนันต์ ทองดำ เบา และสามฤดู (ตารางที่ 2) จากการทดลองจะเห็นว่ามะม่วงทุกสายพันธุ์ไม่มีกิจกรรม

การต้านอนุมูลอิสระที่สูงเท่าวิตามินซีเมื่อนำสารสกัดจากเนื้อผลไม้วิเคราะห์กิจกรรม การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP พบว่า ชนิดและสายพันธุ์มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP มะม่วงสายพันธุ์โชคอนันต์ มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด เท่ากับ 0.17 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด ในขณะที่มะม่วงสายพันธุ์พิมเสน มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด เท่ากับ 0.03 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งสามารถแบ่งกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของมะม่วงออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระน้อย (0.03 – 0.09 มิลลิโมล Trolox/100 กรัม น้ำหนักสด) คือมะม่วงสายพันธุ์พิมเสนมัน หนองแซง แก้ว แรด และมันขุนศรี กลุ่มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระปานกลาง (0.10 – 0.15 มิลลิโมล Trolox /100 กรัม น้ำหนักสด) คือมะม่วงสายพันธุ์เขียวเสวย ฟาลัน เบา และสามฤดู กลุ่มที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมาก (> 0.15 มิลลิโมล Trolox /100 กรัม น้ำหนักสด) ประกอบด้วยมะม่วงสายพันธุ์มหาชนก น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ และทองคำ (ตารางที่ 2) จากการทดลองจะเห็นว่ามะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้ และมหาชนก มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ตรงข้ามกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH โดยมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์มีสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มที่มีประสิทธิภาพดี วัดผลได้รวดเร็วเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH ซึ่งให้ผลที่ไม่ดี หรือให้ผลการยับยั้งช้าเมื่อวัดด้วยวิธี FRAP เนื่องจากเป็นวิธีการวัดกลไกที่แตกต่างกัน และจากการทดลองจะเห็นว่ามะม่วงทุกสายพันธุ์ไม่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่สูงเท่าวิตามินซี

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของมะม่วงรับประทานผลดิบ มีค่าอยู่ในช่วง 121.99 – 641.75

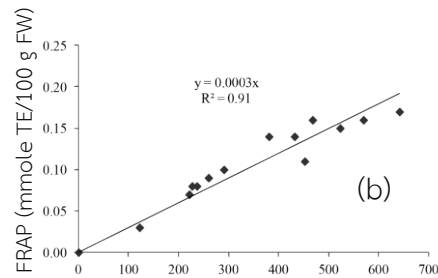
มิลลิกรัม gallic acid/ 100 กรัม น้ำหนักสด ผลมะม่วงดิบต่างชนิดกันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมาก มะม่วงสายพันธุ์โชคอนันต์ น้ำดอกไม้ และมหาชนก มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อผลมากที่สุด เท่ากับ 641.75 569.65 และ 523.02 มิลลิกรัม Gallic acid/ 100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ รองลงมาคือ มะม่วงสายพันธุ์ ทองคำ ฟาลัน และเขียวเสวย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 467.97, 452.20 และ 432.02 มิลลิกรัม Gallic acid/ 100 กรัม น้ำหนักสด ในขณะที่มะม่วงสายพันธุ์พิมเสนมัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อผลน้อยที่สุด เท่ากับ 121.99 มิลลิกรัม Gallic acid/ 100 กรัม น้ำหนักสด (ตารางที่ 2) ซึ่งปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างจากการศึกษาที่เคยมีการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในมะม่วงดิบสดมีค่าเท่ากับ $17.20 + 0.22$ มิลลิกรัม Gallic acid /100 กรัม [18]

เปอร์เซ็นต์ inhibition ของสารสกัดจากเนื้อไม้มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งชนิดและสายพันธุ์ โดยมะม่วงสายพันธุ์โชคอนันต์ และเขียวเสวย มีเปอร์เซ็นต์ Inhibition ในเนื้อผลมากที่สุด เท่ากับ 74.41 และ 73.54 ตามลำดับ รองลงมาคือ มะม่วงสายพันธุ์ทองคำ และสามฤดู มีเปอร์เซ็นต์ Inhibition เท่ากับ 69.83 และ 63.77 ตามลำดับ ส่วนมะม่วงสายพันธุ์พิมเสนมัน มีเปอร์เซ็นต์ Inhibition น้อยที่สุด เท่ากับ 22.35 ในขณะที่ มะม่วงสายพันธุ์เขียวเสวย โชคอนันต์ ทองคำ เบา และสามฤดู มีค่า IC50 มากที่สุด เท่ากับ 0.84 รองลงมาคือ มะม่วงสายพันธุ์ น้ำดอกไม้ มหาชนก ฟาลัน และมันขุนศรี มีค่า IC50 เท่ากับ 0.83 ในขณะที่มะม่วงสายพันธุ์พิมเสนมัน มีค่า IC50 น้อยที่สุด เท่ากับ 0.78 (ตารางที่ 3)



Total phenolics (mg gallic acid/ 100 g FW)

(a)



Total phenolics (mg gallic acid/ 100 g FW)

(b)

ภาพที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในเนื้อผลโดยวิธี DPPH (a) และ FRAP (b)

ตารางที่ 2 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อผลมะม่วงรับประทานดิบทั้ง 13 สายพันธุ์

Cultivars	Antioxidant activity (mmole TE/100 g fresh weight)		Total phenolics ¹ (mg gallic acid/ 100 g fresh weight)
	DPPH ^{1/}	FRAP ^{1/}	
Ascorbic Acid	2.57 ^a	3.40 ^a	4693.73 ^a
Kheaw Savouy	1.24 ^b	0.14 ^d	432.02 ^f
Nam Dok Mai	0.77 ^{fg}	0.16 ^c	569.65 ^c
Mahachanok	0.85 ^e	0.15 ^d	523.02 ^d
Choke Anan	1.25 ^b	0.17 ^b	641.75 ^b
Rad	0.66 ^h	0.09 ^f	260.03 ⁱ
Fah Lan	0.79 ^f	0.11 ^e	452.20 ^e
Kaew	0.73 ^g	0.08 ^g	227.12 ^j
Pim Sean Mun	0.35 ⁱ	0.03 ⁱ	121.99 ^k
Thong Dam	1.18 ^c	0.16 ^c	467.97 ^e
Nong Sang	0.62 ^h	0.08 ^h	236.68 ^j
Bao	1.11 ^d	0.14 ^d	380.80 ^g
Mun Khun Sri	0.77 ^{fg}	0.07 ^h	221.36 ^j
Sam Rudu	1.07 ^d	0.10 ^f	290.66 ^h
C.V. (%)	13.84	13.09	12.75
F-test	**	**	**

¹ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c,..... ในแนวดิ่งที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Duncan's new multiple range Test (DMRT)

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 3 ร้อยละ inhibition ต่อความเข้มข้นของสารสกัดร้อยละ 50 และ IC_{50} ในเนื้อผลมะม่วงรับประทาน
ดิบทั้ง 13 สายพันธุ์

Cultivars	Antioxidant activity	
	% Inhibition ¹	IC_{50} (mg/mL) ¹
Kheaw Savouy	73.54 ^a	0.84 ^a
Nam Dok Mai	46.88 ^{ef}	0.83 ^d
Mahachanok	51.41 ^d	0.83 ^c
Choke Anan	74.41 ^a	0.84 ^a
Rad	40.31 ^s	0.82 ^f
Fah Lan	47.53 ^e	0.83 ^d
Kaew	44.28 ^f	0.82 ^e
Pim Sean Mun	22.35 ^h	0.78 ^s
Thong Dam	69.83 ^b	0.84 ^{ab}
Nong Sang	38.08 ^s	0.82 ^f
Bao	66.39 ^c	0.84 ^b
Mun Khun Sri	46.65 ^{ef}	0.83 ^{de}
Sam Rudu	63.77 ^c	0.84 ^b
C.V. (%)	13.35	0.72
F-test	**	**

¹ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a, b, c,..... ในแนวตั้งที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย
โดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

หมายเหตุ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. สรุปและการอภิปราย

จากข้อมูลในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเนื้อ
ของผลมะม่วงดิบมีการสะสมเบต้าแคโรทีนในระดับ
ปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ไทยชนิดอื่น ๆ
[19] และปริมาณไลโคปีนในเนื้อของผลมะม่วงดิบก็มี
ปริมาณน้อยมาก อย่างไรก็ตามเมื่อผลมะม่วงสุกจะมี
การสร้างและสะสมสารเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน
เพิ่มมากขึ้น เช่น ในเนื้อผลดิบของมะม่วงสายพันธุ์
น้ำดอกไม้ มีสารเบต้าแคโรทีน 17.22 ไมโครกรัม/
100 กรัม น้ำหนักสด (ภาพที่ 1) แต่เมื่อผลสุกเนื้อมี
การสร้างและสะสมสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อถึง 308

ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด [19] สำหรับ
ปริมาณฟลาโวนอยด์ในเนื้อของผลมะม่วงดิบ
มีการสะสมของฟลาโวนอยด์อยู่ในระดับที่สูงเมื่อ
เปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา [9]

จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูล
อิสระจากสารสกัดจากเนื้อผลทั้งโดยวิธี DPPH และ
FRAP และเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง อนุมูลอิสระ
ชี้ให้เห็นว่าเนื้อของผลมะม่วงดิบที่มีความสามารถในการ
กำจัดอนุมูลอิสระได้ดีคือมะม่วงสายพันธุ์ทองดำ
และโชคอนันต์ ส่วนกลุ่มที่ค่อนข้างดีคือ มะม่วง
สายพันธุ์เขียวสววย น้ำดอกไม้ มหาชนก เบา และ

สามฤดู ส่วนเนื้อมะม่วงสายพันธุ์แรด ฟาลัน แก้ว พิมเสนมัน หนองแขง และมันขุนศรี มีความสามารถในการจัดอนุมูลอิสระได้น้อย การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระระหว่างวิธี DPPH และ FRAP (ภาพที่ 3) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อมีความสัมพันธ์กับการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP อย่างมาก โดยมีค่าสหสัมพันธ์สูงถึง 0.91 เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟวิเคราะห์โดยวิธี DPPH ที่มีค่าเพียง 0.432 ซึ่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอลิกและการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธีนี้สอดคล้องกับการทดลองที่เคยมีการศึกษาในผลิตภัณฑ์อื่น [20-22]

จะเห็นได้ว่ามะม่วงรับประทานดิบสายพันธุ์พื้นบ้านของประเทศไทย มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารสำคัญสะสมอยู่ในเนื้อผลไม้ในปริมาณที่ไม่แตกต่างจากผลไม้ชนิดอื่น ๆ ซึ่งสามารถส่งเสริมให้มะม่วงรับประทานดิบสายพันธุ์พื้นบ้านของประเทศไทยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของอาหารสุขภาพ จากการทดลองพบว่ามะม่วงรับประทานดิบในประเทศไทยมีปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูงในบางสายพันธุ์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยเห็นว่ามะม่วงรับประทานดิบมีศักยภาพที่จะใช้เป็นอาหารสุขภาพได้ แต่ไม่ทราบผลต่อสุขภาพที่แน่ชัด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของสารสำคัญในมะม่วงรับประทานดิบต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งควรมีการศึกษาในระดับชีวโมเลกุลต่อไป เพื่อให้การศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่ได้สามารถนำไปต่อยอดได้จริง และมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็น

ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เหมาะสม และมีประโยชน์ต่อสุขภาพสูงสุดให้กับผู้บริโภคต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยในการสนับสนุนงบประมาณงานวิจัยรหัสโครงการ RDG5420042 และขอขอบพระคุณสถานีวิจัยปากช่อง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสายพันธุ์มะม่วงและผลิตผลในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุจิรา กิจเจริญ. เรื่องผลไม้ไทยศักยภาพการส่งออกของประเทศ. วารสารส่งเสริมการเกษตร. 2544; 32(159):2-4.
- [2] องค์ความรู้เรื่องปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้เพื่อส่งเสริมสุขภาพ (วิตามินซี วิตามินอี และ เบต้าแคโรทีน) ในผลไม้. [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. [ปรับปรุงเมื่อ 7 ม.ค. 2551; เข้าถึงเมื่อ 25 มิ.ย. 2555]. จาก : <http://nutrition.anamai.moph.go.th.07.01.08>.
- [3] Bafna PA, Balaraman R. Antioxidant activity of DHC-1, an herbal formulation, in experimentally-induced cardiac and renal damage. *Phytother Res.* 2005; 19:216-221.
- [4] Pino JA, Mesa J, Munoz Y, et al. Volatile components from mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 2005; 53:2213-2223.

- [5] Septembre-Malaterre A, Stanislas G, Douraguia E, et al. Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. Food Chem. 2016; 212:225-233.
- [6] Ribeiro SMR, Schieber A. Chapter 34- Bioactive compounds in mango (*Mangifera indica* L.). Bioactive Foods in Promoting Health. Fruits and Vegetables. Oxford: Elsevier; 2010. P.507-23.
- [7] Berardini N, Fezer ., Conrad J, et al. Screening of mangle (*Mangifera indica* L.) cultivars for their contents of flavonol O- and xanthone C-glycosides, anthocyanins and pectin. J Agr Food Chem. 2005; 53:1563-1570.
- [8] Kim Y, Brecht JK, Talcott ST. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. Food Chem. 2007; 105(4):1327-1334.
- [9] Ma X, Wu H, Liu L, et al. Polyphenolic compounds and antioxidant properties in mango fruits. Sci. Hort. 2011; 129:102-107.
- [10] Sogi DS, Siddiq M, Greiby I, et al. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of 'Tommy Atkins' mango peel and kernel as affected by drying methods. Food Chem. 2013; 141:2649-2655.
- [11] Sogi DS, Siddiq M, Dolan KD. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkins mango cubes as affected by drying techniques. LWT-Food Sci Technol. 2015; 62:564-568.
- [12] Speek AJ, Schrijver J, Schreurs WHP. Vitamin E composition of some seed oils as determined by high-performance liquid chromatography with fluorometric detection. J Food Sci. 1985; 50:121-124.
- [13] Junka N, Wongs-Aree C, Kanlayanarat S. Predominance of cyanidin found in flower from two species of *Aerides* orchid. Acta Hort. 2007; 755:549-556.
- [14] Wang CY, Chen CT, Wang SY. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. Food Chem. 2009; 117:426-431.
- [15] Slinkard K, Singleton VL. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods. Am J Enol Vitic. 1977; 28:49-55.
- [16] Devi KP, Suganthi N, Kesika P, et al. Bioprotective Properties of Seaweeds, Malays. J Nutr. 2008; 8(2):167-177.
- [17] Benzie IF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Anal Biochem. 1996; 239:70-76.

- [18] Rahman MM, Das R, Hoque MM, et al. Effect of freeze drying on antioxidant activity and phenolic content of mango (*Mangifera indica*). *Int Food Res J*. 2015; 22(2):613-617.
- [19] Charoensiri R, Kongkachuichai R, Suknicom S, et al. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits. *Food Chem*. 2009; 113:202-207.
- [20] Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J Food Comp Anal*. 2006; 19:669-667.
- [21] Wangcharoen W, Morasuk W. Antioxidant capacity and phenolic content of some Thai culinary plants. *Maejo Int J Sci Technol*. 2007; 1(2):100-106.
- [22] Hodzic Z, Pasalic H, Memisevic A, et al. The influence of total phenols content on antioxidant capacity in the whole grain extracts. *Eur J Sci Res*. 2009; 28(3):471-477.

Effect of Total Phenolic Content on Metal Chelation and Free Radical Scavenging Activity of *Rhizophora apiculata*

Luksamee Vittaya^{1*}, Juntra Ui-eng¹, Nararak Leesakul²

¹Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thailand

²Department of Chemistry and Center for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Thailand

*Corresponding author. E-mail: nokluksamee@hotmail.com

Abstract

The present study is aimed to study and determine the total phenolic content, the metal chelation and the antioxidant activity of the extracts of *Rhizophora apiculata* bark and leaf from the organic solvents which were hexane, ethyl acetate and methanol. The total phenolic contents of six extracts were analyzed by the Folin-ciocateau colorimetric method. Their antioxidant properties were determined by free radical scavenging and metal chelation. The *R.apiculata* leaf and bark extracted in ethyl acetate and methanol had more total phenolic content than those extracted in hexane, especially the bark extracts, for which total phenolic content was calculated at 1.620 ± 0.082 mg GAE/ g CE for ethyl acetate bark extract and 1.595 ± 0.033 mg GAE/ g CE for methanolic bark extract. The results of the free radical scavenging activity study showed that the antioxidant activity of *R.apiculata* was more pronounced in the bark than in the leaf. This was clearly demonstrated by the lower IC₅₀ values, especially in the ethyl acetate and methanolic extracts (IC₅₀ = 6.31 ± 0.23 and 6.80 ± 0.19 g/mL, respectively). These antioxidant activities were stronger than those of the BHT standard, which produced IC₅₀ values of 10.13 ± 0.45 g/mL. Furthermore, these data for antioxidant activity were supported by the results of the metal chelation assay, in which ethyl acetate and methanolic extracts of *R.apiculata* bark showed the highest capacity of metal chelation by ferrous ion at 10.497 ± 0.051 and 10.234 ± 0.101 mg Fe²⁺/ g CE, respectively. It can be concluded that the *R.apiculata* bark extracts had interesting bioactive substances, and were effective in scavenging free radicals and chelating metal ions. Its extract has the potential to be a powerful antioxidant agent. Further research is required on the recognition and purification of the interesting bioactive and phenolic compounds from ethyl acetate and methanol extracts of this species.

Keywords: Phenolic content, Free radical scavenging, Metal chelating, *Rhizophora apiculata*, Extracts

1. INTRODUCTION

Rhizophora species are mangrove plants and have shown a variety of medical and pharmaceutical uses. Extracts of different parts of the plant have applications against various animal, plant, and human pathogens. They have been used as an in

vitro HIV-1 inhibitor in human cells [1] and as antiviral [2], antibacterial [3], and antioxidant agents [4-7]. These applications are made possible by major secondary metabolite or bioactive compounds like polyphenol, which occurs as tannin in this species [8-12]. Tannins are natural

Received 02-12-2018

Revised 27-01-2019

Accepted 28-01-2019

polyphenols, occurring in leaf and bark, which combine with proteins to form stable complexes [13-14]. Their antioxidant properties were characterized by free radical scavenging activity [6-7].

R. apiculata, locally known as bakauminyak, is one of the major species of the RHIZOPHORACEAE family. This plant is a rich source of antioxidants due to its high total phenolic content [4-5]. Moreover, it exhibited higher free radical scavenging activity and ferric reducing power [4]. Previous reports have revealed that extracts from *R. apiculata* showed strong antioxidant activity, due to its polyphenolic content [9-12], especially in ethanolic bark extracts [2,6-7]. In a preliminary researches rendered various important bioactive compounds which showed potential as antioxidant agents [5,15]. This was confirmed by a recent report on the petroleum ether, methanol and chloroform extractions of another *Rhizophora* species, *Gynotroches axillaris*. It was found that the methanolic solvent of its leaf exhibited significantly higher antioxidant activity than the petroleum ether and chloroform extracts [15]. However, there has been little study of the antioxidant activity of *R. apiculata* leaf and bark extracted in different solvents. So, it is important to screen different solvent extracts of this plant to expand our knowledge of its antioxidant activity and possibly discover a new source of economically valuable materials and metabolites with therapeutic properties.

Therefore, this study aims to:

- 1) sequentially extract bioactive compounds from *R. apiculata* leaf and bark using the three organic solvents consisting of hexane, ethyl acetate and methanol; and
- 2) determine their total phenolic content, antioxidant activity, and metal chelating action. To the best of our knowledge, this research studies the effect of phenolic content on metal chelation and antioxidant

capacity. The association between total phenolic content, antioxidant activity and metal chelating action will be discussed.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Fresh leaf and bark of *R. apiculata* were collected from Rajamangala beach, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang province in Thailand. The voucher specimen (BKF no.194836) is deposited at The Forest Herbarium, Thailand. The plant materials were washed under tap water and dried for a week. The dried materials were then ground to a fine powder in an electric blender and stored until maceration prior to analysis. Folin-ciocalteu reagent, gallic acid, butylated hydroxytoluene (BHT), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) were purchased from Sigma-Aldrich Chemical Co. Other chemicals used were of 99% or greater purity.

2.2 Preparation of *R. apiculata* leaf and bark

One thousand grams of leaf and bark were extracted by maceration for a week in sequentially polar organic solvents. These solvents were, in order of increasing polarity, hexane, ethyl acetate and methanol. The resulting extracts were filtered with Whatman No. 1 filter paper and the filtrates concentrated by rotary evaporator in a vacuum at 50°C to give dry residues which were kept in a refrigerator until use. The percentage yields of the hexane, ethyl acetate and methanol crude leaf extracts were 0.35, 2.8 and 23.04%, respectively, and 0.85, 0.96 and 54.41% for the bark extracts. The extracts were then analyzed for the determination of total phenolic content, antioxidant activity and metal chelating action.

2.3 Determination of total phenolic content

The contents of total phenolic compounds of the leaf and bark crude extracts were determined using the Folin-ciocalteu method modified by the method

of Miliauskas et al [16] using gallic acid as standard. Each sample was prepared by dissolving 10 mg of each dried extract in 10 mL methanol to obtain 6 sample solutions at a concentration of 1 mg/mL. Then, 0.2 mL of each sample was pipetted into a vial containing 2.5 mL of H₂O. Folin-ciocalteu reagent (0.2 mL) was then added, mixed well and left for one minute. Finally, 2 mL of 7 % sodium carbonate solution was added and the mixture was incubated for 60 min in the dark, at room temperature. The absorbance was recorded at 765 nm using a UV-vis spectrophotometer. The total phenolic content for each sample was calibrated alongside the standard curve of gallic acid at concentration 20-100 mg/mL and expressed in terms of gallic acid equivalents (GAE) per gram of dried crude extract.

2.4 Free radical scavenging activity onto 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)

The free radical scavenging activity was determined using the DPPH method as described by Seethalaxmi et al [17]. The procedure is as follows: 2 mL of each test sample and standard were mixed with 2 mL of 0.15 N methanolic DPPH solution. The mixture was vortexed and allowed to stand at room temperature in the dark for 30 min. The wavelength of maximum absorbance of DPPH was measured at 517 nm using a spectrophotometer. Methanol was used as a blank. BHT (Butylated hydroxytoluene) was used as a positive control. The percentage of free radical scavenging activity of each concentration was calculated based on the formula $(1 - (A_{\text{sample}} - A_{\text{sample blank}}) / A_{\text{control}}) \times 100$ where A_{sample} is the absorbance of the test sample with DPPH solution, $A_{\text{sample blank}}$ is the absorbance of the test sample only, and A_{control} is the absorbance of DPPH solution. Higher free radical scavenging activity indicates higher antioxidant activity by lowering absorbance of the reaction

mixture. The decrease in absorbance is due to the reduction of the DPPH radical, which was measured using a UV-visible absorption spectrometer at 517nm (U-1800, SHIMAZU Co., Japan). The antioxidant activity of the test sample was expressed as the effective concentration of the extract (mg/mL) required for scavenging the free radicals. All measurements were performed in triplicates and expressed as the average values. IC₅₀ was calculated by plotting inhibition percentage against sample concentration. BHT was used as standards.

2.5 Metal chelating activity onto 1,10-phenanthroline (Phen) assay

The antioxidant capacity of the *R.apiculata* leaf and bark extracts measured using the Phen method was studied according to the method of Szydłowska-Czerniak et al [13] with minor modifications. In a 10-mL volumetric flask, 0.6 mL of each sample solution (1 mg/mL) was added to 1 mL 0.2% FeCl₃ solution and 0.5 mL 0.5% 1,10-phenanthroline solution. The reaction mixture was made up to volume with methanol. The solution obtained was mixed and left at room temperature in the dark. After 30 min, the absorbance of the orange-red solution was measured at 510 nm against a reagent blank (1 mL of FeCl₃ (0.2%) and 0.5 mL of Phen (0.5%) made up to 10 mL with methanol). The activity was recorded by comparison with the calibration curve of working solutions of FeSO₄.H₂O between 0.62-10.00 mg/mL. The least-squares method was applied to calculate the lines $y = 0.019x$ ($R^2 = 0.990$) Phen method.

2.6 Statistical analysis

The results were expressed as means $\pm$ standard deviation. The data were analyzed by one way ANOVA and different group means were compared by Duncan's multiple ranges (DMR) test. $P < 0.05$ was considered significant in all cases. The pearson correlation test was used to

determine the correlation between variables in total phenolic content results, metal chelation and scavenging activity for *R. apiculata* leaf and bark extracts in different solvents. $P < 0.05$ was considered statistically significant.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Phenolic contents of *R. apiculata* leaf and bark were extracted in different solvents. Several extracts of *R. apiculata* leaf and bark from organic solvents are reported to provide diverse medicinal properties [10-11]. In this work, we prepared extracts from *R. apiculata* leaf and bark using three solvents: hexane, ethyl acetate and methanol to obtain six sample extracts. The total phenolic content of the six extracts was determined by the Folin-ciocalteu method and the data were showed in Figure 1.

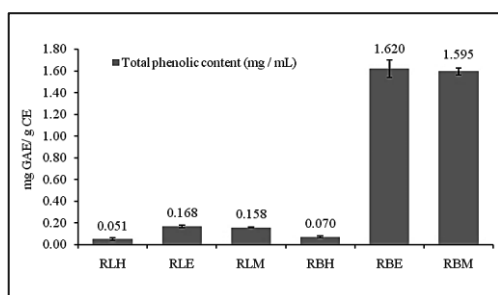


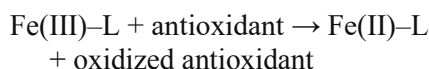
Figure 1. Total phenolic contents and metal chelating activity of leaf and bark *R. apiculata* extract. RLH, RLE, RLM are leaf of *R. apiculata* extracted by hexane, ethyl acetate and methanol, respectively. RBH, RBE, RBM are bark of *R. apiculata* extracted by hexane, ethyl acetate and methanol, respectively.

The amounts of phenolic content can be clearly compared in Figure 1. The total phenols of the extracts were expressed in μg per gram of dried sample based on a standard curve generated with gallic acid, according to the equation $y = 0.003x + 0.001$ ($R^2 = 0.999$). A distinct difference in total phenolic contents was observed

between the leaf and bark extracted with hexane and the other extracts. The amount of total phenolic content was markedly higher in the ethyl acetate and methanolic extracts of both leaf (0.158 to 0.168 mg GAE/g crude extract, CE) and bark (1.595 to 1.620 mg GAE/g CE). This difference in total phenolic content was especially pronounced in the bark extracts. Moreover, the results obtained indicated that extracts of the bark had higher total phenolic content (0.070 to 1.620 mg GAE/g CE) than extracts of the leaf (0.051 to 1.158 mg of GAE/g CE) from the same solvent. These results showed that ethyl acetate and methanol efficiently extracted the significantly bioactive metabolite substances and released most of the secondary metabolites from the bark. This may be due to the fact that phenolic compounds are extracted in higher amounts by using polar solvents like ethanol and methanol [15, 18-19]. Differences in the polarity of the extracting solvents could result in a wide variation in the polyphenolic contents of the extract [19-21]. A study by Hong et al reported that phenolic compounds, extracted as gallic acid from hydrolysable tannin in the bark of *R. apiculata*, showed excellent biological activity [9] and also constituents of the leaf of *R. apiculata* are useful in several fields [22]. Their activity may be supported by the composition of the leaf and bark extracts as reported in the literature [11].

3.1 Metal chelation assay

The purpose of this test was to determine the capacity of the bioactive compounds in the samples to bind to the ferrous ion, catalyzing oxidation. The evaluation of metal chelation is especially important for the analysis of antioxidant activity because iron in its ferrous ion form, or Fe^{2+} , is an essential catalyst in the catalyzed oxidation reaction, which generates several antioxidants, presented in the following equation:



where L is the ferrous-selective chromagenic ligand (1,10-phenanthroline). The obtained results are listed in Figure 2.

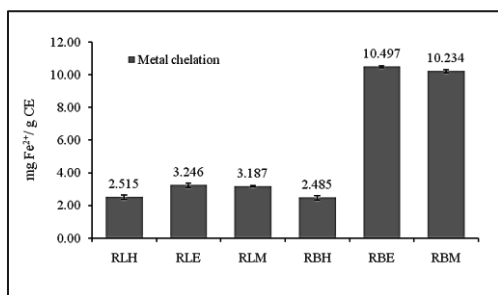


Figure 2. Metal chelating activity of leaf and bark *R. apiculata* extracts. RLH, RLE, RLM are leaf of *R. apiculata* extracted by hexane, ethyl acetate and methanol, respectively. RBH, RBE, RBM are bark of *R. apiculata* extracted by hexane, ethyl acetate and methanol, respectively

The antioxidant capacity of bark extracts significantly differed from that of leaf extracts. Moreover, the obtained results showed that ethyl acetate and methanol were more efficient solvents than hexane for the extraction of antioxidants. Therefore, it is possible that phenolic antioxidants are products of secondary metabolism in plants and they show not only free radical scavenging activity but also a metal chelation potential [23-24]. Our results showed that the bark extracts from ethyl acetate ($10.497 \pm 0.051 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{g CE}$) and methanol ($10.234 \pm 0.101 \text{ mg Fe}^{2+}/\text{g CE}$) were more effective at chelating iron than the other extracts. This corresponds to

the results for free radical scavenging activity and total phenolic content, all of which may be a consequence of the bioactive substances in this part of the plant.

3.2 Antioxidant activity of *R. apiculata* leaf and bark extracted in different solvents DPPH assay

In general, phenolic compounds are commonly found in plants and have long been considered as potential antioxidants and free radical scavengers [25-26] due to their redox properties, which allow them to act as reducing agents, hydrogen donors, and singlet oxygen quenchers. Naturally-occurring antioxidants may have the potential to prevent diseases and the oxidation of food and here we considered the antioxidant potential of *R. apiculata* extract [4-8]. The free radical scavenging capacity of the leaf and bark extracts was determined using the DPPH method. The reduction capacity of DPPH was determined by the decreased in its absorbance at 517 nm, which is reduced by antioxidants [4]. Figure 3(A) showed a significant decrease in the concentration of DPPH due to the scavenging ability of the extracts. As shown in Figure 3(B), the extracts showed the increasing in free radical scavenging activity when the concentrations were increased. The DPPH scavenging activity observed in ethyl acetate and methanol extracts of both leaf and bark were higher than in the hexane extracts from both parts. The results for the bark extracts showed the highest DPPH activity in ethyl acetate ($96.919 \pm 0.157\%$) and methanol ($95.271 \pm 0.108\%$) and were comparable to the standards, BHT ($93.910 \pm 0.117\%$). These DPPH scavenging activity results correlated with the results from total phenolic content ($r^2 = 0.999$).

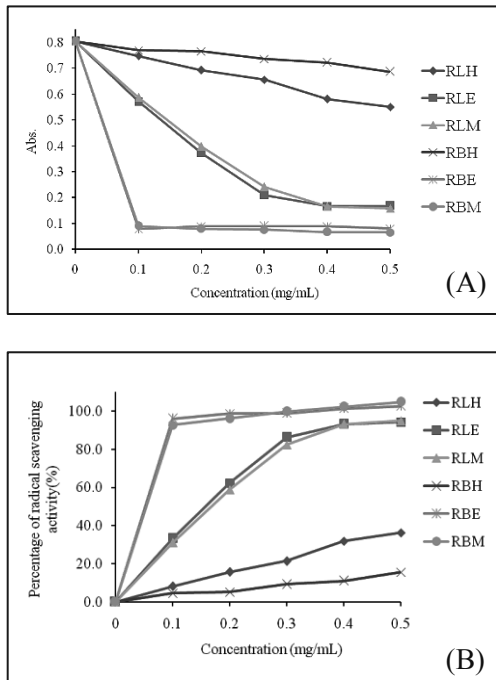


Figure 3. DPPH Free radical scavenging activity of leaf and bark *R. apiculata* extract(A); Percentage of free radical scavenging activity of leaf and bark *R. apiculata* extract (B). Values are the average of triplicate experiments and represented as mean $\pm$ standard deviation.

The quality of the antioxidants in the extracts was determined by the IC_{50} values shown in Table 1. The IC_{50} value was studied to compare the effective concentration of each sample at which DPPH radicals were scavenged by 50% from the linear regression analysis. A lower IC_{50} value indicates a greater antioxidant activity of the extract. In this study, the free radical scavenging antioxidant capacities (IC_{50}) of ethyl acetate and methanolic extracts from both parts of *R. apiculata* were greater than those of the two hexane extracts. In particular, the ethyl acetate and methanolic bark extracts presented great capacity to scavenge free radicals. In contrast, the free radical scavenging activities of the controls, BHT 10.13 ± 0.45

$\mu\text{g/mL}$, were higher than those of all the leaf extracts and also the bark extract from hexane. Interestingly, both the ethyl acetate ($6.31\pm0.23 \mu\text{g/mL}$) and methanolic ($6.80\pm0.19 \mu\text{g/mL}$) extracts from the bark had lower IC_{50} values than the BHT synthetic standards. The results indicate that the ethyl acetate and methanolic bark extracts were able to act as free radical inhibitors and primary antioxidants reacting with free radicals. We assume that the effectively prevented radical scavenging occurred from the phenolic compounds.

Table 1. IC_{50} of *R. apiculata* leaf and bark extracts by DPPH method

Parts	Solvents	DPPH radical scavenging activity
		$IC_{50} (\mu\text{g/mL})$
Leaf	Hexane	> 500
	Ethyl acetate	166.47 ± 7.70
	Methanol	147.33 ± 5.47
Bark	Hexane	> 500
	Ethyl acetate	6.31 ± 0.23
	Methanol	6.80 ± 0.19
BHT	-	10.13 ± 0.45

4. CONCLUSIONS

Leaves and bark of *R. apiculata* were extracted sequentially with hexane, ethyl acetate and methanol. The ethyl acetate and methanol were found to be good solvents for the extraction of phenolic compounds than hexane. Especially, the ethyl acetate and methanolic of bark extracts appeared a good source of polyphenols and possessed good antioxidant activity on DPPH radicals. Thus, *R. apiculata* bark may be source of natural antioxidants.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This research is supported by the Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang campus for

financial support. The authors acknowledge the Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC), Office of the Higher Education Commission, Ministry of Education. We would also like to thank Mr. Thomas Duncan Coyne for assistance with the English.

6. REFERENCES

- [1] Shelar PS, Reddy VKS, Shelar GS, et al. Medicinal value of mangroves and its antimicrobial properties-A review. *Continental J Fish Aqua Sci.* 2012; 6(1):26-37.
- [2] Vijayavel K, Anbuselvam C, Balasubramanian MP. Free radical scavenging activity of the marine mangrove *Rhizophora apiculata* bark extract with reference to naphthalene induced mitochondrial dysfunction. *Chem Biol Interact.* 2006; 163:170-5.
- [3] Shamsuddin AA, Najiah M, Suvik A, et al. Antibacterial properties of selected Mangrove plants against *Vibrio* species and Its cytotoxicity against *Artemiasalina*. *World Appl Sci J.* 2013; 25(2):333-40.
- [4] Loo AY, Jain K, Darah I. Antioxidant and radical scavenging activities of the pyroligneous acid from a mangrove plant, *Rhizophora apiculata*. *Food Chem.* 2007; 104:300-7.
- [5] Loo AY, Jain K, Darah I. Antioxidant activity of compounds isolated from the pyroligneous acid, *Rhizophora apiculata*. *Food Chem.* 2008; 107:1151-60.
- [6] Rahim AA, Rocca E, Steinmetz J, et al. Antioxidant activities of mangrove *Rhizophora apiculata* bark extracts. *Food Chem.* 2008; 107:200-7.
- [7] Gao M, Xiao H. Activity-guided isolation of antioxidant compounds from *Rhizophora apiculata*. *Molecules.* 2012; 17:10675-82.
- [8] Sulaiman S, Ibrahim D, Kassim J, et al. Antimicrobial and antioxidant activities of condensed tannin from *Rhizophora apiculata* barks. *J Chem Pharm Res.* 2011; 3(4):436-44.
- [9] Hong LS, Ibrahim D, Kassim J, et al. Gallic acid: An anticandidal compound in hydrolysable tannin extracted from the barks of *Rhizophora apiculata* Blume. *J Appl Pharm Sci.* 2011; 1(6):75-9.
- [10] Abeysinghe PD. Antibacterial activity of some medicinal mangroves against antibiotic resistant pathogenic bacteria. *Indian J Pharm Sci.* 2010; 72(2):167-72.
- [11] Ravikumar S, Gnanadesigan M, Suganthi P, et al. Antibacterial potential of chosen mangrove plants against isolated urinary tract infectious bacterial pathogens. *Int J Med Med Sci.* 2010; 2(3):94-9.
- [12] Nebula M, Harisankar HS, Chandramohanakumar N. Metabolites and bioactivity of *Rhizophoraceae* mangroves. *Nat Prod Bioprospect.* 2013; 3:207-32.
- [13] Szydłowska-Czerniak A, Dianoczki C, Recseg K, et al. Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. *Talanta.* 2008; 76:899-905.
- [14] Vittaya L, Chalad C, Khongsai S, et al. Phytochemical screening, total phenolic content, and antibacterial activity of *Derris trifoliata* extracts. *Thai J Bot.* 2014; 6:109-15.
- [15] Abed SA, Sirat MH, Taher M. Total phenolic, antioxidant, antimicrobial activities and toxicity study of *Gynotroches axillaris* Blume (*Rhizophoraceae*). *EXCLI J.* 2013; 12:404-12.
- [16] Miliauskas G, Venskutonis PR, Van Beek TA. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chem.* 2004; 85:231-37.

- [17] Seethalaxmi MS, Shubharani R, Nagananda GS, et al. Phytochemical analysis and free radical scavenging potential of *Baliospermum montanum* (Willd.) Muell. leaf. *Asian J Pharm Clin Res.* 2012; 5(2):135-7.
- [18] Sultana B, Anwar F, Przybylski R. Antioxidant activity of phenolic contents present in bark of barks of *Azadirachta indica*, *Terminalia arjuna*, *Acacia nilotica*, and *Eugenia jambolana* Lam trees. *Food Chem.* 2007; 104:1106-14.
- [19] Vittaya L, Khongsai S, Ui-eng J, et al. Phytochemical screening, phenolic content and free radical scavenging activity of *Baliospermum solanifolium* (Burm.) Suresh stem and leaf extracts. *Thai J Bot* 2017; 9(1):97-105.
- [20] Choi Y, Jeong J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem.* 2007; 103:130-8.
- [21] Shrestha S, Subaramaihha SR, Subbaiah SG, et al. Evaluation the antimicrobial activity of methanolic extract of *rush succedanea* leaf gall. *Bioimpacts.* 2013; 3(4):195-8.
- [22] Vittaya L, Chalad C. Effect of solvents on phytochemical analysis and antibacterial activity of leaf and bark extracts from *Rhizophora apicalata*. *RMUTSV Research J.* 2016; 8(1):31-8.
- [23] Eshwarppa RSB, Ramachandra YL, Subaramaihha SR, et al. Antioxidant activities of leaf gall extracts of *Terminalia chebula* (Gaertn.) Retz. (Combretaceae). *Acta Sci Pol Technol Aliment.* 2015; 14(2):97-105.
- [24] Rice-Evans CA, Miller NJ, Bolwell PG, et al. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoid. *Free Radic Res.* 1995; 22:375-83.
- [25] Nabeel AM, Kathiresan K, Chinthamani M, et al. Insulin-like antigen of mangrove leaves and its anti-diabetic activity in alloxan-induced diabetic rats. *Nat Prod Res.* 2012; 26:1161-6.
- [26] Mohamed AA, Khalil AA, El-Bettagi H. Antioxidant and antimicrobial properties of *Kaff maryam* (*Ahastatica hierochuntica*) and *doum palm* (*Hyphaene thebaica*). *Grassas y Aceites.* 2010; 61(1):67-75.

Screening and partial purification of antibacterial compounds from *Streptomyces* sp. strain RS2[†]

Nongyao Nonpanya¹, Nattadon Pannucharoenwong^{2*},
Supunee Pladsrichuay³, Kumpanat Chaiphet⁴

¹Department of Microbiology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Thailand.

³Department of Geography and History for Tourism, Faculty of Humanities and Social Sciences, Chandrakasem Rajabhat University, Thailand.

⁴Department of Mechanical Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Kalasin University, Thailand.

*Corresponding author Tel.: 0 3825 9050-55, E-mail: pnattado@engr.tu.ac.th

ABSTRACT

Streptomyces sp. RS2 was isolated from soil samples in Dong Pong village, KhonKaen province, Thailand. The active strain RS2 was identified as genus *Streptomyces*, and it was related to *S. gelaticus* NRRL B-2928T at 99.43% 16S rDNA similarity. It was screened for antifungal and antibacterial activities by dual culture and cross streak methods, respectively. The results showed that *Streptomyces* sp. RS2 exhibited anti-microbial activity against fungal and gram-positive and gram-negative bacteria. Therefore, it was cultured on ISP2 medium at 30°C for 7 days. After incubation, the culture medium was dried, and the mashed biomass was extracted with organic solvents as methanol (MeOH). The crude MeOH extract was purified by using a high performance liquid chromatography (HPLC) with diode-array detector (DAD). Additionally, the partial purified fractions were tested for antibacterial activity by agar well diffusion method. The results showed that 5 fractions showed antibacterial activity against *S. aureus* ATCC 25923, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and *Escherichia coli* ATCC 25922. The fraction number 3 and 4 exhibited the highest antibacterial activity, these fractions will be interested to purify and study in the function of the active compounds in the future.

Keywords: *Actinomycetes*, *Streptomyces* sp. RS2, Antimicrobial activity, *S. aureus*

1. INTRODUCTION

Actinomycetes are filamentous gram positive bacteria. They have a high guanine and cytosine (G+C) content in their DNA [1]. Generally, they are free living and commonly distributed in aquatic and terrestrial environment [2]. *Actinomycetes*, especially *Streptomyces*, have variety of applications in biodegradation, industrial, biotransformation, environmental, agricultural, and pharmaceutical fields [3]. Approximately 70% marketed antibiotics

are derived from the active compounds produced by genus *Streptomyces* such as *S. Aureofaciens* which is an important producer of chlortetracycline and tetracycline [4]. The majority interest in this genus is the ability to produce many important bioactive [5]. They have produced a wide range of clinically important antibiotics, including streptomycin, tetracycline, neomycin and erythromycin [6]. These compounds are used not only in the treatment of various

[†] 6th International Conference on Creative Technology
July 24-26, 2018

human and animal diseases but also in agriculture and biochemistry. Currently, gram-positive and gram-negative pathogens are the most important causes of infections in hospitals such as surgical site, bloodstream, urinary tract, pneumonia and skin infections. However, microbial natural products have been one of the most important sources of novel bioactive compounds. Many researches have focused on the broad-spectrum antibacterial and antifungal activity of the crude extracts and purified compounds from the genus *Streptomyces*. Additionally, this genus continues to play major role in the novel bioactive compounds production. Therefore, the objectives of this study were to screen, extract and partial purify antimicrobial agents of *Streptomyces* sp. isolated from soil samples.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 *Streptomyces* sp. RS2

Streptomyces sp. RS2 was isolated from soil sample, and it was classified as genus *Streptomyces* based on phenotypic, genotypic and phylogenetic analysis [7]. The strain RS2 was identified based on phenotypic characters such as morphological, cultural and biochemical characteristics was studied by following the methods of Mangamuri et al. [8]. PCR amplification of 16S rDNA gene was performed using 20F (5'-GAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') and 1500R (5'-GTTACCTTGTTACGACTT-3') as forward and reverse primers, respectively. Amplified DNA was purified and submitted to sequencing by National center for genetic engineering and biotechnology (BIOTEC). 16S rDNA sequence was analyzed using the BLASTN search tools and EzTaxon-e server. The phylogenetic tree was constructed by the neighbour-joining method by using the software package MEGA version 6.

2.2 Production and extraction of anti-microbial agent

Streptomyces sp. RS2 was cultured on ISP2 medium and incubated at 30°C for 7 days. After incubation, the culture medium was dried and the mashed biomass was extracted with methanol (3x1L, MeOH) [9]. Crude MeOH extract was evaporated to dryness by speed-vac™ concentrator (LaboGene) at Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand. The crude extract was stored at -20°C.

2.3 Partial purification of the crude MeOH extract by HPLC-DAD analysis

The crude extract was partial purified by using a high-performance liquid chromatography with diode-array detector (HPLC-DAD). The solution of sample (1 µl) was injected into the HPLC column (10 X 250 mm, filled with Nucleosil-100 C-18 (5 m). Separation was performed by a linear gradient using 0.1% ortho-phosphoric acid as solvent A and acetonitrile as solvent B. The gradient was used from 0 to 100% solvent B in 15 min at a flow rate of 2 ml/min. Multiple wavelength monitoring were performed at 210, 230, 260, 280, 310, 360, 435 and 500 nm, without reference wavelength. The UV visible spectrum was measured from 200 to 600 nm. The partial purified fractions were collected and screened for antimicrobial activity against reference bacteria as *S. aureus* ATCC 25923, *P. aeruginosa* ATCC 27853 and *E. coli* ATCC 25922 by agar well diffusion method [10].

2.4 Testing for antibacterial activity by agar well diffusion method

The partial purified fractions were tested for antibacterial activity by agar well diffusion method on Mueller hinton agar (MHA) [11, 12]. The reference bacteria as *S. aureus* ATCC 25923, *P. aeruginosa* ATCC 27853 and *E. coli* ATCC 25922 were inoculated into Mueller hinton broth (MHB) and incubated at 37°C, for 4-

6 h. The culture broth were adjusted the turbidity to equal the 0.5 McFarland standard, and then three dimensions swab were prepared on a MHA medium. After that, wells were prepared and cut out by a sterile cork-borer. The crude extracts and partial purified fractions (30 µg/well) were dissolved in 25% MeOH at final concentration. These solutions (20 µL) were loaded into each well and incubated at 37°C for 24 h [13]. The diameter of inhibition zone (mm) was reported after three repeats.

2.5 Scanning electron microscopy (SEM)

S. aureus ATCC 25923, *P. aeruginosa* ATCC 27853 and *E. coli* ATCC 25922 cells in exponential phase were treated with the active partial purified fractions (100 µg/well), incubated at 37°C for 2-8 h. Cells without the active fractions were used as controls. Bacterial cells were collected by centrifugation at 4°C, 5000 for 10 min, and washed gently with phosphate buffer saline (PBS, 0.1 M, pH 7.4). Subsequently, the tested cells were fixed in 2.5% glutaraldehyde solutions at 4°C for 2-3 h and dehydrated with gradient ethanol solutions (30, 50, 60, 70, 90 and two times with 100%). The cells were critical-point dried, mounted on stubs, sputter-coated with gold (gold-palladium, or platinum) and finally imaged using SEM (LEO 1450vp) at the Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Preliminary screening for antimicrobial activity

Streptomyces sp. RS2, an antimicrobial-producing bacterium, showed antifungal and antibacterial activity against 10 plant pathogenic fungi, 5 gram-positive and 4 gram-negative bacteria, respectively.

Interestingly, *Streptomyces* sp. RS2 exhibited antibacterial activity against 18 clinical strains of *Staphylococcus aureus* and Methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA). Therefore, this active isolate was selected for the further study [7]. The similar results were reported by Nguyen and Kim [14] that the *Streptomyces olivicoloratus* showed antimicrobial activities against *Bacillus subtilis*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *S. epidermidis*, *Paenibacillus larvae*, *E. coli*, *Candida albicans* and *Aspergillus niger*. Tamreihao et al. [15] reported that the *Streptomyces* sp. MBRL 10 exhibited antifungal activity against the tested fungal pathogens. The active strain MBRL 10 showed the highest activity against *Rhizoctonia solani*. Additionally, Euch et al. [16] reported that two bioactive compounds, namely 3-phenylpyrazin-2 (1H) -one (**1**) and 3-O-methylviridicatin (**2**), showed antibacterial activity against the tested human pathogenic bacteria as *S. aureus*, *L. monocytogenes* and *S. typhimurium*.

3.2 Identification of *Streptomyces* sp. RS2

The result of cultural characteristics illustrated range and optimum temperature and pH for growth were 25-40°C and 30°C; and 5-10 and 7, respectively. The range of NaCl concentration and optimum NaCl for growth were 1-8% and 1%, respectively. Based on 16S rDNA sequence and phylogenetic tree characterization, the isolate RS2 belongs to the genus *Streptomyces*. Isolate RS2 (1418 bp) showed 16S rDNA sequence similarity with *S. gelaticus* strain NRRL B-2928T (1483 bp, 99.51%), *S. sanglieri* strain NBRC 100784 (1481 bp, 99.44%) and *S. atratus* strain NRRL B-16927 (1487 bp, 99.37%). The phylogenetic tree determined by neighbor-joining method was presented in Figure 1. Based on the results of cultural, physiological, and biochemical characterization, the selected isolate was identified as genus *Streptomyces* and designated as *Streptomyces* sp. RS2.

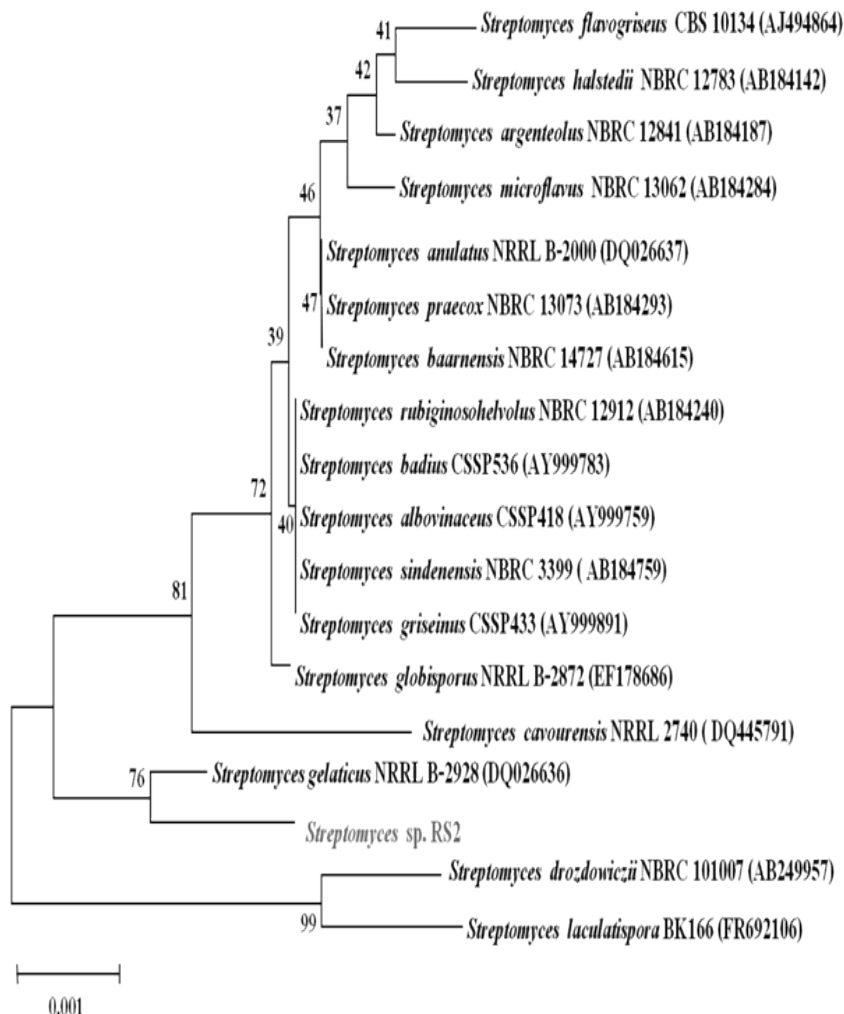


Figure. 1. Phylogenetic tree of the selected isolate RS2 based on 16S rDNA sequences using Neighbor-joining method. The numbers at the nodes indicate bootstrap support (%) based on NJ analysis of 1000 replicates. The scale bar indicates 0.001 substitutions per site (C).

3.3 Partial purification of the crude MeOH extracts and antibacterial activity

The HPLC-DAD chromatogram of the crude MeOH extract is shown in Figure. 2. All of the partial purified fractions were screened for antibacterial activity by agar well diffusion method. The results showed that the fraction number 1 (11.448 min), 2 (13.341 min), 3 (15.042 min), 4 (26.173 min) and 5 (26.462 min) exhibited antibacterial activity against *S. aureus* ATCC 25923,

P. aeruginosa ATCC 27853 and *E. coli* ATCC 25922 (Figure 3 and Table 1). As the fraction number 3 and 4 exhibited the highest antibacterial activity especially against *S. aureus* ATCC 25923 and many isolates of MRSA. Moreover, *S. aureus* particularly MRSA are one of the most important human pathogen in hospital. Hence, both of these fractions will be interested to purify for further study. The similar result was reported by Rajan and

Kannabiran [10] reported that the crude ethyl acetate extract of *Streptomyces* sp. VITBRK2 was purified by HPLC-DAD analysis. The purified compounds were identified as N-Acetyl-phenylalanine, 3-methyl-indole and amicoumacin antibiotic. These active compounds exhibited antibacterial activity against drug resistant Methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) and vancomycin resistant Enterococci (VRE).

3.4 Effect of the active purified fractions on the tested bacterial cells

The result showed that the tested bacterial cells were slightly changed and decreased after treatment with the active purified fractions as shown in Figure. 4. The results illustrated that the active purified fractions exhibited a broad spectrum of antibacterial activity against gram positive bacteria (*S. aureus* ATCC 25923) and gram negative bacteria (*P. aeruginosa* ATCC

27853 and *E. coli* ATCC 25922). The cell morphology of the tested bacteria without being incubated with the active fractions showed a complete and smooth surface; while after incubating with the active fractions, the cell morphology and the cell-shapes of the tested bacteria were damaged and completely destroyed. Therefore, these results suggested that the active fractions from the crude MeOH extract of *Streptomyces* sp. RS2 may act on the bacterial cells, resulting in the inhibition of the bacterial growth. Previously reported, He et al. [17] showed that a novel polysaccharide of *S. virginia* H03 exhibited broad spectrum antibacterial activities against *S. aureus*, *B. subtilis*, *Listeria mono-cytogenes*, *E. coli*, *Zygosaccharomyces bailii* and *C. utilis*. Based on SEM observation, the polysaccharide could be destroy and disrupt the tested cell.

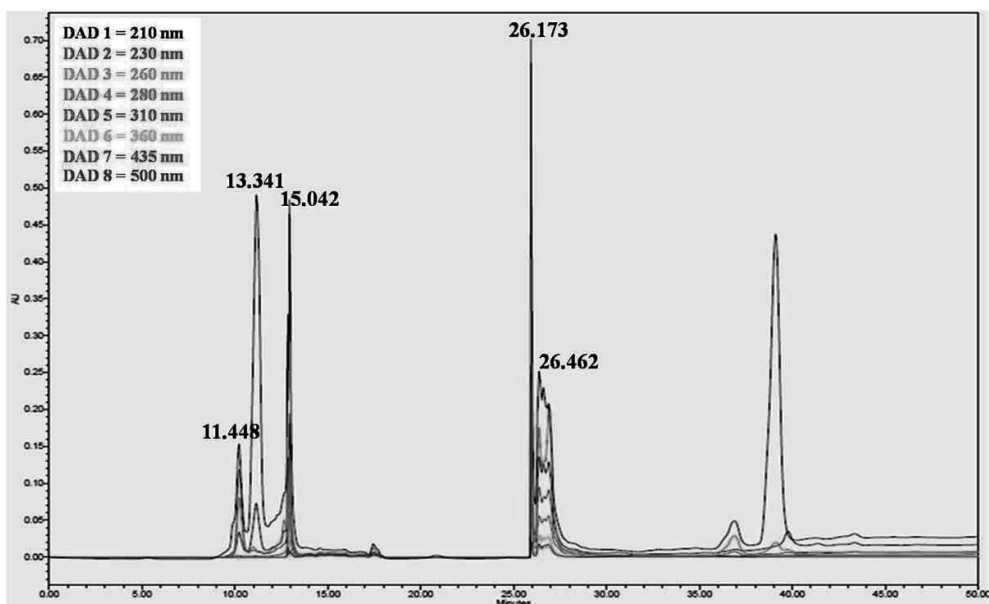


Figure. 2. The HPLC-DAD chromatogram of the crude MeOH extract from *Streptomyces* sp. strain RS2.

Table 1. Antibacterial activity of the partial purified fractions against *S. aureus* ATCC 25923, *P. aeruginosa* ATCC 27853 and *E. coli* ATCC 25922 on MHA medium by agar well diffusion method.

Control/ Partial purified fractions	Inhibition zone (mm)		
	<i>S.</i> <i>aureus</i> ATCC 25923	<i>P.</i> <i>aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>E. coli</i> ATCC 25922
C	NI	NI	NI
Frac. 1	11.21± 0.04	3.15± 0.35	NI
Frac. 2	12.02± 0.15	4.11± 0.21	2.05± 0.55
Frac. 3	22.51± 0.74	9.65± 0.55	5.14± 0.63
Frac. 4	21.02± 0.05	8.51± 0.34	4.35± 0.57
Frac. 5	15.53± 0.32	5.65± 0.25	3.01± 0.59

Values are means of three replicates ± standard deviation (SD), NI; no inhibition; C, control (25% MeOH); Frac. 1, fraction 1; Frac. 2, fraction 2; Frac. 3, fraction 3; Frac. 4, fraction 4 and Frac. 5, fraction 5

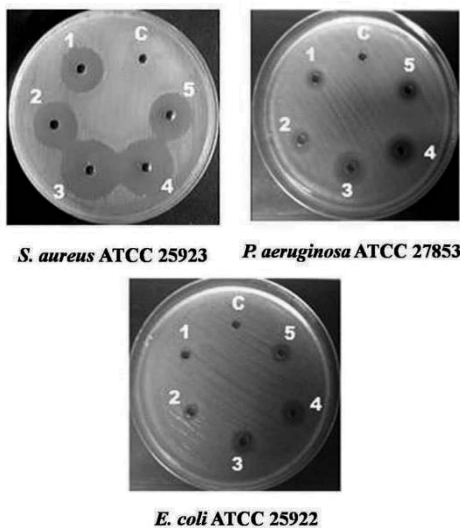


Fig. 3. Antibacterial activity of the active fractions from isolate RS2 against *S. aureus* ATCC 25923, *P. aeruginosa* ATCC 27853 and *E. coli* ATCC 25922

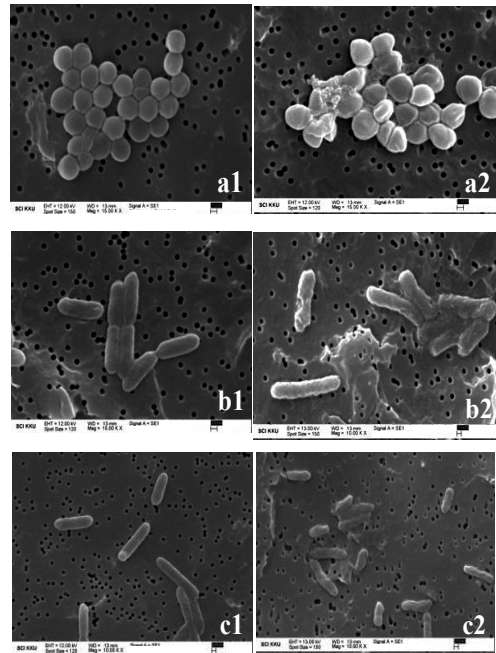


Fig. 4. SEM micrograph of pathogenic bacteria after treated with the active purified fractions. a1-a3: *S. aureus* ATCC 25923, b1-b3: *E. coli* ATCC 25922 and c1-c3: *P. aeruginosa* ATCC 27853, 1 bacterial cells without treating the active fraction; 2 treating with the active fractions

4. CONCLUSIONS

Streptomyces sp. RS2 is an antimicrobial-producing strain that exhibited the highest antifungal and antibacterial activity. Interestingly, five partial purified fractions exhibited antibacterial activity against *S. aureus* ATCC 25923, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and *Escherichia coli* ATCC 25922. The results of this study suggest that the active *Streptomyces* sp. RS2 is a potential strain capable of producing bioactive compounds and could be used these active compounds against drug and multi-drug resistant bacteria.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Human Resource Development in Science

Project (Science Achievement Scholarship of Thailand, SAST). Finally, the authors are thankful to the Department of Chemistry and Microbiology, Faculty of science, Khon Kaen University, for the supporting of facilities.

6. REFERENCES

- [1] Lo CW, Lai NS, Cheah HY, et al. Actinomycetes isolated from soil samples from the Crocker range Sabah. ASEAN Review of Biodiversity and Environmental Conservation (ARBEC). 2002; 9:1-7.
- [2] Sharma D, Mayilraj S, Manhas R. *Streptomyces amritsarensis* sp. nov., exhibiting broad-spectrum antimicrobial activity. Antonie van Leeuwenhoek. 2014; 105(5):943-9.
- [3] Jose PA, Jebakumar SRD. Phylogenetic diversity of actinomycetes cultured from coastal multipond solar saltern in Tuticorin, India. Aquat Biosystems. 2012; 8(23):1-9.
- [4] Yang SS, Ling MY. Tetracycline production with sweet potato residue by solid state fermentation. Int J Biotechnol Bioeng Res. 1989; 33(8):102-8.
- [5] Pandey A, Ali I, Butola KS, et al. Isolation and characterization of actinomycetes from soil and evaluation of antibacterial activities of actinomycetes against pathogens. Int J Appl Biol Pharmaceut Tech. 2011; 2(4):384-92.
- [6] Atta HM, El-Sayed AS, El-Desoukey MA, et al. Biochemical studies on the Natamycin antibiotic produced by *Streptomyces lydicus*: Fermentation, extraction and biological activities. J Saudi Chem Soc. 2015; 19(4):360-71.
- [7] Nonpanya N, Niamsanit S. Efficiency of *Streptomyces* sp. RS2 against various phyto-pathogenic fungi and human pathogenic bacteria 6th Annual International Conference on Advances in Biotechnology (BIOTECH 2016); 2016 Mar 28-29; Singapore. 2016. P. 19–23.
- [8] Mangamuri UK, Muvva V, Poda S, et al. Isolation, identification and molecular characterization of rare actinomycetes from mangrove ecosystem of Nizampatnam. Malaysian J Microbiol. 2012; 8(2):83-91.
- [9] Kumar V, Negi YK, Gusain O, et al. Screening of Actinomycetes from earthworm castings for their antimicrobial activity and industrial enzymes. Braz J Microbiol. 2012; 43(1):205-14.
- [10] Rajan BM, Kannabiran K. Extraction and identification of antibacterial secondary metabolites from marine *Streptomyces* sp. VITBRK2. Int J Mol Cell Med. 2014; 3(3):130-7.
- [11] Uchida R, Hanaki H, Matsui H, et al. In vitro and in vivo anti-MRSA activities of nosokomycins. Drug Discoveries and Therapeutics. 2014; 8(6):249-54.
- [12] Balouiri M, Sadiki M, Ibensouda SK. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. Res Rev J Pharmaceut Anal. 2016; 6(2):71-9.
- [13] Bizuye A, Moges F, Andualem B. Isolation and screening of antibiotic producing Actinomycetes from soils in Gondar town, North West Ethiopia. Asian Pac J Trop Disease. 2013; 3(5):375-81.
- [14] Nguyen TM, Kim J. *Streptomyces olivicoloratus* sp. nov., an antibiotic-producing bacterium isolated from soil. Int J Syst Evol Microbiol. 2015; 65:3262-70.
- [15] Tamreihao K, Nimaichand S, Chanu SB, et al. Acidotolerant *Streptomyces* sp. MBRL 10 from limestone quarry site showing antagonism against fungal pathogens and growth promotion in rice plants. J King Saud Univ Sci. 2018; 30(2):143-52.

- [16] Euch-El IZ, Frese M, Sewald N, et al. Bioactive secondary metabolites from new terrestrial *Streptomyces* sp TN82 strain: Isolation, structure elucidation and biological activity. *Med Chem Res.* 2018; 27(4):1085-92.
- [17] He F, Yang Y, Yang G, et al. Studies on antibacterial activity and antibacterial mechanism of a novel polysaccharide from *Streptomyces virginia* H03. *Food Contr.* 2010; 21(9):1257-62.

Knowledge and Understanding of Hazardous Waste by Community Participation of Khoksa-ad sub-district Administrative Organization, Khongchai district, Kalasin Province

Chompoo Nuasri^{1*}, Nukool Kudthalang¹, Cherdchai Sombatyotha¹,
Watchara Senajuk², Somsuk Trisupakitti³

¹Department of Environmental Science, ²Department of Biology, ³Department of Chemistry,
Rajabhat Maha Sarakham University, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 0 4371 2620, E-mail: chompooenvi@hotmail.com

ABSTRACT

The aims of this study were: (1) to examine the amount of heavy metals i.e. lead, mercury, copper, cadmium, manganese contaminated in soil in the area of junk shops in 12 villages of Khoksa-ad sub-district, Khongchai district, Kalasin province, and to assess the quality of groundwater and soil surface water, and measure pH and conductivity of soil and water samples. (2) to investigate hazardous waste disposal in the area of Khoksa-ad sub-district, Khongchai district, Kalasin province. The data were collected and employed the distribution of 329 copies of questionnaire the respondents.

The findings revealed that (1) the average amount of heavy substances i.e. lead and cadmium indicated the undetectable value in water quality. (2) majority of the respondents accounting for 223 people or 67.8% knew hazardous waste, 213 people or 64.7% realized the effect of hazardous waste, 246 people or 74.8% did not attend training on hazardous waste. The participation in hazardous waste management was at moderate level ($\bar{x} = 3.29$). The people expressed their suggestions on that that sub-district administrative organization should provide waste bin and collecting truck in the area. They also would like the authority to handle hazardous wastes separation and disposal appropriately.

Keywords: Knowledge and understanding, Hazardous waste, Community participation, Khongchai district

1. INTRODUCTION

Electronic waste or E-waste refers to waste from electrical and electronic equipments (WEEE) such as unwanted, obsolete, or expired electronics appliances. Electronic waste is classified as hazardous waste due to the fact that the parts of electronic device contain heavy metals. If these parts are disposed inappropriately and leaked into the environment, it will harm people's health in the area and its ecosystems in both short and long

terms. This is because toxic chemicals contamination exists in the ecosystems for a long time and accumulates in the organism. Therefore, the electronic waste management is crucial in that it must be technically and systematically handled [1]. The pollution control department reported that, in 2013, the number of used mobile phones were at 9.14 million units. This had reached to 9.75 million units in 2014, and up to 10 million in 2015. The number of personal computers (PCs), in 2013,

were only at 1.99 units. This was increased to 2.21 million in 2014, and 2.42 million units in 2015. Also, The average life-span of mobile phone is 3 years. The Cathode Ray Tubes-TV is 6.9 years, and flat screen TV is 3.8 years, while computer is 3.65 years [2].

At present, the number of electronic waste recycling plants in Thailand with proper process of sorting and grinding electronic components are limited and insufficient to the fast growing quantity of electrical and electronic products remains. In addition, smuggling of electronic remains from foreign countries into Thailand has been increasingly detected. These e-wastes are transported to the villages for the villagers to separate, disassemble, and sell metal components while the remnants of electronic wastes are destroyed by burning or landfill. This improper burning and destruction of electronic waste inevitably causes harmful problems to environment, community, health and safety of people in this career. The department of disease control, ministry of public health reported the risks of heavy metal No.13 accumulated in the body of many villagers. The heavy metal contamination in the community waters was also detected. In addition, the local administrative organization reported that the results of random blood test of villagers who dealt with waste separation work showed the contamination of lead in their blood nearly everyone. Some were exceeding the standard value especially in children aged 1-5 years. Therefore, this problem of inappropriate electronic waste management is a crucial issue that should not be overlooked for the community waste management in Thailand [1].

E-waste management is currently lacking comprehensive management systems covering collection, separation or disassembly, transportation, recycling and disposal, and reclamation of products from manufacturers and suppliers was merely

observed in Thailand. These e-wastes, therefore, become huge burden for local administrative organizations that have no standard disposal facilities and proper management systems. The electronic waste is normally disposed together with common waste, and sold to Sa Leng vendors or junk shops. There is also the smuggling of electronic waste or electrical appliances and inoperable second-hand electronic products from overseas into Thailand. They are improperly handled or recycled by sending these e-wastes to the villages for waste separation in the community. The villagers then disassembled the parts for metal pieces to be sold. The remaining parts will be destroyed by burning or improper landfill in illegal places. Some types of products, such as light bulbs and batteries, do not have a recycling market, or they come with the fee for recycling. So, nearly all of these product remains were dumped with regular waste making it the risk that dangerous substances and heavy metals in the product remains will leak and contaminate the environment. The ecosystem and food chain are contaminated and causing problems to environment, community and health. For example, burning wires to get lead and copper for sell causes some plastic and metal vapors which is one of the causes of cancer [3]. Burning the circuit board to melt lead and copper causes the toxic vapors to spread into the air, accumulate in soil and water. The use of acid in metal extraction from circuit boards without proper wastewater treatment leads to contamination of sewage into the soil and water. Dismantling/disassembly refrigeration and air conditioning without refrigerant retrieval device leaks refrigerant into the atmosphere and destroys the ozone layer [4]. Therefore, contamination of electronic waste is starting from e-waste producers to e-waste recipients. And finally, this risks the health and well-being of people and environment.

The e-waste separation in the community plays crucial roles in e-waste disposal. The researchers, therefore, pay interests in knowledge and understanding of hazardous waste disposal by using the participation of communities under jurisdiction of Khoksa-ad sub-district local administrative organization. The research site covers villages in Khoksa-ad sub-district, Khongchai district, Kalasin province.

1.2 Rerearch site

The environmental problems resolution committee of Khoksa-ad sub-district administrative organization stated that Khoksa-ad sub-district was formerly a part of Nong Paen sub-district under administration of Kamalasai district. It was separated from Nong Paen sub-district since 1958 to the present. Khoksa-ad under administration of Khong Chai district, Kalasin province and the administration covers totally 12 villages.

The Khoksa-ad sub-district administrative organization was established on February 3, 1997 under the tambon council and sub district administrative organization act B.E. 2537 (1994). The administration area covers 35 square kilometers or about 21,893 rai. The total population was 7,561 people in 1,543 households. The average income is 90,000 baht/household/year. Khoksa-ad Sub-district context is rural society. Therefore, the people's main occupation is agriculture that accounts for 95% while the rest is trading and businesses. Most of the area is fertile plain with many irrigation canal systems flowing through making the area perfect for rice farming and crops cultivation in dry season. There are abundant sources of water for making a living. After cultivation season, the villagers normally cultivate other farming activities or other career choices for extra

income throughout the year, that is, the popular junk trade. This is due to the trends of world economy and capitalist economy have dominated and penetrated into every sector worldwide whether it be industrial capital, modern technology, civilization, and values from abroad. These evolutions affect tremendous changes on economic and social conditions on the increase of value such as land, properties, animals, animals, economy, agricultural products, and career choices. The transportation has become more convenient where the asphalt road began to link villages and sub-district center in 1997 and the Songthaew bus runs from villages to the city in 2003. Also, the electricity, water, concrete roads in every village in 2003. This development is the results of decentralization under local administration act B.E. 2537 (1994) when local administrators are directly elected as representatives in the administration of local organization.

Khoksa-ad sub-district is located in the west of Khong Chai district and covers the area of 35 sq. km. The geographical settings is rich and fertile plain located in Lam Pao irrigation area and the water pumping with electricity from the Chi River project. The North is adjacent to Non Sila sub-district, Khong Chai Pattana sub-district in the south, Nong Paen and Khong Chai Pattana in the east, Kantharawichai district, Mahasarakham province in the West.

1.3 Difficulties for waste entrepreneur the area

The environmental problems resolution committee of sub-district administrative office stated that the junk trading of villagers in Khoksa-ad sub-district started 13 years ago with only a few traders. The operation of the pioneering group was successfully and able to generate a lot of income.

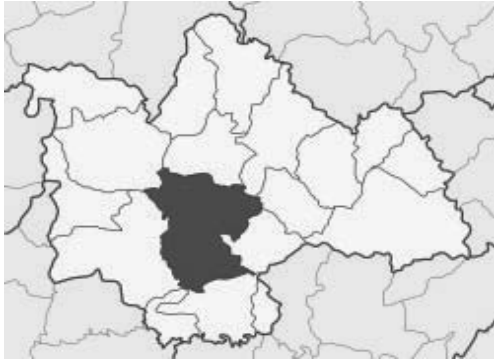


Figure 1 Khoksa-ad sub-district, Khongchai district, Kalasin province

This has become the successful model that villagers in Khoksa-ad sub-district could perceive and decided to engage in the junk trade. Then, the junk trade business in Khoksa-ad sub-district was expanded and the number of junk traders were also increased as well as the amount of junk items with diverse kinds of junk. Also, the area of junk trading was expanded from the local area to nationwide. The survey in April-May 2008 indicated that there were 228 villagers engaged in junk trading. Junk items were also brought into the area around 767 tons each month. The list of junk goods brought into the community included old cars, motorcycles, refrigerators, televisions, fans, audio players, electrical cords and parts, etc. at the volume of 274 tons per month. Also, other junk materials brought into the community were steel, copper and aluminium at the volume of 492 tons per month. After villagers bought these junk goods, they will disassemble junk into pieces and sell out the pieces separately. However, there were items unable to sell totally around 20 tons per month. Junk trade in Khoksa-ad sub-district caused the following problems.

1.3.1 Environment; The operation of junk trade which involved activities such as collection and disassembling of junk items at residential area usually caused environmental problems as follows.

1.3.1.1 Contamination of toxins in soil and water because, after disassembling, the old junk items will be poured into the soil. For example, disassembling the engine will leak a lot of engine oil flowing into the area. These oils can penetrate into the soil and the groundwater. Or, in case of dissecting the car battery will be pouring acidic soil. The acid can be spread in the soil and into the groundwater as well. Dumping the waste all over the area causes toxins to contaminate soil and water. For example, trashing television glass screen leaves mercury spread to soil and water. In addition, contamination in soil and water can also occur from burning materials. The toxins in the debris are mixed in the remaining ash and accumulated in the soil.

1.3.1.2 Contamination of pollutants in the air. Villagers in the old days used to burn junk items to separate valuable materials such as burning copper wire, burning plastic parts to remove the nuts and bolts, burning tires to remove the wire, etc. Burning these old parts resulted in smoke and toxic odors that can spread far and wide as the blowing wind. Toxins evolved by burning old outdoor scraps may include sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxide, volatile organic compounds, heavy metals and dioxins which is the most serious carcinogen. Dioxins are produced by burning plastic materials at low temperature. Contamination in the air abstains the villagers from drinking rainwater from the roof.



Figure 2 Junk yard entrepreneurs in Khoksa-ad sub-district

1.3.2 Health; Junk shop owners and neighbors are in risks in taking dangerous substances into their body. The junk shop owners have to separate valuable materials from the toxic junk items by using unsafe methods so they are in high risks of taking toxic substances into their body by

breathing toxic dust, fumes or vapors of toxins, or skin contact, or ingesting without knowing. Separation of junk materials using bare hands, and later consume food without washing the hands. Toxic exposure like this may cause immediate illness such as rash, burning eyes and nose and may accumulate and appear later. The neighbors who live nearby junk shop areas that contain harmful substances may be affected by the toxins. However, the chances of getting toxins are less than those who deal with disassembling the junk items. For example, burning of waste dumping area of the sub-district administrative organization causes huge troubles of smoke and smell spread to the people in Nong Tok Paen sub-district located in the south of the wind direction. This situation leads to filing the complaints about this problem with Khoksa-ad sub-district administrative organization several times which damage good relationship between the two villagers.

Outpatient reports by symptoms group (21 Disease groups) of Khok Prasit Village (Moo 12) and Nong Bua Village (Moo 3) under Khoksa-ad sub-district, Khong Chai district, Kalasin province indicated that the group of diseases that are expected to be caused by junk items separation activities of the villagers is respiratory disease (Group 10) and skin and subcutaneous diseases (Group 12). From 2004 to 2007, it was found that respiratory disease, in 2004, the highest number of patients in Khok Prasit village was 1,310 and, from 2005 to 2007, the number of patients decreased from 2004 to 1,252; 1,001; and 1,253 respectively while the number of patients in Nong Bua village was uncertain as the number was increase and decrease alternating each year. The year with the highest number of patients was 1,272 in 2005. The lowest number of patients was 721 in 2006 for skin and subcutaneous tissue. Nevertheless,

Khok Prasit villagers were more likely to suffer from skin and subcutaneous diseases. The highest number of patients was 210 cases in 2007 and the lowest number of patients was 103 in 2005 while the number of patients suffering from skin and subcutaneous diseases in Nong Bua village was uncertain as the number was up and down alternately. The highest number of patients was 153 in 2007 and the lowest was 77 in 2006.



Figure 3 Waste Dumping Area of Khoksa-ad Sub-district Administrative Organization

2. METHODOLOGY

The researcher employed the area-based study and community way of life in the village. The study was divided into two parts: environmental research and social research. The environmental research focused on contamination of heavy metals in soil and water. The soil

and water samples collected were analyzed for heavy metals concentration and the soil and water quality standards according to announcement of national environment committee No. 25 (2004) and No. 8 (1994) [5-6] for suitability of soil and water in the community. The social research aimed at exploring community way of life regarding management of hazardous waste, and started with area survey, questionnaire distribution, survey on economic, social and environmental background of the community to collect data of all households that purchased and disposed junk items and hazardous waste. The qualitative data was collected by interview, and the data was analyzed for the overview situation of the community and problems. The results of social and environmental surveys were presented to the community by organizing discussion forum for the community to seek solutions to fix the problems.

This study aimed to investigate the contamination of heavy metals from the junk trading and the use of junk items in daily life of people in Khoksa-ad sub-district, Khong Chai district, Kalasin province, and to examine hazardous waste management in Khoksa-ad sub-district, Kalaya district, Kalasin province. A total of 12 villages were involved in the study for collecting soil samples in waste landfill and surrounding areas in the villages covering 17 spots involving junk trading activities. The soil samples were tested for pH, conductivity, and contamination of 5 heavy metals types including lead, mercury, copper, cadmium and manganese.

The groundwater, surface water, shallow water samples were collected in each village and these water samples were also collected at the spot near the area of waste dumping altogether 13 spots. The water samples were analyzed for pH,

conductivity, and contamination of 5 heavy metals including lead, mercury, copper, cadmium and manganese.

This study drew the participation in hazardous waste management in Khoksa-ad Sub-district, Khong Chai District, Kalasin Province that included the total population of 1,829 households. The sample size was determined using Taro Yamane formula (1967) [7].

The research instrument was questionnaire which was sectioned into 2 parts. Part 1 identified general information of the respondents covering 7 checklist questions about gender, age, education, occupation, income, domicile, length of stay in community; and 5 questions about the junk trade career, income from the sale of junk, knowledge about hazardous waste, impact, and training on hazardous waste. Part 2 identified the participation in hazardous waste management. This part was a rating scale format that is, 4.51-5.00, means the highest level, 3.51-4.50 means the high level, 2.51-3.50 means the moderate level, 1.51-2.50 means the low level, and 1.00-1.50 means the lowest level.

The collected data was analyzed, recorded, categorized into a coding form, and then statistically analyzed using a computer program.

3. CONCLUSIONS AND DISCUSSION

3.1 Soil quality; The waste disposal areas and areas involved junk trading activities in the villages of Khoksa-ad sub-district, Khong Chai district, Kalasin province were examined. The average examination results showed pH value at 7.42, conductivity (EC) at 138.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lead (Pb) at 87.14 mg/kg, mercury (Hg)

at 0.10 mg/kg, copper (Cu) at 160.82 mg/kg, cadmium (Cd) at 1.67 mg/kg, and manganese (Mn) at 232.28 mg/kg as shown in Table 1.

The 4 types of heavy metals including lead, mercury, copper, cadmium and manganese do not exceed the quality standards for agricultural and residential use. It does not exceed the soil quality standards used for any purpose other than housing and agriculture. According to Kewalee Natomtong [8] in her study on hazardous waste management with the participation of junk traders in Kalasin, it was found that, after the training on knowledge about hazardous waste management, junk dealers improved and developed the areas used in waste separation and disassembly for ease of storage and transportation for sale. In addition, junk entrepreneurs were more aware of safety in their business operation. This study showed that proper waste management practice tended to decrease in the chance of heavy metal contamination over time.

3.2 Water quality; Water quality in Khoksa-ad sub-district, Khong Chai district, Kalasin province was examined by testing samples of groundwater, surface water, and shallow water samples from 13 spots. The average examination results showed pH value at 6.79, conductivity at 2,001 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lead, cadmium and mercury not detected, copper at 0.023 mg/L and manganese at 0.487 mg/L as shown in Table 2. The water quality showed sub-standard pH in some spots according to the 6.5-8.5 benchmark prescribed by the pollution control department control. However, there were 5 points that pH was in the range of 5.83-6.29.

Table 1. Soil quality in Khoksa-ad sub-district Khong Chai district, Kalasin province

Area	Location	pH	EC μS/cm	Pb mg/kg	Hg mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Mn mg/kg
Soil standard for living *				400	23		37	1,800
1	Waste landfill No.1	8.45	212.00	720.4	0.04	999.75	2.39	629.08
2	Waste landfill No.2	7.59	301.00	160.2	0.04	405.83	0.95	65.44
3	North of waste landfill	5.69	29.30	ND	0.03	5.08	ND	233.42
Soil standard for living *				400	23		37	1,800
4	East of waste landfill	5.53	40.80	9.01	0.04	33.57	ND	47.31
5	South of waste landfill	6.01	106.50	33.01	0.04	96.25	ND	19.32
6	West of waste landfill	6.00	18.52	ND	0.13	4.49	ND	25.58
7	Ban Non Chai M.1	7.70	286.00	24.27	0.05	80.04	ND	332.47
8	Ban Sa-ad M.2	7.89	45.30	6.99	0.06	3.89	ND	49.00
9	Ban Nong Bua M.3	8.64	64.90	3.80	0.24	14.25	ND	121.00
10	Ban Nong Mek M.4	7.62	245.00	4.80	0.15	3.30	ND	55.46
11	Ban Khok Prasit M.5	7.50	321.00	10.07	0.03	54.89	ND	58.33
12	Ban Don Kha M.6	7.82	123.70	48.45	0.17	547.28	ND	798.27
13	Ban Noi M.7	8.10	98.30	21.10	0.50	205.76	ND	189.21
14	Ban Nong Ma To M.8	8.46	103.40	85.67	0.05	207.85	ND	737.55
15	Ban Khok Prasit M.10	7.42	38.10	5.03	0.05	34.84	ND	301.61
16	Ban Nong Bua M.11	8.74	305.00	ND	0.03	29.21	ND	207.30
17	Ban Khok Prasit M.12	6.92	22.50	ND	0.05	7.73	ND	78.37
Average		7.42	138.90	87.14	0.10	160.82	1.67	232.28

Remark: ND = Not Detected

* The standards index according to National Environment Committee No.25 (2004)

In this regard, the pH of the water may be due to water soluble substance and heavy metals including copper, cadmium, and lead were in line with the standard benchmark. The manganese content, it was found that Ban Khok Prasit, Ban Nong Bua, Ban Nong Mek, and areas adjacent to waste landfill showed the manganese content at 0.238-2.278 mg/L which were exceeding

the standards of not more than 0.1 mg/L. The spot where the highest pH value was detected was Ban Khok Prasit and the area next to waste landfill. This meant that junk trading activities of many households in this area may perform inappropriate hazardous waste storage and disposal i.e. burning and outdoor storage which may cause heavy metals to dissolve into water sources.

Table 2. Water quality in Khoksa-ad sub-district, Khong Chai district, Kalasin province

Area	Location	Type	pH	EC μS/cm	Pb mg/L	Hg mg/L	Cu mg/L	Cd mg/L	Mn mg/L
Water standard for living *					0.1	0.005	2.0	0.03	0.5
1	Ban Non Chai M.1	groundwater	6.71	2,190	ND	ND	0.119	ND	0.613
2	Ban Sa-ad M.2	groundwater	6.03	858	ND	ND	0.051	ND	0.053
3	Ban Nong Bua M.3	groundwater	6.56	2,460	ND	ND	0.029	ND	0.134
4	Ban Nong Mek M.4	groundwater	7.39	2,810	ND	ND	0.014	ND	0.043
5	Ban Khok Prasit M.5	groundwater	5.97	1,161	ND	ND	0.005	ND	0.251
6	Ban Don Kha M.6	groundwater	5.83	261	ND	ND	0.010	ND	0.060
7	Ban Noi M.7	groundwater	6.29	691	ND	ND	ND	ND	0.247
8	Ban Khok Prasit M.10	groundwater	7.30	7,790	ND	ND	0.001	ND	0.041
9	Ban Nong Bua M.11	groundwater	5.96	3,760	ND	ND	0.001	ND	0.455
10	Ban Khok Prasit M.12	shallow water	7.78	1,506	ND	ND	0.003	ND	2.278
11	Ban Nong Bua M.3	surface water	7.02	509	ND	ND	0.002	ND	0.238
12	Ban Nong Mek M.4	surface water	7.20	413	ND	ND	0.001	ND	0.272
13	Waste landfill	surface water	8.17	1,600	ND	ND	0.038	ND	1.647
Average			6.79	2,001	ND	ND	0.023	ND	0.487

Remark: ND = Not Detected

* The standards index according to National Environment Committee No.8 (1994)

4. PARTICIPATION IN TOXIC WASTE DISPOSAL

The study on the participation in hazardous waste management of people in Khoksa-ad sub-district, Khong Chai district, Kalasin province deployed questionnaire to 329 households. The results showed that 68.7 % of the respondents were female, 28.6 % were older than 60 years old, and 51.1 % had primary education, 52.0 % worked on

agriculture, 47.4 % held average monthly household income lower than 5000 Baht, 87.2 % held domicile in the district under survey, 24.6 % lived in the community for more than 61 years, 13.7 % performed junk trading career, 86.3 % did not perform junk trading career, 67.8% held income range 1,00-20,000 Baht/month, 64.7% knew the impact of hazardous waste, 74.8% had no training on hazardous waste management, and the respondents

showed moderate level of participation in hazardous waste management ($X = 3.29$).

It was found that most of the people know about hazardous waste and the effects of hazardous waste. However, most people have never been trained in hazardous waste management. As a result, the level of participation in hazardous waste management was moderate. The people, therefore, presented the proposal to sub-district administrative organization for allocating garbage bin and garbage truck to handle hazardous waste and general waste. It was found that most of the people know about hazardous waste and the effects of hazardous waste. However, most people have never been trained in hazardous waste management. As a result, the level of participation in hazardous waste management was moderate. The people, therefore, presented the proposal to sub-district administrative organization for allocating garbage bin and garbage truck to handle hazardous waste and general waste.

This is consistent with the study of Angwara Sornsil [9] in her study on the factors related to women's roles hazardous waste management in the household. The results indicated that majority of the samples held moderate roles in household waste management. The factors related to the role of women in household hazardous waste management were experiences involving with hazardous waste, information perception about hazardous waste, knowledge of household hazardous waste management, and awareness of environmental issues. And, there should reset the system on appropriate waste separation such as provide sufficient hazardous trash bin and at the location not too far away for convenience in disposal. In addition, it should promote and stimulate women and household members to participate in hazardous waste management and conservation of natural resources. The

campaign may be organized in the form of regular and continuing activities. In addition, the study by Kewalee Natomtong [8] found that junk traders showed high level of knowledge in hazardous waste management and awareness about hazardous waste management, but they received support for hazardous waste management at low level. After the training about hazardous waste management, they showed improvement and development of the areas used for junk items separation and disassembly. Therefore, their waste separation and management were improved making it more convenient in storage and transportation for sale. In addition, junk entrepreneurs are more alarming on the safety in their own business operation.

5. RECOMMENDATIONS

The use of electronic waste to recycle or electronic waste recycling technology, in overall, conform to steps and processes. That is, separation process, disassemble electrical appliances or electronic devices in order to get metal, plastic, glass and electrical circuits. The other processes cover smelting and smashing the devices to smaller the parts or cut into small pieces. Then, grinding into power to separate precious metals from the trash for recycle. The recycling process of electronic waste must perform appropriate pollution control system including the use of dust collectors, acid trapping system, and contaminated wastewater treatment system so that the quality of wastewater is consistent with the effluent quality standards as prescribed by the law before being released out from the factory [10]. Currently, the problem of electronic waste in Thailand and worldwide is more serious regarding to quantity of the waste. Management of electronics products and appliances should raise awareness on product selection process, people's behavior in waste disposal, collection, separation, transportation, recycling, treatment, and

disposal. This situation awakens the government and related agencies to work together to develop integrated approaches to determine the policy implementation to ensure consistency and concreteness of the government's effort. The main unit in charge of electronic waste management is department of pollution control, ministry of natural resources and environment. The department of industrial works, ministry of industry is responsible for the management of electronic waste evolved from the activities of industrial plants. Moreover, industrial parks and other agencies are supportive agencies that include department of health, ministry of public health, ministry of science and technology, department of customs, ministry of finance, electrical and electronics institute [11].

6. REFERENCE

- [1] Electronic waste problem another hot topic of waste management in Thai society [Internet]. Bangkok; 2014 [cited 2015 Jul 30]. Available from: <http://www.energysavingmedia.com/news/page.php?a=10&n=109&cno=6273>
- [2] Law “electronic waste” new Thais are ready? [Internet]. Bangkok: Naewna; 2014 [cited 2014 Nov 27]. Available from: <http://www.naewna.com/scoop/132764>
- [3] Waste electronic disposal environmental impact [Internet]. Khonkaen: ;Khonkaen Science Centre for Education; 2013. [cited 2013 Oct 10]. Available from: <http://www.kksci.com>
- [4] Wasnadumrongdee s, Manomaiwiboon p. Knowledgebase “Electronic waste management (E-waste)” [Internet]. Bangkok: HSM; 2015. [cited 2018 Jan]. Available from: http://www.hsm.chula.ac.th/research/paper/e-wate_management/e-wate_management2.pdf
- [5] The standards index according to National Environment Committee No.25 (2004) as determining soil quality standards, Government Gazette No.127(119) (2004 Oct 20).
- [6] The standards index according to National Environment Committee No.8 (1994) as determine water quality standards in surface water, Government Gazette No.111(16) (February 24, 1994)..
- [7] Yamane T. Statistics, An Introductory Analysis, 2nd Ed., New York: Harper and Row; 1967.
- [8] Natomtong K. Development model for hazardous waste management by the participation of the recycle waste buyer in Kalasin province. [Master's thesis]. Khonkaen: Khon Kaen University; 2013.
- [9] Sornsil A. Women's role in household hazardous waste management: case study: Nongkhaem district of bangkok. [disertation]. Bangkok: Mahidol University; 2005.
- [10] Jamcharean P. Electronic wastewaste that comes with technology [Internet]. Bangkok; 2013. [cited 2014 Feb 12]. Available from: <https://sites.google.com/site/krubitoey/article/khyaxilekthrxnikskhxngeiythimaphrxmkabthekhnologyi>
- [11] Tangpaitoon S. Electronic waste management in Thailand. [Internet]. Bangkok; 2012. [cited 2012 Mar 29]. Available from: http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=16560

การศึกษาการขจัดคราบเลือดโดยใช้ผักโขม

The Study of Blood Stain Removal by using Spinach

นลินอร นุ้ยพลอด¹

Nalin-on Nuiplot¹

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ งานวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

¹ Science Program in General Education, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage,
Thailand

Corresponding author. Tel.: 0 2909 3020, E-mail: nalin-on@vru.ac.th

บทคัดย่อ

ความสะอาดเป็นสุขอนามัยพื้นฐานสำหรับมนุษย์ ปัจจุบันมีการคิดค้นสารเคมีเพื่อความสะดวกในการทำ ความสะอาดมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปมักพบปัญหาความสะอาดเกี่ยวกับคราบเปื้อนฝังแน่นบนเสื้อผ้า โดยคราบเปื้อน ที่พบบ่อยและขจัดได้ยาก คือ คราบเปื้อนของเลือด และน้ำยาขจัดคราบเลือดส่วนมาก ก็มีส่วนประกอบหลักคือ สารเคมี ที่อาจก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวได้ ดังนั้น น้ำยาขจัดคราบเลือดที่มีส่วนประกอบจากธรรมชาติ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ผู้วิจัยจึงนำสารสกัดจากผักโขม และผักโขมฝรั่งหรือปวยเล้ง มาทดลองเป็นน้ำยาขจัด คราบเลือด เนื่องจากในผักโขมมีสารออกซาเลตในปริมาณมาก ซึ่งสารออกซาเลตจะสามารถจับกับธาตุโลหะจน ตกตะกอน ช่วยให้คราบเลือดที่ฝังแน่นถูกกำจัดได้ง่ายขึ้น โดยทดลองกับ 2 กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มแรกใช้น้ำสกัด จากผักโขมสด กลุ่มที่ 2 ใช้น้ำสกัดจากผักโขมต้ม โดยอัตราส่วนของผักโขม : น้ำเปล่า เท่ากับ 1 กก. : 600 มล. ใน แต่ละกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งกลุ่มควบคุม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของน้ำสกัดผักโขม โดย ทดสอบการขจัดคราบเลือดหมู 100 มล. ที่ทาลงบนผ้าขาวบาง และทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน ผลการทดลองพบว่า สารสกัดจากผักโขมจากทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่าง สามารถขจัดคราบเลือดได้สะอาดกว่าการใช้น้ำเปล่า

คำสำคัญ : คราบเลือด ผักโขม ปวยเล้ง น้ำยาขจัดคราบจากสารสกัดธรรมชาติ

ABSTRACT

Cleanliness is a basic health necessity for human. Nowadays, the common problem of cleanliness is the deeply stains on clothing. The stain of blood is usually found and difficult to remove. Moreover, most of remover mainly comprised of the chemical ingredients which may cause skin irritation. Therefore, natural remedy is a good alternative. In this research, the extracted spinach and amaranth were used as a blood stain remover. According to

Received 27-08-2018
Revised 21-12-2018
Accepted 11-01-2019

the oxalate composition can precipitate with metal (Ferrous in blood). Then the blood stain can be easily removed. There were 2 sample groups; first, the extract from fresh spinach and second, the extract from boiled spinach. The ratio of spinach and water is 1 kg : 600 mL. The sample was done for 3 replicated to test the efficiency of spinach extract. It was found that 100 mL dried blood stain could be removed more in both sample groups comparing with using water.

Keywords: Blood stain, Amaranth, Spinach, Natural blood stain remover

1. บทนำ

ความสะอาดเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับมนุษย์ ยิ่งสังคมมีความเจริญมากขึ้นเพียงใด มนุษย์ก็พัฒนาความคิดค้นสารเคมีขึ้นมาชำระล้างทำความสะอาดหลากหลายมากขึ้นเพียงนั้น ทั้งนี้ น้ำยาล้างห้องน้ำ น้ำยาล้างพื้น น้ำยาทำความสะอาดทั่วไป น้ำยาขัดคราบ รวมทั้งสบู่ และน้ำยาล้างจาน ล้วนมีส่วนประกอบที่เหมือนกัน คือ สารช่วยทำความสะอาดที่เรียกว่า ดีเทอร์เจนต์ (Detergent) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะใช้สารเคมีตั้งต้นที่คล้ายคลึงกันในกระบวนการผลิต แต่จะแตกต่างกันในส่วนของการเติมแต่งต่าง ๆ ซึ่งล้วนเป็นสารเคมีสังเคราะห์ทั้งสิ้น โดยสารเคมีบางตัวก็มีอันตรายต่อร่างกาย ทั้งในลักษณะการแพ้เฉียบพลันหรือลักษณะการสะสมความเป็นพิษในร่างกาย [1] ดังนั้น การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด จึงต้องพิจารณาส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนชนิดและปริมาณที่ใช้ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคเป็นสำคัญ

งานวิจัยชิ้นนี้ ศึกษาการขจัดคราบเลือดโดยใช้สารสกัดจากผักโขมฝรั่ง หรือปวยเล้ง ชื่อภาษาอังกฤษ คือ Spinach (*Spinacia oleracea*) และผักโขม หรือผักขม ชื่อภาษาอังกฤษ คือ Amaranth (*Amaranthus viridis*)

ผักทั้ง 2 ชนิด ถึงแม้จะมีลักษณะไม่เหมือนกัน [ภาพที่ 1] แต่ก็ถูกจัดอยู่ในวงศ์เดียวกัน พบได้ง่าย และมีคุณลักษณะทางเคมีเหมือนกัน [2]

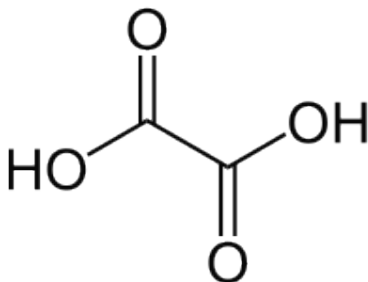


ภาพที่ 1 ลักษณะใบของผักโขม (a) และผักโขมฝรั่งหรือปวยเล้ง (b) [3]

ผักโขมเป็นผักที่เจริญได้ทั่วไปตามแหล่งธรรมชาติ เช่น ริมทาง ป่าละเมาะ ป่าร้าง สวนผัก ผลไม้ของชาวไร่ชาวนาในประเทศไทยมีผักโขมอยู่หลายสายพันธุ์ แต่สายพันธุ์ที่นิยมนำมารับประทานเป็นอาหารได้แก่ ผักโขมจีน ซึ่งมีทั้งใบสีแดงและสีเขียว ผักโขมบ้าน ผักโขมหนาม ผักโขมยักษ์ ปวยเล้ง หรือผักโขมฝรั่ง ผักโขมมีรสชาติออกหวาน ทานง่าย ทั้งยังอุดมด้วยคุณค่าทางอาหารสูง ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นวิตามินเอ วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินบี 9 วิตามินเค ธาตุแคลเซียม ธาตุเหล็ก ธาตุแมกนีเซียม ธาตุโพแทสเซียม ธาตุทองแดง ธาตุแมงกานีส และธาตุสังกะสี

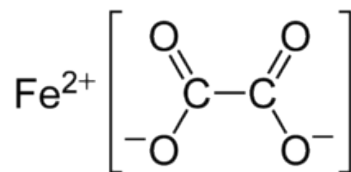
แม้ผักโขมจะมีคุณค่าทางอาหารสูงดังที่กล่าวไปข้างต้น แต่ก็ยังมีผลเสียต่อร่างกายหากรับประทานในปริมาณมากเกินไป เนื่องจากสารออกซาเลต (Oxalate) ที่พบมากในผักโขม สามารถจับกับธาตุโลหะ อย่างธาตุเหล็กและแคลเซียมในร่างกาย ส่งผลให้เกิดการตกตะกอนจนอาจจับตัวเป็นก้อนนิ่วได้ โดยเฉพาะก้อนนิ่วที่เป็นสารแคลเซียมออกซาเลต ซึ่งพบได้มากถึงร้อยละ 75 ในทางเดินปัสสาวะ [4] ดังนั้นไม่ควรรับประทานผักโขมมากเกินไป

กรดออกซาลิก (Oxalic acid) หรือออกซาเลต มีสูตรโมเลกุล คือ $H_2C_2O_4$ และมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของกรดออกซาลิก ($H_2C_2O_4$)

จากสมบัติของการจับกันกับธาตุโลหะดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า สารออกซาเลตสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการช่วยขจัดคราบเลือดได้เนื่องจากในเลือดมีส่วนประกอบของธาตุเหล็ก (Iron) หรือ Ferrous Ion (Fe^{2+}) ซึ่งสามารถจับกับสารออกซาเลตได้เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า เฟอร์รัสออกซาเลต (Ferrous Oxalate) หรือเหล็กออกซาเลต (Iron (II) Oxalate) สูตรโมเลกุล คือ FeC_2O_4 และมีสูตรโครงสร้าง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างของเหล็กออกซาเลต [8]

พบว่าในพืชทั่วไปมีปริมาณสารออกซาเลตในใบอ่อนมีมากกว่าในใบแก่ และในต้นพืชที่อายุน้อยกว่าจะมีปริมาณสารออกซาเลตมากกว่าในพืชที่อายุมากขึ้น [5] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาแนะนำว่า ก่อนนำผักโขม หรือปวยเล้งไปปรุงอาหาร ควรนำไปผ่านความร้อน เช่น การลวกหรือต้มให้สุกเพื่อลดปริมาณสารออกซาเลตลงไปเป็นบางส่วนเสียก่อน [6, 7]

ดังนั้น คณะนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาการขจัดคราบเลือดโดยใช้ประโยชน์สารออกซาเลตที่สกัดจากผักโขมด้วยวิธีต่าง ๆ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างพืชที่นำมาศึกษา ได้มาจากการสำรวจชนิดผักที่วางขายในตลาดสด 2 แห่ง ในจังหวัดปทุมธานี ได้แก่ ตลาดพระอินทร์ และตลาดไท

โดยตัวอย่างพืชผักได้นำมาเก็บรักษา 1 วัน ในตู้เย็น ก่อนนำไปสกัด และใช้ตัวอย่างที่มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 1-2 วัน

งานวิจัยชิ้นนี้ มีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม ดังนี้

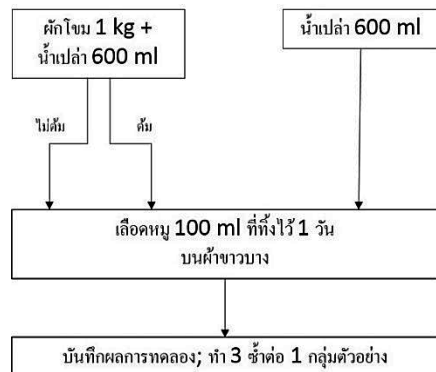
- 1) กลุ่มที่ 1 น้ำสกัดจากผักโขม
- 2) กลุ่มที่ 2 น้ำสกัดจากผักโขมต้ม
- 3) กลุ่มควบคุม น้ำเปล่า

โดยอัตราส่วนของผักโขม : น้ำเปล่า ในกลุ่มตัวอย่าง คือ 1 กิโลกรัม : 600 มิลลิลิตร

2.2 วิธีการทดลอง

ศึกษาการขจัดคราบเลือดของสารสกัดจากผักโขมในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ผักโขม 1 กิโลกรัม : น้ำเปล่า 600 มิลลิลิตร นำมาปั่นให้ละเอียด ยกเว้นกลุ่มควบคุมที่ใช้น้ำเปล่า หลังจากปั่นผักโขม ต้องกรองกากของผักโขมด้วยผ้าขาวบางก่อน กรอกน้ำสารสกัดผักโขมลงในบรรจุภัณฑ์ สำหรับในกลุ่มที่ 2 ต้มผักโขม อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที ก่อนนำมาสกัดและกรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อจะทดสอบว่าการทำลายสารออกซาเลตออกไปบ้าง โดยการผ่านความร้อน จะมีผลต่อการขจัดคราบเลือดหรือไม่ จากนั้นจึงนำสารสกัดผักโขมในบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาในตู้เย็น ก่อนนำมาทดลองขจัดคราบเลือด ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งกลุ่มควบคุม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยการทดลองในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ใช้เลือดหมูปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทาลงบนผ้าขาวบาง ทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน แล้วจึงนำมาทดสอบการขจัดคราบเลือด ในกลุ่มที่ 1 และ 2 นำสารสกัดจากผักโขมปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทาลงบนรอยเปื้อนเลือดบนผ้าขาวบางที่เตรียมไว้ดังกล่าวข้างต้น ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ทาแล้ววางทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที และนำไปซักด้วย

น้ำเปล่า โดยใช้เวลาในการซัก 10 นาที จากนั้นนำผลการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ ในแต่ละกลุ่มทดลองมาสังเกตประสิทธิภาพของการขจัดคราบเลือด และบันทึกผลการทดลอง สรุปวิธีการทดลองได้ดังภาพที่ 4

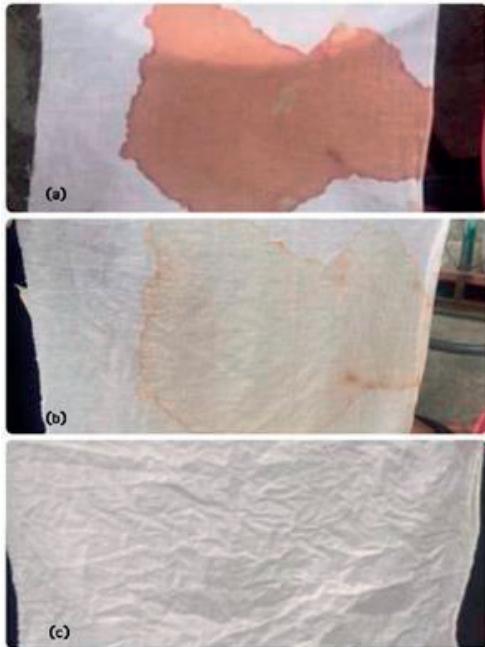


ภาพที่ 4 ขั้นตอนการศึกษาการขจัดคราบเลือดของสารสกัดผักโขม

เมื่อครบเวลา 1 วัน ในการแช่ผ้าขาวบาง เปื้อนเลือด และเวลาในการซักของแต่ละครั้ง ให้นำผ้ามาคลี่เพื่อสังเกตและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการขจัดคราบเลือดของน้ำสกัดจากผักโขมและน้ำเปล่า ว่ามีการหลงเหลือของคราบเลือดมากน้อยเพียงใด ด้วยการสังเกตคราบเลือดที่หลงเหลือบนผ้า ดังนี้

1) สีของคราบเลือด หลงเหลือมากถึงมากที่สุด โดยการสังเกตความเข้มของสีจากสายตา หากหลงเหลือคราบอยู่มาก แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้อย

2) สีของคราบเลือด หลงเหลือน้อยถึงน้อยที่สุด โดยการสังเกตความเข้มของสีจากสายตา หากหลงเหลือคราบอยู่น้อย แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการขจัดคราบเลือดมาก โดยหลักการสังเกตคราบเลือดที่หลงเหลือบนผ้า แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หลักการสังเกตความเข้มของสี

(a) คราบเริ่มต้น

(b) ขจัดคราบเลือดได้น้อย และ

(c) ขจัดคราบเลือดได้มาก

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาการขจัดคราบเลือดด้วยสารสกัดจากผักโขมที่ได้จากวิธีต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการสังเกตคราบเลือด

ครั้งที่	ผลการสังเกตคราบเลือด		
	กลุ่ม1	กลุ่ม2	กลุ่มควบคุม
1	น้อย	น้อย	มาก
2	น้อย	น้อย	มาก
3	น้อย	น้อย	มาก

จากตารางที่ 1 พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 3 ในการขจัดคราบเลือดโดยใช้สารสกัดจากผักโขม พบว่า ทั้งกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ไม่ต้มผักโขม และกลุ่มที่ 2 ต้มผักโขม สามารถขจัดคราบเลือดได้สะอาด เมื่อเทียบกับการใช้น้ำเปล่าเพียงอย่างเดียวในกลุ่มควบคุม โดยได้ผลการทดลองดังภาพที่ 6



(a)



(b)

ภาพที่ 6 ผลการทดลองการขจัดคราบเลือด



(c)

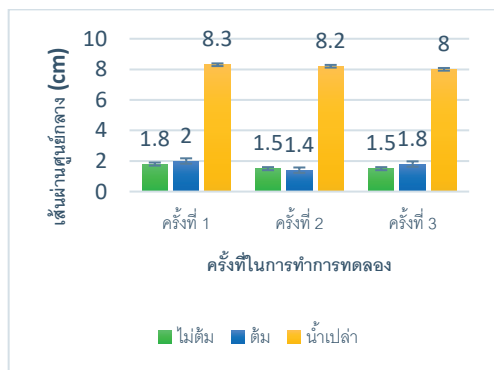
ภาพที่ 6 (ต่อ) ผลการทดลองการขจัดคราบเลือด

(a) ผลการทดลองจากกลุ่ม 1 (ไม่ต้ม)

(b) ผลการทดลองจากกลุ่ม 2 (ต้ม) และ

(c) ผลการทดลองจากกลุ่มควบคุม (น้ำเปล่า)

และแสดงผลการทดลองเป็นกราฟในภาพที่ 7 เมื่อ
แกน X เป็นครั้งที่ในการทำการทดลอง และแกน Y
เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของคราบเลือด (เซนติเมตร)
ที่หลงเหลือหลังจากการทดลอง



ภาพที่ 7 ผลการขจัดคราบเลือดโดยใช้ผักโขม

4. สรุปผลการทดลอง

น้ำสกัดจากผักโขมมีประสิทธิภาพในการขจัดคราบเลือดได้มากกว่าการใช้น้ำเปล่าซักล้าง โดยไม่ต้องใช้สารซักฟอกสำหรับขจัดคราบเลือดที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งสารออกซาเลทในผักโขมสามารถจับกับธาตุโลหะ คือ ธาตุเหล็กในเม็ดเลือดแดง และเกิดเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้คราบเลือดสามารถขจัดออกจากผ้าได้ การทดลองนี้ ถือเป็นการนำผลผลิตจากธรรมชาติ คือ ผักโขม มาใช้ประโยชน์ในการขจัดคราบเลือด ซึ่งถือเป็นคราบเปื้อนที่กำจัดยากชนิดหนึ่ง แทนการใช้สารเคมีจากสารซักฟอกทั่วไปในท้องตลาดที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายหรือระคายเคืองต่อผิวหนัง อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ที่ต้มผักโขมก่อนนำมาทำน้ำสารสกัดจากผักโขม ก็ให้ผลในการขจัดคราบเลือดได้เช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ที่ไม่ผ่านการต้ม นั้นแสดงให้เห็นว่า ความรู้ที่เราได้รับมาว่าการผ่านความร้อนก่อนนำผักโขมไปรับประทานจะช่วยลดสารออกซาเลทและลดการเกิดนิ่วได้ ไม่สามารถระบุได้ว่าถือเป็นความจริงโดยสมบูรณ์

4.1 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการควบคุมชนิดตัวอย่างพืชเพียงชนิดเดียวในการทดลอง นั่นคือ ผักโขมหรือปวยเล้ง และผักขม อย่างใดอย่างหนึ่ง

2. ควรมีกกลุ่มควบคุมที่เป็นสารออกซาเลทเพื่อเปรียบเทียบว่า สารสกัดแบบหยาบจากผักโขมกับสารออกซาเลทบริสุทธิ์ ให้ผลการทดลองแบบเดียวกันหรือไม่

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กลุ่มนักศึกษาสาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี ที่ช่วยหาวัตถุดิบ และเป็นผู้ช่วยวิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์พัชรินทร์ เศรษฐีชัยชนะ อาจารย์คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี ผู้สอนร่วมวิชาศึกษาทั่วไป ที่ให้คำแนะนำในการวิจัย

ขอขอบคุณ งานวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี ที่สนับสนุนและส่งเสริมให้นักศึกษาและอาจารย์ได้คิดค้นนวัตกรรมอยู่เสมอ

สุดท้าย ขอขอบคุณครอบครัว สำหรับ กำลังใจและแรงใจที่มีให้กันตลอดมา

6. อ้างอิง

- [1] ทองเหมาแจ่มแจ่ม. ชุดความรู้โครงการพัฒนา และส่งเสริมศูนย์การเรียนรู้เกษตรอินทรีย์: การผลิตน้ำยาล้างห้องน้ำจากสารสกัดธรรมชาติ. สุพรรณบุรี: สถาบันพัฒนาประชาสังคมภูมิภาคจังหวัดสุพรรณบุรี; 2549.
- [2] ผักโขมกับคุณค่าอาหาร [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: เอฟแอนด์เอ็น; [เข้าถึงเมื่อ 8 ต.ค. 2561]. จาก : <https://www.fnthaidairies.com/index.php/food-application/114>.
- [3] ผักโขม ปวยเล้ง สองคู่หูตระกูลผัก แล้วคุณจะรัก ถ้าได้รู้คุณประโยชน์ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: บัณฑิต เซ็นเตอร์; [เข้าถึงเมื่อ 8 ต.ค. 2561]. จาก : <https://health.kapook.com/view124852.html>.
- [4] Hesse A, Siener R. Current aspects of epidemiology and nutrition in urinary stone disease. *World J Urol.* 1997; 15: 165-71.
- [5] Kitchen JW, Burns EE. The effect of maturity on the oxalate content of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *J. Food Sci.* 2006; 30: 589-93.
- [6] Oscarsson KV, Savage GP. Composition and availability of soluble and insoluble oxalates in raw and cooked taro (*Colocasia esculenta* var. Schott) leaves. *Food Chem.* 2007; 101: 559-62.
- [7] นฤมล ผิวเนียน. ผลึกแคลเซียมออกซาเลตและปริมาณออกซาเลตในพืชผักบางชนิดในจังหวัดหนองคาย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 2557; 42(4): 820-9.
- [8] Ferrous oxalate [Internet]. USA.: PubChem; 2005 [cited 2018 Aug 8]. Available from: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/ferrous_oxalate#section=Top.

การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกด้วยลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท

Ethanol Production from Ripe Palmyra Palm Fruit Pulp Extract using

Loog Pang Khao MaK and Loog Pang Satho

โกสินทร์ ทีปกรุณทรัพย์^{1*}, นิชา ประสงค์จันทร์¹, นพดล โพยก่ำเหน็ด¹

Kosin Teeeparuksapun^{1*}, Nicha Prasongchan¹, Noppadon Podkumnerd¹

¹คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา

¹Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 09 1049 8885, E-mail: kosin.t@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

ผลตาลโตนดสุกเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานทดแทน น้ำคั้นของเนื้อผลตาลสุกมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต 108.01 ± 0.05 g/L และน้ำตาล 64.36 ± 1.67 g/L สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักเอทานอล งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นของเนื้อผลตาลสุกโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกโดยใช้ปริมาณของน้ำคั้นที่ 20, 40, 60, 80, และ 100% v/v พบว่าที่ปริมาณของน้ำคั้น 100% v/v จะให้ปริมาณของเอทานอลสูงที่สุดสำหรับการหมักด้วยลูกแป้งทั้งสองชนิด ทำการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการหมักเอทานอลที่พีเอช 4.5, 4.8, 5.0 และ 5.5 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมของการหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท คือ พีเอช 4.5 และ พีเอช 5.0 ตามลำดับ การหมักเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากที่สภาวะที่เหมาะสมให้ปริมาณของเอทานอลสูงสุด 10.57 ± 0.03 g/L ที่เวลาในการหมัก 48 h ให้ผลได้ 0.23 ± 0.001 g/g อัตราการผลิตเอทานอล 0.22 ± 0.001 g/L/h และประสิทธิภาพของการหมัก 45.08 ± 0.15 % สำหรับการหมักด้วยลูกแป้งสาโท พบว่าให้ปริมาณของเอทานอลสูงสุด 7.93 ± 0.03 g/L ที่เวลาในการหมัก 48 h มีผลได้ อัตราการผลิตเอทานอล และประสิทธิภาพของการหมักเท่ากับ 0.17 ± 0.001 g/g, 0.17 ± 0.001 g/L/h และ 32.7 ± 0.02 % ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าการหมักโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ : ผลตาลโตนดสุก เอทานอล ลูกแป้งข้าวหมาก ลูกแป้งสาโท การหมัก

ABSTRACT

Ripe palmyra palm fruit is an agricultural residue that can be used to produce alternative energy. The fruit pulp extract contained carbohydrates (108.01 ± 0.05 g/L) and sugars

Received 15-01-2019
Revised 09-04-2019
Accepted 10-04-2019

(64.36 $\pm$ 1.67 g/L) which can be used as substrate for ethanol fermentation. This research investigated the production of ethanol from palmyra fruit pulp extract by using Loog Pang Khao Mak and Look Pang Satho. The effect of reducing sugar concentrations was studied by using fruit pulp extract at 20, 40, 60, 80, and 100% v/v. The result showed that 100% v/v of fruit pulp extract gave the highest ethanol concentrations for the fermentation with the two types of Loog Pang. The pH affecting the fermentation efficiency was investigated at 4.5, 4.8, 5.0 and 5.5. The optimum pH for the fermentation with Look Pang Khao Mak and Loog Pang Satho were 4.5 and 5.0, respectively. The fermentation with Look Pang Khao Mak at optimum condition gave the highest ethanol concentration at 10.57 $\pm$ 0.03 g/L with 48 h fermentation time. The ethanol yield was 0.23 $\pm$ 0.001 g/g. The productivity and fermentation efficiency were 0.22 $\pm$ 0.001 g/L/h and 45.08 $\pm$ 0.15 %. For the fermentation with Loog Pang Satho, the highest ethanol concentration was 7.93 $\pm$ 0.03 g/L with 48 h fermentation time. The ethanol yield, productivity and fermentation efficiency were 0.17 $\pm$ 0.001 g/g, 0.17 $\pm$ 0.001 g/L/h and 32.7 $\pm$ 0.02 %, respectively. These were significantly lower than the fermentation with Loog Pang Khao Mak when statistically tested at 95 % confidential level.

Keywords: Palmyra palm fruit, Ethanol, Loog Pang Khao Mak, Look Pang Satho, Fermentation

1. บทนำ

สภาพวิกฤติการณ์ทางด้านพลังงานของโลก อันเนื่องมาจากความต้องการการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ทั้งทางด้านการขนส่ง และอุตสาหกรรม ทำให้ราคาของเชื้อเพลิงโดยเฉพาะน้ำมันดิบพุ่งสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดหลายปีที่ผ่านมา [1-4] จากการที่การผลิตน้ำมันในอุตสาหกรรมน้ำมันมีอย่างจำกัดและไม่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานของโลก ส่งผลให้หลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยเร่งดำเนินการทางด้านพลังงานทดแทนเพื่อสร้างทางเลือกและความมั่นคงทางด้านพลังงาน ซึ่งในขณะนี้ทั่วโลกกำลังมุ่งเน้นปัญหาวิกฤติการณ์ทางด้านพลังงานนั้น โลกก็ต้องเผชิญกับปัญหามลพิษอันเนื่องมาจากการใช้น้ำมัน โดยเฉพาะปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

สภาพบรรยากาศของโลกและภาวะโลกร้อน ดังนั้นพลังงานทดแทนที่สะอาดจึงเป็นความหวังที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาวิกฤติการณ์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม [1], [5-6] ประเทศไทยมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันและการนำเข้า โดยภาครัฐมีมาตรการและนโยบายที่สนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ เนื่องจากต้นทุนในการผลิตเอทานอลประมาณครึ่งหนึ่งมาจากราคาของวัตถุดิบที่นำมาใช้ [7] และประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ดังนั้นแหล่งพลังงานทดแทนที่เหมาะสมของประเทศไทยจึงควรมาจากผลผลิตและของเหลือใช้ทางการเกษตร

ตาลโตนด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. เป็นพืชตระกูลปาล์มชนิดหนึ่งจากปาล์ม 20 จีนัส 1,500 สปีชีส์ เป็นพืชที่พบทั่วไปในเขตร้อน ในประเทศไทยมีตาลโตนดจำนวนมากซึ่งพบมากในจังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรี นครปฐม อยุธยา สงขลา และปัตตานี [8] ผักรูปไข่กลาง (Mesocarp) ของผลของตาลโตนดเมื่อสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองซึ่งนิยมนำมาคั้นเพื่อเตรียมเป็นแป้งตาลโตนดและนำไปใช้เป็นส่วประกอบของการทำขนม เช่น ขนมตาล ไอศกรีม และเค้ก สำหรับน้ำที่ได้จากการคั้นจะไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งจากการศึกษาของค้ประกอบเบื้องต้นของน้ำคั้นพบว่ามึปริมาณของน้ำตาลที่สูงซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลได้ จากการตรวจสอบรายงานการวิจัยพบว่าการผลิตเอทานอลจากผลตาลโตนดยังมีน้อย ซึ่งงานวิจัยแรกที่ได้มีการศึกษาการผลิตแอลกอฮอล์จากตาลโตนด คืองานวิจัยของ Theivendirajah และ Chrystopher (1986) ซึ่งได้นำส่วนของผลตาลโตนดมาใช้ในการผลิตเอทานอลโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* [9]

การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลนั้นสามารถทำได้โดยอาศัย กระบวนการหมักโดยใช้จุลินทรีย์หลายชนิด เช่น *Candida stellimalicola* [8] *Saccharomyces cerevisiae* [10-11] และ ยีสต์ขนมปัง [12] นอกจากนี้มีรายงานว่าสามารถใช้ลูกแป้งในการหมัก เช่น ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งเหล้า ซึ่งเป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ผสมธรรมชาติ โดยในลูกแป้งที่มีกล้าเชื้อทั้งราและยีสต์ [13-14] ราที่พบมากจะอยู่ในตระกูล *Amylomyces* sp. รองลงมาคือตระกูล *Aspergillus* sp. และ *Rhizopus* sp. เชื้อราจะทำหน้าที่หลักในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ยีสต์ที่พบในลูกแป้งได้แก่

Saccharomyces sp. และ *Pichia* sp. ซึ่งพบมากในลูกแป้งข้าวหมาก [14-15] จะทำหน้าที่หลักในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยลูกแป้งแต่ละชนิดจะมีสมุนไพรรและเครื่องเทศที่เป็นที่เป็นตัวควบคุมยีสต์หรือเชื้อราให้ได้ตามต้องการ งานวิจัยนี้มึวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการหมักเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก โดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

ผลตาลโตนดสุกที่หล่นจากต้นจะเก็บจากพื้นที่ตำบลคลองรี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ลูกแป้งข้าวหมากเป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัทไฮโซน์ อำเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ลูกแป้งสาโทเป็นผลิตภัณฑ์จากร้านแป้งสาโทอุบล จังหวัดอุบลราชธานี 3, 5 -Dinitrosalicylic acid ผลิตโดยบริษัท Sigma เอทานอลเกรดวิเคราะห์จากบริษัท RCI Labscan กลูโคส ผลิตโดยบริษัท Ajax Finechem

2.2 การเตรียมน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก

นำผลตาลโตนดสุกมาล้างสิ่งสกปรกและนำมาลอกเปลือกดำออก สำหรับเนื้อตาลสุกซึ่งมีสีเหลืองจะถูกนำมาคั้นโดยการยี้ด้วยน้ำที่ละน้อย โดยใช้อัตราส่วนเนื้อตาลต่อน้ำ 2 : 1 จากนั้นจึงนำมารองด้วยตะแกรงตาถี่เพื่อกรองเส้นใยออกและนำมารองด้วยผ้าขาวบางจะได้ส่วนที่เป็นแป้งและน้ำคั้น สำหรับในการทำยี้ครั้งนี้ จะใช้น้ำคั้นผลตาลโตนดสุกเพื่อศึกษาการหมักเอทานอล น้ำคั้นจะถูกนำมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำมาศึกษาการผลิตเอทานอล

2.3 การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์

ในการศึกษาการผลิตเอทานอลจะใช้จุลินทรีย์จากลูกแป้ง 2 ชนิด คือ ลูกแป้งข้าวหมาก และลูกแป้ง

สาโท โดยทำการเตรียมกล้าเชื้อโดยการเติมลูกแป้ง 7.5 g ลงในข้าวเหนียวที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อจำนวน 100 g จากนั้นจึงนำไปบ่มในตู้บ่ม (Incubator) ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 96 h นำน้ำหมักที่ได้ 10% v/v เติลงในอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ Yeast peptone glucose (YPG) ซึ่งประกอบด้วย กลูโคส 20.0 g/L เพปไทน์ 3.0 g/L ยีสต์สกัด 3.0 g/L KH_2PO_4 0.5 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/L และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1.0 g/L ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL และทำการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 24 h

2.4 การหมักเอทานอลโดยกระบวนการหมักแบบกะ

2.4.1 การหมักเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท

นำกล้าเชื้อ 10% w/w เติมลงในตัวอย่างน้ำคั้นจากผลตาลโตนดสุก และเติม Yeast extract 1.0 g/L เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 96 h ทำการเก็บตัวอย่างน้ำหมักทุก ๆ 12 h นำไปวิเคราะห์ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือเพื่อคำนวณการใช้น้ำตาล และทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

2.4.2 การหาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการหมักเอทานอล

2.4.2.1 ความเข้มข้นของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก

ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างน้ำคั้นจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักเอทานอล น้ำคั้นผลตาลโตนดสุกซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญคือน้ำตาลรีดิวซ์จะถูกนำมาพิจารณาโดยจะศึกษาความเข้มข้นของน้ำคั้นที่ 20, 40, 60, 80, และ 100% v/v และศึกษาการหมักเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท โดยมีรายละเอียดการทดลองดังอธิบายในหัวข้อ 2.4.1 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำหมักที่เวลาต่าง ๆ

แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์และวิเคราะห์ปริมาณของเอทานอล สำหรับการหาภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นของน้ำคั้นนั้น จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณของเอทานอลและเวลาที่ใช้ในการหมัก ความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำคั้นที่ได้จากการทดลองนี้ จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาผลของพีเอชในขั้นตอนต่อไป

2.4.2.2 พีเอช

เนื่องจากพีเอชจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลูกแป้ง ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการหมักเอทานอลโดยทำการทดลองที่พีเอช 4.5, 4.8, 5.0 และ 5.5 โดยใช้สารละลาย 0.05 M โซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์ในการควบคุมพีเอช การทดลองนี้จะใช้ความเข้มข้นของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกที่ได้จากการหาภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอน 2.4.2.1 ทำการทดลองโดยการถ่ายกล้าเชื้อผสมลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโทที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอน 2.3 ความเข้มข้น 10% v/v เติมลงในตัวอย่างน้ำคั้นจากผลตาลโตนดสุกเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและ Yeast extract 1.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 96 h จากนั้นนำน้ำหมักที่ได้ที่เวลาต่าง ๆ ไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือและปริมาณของเอทานอล

2.4.3 การคำนวณผลผลิตของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาการผลิตเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโชนั้น จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลโดยเปรียบเทียบจาก ผลได้ (Yield) อัตราผลผลิต (Product formation rate, P.F.R) และประสิทธิภาพของการหมัก (Fermentation efficiency, F.E. (%)) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1), (2) และ (3) ตามลำดับ [10]

$$\text{Yield} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1)$$

$$\text{P.F.R} = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (2)$$

$$\text{F.E. (\%)} = \frac{\Delta P}{\Delta S \times 0.51} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

ΔP = ปริมาณของเอทานอลที่ผลิตได้ (g/L)

ΔS = ปริมาณของน้ำตาลที่รีดิวซ์ที่ถูกใช้ไป (g/L)

Δt = เวลาที่ใช้ในการหมัก (h)

ผลได้ อัตราผลผลิต และประสิทธิภาพของการหมักที่คำนวณได้จากการหมักโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโทจะถูกนำมาเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้ Independent t test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.5 เทคนิควิเคราะห์

2.5.1 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

น้ำตาลคั้นผลตาลโตนดสุกถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์โบไฮเดรตโดยใช้วิธีแอนโทรน (Antrone) [16] ในการวิเคราะห์จะใช้ตัวอย่างน้ำตาลคั้นปริมาตร 1 mL เติมลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายแอนโทรนปริมาตร 2 mL ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที ทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยการนำหลอดทดลองมาแช่ในน้ำแข็ง จากนั้นจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 nm โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis) รุ่น Libra S22, Biochrome ติดตั้งด้วยซอฟต์แวร์ Biochrome

resolution version 2.10.0.0 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างน้ำตาลคั้น

2.5.2 การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

ตัวอย่างน้ำตาลคั้นผลตาลโตนดสุกและตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอลจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้ 3, 5-Dinitrosalicylic Acid (DNS) [17] ตัวอย่างจำนวน 1 mL จะถูกเติมลงในหลอดทดลอง จากนั้นจึงเติมสารละลาย DNS 1 mL ผสมให้เข้ากันและนำมาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยการนำหลอดทดลองมาแช่ในน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นจำนวน 10 mL ผสมให้เข้ากันนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 540 nm นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำตาล

2.5.3 การวิเคราะห์เอทานอล

ตัวอย่างน้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอลถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของเอทานอลโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รุ่น HEWLETTE PACKARD HP 6890 Series ติดตั้งด้วยตัวตรวจวัดชนิด Flame ionization detector (FID) และคอลัมน์ Agilent 19090N-133 HP-INNOWAX polyethylene glycol โดยใช้ Helium เป็นแก๊สพาที่อัตราการไหล 40 mL/min

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลรีดิวซ์และเอทานอลนั้น จะทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ($n = 2$)

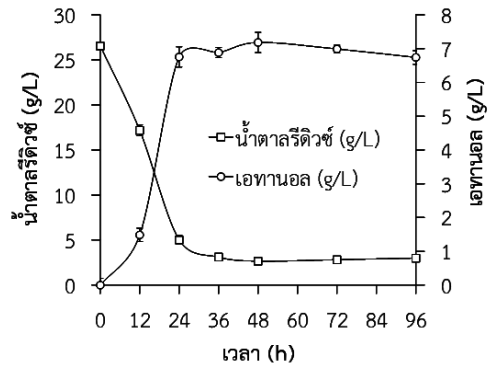
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะทางกายภาพ ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก

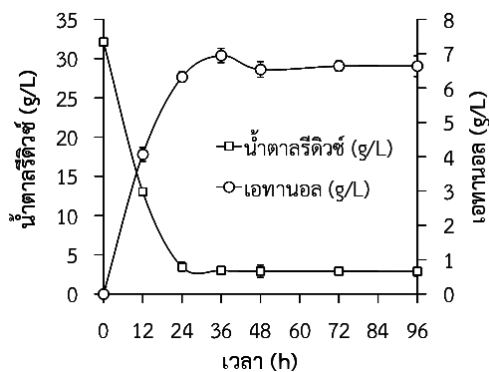
น้ำคั้นที่ได้จากการคั้นเนื้อของผลตาลโตนดสุกพบว่าจะมีลักษณะเป็นคอลลอยด์สีเหลืองส้ม มีค่าพีเอชประมาณ 4.4-5.1 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการผลิตเอทานอลพบว่าความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 108.01 ± 0.05 และ 64.36 ± 1.67 g/L ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของน้ำตาลที่วัดได้ในตัวอย่างน้ำคั้นในการทดลองนี้จะมีปริมาณสูงกว่าในตัวอย่างแป้งตาลโตนด (1.38 ± 0.02 g/L) [8] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนของการคั้น น้ำตาลจะถูกชะออกจากเนื้อของลูกตาลทำให้ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างน้ำคั้นสูงกว่าแป้งตาลโตนด จากการที่น้ำคั้นนี้มีปริมาณของน้ำตาลสูงจึงสามารถนำตัวอย่างน้ำคั้นไปเข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอลได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาล

3.2 การหมักเอทานอลด้วยลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท

ในเบื้องต้นจะทำการศึกษาการหมักเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท โดยใช้ น้ำคั้นผลตาลโตนดสุก (60% v/v) และทำการหมักที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 96 h ผลการทดลองของการหมักเอทานอลด้วยลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโทแสดงดังภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ปริมาณของน้ำตาลที่เหลือและปริมาณของเอทานอลที่ได้จากการหมักที่เวลา 0 – 96 h โดยใช้ลูกแป้งข้าวหมาก



ภาพที่ 2 ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของเอทานอลที่ได้จากการหมักที่เวลา 0 – 96 h โดยใช้ลูกแป้งสาโท

จากภาพที่ 1 พบว่าเริ่มต้นปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 26.55 ± 0.30 g/L จากนั้นเมื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก ยีสต์จะมีการใช้น้ำตาลทำให้ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่เวลา 96 h ปริมาณของ

น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 3.00 ± 0.40 g/L จากการวิเคราะห์ปริมาณของเอทานอลพบว่าเมื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก ความเข้มข้นของเอทานอลจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการหมักเป็นเวลา 48 h จะให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 7.19 ± 0.26 g/L

สำหรับการหมักเอทานอลของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกโดยใช้ลูกแป้งสาโทพบว่าเมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมัก ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 32.12 ± 0.12 g/L และเมื่อเข้าสู่กระบวนการหมักจุลินทรีย์ที่อยู่ในลูกแป้งสาโทจะมีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ทำให้ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่เวลา 96 h พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์คงเหลือเท่ากับ 2.88 ± 0.60 g/L เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณของเอทานอลที่เวลาต่าง ๆ ในกระบวนการหมักพบว่า ความเข้มข้นของเอทานอลจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปริมาณของเอทานอลของการหมักด้วยลูกแป้งสาโทเป็นเวลา 36 h จะให้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 6.95 ± 0.01 g/L (ภาพที่ 2) จากผลการทดลองเบื้องต้นนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกมาใช้เป็นขั้วสเตรทในการผลิตเอทานอลได้

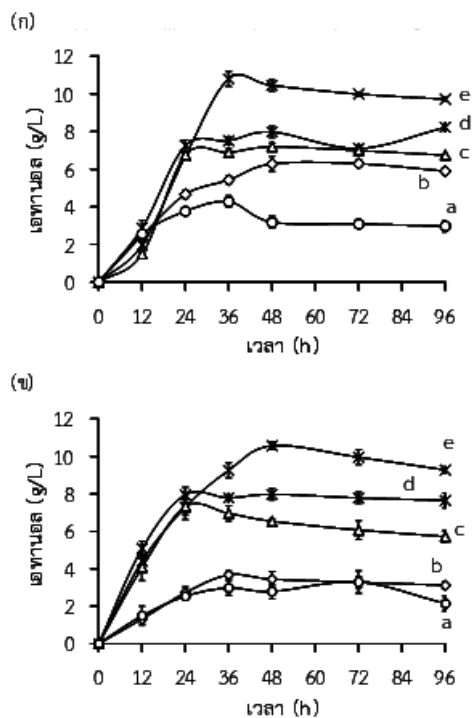
3.3 ภาวะที่เหมาะสมของการหมักเอทานอล

3.3.1 ความเข้มข้นของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก

เนื่องจากการเจริญเติบโตของยีสต์นั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของน้ำตาล ปริมาณของน้ำตาลที่สูงเกินไปจะรบกวนการหายใจของยีสต์หรือที่เรียกว่า “Cabtree” ซึ่งจะไปยับยั้งการหายใจของยีสต์ ดังนั้นจึงต้องมีการหาปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการหมักเอทานอล [13] ในการทดลองนี้จึงทำการทดลองหมักเอทานอลโดย

เจือจางน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกเพื่อให้มีปริมาณความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100% v/v ซึ่งจะมีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน และทำการหมักโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท

ภาพที่ 3 แสดงผลของการหมักเอทานอลด้วยลูกแป้งข้าวหมากโดยใช้น้ำคั้นผลตาลโตนดสุกที่มีปริมาณแตกต่างกันคือ 20, 40, 60, 80 และ 100% v/v ซึ่งจะมีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 9.46 ± 0.01 , 18.24 ± 0.04 , 26.55 ± 0.36 , 37.83 ± 0.12 และ 54.93 ± 0.01 g/L ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากการหมักโดยใช้ (ก) ลูกแป้งข้าวหมาก และ (ข) ลูกแป้งสาโท ที่เวลา 0 - 96 h โดยใช้น้ำคั้นผลตาลโตนดสุกที่มีความเข้มข้น (a) 20, (b) 40, (c) 60, (d) 80 และ (e) 100% v/v

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกที่แตกต่างกันซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำตาลที่แตกต่างกันนั้นจะมีผลต่อการหมักเอทานอลภาพที่ 3 (ก) แสดงให้เห็นว่าการหมักเอทานอลโดยใช้ปริมาณของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก 100% v/v ซึ่งมีปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 54.93 ± 0.01 g/L ให้ปริมาณของเอทานอลสูงที่สุด (10.80 ± 0.02 g/L) ที่เวลาในการหมัก 36 h ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ที่อยู่ในน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก 100% v/v ไม่ได้มีผลยับยั้งต่อการหายใจของยีสต์ ดังนั้นน้ำคั้นจากผลตาลโตนดสุกสามารถนำมาใช้ในกระบวนการหมักเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากได้โดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องมีการเจือจาง

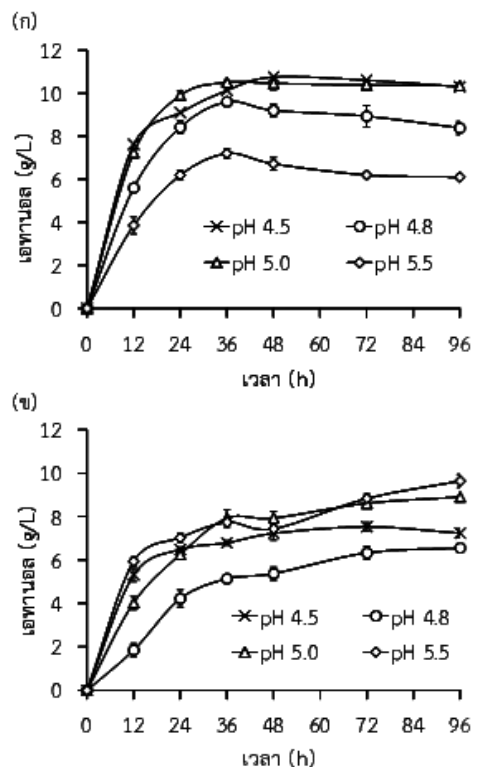
สำหรับการหมักโดยใช้ลูกแป้งสาโทให้ผลที่สอดคล้องเช่นเดียวกันกับการหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมาก กล่าวคือ การหมักเอทานอลโดยใช้ปริมาณของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก 100% v/v ซึ่งมีปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 54.93 ± 1.67 g/L ให้ปริมาณของเอทานอลสูงที่สุด (10.57 ± 0.04 g/L) ที่เวลาในการหมัก 48 h ดังแสดงในภาพที่ 3 (ข) ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกที่ใช้ในการผลิตเอทานอลคือ 100% v/v และสภาวะที่เหมาะสมนี้จะถูกนำไปใช้ในการหาภาวะที่เหมาะสมของพีเอชต่อไป

3.3.2 พีเอช

ในการศึกษาผลของพีเอชของน้ำคั้นจากผลตาลโตนดสุก (100% v/v) ต่อประสิทธิภาพการหมักเอทานอล โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมซิเตรทในการควบคุมพีเอชที่แตกต่างกัน คือ 4.5, 4.8, 5.0 และ 5.5 ภาพที่ 4 (ก) แสดงผลการทดลองของการหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมากซึ่งพบว่าที่พีเอช 4.5 จะให้ปริมาณของเอทานอลสูงที่สุดเท่ากับ $10.76 \pm$

0.01 g/L โดยใช้เวลาในการหมัก 48 h ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับพีเอชอื่น ๆ ดังนั้นพีเอชที่เหมาะสมกับการหมักเอทานอลด้วยลูกแป้งข้าวหมากคือ พีเอช 4.5

ภาพที่ 4 (ข) แสดงการศึกษาผลของพีเอชในการหมักเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกโดยใช้ลูกแป้งสาโทซึ่งพบว่าที่พีเอช 5.0 ให้ปริมาณของเอทานอลสูงที่สุดเท่ากับ 9.64 ± 0.01 g/L ที่เวลาในการหมัก 96 h ดังนั้นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการหมักด้วยลูกแป้งสาโทคือ พีเอช 5.0



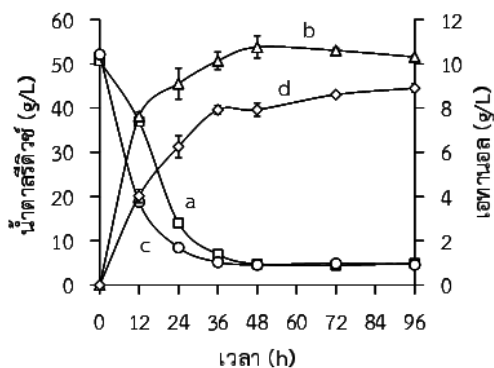
ภาพที่ 4 ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากการหมักโดยใช้ (ก) ลูกแป้งข้าวหมาก และ (ข) ลูกแป้งสาโท ที่เวลา 0 - 96 h โดยใช้ น้ำคั้นผลตาลโตนดสุกที่พีเอช 4.5, 4.8, 5.0 และ 5.5

ผลการทดลองการหาภาวะที่เหมาะสมของพีเอชในการหมักโดยใช้ลูกแป้งทั้งสองชนิดพบว่า

สอดคล้องกับรายงานวิจัยอื่นซึ่งได้มีการรายงานว่า
พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของยีสต์จะ
อยู่ระหว่าง 4.5 – 5.0 [18]

3.4 การหมักเอทานอล

น้ำคั้นผลตาลโตนดสุกถูกนำมาใช้ในการหมัก
เอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท
ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ภาพที่ 5 แสดงปริมาณของ
น้ำตาลรีดิวซ์ที่ถูกใช้ไปในระหว่างกระบวนการหมัก
และปริมาณของเอทานอลที่เวลา 0 -96 h



ภาพที่ 5 ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของ
เอทานอลที่ได้จากการหมักที่เวลา 0 – 96 h;
(a) และ (b) คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (g/L)
และเอทานอล (g/L) ของการหมักด้วยลูกแป้ง
ข้าวหมาก; (c) และ (d) คือ ความเข้มข้นของ
น้ำตาลรีดิวซ์ (g/L) และเอทานอล (g/L)
ของการหมักด้วยลูกแป้งสาโท

สำหรับการหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมากพบว่า
ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นเท่ากับ $50.72 \pm$
 0.48 g/L เมื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก ยีสต์ในลูก
แป้งข้าวหมากจะใช้น้ำตาลในการผลิตเอทานอล
ในช่วง แรกของการหมัก ความเข้มข้นของน้ำตาล

รีดิวซ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อทำการหมักเป็นเวลา
36 h ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ $6.94 \pm$
 0.48 g/L หลังจากนั้นปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์จะ
ลดลงเล็กน้อยและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่เวลา
96 h ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์คงเหลือเท่ากับ 4.93
 ± 0.04 g/L แสดงให้เห็นว่าหลังจากกระบวนการหมัก
เป็นเวลา 36 h ยีสต์สามารถใช้น้ำตาลในการผลิต
เอทานอลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อทำการเก็บตัวอย่างที่
เวลาต่าง ๆ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของเอทานอล
พบว่า ปริมาณของเอทานอลจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่
ใช้ในการหมักโดยที่เวลาในการหมัก 48 h จะให้ปริมาณ
ของเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 10.57 ± 0.03 g/L

ในการหมักเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนด
สุกด้วยลูกแป้งสาโทที่สภาวะที่เหมาะสม จะให้ผล
เช่นเดียวกันกับการหมักลูกแป้งข้าวหมาก กล่าวคือ
เมื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก ปริมาณของน้ำตาล
รีดิวซ์จะถูกใช้โดยยีสต์ที่อยู่ในลูกแป้งสาโททำให้
ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่เวลา
ในการหมัก 36 h ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ
 4.30 ± 0.10 g/L และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่
เวลา 96 h ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ $4.62 \pm$
 0.10 g/L ผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับ
ความเข้มข้นของเอทานอลที่วิเคราะห์ได้เป็นเวลาต่าง ๆ
ของกระบวนการหมัก เมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมัก
ปริมาณของเอทานอลจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดย
พบว่าเมื่อทำการหมักเป็นเวลา 48 h จะให้ปริมาณ
ของเอทานอล 7.93 ± 0.03 g/L และพบว่าที่เวลาใน
การหมักสูงขึ้น ปริมาณของเอทานอลไม่ได้เพิ่มขึ้น
อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่เวลา
96 h จะให้ปริมาณของเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 8.90
 ± 0.01 g/L

3.5 ผลได้ อัตราการผลิต และประสิทธิภาพของการหมัก

ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ในตัวอย่างน้ำคั้นผลตาลโตนดสุก ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ถูกใช้ไปในกระบวนการหมัก และปริมาณของเอทานอลที่ผลิตได้สูงสุดที่สภาวะที่เหมาะสมถูกนำมาใช้ในการคำนวณผลได้ อัตราการผลิต และประสิทธิภาพของการหมักเอทานอล โดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลได้ อัตราการผลิต และประสิทธิภาพของการหมักเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท

กระบวนการหมักเอทานอล	ชนิดของลูกแป้ง	
	ลูกแป้งข้าวหมาก	ลูกแป้งสาโท
เอทานอล (g/L)	10.57 ± 0.03	7.93 ± 0.03
น้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ (g/L)	45.98 ± 0.04	46.67 ± 0.03
ผลได้ (g/g)	0.23 ± 0.001	0.17 ± 0.001
อัตราการผลิตเอทานอล (g/L/h)	0.22 ± 0.001	0.17 ± 0.001
ประสิทธิภาพของการหมัก (%)	45.08 ± 0.15	32.70 ± 0.02

การหมักเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกที่สภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากจะให้ปริมาณของเอทานอลสูงสุด 10.57 ± 0.03 g/L มีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ 45.98 ± 0.04 g/L เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณพบว่า จะให้ผลได้ 0.23 ± 0.001 g/g อัตราการผลิตเอทานอล 0.22 ± 0.001 (g/L/h) และประสิทธิภาพของการหมัก 45.08 ± 0.15% ตามลำดับ สำหรับการหมักด้วยลูกแป้งสาโท พบว่า จะมีผลได้ อัตราการผลิตเอทานอล และประสิทธิภาพ

ของการหมักต่ำกว่าการหมักด้วยลูกแป้งข้าวหมากอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อทำการทดสอบค่าทางสถิติโดยใช้วิธี Independent t test โดยมีผลได้ 0.17 ± 0.001 g/g อัตราการผลิตเอทานอล 0.17 ± 0.001 g/L/h และประสิทธิภาพของการหมัก 32.70 ± 0.02% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายีสต์ที่อยู่ในลูกแป้งข้าวหมากมีความสามารถในการผลิตเอทานอลสูงกว่ายีสต์ในลูกแป้งสาโท

4. สรุป

น้ำคั้นผลตาลโตนดสุกมีองค์ประกอบที่สำคัญคือคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นซับสเตรทในการผลิตเอทานอลโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อยแบ่งให้เป็นน้ำตาล (Hydrolysis) เนื่องจากในน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกจะมีปริมาณของน้ำตาลที่สูงเหมาะสมแก่การหมักเอทานอลได้โดยตรง การศึกษาการหมักเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโทพบว่าจะให้ปริมาณของเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 10.57 ± 0.03 และ 7.93 ± 0.03 g/L ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการหมักเอทานอลโดยใช้ลูกแป้งทั้งสองชนิดพบว่าผลได้ อัตราการผลิต และประสิทธิภาพของการหมักเอทานอล ของการหมักโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากสูงกว่าการหมักด้วยลูกแป้งสาโทอย่างมีนัยสำคัญ

การใช้ผลตาลโตนดสุกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอลสามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบเนื่องจากผลตาลโตนดสุกเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่ง หากว่าสามารถเพิ่มสเกลของการหมักให้ใหญ่ขึ้นในอุตสาหกรรมได้ก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตพลังงานทดแทนได้ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2560 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vohra M, Manwar J, Manmode R, et al. Bioethanol production: Feedstock and current technologies. *J Environ Chem Eng*. 2014; 2(1):573–584.
- [2] Derman E, Abdulla R, Marbawi H, et al. Oil palm empty fruit bunches as a promising feedstock for bioethanol production in Malaysia. *Renew Energ*. 2018; 129:285-298.
- [3] Azhar HSM, Abdulla R, Jambo SA, et al. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochem Biophys Reports*. 2017; 10:52–61.
- [4] Jiang D, Hao M, Fu J, et al. Potential bioethanol production from sweet sorghum on marginal land in China. *J Clean Prod*. 2019; 220:225-234.
- [5] Demirbas A. Biofuels securing the planet's future energy needs. *Energy Convers Manag*. 2009; 50(9):2239–2249.
- [6] Nieves DC, Alanis MJR, Quiroz RC, et al. Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico. *Renew Sust Energ Rev*. 2019; 102:63-74.
- [7] Roble ND, Ogbonna JC, Tanaka H. A novel circulating loop bioreactor with cells immobilized in loofa (*Luffa cylindrica*) sponge for the bioconversion of raw cassava starch to ethanol. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2003; 60(6):671–678.
- [8] Artnarong S, Masniyom P, Maneesri J. Preparation of the substrate from Palmyra palm fruit by *Candida stellimalicola* fermentation for acetic acid production. *KKU Res J*. 2016; 21(2):697-403.
- [9] Theivendirarajah K, Chrystopher RK, Alcohol from palmyra palm (*Borassus Flabellifer* L.) fruit pulp. *Vinganam J Sci*. 1986; 1:44-46.
- [10] Kassim MA, Kheang LS, Bakar NA, et al. Bioethanol production from enzymatically saccharified empty fruit bunches hydrolysate using *Saccharomyces cerevisiae*. *Res J Environ Sci*. 2011; 5(6):573–586.
- [11] Teeparuksapun K, Sontimuang C, Congkumnert W. Comparative study of hydrolysis methods for bioethanol production from ripe palmyra palm fruit pulp (*Borassus flabellifer* Linn). using *Saccharomyces cerevisiae* TISTR5204. The 7th International Conference on Fermentation Technology for Value Added Agriculture Products; 2017 July

- 25-28; Khon Kaen, Thailand. Khon Kaen University; 2017. P. 256-264.
- [12] Chongkhong S, Mardla A, Yai H. Ensiling - wet-storage method for bio-ethanol production by baker ' s yeast. The 10th International PSU Engineering Conference; 2012 May 14-15; Hat Yai, Thailand. Prince of Songkla University. 2012. P. 8-11.
- [13] Pfeiffer T, Morley A, An evolutionary perspective on the Crabtree effect. *Front Mol Biosci.* 2014; 1:1-6.
- [14] Deesuth O, Samneing A, Laopaiboon P, et al. Decrease in ethanol fermentation time for Sato making by *Rhizopus* sp And mixed cultures of yeasts. *KKU Res J.* 2010; 15(7):670-678.
- [15] Sridam P, Dajanta K. Screening of potential indigeneous Loog Pang for production of fermented glutinous rice (KhaoMak) with high total soluble solid and lower alcohol ordor. The 15th National and International Conference Interdisciplinary Research for Local Development Sustainability; Lampang, Thailand. Lampang Rajabhat University. 2015; 129-139.
- [16] Morris DL. Quantitative determination of carbohydrates with dreywood's anthrone reagent. *Science.* 1948; 107(1):254-255.
- [17] Miller GL. Use of Dinitrosalicylic acid regent for determination of reducing sugar. *Anal Chem.* 1959; 31:426-428.
- [18] Reed G, Nagodawithana TW. Baker's yeast production. *Yeast Technol.* New York: Springer, Dordrecht; 1991. P. 261-314.

การพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่า ด้วยเทคนิคการประเมินแบบสองขั้นตอน

The Development of Rental Car Efficiency using Two-Phase Technique

ดวงกมล จุลกะเศียน^{1*}, ธรีณี มณีศรี¹, ศิรประภา มโนมัย²

Doungkamol Chulakasian^{1*}, Tharinee Manisri¹, Siraprapa Manomat²

¹ สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยศรีปทุม

² ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹Collage of Logistics and Supply Chain, Sripatum University, Thailand

²Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 06 2898 2955, E-mail: dkamol_c@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าแบบสองขั้นตอน ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงล้อมกรอบข้อมูล กรณีตัวแบบมีปัจจัยไม่พึงประสงค์และการจัดกลุ่มตามลำดับชั้น โดยทดลองใช้งานจริงกับการนิรยนต์เช่าของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่งจำนวน 104 แห่ง และใช้ข้อมูลจากระบบสารสนเทศของหน่วยงานร่วมกับบริษัทที่ให้เช่ารถยนต์ ประกอบด้วย ค่าเช่ารถยนต์ ระยะทางที่ใช้งานทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เป็นปัจจัยพึงประสงค์ และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากอุบัติเหตุ เป็นปัจจัยไม่พึงประสงค์ โดยนำมาหาค่าคะแนนประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าด้วยการวิเคราะห์เชิงล้อมกรอบข้อมูล กรณีมีปัจจัยไม่พึงประสงค์ด้วยวิธีผลบวกผกผัน และคัดแยกข้อมูลด้วยการจัดกลุ่มข้อมูลตามลำดับชั้น โดยกำหนดเกณฑ์จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการตัดสินใจจากผู้ประเมิน ผลการวิจัยพบว่าวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบสองขั้นตอน ทำให้สามารถคำนวณและจัดกลุ่มค่าคะแนนประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าของหน่วยงานราชการออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพต่ำ (0.0000-0.4447) กลุ่มที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพปานกลาง (0.4608-0.7993) และกลุ่มที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพสูง (0.9475-1.0000) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการกำหนดนโยบายเพื่อจัดสรรการใช้งานรถยนต์เช่าให้กับหน่วยตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับงบประมาณ

คำสำคัญ: ประเมินประสิทธิภาพ การจัดกลุ่มเชิงลำดับชั้น การวิเคราะห์เชิงล้อมกรอบข้อมูล ปัจจัยไม่พึงประสงค์

Received 27-09-2018

Revised 14-12-2018

Accepted 19-12-2018

Abstract

The objective of this research is to develop two phase technique for evaluating the efficiency of rental car usage; this technique consists of data envelopment analysis (DEA) when undesirable factors exist, and hierarchical clustering analysis (HCA). The used data were taken from the information systems of 104 government agencies and car rental companies. It consists of the cost of car rentals, the entire active distance and the cost of maintenance as a desirable factor, and the cost of car repairing after accident as an undesirable factor. When undesirable factor exists, all mentioned data were firstly evaluated by DEA with additive inverse method (ADD) and the evaluated data were further grouped by hierarchical clustering analysis. It is considerate that data grouping by using characteristics of evaluated data criterion is more effective than those using the judgment by the assessor. The results indicated that two phase technique for the efficient evaluation is able to calculate and cluster the efficiency scores on the use of rental vehicle in government agencies into three levels. These three levels include low performance scores group (0.0000-0.4447) moderate performance scores group (0.4608-0.7993) and high performance scores group (0.9475-1.0000). This efficiency data could be used for decision-making in the policy development to allocate the rental car usage for decision making unit (DMU) efficiently and worthwhile.

Keywords: Efficiency evaluation, Hierarchical clustering, Data envelopment analysis, Undesirable factor

1. บทนำ

การประเมินประสิทธิภาพเป็นเครื่องมือที่สำคัญของหน่วยงาน เพื่อให้ทราบถึงความสามารถขององค์กรในการใช้ทรัพยากรและสร้างปริมาณผลลัพธ์ โดยในหลายธุรกิจดำเนินการเพื่อให้องค์กรสามารถปรับตัวและเกิดความได้เปรียบทางการแข่งขัน ในภาครัฐบาลได้มีการกระตุ้นและส่งเสริมให้หน่วยงานราชการมีการประเมินประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นเครื่องมือในการยกระดับหน่วยงานภาครัฐสู่ระบบราชการ 4.0 ตามที่สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการได้กำหนดไว้ การประเมินประสิทธิภาพจึงถูกนำมาใช้ในหน่วยงานหลายด้าน ทั้งในด้าน

การให้บริการกับบุคคลภายนอก หรือการดำเนินการภายในหน่วย โดยเฉพาะในการปฏิบัติงานที่มีการใช้งบประมาณ เพื่อประเมินความคุ้มค่าจากการใช้งานและสามารถจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์กับหน่วยงานมากที่สุด โดยแนวทางการประเมินประสิทธิภาพที่นิยมใช้วัดผลการปฏิบัติงานอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการผลิตและการบริการ [1] คือ การวิเคราะห์เชิงล้อมกรอบข้อมูล (Data envelopment analysis; DEA) โดยวัดอัตราส่วนระหว่างผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเทียบกับปัจจัยนำเข้า ในเชิงเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (Benchmark) ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับองค์กรอื่นๆ ที่นำมาพิจารณา โดยวิธี DEA สามารถระบุได้ว่าหน่วยธุรกิจหรือหน่วย

การดำเนินการใดมีหรือไม่มีประสิทธิภาพ โดยอาศัยข้อมูลปัจจัยนำเข้าที่ต้องใช้ในการดำเนินงาน และผลลัพธ์ที่ได้รับจากกระบวนการ เพื่อคำนวณค่าคะแนนประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ โดยตัวแบบ Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) เป็นตัวแบบแรกของวิธี DEA ที่พัฒนาโดย Charnes, Cooper and Rhodes [2] เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical efficiency; TE) ของกระบวนการที่มีปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์หลายปัจจัยภายใต้ข้อสมมติผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ ผลจากการประเมินจะได้ค่าคะแนนประสิทธิภาพที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งหน่วยงานที่มีประสิทธิภาพสูงควรมีค่าคะแนนประสิทธิภาพเข้าใกล้ 1 และหน่วยงานที่มีประสิทธิภาพต่ำจะมีค่าคะแนนประสิทธิภาพเข้าใกล้ 0 และ โดยการประเมินประสิทธิภาพส่วนใหญ่เป็นแนวทางที่มุ่งเน้นการลดปัจจัยนำเข้าและการเพิ่มผลลัพธ์ รวมถึงการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าส่วนที่เกินและผลลัพธ์ส่วนที่ขาด [3] แต่ในการประเมินประสิทธิภาพในด้านการขนส่งหรือการบริการของหน่วยงานภาครัฐ เช่น การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่า พบว่าข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์บางปัจจัยเป็นปัจจัยไม่พึงประสงค์ เช่น มลพิษจากการดำเนินงาน [4] อุบัติเหตุจากการขนส่ง [5] ดังนั้นการใช้วิธี DEA ที่มุ่งเน้นการเพิ่มผลลัพธ์จากการดำเนินงาน อาจจะไม่เหมาะสมกับการดำเนินงานด้านการขนส่ง จึงจำเป็นต้องปรับปรุงแบบการใช้วิธี DEA ให้ครอบคลุมปัจจัยไม่พึงประสงค์ และเพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพสามารถนำมาบริหารจัดการวางแผน และจัดทำกลยุทธ์การใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องจัดกลุ่มข้อมูลตามประสิทธิภาพในการใช้งานของหน่วยงาน ซึ่ง

โดยทั่วไปการจัดกลุ่มข้อมูลจะใช้การตัดสินใจตามเกณฑ์ที่ผู้ประเมินกำหนด ทำให้ผลของการจัดกลุ่มข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อเท็จจริงที่มาจากการใช้งาน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบสองขั้นตอน โดยการพัฒนาตัวแบบการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธี DEA ในกรณีมีปัจจัยไม่พึงประสงค์ (Undesirable DEA method) และใช้เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลตามลำดับชั้น (Hierarchical cluster analysis; HCA) เพื่อจัดกลุ่มของข้อมูลตามค่าคะแนนประสิทธิภาพ โดยอาศัยความเหมือนกันหรือคล้ายกันของข้อมูลระหว่างกลุ่ม (Cluster Similarity) ทำให้การจัดกลุ่มมีมาตรฐานมากขึ้น โดยนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการขนส่ง โดยเฉพาะการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่า ให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการกำหนดนโยบายและแนวทางปฏิบัติเพื่อจัดสรรการใช้งานรถยนต์เช่าให้มีความเหมาะสมและคุ้มค่ากับงบประมาณที่ใช้ไป โดยการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าแบบสองขั้นตอน ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงล้อมกรอบข้อมูลกรณีตัวแบบมีปัจจัยไม่พึงประสงค์ และการจัดกลุ่มตามลำดับชั้น

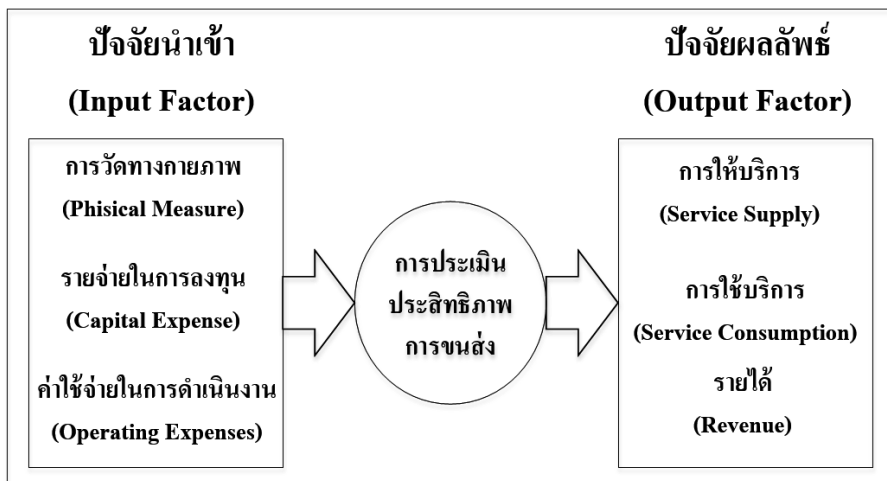
2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

วิธี DEA ได้นำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของหน่วยงาน และประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการผลิตผลลัพธ์จากปัจจัยนำเข้า โดยเฉพาะทางเศรษฐศาสตร์และทางธุรกิจ ตั้งแต่ปี 1994 ตัวอย่างเช่น การประเมินประสิทธิภาพในเครือข่ายการผลิตของหน่วยตัดสินใจที่มีความเกี่ยวข้องกัน [6] หรือการประเมิน

การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพตามช่วงเวลา [7] และต่อมาได้นำมาใช้ประเมินประสิทธิภาพของหน่วยงานราชการ [8] หน่วยงานที่ไม่หวังผลกำไร [9] หน่วยงานทางการศึกษา [10] และหน่วยงานบำรุงรักษาในกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา [11] เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ (Output) กับปัจจัยนำเข้า (Input) ที่ใช้ในการผลิต โดยเปรียบเทียบกับหน่วยตัดสินใจ (Decision making unit; DMU) ซึ่งเป็นหน่วยที่ทำหน้าที่เปลี่ยนปัจจัยนำเข้าให้เป็น

ผลลัพธ์ทั้งตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variables) และตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variables) ที่เน้นการลดปัจจัยนำเข้า หรือใช้ปัจจัยนำเข้าให้น้อยที่สุด (Input-oriented CCR model) และเน้นการเพิ่มผลลัพธ์ให้ได้มากที่สุด (Output-oriented CCR model) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ ระดับการผลิตที่กำหนด [12] นอกจากนี้วิธี DEA สามารถนำมาประยุกต์กับงานด้านการขนส่ง [13] โดยมีปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ของการประเมินประสิทธิภาพการขนส่ง

สำหรับงานด้านโลจิสติกส์ทั้งในภาคการบริการและการขนส่ง การประเมินประสิทธิภาพด้วยการลดระดับของปัจจัยนำเข้า หรือเพิ่มระดับของผลลัพธ์อาจไม่เหมาะสม โดยเฉพาะในกรณีที่ผลลัพธ์จากการดำเนินงานมีปัจจัยไม่พึงประสงค์ เช่น ควันพิช หรือ อุบัติเหตุจากการขนส่ง [5] จึงมีงานวิจัยเสนอแนะแนวทางในกระบวนการที่มีปัจจัยพึงประสงค์และปัจจัยไม่พึงประสงค์หลายแนวทาง [14] โดยแนวทางที่นิยมใช้ คือ วิธีผลบวกผกผัน (Additive inverse; ADD) โดยปรับผลลัพธ์ที่ไม่พึงประสงค์ให้

เป็นค่าลบ [15] ด้วยฟังก์ชัน $-U$ สามารถแสดงในรูปของเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} Y \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^s \\ \bar{Y}^b \\ X \end{bmatrix} \quad \text{โดย } \bar{y}_j^b = -y_j^b \quad (1)$$

y^s คือ ปัจจัยผลลัพธ์พึงประสงค์

y^b คือ ปัจจัยผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์

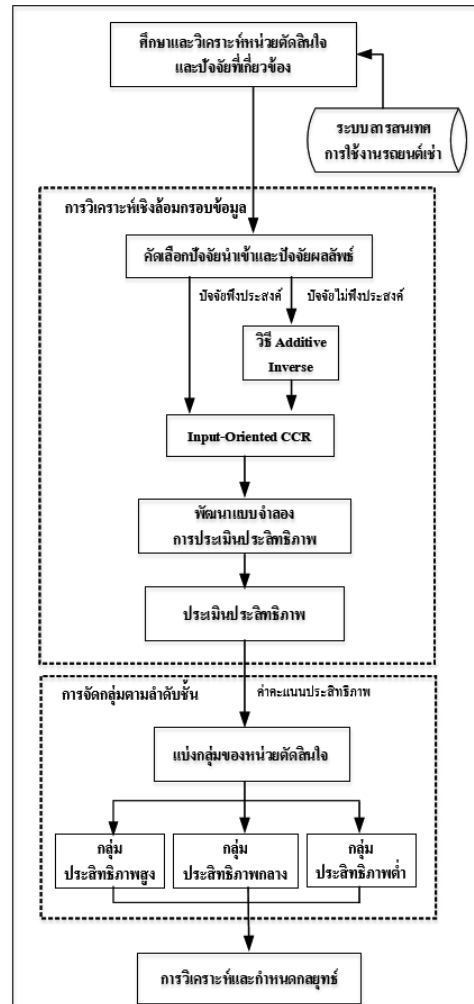
$\bar{Y}^b$ คือ ปัจจัยผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์ที่ปรับค่าด้วยวิธีผลบวกผกผัน

และเพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์และใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ จึงทำการคัดแยกข้อมูลโดยอาศัยความเหมือนกันของข้อมูลระหว่างกลุ่มน้อยที่สุด (Inter-cluster similarity) จนถึงมากที่สุด (Intra-cluster similarity) [16] ด้วยการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลตามลำดับชั้น (Hierarchical Clustering analysis; HCA) ที่เหมาะสมกับข้อมูลไม่เกิน 200 จำนวน ไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มที่ต้องการและไม่ต้องทราบกลุ่มของตัวแปร โดยมีงานวิจัยที่ทำการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นของค่าประสิทธิภาพจากผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากวิธีวิเคราะห์เชิงล้อมกรอบข้อมูล เช่น การเทียบเคียงประสิทธิภาพในการขนส่งในท่าเรือของ 77 แห่งของโลก [17] และการจัดกลุ่มในการประเมินประสิทธิภาพของหน่วยตัดสินใจในธนาคารพาณิชย์ของประเทศอิหร่าน [3]

ในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าที่มุ่งเน้นประเมินค่าเช่ารถยนต์ซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้า ด้วยการใช้วิธี Input-oriented CCR model ที่ครอบคลุมในกรณีผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์ และจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี HCA

2.2 การพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการประเมินแบบสองขั้นตอน

การวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงปริมาณที่พัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพ ในกรณีตัวแบบมีปัจจัยไม่พึงประสงค์ด้วยการใช้เทคนิคการประเมินแบบสองขั้นตอน โดยการวิเคราะห์ผล จากการพัฒนาอัลกอริทึมและสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยการใช้โปรแกรม LINGO และนำมาจัดกลุ่มด้วยโปรแกรม SPSS โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานทำวิจัย แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานของการทำวิจัย

2.2.1 การศึกษาและวิเคราะห์หน่วยตัดสินใจ กำหนดให้ DMU คือ หน่วยงานในสังกัดของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง ที่มีการใช้งานรถยนต์เช่าจากภาคเอกชน เพื่อปฏิบัติการกิจตามที่ได้รับมอบหมายใน 5 พื้นที่ที่รับผิดชอบตามกฎหมายของประเทศไทย ได้แก่ ภาคกลางและภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศของหน่วยงาน จำนวน 104 DMUs

2.2.2 คัดเลือกปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ ปัจจัยนำเข้าของงานวิจัยนี้พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่ลงทุนเพื่อใช้ในการเช่ารถยนต์เป็นค่าเช่า/เดือน ที่รวมถึงค่าประกันอุบัติเหตุ ค่าซ่อมบำรุงตามวงรอบ ตามเกณฑ์ของกระทรวงการคลัง [18] ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานประเภทหนึ่ง โดยไม่ได้นำปัจจัยการวัดทางกายภาพ และค่าใช้จ่ายที่ลงทุนเพื่อให้ได้มาซึ่งทรัพย์สินในการดำเนินการมาพิจารณาเป็นปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากเป็นการดำเนินการของทางราชการและรถยนต์เช่ายังคงเป็นกรรมสิทธิ์ของผู้ให้เช่า สำหรับปัจจัยผลลัพธ์ของงานวิจัย ซึ่งเป็นการวัดผลของการให้บริการ ได้แก่ จำนวนชั่วโมงในการใช้งาน และรายได้ของการประกอบการ ไม่นำมาพิจารณาเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากเป็นการดำเนินงานของหน่วยงานราชการที่ไม่แสวงหาผลกำไร จึงพิจารณาเฉพาะผลของการให้บริการ ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้งานทั้งหมดในแต่ละคันจากการนำไปใช้ในการปฏิบัติงาน และค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นเพื่อเทียบความคุ้มค่าด้านงบประมาณจากการลงทุนในค่าเช่ารถยนต์ ซึ่งได้แก่ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเพื่อให้รถยนต์เช่าสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องเป็นปัจจัยพึงประสงค์ และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากอุบัติเหตุ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นโดยไม่เจตนาของผู้ขับขี่ที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายทั้งทางร่างกายและทรัพย์สิน เป็นปัจจัยไม่พึงประสงค์

2.2.3 วิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองการประเมินประสิทธิภาพ การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าของหน่วยงานราชการ ที่มีการปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมาย โดยทุกหน่วยงานมีความเท่าเทียมกัน ไม่มีเงื่อนไขในการดำเนินการ และเพื่อพิจารณาปรับลดอัตราค่าเช่า

ของรถยนต์ที่เหมาะสมและเป็นไปตามการใช้งานที่เกิดขึ้นจริง โดยมีปัจจัยนำเข้า คือ ค่าเช่ารถยนต์ ผลลัพธ์พึงประสงค์จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้งานทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์ คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากอุบัติเหตุ จึงพิจารณาเลือกวิธี Input-oriented CCR model และการปรับผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์ ด้วยวิธี ADD โดยแสดงสมการเชิงเส้นใหม่ ได้ดังนี้

$$\text{Min } \theta_k - \varepsilon(s_1^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\theta_k x_{1k} = \sum_{j=1}^{104} x_{1j} \lambda_j + s_1^-$$

$$y_{1k}^g = \sum_{j=1}^{104} y_{1j}^g \lambda_j - s_1^+$$

$$y_{2k}^g = \sum_{j=1}^{104} y_{2j}^g \lambda_j - s_2^+$$

$$\overline{y_{3k}^b} = \sum_{j=1}^{104} \overline{y_{3j}^b} \lambda_j - s_3^+$$

$$0 \leq \lambda_j$$

โดยที่

θ_k คือ ค่าประสิทธิภาพการเช่ารถยนต์เช่าของหน่วยตัดสินใจที่สนใจหน่วยที่ k

x_{1k} คือ ค่าเช่ารถยนต์ของหน่วยตัดสินใจที่สนใจหน่วยที่ k

x_{1j} คือ ค่าเช่ารถยนต์ของหน่วยตัดสินใจหน่วยที่ j

y_{1k}^g คือ ระยะเวลาที่ใช้งานทั้งหมดของหน่วยตัดสินใจที่สนใจหน่วยที่ k

y_{2k}^g คือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของหน่วยตัดสินใจที่สนใจหน่วยที่ k

$\overline{y_{3k}^b}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากอุบัติเหตุของหน่วยตัดสินใจที่สนใจหน่วยที่ k

y_{1j}^g คือ ระยะทางที่ใช้งานทั้งหมดของหน่วย
ตัดสินใจหน่วยที่ j

y_{2j}^g คือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของหน่วย
ตัดสินใจหน่วยที่ j

$\overline{y_{3j}^g}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากอุบัติเหตุของ
หน่วยตัดสินใจหน่วยที่ j

s_1^- คือ ค่าปัจจัยนำเข้าส่วนเกิน (Input Slack)
ของค่าเช่ารถยนต์

s_1^+ คือ ค่าปัจจัยผลลัพธ์พึงประสงค์ส่วนที่ขาด
(Desirable Output Slack) ของระยะทางที่ใช้งาน
ทั้งหมด

s_2^+ คือ ค่าปัจจัยผลลัพธ์พึงประสงค์ส่วนที่ขาดของ
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

s_3^+ คือ ค่าปัจจัยผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์ส่วนที่ขาด
(Undesirable Output Slack) ของค่าใช้จ่ายใน
การซ่อมจากอุบัติเหตุ

λ_j คือ ค่าถ่วงน้ำหนักอ้างอิงให้กับหน่วยตัดสินใจ
หน่วยที่ j

$\mathcal{E}$ คือ ค่าตัวเลขที่มีขนาดเล็กมาก

k คือ หน่วยตัดสินใจที่ต้องการวิเคราะห์

j คือ ลำดับของหน่วยตัดสินใจ

2.2.4 ประเมินประสิทธิภาพ โดยการนำ

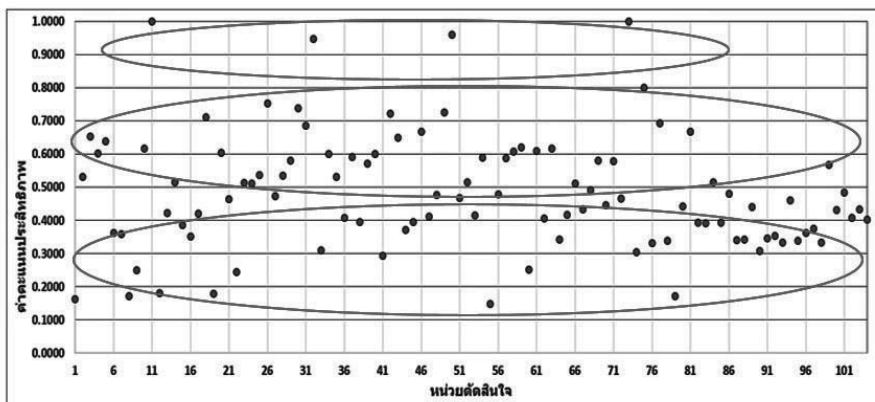
สมการเชิงเส้นใหม่จากการพัฒนาแบบจำลอง
การประเมินประสิทธิภาพ มาเขียนโปรแกรม LINGO
เพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนัก ปัจจัยนำเข้าส่วนเกิน
ปัจจัยผลลัพธ์ส่วนที่ขาด และค่าคะแนนประสิทธิภาพ
ของหน่วยตัดสินใจ

2.2.5 จัดกลุ่มค่าประสิทธิภาพ ด้วยวิธีการ

จัดกลุ่มตามลำดับชั้น โดยอาศัยความเหมือนกันหรือ
คล้ายกันของข้อมูลระหว่างกลุ่ม (Cluster similarity)
ตั้งแต่น้อยที่สุดจนถึงมากที่สุด และไม่จำเป็นต้อง
กำหนดจำนวนกลุ่มของข้อมูล

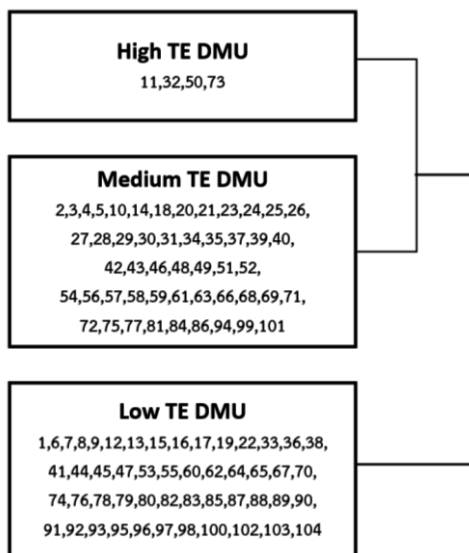
3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้งาน
รถยนต์เช่าของหน่วยตัดสินใจ จำนวน 104 หน่วย
ตัดสินใจ โดยมีปัจจัยนำเข้า คือ ค่าเช่ารถยนต์
ผลลัพธ์พึงประสงค์ ได้แก่ ระยะทางที่ใช้งานทั้งหมด
และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ผลลัพธ์ไม่พึง
ประสงค์คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมจากอุบัติเหตุ
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแสดงตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้งานรถยนต์เช่า ด้วยวิธีผลบวกถ่วง

จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนประสิทธิภาพมาคัดแยกด้วยการจัดกลุ่มข้อมูลตามลำดับชั้น (HCA) โดยใช้เทคนิคการวัดระยะห่าง (Metric) ของความเหมือนระหว่างข้อมูล เป็นเงื่อนไขในการจัดกลุ่ม ได้ออกเป็นจำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กลุ่มประสิทธิภาพต่ำ มีค่าคะแนนประสิทธิภาพตั้งแต่ 0.000-0.4447 จำนวน 50 หน่วยตัดสินใจ กลุ่มที่ 2 กลุ่มประสิทธิภาพปานกลาง มีค่าคะแนนประสิทธิภาพตั้งแต่ 0.4608-0.7993 จำนวน 50 หน่วยตัดสินใจ และกลุ่มที่ 3 กลุ่มประสิทธิภาพสูง มีค่าคะแนนประสิทธิภาพตั้งแต่ 0.9475-1.000 จำนวน 4 หน่วยตัดสินใจ แสดงผลการจัดกลุ่มตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นตามค่าคะแนนประสิทธิภาพของการใช้งานรถยนต์เช่า

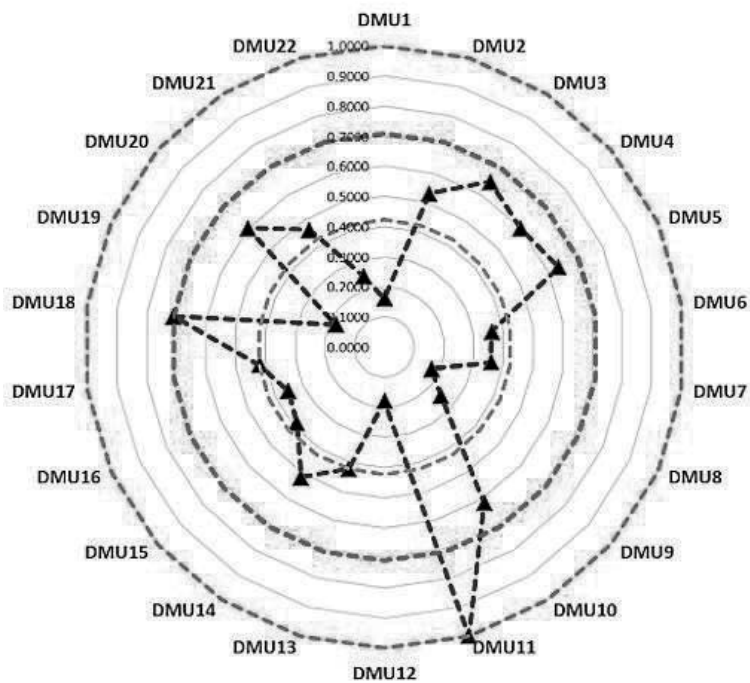
และนำผลการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นของค่าคะแนนประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่า มาดำเนินการแยกออกตามพื้นที่ที่รับผิดชอบ พบว่าหน่วยที่ใช้งานรถยนต์เช่าในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันตกทั้งหมดมีจำนวน 22 หน่วย มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง มีจำนวน 1 หน่วย การใช้งานที่มีประสิทธิภาพปานกลาง จำนวน 9 หน่วย และการใช้งานที่มีประสิทธิภาพต่ำ จำนวน 12 หน่วย ตามภาพที่ 5

หน่วยที่ใช้งานรถยนต์เช่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมดมีจำนวน 22 หน่วย มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงมีจำนวน 1 หน่วย มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพปานกลาง จำนวน 16 หน่วย และมีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพต่ำ จำนวน 5 หน่วย ตามภาพที่ 6

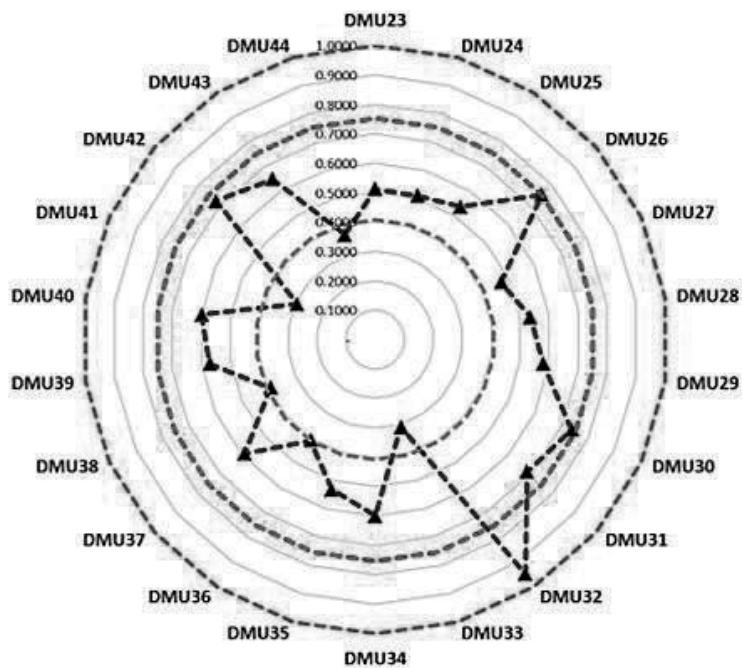
หน่วยที่ใช้งานรถยนต์เช่าในพื้นที่ภาคเหนือทั้งหมดจำนวน 23 หน่วย โดยมีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง มีจำนวน 1 หน่วย มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพปานกลาง จำนวน 13 หน่วย และมีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพต่ำ จำนวน 9 หน่วย ตามภาพที่ 7

หน่วยที่ใช้งานรถยนต์เช่าในพื้นที่ภาคใต้ทั้งหมดจำนวน 17 หน่วย แสดงตามภาพที่ 8

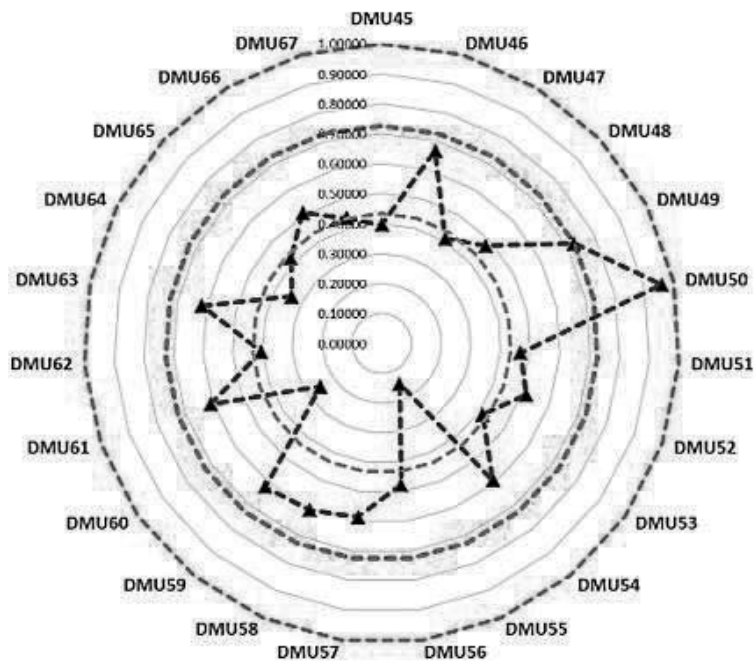
โดยมีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง จำนวน 1 หน่วย มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพปานกลาง จำนวน 8 หน่วย และมีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพต่ำ จำนวน 8 หน่วย และหน่วยที่ใช้งานรถยนต์เช่าในพื้นที่ภาคตะวันออกจำนวน 20 หน่วย โดยมีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพปานกลาง มีจำนวน 4 หน่วย การใช้งานที่มีประสิทธิภาพต่ำ จำนวน 16 หน่วย และไม่มีหน่วยที่มีประสิทธิภาพสูง จำนวน 20 หน่วย ตามภาพที่ 9



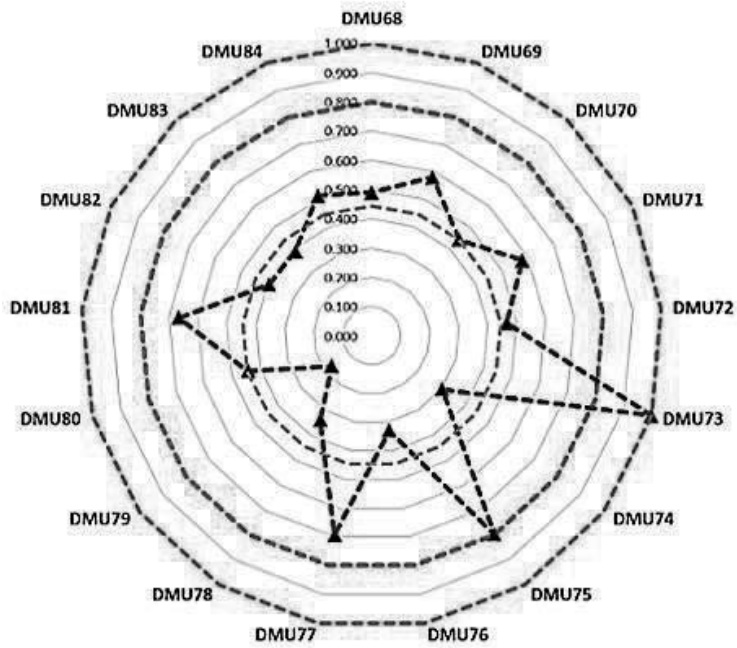
ภาพที่ 5 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก



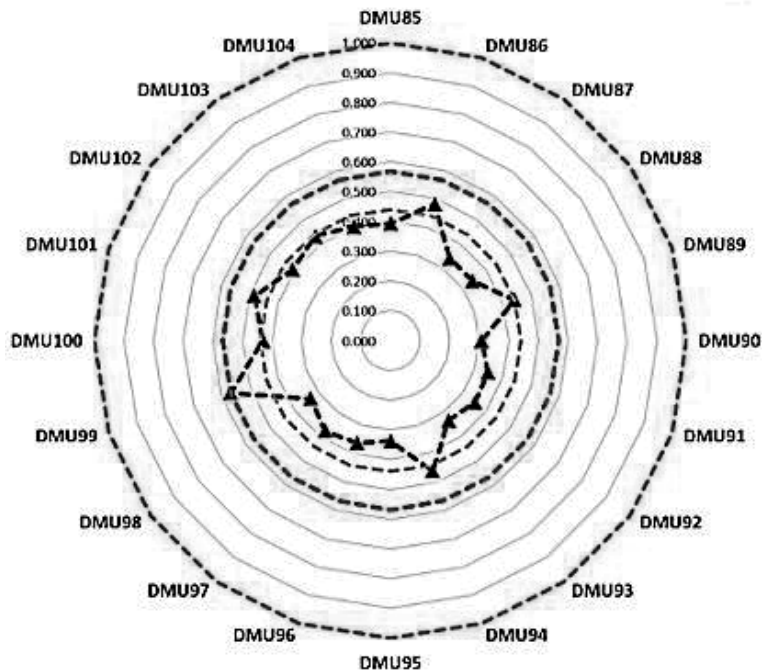
ภาพที่ 6 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 7 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 8 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลในพื้นที่ภาคใต้



ภาพที่ 9 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลในพื้นที่ภาคตะวันออก

4. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าแบบสองขั้นตอน ด้วยการวิเคราะห์เชิงลุ่มกรอบข้อมูล กรณีตัวแบบมีปัจจัยไม่พึ่งประสงค์ และการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นของหน่วยงานราชการหน่วยหนึ่งที่มีหน่วยตัดสินใจจำนวน 104 หน่วยตัดสินใจ พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มของการใช้งานด้วยการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นได้ 3 กลุ่ม ตามประสิทธิภาพของการใช้งานรถยนต์ โดยหน่วยตัดสินใจส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าปานกลาง และประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าต่ำ ซึ่งมีจำนวน 48% เท่ากัน และมีหน่วยตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่าสูง 4% เมื่อเทียบกับหน่วยตัดสินใจทั้งหมด และในแต่ละพื้นที่สามารถแบ่งการใช้งานออกเป็น 3 กลุ่มตามค่าคะแนนประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปเป็น

ข้อมูลในการกำหนดกลยุทธ์และนโยบายการจัดสรรรถยนต์เช่าเพื่อให้ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และคุ้มค่ากับงบประมาณที่ลงทุน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Liu JS, Lu LYY, Lu W-M, et al. A survey of DEA applications. Omega. 2013; 41(5):893-902.
- [2] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measurement the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research. 1978; 2:429-444.
- [3] Dalvand B, Lotfi FH, Jahanshahloo GR. Performance assessment of decision making units in different levels using a

- hierarchical clustering DEA method. *Helix*. 2017; 8:1451-1455.
- [4] Koopmans TC. *Activity Analysis of Production and Allocation*. New York: Wiley; 1951.
- [5] Djordjevic B, Krmac E, Mlinaric TJ. Non-radial DEA model: A new approach to evaluation of safety at railway level crossings. *Safety Science*. 2018; 103:234-246.
- [6] Chen CM. A network-DEA model with new efficiency measure to incorporate the dynamic effect in production networks. *Eur J Oper Res*. 2009; 194(3):687-699.
- [7] Fare R, Grosskopf S, Lindgren B, et al. Productivity developments in Swedish hospitals: A Malmquist output index approach. In: Charnes A, Cooper WW, Lewin A, Seiford L, editors. *Data envelopment analysis: theory, methodology and applications*. Boston: Kluwer Academic; 1994. P. 253-272.
- [8] Bessent AM, Bessent EW. Determining the Comparative Efficiency of Schools Through Data Envelopment Analysis. *Educ Admin Q*. 1980; 16(2): 57-75.
- [9] Banker RD. *Studies in Cost Allocation and Efficiency Evaluation* [dissertation]. Boston: Graduate School of Business Administration Harvard University; 1980.
- [10] Charnes A, Cooper WW. Auditing and Accounting for Program Efficiency and Management Efficiency in Not-For-Profit Entities. *Account Org Soc*. 1980; 5(1):87-107.
- [11] Charnes A, Clark CT, Cooper WW, et al. A developmental study of Data Envelopment Analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. Air Forces. Research Report. Texas: The University of Texas; 1983. Report No.: CCS 460. Contract No.: F49642-82-C0129.
- [12] Charnes A, Cooper WW, Lewin AY, et al. *Data Envelopment Analysis Theory, Methodology and Applications*. New York: Springer Science and Business Media; 1994.
- [13] Daraio C, Diana M, Costa FD, et al. Efficiency and effectiveness in the urban public transport sector : A critical review with directions for future research. *Eur J Oper Res*. 2016; 248:1-20.
- [14] Scheel H. Undesirable outputs in efficiency valuations. *Eur J Oper Res*. 2001; 132(2):400-410.
- [15] Berg SA, Forsund FR, Jansen ES. Malmquist indices of productivity growth during the deregulation of Norwegian Banking 1980-89. *Scand J Econ*. 1992; 211-228.
- [16] Samoilenko S, Osei-Bryson KM. Determining sources of relative inefficiency in heterogeneous samples: Methodology using Cluster Analysis, DEA and Neural Network. *Eur J Oper Res*. 2010; 206:479-487.

- [17] Wu J, Liang L, Song M. Performance Based Clustering for Benchmarking of Container Ports: An Application of DEA and Cluster Analysis Technique. Int J Comput Intell Syst. 2010; 3(6):709-722.
- [18] กระทรวงการคลัง. ที่ กค 0406.4/ว.64 อัตราค่าเช่ารถยนต์มาใช้ในราชการ; 4 กรกฎาคม 2555; 1-3.

ตัวแบบพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟ Forecasting Model for Coffee Bean Prices

วารางคณา เรียนสุทธิ์¹
Warangkhan Riansut¹

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung Campus, Thailand

Corresponding author. E-mail: warang27@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาของราคาเมล็ดกาแฟ โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 164 ค่า ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 156 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบตาม ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 8 ค่า นำมาใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบตาม ความถูกต้องของค่าพยากรณ์

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบตาม ความถูกต้องของค่าพยากรณ์

ABSTRACT

The objective of this study was to construct the appropriate forecasting model for the coffee bean prices. The data gathered from the website of Office of agricultural economics during January, 2005 to August, 2018 of 164 values were used and divided into 2 sets. The first set had 156 values from January, 2005 to December, 2017 for constructing the forecasting models by Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, and damped trend exponential smoothing method. The second set had 8 values from January to August, 2018 for comparing the accuracy of the forecasts via the criteria of the lowest mean absolute percentage error and root mean squared error. Research findings indicated that for all

Received 25-10-2018
Revised 03-12-2018
Accepted 06-12-2018

forecasting methods that had been studied, the most accurate method was damped trend exponential smoothing method.

Keywords: Coffee bean, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Damped trend exponential smoothing method, Accuracy of forecast value

1. บทนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ทำจากเมล็ดกาแฟคั่ว ซึ่งต้นกาแฟเป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea sp.* กาแฟเป็นต้นไม้ขนาดเล็กมีลักษณะเป็นพุ่มเตี้ย มีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์อาราบิก้า พันธุ์โรบัสต้า พันธุ์เอ็กเซลซ่า และพันธุ์ลิเบอริก้า ด้วยคุณสมบัติของกาแฟที่ประกอบด้วยสารคาเฟอีน มีสรรพคุณช่วยชูกำลัง สามารถเพิ่มความกระชุ่มกระชวย กระปรี้กระเปร่าให้แก่ร่างกาย ทำให้กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมในการบริโภคเป็นกิจวัตรประจำวัน ทั้งตอนเช้า ตอนบ่าย และการประชุมต่างๆ [1] นอกจากนี้ กาแฟยังเป็นผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยที่มีการส่งออกมากเป็นอันดับที่ 6 ของโลก เชื่อกันว่ากาแฟถูกค้นพบครั้งแรกตั้งแต่สมัยศตวรรษที่ 9 โดยเด็กเลี้ยงแพะชาวเอธิโอเปีย ชื่อคาลดี จากการสังเกตพบว่า แพะดูกระปรี้กระเปร่าขึ้นเมื่อกินเมล็ดกาแฟ หลังจากนั้นได้มีการแพร่หลายเข้าสู่ทวีปยุโรปและอเมริกา จนกลายเป็นที่นิยมกันไปทั่วโลก [2] จากการศึกษาราคาเมล็ดกาแฟเฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรย้อนหลังตั้งแต่ปี 2548 ถึงปัจจุบัน พบว่า ราคาเมล็ดกาแฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [3] เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาจมีคำถามว่าแนวโน้มของราคาจะยังคงเพิ่มขึ้นเช่นนี้ตลอดไปหรือไม่ การพยากรณ์ทางสถิตินับเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยตอบคำถามนี้ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเริ่มสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟโดย

ใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งพบว่า ยังไม่เคยมีนักวิจัยท่านใดได้ทำการพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟไว้เลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เนื่องจากได้พิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลแล้วพบว่า วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากกว่าวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ หลังจากที่ได้ตัวแบบพยากรณ์แล้ว ผู้วิจัยจะคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 1 ตัวแบบ ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error, MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean squared error, RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนการปลูก ซึ่งจะส่งผลต่อการตัดสินใจ การบริหารการจัดการด้านความเสี่ยงต่างๆ และยังช่วยในการประเมินการคาดการณ์ราคาเมล็ดกาแฟล่วงหน้าได้อีกด้วย

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาเมล็ดกาแฟผลละ (บาท/กิโลกรัม) ซึ่งเป็นราคาสินค้าเกษตรกลุ่มไม่ยืนต้นที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา อนุกรมเวลาที่นำมาศึกษาได้มาจากเว็บไซต์ของ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [3] ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 164 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 156 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 3 วิธี ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 8 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

2.1 การพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method)

การพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล มีตัวแบบในรูปทั่วไป คือ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (1) [4] แต่ในกรณีที่อนุกรมเวลามีเพียงส่วนประกอบของแนวโน้มเท่านั้น ตัวแบบจะสามารถถูกลดรูปเหลือเพียง ARIMA(p, d, q)

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

เมื่อ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-seasonal autoregressive operator of order p , AR(p))

$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal autoregressive operator of order P , SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่ในตัวอันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-seasonal moving average operator of order q , MA(q))

$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่ในตัวอันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal moving average operator of order Q , SMA(Q))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 เมื่อ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ แสดงรายละเอียดดังนี้

1. พิจารณาอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (Auto correlation function, ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์

ในตัวอย่างส่วน (Partial autocorrelation function, PACF) หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (Non-stationary) ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or seasonal difference) การแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมสามัญหรือลอการิทึมธรรมชาติ (Common logarithm or natural logarithm) การแปลงข้อมูลด้วยเลขยกกำลัง เช่น ยกกำลัง 0.5 (Square root transformation) หรือยกกำลัง 2 (Square transformation) เป็นต้น [5]

2. กำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่ นั่นคือ กำหนดค่า p , q , P และ Q พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบพยากรณ์

3. ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4. คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian information criterion, BIC) ที่ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ $\{e_t\}$ มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน

5. พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนที่ 4

2.2 การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ (Holt's exponential smoothing method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล มีค่าคงตัวการปรับเรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าระดับ (Level: α) และค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าความชัน (Trend: γ) ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [6]

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m) \quad (2)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้มตามลำดับ โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$

α และ γ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \gamma < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียนที่ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน

2.3 การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้น โค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (Damped trend exponential smoothing method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มี
แนวโน้มแบบแดม มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มี
แนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของ
ความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการปรับเรียบ
ด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่อัตราการ
การเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มนั้นไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือ
ลดลงจะช้ากว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่เป็น
เส้นตรงของการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง
ของโฮลต์ รวมถึงความชันจะมีค่าลดลงตามเวลา
ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้ [7]

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i \quad (3)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m
แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดง
ระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ตามลำดับ
โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$,

$$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi b_{t-1}$$

α , γ และ ϕ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่
 $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$ และ $0 < \phi < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่
 n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์
สารสนเทศเบย์เซียนที่ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box
Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของ
ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหว

เป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การพิจารณาจากกราฟ
ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน

2.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องของค่า พยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่
เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ โดย
การเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE จากวิธีการ
พยากรณ์ทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการ
ปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และ
วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้ม
แบบแดม วิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE และ RMSE
ต่ำที่สุด จัดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงมี
ความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เกณฑ์
MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ [6]

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad \text{และ} \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (4)$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจาก
การพยากรณ์ ณ เวลา t

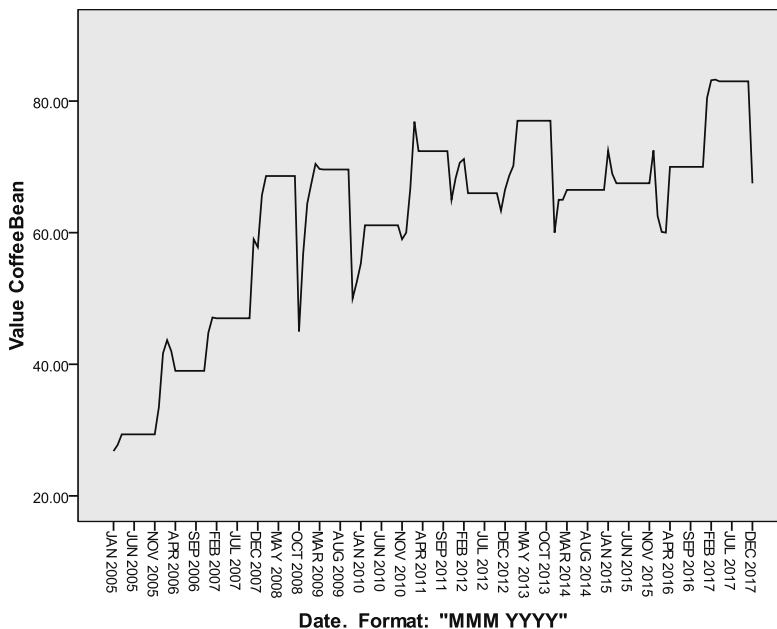
Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่
 n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของ
อนุกรมเวลาชุดที่ 1 ซึ่งคือ ราคาเมล็ดกาแฟ ตั้งแต่
เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน
156 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มี
ส่วนประกอบของแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และ
คาดว่าไม่น่าจะมีความผันแปรตามฤดูกาล



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560

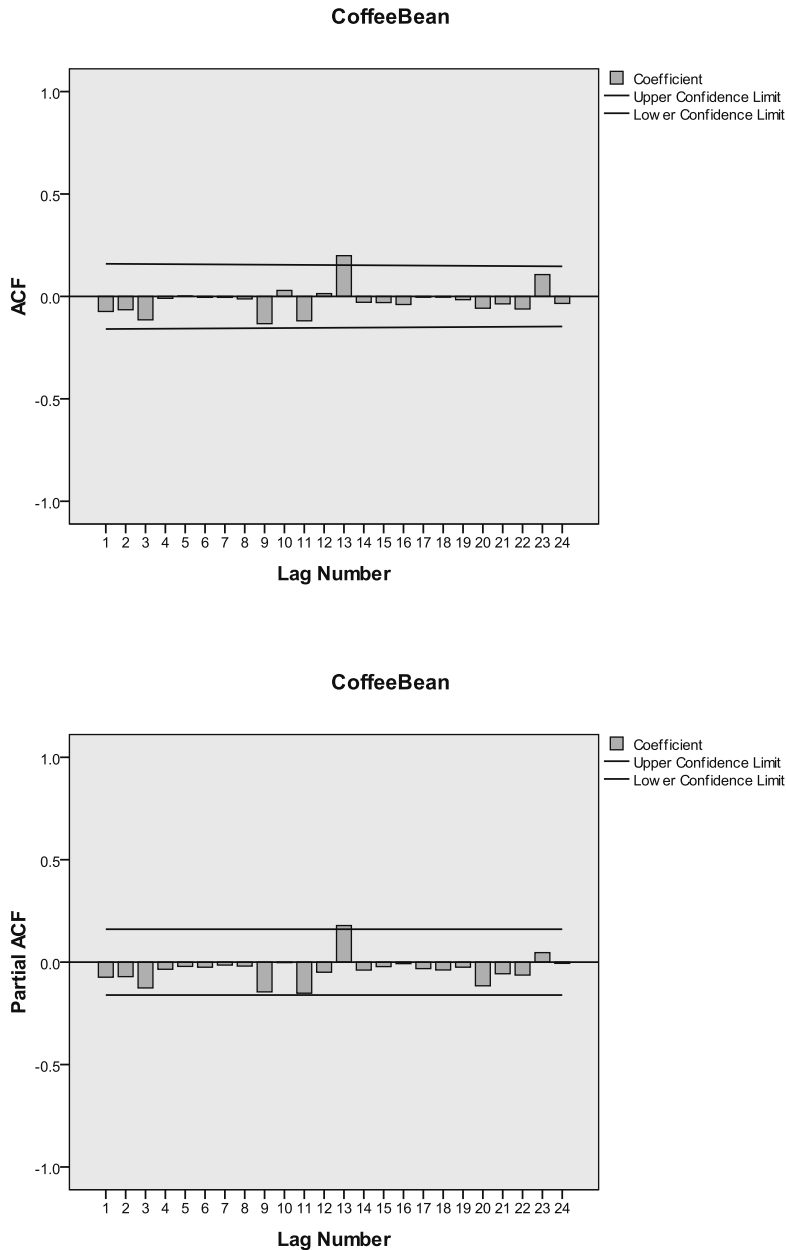
นอกเหนือจากการพิจารณารูปของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้ว ผู้วิจัยยังได้ตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและไม่มี ความผันแปรตามฤดูกาลจริงหรือไม่ ดังนี้

ราคามะลิคคาแฟในแต่ละปีไม่มีการแจกแจงปกติ แต่มีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละปี โดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) พบว่าราคาในแต่ละปี มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Kruskal-Wallis: = 126.330, p-value < 0.0001) หมายความว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มราคามะลิคคาแฟในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร (อนุกรมเวลาชุดที่ 1 มีความเหมาะสมกับตัว

แบบคูณ จึงปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร) มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric statistics) พบว่าราคาในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหาร มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (ANOVA: F = 0.335, p-value = 0.977) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล

3.1 ผลการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

เนื่องจากอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม และไม่มี ความผันแปรตามฤดูกาล ผู้วิจัยจึงกำจัดแนวโน้มออกโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 (d = 1) พร้อมกับสร้างกราฟ ACF และ PACF ได้ผลแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลา ราคา เมล็ดกาแฟ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1

จากภาพที่ 2 พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะ
คงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น
คือ ตัวแบบ AR(13) I(1) MA(13) พร้อมกับประมาณ
ค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์

ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า BIC ต่ำที่สุด (BIC
= 2.908) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญ
ที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 9.102, p-
value = 0.937) คือ ตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์

ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเอง และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95) ดังนั้นตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบได้ดังนี้

$$\begin{aligned}(1 - \phi_{13}B^{13})(1 - B)Y_t &= \varepsilon_t \\ (1 - B - \phi_{13}B^{13} + \phi_{13}B^{14})Y_t &= \varepsilon_t \\ Y_t &= Y_{t-1} + \phi_{13}(Y_{t-13} - Y_{t-14}) + \varepsilon_t\end{aligned}$$

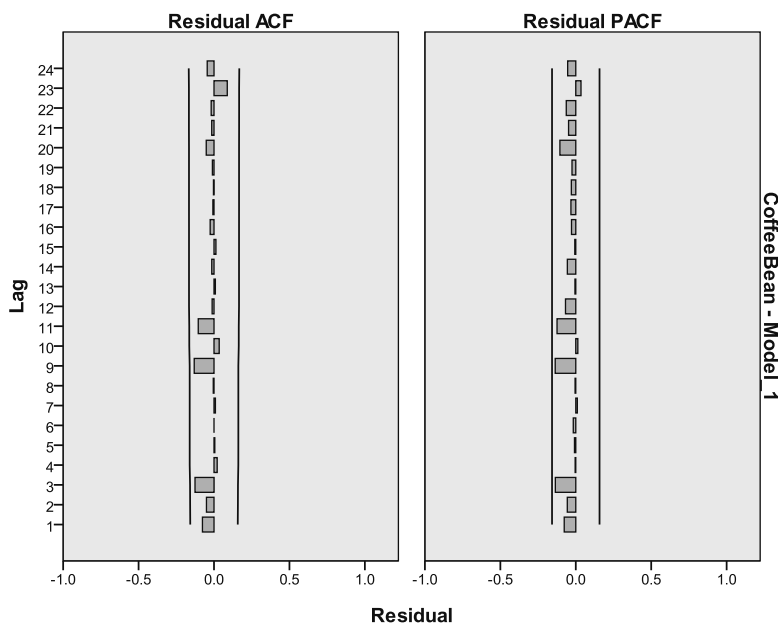
จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ BJ แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1} + 0.216658(Y_{t-13} - Y_{t-14}) \quad (5)$$

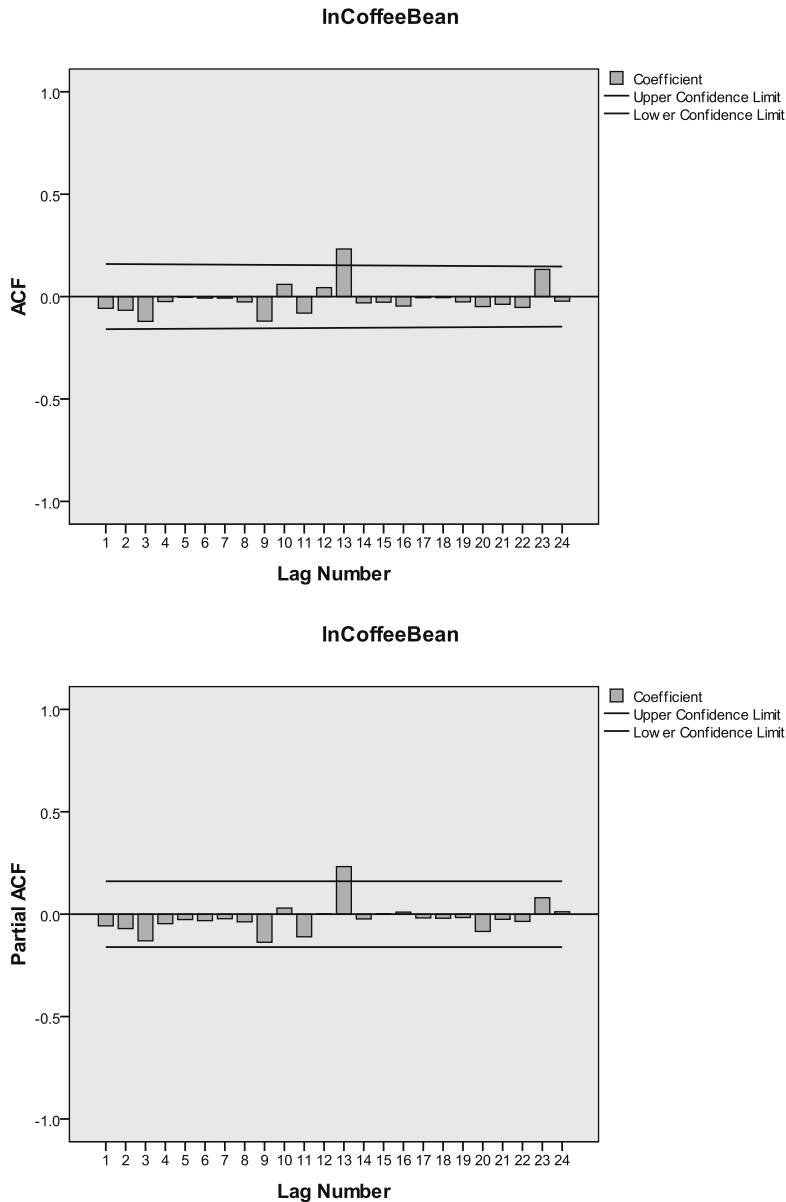
เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t - j$

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าราคาเมล็ดกาแฟจะไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล แต่ถ้าพิจารณาที่ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ ดังภาพที่ 1 จะพบว่า ราคาจะมีความผันผวนมากในบางปี ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงทดลองแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm, ln) และหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) พร้อมกับสร้างกราฟ ACF และ PACF ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว



ภาพที่ 4 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ และการหาผลต่างลำดับที่ 1

จากภาพที่ 4 พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ AR(13) I(1) MA(13) พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์

ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า BIC ต่ำที่สุด (BIC = -5.272) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 8.416, p-value = 0.957) คือ ตัวแบบ AR(13)I(1) ไม่มีพจน์

ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังภาพที่ 5 ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95) ดังนั้นตัวแบบ AR(13) I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) และสมการที่ (5) สามารถเขียนเป็นแบบได้ดังนี้

$$Z_t = Z_{t-1} + \phi_{13}(Z_{t-13} - Z_{t-14}) + \varepsilon_t; Z_t = \ln(Y_t)$$

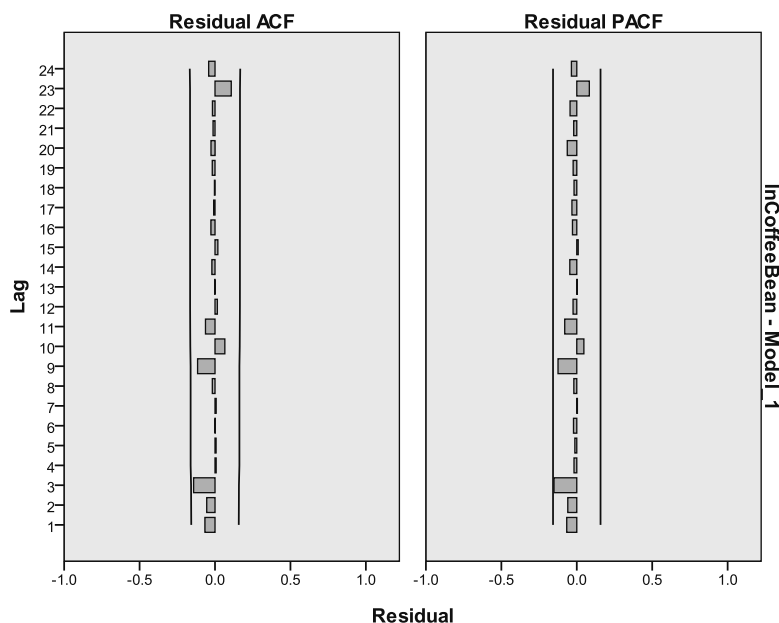
จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ BJLN แสดงดังนี้

$$\hat{Z}_t = Z_{t-1} + 0.255742(Z_{t-13} - Z_{t-14}) \quad \text{หรือ}$$

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{Z_{t-1} + 0.255742(Z_{t-13} - Z_{t-14})\} \quad (6)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

Z_{t-j} แทนลอการิทึมธรรมชาติของอนุกรมเวลา ณ เวลา t - j



ภาพที่ 5 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน จากการพยากรณ์ โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ AR(13)I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ

3.2 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ พบว่า BIC มีค่า

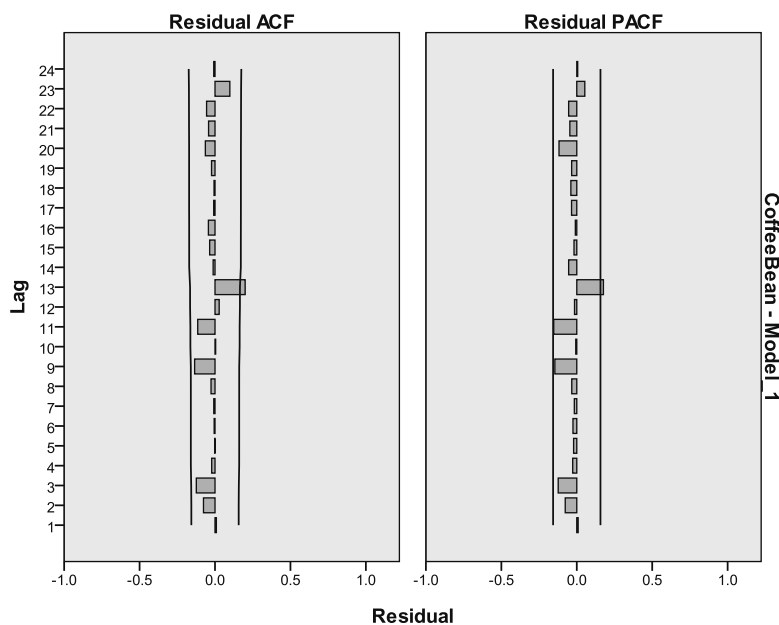
เท่ากับ 2.976 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 16.539, p-value = 0.416) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังภาพที่ 6 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นช่วงเวลาที่ 13 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนเกินจากขอบเขตเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลเสียแต่อย่างใดเนื่องจากเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อน

ช่วงเวลาที่ t กับความคลาดเคลื่อนช่วงเวลาที่ $t - 13$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 69.071297 + 0.251499m \quad (7)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนเดือนมกราคม 2561



ภาพที่ 6 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

3.3 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกพบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 3.015 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q

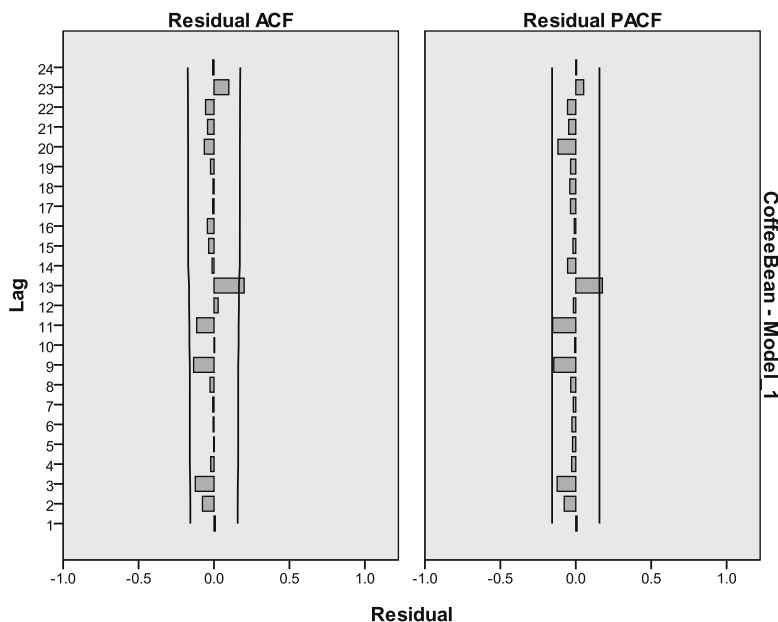
ที่ lag 18 = 16.558, p-value = 0.346) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ดังภาพที่ 7 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่

ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นช่วงเวลาที่ 13 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนเกินจากขอบเขตเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลเสียแต่อย่างใด เนื่องจากเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อน ช่วงเวลาที่ t กับความคลาดเคลื่อนช่วงเวลาที่ $t - 13$) ดังนั้น ตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม

ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 69.062928 + 0.218322 \sum_{i=1}^m (0.999540)^i \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนเดือนมกราคม 2561



ภาพที่ 7 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

3.4 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ในสมการที่ (5) และสมการที่ (6) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ในสมการที่ (7) และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ในสมการที่ (8) ได้ค่าพยากรณ์สำหรับอนุกรมเวลาชุดที่ 2 ซึ่งคือ ราคาเมล็ดกาแฟ

ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 แสดงดังตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ พบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากมีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด หรือให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด โดยวิธีการพยากรณ์นี้มีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ร้อยละ 2.7775

(MAPE = 2.7775) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 1.9535 บาท/กิโลกรัม (RMSE = 1.9535) ซึ่งทั้ง 2 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ให้ผลเป็นไปในทิศทาง

เดียวกัน จึงทำให้หน้าเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้นว่าวิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

ตารางที่ 1 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของราคาเมล็ดกาแฟ (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 ค่า MAPE และ RMSE ของวิธีการพยากรณ์ที่ศึกษา

ช่วงเวลา	ราคาเมล็ดกาแฟ	ราคาเมล็ดกาแฟ จากการพยากรณ์โดยวิธี			
		BJ	BJLN	โพลต์	แฉก
ม.ค. 2561	70.95	67.50	67.50	69.32	69.28
ก.พ. 2561	70.79	69.77	69.96	69.57	69.50
มี.ค. 2561	68.21	70.35	70.54	69.83	69.72
เม.ย. 2561	68.21	70.37	70.56	70.08	69.94
พ.ค. 2561	68.21	70.32	70.51	70.33	70.15
มิ.ย. 2561	68.21	70.32	70.51	70.58	70.37
ก.ค. 2561	68.21	70.32	70.51	70.83	70.59
ส.ค. 2561	68.21	70.32	70.51	71.08	70.81
MAPE		3.1204	3.2957	2.9688	<u>2.7775</u>
RMSE		2.2345	2.3624	2.1043	<u>1.9535</u>

เมื่อใช้วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกในการพยากรณ์ราคาเมล็ดกาแฟ ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม 2561 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ราคาเมล็ดกาแฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ค่าพยากรณ์ของราคาเมล็ดกาแฟ (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม 2561

ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์
ก.ย. 2561	71.02	พ.ย. 2561	71.46
ต.ค. 2561	71.24	ธ.ค. 2561	71.67

การศึกษานี้ได้พิจารณาวิธีการพยากรณ์ที่หลากหลายวิธีนอกเหนือจากวิธีบอกซ์-เจนกินส์

วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโพลต์ และวิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ได้แก่ วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียงด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม (ระหว่างโพลต์และแฉก) ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์พบว่า วิธีการเหล่านี้ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากบางวิธีมีค่าสถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 อีกทั้งยังมีค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2 สูงกว่าวิธีพยากรณ์ที่ศึกษา รายละเอียดผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 3

การเปลี่ยนแปลงของราคาเมล็ดกาแฟอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น สถานการณ์การผลิต สถานการณ์ตลาด ปริมาณความต้องการบริโภค ภายในและต่างประเทศ สภาวะเศรษฐกิจ การนำเข้า และส่งออกระหว่างประเทศ หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงควรพิจารณาตัวแปรเหล่านี้เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการสร้างเป็น ตัวแบบถดถอย (Regression model) ซึ่งผู้อ่านสามารถศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบลักษณะนี้ได้จาก Montgomery et. al. [8] อีกทั้งเมื่อมีราคาเมล็ดกาแฟที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น

ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบ เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ค่าในอนาคตต่อไป

การศึกษาครั้งต่อไปอาจนำอนุกรมเวลา ราคาเมล็ดกาแฟมาพิจารณาในลักษณะของฟังก์ชันอนุกรมเวลา โดยแบ่งราคาเมล็ดกาแฟออกเป็น 3 ระดับ คือ ราคาต่ำ ราคาปานกลาง และราคาสูง แล้วใช้ฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) เช่น Triangular membership function ในการวิเคราะห์แนวโน้มของอนุกรมเวลา

ตารางที่ 3 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของราคาเมล็ดกาแฟ (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 ค่า MAPE และ RMSE ของวิธีการพยากรณ์อื่นๆ

ช่วงเวลา	ราคา เมล็ด กาแฟ	ราคาเมล็ดกาแฟ จากการพยากรณ์โดยวิธี						
		บรวาน ¹	ฤดูกาล อย่างง่าย	วินเทอร์ บวก	วินเทอร์ คูณ	พยากรณ์ รวม ²	พยากรณ์ รวม ³	พยากรณ์ รวม ⁴
ม.ค. 2561	70.95	69.50	70.19	74.02	78.17	69.64	70.28	73.77
ก.พ. 2561	70.79	66.57	71.98	75.82	80.86	71.79	73.70	77.35
มี.ค. 2561	68.21	63.64	71.71	75.54	81.05	74.58	78.18	82.06
เม.ย. 2561	68.21	60.70	72.22	76.06	81.23	76.72	81.60	85.65
พ.ค. 2561	68.21	57.77	72.22	76.06	79.95	79.51	86.07	90.34
มิ.ย. 2561	68.21	54.84	72.22	76.06	79.16	81.65	89.49	93.93
ก.ค. 2561	68.21	51.91	72.22	76.06	78.60	83.80	92.90	97.51
ส.ค. 2561	68.21	48.97	72.22	76.06	78.14	85.94	96.32	101.10
MAPE		14.0925	4.6574	9.9628	15.6686	13.7727	21.7586	27.5515
RMSE		11.2977	3.4378	7.0390	10.9083	11.0760	17.5318	21.3244

¹ มีค่าสถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 31.828, p-value = 0.016)

² พยากรณ์รวมภายใต้ตัวแบบ $\hat{Y}_t = b_0 + b_1 \text{ Holt} + b_2 \text{ Damped}$

³ พยากรณ์รวมภายใต้ตัวแบบ $\hat{Y}_t = b_1 \text{ Holt} + b_2 \text{ Damped}$

⁴ พยากรณ์รวมภายใต้ตัวแบบ $\hat{Y}_t = w_1 \text{ Holt} + w_2 \text{ Damped}$ โดยที่ $w_i = b_i / (b_1 + b_2)$

4. สรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาเมล็ดกาแฟ โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 164 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 156 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ชุดที่ 2 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2561 จำนวน 8 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉกเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

5. อ้างอิง

- [1] วราภรณ์ กิตติวิบูลย์. ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกาแฟคั่วและบด. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว 2557; 30(1): 55-73.
- [2] กาแฟ. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ม.ป.ป. [เข้าถึงเมื่อ 4 ตุลาคม 2561]. เข้าถึงจาก: <http://www.anatomy.dent.chula.ac.th/coffee.html>
- [3] ราคาสินค้าเกษตรที่เกษตรกรขายได้ ณ โรงนา. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. [เข้าถึงเมื่อ 2 ต.ค. 2561]. จาก: [http://www.oae.go.th /view /1/ดัชนีราคาและผลผลิต/TH-TH](http://www.oae.go.th/view /1/ดัชนีราคาและผลผลิต/TH-TH)
- [4] Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 1994.
- [5] Bowerman BL, O'Connell RT. Forecasting and Time Series: An Applied Approach. 3rd ed. California: Duxbury Press; 1993.
- [6] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ; 2548.
- [7] มุกดา มั่นมินทร์. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ: โพธิ์พินิจ; 2549.
- [8] Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. Introduction to Linear Regression Analysis. 4th ed. New York: John Wiley and Sons; 2006.

กลไกการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติสำหรับคำถามแบบปรนัย
โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบออนโทโลยี
Automatic Quiz Generation Mechanism for Multiple Choices Question
by Applying Ontological Data

ศศิธร หนุทอง^{1*}, สุนทร วิทสุรพจน์², เบญจพร หนุทอง³
Sasitorn Nuthong^{1*}, Suntorn Witosurapot², Benjaporn Nuthong³

¹วิทยาลัยการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

²ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 11/1 ภูเก็ต กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

¹College of Computing, Prince of Songkla University, Phuket Campus, Thailand

²Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand

³Regional Medical Sciences Center 11/1 Phuket, Department of Medical Sciences, Thailand

*Corresponding author. Tel.: 08 4750 2298, E-mail: sasitorn.n@phuket.psu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบการสร้างแบบทดสอบเป็นระบบที่มีความสำคัญมากในด้านการศึกษา เนื่องจากช่วยในการประเมินความรู้ความเข้าใจในบทเรียนของนักเรียน รวมทั้งยังช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างแบบทดสอบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว แต่ระบบการสร้างแบบทดสอบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยังมีข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการสร้างข้อคำถาม ซึ่งยังเป็นการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบด้วยผู้ใช้งานเองทั้งหมด ทำให้ต้องสิ้นเปลืองเวลาในการสร้างแบบทดสอบเป็นเวลานาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอกลไกในการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติสำหรับคำถามแบบปรนัย โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบออนโทโลยี เพื่อนำมาใช้ในการประเมินระดับความยากง่ายของคำถาม โดยใช้วิธีการวัดค่าความคล้ายคลึงแบบลูกผสมด้วยการผสมระหว่างเทคนิควิธีการวัดค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมาย ความสัมพันธ์เชิงความหมาย และค่าคุณสมบัติของข้อมูล เพื่อนำมาคำนวณหาค่าระดับความยากง่ายของคำถาม จากนั้นจึงนำกลไกที่นำเสนอมาประยุกต์ใช้งานโดยใช้เครื่องมือ RDFS และ การเขียนโปรแกรม PHP เพื่อสร้างหน้าจอสำหรับรับข้อมูลเข้าจากผู้ใช้งาน และการแสดงผลพื้ในการสร้างแบบทดสอบตามที่ถูกผู้ใช้งานกำหนดข้อมูลตั้งต้นขึ้น รวมทั้งได้มีการประเมินค่าความถูกต้องของกลไกที่นำเสนอเพื่อยืนยันความถูกต้องของประสิทธิภาพการทำงานของกลไก โดยการเปรียบเทียบผลการประเมินระดับความยากของคำถามที่สร้างขึ้นโดยกลไกที่นำเสนอนี้กับผลการหาความยากด้วยทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบจากการทำแบบทดสอบด้วยมนุษย์ ซึ่งพบว่ากลไกที่นำเสนอนี้สามารถให้ค่าผลลัพธ์ที่สอดคล้องตรงกับการประเมินระดับความยากด้วยมนุษย์เป็นร้อยละ 80 ดังนั้นกลไกการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติที่นำเสนอนี้จึง

สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบทดสอบให้กับผู้ใช้งานได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ลดระยะเวลาในการทำงาน รวมทั้งเพิ่มจำนวนการสร้างข้อคำถามแบบปรนัยให้มีความหลากหลาย และสามารถกำหนดระดับความยากของคำถามที่ต้องการได้ด้วย

คำสำคัญ: ระบบการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติ คำถามแบบปรนัย ออนโทโลยี ความคล้ายคลึงเชิงความหมาย ความสัมพันธ์เชิงความหมาย

ABSTRACT

Quiz generation system is a very important system in education. This helps to assess students' understanding of the lesson, and also allows users to easily and quickly create the test. However, the existing system of creating quizzes has limitation to the ability for creating a question, which is also entered by the user themselves. As a result, it takes time to create a test for a long time. Therefore, this research aims to provide a mechanism for the creation of automatic quiz generation mechanism for multiple choices question by applying ontological information to assess the difficulty level of the questions. The hybrid similarity was measured using a combination of semantic similarity, semantic relatedness, and property values to determine the difficulty level of the question. Then, the proposed mechanism was implemented using the RDFaCE tool and PHP program to create an interface for user input and displaying results in the creation of quiz based on user-defined data. In addition, the proposed mechanism was validated to confirm the accuracy of the mechanism's performance. By comparison, the difficulty score derived from the proposed mechanism and the item response theory. The evaluation results were consistent with 80 %. Therefore, the proposed automatic quiz generation mechanism can be applied as a tool to quickly and easily create quizzes and reduce the time of the work, including the creation of an increasing number of multiple choices question which are diverse. This method can also determine the difficulty level of the questions as required.

Keywords: Automatic quiz generation, Multiple choices question, Ontology, Semantic similarity, Semantic relatedness

1. บทนำ

ระบบการสร้างแบบทดสอบ (Quiz generation) เป็นระบบที่มีความสำคัญมากระบบหนึ่งในด้านการศึกษา เนื่องจากสามารถใช้ใน

การประเมินผลการเรียนของนักเรียนได้ว่ามีความเข้าใจในบทเรียนมากน้อยเพียงใด หรือยังขาดความรู้ความเข้าใจในด้านใดบ้าง แต่ระบบการสร้างแบบทดสอบที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นยังมีข้อจำกัดเรื่อง

ความสามารถในการสร้างจำนวนคำถามได้เพียงจำนวนจำกัด โดยเป็นการสร้างคำถามแบบ 1 ต่อ 1 ตามที่ผู้สอนป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบเท่านั้น จึงทำให้เกิดความยุ่งยาก และสิ้นเปลืองเวลาที่ใช้ในการทำงานมาก [1]

ในปัจจุบันจึงมีงานวิจัยด้านการสร้างแบบทดสอบมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการเรียนการสอนและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สอน แต่ระบบที่มีอยู่นั้นยังมีข้อจำกัด คือ สามารถสร้างข้อคำถามได้เพียง 2 - 3 ข้อเท่านั้น เช่น Lin C. et al. [2] นำเสนอการกำหนดระดับความยากของคำถาม โดยใช้การวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมาย (Semantic similarity) แบบ Feature-Based ซึ่งสามารถสร้างคำถามได้เพียง 3 ข้อ Rey GÁ, et al. [3] นำเสนอวิธีการสร้างคำถามโดยใช้ความสัมพันธ์ของโหนดข้อมูล (Semantic relatedness) ซึ่งใช้การเลือกโหนดข้อมูลที่ต้องการนำมาสร้างเป็นคำถาม โดยสามารถสร้างคำถามได้เพียง 2 ข้อ จึงทำให้กลไกการสร้างคำถามที่มีอยู่ก่อนหน้านี้ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริงของผู้สอน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกลไกในการสร้างคำถามอัตโนมัติประเภทคำถามแบบปรนัย (Multiple choices question: MCQ) โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบออนโทโลยี ซึ่งกลไกที่นำเสนอได้นำวิธีการวัดค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมาย ค่าความสัมพันธ์เชิงความหมาย และค่าคุณสมบัติของข้อมูลเข้ามาใช้งานร่วมกัน

ออนโทโลยี (Ontology) คือ การอธิบายถึงสิ่งที่เราสนใจอย่างชัดเจน โดยนำมาใช้กับเทคโนโลยีเชิงความหมาย เพื่อให้มนุษย์และคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจความหมายของสิ่งนั้นได้ร่วมกัน [4]

ทำให้สามารถสืบค้นค่าที่มีความหมายเหมือนกันออกมาได้แม้จะมีการใช้คำที่ต่างกัน โดยออนโทโลยีมีองค์ประกอบหลายส่วน ได้แก่ คลาส (Class), อินสแตนซ์ (Instance), ความสัมพันธ์ (Relationship), คุณสมบัติ (Property), เงื่อนไข (Constraint) เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการค้นหาข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงความหมาย

การวัดค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมาย (Semantic similarity measurement) เป็นวิธีการวัดค่าความคล้ายคลึงกันของข้อมูล โดยใช้การวัดค่าความเหมือนทางด้านโครงสร้างข้อมูลและความหมายของข้อมูล [5 - 7] ซึ่งมีวิธีการวัดค่าได้ในหลายแนวทาง เช่น แบบ Structure-based, Feature-based, Information content-based และ Hybrid

สำหรับการวัดค่าความสัมพันธ์เชิงความหมาย (Semantic relatedness) เป็นการวัดค่าความเกี่ยวข้องกันของโหนดข้อมูลที่มีการเชื่อมโยงถึงกันในรูปแบบต่าง ๆ [8] โดยโหนดข้อมูลจะมีรูปแบบของการเชื่อมโยงระหว่างกันเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ การเชื่อมโยงกันโดยตรง การเชื่อมโยงกันโดยอ้อม และการไม่เชื่อมโยงถึงกัน

ในส่วน ของ ค่าคุณสมบัติของข้อมูล (Property) ใช้อธิบายลักษณะของคลาสแต่ละคลาสหรืออินสแตนซ์แต่ละตัว [4]

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งค่าระยะห่างตำแหน่ง และคุณสมบัติของข้อมูลมีผลต่อค่าความคล้ายคลึงกันของข้อมูล ซึ่งทำให้กลไกการสร้างคำถามที่นำเสนอสามารถเพิ่มจำนวนการสร้างคำถาม และกำหนดระดับความยากง่ายของคำถามตามที่ต้องการได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มี 2 กระบวนการ คือ การสร้างกลไกในการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติ และการนำกลไกที่ได้มาประเมินค่าความถูกต้อง เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของกลไกนั้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

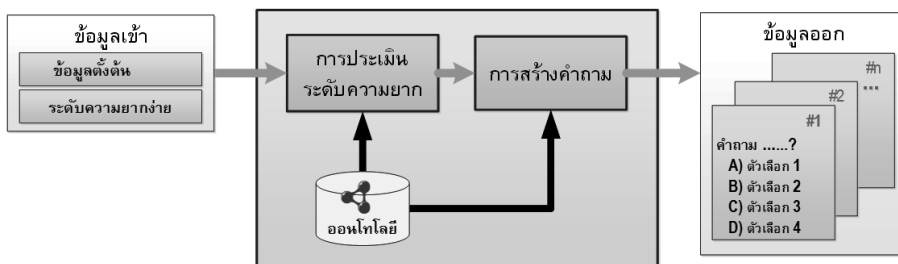
2.1 กระบวนการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติ

มีขั้นตอนการทำงานอยู่ 3 ขั้นตอน ได้แก่

1) การรับข้อมูลเข้า เป็นการรับข้อมูลเข้ามาจากผู้ใช้งาน 2 ข้อมูล คือ ข้อมูลที่ต้องการนำมาสร้างคำถาม และ ระดับความยากของคำถามที่ต้องการสร้าง

2) การสร้างแบบทดสอบ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนการทำงานย่อย คือ การประเมินระดับความยาก และการสร้างคำถาม เพื่อช่วยในการเพิ่มจำนวนการสร้างคำถามให้ได้จำนวนมากขึ้น รวมทั้งมีความหลากหลายของระดับความยากง่ายของคำถาม โดยใช้ผลการทำงานจากการประเมินระดับความยากของคำถามเข้ามาใช้งาน

3) การส่งข้อมูลออก เป็นการแสดงผลลัพธ์การสร้างคำถาม ตามข้อมูล ตั้งต้นและระดับความยากที่ผู้ใช้งานกำหนดขึ้นมาตั้งแต่แสดงแผนภาพการทำงานของกลไกในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กลไกการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติ

2.1.1 การเตรียมและรับข้อมูลเข้าจากผู้ใช้งาน

เป็นการเพิ่มข้อมูลตัวอักษรเข้าสู่ระบบด้วยผู้ใช้งานเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบทดสอบ โดยใช้โปรแกรม RDFaCE (RDFa content editor) เป็นปลั๊กอินสำหรับ TinyMCE text editor ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ไขตัวอักษรหรือข้อความต่าง ๆ บนเว็บไซต์ในรูปแบบคล้ายกับการใช้งานโปรแกรม Microsoft Word ที่สามารถทำตัวหนา ตัวเอียง ชิดซ้าย ชิดขวา

ตรงกลาง ใส่ภาพ หรือใส่ตารางได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำงานกับข้อความได้สะดวกและสวยงามมากยิ่งขึ้น [9] โดยโปรแกรม RDFaCE จะเป็นการประยุกต์สำหรับแนวความคิดแบบ WYSIWYM (What you see is what you mean) ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพของหน้าเว็บเพจที่สร้างได้ง่ายขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการอธิบายความหมายของข้อมูลบนเว็บ และแก้ไขข้อมูล ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้นี้ไปเพิ่มเข้าสู่ฐานข้อมูลของโปรแกรมในการคำนวณค่าระดับความยากของตัวเลือกต่อไป

2.1.2 การสร้างแบบทดสอบ

2.1.2.1 การประเมินระดับความยากง่าย

เป็นการคำนวณหาค่าระดับความยากของตัวลอกจากที่นำมาใช้สร้างตัวเลือกในคำถามแบบปรนัย โดยการนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ถูกต้อง โดยใช้เทคนิควิธีการคำนวณหาความคล้ายคลึงแบบลูกผสม [10] ดังแสดงในสมการ (1)

$$DIF = (SIM_{HYB} \times 0.4) + (FIL \times 0.6) \quad (1)$$

โดย

DIF คือ ค่าคะแนนระดับความยากของตัวลอกจาก
 SIM_{HYB} คือ ค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมายแบบลูกผสม โดยการเปรียบเทียบระหว่างตัวลอกจากกับคำตอบที่ถูกต้อง

FIL คือ ค่าผลการกรองข้อมูลโดยพิจารณาจากค่าคุณสมบัติของคำตอบที่ถูกต้อง

โดยค่าความคล้ายคลึงกันของข้อมูลมีค่าในช่วงตั้งแต่ 0.0 - 1.0 จึงได้มีการนำไปใช้เพื่อแบ่งช่วงของระดับความยากของคำถามออกเป็น 5 ระดับ ซึ่งหากมีค่าระดับความคล้ายคลึงกันสูง ก็จะถูกจัดให้เป็นตัวเลือกที่มีระดับความยากสูง ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความยากของคำถาม 5 ระดับ

ระดับความยาก	คะแนนความยาก (DIF)
ยากที่สุด	0.81 - 1.00
ยาก	0.61 - 0.80
ปานกลาง	0.41 - 0.60
ง่าย	0.21 - 0.40
ง่ายที่สุด	0.00 - 0.20

2.1.2.2 การสร้างคำถาม

เป็นการนำข้อมูลตั้งต้น และระดับความยากของตัวเลือกนำมาใช้สร้างเป็นคำถามขึ้นตามระดับความยากที่ต้องการ [11] โดยมีแนวทางในการสร้างคำถามใน 2 รูปแบบ คือ การเปลี่ยนคำถามและการเปลี่ยนตัวเลือกคำตอบ

ก) การเปลี่ยนคำถาม

เป็นการสร้างคำถามใหม่ขึ้นมาใหม่มีความแตกต่างกันโดยใช้ความสัมพันธ์ของข้อมูลตั้งต้นในการนำมาสร้างคำถามใหม่ ซึ่งมีอยู่ 3 แนวทาง ดังนี้

การสลับโหนดคำถาม เป็นการใช้อยู่ข้อมูลตั้งต้นตัวเดิม แต่มีการสลับโหนดคำถามเพื่อนำมาสร้างคำถามใหม่ เช่น “เมืองอะไรเป็นเมืองหลวงของประเทศไทย?” สลับโหนดเป็นคำถามว่า “ประเทศไทยมีเมืองหลวงคือเมืองอะไร?”

การใช้ข้อมูลที่คล้ายคลึงกับข้อมูลตั้งต้น เป็นการใช้ข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกับข้อมูลตั้งต้น โดยใช้คำสั่งภาษา SPARQL ในการค้นหาโหนดข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกัน โดยใช้ค่าคุณสมบัติของข้อมูลตั้งต้นนำมาค้นหาข้อมูลใหม่ [12] เช่น ค้นหาทุกข้อมูลที่มีค่าคุณสมบัติ :isCapitalOf จะได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลใหม่ที่สามารถนำมาสร้างเป็นคำถามใหม่ได้

การใช้ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลตั้งต้น เป็นการค้นหาข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลตั้งต้น โดยใช้คำสั่งภาษา SPARQL ในการค้นหาข้อมูล เช่น ค้นหาทุกข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับ Thailand เพื่อนำมาสร้างเป็นคำถามใหม่

ข) การเปลี่ยนตัวเลือก

เป็นวิธีการสร้างคำถามใหม่มีความหลากหลายมากขึ้น โดยใช้คำถามเดิม แต่เปลี่ยนแปลงตัวเลือกที่ใช้ในแต่ละข้อคำถามตาม

ระดับความยากง่ายของคำถามที่ได้มาจากผล
การประเมินระดับความยากง่ายที่กล่าวในหัวข้อ 2.1.2.1

2.1.3 การส่งข้อมูลออก

เป็นขั้นตอนที่กลไกนำผลที่ได้จาก
การทำงานในขั้นตอนข้างต้นนำมาแสดงผล
การสร้างคำถามตามข้อมูลและระดับความยากที่
ผู้ใช้งานกำหนดขึ้นมา โดยการแสดงคำถามที่ระบบ
สร้างขึ้นได้ โดยใช้โปรแกรมภาษา PHP [13] เพื่อ
แสดงผลผ่านหน้าต่าง Web user interface
เพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน

2.2 การประเมินค่าความถูกต้อง

การประเมินค่าความถูกต้อง (Accuracy
evaluation) เป็นวิธีการคำนวณหาค่าความถูกต้อง
ของกลไกที่นำเสนอ เพื่อใช้วัดประสิทธิภาพของกลไก
[14] ซึ่งค่าความถูกต้องของกลไกที่คำนวณได้นั้น
จะเป็นสัดส่วนของจำนวนคำถามที่มีผลการประเมิน
ระดับความยากตรง หรือใกล้เคียงกับผลการประเมิน
โดยการหาค่าความยากด้วยทฤษฎีการตอบสนอง

ข้อสอบ (Item response theory: IRT) ซึ่งเป็น
การทำแบบทดสอบจริงด้วยผู้เรียน [15] ดังแสดงสูตร
การคำนวณในสมการ (2)

$$Accuracy = \frac{R}{A} \quad (2)$$

โดยที่

Accuracy คือ ค่าความถูกต้องของกลไกที่นำเสนอ

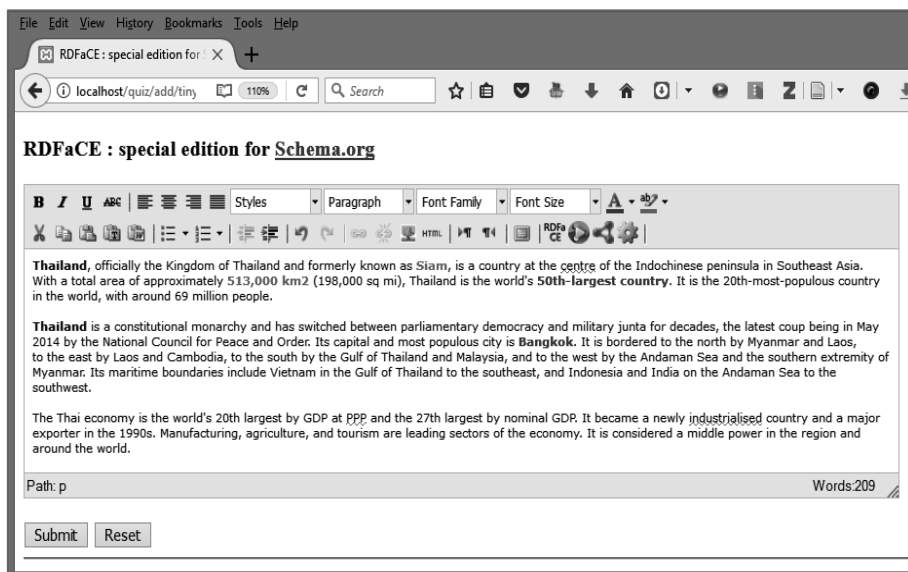
R คือ จำนวนคำถามที่มีผลการประเมินระดับ
ความยากตรงกับผลการประเมินด้วยทฤษฎี
การตอบสนองข้อสอบ

A คือ จำนวนคำถามทั้งหมด

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การนำข้อมูลเข้าจากผู้ใช้

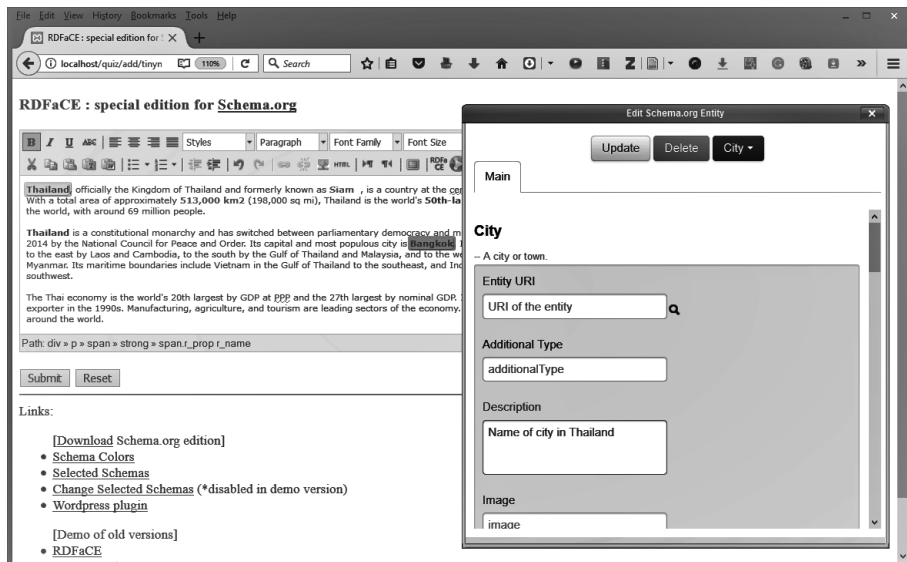
ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มข้อมูลแบบตัวอักษร
ในเรื่องที่ต้องการสร้างแบบทดสอบเข้าสู่ระบบ
ดังแสดงในภาพที่ 2



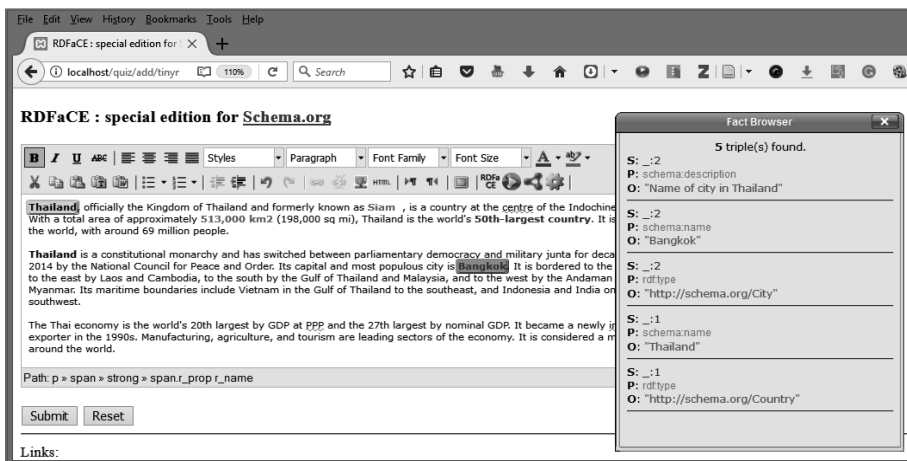
ภาพที่ 2 หน้าจอตัวอย่างการเพิ่มข้อมูลเข้าสู่ระบบ

จากนั้นผู้ใช้งานสามารถเพิ่มรายละเอียดของข้อมูลเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบได้ โดยคลิกที่ชื่อของสิ่งนั้น และเพิ่มรายละเอียดต่าง ๆ เข้าไป ดังแสดงในภาพที่ 3

โดยระบบจะแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เพิ่มเข้าสู่ระบบในรูปแบบ RDF triple (Subject-predicate-object) [4] ดังแสดงในภาพที่ 4

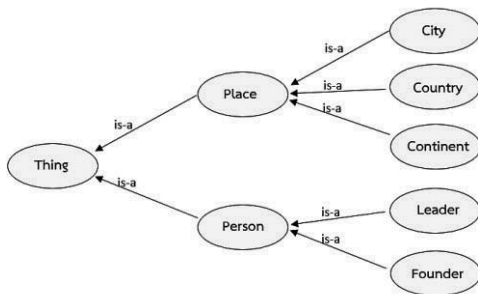


ภาพที่ 3 การเพิ่มรายละเอียดข้อมูลของสิ่งต่าง ๆ



ภาพที่ 4 หน้าจอแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในรูปแบบ RDF triple

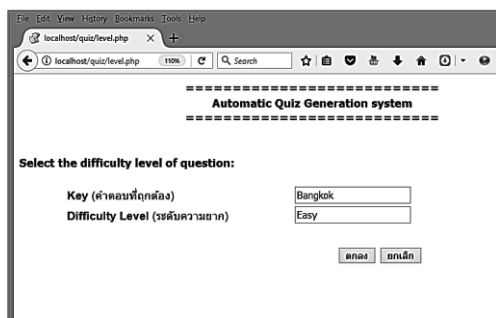
โดยข้อมูลที่ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบนี้เป็นข้อมูลด้านภูมิศาสตร์ (Geography) ซึ่งนำไปสร้างแบบทดสอบสำหรับรายวิชาสังคมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยเป็นการเก็บข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สังคมศาสตร์ เช่น ชื่อประเทศ ชื่อเมือง ชื่อทวีป ชื่อผู้นำ เป็นต้น ดังแสดงโครงสร้างของออนโทโลยีในภาพที่ 5



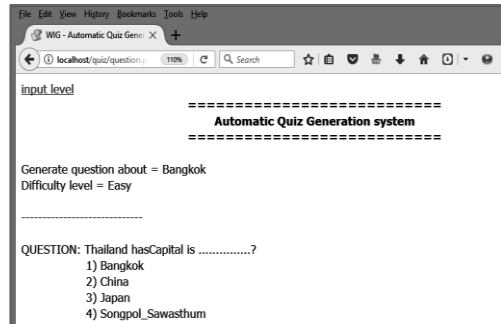
ภาพที่ 5 โครงสร้างของออนโทโลยี Geography

3.2 การสร้างคำถาม

จากการนำข้อมูลที่มีอยู่ในชุดข้อมูลมาสร้างเป็นโจทย์คำถามแบบปรนัยตามข้อมูลตั้งต้น และระดับความยากง่ายที่ผู้ใช้งานต้องการ ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7



ภาพที่ 6 หน้าจอแสดงการกำหนดข้อมูลตั้งต้นและระดับความยากที่ต้องการสร้างคำถาม



ภาพที่ 7 หน้าจอแสดงผลการสร้างคำถามตามข้อมูลตั้งต้น และระดับความยากของคำถามที่ต้องการ

3.3 การประเมินค่าความถูกต้อง

ในการทดสอบความถูกต้องของประสิทธิภาพการทำงานของกลไกที่นำเสนอได้ทำการเปรียบเทียบกับ การหาค่าความยากด้วยทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.2 โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำแบบทดสอบจริงจำนวน 10 ข้อคำถามของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 50 คน จาก 4 โรงเรียนในจังหวัดสงขลา และนำกลไกที่นำเสนอขึ้นมาใช้ประเมินระดับความยากของชุดแบบทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพความถูกต้องของกลไกการทำงาน ซึ่งจากผลการทดสอบได้ผลลัพธ์ที่มีค่าระดับความยากที่เหมือน หรือใกล้เคียงกันกับผลการประเมินระดับความยากด้วยกลไกที่นำเสนอจำนวน 8 ข้อ จากทั้งหมด 10 ข้อคำถาม ได้ผลการประเมินค่าความถูกต้อง เท่ากับ 0.8 หรือมีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 80 ของผลการประเมินระดับความยากจากคำถามทั้งหมด และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานโดยการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างคำถามตามการกำหนดข้อมูลตั้งต้น และระดับความยากที่ผู้ใช้งานต้องการ พบว่า กลไกที่นำเสนอสามารถเพิ่มจำนวนการสร้างคำถามให้มีความหลากหลายและมากขึ้นกว่างานวิจัยเดิมที่มีอยู่

[2-3] รวมทั้งสามารถกำหนดระดับความยากง่ายของคำถามตามที่ใช้งานต้องการได้สูงถึง 5 ระดับความยากดังแสดงการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	จำนวนคำถามที่สร้างได้	วิธีการที่ใช้		
		ค่าความคล้ายคลึง	ค่าความสัมพันธ์	ค่าคุณสมบัติของข้อมูล
Lin C et al. [2]	3	✓	X	X
Rey GÁ et al. [3]	2	X	✓	X
งานที่นำเสนอ	5 ขึ้นไป	✓	✓	✓

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอกลไกการสร้างแบบทดสอบอัตโนมัติสำหรับคำถามแบบปรนัยด้วยวิธีการวัดค่าความคล้ายคลึงแบบลูกผสม เพื่อช่วยแก้ไขข้อด้อยในงานวิจัยด้านการสร้างแบบทดสอบเดิม ที่มีอยู่ที่สามารถสร้างแบบทดสอบได้จำนวนจำกัดเท่านั้น โดยกลไกที่นำเสนอนี้เป็นการใช้วิธีการแบบเชิงความหมายทั้งในรูปแบบความคล้ายคลึงเชิงความหมาย ความสัมพันธ์เชิงความหมาย ร่วมกับการใช้ค่าคุณสมบัติของข้อมูล โดยงานวิจัยนี้พบว่า

1) การนำเทคนิควิธีการวัดค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมาย และค่าความสัมพันธ์เชิง

ความหมายเข้ามาใช้งานร่วมกันแบบลูกผสมสามารถนำมาใช้สร้างแบบทดสอบอัตโนมัติที่มีระดับความยากได้ละเอียดมากขึ้นถึง 5 ระดับความยาก

2) การปรับปรุงกลไกการสร้างคำถามโดยใช้ประโยชน์จากแนวทางการประเมินระดับความยากแบบลูกผสมร่วมกับการสลับโหนดข้อมูลเพื่อเปลี่ยนบทบาทของประธาน และกรรมในโจทย์คำถามสามารถเพิ่มจำนวนการสร้างข้อคำถามแบบปรนัยให้ได้จำนวนมากขึ้นได้

3) กลไกที่นำเสนอนี้เมื่อนำไปประเมินค่าความถูกต้องด้วยการเปรียบเทียบกับผลการหาค่าความยากด้วยทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบด้วยผู้เรียนจริง เพื่อยืนยันประสิทธิภาพการทำงานของกลไก พบว่ามีค่าความถูกต้องตรงกันถึงร้อยละ 80

สำหรับข้อจำกัดของกลไกการสร้างคำถามแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น ซึ่งควรศึกษา และพัฒนางานวิจัยต่อยอดเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

1) ควรปรับปรุงความสามารถของกลไกประเมินระดับความยากแบบลูกผสมให้รองรับชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ และไม่ทราบจำนวนโหนดข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ เช่น ข้อมูลเว็บแบบเชิงความหมายด้วยกลไกทำงานแบบ Linked data ซึ่งมีความแตกต่างไปจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานของกลไกที่นำเสนอ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในกลไกที่นำเสนอต้องเป็นชุดข้อมูลที่มีขอบเขตชัดเจนและทราบจำนวนโหนดที่แน่นอน

2) ควรปรับปรุงรูปประโยคของโจทย์คำถามแบบปรนัยที่สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติให้มีความสละสลวยมากขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการประมวลผลภาษาธรรมชาติเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งยังไม่ได้ดำเนินการในงานวิจัยนี้

5. อ้างอิง

- [1] Fattoh IE, Aboutabl AE, Haggag MH. Semantic Attributes Model for Automatic Generation of Multiple Choice Questions. *Int J Comput Appl* 2014; 103(1):18–24.
- [2] Lin C, Liu D, Pang W, et al. Automatically Predicting Quiz Difficulty Level Using Similarity Measures. *K-CAP 2015. The 8th International Conference on Knowledge Capture*; 2015 Oct 7-10; Palisades, NY, USA. New York: ACM; 2015. P. 1:1–1:8.
- [3] Rey GÁ, Celino I, Alexopoulos P, et al. Semi-Automatic Generation of Quizzes and Learning Artifacts from Linked Data. *The 2nd International Workshop on Learning and Education with the Web of Data at the World Wide Web Conference 2012 (WWW2012)*; 2012 Apr 17; Lyon, France. New York: ACM; 2012. P. 1-3.
- [4] งามนิจ อาจอินทร์. เทคโนโลยีเว็บแบบสื่อความหมาย (Semantic Web Technologies). พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: คลังน่านาวิทยา; 2557.
- [5] Elavarasi S, Akilandeswari J, Menaga K. A Survey on Semantic Similarity Measure. *Int J Res in Advent Technol*. 2014; 2:389–98.
- [6] Abdelrahman AMB, Kayed A. A Survey on Semantic Similarity Measures between Concepts in Health Domain. *Am J Comput Math*. 2015; 5(2):204-14.
- [7] Gan M, Dou X, Jiang R. From Ontology to Semantic Similarity: Calculation of Ontology-Based Semantic Similarity. *Sci World J*. 2013; 2013:1-11.
- [8] Meng L, Huang R, Gu J. A Review of Semantic Similarity Measures in WordNet. *Int J Hybrid Inf Technol*. 2013; 6(1):1–12.
- [9] Agile Knowledge Engineering and Semantic Web (AKSW). [Internet]. Germany: RDFaCE; 2018 [cited 2018 Aug 26]; [about 3 screens]. Available from: <http://aksw.org/Projects/RDFaCE.html>
- [10] Nuthong S, Witosurapot S. Enabling Fine Granularity of Difficulty Ranking Measure for Automatic Quiz Generation. *The 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2017)*; 2017 Oct 12-13; Centara Grand Beach Resort Phuket. Bangkok: The University; 2017. P. 227-32.
- [11] ศศิธร หนูทอง, สุนทร วิทูสรพจน์. การปรับปรุงกลไกทำงานแบบชาญฉลาดสำหรับการสร้างแบบคำถามโดยอัตโนมัติ. การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศประยุกต์ ครั้งที่ 12; 19-21 ก.ค. 2560; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย; 2560. น. 190-4.

- [12] World Wide Web Consortium (W3C). [Internet]. Beihang: SPARQL Query Language for RDF; 2013 [cited 2018 Aug 26] ; [about 87 screens]. Available from: <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query>
- [13] php.net [Internet]: The PHP Group; 2018 [cited 2018 Aug 26]. Available from: <http://www.php.net>
- [14] Kaur J, Gupta V. Effective Question Answering Techniques and their Evaluation Metrics. Int J Comput Appl. 2013; 65(12):30-7.
- [15] สัจจวรรณ จัดกระโทก. ทฤษฎีการตอบข้อสอบ Item Response Theory [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ; 2556 [เข้าถึงเมื่อ 26 ส.ค. 2561]. จ าก : http://www.priv.nrct.go.th/ewt_dl.php?nid=1057

การใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนสำหรับจำแนก
ลักษณะเด่นของฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจีย
Supervised Learning for *Demospongiae* Identification using Graph Mining
Technique

ณัฐธิมา สุรเดช^{1*}, วิลาวลย์ ยาทองคำ²
Natsima Suradet^{1*}, Wilawan Yathongkhum²

¹หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
โรงเรียนบ้านแม่เทย จังหวัดลำพูน

¹Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna,
Thailand

²Ban Mae Thoei School, Lamphun, Thailand

*Corresponding author. E-mail: natsima@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟ ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน เพื่อจำแนกลักษณะเด่นของฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจีย ซึ่งข้อมูลฟองน้ำที่ใช้เป็นฟองน้ำทะเลที่อาศัยอยู่ในมหาสมุทรแอตแลนติก และทะเลเมดิเตอร์เรเนียน จำนวน 7 วงศ์ ในงานวิจัยนี้ข้อมูลฟองน้ำจะถูกนำเสนอให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบกราฟก่อนนำไปทำการวิเคราะห์เพื่อจำแนกลักษณะเด่น จากผลการวิเคราะห์พบว่าฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจียแต่ละวงศ์มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งคุณลักษณะเหล่านั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกวงศ์ของฟองน้ำได้ เมื่อทำการทดสอบต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญโดยวัดประสิทธิภาพจากความสามารถในการจำแนก พบว่าสามารถจำแนกวงศ์ของฟองน้ำได้ถูกต้อง คิดเป็นค่าความแม่นยำในการจำแนกเท่ากับ 76.47 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนมีความเหมาะสมและสามารถนำมาใช้ในการจำแนกลักษณะเด่นของฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจียได้จริง

คำสำคัญ: การทำเหมืองข้อมูลกราฟ วิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน การจำแนกฟองน้ำชั้นเดโมสปอนเจีย

ABSTRACT

This research purposes a graph mining technique to identify the particular characteristic of *Demospongiae* by supervised learning method. The sponge dataset contained 7 families belonging to the *Demospongiae* class was collected from the Mediterranean and Atlantic

oceans. The dataset of *Demospongiae* was performed on graph dataset and then was analyzed to identify the particular characteristic by using graph based supervised learning method. The learned substructures can identify the unique of a specific feature for each family and can use to develop the prototype of knowledge-based expert system for *Demospongiae* identification. The prototype was evaluated by measuring the efficiency from the ability to classify the sponge family. The experimental results showed the identification performance accuracy is 76.47%. This indicated that graph mining technique by supervised learning method is valid and practicable for *Demospongiae* identification.

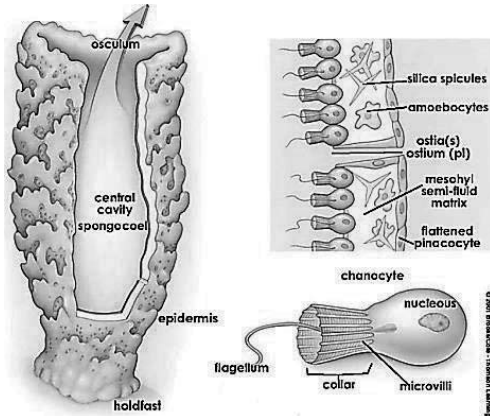
Keywords: Graph mining, Supervised learning, *Demospongiae* identification

1. บทนำ

ฟองน้ำ (Sponge) เป็นสิ่งมีชีวิตในไฟลัมพอริเฟอร่า (*Phylum Porifera*) ในปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 7,000 สายพันธุ์ [1] ซึ่งฟองน้ำชั้นเดโมสปอนเจีย (*Demospongiae*) จัดได้ว่าเป็นชั้นที่มีความหลากหลายมากที่สุด ไฟลัมพอริเฟอร่า โดยคิดเป็นจำนวนมากถึง 90 % ของฟองน้ำทั้งหมด ฟองน้ำเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่โบราณที่สุด กำเนิดขึ้นในยุคแคมเบรียน (Cambrian) หรือเมื่อประมาณ 550 ล้านปีมาแล้ว ฟองน้ำจัดเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ แต่ยังไม่เป็นเนื้อเยื่อที่แท้จริง และไม่มีอวัยวะ [2] ด้วยเหตุนี้ฟองน้ำจึงจัดเป็นกลุ่มสัตว์ที่อยู่กึ่งกลางระหว่างโพรโทซัว (Protozoa) และอาณาจักรเมทาซัว (Metazoan) ฟองน้ำจัดอยู่ในไฟลัมพอริเฟอร่า ซึ่งสามารถจำแนกตามลักษณะของโครงสร้างออกเป็น 4 ชั้น (Class) คือ ชั้นคัลคาเรีย (*Calcarea*), ชั้นเฮกซาคตินา (*Hexactinellida*), ชั้นเดโมสปอนเจีย และ ชั้นสเกลอโรสปอนเจีย (*Sclerospongiae*) [3] ฟองน้ำส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในทะเล และสามารถพบได้ตั้งแต่เขตน้ำขึ้นน้ำลงจนถึงพื้นทะเลลึก

ฟองน้ำเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยที่สุด โดยตัวเต็มวัยของฟองน้ำจะยึดเกาะ

อยู่กับที่ (Sessile) และกินอาหารโดยการกรอง ผนังลำตัวของฟองน้ำประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กทั่วตัว มีทางให้น้ำผ่านเข้า เรียกว่า ออสเทีย (Ostia) ซึ่งเป็นการนำอาหารเข้าสู่ลำตัว ส่วนช่องขนาดใหญ่เป็นทางให้น้ำออกเรียกว่า ออสคูลัม (Osculum) ฟองน้ำเป็นสัตว์เพียงกลุ่มเดียวที่มีการจัดเรียงตัวของเซลล์ล้อมรอบระบบท่อ (Cannal system) ช่องทางผ่านของน้ำและโพรทอยาสต์ (Chamber) ทำให้น้ำไหลผ่านเข้าออกจากตัวฟองน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ผนังลำตัวประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นคือ เนื้อเยื่อชั้นนอกเป็นเซลล์รูปร่างแบนเรียงกันคล้ายแผ่นกระเบื้อง ประกอบด้วยเซลล์เป็นบล็อก มีแฟลกเจลลัมช่วยโบกพัดให้น้ำเคลื่อนผ่านลำตัว และทำหน้าที่กินสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่ปนมากับน้ำ เรียกเซลล์เหล่านี้ว่า เซลล์บล็อกคอ (Choanocyte) ระหว่างเนื้อเยื่อสองชั้น จะมีชั้นกลางที่มีลักษณะคล้ายวุ้นเรียกว่า มีเซนไคม์ (Mesenchyme) ในชั้นนี้มีเซลล์พิเศษที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เรียกว่า อะมีโบไซต์ (Amoebocyte) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีหน้าที่หลายอย่าง เช่น ย่อยอาหาร สร้างเซลล์สืบพันธุ์ และสร้างโครงสร้างค้ำจุนร่างกาย เป็นต้น ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างภายในของฟองน้ำ



ภาพที่ 1 โครงสร้างภายในของฟองน้ำ [4]

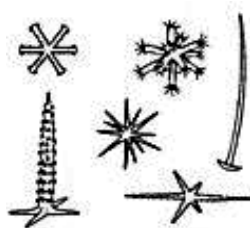
ฟองน้ำเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง แต่มีโครงร่าง
อย่างอื่นทำหน้าที่แทนกระดูกค้ำจุนให้คงรูปอยู่ได้
เรียกว่า โครงร่าง (Skeleton) มี 2 ประเภท คือ

- เส้นใยสปอนจิน (Spongin fiber) เป็นเส้นใย
โปรตีนที่มีองค์ประกอบซับซ้อนสร้างจากสปันโกไซต์
(Spongocyte) เป็นโครงสร้างที่ทำให้ฟองน้ำมี
ความเหนียวและอ่อนนุ่มยืดหยุ่นตัวได้ดี

- ขวาก (Spicule) เป็นโครงร่างแข็งแบ่ง
ออกเป็น 2 กลุ่มตามองค์ประกอบ คือ ขวากหินปูน

(Calcareous spicule) มี หิน ปูน เป็น
องค์ประกอบ และขวากแก้ว (Siliceous spicule) มี
ซิลิกา (Silica) เป็นองค์ประกอบ ในภาพที่ 2 เป็น
ลักษณะโครงร่างค้ำจุนของฟองน้ำแต่ละประเภท

ฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจีย มีขวากที่เป็น
สารประกอบซิลิกา 2 ขนาด คือ ขวากขนาดใหญ่ (ยาว
มากกว่า 100 ไมครอน) เรียกว่า Megascle และ
ขวากขนาดเล็ก (ยวน้อยกว่า 100 ไมครอน) เรียกว่า
Microscle โดยขวากขนาดใหญ่จะสานตัวเป็นโครง
ร่างค้ำจุนหลักของฟองน้ำเชื่อมด้วยเส้นใยสปอนจิน
และมีขวากขนาดเล็กแทรกอยู่ระหว่างโครงร่างนั้น
เพื่อค้ำจุนเนื้อฟองน้ำที่อ่อนนุ่ม [3] ซึ่งลักษณะรูปร่าง
ของขวากมีหลายแบบและมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป
ลักษณะรูปร่างของขวากถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งในการจัด
หมวดหมู่ ในภาพที่ 3 แสดงลักษณะรูปร่างของขวาก
แบบต่าง ๆ



Siliceous spicules
(Hexactinellida)



Siliceous spicules
(Demospongiae)

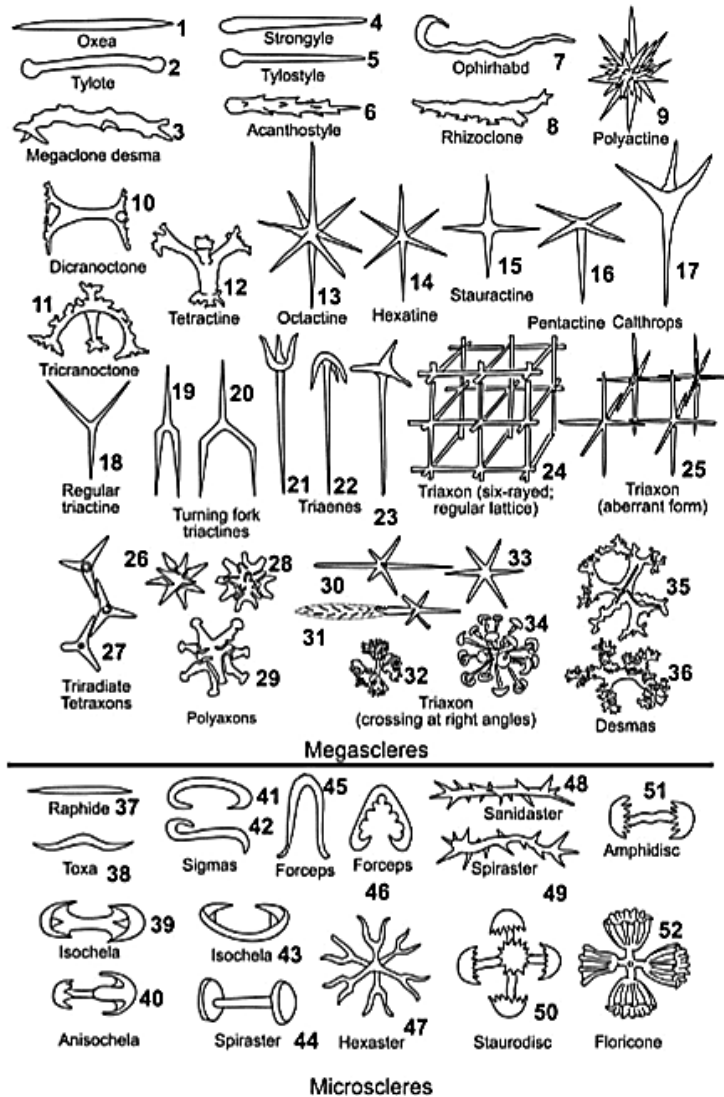


Spongin



Calcareous

ภาพที่ 2 ลักษณะโครงร่างของฟองน้ำ [5]



ภาพที่ 3 ลักษณะรูปร่างของขากแบบต่างๆ [6]

การทำเหมืองข้อมูล (Data mining) สามารถสืบค้นความรู้ที่เป็นประโยชน์บนฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาข้อสรุปหรือความรู้ที่สำคัญ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาเป็นคุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลนั้น การทำเหมืองข้อมูลกราฟ (Graph mining) เป็นการทำเหมืองข้อมูลรูปแบบหนึ่ง ซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของกราฟ เพื่อค้นหาข้อสรุปหรือความรู้ โดย

ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในชุดข้อมูล

เทคนิคการค้นหากราฟย่อยที่ปรากฏบ่อย (Frequent subgraphs) เป็นเทคนิคหนึ่งในการทำเหมืองกราฟ กระบวนการค้นหาความถี่ของกราฟย่อยประกอบไปด้วย การหาความถี่ทั้งหมดของกราฟย่อย และตรวจสอบความถี่ของแต่ละกราฟย่อยว่ามีค่าความถี่น้อยกว่า Minimum support หรือไม่ [7]

SUBDUE เป็นระบบการเรียนรู้เชิงสัมพันธ์ด้วยกราฟซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานในหลายด้าน เช่น โครงสร้างการทำเหมืองเว็บ การวิเคราะห์เครือข่ายสังคม และงานทางด้านชีวสารสนเทศ เป็นต้น โดยนำไปใช้ในการค้นหากราฟย่อยที่ปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลกราฟ [8]

SUBDUE เป็นระบบการเรียนรู้ที่ใช้หลัก Minimum description length (MDL) heuristic ในการหากราฟย่อย ซึ่งค่าของกราฟย่อยหาได้จากสมการที่ (1)

$$value(S, G) = \frac{DL(G)}{(DL(S) + DL(G|S))} \quad (1)$$

เมื่อ S คือ กราฟย่อยที่ต้องการการค้นหา, G คือ กราฟนำเข้า, DL(G) คือ จำนวนบิตที่ต้องการในการเข้ารหัสกราฟ, DL(S) คือ จำนวนบิตที่ต้องการในการเข้ารหัสกราฟย่อยที่ค้นหา และ DL(G|S) คือ จำนวนบิตที่ต้องการในการเข้ารหัสกราฟ G หลังจากโครงสร้างย่อย S ถูกบีบอัด

```
Subdue(Graph, BeamWidth, MaxBest, MaxSubSize, Limit)
  ParentList = {}
  ChildList = {}
  BestList = {}
  ProcessedSubs = 0
  Create a substructure from each unique vertex label and
  its single-vertex instances; insert the resulting
  substructures in ParentList
  while ProcessedSubs <= Limit and ParentList is not empty do
    while ParentList is not empty do
      Parent = RemoveHead(ParentList)
      Extend each instance of Parent in all possible ways
      Group the extended instances into Child substructures
      foreach Child do
        if SizeOf(Child) <= MaxSubSize then
          Evaluate the Child
          Insert Child in ChildList in order by value
          if Length(ChildList) > BeamWidth then
            Destroy the substructure at the end of ChildList
      ProcessedSubs = ProcessedSubs + 1
      Insert Parent in BestList in order by value
      if Length(BestList) > MaxBest then
        Destroy the substructure at the end of BestList
      Switch ParentList and ChildList
  return BestList
```

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการค้นหาของ SUBDUE

ขั้นตอนวิธีการค้นหาของ SUBDUE ใช้ Beam search เป็นหลักในการค้นหากราฟย่อย ในภาพที่ 4 เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการค้นหากราฟย่อย โดยขั้นแรก

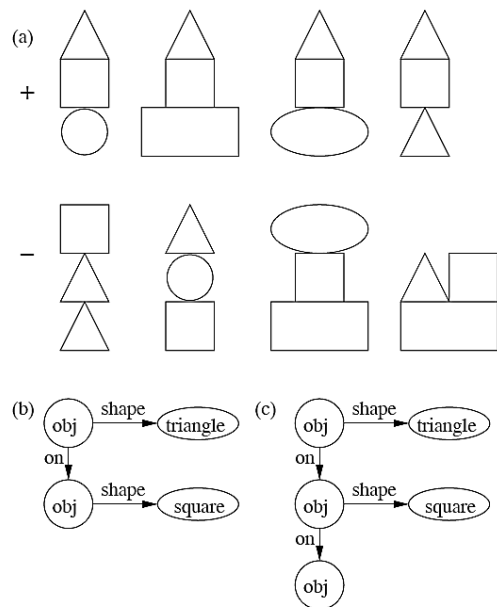
ของขั้นตอนวิธีเริ่มจากการสร้างลิสต์ที่มีชื่อว่า ParentList (ประกอบไปด้วยโครงสร้างย่อยที่จะทำการขยาย), ChildList (ประกอบไปด้วยโครงสร้างย่อย

ที่ถูกขยาย) และ BestList (ประกอบไปด้วยโครงสร้างย่อยที่มีค่าสูงสุด) ให้เป็นค่าว่าง และให้ ProcessedSubs มีค่าเท่ากับ 0 ขั้นตอนถัดไปทำการสร้างโครงสร้างย่อยจากแต่ละป้ายชื่อของจุดยอดที่ไม่ซ้ำกันทั้งหมด โดยเอาไปใส่ไว้ใน ParentList หลังจากนั้นภายในลูป while แต่ละโครงสร้างย่อยจะถูกเอาออกจาก ParentList และขยายทุกทางที่เป็นไปได้โดยการเพิ่มเส้นเชื่อมและจุดยอด หรือเพิ่มเส้นเชื่อมระหว่างจุดยอดสองจุด เมื่อ ParentList มีค่าว่าง จะมีการสลับระหว่าง ParentList กับ ChildList [9] ข้อมูลนำเข้าของ SUBDUE เป็นกราฟที่แทนวัตถุและลักษณะของวัตถุ โดยกำหนดให้ป้ายชื่อของจุดยอดแทนชื่อของวัตถุหรือลักษณะของวัตถุและป้ายชื่อของเส้นเชื่อมแทนความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับวัตถุหรือความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับลักษณะ

การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) ของ SUBDUE มุ่งเน้นไปที่ชุดข้อมูลที่มีเพียง 2 กลุ่ม (Class) เท่านั้น การเรียนรู้แบบมีผู้สอนจะเป็นการค้นหาโครงสร้างกราฟย่อยที่เกิดขึ้นในกราฟเชิงบวก แต่มักไม่อยู่ในกราฟเชิงลบ ข้อมูลนำเข้าจะอยู่ในรูปแบบของกราฟที่มีการระบุว่าเป็นกราฟเชิงบวก หรือกราฟเชิงลบ ซึ่งกราฟในแต่ละประเภทอาจจะมีเพียงกราฟเดียวหรือหลายกราฟก็ได้ โดย G^+ แทนกราฟเชิงบวก และ G^- แทนกราฟเชิงลบ ดังภาพที่ 5(a) วิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน คือการหากราฟย่อยที่มักปรากฏในกราฟเชิงบวก แต่ไม่อยู่ในกราฟเชิงลบ วิธีการนี้เป็น การค้นหากราฟย่อยที่มีขนาดเล็กซึ่งหาได้จากสมการที่ (2)

$$\frac{|\{g \in G^+ | S \not\subseteq g\}| + |\{g \in G^- | S \subseteq g\}|}{|G^+| + |G^-|} \quad (2)$$

เมื่อ $S \subseteq g$ หมายถึง S เป็นกราฟถอดแบบ (Isomorphic) กับกราฟย่อย g จากสมการพจน์แรกเป็นผลลบที่ผิดพลาด (False negatives) และพจน์ที่สองเป็นผลบวกที่ผิดพลาด (False positives) วิธีการนี้มีเป้าหมายเพื่อนำไปสู่การค้นหากราฟย่อยที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถแยกแยะได้ดี ดังตัวอย่างกราฟในภาพที่ 5(b)



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (a) กราฟเชิงบวก และกราฟเชิงลบ (b, c) กราฟที่เป็นไปได้

เราสามารถอคติ (Bias) ในการค้นหาคุณลักษณะโดยใช้ค่าทางสารสนเทศเพื่อหากราฟย่อยเชิงบวกที่ไม่มีในกราฟเชิงลบ ถ้า $DL(G)$ คือ จำนวนบิตที่แทนความยาวของคุณลักษณะ (Description length) ของกราฟ G และ $DL(G|S)$ คือ ความยาวของคุณลักษณะ (เป็นบิต) ของกราฟ G ที่ถูกย่อโดยกราฟย่อย S เราสามารถหา S ได้จากสมการที่ (3)

$$DL(G^+ | S) + DL(S) + DL(G^-) - DL(G^- | S) \quad (3)$$

วิธีนี้จะนำไปสู่การค้นหากราฟย่อยที่มีขนาดใหญ่เพื่อแสดงลักษณะของกราฟเชิงบวก โดยลักษณะต่างๆ เหล่านั้นมักไม่มีในกราฟเชิงลบ ตัวอย่างกราฟในภาพที่ 5(c)

กระบวนการนี้สามารถทำซ้ำเพื่อเรียนรู้สมมติฐาน หากใช้เครื่องมือวัดความผิดพลาดแล้วกราฟเชิงบวกใด ๆ ที่มีการเรียนรู้กราฟย่อยจะถูกลบออกจากการทำซ้ำในรอบถัดไป ถ้าใช้ค่าทางสารสนเทศ ตัวอย่างของการเรียนรู้กราฟย่อยในกราฟเชิงบวกและกราฟเชิงลบจะถูกย่อเป็นจุดยอด (Vertex) เดียว [10]

Yada et al. [11] ได้นำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้บริโภคในด้านการตลาด โดยนำข้อมูลประวัติการซื้อสินค้าของผู้บริโภคแปลงเป็นโครงสร้างกราฟแล้วใช้เทคนิคการค้นหารูปแบบกราฟที่เกิดขึ้นบ่อยมาวิเคราะห์ความนิยมในการบริโภคอาหารเพื่อสรุปพบว่า การใช้ข้อมูลที่มีโครงสร้างของกราฟเพื่อแสดงพฤติกรรมผู้บริโภคทำให้สามารถนำเสนอข้อมูลที่มีคุณสมบัติตามลำดับเวลาและในความสัมพันธ์ที่มีอยู่ระหว่างกลุ่มผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

You et al. นำเสนอวิธีการค้นหารูปแบบที่มีความหมายทางชีวภาพเกี่ยวกับวิถีเมแทบอลิก (Metabolic pathway) โดยใช้ SUBDUE ซึ่งเป็นระบบการเรียนรู้ด้วยกราฟเชิงสัมพันธ์ ในการทดลองใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงสัมพันธ์บนกราฟทั้งในสถานการณ์ที่อยู่ภายใต้การเรียนรู้แบบมีผู้สอนและการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนพบว่าโครงสร้างกราฟที่เรียนรู้โดย SUBDUE นั้นมีความเข้าใจความหมายทางชีวภาพของวิถีเมแทบอลิก โดยในการเรียนรู้แบบมีผู้สอนสามารถระบุคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ของวิถีเมแทบอลิกแต่ละประเภทได้อย่างชัดเจน ซึ่งความแม่นยำเฉลี่ยของการทดลองเป็น 71.76 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้โดย SUBDUE จะอยู่ในรูปแบบการจัดกลุ่มแบบลำดับชั้น (Hierarchical cluster) ที่แสดงคุณสมบัติทั่วไปของวิถีเมแทบอลิกในแต่ละประเภท [12]

ในปัจจุบันการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฟองน้ำมีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาวิจัยด้านชีววิทยาของฟองน้ำ เช่น ลักษณะทางสัณฐานวิทยา การจำแนกสายพันธุ์ หรือการค้นพบสายพันธุ์ใหม่โดยการวิเคราะห์วิวัฒนาการโมเลกุลของฟองน้ำ เป็นต้น แต่การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ของข้อมูลเกี่ยวกับฟองน้ำยังมีอยู่เป็นจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนของข้อมูลดิบที่มีอยู่อย่างมหาศาล ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟมาวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะของฟองน้ำชั้นเดโมสปอนเจียเพื่อหาลักษณะเฉพาะ หรือจุดเด่นของฟองน้ำในแต่ละวงศ์ ซึ่งข้อมูลจำเพาะเหล่านั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ด้านปัญญาประดิษฐ์ได้ เช่น ระบบผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการจำแนกฟองน้ำ เป็นต้น

ในบทความนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้ ส่วนที่ 2 กล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการในการดำเนินการวิจัย ในส่วนที่ 3 เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับผลการทดลองและอภิปรายผล สำหรับส่วนที่ 4 เป็นบทสรุปของการวิจัยนี้

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

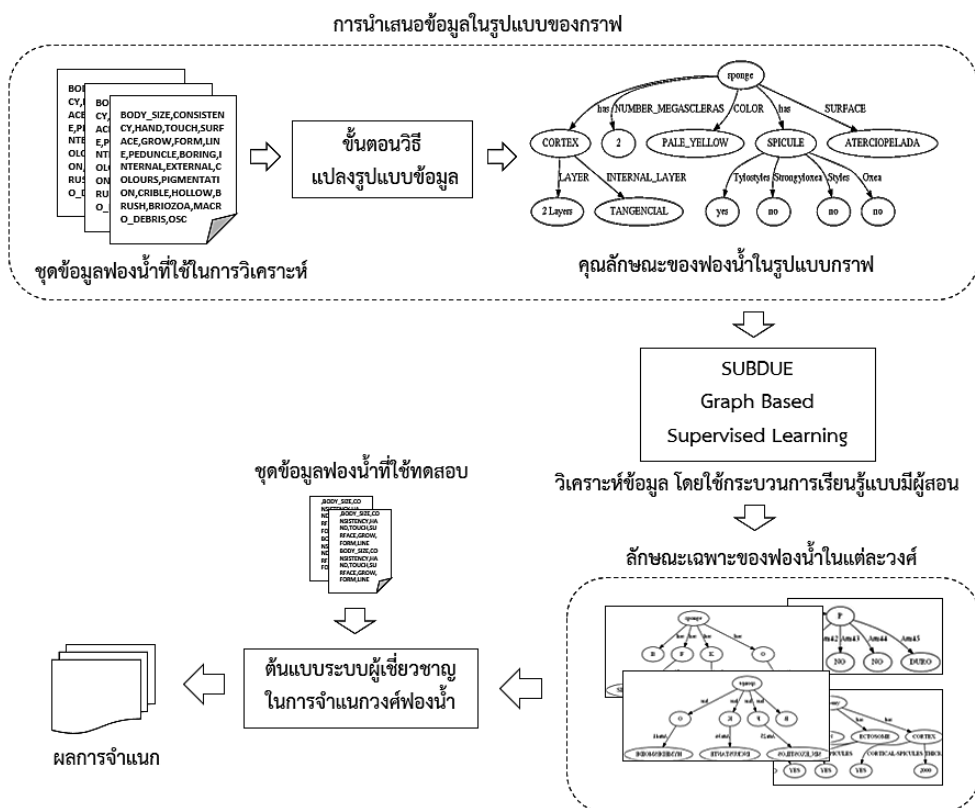
ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นข้อมูลฟองน้ำทะเลที่อาศัยอยู่ในมหาสมุทรแอตแลนติก และทะเลเมดิเตอร์เรเนียนซึ่งอยู่ในชั้นเดโมสปอนเจีย โดยประกอบไปด้วยข้อมูลฟองน้ำทั้งหมด 76 ตัว จำแนกได้

7 วงศ์ (Class) จาก UCI Machine Learning Repository [13] ฟองน้ำแต่ละตัวประกอบไปด้วย 45 คุณลักษณะ เช่น ลักษณะผิวฟองน้ำ (Cortex) สีของฟองน้ำ ลักษณะของขากขนาดใหญ่ และลักษณะของขากขนาดเล็ก เป็นต้น

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 6 โดยขั้นตอนแรกเป็นการนำเสนอชุด

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองให้อยู่ในรูปแบบของกราฟ จากนั้นนำคุณลักษณะของฟองน้ำในรูปแบบกราฟไปวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบมีผู้สอน และนำลักษณะเฉพาะของฟองน้ำในแต่ละวงศ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ มาพัฒนาต้นแบบผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกวงศ์ของฟองน้ำในขั้นเดโมสโตนเจีย

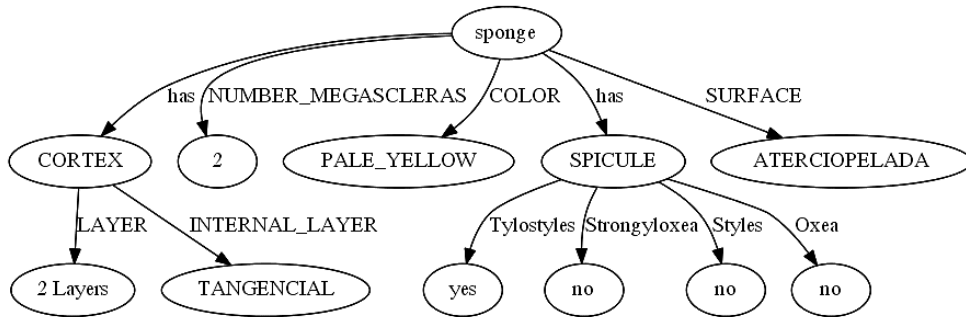


ภาพที่ 6 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

2.2.1 การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของกราฟ

ข้อมูลฟองน้ำแต่ละตัวจะถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟ ดังตัวอย่างในภาพที่ 7 ซึ่งเป็นการแทนคุณลักษณะของฟองน้ำทั้ง 45 คุณลักษณะ โดยจุดยอดแต่ละจุดในกราฟจะแสดงค่าของข้อมูลซึ่งเป็น

คุณลักษณะที่ปรากฏ หรือเป็นข้อความซึ่งบอกรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบของฟองน้ำ เช่น ผิวฟองน้ำ (Cortex) ขาก (Spicule) เป็นต้น ในส่วนของเส้นเชื่อมจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดยอดที่มีเส้นเชื่อมกัน โดยมีชื่อของคุณลักษณะกำกับอยู่บนเส้น

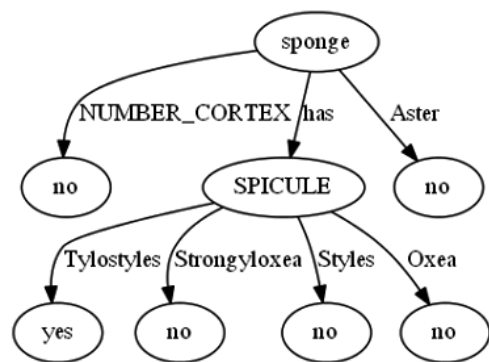


ภาพที่ 7 การนำเสนอคุณลักษณะทั้ง 11 คุณลักษณะของฟองน้ำในรูปแบบกราฟ

2.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้

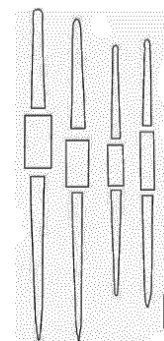
กระบวนการในการเรียนรู้แบบมีผู้สอน

การทดลองนี้ผู้วิจัยใช้ SUBDUE ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้กระบวนการในการเรียนรู้แบบมีผู้สอน ซึ่งชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองได้จำแนกตามวงศ์ของฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจียทั้งหมด 7 วงศ์ดังต่อไปนี้ คือ *Tethyidae*, *Clionidae*, *Timeidae*, *Suberitidae*, *Stylocordylidae*, *Polymastiidae* และ *Spirastrellidae* ในการทดลองจะนำชุดข้อมูลมาทำการเรียนรู้ที่ละวงศ์ โดยชุดข้อมูลฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์ที่ต้องการเรียนรู้จะใส่สัญลักษณ์ XP ส่วนชุดข้อมูลฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์อื่นจะใส่สัญลักษณ์เป็น NP ซึ่งกระบวนการเรียนรู้แบบมีผู้สอนดังกล่าว เป็นการค้นหาลักษณะเฉพาะของฟองน้ำในแต่ละวงศ์ โดยที่คุณลักษณะเหล่านั้นมักจะปรากฏในฟองน้ำวงศ์อื่น



ภาพที่ 8 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลกราฟของฟองน้ำในวงศ์ *Suberitidae*

ฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์ *Tethyidae* ส่วนใหญ่มีรูปร่างของขากขนาดใหญ่เป็นแบบ *Strongyloxea* ซึ่งมีลักษณะเรียว โดยปลายด้านหนึ่งแหลมและอีกด้านหนึ่งไม่แหลม ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะของขาแบบ *Strongyloxea* [14]

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลกราฟของฟองน้ำในวงศ์ *Suberitidae* ในชั้นเดโมสปอนเจีย โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟ ด้วยกระบวนการเรียนรู้แบบมีผู้สอน แสดงดังภาพที่ 8 เมื่อทำการอธิบายผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลกราฟพบว่าฟองน้ำในแต่ละวงศ์มีลักษณะเฉพาะดังต่อไปนี้

ฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์ *Clonidae* มีลักษณะของ
ขากขนาดใหญ่เป็นทรงกระบอกเรียบและปลายทั้ง
สองด้านเรียวแหลม ดังภาพที่ 10



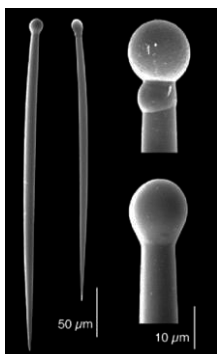
ภาพที่ 10 ลักษณะของขากแบบ Oxea [15]

ลักษณะเด่นของฟองน้ำในวงศ์ *Timeidae*
ประกอบด้วยขากขนาดใหญ่แบบ Styles มีลักษณะ
ดังภาพที่ 11 โดยปลายด้านหนึ่งจะขยายใหญ่ขึ้น ส่วน
ปลายอีกด้านหนึ่งเรียวแหลม และในส่วนของผิว
ฟองน้ำ (Cortex) ไม่พบการสานเรียงตัวกันของขาก
ขนาดใหญ่ (Megasclere) ในชั้น Ectosome



ภาพที่ 11 ลักษณะของขากแบบ Styles [16]

ฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์ *Suberitidae* มีขากขนาด
ใหญ่เป็นรูปร่างแบบ Tylostyles ซึ่งส่วนหัวจะมี
ลักษณะคล้ายทรงกลม และส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะ
เรียวแหลม ดังแสดงในภาพที่ 12 ในส่วนของขาก
ขนาดเล็กที่มีรัศมีกระจายออกจากจุดศูนย์กลาง
โดยรอบคล้ายรูปดาว หรือเรียกว่า Aster นั้นไม่พบใน
ฟองน้ำวงศ์นี้และไม่มีส่วนที่เป็นผิวของฟองน้ำ

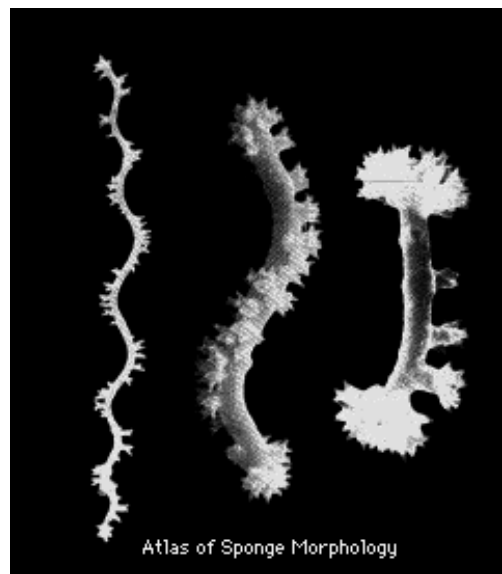


ภาพที่ 12 ลักษณะของขากแบบ Tylostyles [17]

ฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์ *Stylodordylidae*
ประกอบด้วยขากขนาดใหญ่แบบ Styles ซึ่งมี
ลักษณะเดียวกับฟองน้ำในวงศ์ *Timeidae*

ฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์ *Polymastiidae* จะมีส่วน
ที่เป็นผิวของฟองน้ำ ในส่วนของการยึดเกาะ จะ
เกาะติดกับวัตถุที่มีลักษณะแข็ง สำหรับขากขนาด
ใหญ่บริเวณชั้น Ectosome จะมีรูปร่างแบบ
Tylostyles และไม่พบขากขนาดเล็กที่มีลักษณะแบบ
Aster ในฟองน้ำวงศ์นี้

ฟองน้ำที่อยู่ในวงศ์ *Spirastrellidae* ไม่พบ
ส่วนที่เป็นผิวของฟองน้ำ ในส่วนของขากขนาดเล็กมี
รูปร่างแบบ Spiraster ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งคล้าย
เกลียวและมีหนามอยู่โดยรอบ ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ลักษณะของขากแบบ Spiraster [18]

จากลักษณะเด่นของฟองน้ำในแต่ละวงศ์ที่ได้
จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟ
ผู้วิจัยได้นำมาสร้างเป็นต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญที่
สามารถจำแนกวงศ์ของฟองน้ำชั้นเดโมสปอนเจีย โดย
การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการ

ทดสอบต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นเป็นข้อมูลของ ฟองน้ำที่พบในมหาสมุทรแอตแลนติก และทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ซึ่งอยู่ในชั้นเดโมสปอนเจียเช่นเดียวกัน โดยข้อมูลนี้ได้มาจากฐานข้อมูล UCI Machine Learning Repository [19] ผู้วิจัยได้สุ่มตัวอย่าง ฟองน้ำทั้ง 7 วงศ์ มาจำนวน 51 ตัวอย่าง พบว่า ต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถจำแนกวงศ์ของ ฟองน้ำได้ถูกต้อง 39 ตัวอย่าง ซึ่งคิดเป็นค่า ความแม่นยำในการจำแนกเท่ากับ 76.47% โดยมี ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประสิทธิภาพในการ จำแนกวงศ์ของฟองน้ำ วัดได้จากค่าความแม่นยำดัง สมการที่ (4)

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

โดยที่ TP คือจำนวนวงศ์ที่ต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญทำการจำแนกได้อย่างถูกต้อง และ FP คือ จำนวนวงศ์ที่ต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญมีการจำแนก ผิดพลาด

ตารางที่ 1 ผลการจำแนกวงศ์ของฟองน้ำจากการ ทดสอบต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ

วงศ์ของฟองน้ำ	TP	FP
<i>Tethyidae</i>	7	0
<i>Clionidae</i>	4	6
<i>Timeidae</i>	3	5
<i>Suberitidae</i>	12	0
<i>Stylocordylidae</i>	2	0
<i>Polymastiidae</i>	9	0
<i>Spirastrellidae</i>	2	1

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน สำหรับจำแนกลักษณะเด่นของฟองน้ำในแต่ละวงศ์ซึ่ง อยู่ในชั้นเดโมสปอนเจีย จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟ สามารถนำมาวิเคราะห์ลักษณะเด่นของฟองน้ำในแต่ละ วงศ์ได้ เมื่อนำลักษณะจำเพาะเหล่านั้นไปพัฒนา ต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อจำแนกวงศ์ของฟองน้ำ โดยการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่าระบบมีค่า ความแม่นยำในการจำแนกเท่ากับ 76.47% จาก ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล กราฟด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนสามารถนำมาใช้ ใน การจำแนกลักษณะเด่นของฟองน้ำในชั้นเดโม-สปอนเจียได้จริง

เมื่อพิจารณาผลการจำแนกวงศ์ของฟองน้ำจาก ต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ พบว่าฟองน้ำวงศ์ *Clionidae* และ *Timeidae* มีผลการจำแนกผิดพลาด มากกว่าวงศ์อื่นๆ และลักษณะเด่นที่ได้จาก การวิเคราะห์ข้อมูลกราฟของฟองน้ำ จะเห็นได้อย่าง ชัดเจนว่าฟองน้ำวงศ์ *Timeidae* มีลักษณะเด่น บางอย่างคล้ายกับฟองน้ำในวงศ์ *Stylocordylidae* และลักษณะเด่นที่พบของฟองน้ำในวงศ์ *Clionidae* นั้นแม้ว่าจะมีความจำเพาะ แต่ก็มียาจำนวนคุณลักษณะที่ โดดเด่นเป็นจำนวนน้อย

เนื่องจากในการวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ ลักษณะเด่นของฟองน้ำเพียงแค่ 76 ข้อมูลเท่านั้น หาก นำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลกราฟโดยกระบวนการ เรียนรู้แบบมีผู้สอนไปใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะเด่น ของฟองน้ำในแต่ละวงศ์ โดยใช้ชุดข้อมูลในการ วิเคราะห์ที่มีจำนวนมากขึ้น ลักษณะเด่นที่ได้จาก การวิเคราะห์ก็必将มีความจำเพาะมากยิ่งขึ้น ซึ่งอาจ

ส่งผลให้สามารถพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกวงศ์ฟองน้ำในชั้นเดโมสปอนเจียที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

5. อ้างอิง

- [1] Hooper JNA, Van Soest RWM. Systema Porifera: A guide to the classification of sponges. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2002.
- [2] บพิธ จารุพันธุ์, นันทพร จารุพันธุ์. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง I โพรโทซัวถึงทาร์ดิกราตา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2545.
- [3] Hartman WD. Porifera. Synopsis and classification of living organisms 1982; 1:640-666.
- [4] Starr C, Evers CA, Starr L. Biology: Concepts and Applications. 10th Ed. Boston: Cengage Learning, Inc; 2016.
- [5] Niedzlek-Feaver M. Sponges. [Internet]. North Carolina: NC State; 2016 [cited 2018 Nov 20]. Available from: http://projects.ncsu.edu/project/bio402_315/lec3porifera/Porifera/Untitled31-summ.html
- [6] Jain S. Fundamentals of Invertebrate Palaeontology: Macrofossils. [Internet]. India: Springer India; 2017 [cited 2018 Nov 20]. doi: 10.1007/978-81-322-3658-0.
- [7] Cook DJ, Holder LB, editors. Mining Graph Data. John Wiley & Sons, Inc; 2007.
- [8] Cook DJ, Holder LB. Substructure discovery using minimum description length and background knowledge. J Artif Intell Res. 1993; 1:231-255.
- [9] Cook DJ, Holder LB. Graph-based data mining. IEEE Intell Syst. 2000; 15:32-41.
- [10] Cook DJ, Holder LB. Graph-based relational learning: current and future directions. ACM SIGKDD Explorations Newsletter. 2003; 5:90-3.
- [11] Yada K, Motoda H, Washio T, et al. Consumer Behavior Analysis by Graph Mining Technique. In: Negoita MGH, Howlett RJ, Jain LC, editors. International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems; 2004 Sep 20-25; Wellington, New Zealand. 2004. P. 800-6.
- [12] You CH, Holder LB, Cook DJ. Application of Graph-based Data Mining to Metabolic Pathways. Sixth IEEE International Conference on Data Mining - Workshops (ICDMW'06); 2006 Dec 18-22; Hong Kong, China. IEEE; 2006. P. 169 - 173.
- [13] Uriz L, Domingo M. UCI Machine Learning Repository: Sponge Data Set. [Internet]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science. [cited 2018 Oct 7]. Available from: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/sponge>

- [14] The World Porifera Database [Internet]. Rob van Soest. [cited 2018 Nov 20]. Available from: <http://www.marinespecies.org/porifera>
- [15] Moreno AG., et al. Practices of Zoology: Study and diversity of the Poriferous. [Internet]. 2011 [cited 2018 Nov 20]. Available from: <http://www.ucm.es/data/cont/docs/568-2013-12-16-01-Poriferos.pdf>
- [16] Boury-Esnault N, Rutzler K. Thesaurus of sponge morphology, Smithsonian Contributions to Zoology. [Internet]. 1997 [cited 2018 Nov 20]. Available from: <http://doi.org/10.5479/si.00810282.596>
- [17] Rutzler K., et al. Diversity of sponges (Porifera) from cryptic habitats on the Belize barrier reef near Carrie Bow Cay, Zootaxa. 2014. doi: 10.11646/zootaxa.3805.1.1.
- [18] De Vos L, Donadey C, Vacelet J, et al. Atlas of sponge morphology, Smithsonian Institution Press; 1991.
- [19] Armengol E, Plaza E, Domingo M, et al. UCI Machine Learning Repository: Demospongiae Data Set. [Internet]. [cited 2018 Nov 2]. Available from: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Demospongiae>

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ รับบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้องเป็นต้นฉบับ ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ และผลงานวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างเคร่งครัด

1. หลักเกณฑ์การส่งบทความ

1.1 บทความเปิดรับทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

1.2 บทความมีรูปแบบการเขียนตามที่กำหนดไว้

1.3 บทความต้องมีความยาวประมาณ 6 -12 หน้า ในรูปแบบ 2 คอลัมน์

1.4 การส่งบทความ เพื่อผ่านการพิจารณาถ้อยแถลงและประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องผ่าน รูปแบบ Online

โดยจัดส่งไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ผ่าน <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> เริ่มจากการกรอกข้อมูลตามแบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาให้สมบูรณ์ บทความจะได้รับการพิจารณาถ้อยแถลงจากผู้ทรงคุณวุฒิ และเมื่อบทความได้รับการแก้ไข (หากมี) อย่างเหมาะสม ผู้เขียนจะต้องส่งบทความเข้ามายัง <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutk> เพื่อดำเนินการในส่วนอื่นต่อไป

2. ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารมี 2 ประเภท คือ

2.1 บทความวิจัย (Research Paper) เป็นบทความที่มีลักษณะและรูปแบบการวิจัยตามหลักวิชาการ เช่น ตั้งสมมติฐาน โดยระบุวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ได้ค้นคว้าทดลองอย่างมีระบบ และสรุปผลการวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2 บทความวิชาการ (Academic Paper) เป็นบทความที่มีลักษณะเชิงวิเคราะห์หรือวิจารณ์ จากการทบทวนเอกสาร จากประสบการณ์หรือความชำนาญของผู้เขียน และเสนอแนวคิดใหม่บนพื้นฐานวิชาการ อันก่อให้เกิดองค์ความรู้หรือสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์

3. รูปแบบการพิมพ์บทความ

3.1 ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) 1 นิ้ว หรือ 2.54 ซม.

ขอบล่าง (Bottom Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

ขอบขวา (Right Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

ขอบซ้าย (Left Margin) 0.7 นิ้ว หรือ 2 ซม.

3.2 กระดาษ

ขนาด B5 (JIS) 18.2 x 25.7 ซม.

3.3 รูปแบบตัวอักษร

บทความภาษาไทย ใช้ TH SarabunPSK

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ Time New Roman

3.4 ชื่อเรื่อง

บทความภาษาไทย ใช้ชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษควรเป็นชื่อที่สั้น กระชับ ได้ใจความตรงกับวัตถุประสงค์และเนื้อเรื่อง)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเรื่อง ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.5 ชื่อผู้เขียนและชื่อผู้ร่วมงาน

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.6 สถานที่ทำงาน เบอร์โทรศัพท์ และ E-mail

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 12 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 10 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)

3.7 คำว่า บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา

3.8 เนื้อความใน บทคัดย่อ/Abstract

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)

3.9 เนื้อความทั้งหมด (แบ่งเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่างระหว่างคอลัมน์ 0.3 นิ้ว หรือ 0.7 ซม.)

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวปกติ

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวปกติ

3.10 ชื่อหัวเรื่องใหญ่

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.11 ชื่อหัวเรื่องย่อย

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 14 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 11 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)

3.12 คำว่า กิตติกรรมประกาศ/Acknowledgement และคำว่า เอกสารอ้างอิง/Reference

(ใส่หมายเลขลำดับหัวเรื่องด้วย)

บทความภาษาไทย ใช้ขนาด 16 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษ ใช้ขนาด 12 ตัวหนา

3.13 สมการหรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

ควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็ก จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word

4. ส่วนประกอบของบทความแต่ละประเภท

4.1 บทความวิจัย

A. ส่วนปก

1. **ชื่อบทความ (Title)** ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกะทัดรัด ไม่ยาวเกินไป ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ชื่อเต็ม นามสกุลเต็ม ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ของผู้เขียนทุกคน สำหรับผู้เขียนประสานงานให้ใส่ที่อยู่ให้ละเอียด พร้อมทั้งหมายเลขโทรศัพท์/โทรสาร และ E-mail address ที่สามารถติดต่อได้
3. **ตัวเลขยก** ให้เขียนไว้บนนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน
4. **บทคัดย่อ (ABSTRACT)** ควรจัดทำเป็นร้อยแก้วย่อหน้าเดียว สั้น ตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัยและการอภิปรายผล เป็นต้น ถ้าบทความเป็นภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน มีความยาวไม่เกิน 1,000 คำ
5. **คำสำคัญ (keywords)** ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เป็นคำสำคัญที่สามารถใช้ในการสืบค้น ในระบบฐานข้อมูล

หมายเหตุ : เนื้อหาส่วนปกจะต้องเขียนให้อยู่ในกระดาดข จำนวน 1 หน้า เท่านั้น

B. ส่วนเนื้อหา

1. **บทนำ (INTRODUCTION)** เพื่ออธิบายถึงความสำคัญของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมถึงการทบทวนวรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. **วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (MATERIALS AND METHODS)/วิธีดำเนินการวิจัย (RESEARCH METHODOLOGY)** อธิบายเครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัยให้ชัดเจน
 - บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ควรอธิบายเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการที่ใช้ในการวิจัย
3. **ผลการวิจัยและอภิปรายผล/ ผลการทดลองและอภิปรายผล (RESULT AND DISCUSSION)** เสนอผลการทดลอง อย่างชัดเจน และตรงประเด็น ควรมีรูปภาพ/หรือตารางประกอบ การอธิบายผลในตารางและรูปภาพ ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ

- เป็นการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างอิงทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ เพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
- รูปภาพ/กราฟ ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ ขนาดตัวอักษรสามารถอ่านได้ชัดเจนเหมาะสมกับขนาดของรูปภาพ/กราฟ โดยบันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล JPG มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 300 dpi เท่านั้น ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับ และในกรณีที่เป็นรูปถ่ายเส้นให้วาดโดยใช้หมึกสีดำที่มีความคมชัด หมายเลขรูปภาพ/กราฟให้เป็นเลขอารบิก และอยู่ด้านล่างของรูปภาพ/กราฟ
- ตาราง ให้อยู่ในเนื้อเรื่องของบทความ หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก และอยู่ด้านบนของตาราง

4. **บทสรุป (CONCLUSION)** สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการวิจัย
5. **กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENTS)** เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ความช่วยเหลือให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพียงสั้นๆ (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
6. **เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)** เป็นรายการเอกสารอ้างอิงที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยที่ได้รับการตรวจสอบเพื่อนำมาเตรียมรายงาน และมีการอ้างอิงถึงเฉพาะเอกสารที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การอ้างอิงให้จัดเรียงตามลำดับที่อ้างอิงเป็นตัวเลขในเครื่องหมาย [x] และให้เริ่มต้นเรียงลำดับเอกสารจากที่พบในเนื้อหา ก่อนเป็น [1] หากผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใส่ชื่อ 3 คนแรก แล้วตามด้วย และคณะหรือ et al.

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องของบทความ (In-text Citations) การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่อง ให้ใช้ระบบแวนคูเวอร์ (Vancouver style) สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

<http://library.md.chula.ac.th/guide/vancouver2011.pdf>

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

หนังสือหรือตำรา

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง(Author)./ชื่อหนังสือ(Title of the book)./ครั้งที่พิมพ์(Edition)./เมืองที่พิมพ์(Place of Publication):สำนักพิมพ์(Publisher);ปี(Year).

- Janeway CA, Travers P, Walport M, et al. Immunobiology. 5th ed. New York: Garland Publishing; 2001.
- รังสรรค์ ปัญญาญะ. โรคติดเชื้อของระบบประสาทกลางในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์; 2536.

บทความจากวารสาร (Articles in Journals)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง(Author)./ชื่อบทความ(Title of the article)./ชื่อวารสาร(Title of the Journal)./ปีที่พิมพ์(Year);เล่มที่ของวารสาร(Volume):หน้า(Pages).

- ชนิตรา ดำรงกิจ, ใหม่ น้อยพิทักษ์, วิบูลย์ ตั้งวัชรธรรมกุล และคณะ.การศึกษาสมบัติทางกลและส่วนผสมทาง เคมีของรอยเชื่อมเหล็กกรางรถไฟ. วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ. 2561;12(1):119-31.
- White AR, Treenate D, Kiatgungwalgrai A, et al. The effects of accent familiarity on english as a foreign language students' word recognition and comprehension of the english language. UTK Res J. 2559; 10(2):21-30.

เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Material)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้แต่ง (Author)./ชื่อบทความ (Title of the article) [ประเภทของสื่อ/วัสดุ]./สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีพิมพ์ (Year) [เข้าถึงเมื่อ/cited ปี เดือน วันที่]./จาก (Available from): <http://.....>

- Foley KM, Gelband H, editors. Improving palliative care for cancer [Internet]. Washington: National Academy Press; 2001 [cited 2002 Jul 9]. Available from: <https://www.nap.edu/catalog/10149/improving-palliative-care-for-cancer>.
- “กำเนิด” ระบบหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้า มิติใหม่แห่งการบริการด้านสาธารณสุขเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของคนไทย [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: สปสช.; 2552. [เข้าถึงเมื่อ 25 มี.ค. 2554]. จาก: www.localfund.in.th/files/NHSO-intro1-6.pdf

การอ้างอิงบทความที่นำเสนอในการประชุม หรือสรุปผลการประชุม (Conference paper)

รูปแบบพื้นฐาน ชื่อผู้เขียน./ชื่อเรื่อง./ใน(In):/ชื่อบรรณาธิการ./บรรณาธิการ./ชื่อหนังสือ./ชื่อการประชุม./วัน เดือน ปีที่ประชุม./สถานที่จัดประชุม./สถานที่พิมพ์:สำนักพิมพ์./ปีที่พิมพ์./น./เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายของบทที่อ้าง.

- ชีระ ฤชตระกูล. Coagulopathy in liver diseases. ใน: ปิยะวัฒน์ โกมลมิศร์, ทวีศักดิ์ แทนวันดี, อนุชิต จุฑะพุทธิ, บรรณาธิการ. Vascular diseases of the liver. การประชุมวิชาการประจำปี ครั้งที่ 4 Vascular diseases of the liver; วันที่ 12-14 มีนาคม 2552; เพชรบุรี.กรุงเทพฯ: สมาคมโรคตับ (ประเทศไทย); 2552. น.1-13.

4.2 บทความวิชาการ

A. ส่วนปก

มีส่วนประกอบเหมือนบทความวิจัย แต่ไม่ต้องมีบทคัดย่อ เขียนให้อยู่ในกระดาษจำนวน 1 หน้า เท่านั้น

B. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (INTRODUCTION) เป็นส่วนของที่มาของมูลเหตุของการเขียนบทความ
2. วิธีการศึกษา/วิธีดำเนินการ (METHOD) (ถ้ามี) เป็นการอธิบายวิธีการศึกษา หรือการดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ
3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (RESULT AND DISCUSSION) เป็นการเสนอผลอย่างชัดเจน ตามประเด็นโดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษาหรือดำเนินการ
4. สรุป (CONCLUSION) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. เอกสารอ้างอิง (REFERENCES) ใช้ตามที่วารสารกำหนด

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กาญจนา ชินสำราญ	นางสาวเบญจมาศ ไชยลาภ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกวรรณ จ้าวสุวรรณ	นางสาวพรพรรณ รัตนะสังจะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพรัตน์ ภัยวิมุตติ	นางสาวพิมพ์สิริ สุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชาญ ช่วยพันธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลักษมี วิทยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สายชล ชุตติเจ็จ	นายวาทัญญู รอดประพัฒน์
นายปริญญา ศรีสัตยกุล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ครุฑิต กำลั้งกล้า	นางสาวศศิธร ชูแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวาลย์ สุขมัน	นางศิรินันท์ ตรีมงคลทิพย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูศักดิ์ กมลขันติธร	รองศาสตราจารย์จรรยา เจริญเนตรกุล
นายสุธรรม ศิวาวัธ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพรัตน์ มะเท
รองศาสตราจารย์ชนิษฐา เจริญลาภ	นายสันหวัจน์ ทองแดง
นางสาวพิชามณู น้อยสุวรรณ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง
นางสาวเลิศลักษณ์ แก้ววิมล	นายสุริยา โชคเพิ่มพูน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภูริวัตร คัมภีร์ภาพพัฒน์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไอสด คนชื่อ
นางนุชริน ทองพูล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์เจตฉาย สังเกตกิจ
นายภุชงค์ สงวนพวก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอื้อมฟ้า นาคโต	นายพิทักษ์ สุพรรณภาพ
นางสาวกฤติกา นรจิตร	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิรินาถ ศรีอ่อนนวล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมา เจียรธรวานิช	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรพงษ์ จิตตโคตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สวัสดิ์ กระจ่างธน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญยุทธ์ กาญจนพิบูลย์
นางชลธิรา สารวงษ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมรักษ์ รอดเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปกรณ์เกียรติ์ เสวตเมธิกุล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทักษิณา เครือหงส์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาติ ศรีชาติ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์หงษ์ศิริ ภัยโยติลภชัย
นายพลเทพ เวงสูงเนิน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อชฌาณัท รัตนเลิศ
นายกิตติศักดิ์ วินินทกิตต์	นายประดิษฐ์ สงค์แสงยศ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชฎา หนูสาย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อชฌาณัท รัตนเลิศนุสรณ์
นางสาวนันทิยา มากะเต	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.กฤติกา ตันประเสริฐ
ณฐาพัชร วรพงศ์พัชร	รองศาสตราจารย์พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)..... นามสกุล.....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

เรื่อง (ภาษาไทย).....

.....

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

.....

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาไทย)

1.

2.

3.

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาอังกฤษ)

1.

2.

3.

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

หมู่ที่.....ซอย..... ถนน..... ตำบล/แขวง.....

อำเภอ/เขต..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

E-mail.....โทรศัพท์.....

โทรสาร..... โทรศัพท์ (มือถือ).....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ ☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

โดยบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำบทความนี้ส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
ในวารสารอื่นภายใน 90 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าได้ส่งบทความฉบับนี้ และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงใน
วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

โดย

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
ปีที่..... ฉบับที่ (..... - พ.ศ.)

(.....)
บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ขั้นตอนการจัดทำวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

ขั้นตอนการจัดทำวารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ

