



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

ISSN : 1905-4963 (Print) ISSN : 2672-9296 (Online)

**PHRANAKHON RAJABHAT
RESEARCH JOURNAL**
(Science and Technology)



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

Vol.14 No.2 July - December 2019

ISSN : 1905-4963 (Print)

ISSN : 2672-9296 (Online)

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และอุตสาหกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ที่ปรึกษา

ดร.ธนอม อินทราภิบาล
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ
ศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ รัตนเคไช
ศาสตราจารย์ นพ.ชัชสิทธิ์ รัตนสาร
ศาสตราจารย์ ดร.พวงเพ็ญ ศิริรักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.เป็รื่อง กิจรัตน์กร
รองศาสตราจารย์ ดร.จิตราภา กุณฑลบุตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภาศิต โลไกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สืบตระกูล สุชาติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงศักดิ์ จักรกรณ

อุปนายกสภามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.โองการ วณิชชีวะ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาภูมิ ศิริงาม
ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ จันทวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วศิน เลิศวัฒนารักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ มากุล
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา โพธิ์เยี่ยม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ชัย แนนจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชมฤทัย ถามะพัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณเวท ทรงนศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เขียงกา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี ลิ้มสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรวัฒน์ วิสูตรศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พุ่มทองศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา กัมปาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรุณ แก้ววิเศษ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา ไม้สนธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อะเคือ กุลประสูติติลก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย แพงาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรผดุง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี สวัสดิ์คุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันทา ศรีม่วง
ดร.ศิลาวุธ ดำรงศิริ
ดร.เมธิณี รัตนสาร
ดร.เปล่งสุรีย์ เทียงน้อย
ดร.กิตติพงษ์ เยาวาจา
ดร.สมคิด สุทธิธรรวัช
ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง
ดร.วรวิดี สุชัยยะ
ดร.อริยา รัตนพิทยารักษ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตกำแพงแสน)
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรมสอบสวนคดีพิเศษ
มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาเขตกาญจนบุรี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตศรีราชา)
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดา มัทธูรศ
ดร.วิสุทธนา สมุทรศรี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวสุธารัตน์ จัยเจริญ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

นางเดือนเพ็ญ สุขทอง
นางสาวทัศนีย์ ปิ่นทอง
นางสาวนวมกมล พลบุญ
นางสาวศุภราพร เกตุกลม
นางสาวมัทนา เกตุโพธิ์ทอง
นายรัชตะ อนุวัชกุล
นายจักรพันธ์ ก้อนมณี

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ติดต่อกองบรรณาธิการ

สถาบันวิจัยและพัฒนา ชั้น 4 อาคารเบญจมาภรณ์ (อาคาร 13) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน
กรุงเทพมหานคร 10220 โทรศัพท์ / โทรสาร 0-2544-8629 Email: PRRJ_Scitech@pnru.ac.th

กำหนดตีพิมพ์

2 ฉบับ ต่อปี (มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม)

การเผยแพร่

ผู้ที่สนใจสามารถค้นหาที่ http://PRRJ_Scitech@pnru.ac.th/ และ https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/user

พิมพ์ที่

พจก. ประยุทธ์สารสินไทย การพิมพ์ : เลขที่ 44/132 ถ.กำนันมนัน แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กทม. 10150
โทรศัพท์ : 0 - 2802 - 0377, 0 - 2802 - 0379, 08 - 1566 - 2540

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562 ได้รวบรวมบทความ เพื่อเผยแพร่และแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการของคณาจารย์ นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้มีจำนวน 13 เรื่อง ประกอบด้วยบทความในกลุ่มสาขาดังนี้ คณิตศาสตร์สถิติ เคมี วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยทุกบทความได้ผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิประจำฉบับเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษา และบุคคลทั่วไป

รองศาสตราจารย์ ดร.โองการ วณิชชีวะ
บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewers)

ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพรรณ พิริยะกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี ลีมีงสวัสดิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีติ ฤทธิเดช
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรวัฒน์ วิสูตรศักดิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดา มัทธุสศ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณะ โสขุม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิน สุภวาลย์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิณทิรา ตั้งศุภวัช
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนทล จันท์แจ่มใส
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดารามาศ แก้วแดง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรุตดา นิตวีรการ
 ดร.ธายุกร พระบำรุง
 ดร.ธัชชัย ปุษะยานวิน
 ดร.เมธิณี รัตสาร
 ดร.อรรพรรณ เชาวลิต
 ดร.ไชยพิพัฒน์ ปกป้อง
 ดร.อัญญา ปลดเปลื้อง
 ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล
 ดร.อริยา รัตนพิทยาภรณ์
 ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง
 ดร.วิสุทธนา สมุทธนาศรี
 ดร.จักรพงษ์ หรั่งเจริญ
 ดร.สุธาทิพย์ ทองเล่ม
 ดร.วฤชา ประจักษ์ศักดิ์
 ดร.วรวิดี สุขัยยะ
 ดร.เจริญพร โชคบริบาล

[illegible]

สารบัญ

หน้า

บทบรรณาธิการ	ก
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ	ข
สารบัญ	ค

บทความวิจัย

- SOME JACOBSTHAL AND JACOBSTHAL-LUCAS IDENTITIES
BY MATRIX APPROACH AND THEIR APPLICATIONS
Piyanut Puangjumba and Sa-at Muangchan 1
- COMPARISON OF REMOTE SENSING TECHNIQUES
FOR LAND USE CLASSIFICATION IN PATTANI BAY, THAILAND
Uten Thongtip 10
- การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเวลาของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดชลบุรี
จุลเสณีย์ ้วยวัฒน์ ณรงค์ พลธีรภัฏ แก้ว นวลขวี และ นฤมล อินทวิเชียร 31
- การโยกความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดจลน์กับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์
ด้วยวิธีการควมรวมลพลังงานกิบส์
*ติณณภพ จุ่มอิน สุภาพรรณ สัจวรรณ สุริยา พันธโกศล
และ คณินิต ปทุมมาเกษร* 43
- การประยุกต์ใช้แป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ เพื่อผลิตถุงเพาะชำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
ภาวิณี เทียมดี และ บวรรัตน์ บั้งสูง 62
- ตัวแบบพยากรณ์ราคาขายส่งกล้วยไม้แคทลียาที่ตลาดสี่มุมเมือง
วรางคณา เรียนสุทธิ 76
- การพัฒนาออนไลน์เพื่อการสืบค้นเชิงความหมายของการจัดการโรคในลำไย
วินัย บังคมเนตร และ จันทรีจิรา พยัคฆ์เทศ 93
- การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้นและวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน
ของผลิตภัณฑ์เสริมลาในรูปแบบน้ำและรูปแบบผง
วิไลลักษณ์ สุขใส สถาพร สัตยชี้อ เกศริน ดรรชนีจันทร์ และ สิริวิมล พรหมนัส 109

- ตำรับอาหารพื้นเมืองตำบลทองมั่งคล อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
วิวรรณ วงศ์อรุณ 120
- อิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายในต่อศักยภาพการทำงานและความพึงพอใจ
ของคนไทยในอาคารสำนักงาน
สุทธาลักษณ์ ต้นติวงค์ นวลวรรณ ทวยเจริญ และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร 131
- การวิเคราะห์ออกซาเลตในตัวอย่างผักโดยใช้ข้าวไฟฟ้าต้นทุนต่ำ
ด้วยวิธีโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชัน
อภิชาติ บุญมาลัย คณภรณ์ แสงชัยมงคลลาภ และ กนกนิกา บุตรศรี 148

บทความวิชาการ

- ฝั่ล่านนาในมิตีการสร้งเสริมสุขภาพชุมชน
สามารถ ใจเตี้ย 161
- ปุ่หมักมูลไส้เดือนดิน : เทคโนโลยีชีววิธีเพื่อการอนุรักษ์ดิน
และการจัดการขยะอินทรีย์ในประเทศไทย
พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร และ อุทาน บุรณศักดิ์ศรี 170
- ภาคผนวก 183
- ขั้นตอนการดำเนินงานการจัดทำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร 184
- รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอเพื่อตีพิมพ์ 186
- จริยธรรมในการตีพิมพ์ 195

SOME JACOBSTHAL AND JACOBSTHAL-LUCAS IDENTITIES BY MATRIX APPROACH AND THEIR APPLICATIONS

Piyanut Puangjumba^{1*} and Sa-at Muangchan²

¹Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,
Surindra Rajabhat University, Surin, 32000.

²Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,
Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000.

*E-mail: piyanut@math.sut.ac.th

Received: 2018-09-28

Revised: 2018-12-04

Accepted: 2019-01-10

ABSTRACT

In this research, we studied and found some identities involving Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers by using matrix approach. In the applications, we got the solutions of some Diophantine equations by applying these identities.

Keywords: Jacobsthal numbers, Jacobsthal-Lucas numbers, Diophantine equations, Binet's formula.

Introduction

There are many research articles about the sequence of integers and its application (Bergum et al., 1985) and (Horadam, 1988). Koken & Bozkurt (2008) defined the Jacobsthal Lucas E -matrix and R -matrix alike to the Fibonacci Q -matrix. They found some equalities and Binet-like formula for the Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers. Srisawat et al. (2015) defined the k -Jacobsthal S -matrix and k -Jacobsthal W -matrix. And then, by using this matrix representation, they obtain some identities and the Binet's formula for k -Jacobsthal numbers. Srisawat & Sriprad (2016) studied on some identities involving Pell and Pell-Lucas numbers by using matrix methods and they presented the solution of some Diophantine equations by applying these

identities. Suvarnamani (2017) searched properties of the (p, q) - Fibonacci numbers by using matrix methods. These motivation research articles lead us to the new idea for Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers.

In this work, we are interested to discover some Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas by matrix approach and also their applications. The Jacobsthal sequence $\{J_n\}$ is an additive sequence similar to the Fibonacci sequence, defined by the recurrence relation $J_n = J_{n-1} + 2J_{n-2}$ for all $n \geq 2$ with initial values $J_0 = 0$ and $J_1 = 1$. The first few terms of $\{J_n\}$ are 0, 1, 1, 3, 5,..... (sequence A001045 in the On-Line Encyclopedia of Integer Sequences or OEIS). A number in the sequence is called a Jacobsthal number and we denoted the n^{th} Jacobsthal numbers by J_n . The Jacobsthal numbers for negative subscripts are defined as $J_{-n} = -(-2)^{-n}J_n$. Similarly, The Jacobsthal-Lucas sequence is the sequence of integers $\{j_n\}$ defined by the recurrence relation $j_n = j_{n-1} + 2j_{n-2}$ for all $n \geq 2$ with initial values $j_0 = 2$ and $j_1 = 1$. The first few terms of $\{j_n\}$ are 2, 1, 5, 7, 17,..... (sequence A014551 in the OEIS). The numbers this sequence are called Jacobsthal-Lucas numbers and we denoted the n^{th} Jacobsthal-Lucas numbers by j_n . The Jacobsthal-Lucas numbers for negative subscripts are defined as $j_{-n} = (-2)^{-n}j_n$. It can be seen that $j_n = J_n + 4J_{n-1}$ and $j_n = J_{n+1} + 2J_{n-1}$ for any integer n . For $\{J_n\}$ and $\{j_n\}$, the characteristic equation is $x^2 - x - 2 = 0$ with roots $\alpha = 2$ and $\beta = -1$, the Binet's formula are $J_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}$ and $j_n = \alpha^n + \beta^n$ for all $n \geq 0$ (Bergum et al.,1985) and (Horadam,1988).

Methods

In this section, we will derive some that identities for Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers by using matrix approach and we begin with the following Lemma.

Lemma 2.1 Let X be a square matrix with $X^2 = X + 2I$, then $X^n = J_n X + 2J_{n-1} I$ for any integer n .

Proof. If $n = 0$, then the proof is obvious. Next, we will use the principle of mathematical induction to show that $X^n = J_n X + 2J_{n-1} I$ for all $n \in \mathbb{N}$. When $n = 1$, we have

$$X = (1)X + (0)I = (1)X + 2(0)I = J_1 X + 2J_0 I$$

It is seen to be true. We assume that it is true for $n = k$. We will show that it is true for $n = k + 1$ as follows:

$$\begin{aligned} X^{k+1} &= X^k X \\ &= (J_k X + 2J_{k-1} I) X \\ &= J_k X^2 + 2J_{k-1} X \\ &= J_k (X + 2I) + 2J_{k-1} X \\ &= J_{k+1} X + 2J_k I. \end{aligned}$$

Hence, $X^n = J_n X + 2J_{n-1} I$ for any integer n .

Finally, we will show that $X^{-n} = J_{-n} X + 2J_{-(n-1)} I$ for any integer n . Let us consider

$$\begin{aligned} &(J_n X + 2J_{n-1} I) (J_{-n} X + 2J_{-(n+1)} I) \\ &= J_n J_{-n} X^2 + 2J_{n-1} J_{-n} X + 2J_n J_{-(n+1)} X + 4J_{n-1} J_{-(n+1)} I \\ &= -(-2)^n J_n^2 (X + 2I) - 2J_{n-1} (-2)^n J_n X - 2J_n (-2)^{-(n+1)} J_{n+1} X - 4J_{n-1} (-2)^{-(n+1)} J_{n+1} I \\ &= -(-2)^n J_n^2 X + (-2)^{n+1} J_n^2 I - 2(-2)^n J_{n-1} J_n X - 2(-2)^{-(n+1)} J_n J_{n+1} X - (-2)^{-(n+1)} J_{n-1} J_{n+1} I \\ &= -(-2)^n \left[J_n (-J_n + 2J_{n-1}) + J_{n+1} \right] X - 2 \left(\left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right)^2 - \left(\frac{\alpha^{n-1} - \beta^{n-1}}{\alpha - \beta} \right) \left(\frac{\alpha^{n+1} - \beta^{n+1}}{\alpha - \beta} \right) \right) I \\ &= -(-2)^n \left[J_n (-J_{n+1} + J_{n+1}) X - 2 \left(\frac{-2(\alpha\beta)^n + \alpha^{n-1}\beta^{n+1} + \alpha^{n+1}\beta^{n-1}}{(\alpha - \beta)^2} \right) I \right] \\ &= I. \end{aligned}$$

In similarly, we have $(J_{-n} X + 2J_{-(n+1)} I)(J_n X + 2J_{n-1} I) = I$.

Thus, $X^n = J_n X + 2J_{n-1} I$.

This completes the proof of the Lemma.

From Lemma 2.1, we can give Corollary 2.2 easily. For more information about the matrices, one can see (Koken & Bozkurt, 2008) and (Srisawat et al., 2015).

Corollary 2.2 Let $F = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$. Then $F^n = \begin{bmatrix} J_{n+1} & 2J_n \\ J_n & 2J_{n-1} \end{bmatrix}$ for any integer n .

Next, let us define the matrix Z as in the following Lemma and by using the matrix, we obtain some identities for Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers.

Lemma 2.3 Let $Z = \begin{bmatrix} 1/2 & 3/2 \\ 3/2 & 1/2 \end{bmatrix}$. Then $Z^n = \begin{bmatrix} (1/2)j_n & (3/2)J_n \\ (3/2)J_n & (1/2)j_n \end{bmatrix}$ for any integer n .

Proof. Note that $Z^2 = \begin{bmatrix} 5/2 & 3/2 \\ 3/2 & 5/2 \end{bmatrix} = Z + 2I$. By the Lemma 2.1,
we have $Z^n = J_n Z + 2J_{n-1} I$.

It follows that

$$\begin{aligned} Z^n &= \begin{bmatrix} (1/2)J_n + 2J_{n-1} & (3/2)J_n \\ (3/2)J_n & (1/2)J_n + 2J_{n-1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (1/2)J_n + 4J_{n-1} & (3/2)J_n \\ (3/2)J_n & (1/2)J_n + 4J_{n-1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (1/2)j_n & (3/2)J_n \\ (3/2)J_n & (1/2)j_n \end{bmatrix} \end{aligned}$$

This completes the proof of the Lemma.

By using the matrix Z , we get Lemma 2.4 and Lemma 2.5.

Lemma 2.4 For any integer n , the following equality holds:

$$j_n^2 - 9J_n^2 = (-2)^{n+2}$$

Proof. Since $\det(Z) = -2$ and $\det(Z^n) = \frac{1}{4}j_n^2 - \frac{9}{4}J_n^2$

It follows that $j_n^2 - 9J_n^2 = 4(-2)^n = (-2)^{n+2}$

This completes the proof of the Lemma.

Lemma 2.5 Let m and n be any integers. Then the following equality holds:

$$(i) 2j_{m+n} = j_m j_n + 9J_m J_n,$$

$$(ii) 2J_{m+n} = j_n J_m + j_m J_n.$$

Proof. Since $Z^{m+n} = Z^m Z^n$, by Lemma 2.3, we have

$$\begin{bmatrix} (1/2)j_{m+n} & (3/2)J_{m+n} \\ (3/2)J_{m+n} & (1/2)j_{m+n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1/2)j_m & (3/2)J_m \\ (3/2)J_m & (1/2)j_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1/2)j_n & (3/2)J_n \\ (3/2)J_n & (1/2)j_n \end{bmatrix}$$

Therefore, $2j_{m+n} = j_m j_n + 9J_m J_n$ and $2J_{m+n} = j_n J_m + j_m J_n$.

This completes the proof of the Lemma.

Lemma 2.6 For any integer n , the following equalities hold:

$$(i) \alpha^n = \alpha J_n + 2J_{n-1},$$

$$(ii) \beta^n = \beta J_n + 2J_{n-1}.$$

Proof. Let $A = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{bmatrix}$ then $A^2 = A + 2I$. By the lemma 2.1,

$$\text{we have } A^n = J_n A + 2J_{n-1} I.$$

$$\text{It follows that } \begin{bmatrix} \alpha_n & 0 \\ 0 & \beta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha J_n + 2J_{n-1} & 0 \\ 0 & \beta J_n + 2J_{n-1} \end{bmatrix}$$

$$\text{This implies that } \alpha_n = \alpha J_n + 2J_{n-1} \text{ and } \beta^n = \beta J_n + 2J_{n-1}$$

This completes the proof of the Lemma.

By using Lemma 2.1 and Lemma 2.6, we get the following Lemma.

$$\textbf{Lemma 2.7}$$
 Let $B = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{bmatrix}$. Then $B^n = \begin{bmatrix} \alpha_n & 0 \\ J_n & \beta^n \end{bmatrix}$ for any integer n .

Proof. Since $B^2 = B + 2I$. Hence, by Lemma 2.1 and Lemma 2.6,

$$\begin{aligned} \text{it follows that } B^n &= J_n B + 2J_{n-1} I \\ &= \begin{bmatrix} \alpha J_n + 2J_{n-1} & 0 \\ J_n & \beta J_n + 2J_{n-1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \alpha_n & 0 \\ J_n & \beta^n \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

This completes the proof of the Lemma.

Remark 2.8 From the Binet's formula of Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers,

$$J_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} = \frac{2^n - (-1)^n}{3} \text{ and } j_n = \alpha^n + \beta^n = 2^n + (-1)^n, \text{ respectively.}$$

We can rewrite as

$$3(-1)^n J_n + 1 = (-2)^n \text{ and } (-1)^n j_n - 1 = (-2)^n, \text{ for any integer } n.$$

Now, by using Lemma 2.7 and Remark 2.8, we get the following Theorem.

Theorem 2.9 Let m and n be any integers. Then the following equality holds:

$$(-1)^n j_m^2 j_n + (-1)^m j_m j_n^2 + j_{m+n}^2 - j_m^2 - j_n^2 - 4(-1)^{m+n} j_{m+n} = j_m j_n j_{m+n} - 4.$$

Proof. Let B be a matrix as in Lemma 2.7. Then we have,

$$B^{n+1} + 2B^{n-1} = \begin{bmatrix} 3\alpha^n & 0 \\ j_n & -3\beta^n \end{bmatrix}$$

Since $(B^{m+1} + 2B^{m-1})(B^{n+1} + 2B^{n-1}) = B^{m+n+2} + 4B^{m+n} + 4B^{m+n-2}$. Then

$$\begin{aligned} 3(\alpha^n j_m - \beta^n j_n) &= J_{m+n+2} + 4J_{m+n} + 4J_{m+n-2} \\ &= J_{m+n+1} + 2J_{m+n} + 4J_{m+n} + 2(J_{m+n} - J_{m+n-1}) \\ &= J_{m+n} + 2J_{m+n-1} + 8J_{m+n} - 2J_{m+n-1} = 9J_{m+n} \end{aligned}$$

We get $3J_{m+n} = \alpha^n j_m - \beta^n j_n$. Hence,

$$\begin{aligned} 9J_{m+n}^2 &= (3J_{m+n})(3J_{n+m}) \\ &= (\alpha^n j_m - \beta^n j_n)(\alpha^m j_n - \beta^m j_m) \\ &= (\alpha^{m+n} + \beta^{m+n}) j_m j_n - (\alpha\beta)^n j_m^2 - (\alpha\beta)^m j_n^2 \\ &= j_m j_n j_{m+n} - (-2)^n j_m^2 - (-2)^m j_n^2. \end{aligned}$$

By Lemma 2.4, so that

$$j_{m+n}^2 - (-2)^{m+n+2} = j_m j_n j_{m+n} - (-2)^n j_m^2 - (-2)^m j_n^2 \quad (2.1)$$

By Remark 2.8, so that

$$\begin{aligned} j_{m+n}^2 - 4((-1)^{m+n} j_{m+n} - 1) &= j_m j_n j_{m+n} - ((-1)^n j_n - 1) j_m^2 - ((-1)^m j_m - 1) j_n^2 \\ j_{m+n}^2 - 4(-1)^{m+n} j_{m+n} + 4 &= j_m j_n j_{m+n} - (-1)^n j_m^2 j_n + j_m^2 - (-1)^m j_m j_n^2 + j_n^2 \\ (-1)^n j_m^2 j_n + (-1)^m j_m j_n^2 + j_{m+n}^2 - j_m^2 - j_n^2 - 4(-1)^{m+n} j_{m+n} &= j_m j_n j_{m+n} - 4 \end{aligned}$$

This completes the proof of the Theorem.

Theorem 2.10 Let m and n be any integers. Then the following equality holds:

$$27(-1)^n J_m^2 J_n + 27(-1)^m J_m J_n^2 - j_{m+n}^2 + 9J_m^2 + 9J_n^2 + 4(-1)^{m+n} j_{m+n} = -9J_m J_n j_{m+n} + 4$$

Proof. By (2.1), Lemma 2.4 and Lemma 2.5, we obtain

$$\begin{aligned} j_{m+n}^2 - (-2)^{m+n+2} &= (2j_{m+n} - 9J_m J_n) j_{m+n} - (-2)^n (9J_m^2 + (-2)^{m+2}) - (-2)^m (9J_n^2 + (-2)^{n+2}) \\ j_{m+n}^2 - (-2)^{m+n+2} &= 2j_{m+n}^2 - 9J_m J_n j_{m+n} - 9(-2)^n J_m^2 - (-2)^{m+n+2} - 9(-2)^m J_n^2 - (-2)^{m+n+2} \\ j_{m+n}^2 - 9(-2)^n J_m^2 - 9(-2)^m J_n^2 &= 9J_m J_n j_{m+n} + 4(-2)^{m+n} \end{aligned}$$

By Remark 2.8, so that

$$\begin{aligned} j_{m+n}^2 - 9(3(-1)^n j_n + 1) J_m^2 - 9(3(-1)^m j_m + 1) J_n^2 &= 9J_m J_n j_{m+n} + 4((-1)^{m+n} j_{m+n} - 1) \\ j_{m+n}^2 - 27(-1)^n J_m^2 J_n - 9J_m^2 - 27(-1)^m J_m J_n^2 - 9J_n^2 &= 9J_m J_n j_{m+n} + 4(-1)^{m+n} j_{m+n} - 4 \\ 27(-1)^n J_m^2 J_n + 27(-1)^m J_m J_n^2 - j_{m+n}^2 + 9J_m^2 + 9J_n^2 + 4(-1)^{m+n} j_{m+n} &= -9J_m J_n j_{m+n} + 4 \end{aligned}$$

This completes the proof of the Theorem.

Theorem 2.11 Let m and n be any integers. Then the following equality holds:

$$3(-1)^m j_n^2 J_m - 9(-1)^n j_n J_m^2 - 9J_m^2 + j_n^2 + 9J_m^2 - 12(-1)^{m+n} J_m = -9j_n J_m J_{m+n} + 4.$$

Proof. By similar argument as in Theorem 2.9.

$$\text{Since. } (B^{n+1} + 2B^{n-1})B^m = B^{m+n+1} + 2B^{m+n-1} = B^m(B^{n+1} + 2B^{n-1})$$

We get $j_{m+n} = \alpha^m j_n - 3\beta^n J_m$ and $j_{m+n} = 3\alpha^n J_m + \beta^m j_n$. Hence,

$$\begin{aligned} j_{m+n}^2 &= (\alpha^m j_n - 3\beta^n J_m)(3\alpha^n J_m + \beta^m j_n) \\ &= (3\alpha^{m+n} - 3\beta^{m+n}) j_n J_m + (\alpha\beta)^m j_n^2 - 9(\alpha\beta)^n J_m^2 \\ &= 9 \left(\frac{\alpha^{m+n} - \beta^{m+n}}{\alpha - \beta} \right) j_n J_m + (\alpha\beta)^m j_n^2 - 9(\alpha\beta)^n J_m^2 \\ &= 9j_n J_m J_{m+n} + (-2)^m j_n^2 - 9(-2)^n J_m^2 \end{aligned}$$

By Lemma 2.4, so that

$$\begin{aligned} 9J_m^2 + (-2)^{m+n+2} &= 9j_n J_m J_{m+n} + (-2)^m j_n^2 - 9(-2)^n J_m^2 \\ 9J_m^2 + 4(-2)^{m+n} &= 9j_n J_m J_{m+n} + (-2)^m j_n^2 - 9(-2)^n J_m^2 \end{aligned}$$

By Remark 2.8, so that

$$\begin{aligned} 9J_m^2 + 4(3(-1)^{m+n} J_m + 1) &= 9j_n J_m J_{m+n} + (3(-1)^m J_m + 1) j_n^2 - 9((-1)^n j_n - 1) J_m^2 \\ 9J_m^2 + 12(-1)^{m+n} J_m + 4 &= 9j_n J_m J_{m+n} + 3(-1)^m j_n^2 J_m + j_n^2 - 9(-1)^n j_n J_m^2 + 9J_m^2 \\ 3(-1)^m j_n^2 J_m - 9(-1)^n j_n J_m^2 - 9J_m^2 + j_n^2 + 9J_m^2 + 12(-1)^{m+n} J_m &= -9j_n J_m J_{m+n} + 4. \end{aligned}$$

This completes the proof of the Theorem.

Results

In this section, we give the solutions of some Diophantine equations by applying these above identities from Theorem 2.9, Theorem 2.10 and Theorem 2.11 as follow:

Corollary 3.1 Let m and n be any integers. Then $(x, y, z) = (j_m, j_n, j_{m+n})$ is a solution of the Diophantine equation

$$(-1)^n x^2 y + (-1)^m x y^2 + z_{m+n}^2 - x_m^2 - y_n^2 - 4(-1)^{m+n} z = xyz - 4$$

Proof. The result follows from Theorem 2.9.

Corollary 3.3 Let m and n be any integers. Then $(x, y, z) = (J_m, J_n, j_{m+n})$ is a solution of the Diophantine equation

$$27(-1)^n x^2 y + 27(-1)^m x y^2 - z^2 + 9x^2 + 9y^2 + 4(-1)^{m+n} z = -9xyz + 4$$

Proof. The result follows from Theorem 2.10.

Corollary 3.3 Let m and n be any integers. Then $(x, y, z) = (j_n, J_m, J_{m+n})$ is a solution of the Diophantine equation

$$3(-1)^m x^2 y - 9(-1)^n x y^2 - 9z^2 + x^2 + 9y^2 - 12(-1)^{m+n} z = -9xyz + 4$$

Proof. The result follows from Theorem 2.11.

Conclusions

In this research, some identities for Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers are studied and discovered by using matrix approach and for its application, we applied these identities to present the solutions of some Diophantine equations.

Acknowledgements:

The authors would like to thank the editors and referees for valuable comments and suggestions of this research.

References

Bergum, G. E., Bennett, L., Horadam, A. F. & Moore S. D. (1985). Jacobsthal polynomials and a conjecture concerning Fibonacci-like matrices. **The Fibonacci Quarterly**. 23, 240 - 248.

- Horadam, A. F. (1988). Jacobsthal and Pell. **The Fibonacci Quarterly**. 26, 79 - 83.
- Horadam, A. F. (1988). Jacobsthal representation numbers. **The Fibonacci Quarterly**. 34, 40 - 54.
- Koken, F. & Bozkurt, D. (2008) On the Jacobsthal-Lucas Numbers by Matrix Method. **Int. J. Contemp. Math Sciences**. 3, 1629 - 1633.
- Sloane, N. (1964). The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences (OEIS). Retrieve March 2, 2019, from <https://oeis.org/>. accessed 1 March 2018.
- Srisawat, S., Sriprad, W. & Sthityanak, O. (2015). On the k-Jacobsthal numbers by matrix methods. **Science and Technol. RMUTT J.** 5(1), 70 - 76.
- Srisawat, S. & Sriprad, W. (2016). Some Pell and Pell-Lucas identities by matrix methods and their applications. **Science and Technol. RMUTT J.** 6(1), 170 - 174.
- Suvarnamani, A. (2017). Some identities of (p, q) -Fibonacci numbers by using matrix methods. **PRRJ. Science and Technol.** 12(2), 49 - 53.

.....

COMPARISON OF REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR LAND USE CLASSIFICATION IN PATTANI BAY, THAILAND

Uten Thongtip^{*}

¹Department of Geographical Technology, Faculty of Humanities and Social Sciences
Phranakorn Rajabhat University, Bangkok, 10220.

^{*}E-mail: tane_geog@hotmail.com

Received: 2018-05-14

Revised: 2019-01-20

Accepted: 2019-01-30

ABSTRACT

In Thailand the land use has been changing, every day new developments (urban, industrial, commercial and agricultural) are emerging. The purpose of this work is to develop the land use of Pattani Bay a sub-wetland of the Thailand watershed that is an important natural resource to Pattani Province. Remote sensing techniques can be used to assess several water quality parameters and also for land use classifications. For this work the ERDAS Imagine 2014 computer software will be used to develop a land use classification using LANDSAT-8 images. The generated land use classification will be compared with a land use generated using ArcGIS 10.5, to decide which method provides better land use classification. The accuracy of each of the derived classification products was assessed in several ways, after which different product accuracies were compared using statistical means with STATISTICA 13.

After used ERDAS to perform the classification, significant data has been obtained using a Minimum Distance Supervised Classification method. Correction methods need to be performed for shadows. Land use classification is more detailed using remote sensing tools such as ERDAS software than the ArcGIS. Also land use classification using ERDAS, can be performed faster and with more precision, after you have your training samples. Using the obtained results from ERDAS and ArcGIS for land use classification can help to perform a more accurate classification. To perform

a better classification of this area using ERDAS, it is recommended to use the Modeler Tool, to correct the errors and be more accurate.

Keywords: Comparison, Remote Sensing Techniques, Land Use Classification

Introduction

Remote Sensing (RS) has been used to classify and map land use changes with different techniques and data sets. LANDSAT images in particular have served a great deal in the classification of different landscape components at a larger scale (Ozesmi & Bauer, 2002). Recently several change detection techniques have been developed that make use of remotely sensed images. A variety of change detection techniques and algorithms have been developed and reviewed for their advantages and disadvantages. Among these Unsupervised Classification or Clustering, Supervised Classification, PCA, Hybrid Classification and Fuzzy Classification are the most commonly applied techniques used in classification (Lu et al., 2004), (Rundquist et al., 2001), (Zhang et al., 2000).

The Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) are instruments onboard the LANDSAT-8 satellite, which was launched in February of 2013. The satellite collects images of the Earth with a 16 day repeat cycle, referenced to the Worldwide Reference System-2. The satellite's acquisitions are in an 8-day offset to LANDSAT-7. The approximate scene size is 170 km. north-south by 183 km. east-west (106 mi by 114 mi). Data collected by the instruments onboard the satellite are available to download at no charge from EarthExplorer, GloVis, or the LANDSATLook Viewer within 24 hours of acquisition (U.S. Geological Survey, 2017).

Pattani Bay is a semi-enclosed reservoir which connects to the Yaring River and its branches and the Gulf of Thailand. It is one of the important water bodies in southern Thailand which supply natural resources (Ruangchuay et al., 2007). The study area was selected for change detection because of being subjected to urbanization, sewage discharges without treatment, active water and soil erosion, over grazing, cutting of trees, non-existence of any cooperative communal structure and reduced livelihood opportunities (Pirut, 2015). Along with these, rapid discharge of pesticide residues and poultry discharge in the streams is also one of the major concerns faced

by the Pattani Bay due to the rapidly increasing agricultural activities and number of poultry farms in the study area. The rapid urban development taking place in the study area has led to environmental problems as well, encompassing, fragmentation of aquatic habitats, soil erosion, and water pollution due to deforestation and discharge of municipal garbage and industrial waste (Erftemeijer & Bualuang, 2015).

Objectives

1. Use remote sensing techniques to identify the land use of Pattani Bay in Thailand.
2. Compare the distribution of land use areas to identify which is the most predominant in the Pattani Bay (Agriculture, Bare soil/rocks, Settlements, Vegetation and Water.)
3. Compare the land use classification data generated by ERDAS IMAGINE 2014 vs. the data generated by using ArcGIS 10.5.

Literature Review

1. LANDAT-8

The LANDAT-8 instruments, Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS), represent an evolutionary advance in technology. OLI builds upon LANDAT heritage and technologies demonstrated by the ALI. As such, OLI is a push-broom sensor with a four-mirror telescope and uses 12-bit quantization. The OLI collects 30-meter data for visible, near infrared, and short wave infrared spectral bands as well as provides for a 15 meter panchromatic band. New with OLI is the addition of a 30-meter-deep blue Coastal Aerosol band (Band 1) for coastal water and aerosol studies and a 30 meter Cirrus band (Band 9) for cirrus cloud detection. Additionally, the bandwidth has been refined (narrowed) for six of the heritage bands (NASA, 2017).

The TIRS instrument collects data for two narrow spectral bands in the thermal region, formerly covered on previous LANDAT instruments by one wide spectral band. Although TIRS is a separate instrument, the 100 meter TIRS data are registered to the OLI data in order to create radiometrically, geometrically, and terrain-corrected 12-bit data products (NASA, 2017).

These sensors both provide improved SNR radiometric performance quantized over a 12-bit dynamic range. This translates into 4,096 potential grey

levels in an image compared with only 256 grey levels in previous 8-bit instruments. Additionally, improved signal-to-noise performance enables better characterization of land cover state and condition (U.S. Geological Survey, 2017).

In addition to Table 1, Figure 1 compares LANDAT-8 spectral bands and wavelength to that of LANDAT-7 ETM+. The OLI sensor, which has a five-year design life, is similar in design to the Advanced Land Imager (ALI) that was included on EO-1, and represents a significant technological advancement over LANDSAT-7's Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) sensor. Instruments on earlier Landsat satellites employed oscillating mirrors to sweep the detectors' field of view across the swath width ("whiskbroom"), but OLI instead uses long linear detector arrays with thousands of detectors per spectral band. Detectors aligned across the instrument focal planes collect imagery in a "push broom" manner resulting in a more sensitive instrument with fewer moving parts. OLI has a four-mirror telescope and data generated by OLI are quantized to 12 bits, compared to the 8-bit data produced by the TM & ETM+ sensor (U.S. Geological Survey, 2017).

Table 1 OLI and TIRS Spectral Bands Compared to ETM+ Spectral Bands

LANDSAT-7 ETM+				LANDSAT-8 OLI and TIRS			
Band	Name	Resolution (m.)	Spectrum ($\mu\text{m.}$)	Band	Name	Resolution (m.)	Spectrum ($\mu\text{m.}$)
1	Blue	30	0.441 - 0.514	1	Coastal/Aerosol	30	0.435 - 0.451
2	Green	30	0.519 - 0.601	2	Blue	30	0.452 - 0.512
3	Red	30	0.631 - 0.692	3	Green	30	0.533 - 0.590
4	NIR	30	0.772 - 0.898	4	Red	30	0.636 - 0.673
5	SWIR-1	30	1.547 - 1.749	5	NIR	30	0.845 - 0.885
6	TIR	60	10.31 - 12.36	6	SWIR-1	30	1.566 - 1.651
7	SWIR-2	30	2.064 - 2.345	7	SWIR-1	30	2.107 - 2.294
8	Pan	15	0.515 - 0.896	8	Pan	15	0.503 - 0.676
				9	Cirrus	30	1.363 - 1.384
				10	TIR-1	100	10.600 - 11.190
				11	TIR-2	100	11.500 - 12.510

Source: U.S. Geological Survey. (2017)

The OLI sensor collects image data for nine shortwave spectral bands over a 190 km. swath with a 30 m. spatial resolution for all bands except the 15 m. panchromatic band. The widths of several OLI bands are refined to avoid atmospheric absorption features within ETM+ bands. The biggest change occurs in OLI band 5 (0.845-0.885 μm .) to exclude a water vapor absorption feature at 0.825 μm . in the middle of the ETM+ near infrared band (band 4; 0.772-0.898 μm .). The OLI panchromatic band, band 8, is also narrower relative to the ETM+ panchromatic band to create greater contrast between vegetated areas and land without vegetation cover. OLI also has two new bands in addition to the legacy LANDSAT bands (1-5, 7, and Pan). The Coastal /Aerosol band (band 1; 0.435-0.451 μm .), principally for ocean color observations, is similar to ALI's band 1', and the new Cirrus band (band 9; 1.363-1.384 μm .) aids in detection of thin clouds comprised of ice crystals (cirrus clouds will appear bright while most land surfaces will appear dark through an otherwise cloud-free atmospheres containing water vapor).

OLI has stringent radiometric performance requirements and is required to produce data calibrated to an uncertainty of less than 5% in terms of absolute, at-aperture spectral radiance and to an uncertainty of less than 3% in terms of top-of-atmosphere spectral reflectance for each of the spectral bands in Table 1. These values are comparable to the uncertainties achieved by ETM+ calibration (U.S. Geological Survey, 2017)

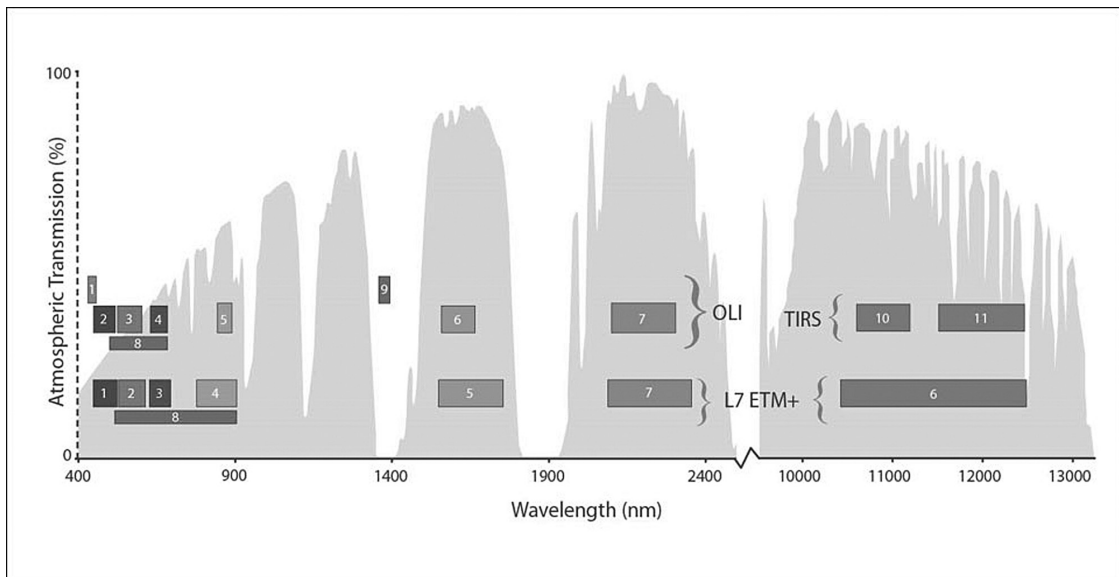


Figure 1 LANDSAT-8 Spectral Bands and Wavelengths compared to LANDSAT-7 ETM+

Source: U.S. Geological Survey. (2017)

2. Land Use Classification

The land use classification system presented in this report (Table 2) includes only the more generalized first and second levels. The system satisfies the three major attributes of the classification process as outlined by Grigg (1965): (1) it gives names to categories by simply using accepted terminology; (2) it enables information to be transmitted; and (3) it allows inductive generalizations to be made. The classification system is capable of further refinement on the basis of more extended and varied use. At the more generalized levels it should meet the principal objective of providing a land use classification system for use in land use planning and management activities. Attainment of the more fundamental and long-range objective of providing a standardized system of land use classification for national and regional studies will depend on the improvement that should result from widespread use of the system (Anderson et al., 1976).

Table 2 Land Use Classification System for Use with Remote Sensor Data

level 1	level 2
1 Urban or built-up land	11 Residential 12 Commercial and services 13 Industrial 14 Transportation 15 Industrial and commercial complexes 16 Mixed urban or built-up land 17 Other urban or built-up land
2 Agriculture land	21 Cropland and pasture 22 Orchards: groves, vineyards, nurseries, and ornamental horticulture areas 23 Confined feeding operations 24 Other agricultural land
3 Rangeland	31 Herbaceous rangeland 32 Shrub and brush rangeland 33 Mixed rangeland
4 Forest land	41 Deciduous forest land 42 Evergreen forest land 43 Mixed forest land
5 Water	51 Streams and canals 52 Lakes 53 bays and estuaries
6 Wetland	61 Forested wetland 62 Non forested wetland
7 Barren land	71 Dry salt flats 72 Beaches 73 Sandy areas other than beaches 74 Transitional areas 75 Mixed barren land
8 Tundra	81 Shurb and brush tundra 82 Herbaceous tundra 83 Mixed tundra
9 Perennial snow and ice	91 Perennial snowfield 92 Glaciers

Source: Anderson et al. (1976)

3. Supervised and Unsupervised Classification

Classification is the process of sorting pixels into a finite number of individual classes, or categories, of data based on their data file values. If a pixel satisfies a certain set of criteria, then the pixel is assigned to the class that corresponds to that criterion. Supervised Classification is more closely controlled by you than Unsupervised Classification. In this process, you select pixels that represent patterns you recognize or can identify with help from other sources. Knowledge of the data, the classes desired, and the algorithm to be used is required before you begin selecting training samples. By identifying patterns in the imagery, you can “train” the computer system to identify pixels with similar characteristics. By setting priorities to these classes, you supervise the classification of pixels as they are assigned to a class value. If the classification is accurate, then each resulting class corresponds to a pattern that you originally identified. Unsupervised Classification is more computer-automated. It allows you to specify parameters that the computer uses as guidelines to uncover statistical patterns in the data (Intergraph Corporation, 2013).

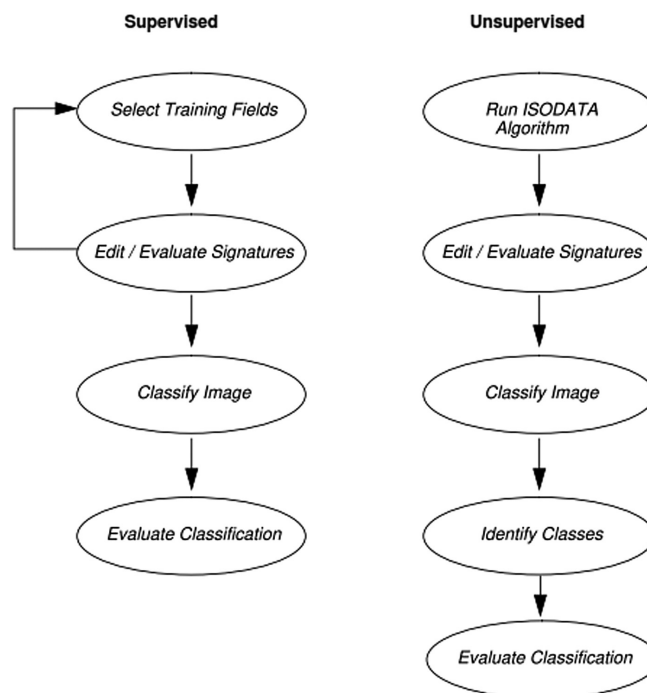


Figure 2: Supervised and Unsupervised Classification

3.1 ISODATA and K-Means Classification

Today several different unsupervised classification algorithms are commonly used in remote sensing. The two most frequently used algorithms are the K-mean and the ISODATA clustering algorithm. Both of these algorithms are iterative procedures. In general, both of them assign first an arbitrary initial cluster vector. The second step classifies each pixel to the closest cluster. In the third step the new cluster mean vectors are calculated based on all the pixels in one cluster. The second and third steps are repeated until the “change” between the iteration is small. The “change” can be defined in several different ways, either by measuring the distances the mean cluster vector have changed from one iteration to another or by the percentage of pixels that have changed between iterations.

The ISODATA algorithm has some further refinements by splitting and merging of clusters (Jensen, 1996). Clusters are merged if either the number of members (pixel) in a cluster is less than a certain threshold or if the centers of two clusters are closer than a certain threshold. Clusters are split into two different clusters if the cluster standard deviation exceeds a predefined value and the number of members (pixels) is twice the threshold for the minimum number of members. The ISODATA algorithm is similar to the k-means algorithm with the distinct difference that the ISODATA algorithm allows for different number of clusters while the k-means assumes that the number of clusters is known a priori. The objective of the k-means algorithm is to minimize the within cluster variability. The objective function (which is to be minimized) is the sums of squares distances (errors) between each pixel and its assigned cluster center.

K-means (just as the ISODATA algorithm) is very sensitive to initial starting values. For two classifications with different initial values and resulting different classification one could choose the classification with the smallest MSE (since this is the objective function to be minimized). However, as we show later, for two different initial values the differences in respects to the MSE are often very small while the classifications are very different. Visually it is often not clear that the classification with the smaller MSE is truly the better classification. From a statistical viewpoint, the clusters obtained by k-mean can be interpreted as the Maximum Likelihood Estimates (MLE) for the cluster means if we assume that each cluster comes from a spherical Normal distribution with different means but identical variance (and zero covariance).

This touch upon a general disadvantage of the K-Means algorithm (and similarly the ISODATA algorithm): K-Means works best for images with clusters that are spherical and that have the same variance (Lillesand & Kiefer, 2000).

This is often not true for remote sensing images. For example, a cluster with “desert” pixels is compact/circular. A “forest” cluster, however, is usually more or less elongated/oval with a much larger variability compared to the “desert” cluster. While the “desert” cluster is usually very well detected by the k-means algorithm as one distinct cluster, the “forest” cluster is often split up into several smaller clusters. The way the “forest” cluster is split up can vary quite a bit for different starting values and is thus arbitrary (Lillesand & Kiefer, 2000).

3.2 Minimum Distance Classification

First, we will learn about the theoretical background of the Minimum Distance Classification using a simplified example. The simplest case is the 2-dimensional spectral feature space. You can see it in Figure 3. The axes correspond to the image spectral bands. Each pixel of the satellite image corresponds to a point in the feature space. The figure shows three classes, that are in red, green and blue points. The red point cloud overlaps with the green and blue ones. There is also a black point cloud that does not belong to any class. After the image is classified these points will correspond to classified pixels (Pavel, 2017).

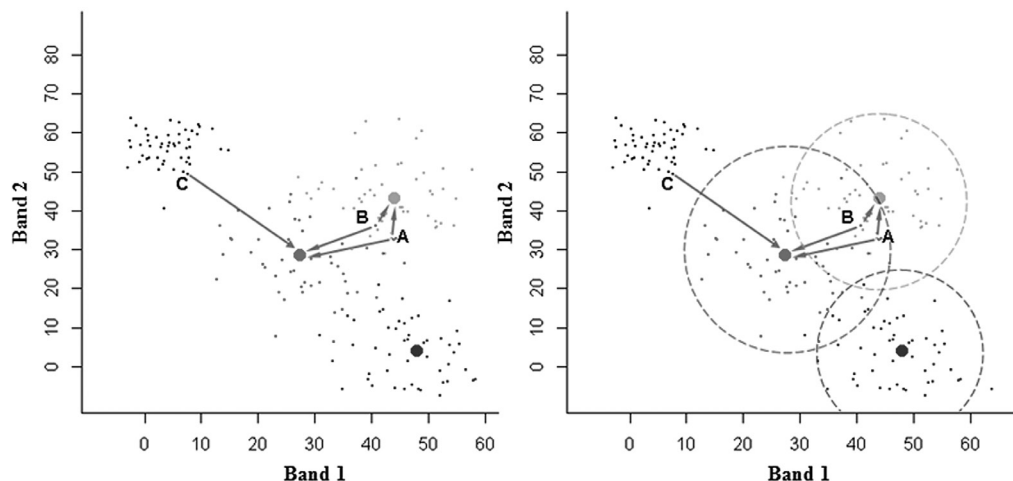


Figure 3: Minimum Distance Classification

Figure 3 on the left shows a situation where the classification does not include the possibility of unclassified pixels. And figure 3 on the right, on the contrary, a case with unclassified pixels in the results of the classification. The grey arrows show the distance from the green point A and the red point B to the centers of green and red classes. We see that both points are closer to the green class center. Therefore points A and B will be classified by the minimum distance to the green class. Here we see the principle of determining membership in the class and the source of errors in the classification. But the number of errors will be less than when we limit the classes to rectangles, as in the classification by the parallelepiped algorithm. That is why when brightness values of classes overlap it is recommended to use a minimum distance algorithm, rather than a parallelogram algorithm (Pavel, 2017).

If we assume the presence of unclassified pixels, the algorithm of the Minimum Distance gets slightly more complicated. Figure 3 show a black point marked as C. The closest class center to it is the center of the red class. To exclude this point from classification procedure, you need to limit the search range around the class centers. For this, set the maximum permissible distance from the center of the class. Figure 3 on the right shows an example of this. Maximum Distances from the centers of the class that limit the search radius are marked with dashed circles. Without this restriction, most black points would be assigned to the red class, and some-to green (Figure. 3, left). And with the restriction (Figure. 3, on the right) they will remain unclassified (Pavel, 2017).

You can apply a search restriction of the same value to all classes. This is the case when all classes have a similar spread of values. And if the classes have a very different spread of values, then it is necessary to set for each class its own size of the search radius. This more complex case is shown in Figures 1 on the right when a greater distance from the center of the class is defined for the red class than for the blue or the green one (Pavel, 2017).

Study Area

Located in the Pattani Bay, Thailand, on the Pattani Province fringe, the study area (Figure 4) is about 76.91 Km² in size.

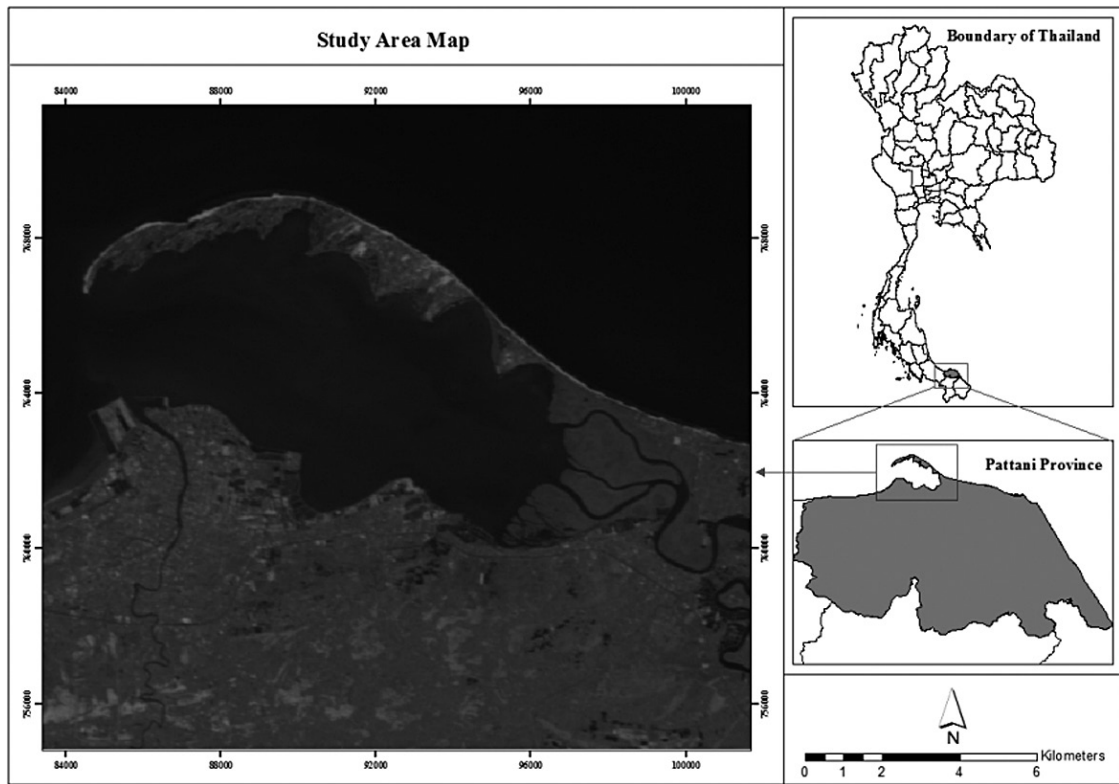


Figure 4 Study Area Map

Methods

Initially, a LANDAT-8 images of the Pattani Bay was pre-processed and then classified in several ways using ERDAS IMAGINE 2014. Post-classification, a decision support system based on expert-knowledge was used to update the classification products according to existing land-use databases using ArcGIS 10.5. The accuracy of each of the derived classification products was assessed in several ways, after which different product accuracies were compared using statistical means with STATISTICA 13. Figure 5 presents a flowchart of the work.

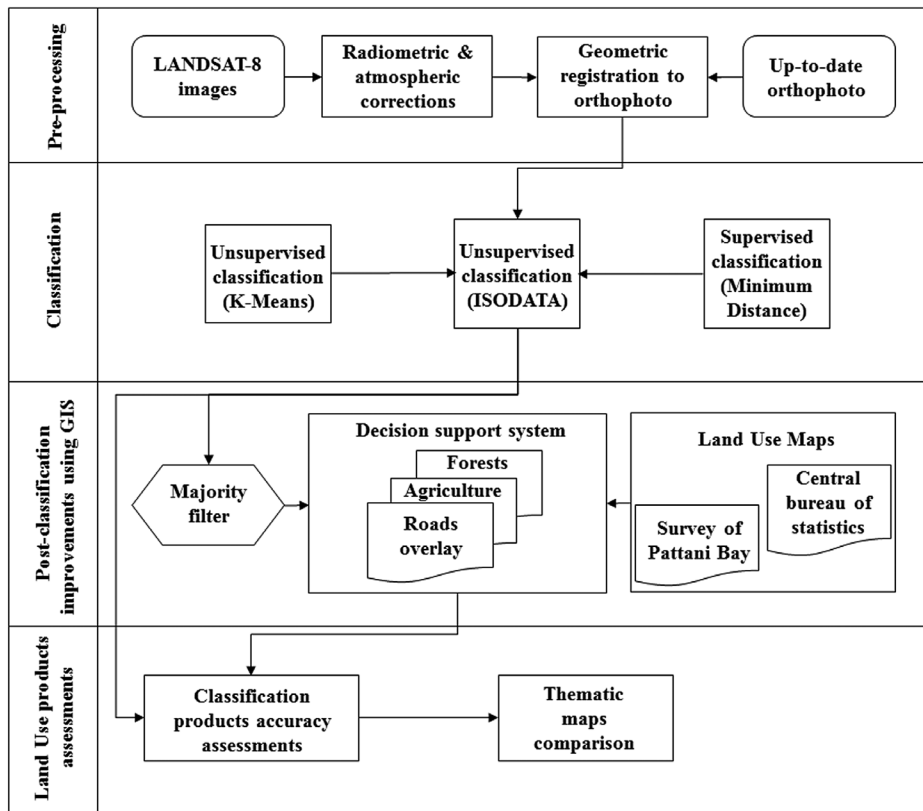


Figure 5 Research Flowchart

For this research, true color images of LANDAT-8 will be used to identify the study area. Remote sensing techniques using ERDAS software to process LANDAT-8 images for the area of interest will be used (Intergraph Corporation, 2013). DEM (Digital Elevation Models) will be used to delineate the catchments area of the subbasing (Río Jauca). ArcGIS (ESRI, 2015) will be used to process the data obtained from DEM's, (Figure 5). The remote sensor to be used is LANDAT-8 which produces 15-meter black-and-white (panchromatic) and 15-meter multispectral (red, blue, green, near infrared) imagery that can be combined in a variety of ways to accommodate a wide range of high-resolution imagery applications using supervised classification. The LANDAT-8 images: LC08_L1TP_128055_20170307_20170316_01_T1 and LC08_TP_127056_20160414_20170326_01_T1 were obtained from the U.S. Geological Survey. A mosaic was obtained from the two images and then a mask created to work in the study area.

Classification for this study, Level 1 of the Anderson classification system was used (Anderson et al., 1976). This classification system is designed to mainly rely on remote sensing; therefore only land-use and land cover types identifiable by remote sensing are used as the basis for organizing this classification. Level 1 of the Anderson classification system is recommended for use with Landsat resolution data. Although this classification scheme is coarse, it eliminates misclassification errors and makes delineation of categories more substantial (Zomeni & Pantis, 2008 and Mallinis et al., 2011). The different land-uses and land-covers included in the five classes used by this study are detailed in Table 3.

Table 3 Land use classification system for use with LANDSAT-8 data

Sr. No.	Class Name	Description
1	Agriculture	Crop fields and fallow lands
2	Settlements	Residential, commercial, industrial, transportation, roads, mixed urban
3	Bare soil/rock	Land areas of exposed soil and barren area influenced by human influence
4	Vegetation	Deciduous forest land, evergreen forest land and mixed forest land
5	Water	River, open water, lakes and ponds

Source: Anderson et al. (1976)

Two Unsupervised Classifications were generated using ERDAS, one using ISODATA and the other using a K-Means method. Several Supervised Classifications were generated, to select the most appropriate. For this classification approximately 200 training samples were obtained from a visit to the area of study (Table 4) (Figure 7), using a Global Position System (GPS) to collect the data. The software used for this study is: ERDAS, ArcGIS and STATISTICA.



Figure 6: Pattani Bay, LANDAT-8

Table 4 Training Samples Description (Example)

Site		UTM Grid Coordinate and Sampling	
Id	Name	X	Y
Sampling			
1.	Agriculture	757600	758900
Point			40
2.	Bare soil/rocks	746800	766800
Point			40
3.	Settlements	747500	759000
Point			40
4.	Vegetation	760200	761300
Point			40
5.	Water	748500	763100
Point			40



Figure 7 Area of Interest (AOI) Selection Using Training Samples Areas

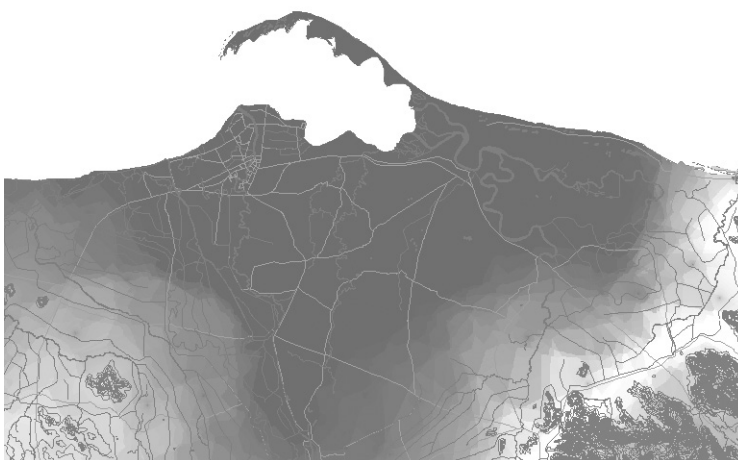


Figure 8 Pattani Bay Delineation Using the Water Modeling System (WMS)

Results and Discussions

Unsupervised Classification (Figures 9 and 10) Performing this classification generated some errors, especially in the forest and agricultural land. This classification was a significant tool to continue with the Supervised Classification. In this classification the most common errors were observed between the agriculture, pasture and forest classes, also errors were found in the urban area, that were in some areas classified as clouds. These errors can be corrected using atmospheric corrections, for clouds and shadows in the original image of LANDAT-8.



Figure 9 Unsupervised Classification: K-Means Method



Figure 10 Unsupervised Classification: Isodata Method

Supervised Classification (Figure 11) After generated eight different Supervised Classifications using different parameters such as number of classes and parametric methods; Minimum Distance, It was found that Minimum Distance Classification generated a better classification than Maximum Likelihood Classification. In the Supervised Classification the most common errors were found in the classification of pasture and forest, in some areas the wavelength of these elements was confused, this can be due to the high intensity of green land cover of the area and the intensity of forest in the watershed.

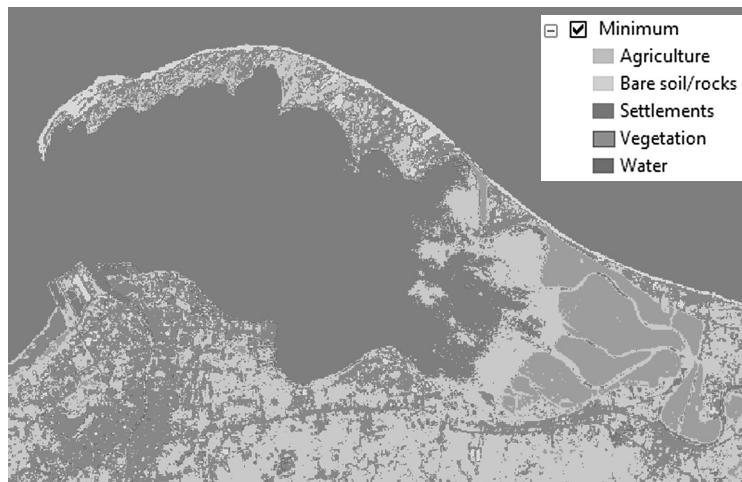


Figure 11 Supervised Classification Minimum Distance Method

ArcGIS Classification in the land use classification generated using ArcGIS tools; the distribution of land use is the following: the predominant land use of the area is agriculture, followed by settlements, followed by vegetation, and a small portion of the bay composed a bare soil/rocks area. In this classification the rangeland area that is located in the center of the bay cannot be observed.

The classified LU map of Pattani Bay of years 2016 is given in Figure 12. The achieved overall classification accuracy 96.24% and overall kappa statistics were 0.9181 respectively for the classification 2016 images. According to Lea & Curtis (2010), accuracy assessment reporting requires the overall classification accuracy above 90% and kappa statistics above 0.9 which were successfully achieved in the present research.

The classification results for 2016 are summarized in Table 5. Percentage of classes based on these results show the land use practices observed in bay area during 2016.

Table 5 Land Use Classes and Areas in Square Kilometers

Land Use Classes	2016	
	Area (km ²)	%
Agriculture	28.48	37.04
Bare soil/rocks	1.91	2.48
Settlements	19.96	25.95
Vegetation	21.59	28.07
Water	4.97	6.46

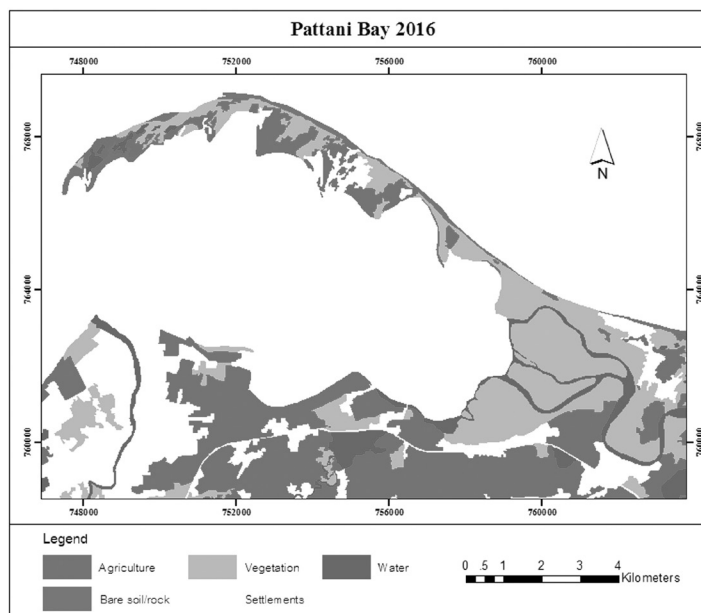


Figure 12 Land Use Maps of Pattani Bay 2016

Conclusion

After used ERDAS to perform the classification, significant data has been obtained using a Minimum Distance Supervised classification method. Correction methods need to be performed for shadows. Land use classification is more detailed using remote sensing tools such as ERDAS software than the ArcGIS. Also land use

classification using ERDAS, can be performed faster and with more precision, after you have your training samples. Using the obtained results from ERDAS and ArcGIS for land use classification can help to perform a more accurate classification. To perform a better classification of this area using ERDAS, it is recommended to use the Modeler tool, to correct the errors and be more accurate.

Acknowledgement

Comparison of Remote Sensing Techniques for Land Use Classification in Pattani Bay, Thailand has been given scholarship from National Research Council of Thailand (NRCT).

References

- Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T. & Witmer, R.E. (1976). **A Land Use and Land Cover Classification for Use with Remote Sensor Data**. Washington D.C.: U.S. Geological Survey.
- Erftemeijer, P.L.A. & Bualuang, A. (2015). **Participation of Local Communities in Mangrove Forest Rehabilitation in Pattani Bay, Thailand**: Retrieved March 16, 2016, from <http://www.globalrestorationnetwork.org/>.
- ESRI. (2016). **Introduction to ArcGIS**. CA: ESRI.
- Grigg, D. (1965). The Logic of Regional Systems: *Annals Assoc. Amer. Geographers*. 55(3), 465-991.
- Intergraph Corporation. (2013). **ERDAS Field Guide**. Huntsville, AL: Intergraph Corporation.
- Jensen, J.R. (1996). **Introductory Digital Image Processing**. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. (2000). **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: John Wiley & Sons.
- Lea, C. & Curtis, A.C., (2010). **Thematic Accuracy Assessment Procedures: National Park Service Vegetation Inventory, Version 2.0. Natural Resource Report NPS/2010/NRR-2010/204**. Colorado: National Park Service, Fort Collins.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. & Moran, E. (2004). Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 25, 2365-2407.

- Mallinis G., Emmanoloudis, D., Giannakopoulos, V., Maris, F. & Koutsias, N. (2011). Mapping and Interpreting Historical Land Cover/Land Use Changes in a Natura 2000 Site Using Earth Observational Data: The Case of Nestos Delta, Greece. **Applied Geography**. 31, 312-320.
- NASA. (2017). **LANDSAT-8 Instruments**. Washington D.C.: U.S. NASA.
- Ozesmi, S.L. & Bauer, M.E. (2002). Satellite Remote Sensing of Wetlands. **Wetlands Ecology and Management**. 10, 381-402.
- Pavel, U. (2017). **Supervised Image Classification Using Minimum Distance Algorithm**. Ukraine: 50Northspatial.
- Pirut, J. (2015). **Study on Community-Based Fishery Management: Case Study at Pattani Bay, Changwat Pattani**. University Library, Kasetsart University, Thailand.
- Ruangchuay, R., Lueangthuwapranit, C. & Pianthumdee, N. (2007). Apparent Characteristics and Taxonomic Study of Macroalgae in Pattani Bay. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. 29(4), 893-905.
- U.S. Geological Survey. (2017). **LANDSAT- 8 (L-8) Data Users Handbook**. Washington D.C.: U.S. Geological Survey.
- Zomeni M.J.T. & Pantis, J.D. (2008). Historical Analysis of Landscape Change Using Remote Sensing Techniques: An Explanatory Tool for Agricultural Transformation in Greek Rural Areas. **Landscape and Urban Planning**. 86, 38-46.
-

การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเวลาของการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ในจังหวัดชลบุรี

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF ROAD ACCIDENT IN CHON BURI PROVINCE

จุลเสนีย์ วัยวัฒน์^{1*} ณรงค์ พลธีร² แก้ว นวลฉวี³ และ นฤมล อินทรวีเชียร⁴

^{1*, 2, 3, 4}คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

Junlasenee Waiwatthana^{1*} Narong Pleerux² Kaew Nualchawee³ and Narumon Intarawichian⁴

^{1*, 2, 3, 4}Faculty of Geoinformatics, Burapha University, Chon Buri, 20131

*E-mail: waiwattana@yahoo.com

Received: 2018-04-16

Revised: 2019-07-27

Accepted: 2019-01-10

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นและรูปแบบการกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุตามฤดูกาลในปี พ.ศ. 2555 – 2560 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุโดยใช้เทคนิค Kernel Density Estimation (KDE) และรูปแบบการกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนด้วยเทคนิค Average Nearest Neighbor ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) ผลการศึกษาพบว่า ฤดูฝนมีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุสูงที่สุด รองลงมา คือ ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยแต่ละฤดูกาลมีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุสูงในพื้นที่เดิม ๆ เช่น ถนนสุขุมวิท ถนนวิบูลย์ประชารักษ์ เมืองพัทยา เป็นต้น ส่วนรูปแบบการกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนพบว่า ทุกฤดูกาลมีรูปแบบการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่ม (Cluster) ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวางแผนเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุในพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุหนาแน่น และนำไปใช้ในการกำหนดนโยบายป้องกันการเกิดอุบัติเหตุในระยะยาวได้

คำสำคัญ: การประมาณเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัว อุบัติเหตุทางถนน

ABSTRACT

The purposes of this research are to analyze the density and distribution patterns of seasonal accidents in 2012 to 2017. Kernel Density Estimation (KDE) and Average Nearest Neighbor techniques in Geographic Information System (GIS) are used to analyze of accident density and distribution pattern, respectively. The results reveal the rainy season has the highest density of road accidents following by winter and summer. Each season shows a high density of accidents in the same areas such as Sukhumvit Road, Viboonpracharak Road and roads in Pattaya City. The distribution pattern of road accidents is found the clustered pattern in all seasons. The results of this research can be used for planning to decrease accidents in densely populated areas and also used to determine long-term accident prevention policy.

Keywords: Kernel Density Estimation, Average Nearest Neighbor, Road Accident

บทนำ

อุบัติเหตุจากการจราจรถือเป็นปัญหาสำคัญระดับโลก เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินซึ่งส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจมูลค่ามหาศาล จากรายงานความปลอดภัยทางถนนของโลกในปี พ.ศ. 2556 พบว่าอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนของไทยอยู่ในอันดับที่ 3 ของโลก โดยมีผู้เสียชีวิตประมาณ 38 คน ต่อประชากร 100,000 คน (World Health Organization, 2015) ในขณะที่ พ.ศ.2558 อัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนของไทยอยู่ในอันดับที่ 2 คือ มีผู้เสียชีวิตประมาณ 36 คนต่อประชากร 100,000 คน รองจากประเทศลิเบียที่เสียชีวิตประมาณ 74 คน ต่อประชากร 100,000 คน แต่ประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตจากการจักรยานยนต์ประมาณ 27 คนต่อประชากรหนึ่งแสนคน ซึ่งสูงเป็นอันดับ 1 ของโลก (World Health Organization, 2015) โดยอุบัติเหตุจากการจราจรนั้นมักเกิดจากสาเหตุสำคัญ 3 ประการ คือ 1.สาเหตุจากตัวบุคคล เช่น ร่างกายอ่อนเพลีย ขาดความชำนาญและประสบการณ์ในการใช้รถใช้ถนน การไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบหรือข้อบังคับ 2.สาเหตุจากสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพของรถไม่สมบูรณ์ สภาพของถนนเป็นหลุมเป็นบ่อ มีฝนตกทำให้ถนนลื่น การเกิดพายุหรือหมอกลงจัดทำให้ทัศนวิสัยไม่ดี 3.สาเหตุจากกฎหมาย โดยการขาดบทลงโทษที่เหมาะสมจากการฝ่าฝืนกฎจราจร หรือการขาดการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้มีจิตสำนึกในการปฏิบัติตามกฎระเบียบ (Institute of Physical Education Suphanburi, 2016)

จังหวัดชลบุรีเป็นศูนย์กลางของภาคตะวันออก ทั้งด้านเศรษฐกิจ การท่องเที่ยว และอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นจังหวัดที่สามารถเดินทางได้ง่ายและอยู่ติดทะเล ทำให้มีประชากรและนักท่องเที่ยวเดินทางมาท่องเที่ยวและทำกิจกรรมต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก โดยมีสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงหลายแห่ง ได้แก่ หาดบางแสน พัทยา และเกาะล้าน มีโรงแรม ร้านอาหาร ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ผับ บาร์ต่าง ๆ เปิดบริการเป็นจำนวนมาก ทำให้มีนักท่องเที่ยวเดินทางสัญจรไปมาตลอดทั้งปี จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้มีอุบัติเหตุจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย โดยในปี พ.ศ. 2555 จังหวัดชลบุรีมีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน 580 คน หรือ ประมาณ 43 คนต่อประชากร 100,000 คน ในปี พ.ศ. 2556 เพิ่มขึ้นเป็น 636 คน หรือ ประมาณ 47 คนต่อประชากร 100,000 คน ในปี พ.ศ. 2557 มีผู้เสียชีวิต 638 คนหรือ ประมาณ 46 คนต่อประชากร 100,000 คน ปี พ.ศ. 2558 ลดลงเป็น 597 คนหรือ ประมาณ 42 คนต่อประชากร 100,000 คน พ.ศ. 2559 มีผู้เสียชีวิต 648 คน หรือ ประมาณ 45 คนต่อประชากร 100,000 คน (Bureau of Non Communicable Diseases, 2016)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ GIS เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการจัดการ และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Satria & Castro, 2016; Yiampanisan & Srivanit, 2010) โดยเฉพาะการนำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับอุบัติเหตุ, (Kaygisiz et al., 2015; Yang et al., 2013) ตัวอย่าง เช่น การศึกษาความหนาแน่นของจุดอุบัติเหตุโดยใช้เทคนิค Kernel Density Estimation (KDE) เพื่อระบุถึงบริเวณที่มีการกระจุกตัวและมีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุ (Shafabakhsh et al., 2017; Xie & Yan., 2008) นอกจากนั้นยังมีการใช้เทคนิค Average Nearest Neighbor มาใช้ในการศึกษา และวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของจุดอุบัติเหตุ โดยแบ่งรูปแบบการกระจายตัวออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การกระจายตัวแบบกลุ่ม (Clustered) แบบกระจัดกระจาย (Dispersed) และแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน (Random) (Pleerux et al., 2016; Sae-Ngow & Chaysmithikul, 2015)

ในการวิจัยนี้ได้นำเทคนิค KDE และ Average Nearest Neighbor มาใช้ในการศึกษาความหนาแน่นและรูปแบบการกระจายตัวของจุดอุบัติเหตุตามฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในจังหวัดชลบุรี ผลของการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการป้องกันและลดการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดชลบุรีได้

วิธีการ

1. การจัดทำฐานข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุ

1.1 ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุของจังหวัดชลบุรีที่อยู่ในเว็บไซต์ www.thairsc.com ถูกจัดเก็บและเผยแพร่อยู่ในรูปแบบแผนที่ ดังนั้นก่อนนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ จะต้องทำการแปลงให้เป็นข้อความ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลค่าพิกัดและช่วงเวลาที่เกิดอุบัติเหตุ

โดยข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ .txt ด้วย Postman Extension ของ Google Chrome

1.2 นำข้อมูล .txt ที่ได้จากข้อ 1.1 มาจัดการและสร้างเป็นฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ Microsoft Excel ซึ่งจัดเก็บไฟล์แบบ .xls โดยฐานข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุประกอบด้วยฟิลด์ (Field) หลัก 2 ฟิลด์ ได้แก่ ค่าพิกัด (X, Y) และฤดูกาล (Season)

1.3 ทำการแปลงไฟล์ .xls ให้เป็นไฟล์ .csv เพื่อนำไปเปิดในซอฟต์แวร์ ArcGIS Desktop 10.0

1.4 นำเข้าไฟล์ .csv ในซอฟต์แวร์ ArcGIS Desktop 10.0 จากนั้นแสดงให้เป็นข้อมูลจุดโดยใช้คำสั่ง Display XY Data และแปลงให้เป็นข้อมูล Shapefile

2. การจัดกลุ่มข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุ

จัดกลุ่มข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุตามฤดูกาลตามการเสนอแนะของ Meteorological Department of Thailand (2016)

3. การวิเคราะห์ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดชลบุรี

3.1 วิเคราะห์ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุโดยใช้เทคนิค KDE ซึ่งเป็นคำสั่งใน Spatial Analyst Extension ของซอฟต์แวร์ ArcGIS Desktop 10.0 โดยมีหลักการวิเคราะห์ คือ ตารางกิดจะถูกสร้างขึ้นครอบคลุมทุกจุด โดยอาศัยฟังก์ชัน 3 มิติแบบเคลื่อนที่มีความยาวรัศมีที่กำหนดไว้ จะเคลื่อนที่ไปทุก ๆ ช่องตารางกิดและคำนวณค่าน้ำหนักสำหรับจุดแต่ละจุดภายในรัศมีของแกนกลาง ค่าของช่องตารางกิดสุดท้ายถูกคำนวณโดยการรวมค่าของการประมาณการค่าแกนกลางของทุก ๆ ตำแหน่ง (Sae-Ngow & Chaysmithikul, 2015) โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีขนาดของเซลล์ (Output cell size) ที่ 10 คำนวณความหนาแน่นระหว่างจุดการเกิดอุบัติเหตุที่ 500 (Search radius = 500) โดยมีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

3.2 จัดทำแผนที่แสดงความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุตามฤดูกาล

4. การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุบัติเหตุ

วิเคราะห์การกระจายตัวของอุบัติเหตุโดยใช้เทคนิค Average Nearest Neighbor ซึ่งเป็นคำสั่งที่อยู่ใน Spatial Statistics Extension ของซอฟต์แวร์ ArcGIS Desktop 10.0 สามารถใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุบัติเหตุออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การกระจายตัวแบบกลุ่ม (Clustered) แบบกระจัดกระจาย (Dispersed) และแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน (Random) โดยกำหนดสมมติฐานหลัก (H_0) สำหรับการศึกษานี้ คือ จุดเกิดอุบัติเหตุทางถนนมีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) เท่ากับ 0.01

ผลการศึกษา

1. ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุ

จากข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุรายปีตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2555-2560 จำแนกตามฤดูกาล พบว่าในทุกปีฤดูฝนมีจำนวนการเกิดอุบัติเหตุสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,612 ครั้งต่อปี รองลงมา คือ ฤดูหนาว มีค่าเฉลี่ย 3,807 ครั้งต่อปี และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ย 2,605 ครั้งต่อปี

หากพิจารณาจำนวนการเกิดอุบัติเหตุรายปี พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนการเกิดอุบัติเหตุสูงที่สุดเท่ากับ 12,477 ครั้ง รองลงมา ได้แก่ ปี พ.ศ.2560 และ 2558 เท่ากับ 11,982 และ 10,802 ครั้ง ตามลำดับ สำหรับปีที่พบการเกิดอุบัติเหตุต่ำสุดได้แก่ปี พ.ศ.2555 เท่ากับ 9,922 ครั้ง ดังตารางที่ 1

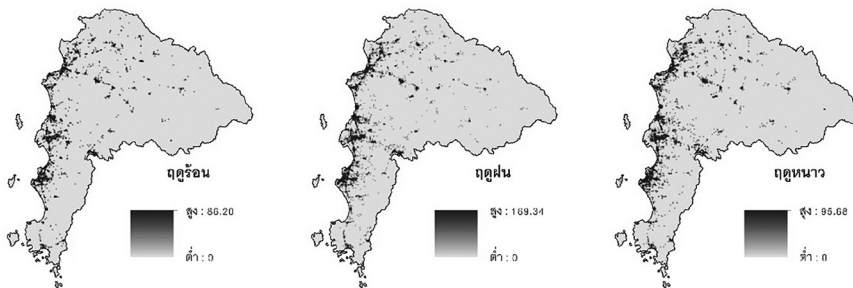
ตารางที่ 1 สถิติการเกิดอุบัติเหตุในจังหวัดชลบุรีโดยจำแนกตามฤดูกาลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 – 2560

ฤดูกาล	การเกิดอุบัติเหตุรายปี (ครั้ง)						รวม	เฉลี่ย
	2555	2556	2557	2558	2559	2560		
ฤดูร้อน	2,231	2,579	2,442	2,592	2,940	2,849	15,633	2,605
ฤดูฝน	4,315	4,446	4,155	4,448	5,231	5,076	27,671	4,612
ฤดูหนาว	3,376	3,662	3,679	3,762	4,306	4,057	22,842	3,807
รวม	9,922	10,687	10,276	10,802	12,477	11,982	66,146	11,024
เฉลี่ย	3,307	3,562	3,425	3,600	4,159	3,994	22,048	3,674

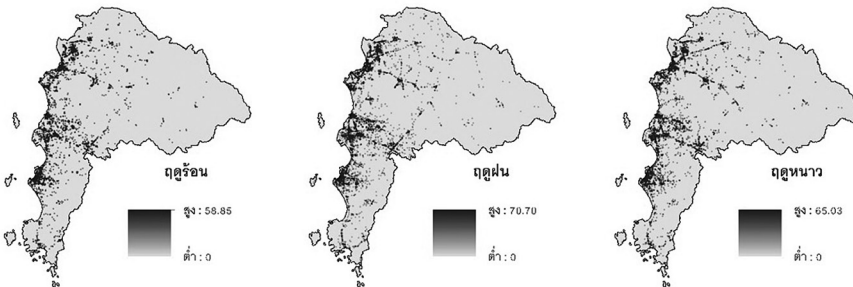
จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุตั้งแต่ พ.ศ. 2555 – 2560 พบว่า บริเวณถนนหมายเลข 3 (สายสุขุมวิท) ถนนหนองคล้าใหม่ในเทศบาลนครแหลมฉบัง ถนนอัสสัมชัญ และทางหลวงชนบทชลบุรี-ระยองหมายเลข 3013 ในอำเภอสัตหีบมีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุที่สูง อำเภอเมืองชลบุรีพบการกระจุกตัวของการเกิดอุบัติเหตุสูง บริเวณถนนหมายเลข 3 (สายสุขุมวิท) ถนนวิบูลย์ประชารักษ์ ถนนเลียบเมืองชลบุรี ถนนลงหาดบางแสน และถนนข้าวหลาม ในอำเภอบางละมุงพบความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุมาก ในเมืองพัทยา ถนนเลียบทางรถไฟ และถนนหมายเลข 3 (สายสุขุมวิท) อำเภอบ้านบึงมีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุสูงบริเวณถนนชลบุรี-บ้านบึง และ ถนนทางหลวงยุทธศาสตร์ สัตหีบ-พนมสารคาม

เมื่อทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุในจังหวัดชลบุรี ปี พ.ศ. 2555 - 2560 โดยจำแนกตามฤดูกาล พบว่าฤดูกาลที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดคือฤดูฝน โดยมี

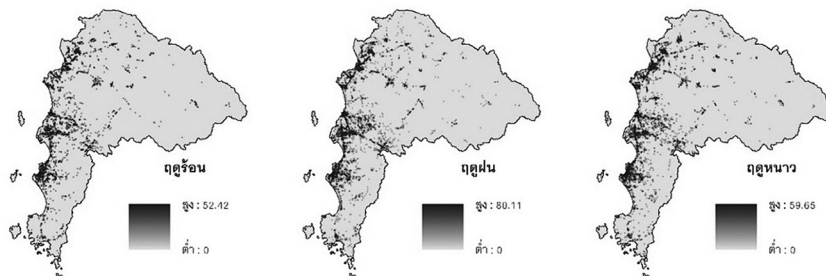
ความหนาแน่นมากบริเวณถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3 (ถนนสายสุขุมวิท) ถนนคลองค้ำใหม่ ถนนเลี้ยวเมืองชลบุรี ถนนลงหาดบางแสน ถนนพญาสายสอง ในขณะที่ฤดูหนาวที่พบค่าความหนาแน่นรองลงมานั้น ส่วนใหญ่พบอยู่ที่ในบริเวณถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3 (ถนนสายสุขุมวิท) ถนนวิบูลย์ประชากรักษ์ ถนนลงหาดบางแสน ถนนเลียบบทางรถไฟ และถนนทางหลวงชนบทชลบุรี – ระยอง หมายเลข 3013 ส่วนฤดูร้อนที่มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดนั้น การเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่บริเวณถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3 (ถนนสายสุขุมวิท) ถนนศรีอโศกพัฒนา ถนนพญาเหนือ และถนนพญาใต้ ซึ่งในทุก ๆ ฤดูกาลความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณพื้นที่เดิม ดังรูปที่ 1 - 6 นี้



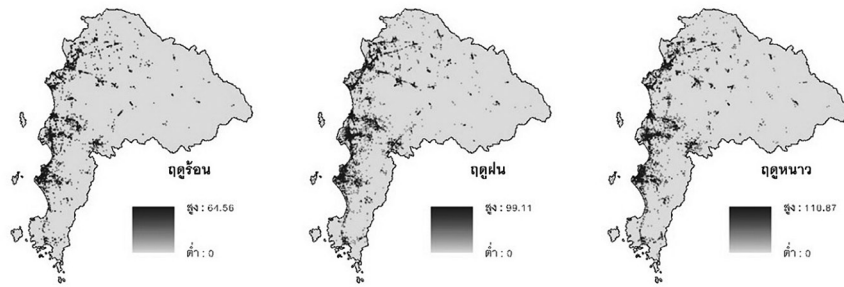
รูปที่ 1 ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุจำแนกตามฤดูกาล ปี พ.ศ. 2555



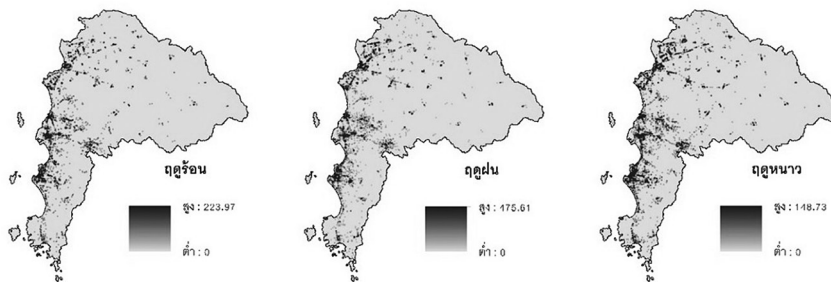
รูปที่ 2 ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุจำแนกตามฤดูกาล ปี พ.ศ. 2556



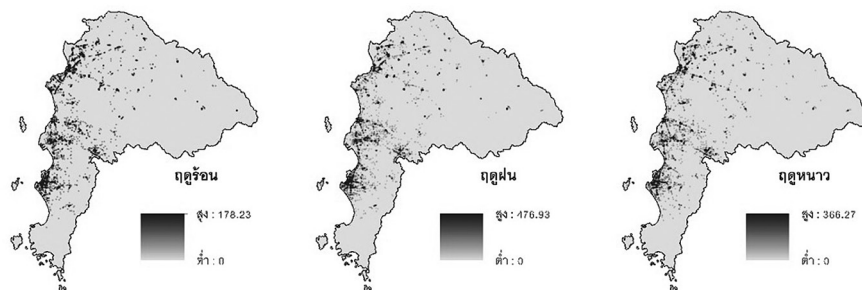
รูปที่ 3 ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุจำแนกตามฤดูกาล ปี พ.ศ. 2557



รูปที่ 4 ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุจําแนกตามฤดูกาล ปี พ.ศ.2558



รูปที่ 5 ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุจําแนกตามฤดูกาล ปี พ.ศ.2559



รูปที่ 6 ความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุจําแนกตามฤดูกาล ปี พ.ศ.2560

หากพิจารณาค่าความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุรายปี พบว่า ในปี พ.ศ. 2560 มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดเท่ากับ 340.48 รองลงมา ได้แก่ ปี พ.ศ. 2559 และ 2555 เท่ากับ 282.77 และ 117.07 ตามลำดับ สำหรับปีที่ค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ได้แก่ ปี พ.ศ. 2557 เท่ากับ 64.06 โดยค่าความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุในฤดูฝนจะมีค่าสูงที่สุด มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 228.63 รองลงมาคือ ฤดูหนาว มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 141.01 และ ฤดูร้อน มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ย 110.71 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุจังหวัดชลบุรีโดยจำแนกตามฤดูกาลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 – 2560

ฤดูกาล	ความหนาแน่น						เฉลี่ย
	2555	2556	2557	2558	2559	2560	
ฤดูร้อน	86.20	58.85	52.42	64.56	223.97	178.23	110.71
ฤดูฝน	169.34	70.70	80.11	99.11	475.61	476.93	228.63
ฤดูหนาว	95.68	65.03	59.65	110.87	148.73	366.27	141.04
เฉลี่ย	117.07	64.86	64.06	91.51	282.77	340.48	

2. การกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุ

รูปแบบการกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุทั้งฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 – 2560 เป็นแบบกลุ่ม (Clustered) เนื่องจากค่า p-value ทั้ง 3 ฤดูกาลของทุกปี มีค่าน้อยกว่า 0.01 จึงทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ที่ว่ารูปแบบการเกิดอุบัติเหตุมีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน (Random) ดังนั้นจึงทำให้การเกิดอุบัติเหตุทางถนนของจังหวัดชลบุรีทั้ง 3 ฤดูกาล เป็นแบบกลุ่ม (Cluster) ดังตารางที่ 3-5 นี้

ตารางที่ 3 ค่าสถิติและรูปแบบการกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุในฤดูร้อน

ปี พ.ศ.	Average Nearest Neighbor Summary					
	Observed	Expected	Nearest	z-score	p-value	pattern
	Mean	Mean	Neighbor			
	Distance	Distance	Ratio			
2555	251.8757	714.7630	0.3523	-58.1897	0.0000	Cluster
2556	300.6397	664.6754	0.4523	-52.9200	0.0000	Cluster
2557	291.7101	681.8652	0.4278	-53.8934	0.0000	Cluster
2558	252.6341	660.9293	0.3822	-60.0288	0.0000	Cluster
2559	235.7778	621.3664	0.3794	-64.1393	0.0000	Cluster
2560	231.0211	632.1793	0.3654	-64.4660	0.0000	Cluster

ตารางที่ 4 ค่าสถิติและรูปแบบการกระจายตัวของ การเกิดอุบัติเหตุในฤดูฝน

ปี พ.ศ.	Average Nearest Neighbor Summary					
	Observed	Expected	Nearest	z-score	p-value	pattern
	Mean Distance	Mean Distance	Neighbor Ratio			
2555	174.1993	515.2683	0.3393	-82.6599	0.0000	Cluster
2556	221.7512	505.6430	0.4385	-71.3116	0.0000	Cluster
2557	205.7816	523.0175	0.3934	-74.4810	0.0000	Cluster
2558	199.8067	505.2993	0.3954	-76.8420	0.0000	Cluster
2559	160.0647	465.6362	0.3437	-90.5138	0.0000	Cluster
2560	143.2637	473.7724	0.3023	-94.5668	0.0000	Cluster

ตารางที่ 5 ค่าสถิติและรูปแบบการกระจายตัวของ การเกิดอุบัติเหตุในฤดูหนาว

ปี พ.ศ.	Average Nearest Neighbor Summary					
	Observed	Expected	Nearest	z-score	p-value	pattern
	Mean Distance	Mean Distance	Neighbor Ratio			
2555	223.7397	581.4966	0.3847	-67.9499	0.0000	Cluster
2556	233.8256	557.8926	0.4191	-66.8696	0.0000	Cluster
2557	232.5548	556.8172	0.4176	-67.1687	0.0000	Cluster
2558	213.7538	549.4597	0.3890	-71.4139	0.0000	Cluster
2559	203.7085	514.7746	0.3957	-75.3900	0.0000	Cluster
2560	174.4666	529.3511	0.3295	-81.3382	0.0000	Cluster

สรุปและวิจารณ์ผล

บริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุสูงทั้งในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 – 2560 ส่วนใหญ่พบบริเวณเดิม คือ บริเวณถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3 (ถนนสายสุขุมวิท) ที่ตัดผ่านอำเภอเมืองชลบุรี อำเภอศรีราชา และอำเภอบางละมุง ในอำเภอศรีราชาพบมากบริเวณถนนหนองคล้าใหม่ในเทศบาลนครแหลมฉบัง ถนนอัสสัมชัญ และทางหลวงชนบทชลบุรี-ระยองหมายเลข 3013 ในอำเภอเมืองชลบุรีพบมากบริเวณ ถนนวิบูลย์ประชารักษ์ ถนนเลี้ยวเมืองชลบุรี ถนนลงหาดบางแสน และถนนข้าวหลาม โดยลักษณะพื้นที่บริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุสูงในอำเภอเมืองชลบุรี คือ บริเวณทางเบี่ยงเข้าถนนเลี้ยวเมืองชลบุรี ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณทางเข้ามตะนคร ลักษณะถนนเป็นถนนขนาด 3 ช่องทางจราจรเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่าง ถ.บางนา - ตราดกับถนนเลี้ยวเมืองชลบุรีอีกทั้งยังมีทางโค้งกับทางเข้าออกของนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ปัญหาที่พบในบริเวณนี้ คือ ป้ายจราจรมีขนาดเล็กมองไม่เห็นและมีจำนวนน้อย พร้อมกันนี้เส้นแบ่งช่องจราจรยังมีลักษณะเลือนรางทำให้ผู้ใช้รถใช้ถนนมองเห็นเส้นจราจรไม่ชัดจึงง่ายต่อการเกิดอุบัติเหตุ อำเภอพานทองพบมากบริเวณสี่แยกระหว่างถนนหมายเลข 3466 กับถนนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 (มอเตอร์เวย์) ในอำเภอบางละมุงพบมากในเมืองพัทยา ถนนเลียบทางรถไฟ และถนนหมายเลข 3 (สายสุขุมวิท) เมืองพัทยามีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุสูง โดยเฉพาะบริเวณจุดกลับรถในเมืองพัทยาที่มีเป็นจำนวนมาก ซึ่งบริเวณจุดกลับรถส่วนใหญ่ผู้ใช้รถจะข้ามรถด้วยความเร็วสูงเพราะเป็นถนนเส้นสุขุมวิทซึ่งเป็นทางหลักที่จะมุ่งหน้าออกถนนเลี้ยวเมืองและเข้าเมืองชลบุรี ประชาชนจึงไม่ค่อยระวัง ประกอบกับมีผู้ใช้รถบางส่วนขับรถยนต์ยี่ห้อสกปรกกลับรถที่บริเวณนี้จึงทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย (National Institute for Emergency Medicine, 2014)

จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดชลบุรีพบว่า ฤดูฝนเป็นฤดูที่เกิดอุบัติเหตุสูงสุด โดยมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่าง ๆ ทางสภาพอากาศ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และการลื่นไถลของพื้นถนนที่เป็นปัจจัยทางสภาพอากาศที่สำคัญในการเกิดอุบัติเหตุ รวมถึงสาเหตุเรื่องความชัดเจนของทัศนวิสัย รองลงมา คือ ฤดูหนาว ที่มีปัจจัยด้านความเร็วลมและความลื่นของพื้นถนนเป็นตัวแปรสำคัญ แต่ความลื่นของพื้นถนนไม่มากเท่ากับฤดูฝน และสุดท้ายคือ ฤดูร้อน ด้วยอุณหภูมิที่สูงและมีแดดจัดสามารถทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงยังสามารถทำให้เครื่องยนต์เกิดความเสียหายได้ง่ายและมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้สูงขึ้น (Liu, 2013)

รูปแบบการกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุ ทุกฤดูกาลมีค่า p-value ที่ต่ำกว่า 0.01 ($p < 0.01$) ประกอบกับค่า Nearest Neighbor Ratio ของฤดูกาลในทุกปีมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าการเกิดอุบัติเหตุมีรูปแบบการกระจายตัวแบบกลุ่ม โดยการเกาะกลุ่มกันของอุบัติเหตุส่วนใหญ่อยู่บริเวณถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3 (ถนนสายสุขุมวิท) บริเวณถนนหนองคล้าใหม่

ในเทศบาลนครแหลมฉบัง ถนนอัสสัมชัญ ทางหลวงชนบทชลบุรี – ระยองหมายเลข 3013 ถนนวิบูลย์ประชารักษ์ ถนนเลียบเมืองชลบุรี ถนนลงหาดบางแสน ถนนข้าวหลาม เมืองพัทยา และถนนเลียบทางรถไฟ ซึ่งในทุกปีบริเวณที่มีการเกาะกลุ่มของการเกิดอุบัติเหตุมีลักษณะใกล้เคียงกัน

จากผลการวิจัยทำให้ทราบถึงความหนาแน่นและการกระจายตัวของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดชลบุรีซึ่งในแต่ละปีมีช่วงเวลาการเกิดอุบัติเหตุและการกระจายตัวคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีจำนวนการเกิดอุบัติเหตุสูงในฤดูฝน ส่วนบริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอุบัติเหตุสูงอยู่ที่ถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3 (ถนนสุขุมวิท) ถนนที่อยู่ในเขตเทศบาลเมืองแสนสุข ถนนที่อยู่ในเขตเมืองพัทยา เป็นต้น จากข้อมูลดังกล่าวสามารถไปใช้ในการวางแผนป้องกันและลดการเกิดอุบัติเหตุในในปัจจุบัน รวมถึงการกำหนดนโยบายเพื่อลดอุบัติเหตุในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

- Bureau of Non Communicable Diseases. (2016). **The Information of road traffic accident, provincial and district levels in 2014**. Retrieved December 21, 2016, from <http://thaincd.com/2016/news/hot-news-detail.php?gid=18&id=12346>
- Institute of Physical Education Suphanburi. (2016). **Cause of road accident**. Retrieved July 15, 2017, from <http://www.ipesp.ac.th/learning/supitcha/html/E4-2-1.html>
- Kaygisiz, O., Duzgun, S., Yildiz, A. & Senbil, M. (2015). Spatio-temporal accident analysis for accident prevention in relation to behavioral factors in driving: The case of south Anatolian Motorway. **Transportation Research Part F**. 33, 128-140.
- Liu, Y. (2013). **Civil and Environment Engineering**. Master of Science in Civil and Environment Engineering. Department of Civil and Environment Engineering. University of Maryland, Collage Park., United States.
- Meteorological Department of Thailand. (2016). **Meteorological Book**. Retrieved December 22, 2016, from <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=53>
- National Institute for Emergency Medicine. (2014). **Open the risk of traffic accidents in Chonburi**. Retrieved December 28, 2016 from http://thaiemsinfo.com/autopagev4/show_page.php?topic_id=467&auto_id=6&TopicP
- Pleerux, N., Imsawas, K., Yongsiri, P. & Pholgerddee, P. (2016). **Study of liquor stores distribution around higher education institutes using geoinformation**

technology: A case study of Muang District, Chon Buri Province. Full Research Report.

Road Accidents Data center. (2016). **Data Traffic Accident Report**. Retrieved December 24, 2016, from <http://www.thairsc.com/>

Sae-Ngow, P. & Chaysmithikul, P. (2015). **Spatial Pattern of Manufacturing and Location Density of Agro-processing Industry in Ratchburi Province**. Retrieved December 12, 2016, from http://www.teacher.ssru.ac.th/pornperm_sa/file.php/1/Spatial_Pattern_of_Manufacturing_and_Location_Density.pdf

Satria, R. & Castro, M. (2016). GIS Tools for analyzing accident and road design: A review. **Transportation Research Procedia**. 18, 242 – 247

Shafabakhsh, G.A., Famili, A., & Bahadori, M.S. (2017). GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English edition)**. 4(3), 290 – 299

World Health Organization. (2015). **Global status report on road safety 2015**. Bangkok: Scand-media Corp.,Ltd.

Xie, Z. & Yan, J. (2008). Kernel Density Estimation of traffic accidents in a network space. **Computers, Environment, and Urban Systems**. 35(5), 396 – 406

Yang, S., Lu, S. & Wu, Y, J. (2013). GIS-based Economic cost estimation of traffic accidents in St.Louis, Missouri. **Procedia – Social and Behavioral Sciences** 96. (2013), 2907 – 2915.

Yiampisan, M. & Srivanit, M. (2010). Using the Kernel Density Estimation surface for criminal pattern: A case study in Phranakhon district, Bangkok. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies**. 7(1), 87 - 102

.....

การโยงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดจลน์กับมวลโมเลกุล
ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธีการควมรวมพลังงานกิบส์

THE CORRELATION OF KINEMATIC VISCOSITY
AND MOLECULAR MASS OF FATTY ACID METHYL ESTER
WITH GIBBS ENERGY ADDITIVITY METHOD

ติณณภพ จุ่มอิน^{1*}, สุภาพรรณ สัจจวรรณ², สุริยา พันธโกศล³ และ คณิงนิต ปทุมมาเกษร⁴

^{1*,4}สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร 10900

²สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร 10900

³สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

Thinnaphop Chum-in^{1*}, Suphapan Satchawan², Suriya Phankosol³
and Kanuengnit Patoommakesorn⁴

^{1*,4}Division of Production Technology, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, 10900.

²Division of Chemistry, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, 10900.

³Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok, 10600.

E-mail: thinnaphop@gmail.com

Received: 2018-07-24

Revised: 2018-11-25

Accepted: 2019-01-10

บทคัดย่อ

ความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญและมีผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการสูบน้ำในระบบเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยความหนืดจลน์จะเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมันและอุณหภูมิ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดจลน์กับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธีการควมรวมพลังงานกิบส์ (GEAM) เพื่อใช้เป็นสมการอย่างง่ายในการประมาณค่าความหนืดจลน์จากการศึกษาพบว่าความหนืดจลน์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับมวลโมเลกุล โดยสามารถประมาณความหนืดจลน์ได้ทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และ

ไบโอดีเซลในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ 278.15 ถึง 373.15 K โดยใช้สมการชุดเดียวกัน และยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (AAD) ที่ยอมรับได้ ดังนั้นสมการจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปใช้งานเพื่อศึกษาความหนืดจลน์ได้อย่างรวดเร็ว ช่วยให้ประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการทดลองลงได้

คำสำคัญ: กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ ความหนืดจลน์ มวลโมเลกุล ไบโอดีเซล วิธีการพลังงานควมรวมกิบส์

ABSTRACT

Kinematic viscosity of biodiesel is important physical properties and directly effect on the injection process of the engine. It changes with the chemical composition of fatty acid and temperature. This research aims to correlate between kinematic viscosity and molecular mass of fatty acid methyl ester by Gibbs Energy Additivity Method (GEAM), to use a simple equation for estimating kinetic viscosity. Accordingly, it was found that kinematic viscosity is highly linear relationship to of fatty acid methyl ester. Hence, kinematic viscosity of both fatty acid methyl ester and biodiesels can be estimated by using the same equation in temperature range of 278.15 to 373.15 K. The Average Absolute Deviation (AAD) are still accepted. Therefore, the equation is very useful for the rapid application of kinematic viscosity, to help saving time and saving cost in experimental.

Keywords: Fatty acid methyl ester, Kinematic viscosity, Molecular mass, Biodiesel, Gibbs energy additivity method

บทนำ

ไบโอดีเซลถือเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการนำมาทดแทนน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีสมบัติใกล้เคียงกัน (Aransiola, Ojumu, Oyekola, Madzimbamuto, & Ikhu-Omoregbe, 2014; Ashraful et al., 2014; Atabani et al., 2013; Atadashi, Aroua, & Aziz, 2010) ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่าองค์ประกอบทางเคมีของไบโอดีเซลมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล (Ashraful et al., 2014; Phankosol, Sudaprasert, Lilitchan, Aryusuk, & Krisnangkura, 2014) จึงทำให้มีนักวิจัยจำนวนมากศึกษาและพัฒนาความสัมพันธ์สมการต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการประมาณค่าสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล (Krisnangkura,

Yimsuwan, & Pairintra, 2006; Phankosol, Sudaprasert, Lilitchan, Aryusuk, & Krisnangkura, 2015; Pratas et al., 2011; Yuan, Hansen, & Zhang, 2009) ซึ่งความหนืดจลน์ ถือได้ว่าเป็นสมบัติหนึ่งที่ได้รับคามนิยามอย่างยิง เนื่องจากความหนืดจลน์เป็นสมบัติที่มีผลต่อการสูกัดและการพ่นฝอยของไบโอดีเซล และส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ (Ashraful et al., 2014) โดยการพัฒนาสมการความสัมพันธ์ของความหนืดจลน์กับองค์ประกอบทางเคมีพบมีรายงานผลการศึกษามากมายอย่างต่อเนื่อง เช่น Knothe และ Steidley (Knothe & Steidley, 2011) ได้พัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคาร์บอนอะตอมและความหนืดจลน์ในรูปสมการพหุนามกำลังสาม ดังสมการที่ (1)

$$\mu = 0.30487 + 0.0265z + 0.0066z^2 + 0.000491z^3 \quad (1)$$

เมื่อ μ และ z คือ ความหนืดจลน์ และจำนวนคาร์บอนอะตอม โดยสมการที่ (1) ถูกใช้ในการประมาณค่าความหนืดจลน์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว ที่อุณหภูมิ 40 °C เท่านั้นและมีความแม่นยำสูง ต่อมาได้มีการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์โดยการนำเสนอของ Allen et al. (Allen, Watts, Ackman, & Pegg, 1999) ซึ่งสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลโมเลกุล และจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ เพื่อใช้ในการประมาณค่าความหนืดจลน์ของทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว (C18:X) ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\mu_{sat} = 1.05 \times 10^4 M^2 - 0.0242M + 2.15 \quad (2)$$

$$\mu_{unsat-C18} = 0.153n_d^2 - 115n_d + 4.73 \quad (3)$$

เมื่อ μ_{sat} , μ_{unsat} , M (g/mol) และ n_d คือ ความหนืดจลน์ของกรดไขมันอิ่มตัว ความหนืดจลน์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว มวลโมเลกุล และจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของ C18:X ตามลำดับ โดยสมการที่ (2) และ (3) แต่สมการมีข้อจำกัด คือ สามารถประมาณค่าได้เฉพาะอุณหภูมิเดียว คือ 40 °C และสมการของทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว แยกจากกัน (Allen et al., 1999) ทำให้มีความยุ่งยากต่อการใช้งานเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้สมการในการประมาณค่าความหนืดสัมบูรณ์ของทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวได้ในสมการเดียว จึงได้มีการนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างมวลโมเลกุลและจำนวนพันธะคู่ โดยสมการนี้ได้รับการนำเสนอโดย Ramírez-Verduzco et al. (Ramírez-Verduzco, Rodríguez-Rodríguez, & Jaramillo-Jacob, 2012) ดังสมการที่ (4)

$$\ln \eta = -12.503 + 2.496 \ln M - 0.178n_d \quad (4)$$

เมื่อ η คือ ความหนืดสัมบูรณ์โดยสมการที่ (4) เป็นสมการที่นำเสนอถึงความสัมพันธ์ของความหนืดสัมบูรณ์ที่เป็นฟังก์ชันของลอการิทึมธรรมชาติของมวลโมเลกุลและจำนวนพันธะคู่

ทำให้สมการสามารถประมาณค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้ทั้งของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในสมการเดียว แต่อย่างไรก็ตามสมการยังคงไม่สามารถประมาณค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กล่าวคือสามารถประมาณค่าของความหนืดสัมบูรณ์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ได้เฉพาะที่ 40 °C เท่านั้น

จะสังเกตได้ว่าสมการที่ (1) – (4) ความหนืดจลน์และความหนืดสัมบูรณ์มีความสัมพันธ์กันสูงกับองค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมัน แต่อย่างไรก็ตามสมการกลับไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังนั้นจึงทำให้สมการมีข้อจำกัดคือ สามารถประมาณค่าได้เฉพาะที่อุณหภูมิเดียว แต่ในทางปฏิบัตินั้นจะพบว่า ความหนืดจลน์และความหนืดสัมบูรณ์จะมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิด้วย ต่อมา Felipe และ Rami´rez-Verduzco (Felipe & Rami´rez-Verduzco, 2013) ได้พัฒนาต่อยอดสมการที่ (4) ให้เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิทำให้สมการสามารถใช้ในการประมาณค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังสมการที่ (5)

$$\ln \eta = -18.354 + 2.362 \ln(M) - 0.127n_d + \frac{2009}{T} \quad (5)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K) โดยสมการที่ (5) ถือเป็นรูปแบบสมการอย่างง่ายที่ใช้ในการประมาณค่าความหนืดสัมบูรณ์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ทั้งอิ่มตัวไม่อิ่มตัว และมีความแม่นยำสูง โดยทั่วไปไบโอดีเซลก็คือกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ ผลสมกันอยู่ ดังนั้นในการประมาณค่าความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลจะอาศัยกฎการผสมช่วยในการประมาณค่า ซึ่ง Allen et al. (Allen et al., 1999) ได้นำเสนอไว้ดังสมการที่ (6)

$$\ln \mu = \sum_{i=1}^k x_i \ln \mu_i \quad (6)$$

เมื่อ x คือ สัดส่วนโดยมวลหรือมวลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์แต่ละตัว (i)

สำหรับวิธีการควมรวมพลังงานกิบส์ (Gibbs energy additivity method, GEAM) มีแนวคิดในการโยงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และถูกนำไปประยุกต์ใช้กับสมการของสมบัติทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์กับพลังงานกิบส์จำนวนมากทั้งความหนืดจลน์ ความหนืดสัมบูรณ์ (Krisnangkura, Aryusuk, Phankosol, & Lilitchan, 2016; Krisnangkura, Sansa-ard, Aryusuk, Lilitchan, & Kittiratanapiboon, 2010; Krisnangkura et al., 2006; Phankosol et al., 2015) ความหนาแน่น (Phankosol et al., 2014a) และแรงตึงผิว (Phankosol, Sudaprasert, Lilitchan, Aryusuk, & Krisnangkura, 2014b) เป็นต้น เนื่องจากมีข้อดีคือ สมการสามารถประมาณค่าได้ทั้ง กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซลโดยใช้ค่าคงที่เดียวกันและมีความแม่นยำของสมการสูง ซึ่งวิธีการนี้ได้นำเสนอไว้โดย Krisnangkura et al. (Krisnangkura et al., 2006) สมการอย่างง่ายแสดงได้ดังสมการที่ (7) และวิธีการพัฒนาอย่างละเอียดจะได้นำเสนอไว้ในหัวข้อถัดไป

$$\ln \mu = a + bz + \frac{c}{T} + \frac{dz}{T} \quad (7)$$

โดยที่ $a = \ln A + \frac{\Delta S_0}{R}$, $b = \frac{\delta S}{R}$, $c = -\frac{\Delta H_0}{R}$, $d = -\frac{\delta H}{R}$ เมื่อ ΔS_0 , δS , ΔH_0 และ δH คือ เอนโทรปีของกลุ่มฟังก์ชัน เอนโทรปีควมรวมของสายโซ่คาร์บอน เอนทาลปีของกลุ่มฟังก์ชัน เอนทาลปีควมรวมของสายโซ่คาร์บอน ตามลำดับ และ A และ $a - d$ คือ ค่าคงที่ของสมการ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการ GEAM ในการโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดจลน์กับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์เพื่อใช้เป็นสมการอย่างง่ายในการประมาณค่าความหนืดจลน์ของทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว ไม่อิ่มตัว และไบโอดีเซล ได้ในสมการเดียว และคาดว่าจะประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปใช้งานและการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์กับไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี

วิธีการควมรวมพลังงานกิบส์และการพัฒนาสมการประมาณค่าความหนืดจลน์

วิธีการควมรวมพลังงานกิบส์ (Gibbs Energy Additivity Method, GEAM) ได้นำเสนอครั้งแรกโดย Krisnangkura (Krisnangkura et al., 2006) โดยมีหลักการ คือ โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบจะถูกแบ่งออกเป็นอะตอมหรือกลุ่มอะตอมย่อย ๆ ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะมีพลังงานกิบส์ที่ต่างกัน แต่จะสามารถควมรวมเข้าด้วยกันได้ โดยสามารถเขียนเป็นสมการอย่างง่ายได้ดังสมการที่ (8)

$$\Delta G_{total} = \sum_{i=1}^n x_i \Delta G_i \quad (8)$$

เมื่อ ΔG_{total} และ ΔG_i คือ พลังงานกิบส์ควมรวม และพลังงานกิบส์ของกลุ่มอะตอมหรือพันธะ ซึ่งตามหลักการของ GEAM สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการแบ่งโครงสร้างของโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลโดยการควมรวมพลังงานกิบส์ของกลุ่มฟังก์ชัน จำนวนคาร์บอนอะตอม และจำนวนพันธะคู่ได้ดังสมการที่ (9) (Phankosol et al., 2014a)

$$\Delta G_{unsat} = \Delta G_f + z\Delta G_i + n_d\Delta G_{db} \quad (9)$$

เมื่อ ΔG_{unsat} , ΔG_f และ ΔG_{db} คือ พลังงานกิบส์ของความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน พลังงานกิบส์ของกลุ่มฟังก์ชัน และพลังงานกิบส์ของจำนวนพันธะคู่

สำหรับการขยายความสัมพันธ์ของความหนืดจลน์ด้วยวิธี GEAM ได้อธิบายไว้ โดย Krisnangkura et al. (Krisnangkura et al., 2006) โดยมีสมการเริ่มต้นดังสมการที่ (10)

$$\ln \mu = \ln A - \frac{\Delta G_{flow}}{RT} \quad (10)$$

เมื่อ A , ΔG_{flow} และ R คือ ค่าคงที่ของสมการ พลังงานกิบส์เนื่องจากการไหล และ ค่าคงที่ของแก๊ส จากนั้นจึงทำการขยายสมการที่ (10) ด้วยสมการที่ (9) จะได้ดังสมการที่ (11)

$$\ln \mu = \ln A - \frac{\Delta G_f + z\Delta G_i + n_d\Delta G_{db}}{RT} \quad (11)$$

และทำการขยายอีกครั้งให้อยู่ในรูปของเอนทัลปีและเอนโทรปีจะได้ดังสมการที่ (12)

$$\ln \mu = \ln A - \frac{(\Delta H - T\Delta S)_f + z(\Delta H - T\Delta S)_i + n_d(\Delta H - T\Delta S)_{db}}{RT} \quad (12)$$

จากนั้นจึงทำการจัดรูปสมการที่ (12) ใหม่จะทำให้ได้สมการสำหรับการประมาณค่าความหนืดจลน์ดังสมการที่ (13)

$$\ln \mu = s_0 + s_1z + s_2n_d + \frac{h_0 + h_1z + h_2n_d}{T} \quad (13)$$

เมื่อ $s_0 = \ln A + \frac{(\Delta S)_f}{R}$, $s_1 = \frac{(\Delta S)_i}{R}$, $s_2 = \frac{(\Delta S)_{db}}{R}$, $h_0 = -\frac{(\Delta H)_f}{R}$, $h_1 = -\frac{(\Delta H)_i}{R}$, $h_2 = -\frac{(\Delta H)_{db}}{R}$ โดยที่ s_0 , s_1 , s_2 , h_0 , h_1 และ h_2 มีค่าเท่ากับ -3.13, -0.102, 0.2318, 796, 71.46 และ 121 ตามลำดับ ซึ่งสมการที่ (13) ได้รับการนำเสนอครั้งแรกโดย Phankosol et al. (Phankosol et al., 2015) และเมื่อต้องการใช้ประมาณค่าความหนืดจลน์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสมหรือไบโอดีเซลจะสามารถแทนด้วยค่า z_{ave} และ $n_{d,ave}$ ตามสมการที่ (14) – (15) ตามลำดับ

$$z_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^z x_i z_i}{x_i} \quad (14)$$

และ

$$n_{d,ave} = \frac{\sum_{i=1}^{n_d} x_i n_{d,ave}}{x_i} \quad (15)$$

การโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดจลน์กับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์

โดยทั่วไปการหามวลโมเลกุลของ FAME จะหาได้จากสมการที่ (16)

$$M = M_{CH_3} + M_{CH}(z-2) + M_{COOCH_3} - 2M_H(n_d) \quad (16)$$

เมื่อจัดรูปความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของจำนวนคาร์บอนจะได้ดังสมการที่ (17)

$$z = \frac{2n_d - 46 + M}{14} \quad (17)$$

เมื่อแทนสมการที่ (12) ลงใน (8) จะทำให้ได้สมการใหม่ของความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดจลน์กับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ดังสมการที่ (18)

$$\ln \mu = s_0 + s_1 \left(\frac{2n_d - 46 + M}{14} \right) + s_2 n_d + \frac{h_0 + h_1 \left(\frac{2n_d - 46 + M}{14} \right) + h_2 n_d}{T} \quad (18)$$

เมื่อจัดรูปแบบแล้วจะทำให้ได้ดังสมการที่ (19)

$$\ln \mu = \left(s_0 - \frac{46s_1}{14} \right) + \left(\frac{s_1}{14} \right) M + \left(s_2 + \frac{2s_1}{14} \right) n_d + \frac{\left(h_0 - \frac{46h_1}{14} \right) + \left(\frac{h_1}{14} \right) M + \left(h_2 + \frac{2h_1}{14} \right) n_d}{T} \quad (19)$$

ในการประมาณค่าความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลตามสมการที่ (13) จะสามารถแทนที่ด้วยจำนวนคาร์บอนอะตอมเฉลี่ยและมวลโมเลกุลเฉลี่ยได้ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (9) และ (14) ตามลำดับ

$$M_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^M x_i M_i}{x_i} \quad (20)$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ความถูกต้องในการประมาณค่าของสมการที่ศึกษาในครั้งนี้จะใช้วิธีการหาค่าความเอนเอียง (Bias, %) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (AAD, %) ดังสมการที่ (21) และ (22) ตามลำดับ

$$Bias(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\mu_{exp,i} - \mu_{cal,i}}{\mu_{exp,i}} \right) \quad (21)$$

และ

$$AAD(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\mu_{exp,i} - \mu_{cal,i}}{\mu_{exp,i}} \right| \quad (22)$$

เมื่อ $\mu_{exp,i}$, $\mu_{cal,i}$ และ N คือ ความหนืดจลน์ที่ได้จากข้อมูลการทดลอง ความหนืดจลน์ที่ได้จากการคำนวณ และจำนวนข้อมูล ตามลำดับ

ข้อมูลการทดลอง

การพัฒนาสมการครั้งนี้ได้ใช้ของข้อมูลการทดลองจากเอกสารอ้างอิงในการสอบเทียบสมการที่ (23) โดยเป็นข้อมูลการทดลองความหนืดจลน์ที่รวบรวมจาก Pratas et al. (Pratas et al., 2011), Pratas et al. (Pratas et al., 2010), Carlos A. Nogueira et al. (Carlos A. Nogueira, Feitosa, Fabiano A. N. Fernandes, Santiago, & Sant'Ana, 2010), Feitosa et al. (Feitosa et al., 2010) และ Knothe และ Steidley (Knothe & Steidley, 2007)

ผลการทดลอง

องค์ประกอบกรดไขมันของไบโอดีเซลแต่ละชนิด

ไบโอดีเซลแต่ละชนิดจะประกอบด้วยกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุดิบตั้งต้นที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ตารางที่ 1 แสดงถึงร้อยละสัดส่วนโดยมวลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลือง (Carlos A. Nogueira et al., 2010) น้ำมันปลา และน้ำมันดอกทานตะวัน (Feitosa et al., 2010) รวมทั้งค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ย จำนวนคาร์บอนเฉลี่ย และจำนวนพันธะคู่เฉลี่ย ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ (14), (15) และ (20) ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันตารางที่ 2 แสดงถึงค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ย จำนวนคาร์บอนเฉลี่ย และจำนวนพันธะคู่เฉลี่ย ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสม และไบโอดีเซลผสม โดยทั้งหมดมีค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ย จำนวนคาร์บอนเฉลี่ย และจำนวนพันธะคู่เฉลี่ย อยู่ในช่วง 248.393 ถึง 296.792, 14.466 ถึง 18.000, 0.267 ถึง 1.900 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไบโอดีเซล

กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (% สัดส่วน โดยมวล)	ไบโอดีเซล		
	น้ำมันถั่วเหลือง (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	น้ำมันปลา (Feitosa et al., 2010)	น้ำมันดอกทานตะวัน (Feitosa et al., 2010)
C8:0	0.00	0.00	0.00
C10:0	0.00	0.00	0.00
C12:0	0.00	0.00	0.00
C14:0	0.08	3.76	0.00
C16:0	10.49	5.66	7.10
C16:1	0.12	28.09	0.00
C18:0	4.27	7.46	4.80
C18:1	24.20	42.29	22.60
C18:2	51.36	12.74	65.50
C18:3	7.48	0.00	0.00
C20:0	0.36	0.00	0.00
C20:1	0.28	0.00	0.00
C22:0	0.40	0.00	0.00
C22:1	0.07	0.00	0.00
C24:0	0.14	0.00	0.00
M_{ave}	292.981	284.993	293.415
Z_{ave}	17.823	17.175	17.858
$n_{d, ave}$	1.510	0.959	1.536

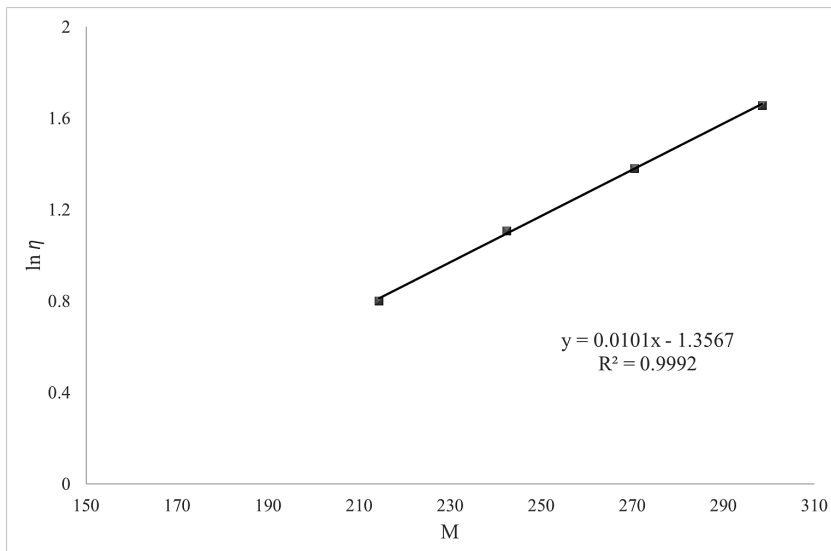
ตารางที่ 2 ค่า M_{ave} , z_{ave} และ $n_{d,ave}$ ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสมและไบโอดีเซลผสม

กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสม / ไบโอดีเซลผสม	x_i	M_{ave}	z_{ave}	$n_{d,ave}$
C18:1 (w) /C18:2 (Knothe & Steidley, 2007)	0.5000	295.480	18.000	1.500
	0.9500	295.188	17.900	0.950
	0.9000	293.886	17.800	0.900
	0.8500	292.584	17.700	0.850
C18:1 (w) /C18:0 (Knothe & Steidley, 2007)	0.9500	296.591	18.000	0.950
	0.9000	296.691	18.000	0.900
	0.8500	296.792	18.000	0.850
C18:2 (w) /C16:0 (Knothe & Steidley, 2007)	0.9500	293.269	17.900	1.900
	0.9000	292.068	17.800	1.800
	0.8500	290.867	17.700	1.700
C18:2 (w) /C18:0 (Knothe & Steidley, 2007)	0.9500	294.672	18.000	1.900
	0.9000	294.873	18.000	1.800
	0.8500	295.075	18.000	1.700
C16:1 (w) /C16:0 (Knothe & Steidley, 2007)	0.9500	268.531	16.000	0.950
CB-R1 ¹ (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	0.1660	256.496	15.061	0.389
CB-R2 (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	0.1960	257.658	15.148	0.421
CB-R3 (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	0.2990	261.645	15.449	0.534
CB-R4 (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	0.4900	269.039	16.006	0.742
CB-R5 (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	0.6840	276.549	16.572	0.953
CB-R6 (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	0.8050	281.233	16.925	1.085
CB-R7 (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	0.9000	284.911	17.202	1.188
CC-R1 ² (Feitosa et al., 2010)	0.0962	290.220	17.482	0.503
CC-R2 (Feitosa et al., 2010)	0.1967	285.001	17.106	0.473
CC-R3 (Feitosa et al., 2010)	0.2989	279.694	16.723	0.444
CC-R4 (Feitosa et al., 2010)	0.3970	274.601	16.356	0.415
CC-R5 (Feitosa et al., 2010)	0.4974	269.387	15.980	0.385
CC-R6 (Feitosa et al., 2010)	0.5977	264.179	15.604	0.356
CC-R7 (Feitosa et al., 2010)	0.6952	259.116	15.239	0.327
CC-R8 (Feitosa et al., 2010)	0.8039	253.472	14.832	0.296
CC-R9 (Feitosa et al., 2010)	0.9017	248.393	14.466	0.267

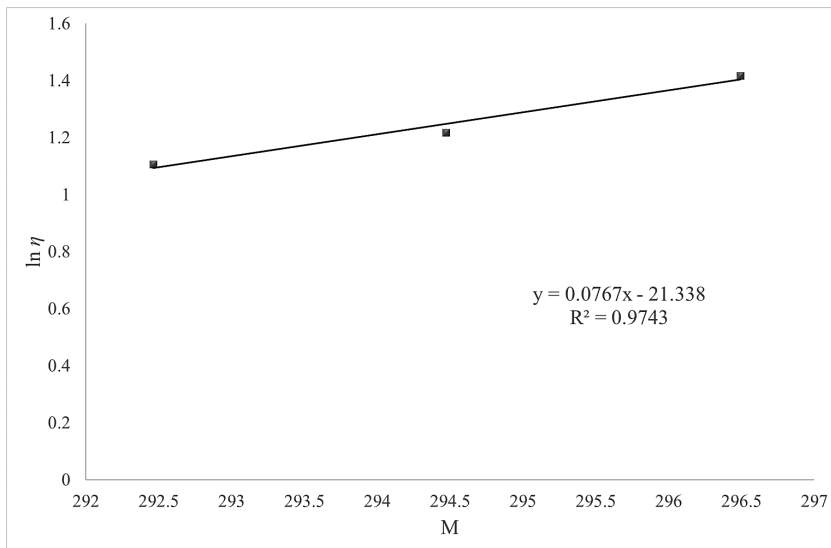
¹CB-RX¹ คือ Cotton Seed + Babassu Ratio CC-RX² คือ Coconut + Colza Ratio

ความสัมพันธ์ระหว่างมวลโมเลกุลและความหนืดของกรดไขมันเมทิล-เอสเทอร์และไบโอดีเซล

จากการพล็อตกราฟระหว่างลอการิทึมฐานธรรมชาติของความหนืดกับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง พบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของลอการิทึมฐานธรรมชาติของความหนืดกับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว ดังรูปที่ 1ข มีจุดตัดแกน ความชัน และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ -21.338, 0.0767 และ 0.9743 ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเข้าใกล้ 1 จึงเป็นการยืนยันได้ว่าความหนืดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูงกับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่ามวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมากกว่ากรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว ซึ่งความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของลอการิทึมฐานธรรมชาติของความหนืดกับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว ดังรูปที่ 1ก มีค่าจุดตัดแกน ความชัน และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ -1.3567, 0.0101 และ 0.9992 ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมฐานธรรมชาติของความหนืดจลน์ กับมวลโมเลกุลของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว (ก) และไม่อิ่มตัว (ข)

ค่าคงที่ของสมการ

จากสมการที่ (19) เมื่อทำการแทนค่าคงที่ s_0 , s_1 , s_2 , h_0 , h_1 และ h_2 ของสมการที่ (13) ลงไปจะทำให้ได้ค่าสมการใหม่ดังสมการที่ (23)

$$\ln \mu = -2.794 - 0.00726M + 0.2172n_d + \frac{561.2028 + 5.1042M - 110.7914n_d}{T} \quad (23)$$

สมการที่ (23) จะใช้ข้อมูลจากการทดลองจากเอกสารอ้างอิงในการสอบเทียบความแม่นยำของสมการ ทั้งหมด 349 ข้อมูล โดยแบ่งเป็นข้อมูลกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวทั้งหมด 162 ข้อมูล กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสมทั้งหมด 92 ข้อมูล และไบโอดีเซลและไบโอดีเซลผสมทั้งหมด 95 ข้อมูล

การประมาณค่าความหนืดจลน์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว ไม่อิ่มตัว และกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสม

สมการที่ (23) ถูกนำมาใช้ประมาณค่าทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว สมการสามารถประมาณค่าได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 278.15 ถึง 373.15 K โดยมีค่า Bias และ AAD อยู่ในช่วง -6.156 ถึง 6.138% และ 1.278 ถึง 6.435 ตามลำดับ ค่า AAD สูงสุดพบใน Erucate (C22:1) โดยมีค่า Bias และ AAD โดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.695% และ 3.829% ตามลำดับ ซึ่ง ค่า AAD ของสมการที่ (23) มีค่าน้อยกว่าสมการที่ (13) (4.309%) สำหรับกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสมพบว่าค่า Bias และ AAD โดยเฉลี่ยเท่ากับ -0.767% และ 3.816% ตามลำดับ ค่า Bias ติดลบแสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดจลน์ที่ประมาณค่ามากกว่าค่าที่มาจากการทดลอง นอกจากนี้ค่า AAD ของสมการที่ (23) ยังมีค่าน้อยกว่าสมการที่ (13) (3.761) โดยข้อมูลค่า Bias และ AAD ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว แสดงไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า Bias และค่า AAD ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์	T (K)	Eq. (23)		Eq. (13)	
		Bias (%)	AAD (%)	Bias (%)	AAD (%)
Laurate (C12:0) (Pratas et al., 2010)	283.15- 353.15	-3.470	4.168	-2.512	3.541
Myristate (C14:0) (Pratas et al., 2010)	298.15- 353.15	1.390	1.390	2.410	2.410
Palmitate (C16:0) (Pratas et al., 2010)	308.15- 363.15	3.769	3.769	4.853	4.853
Stearate (C18:0) (Pratas et al., 2010)	313.15 – 363.15	6.138	6.138	7.293	7.293
Oleate (C18:1) (Pratas et al., 2010)	283.15- 353.15	-0.266	2.544	0.998	2.166
Linoleate (C18:2) (Pratas et al., 2010)	278.15- 353.15	-5.771	5.771	-4.456	4.521
Linolenate (C18:3) (Pratas et al., 2011)	278.15- 363.15	-0.701	1.278	0.517	1.357
Arachidate (C20:0) (Pratas et al., 2011)	323.15- 373.15	3.607	3.607	4.883	4.883
Gadoleate (C20:1) (Pratas et al., 2011)	278.15- 373.15	1.032	2.721	2.392	2.924
Behenate (C22:0) (Pratas et al., 2011)	333.15- 373.15	2.169	2.543	3.564	3.564
Erucate (C22:1) (Pratas et al., 2011)	278.15- 363.15	-6.156	6.435	-4.561	5.125
Lignocerate (C24:0) (Pratas et al., 2011)	338.15- 373.15	-0.307	2.482	1.217	2.502
เฉลี่ย (%)		0.119	3.570	1.383	3.761

ตารางที่ 4 การประมาณค่าความหนืดจลน์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสม

กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสม (Mixing FAME)	T (K)	Eq. (23)		Eq. (13)	
		Bias (%)	AAD (%)	Bias (%)	AAD (%)
C18:1/C18:2 (50:50) (Knothe & Steidley, 2007)	278.15- 313.15	3.904	4.199	5.149	5.149
C18:1/C16:0 (95:5) (Knothe & Steidley, 2007)	278.15- 313.15	1.888	3.125	3.168	3.429
C18:1/C16:0 (90:10) (Knothe & Steidley, 2007)	278.15- 313.15	0.899	3.228	2.186	3.380
C18:1/C16:0 (85:15) (Knothe & Steidley, 2007)	283.15- 313.15	1.918	3.457	3.188	4.001
C18:1/C18:0(95:5) (Knothe & Steidley, 2007)	283.15- 313.15	1.541	3.306	2.831	3.842
C18:1/C18:0(90:10) (Knothe & Steidley, 2007)	288.15- 313.15	1.117	2.470	2.407	3.245
C18:1/C18:0(85:15) (Knothe & Steidley, 2007)	293.15- 313.15	1.150	2.286	2.435	3.047
C18:2/C16:0 (95:5) (Knothe & Steidley, 2007)	278.15- 313.15	-3.035	3.908	-1.717	3.329
C18:2/C16:0 (90:10) (Knothe & Steidley, 2007)	278.15- 313.15	-4.733	5.282	-3.397	4.545
C18:2/C16:0 (85:15) (Knothe & Steidley, 2007)	283.15- 313.15	-3.659	4.444	-2.341	3.812
C18:2/C18:0 (95:5) (Knothe & Steidley, 2007)	283.15- 313.15	-5.267	5.554	-3.914	4.576
C18:2/C18:0 (90:10) (Knothe & Steidley, 2007)	288.15- 313.15	-4.448	4.448	-3.110	3.110
C18:2/C18:0 (85:15) (Knothe & Steidley, 2007)	293.15- 313.15	-4.629	4.629	-3.293	3.293
เฉลี่ย (%)		-0.767	3.816	0.526	3.753

การประมาณค่าความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลและไบโอดีเซลผสม

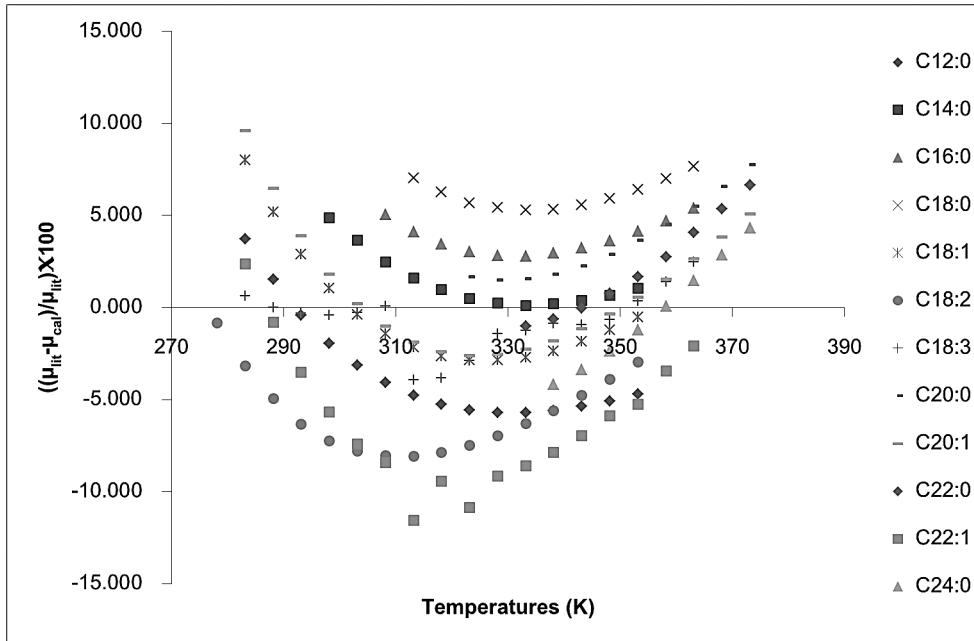
สำหรับไบโอดีเซลและไบโอดีเซลผสม สมการที่ (23) สามารถประมาณค่าความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลและไบโอดีเซลผสมได้ในช่วงอุณหภูมิ 293.15 ถึง 373.15 K โดยมีค่า Bias และ AAD ระหว่าง -0.863% ถึง 5.875% และ 2.437% ถึง 5.875% ตามลำดับ และค่า Bias และ AAD เฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 1.695% และ 3.829% ตามลำดับ โดยค่า AAD ของสมการที่ (23) มีค่าน้อยกว่าสมการที่ (13) (4.309%) ข้อมูล Bias และ AAD ทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การประมาณค่าความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลและไบโอดีเซลผสม

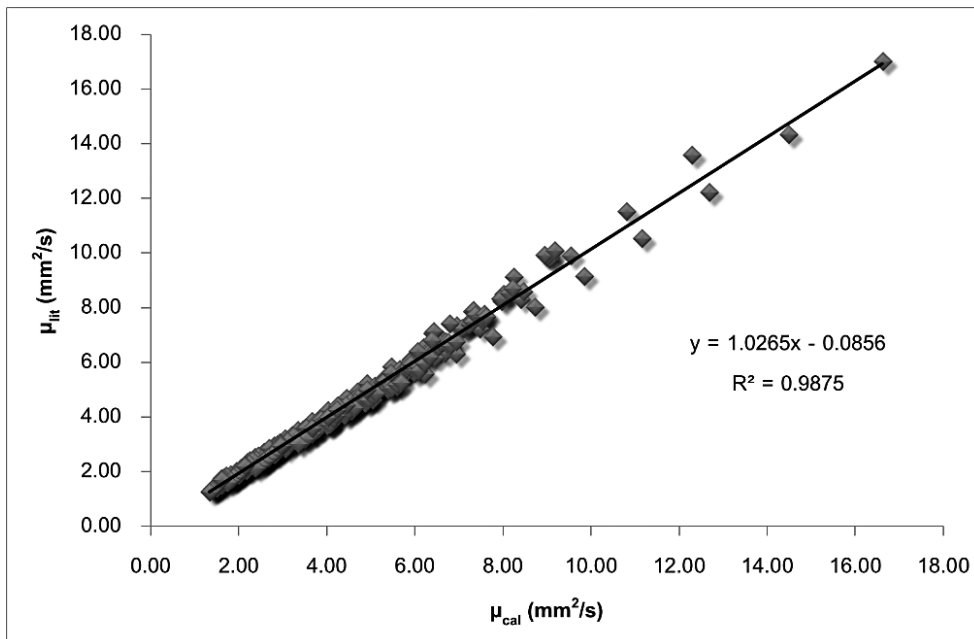
ไบโอดีเซล / ไบโอดีเซลผสม	T (K)	Eq. (23)		Eq. (13)	
		Bias (%)	AAAD (%)	Bias (%)	AAAD (%)
Soybean (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	293.15- 373.15	0.282	2.437	1.486	2.635
Fish oil (Feitosa et al., 2010)	293.15- 373.15	5.875	5.875	6.986	6.986
Sunflower (Feitosa et al., 2010)	293.15- 373.15	3.926	3.926	5.086	5.086
CC (R1-R9) (Carlos A. Nogueira et al., 2010)	293.15- 373.15	-0.863	4.084	0.269	4.029
CB (R1-R7) (Feitosa et al., 2010)	293.15- 373.15	-0.746	2.822	0.385	2.809
เฉลี่ย (%)		1.695	3.829	2.842	4.309

การสอบเทียบสมการ

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าความหนืดจลน์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่ประมาณค่าด้วยสมการที่ (23) ซึ่งค่าความผิดพลาดมีการกระจายตัวที่ดีทั้งบวกและลบ และรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความหนืดจลน์ที่ได้จากการประมาณค่าและจากการทดลอง โดยมีจุดตัดแกน ความชัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เท่ากับ -0.0856, 1.0265, 0.9875 และ 0.110 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดจลน์ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยสมการที่ (23) มีความสัมพันธ์กันสูงหรือมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทดลอง



รูปที่ 2 การกระจายตัวของร้อยละความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความหนืดจลน์
ที่ได้จากการทดลองและการประมาณค่าด้วยสมการที่ (23)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดจลน์จากการทดลอง
และจากการประมาณค่าด้วยสมการที่ (23)

สรุปผล

จากการพัฒนาสมการในการประมาณค่าความหนืดจลน์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล โดยอาศัยการพัฒนาต่อสมการของ Phankosol et al. (Phankosol et al., 2015) เพื่อโยงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดจลน์กับมวลโมเลกุล สรุปได้ว่าสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการประมาณค่าความหนืดจลน์ของทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว ไม่อิ่มตัว กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสม ไบโอดีเซล และไบโอดีเซลผสม ในสภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ ได้ในสมการเดียวและมีความแม่นยำสูง แต่อย่างไรก็ตามสมการจะมีค่า AAD เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อนำไปใช้ประมาณค่าของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ผสม สมการสามารถประมาณค่าได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 278.15 ถึง 373.15 K ซึ่งหากนำไปใช้ประมาณค่านอกช่วงนี้อาจจะทำให้ค่า AAD ของสมการเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นสมการที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นอีกสมการหนึ่งที่น่าสนใจในการนำไปใช้ประมาณค่าความหนืดจลน์ทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล โดยสามารถใช้งานได้ง่าย ช่วยให้การศึกษาคความหนืดจลน์ของไบโอดีเซลทำได้รวดเร็วขึ้น ทำให้ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในด้านการทดสอบได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

- Allen, C. A. W., Watts, K. C., Ackman, R. G., & Pegg, M. J. (1999). Predicting the viscosity of biodiesel fuels from their fatty acid ester composition. **Fuel**. 78, 1319–1326.
- Aransiola, E. F., Ojumu, T. V., Oyekola, O. O., Madzimbamuto, T. F., & Ikhu-Omoregbe, D. I. O. (2014). A review of current technology for biodiesel production: State of the art. **Biomass and Bioenergy**. 61, 276-297.
- Ashraful, A. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Fattah, I. M. R., Imtenan, S., Shahir, S. A., & Mobarak, H. M. (2014). Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: A review. **Energy Conversion and Management**. 80, 202–228.
- Atabani, A. E., A.S.Silitonga, H.C.Ong, T.M.I.Mahlia, H.H.Masjuki, Badruddin, I. A., & H.Fayaz. (2013). Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 18, 211–245.

- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., & Aziz, A. A. (2010). High quality biodiesel and its diesel engine application: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 14(7), 1999-2008. doi:10.1016/j.rser.2010.03.020
- Carlos A. Nogueira, J., Feitosa, F. X., Fabiano A. N. Fernandes, Santiago, R. I. S., & Sant'Ana, H. B. d. (2010). Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Babassu Biodiesel + Cotton Seed or Soybean Biodiesel at Different Temperatures. **Journal of Chemical & Engineering Data**. 55, 5305–5310.
- Feitosa, F. X., Rodrigues, M. d. L., Veloso, C. B., Ce'lio L. Cavalcante, J., Albuquerque, M. n. C. G., & Sant'Ana, H. B. d. (2010). Viscosities and Densities of Binary Mixtures of Coconut + Colza and Coconut + Soybean Biodiesel at Various Temperatures. **Journal of Chemical & Engineering Data**. 55(3909–3914).
- Felipe, L., & Ramı'ez-Verduzco. (2013). Density and viscosity of biodiesel as a function of temperature: Empirical models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 19, 652– 665.
- Knothe, G., & Steidley, K. R. (2007). Kinematic viscosity of biodiesel components (fatty acid alkyl esters) and related compounds at low temperatures. **Fuel**. 86, 2560–2567. doi:10.1016/j.fuel.2007.02.006
- Knothe, G., & Steidley, K. R. (2011). Kinematic viscosity of fatty acid methyl esters: Prediction, calculated viscosity contribution of esters with unavailable data, and carbon–oxygen equivalents. **Fuel**. 90, 3217–3224.
- Krisnangkura, K., Aryusuk, K., Phankosol, S., & Lilitchan, S. (2016). Energy Additivity Approaches to QSPR Modeling in Estimation of Dynamic Viscosity of Fatty Acid Methyl Ester and Biodiesel. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 1407–1414. doi:10.1007/s11746-016-2874-x
- Krisnangkura, K., Sansa-ard, C., Aryusuk, K., Lilitchan, S., & Kittiratanapiboon, K. (2010). An empirical approach for predicting kinematic viscosities of biodiesel blends. **Fuel**. 89, 2775–2780.
- Krisnangkura, K., Yimsuwan, T., & Pairintra, R. (2006). An empirical approach in predicting biodiesel viscosity at various temperatures. **Fuel**. 85, 107–113.
- Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K., & Krisnangkura, K. (2014a). Estimation of Density of Biodiesel. **Energy and Fuels**. 28, 4633–4641.

- Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K., & Krisnangkura, K. (2014b). Estimation of surface tension of fatty acid methyl ester and biodiesel at different temperatures. **Fuel**. 126, 162–168.
- Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K., & Krisnangkura, K. (2015). An Empirical Equation for Estimation of Kinematic Viscosity of Fatty Acid Methyl Esters and Biodiesel. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 92(7), 1051-1061.
- Pratas, M. J., Freitas, S., Oliveira, M. B., Monteiro, S. I. C., Lima, A. I. S., & Coutinho, J. o. A. P. (2011). Densities and Viscosities of Minority Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters Present in Biodiesel. **Journal of Chemical & Engineering Data**. 56(5), 2175-2180. doi:10.1021/je1012235
- Pratas, M. J., Freitas, S., Oliveira, M. B., Monteiro, S. I. C., Lima, A. S., & Coutinho, J. o. A. P. (2010). Densities and Viscosities of Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters. **Journal of Chemical & Engineering Data**. 55, 3983–3990.
- Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E., & Jaramillo-Jacob, A. d. R. (2012). Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. **Fuel**. 91,102–111.
- Yuan, W., Hansen, A. C., & Zhang, Q. (2009). Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels. **Fuel**. 88, 1120–1126.

การประยุกต์ใช้แป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์
เพื่อผลิตถุงเพาะชำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

THE APPLICATION OF CASSAVA STARCH FROM TWO CASSAVA
(*Manihot esculenta* Crantz) CULTIVARS
AS A BIODEGRADABLE PLASTIC PRODUCT.

ภาวิณี เทียมดี^{1*} และ บวรรัตน์ บึงสูง²

^{1,2}สาขาวิชาเคมี (ค.บ.) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

Pawinee Theamdee^{1*} and Bawonrut Bungsalung²

^{1,2}Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000

*E-mail: pawinee.t169@gmail.com

Received: 2018--09-28

Revised: 2018-01-16

Accepted: 2019-01-30

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ (พันธุ์ 5 นาที และ ระยะเวลา 2) โดยฟิล์มนี้เตรียมโดยการละลายแป้งมันสำปะหลังในน้ำ ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของแป้ง ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดยการทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ ความหนา ค่าแอคติวิตีของน้ำ (a_w) ค่าการละลาย ค่าต้านทานแรงดึง ค่าต้านทานแรงเจาะ และศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม พบว่าความหนาของฟิล์มมีค่าระหว่าง 0.20-0.30 มิลลิเมตร สำหรับค่า a_w ของแผ่นฟิล์มอยู่ระหว่าง 0.40-0.50 และพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดีและมีความยืดหยุ่น โดยมีค่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่าต้านทานแรงดึงและค่าต้านทานแรงเจาะของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของกลีเซอรอลลดลง ผลทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังในดินพบว่า ฟิล์มสามารถย่อยสลายได้ร้อยละ 55 - 58 ในระยะเวลา

2 สัปดาห์ โดยแผ่นฟิล์มจะย่อยสลายได้เร็วขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์มจากแป้งสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ เป็นฟิล์มธรรมชาติย่อยสลายได้เองโดยธรรมชาติ ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะย่อยสลายยากได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: แป้งมันสำปะหลัง ฟิล์มย่อยสลายได้ กลีเซอรอล พลาสติไซเซอร์

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the effect of using glycerol as a plasticizer on physical and mechanical properties of the film made of cassava starch (two cultivars, Ha-Na-Tee and Rayong 2, were used). The film was prepared by dissolved the cassava starch in water to the concentration of 5 wt% and the glycerol was added at 4 levels; 0, 20, 30 and 40 wt% to the cassava weight. The film was casted in a mold and dried at 60 °C for 18 h. The physical and mechanical properties; thickness, water activity (a_w), solubility, tensile strength (TS), puncture strength, and the degradation of the films were evaluated. The thickness of the films was in the range of 0.20-0.30 mm. The a_w value of films ranged from 0.40 to 0.50. The cassava starch films from both cultivars that contained glycerol as a plasticizer could form good flexible films. The water solubility of the film was increased with the increase of the glycerol content. The tensile and puncture strength of the starch films from both cultivars were increased with the decrease of the glycerol content. The degradation study, the films were buried under the ground, showed that they were degraded by 55-58% in 2 weeks. The percentage degradation of the films was increased as the glycerol content increase. These results indicated that the cassava starch films from both cultivars were biodegradable, which could help reduce the amount of the non-biodegradable packaging waste.

Keywords: Cassava starch, Biodegradable film, Glycerol, Plasticizer

บทนำ

หลายหน่วยงานให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นโดยพยายามหาวัสดุย่อยสลายได้มาทดแทนวัสดุสังเคราะห์ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นการใช้ฟิล์มที่ย่อยสลายได้ (biodegradable film) เป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม การเตรียมฟิล์มสามารถ

เตรียมได้จากพอลิเมอร์จากธรรมชาติหลายชนิด เช่น พอลิแซคคาไรด์ โปรตีน และไขมัน (Abdou & Sorour, 2014; Pena & Torres, 1991) ซึ่งฟิล์มที่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติที่ได้รับความนิยมมากที่สุดชนิดหนึ่งคือพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในผลผลิตทางการเกษตร แบ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่สามารถนำมาผลิตแผ่นฟิล์มได้ โดยแบ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยอะมิโลส และอะมิโลเพคติน (Alves et al., 2007; Laurindo et al., 2008) เมื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มแล้วสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ สามารถพองตัวขึ้นแผ่นฟิล์มได้ มีปริมาณมาก ราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น จากข้อดีของแป้งดังกล่าว จึงสนใจนำแป้งมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลายได้ มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz) สายพันธุ์ 5 นาที่ และสายพันธุ์ระยอง เป็นพืชที่เพาะปลูกมากในตำบลแก่งผักกูด อำเภอท่าหลวง และพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี เป็นผลไม้เศรษฐกิจ เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง (Guilbert, 2016) และยังช่วยเพิ่มมูลค่าและลดการสูญเสียผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ แต่อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังนั้นมีความเปราะและสามารถที่จะดูดซึมน้ำและความชื้นได้ภายหลังจากระบวนการขึ้นรูปแล้ว ซึ่งมีอยู่หลายวิธีที่จะแก้ปัญหาคความเปราะ และการดูดซึมน้ำของพลาสติกที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เช่น กลีเซอรอล (glycerol) และซอร์บิทอล (sorbitol) (Jiménez et al., 2012) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มความเหนียวและยืดหยุ่นของพลาสติกที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังได้โดยสมบัติด้านความยืดหยุ่นจะแปรผันตามปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ โดยกลีเซอรอลมีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในการผลิตฟิล์มที่ทำจากแป้งธรรมชาติ เนื่องจากสามารถละลายน้ำ และอัตราการซึมผ่านไอน้ำได้ดี ปลอดภัย ราคาถูก (Gontard et al., 1993) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจะศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ พร้อมทั้งศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ เพื่อผลิตถุงเพาะชำย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

วิธีการ

1. การเตรียมแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ 5 นาที่ และ พันธุ์ระยอง 2 นำมาจาก ต.แก่งผักกูด อ. ท่าหลวง จ. ลพบุรี โดยมีวิธีการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ ดังนี้

1.1 การเตรียมแป้งดิบจากมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์

ล้างทำความสะอาดแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ เพื่อขจัดเศษดิน และสิ่งสกปรก

ปอกเปลือกแล้วล้างด้วยน้ำอีกครั้ง หั่นให้เป็นแผ่นบาง ๆ นำไปปั่นละเอียดโดยผสมน้ำในอัตราส่วนหัวมันต่อน้ำเท่ากับ 1:2 ด้วยเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (SHARP, EM-ICE 2, ประเทศไทย) เป็นเวลา 2 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง ทิ้งไว้ให้แบ่งตกตะกอน จากนั้นเทของเหลวส่วนบนออก แล้วล้างตะกอนแบ่งด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (98-100.5%, Sigma-Aldrich) ร้อยละ 0.5 (อัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนัก) นาน 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 8000 rpm เป็นเวลา 15 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ แล้วนำแบ่งที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, UN 110, ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร บรรจุในภาชนะที่มีฝาปิด และเก็บรักษาในโถดูดความชื้น (Bobbio et al., 1978)

1.2 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์

เตรียมฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ โดยละลายแป้งในน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร กวนผสมพร้อมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของแป้ง กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันนาน 5 นาที ขึ้นรูปโดยเทสารละลายน้ำแป้ง ลงในแม่พิมพ์เทฟรอนขนาด ขนาด 32×26 เซนติเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หรือจนแห้งสนิท จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากแม่พิมพ์ และเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

1.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

1.3.1 ความหนา (Thickness) วัดความหนาของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ ด้วยเครื่องมือไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, ญี่ปุ่น) โดยหาค่าเฉลี่ยของการวัดทั้งหมด 5 จุด

1.3.2 ค่าความสว่าง วัดค่าความสว่างและสีของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Color Flex Z2, ญี่ปุ่น) แสดงเป็นค่า L^* (ความสว่าง 0 หมายถึง สีดำ และ 100 หมายถึง ขาว) a^* (ค่าสีแดง-เขียว + a^* หมายถึง สีแดง และ - a^* หมายถึง สีเขียว) และ b^* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน + b^* หมายถึง สีเหลือง - b^* หมายถึง สีน้ำเงิน) (Li & Lee, 1996)

1.3.3 การศึกษาคุณสมบัติการต้านทานแรงดึง และการต้านทานแรงเจาะ (Tensile and Puncture strength) ค่าต้านทานแรงดึง และค่าต้านทานแรงเจาะ (Ekthamasut & Akesowan, 2001) โดยใช้เครื่อง Texture Analyser (Stable microsystems, TA-XT2, ประเทศอังกฤษ) โดยตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 2.5 x 10 เซนติเมตร หัววัด Tensile Grips Rig ส่วนทดสอบการต้านทานแรงเจาะ ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 6 x 6 นิ้ว หัววัด HDP/TPB Tortilla/Pastry Burst Rig

1.3.4 การละลายน้ำ (Water solubility) โดยนำแผ่นฟิล์มมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก (W_1) แล้วนำไปละลายในน้ำกลั่น

ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยกวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 ที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว (a_1) จากนั้นนำไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที ซึ่งน้ำหนักของกระดาษกรอง (a_2) บันทึกผลและคำนวณ ดังนี้ (Oh, 2004)

$$\% \text{ water solubility} = \{(W_1 - (a_2 - a_1)) / W_1\} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม

a_1 = น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนอบ

a_2 = น้ำหนักของกระดาษกรองหลังอบ

1.3.5 ค่าแอกติวิตีของน้ำ (Water activity, a_w) วัดค่าแอกติวิตีของน้ำ (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (Aqualab model series 4, Decagon device inc, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

1.3.6 ศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ ตัดแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ ให้มีขนาด 2×5 เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปฝังลงในดิน ลักษณะเป็นดินร่วน ทำการฝังในกระถางเพาะชำ โดยนำดินบรรจุในถางเพาะชำขนาด 17.5×46.5 เซนติเมตร และฝังแผ่นฟิล์มให้มีความลึก ประมาณ 8 - 10 เซนติเมตร เป็นเวลา 2 สัปดาห์ วางในที่ร่ม ไม่มีการให้น้ำ และความชื้นเริ่มต้นของดินเท่ากับร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักแผ่นฟิล์มทุกสัปดาห์ บันทึกผลการทดลองและคำนวณการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์โดยมีแผ่นฟิล์มพลาสติก ชนิดพอลิเอทิลีน (PE) เป็นชุดควบคุม (Tsou, 2014)

$$\% \text{ การย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (2)$$

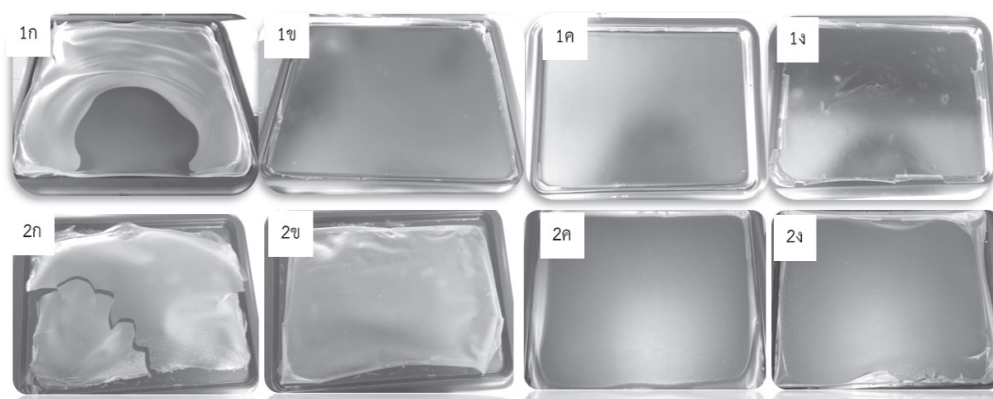
เมื่อ A = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มเริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหลังการย่อยสลาย (กรัม)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที ที่มีกลีเซอรอลในอัตราส่วน ร้อยละ 0 (รูปที่ 1ก) มีลักษณะเปราะ และแตกหักง่าย ในขณะที่แผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที ที่มีอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 20 (รูปที่ 1ข) มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ค่อนข้างมัน มีความเปราะเล็กน้อย แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที ที่มีอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 30 (รูปที่ 1ค) มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ค่อนข้างมัน สามารถขึ้นรูปได้ดี ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที ที่มีอัตราส่วนของกลีเซอรอลร้อยละ 40 มี (รูปที่ 1ง) ลักษณะขุ่นเล็กน้อย ผิวไม่ค่อยเรียบ และขาดง่าย ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 2 ที่มีกลีเซอรอลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 (รูปที่ 2ก-2ง) มีลักษณะเช่นเดียวกับ

แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ จากการสังเกตเบื้องต้นสรุปได้ว่ากลีเซอรอลมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารประเภท polyol ที่ชอบน้ำ (hydrophilic plasticizer) จึงสามารถเข้าจับกับ hydrophilic sites บนโมเลกุลของแป้งได้ง่าย กลีเซอรอลจะเข้าไปเชื่อมระหว่างโมเลกุลของแป้งกับแป้ง ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของแป้งอ่อนตัวลงมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จึงสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้โดยไม่แข็งจนเปราะ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้ใส่กลีเซอรอลซึ่งมีลักษณะแข็งกรอบ และแตกง่าย



รูปที่ 1 แสดงลักษณะภายนอกแผ่นฟิล์ม (1ก-1ง) แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ ที่มีอัตราส่วน กลีเซอรอลร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 และ (2ก-2ง) แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ระยะของ 2 ที่มีอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0, 20, 30 และ 40

แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยะของ 2 ที่เตรียมได้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.20-0.31 และ 0.20 - 0.30 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยที่ความหนาของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล (Noiduang et al., 2015) เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L^*) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยะของ 2 ที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14-19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มมีสีไปโทนสีขาว ค่าแอดคิตีวิตี้ของน้ำ (a_w) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยะของ 2 อยู่ระหว่าง 0.40 - 0.50 ไม่อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้เนื่องจากจุลินทรีย์จะเติบโตได้ที่ a_w ประมาณ 0.70-0.99 (Veiga, 2007) แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มแป้งผสมกลีเซอรอลเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ยาก การละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยะของ 2 มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ ละลายน้ำได้ดี (Laohakunjit & Noomhorm, 2004) ส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยะของ 2 ที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์
(พันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยอง 2)

ปริมาณ กลีเซอรอล (%)	ความหนา (mm)	ความสว่าง L*	ค่าแอดคิตี ของน้ำ (a_w)	ค่าการละลาย (%)
แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ 5 นาที่				
0	0.20 ± 0.01	14.47 ± 0.72	0.40 ± 0.01	33.10 ± 0.02
20	0.22 ± 0.02	15.47 ± 1.06	0.49 ± 0.01	47.83 ± 2.95
30	0.26 ± 0.02	18.42 ± 2.02	0.42 ± 0.02	50.10 ± 1.95
40	0.31 ± 0.01	18.33 ± 0.82	0.44 ± 0.01	61.90 ± 6.82
แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 2				
0	0.21 ± 0.01	15.42 ± 0.52	0.41 ± 0.01	34.15 ± 0.01
20	0.23 ± 0.02	16.71 ± 1.00	0.43 ± 0.02	48.31 ± 1.95
30	0.24 ± 0.02	19.33 ± 1.12	0.44 ± 0.01	49.10 ± 0.75
40	0.30 ± 0.02	19.10 ± 0.72	0.42 ± 0.01	60.10 ± 1.82

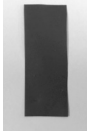
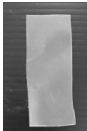
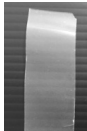
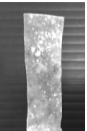
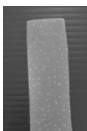
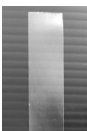
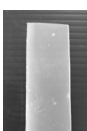
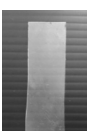
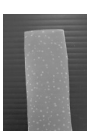
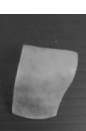
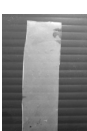
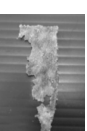
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลส่งผลให้แผ่นฟิล์มแป้งอ่อนนุ่มขึ้น จากค่าต้านทานแรงดึง พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่มีค่าต้านทานแรงดึงมากกว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 2 เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ อาจมีปริมาณอะมิโลสที่มากกว่าส่งผลให้มีค่าต้านทานการดึงสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sierakowski และคณะ, 2004 และเมื่อทำการผสมกลีเซอรอล ร้อยละ 40 ในแผ่นฟิล์มมีค่าการต้านทานแรงดึงขาด (TS) ต่ำที่สุด รองลงมาคือแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 30, 20 และ 0 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลำดับ พบว่ากลีเซอรอลมีผลทำให้ค่า TS ของฟิล์มแป้งลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chillo และคณะ, 2008 ทั้งนี้เนื่องมาจากโมเลกุลกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น จะไปลดความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้ง ขัดขวางการเรียงตัวและการจับของสายโซ่ ทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงลดลง (Chillo et al., 2008; Lieberman & Gilbert, 1973) ค่าต้านทานแรงเจาะดังแสดงในตารางที่ 2 แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ ค่าต้านทานแรงเจำน้อยกว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 2 อาจเนื่องมาจากแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ มีฟองอากาศในแผ่นฟิล์มบางจุด ดังแสดงลักษณะของแผ่นฟิล์มในรูปที่ 1ก-1ง จึงทำให้มีค่าต้านทานแรงเจาะที่น้อยกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล พบว่าค่าต้านทานแรงเจาะลดลงตามลำดับ เนื่องจากผลของกลีเซอรอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง เป็นการเพิ่ม

ช่องว่างระหว่างโมเลกุล เป็นเหตุให้ความสามารถในการต้านทานแรงเจาะลดลง (Mali et al., 2005) เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกลของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์กับฟิล์มชนิดอื่น พบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์มีค่าต่ำกว่าฟิล์ม high amylose corn starch (56.8 N/m^2) (Ryu et al., 2002) และเมื่อเปรียบเทียบฟิล์มจากพลาสติกมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ ($10\text{-}175 \text{ N/m}^2$) (Briston, 1998)

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ (พันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยะของ 2)

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	ค่าต้านทานแรงดึง (N/mm)	ค่าต้านทานแรงเจาะ (N/mm)
แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่		
0	1.39 ± 0.56	81.40 ± 0.26
20	0.63 ± 0.01	60.85 ± 0.32
30	0.61 ± 0.33	54.11 ± 0.45
40	0.31 ± 0.09	52.31 ± 0.21
แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ระยะของ 2		
0	1.86 ± 0.45	71.10 ± 0.06
20	0.49 ± 0.01	66.05 ± 0.30
30	0.39 ± 0.15	63.11 ± 0.75
40	0.30 ± 0.04	62.71 ± 0.41

ตารางที่ 3 การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ 5 นาที่

ปริมาณ กลีเซอรอล (%)	ลักษณะทางกายภาพแป้งมันสำปะหลัง					
	พันธุ์ 5 นาที่			พันธุ์ระยอง 2		
	ก่อนการ ย่อยสลาย	หลังการ ย่อยสลาย	ร้อยละของ การย่อยสลาย	ก่อนการ ย่อยสลาย	หลังการ ย่อยสลาย	ร้อยละของ การย่อยสลาย
พลาสติก พอลิเอทิลีน (ชุดควบคุม)			0.00			0.00
0			12.82			12.28
20			14.92			29.03
30			55.20			33.82
40			57.94			55.38

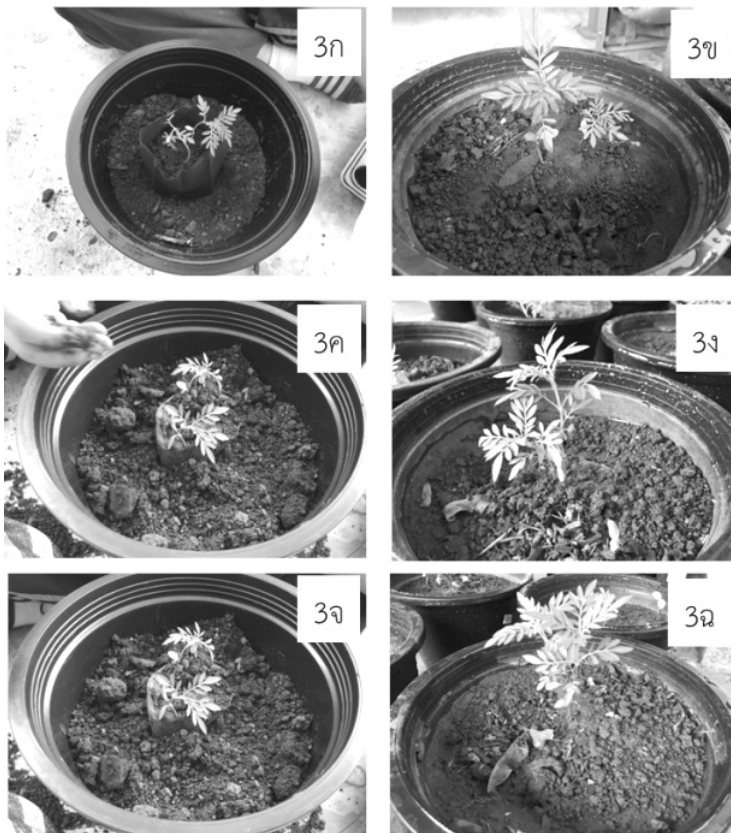
จากตารางที่ 3 ศึกษาการย่อยสลายโดยธรรมชาติของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ 5 นาที่ และ พันธุ์ระยอง 2 ตามลำดับ โดยทำการฝังดิน เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน (ชุดควบคุม) ไม่เกิดการย่อยสลาย ในขณะที่แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ 5 นาที่ ที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 12.82, 14.92, 55.20 และ 57.94 ตามลำดับ ส่วนแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 2 ที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 12.28, 29.03, 33.82 และ 55.38 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากแป้งเป็นโมเลกุลชีวภาพจึงย่อยสลายได้ง่าย ประกอบกับกลีเซอรอลที่เป็นส่วนผสมของฟิล์มสามารถละลายน้ำได้ดีจึงช่วยให้แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น

จากผลของการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยอง 2 จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น แผ่นฟิล์มที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 0 และ 20 แผ่นฟิล์มที่ได้นั้นมีลักษณะเปราะ แตกง่าย ส่วนอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 40 ลักษณะ ผิวไม่ค่อยเรียบ และขาดง่าย ซึ่งอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30 สามารถขึ้นรูปได้ดี จึงนำมาขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำเพื่อนำไปใช้ในสภาวะการปลูกจริง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงลักษณะถุงเพาะชำที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ (2ก) และพันธุ์ระยอง 2 (2ค) ที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30 และถุงเพาะชำที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ (2ข) และพันธุ์ระยอง 2 (2ง) ใส่ดินสำหรับนำไปปลูกจริง

จากรูปที่ 3 นำถุงเพาะชำมาทดลองปลูกพืช พืชที่ใช้ปลูกในงานวิจัยนี้คือดาวเรือง เนื่องจากดาวเรืองเป็นพืชที่เกษตรกรอำเภอโคกสำโรงนิยมปลูกเพื่อสร้างรายได้ โดยแบ่งถุงเพาะชำที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30 คือ ถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน (ชุดควบคุม) (รูปที่ 3ก) ถุงเพาะชำที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ (รูปที่ 3ค) และพันธุ์ระยอง 2 (รูปที่ 3จ) เมื่อปลูกพืชเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าถุงเพาะชำที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ (รูปที่ 3ง) และพันธุ์ระยอง 2 (รูปที่ 3ข) พบว่าพืชที่ปลูกโดยใช้ถุงเพาะชำจากแป้งมันสำปะหลังทั้ง 2 สายพันธุ์ มีการเจริญเติบโตที่ดีไม่ต่างกับพืชที่ปลูกด้วยถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน อย่างไรก็ตาม แป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ 5 นาที่ มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตฟิล์มเพื่อผลิตเป็นถุงเพาะชำมากกว่า เนื่องจากพบว่าในขั้นตอนการเตรียมแป้ง มันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ (ปริมาณแป้งร้อยละ 3.7) ได้อัตราส่วนปริมาณแป้งต่อหัวมันดิบมากกว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 2 ประกอบกับฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ มีค่าร้อยละการย่อยสลายที่สูงกว่าฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 2 จากการทดลองดังกล่าวเป็นประโยชน์ให้กับเกษตรกรเนื่องจากการปลูกพืชเพาะชำในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนเกษตรกรจำเป็นต้องดึงต้นกล้าออกจากถุงเพาะชำก่อนนำไปลงในดินและก็ต้องระมัดระวังในการดึงพืชที่จะเพาะออกเพราะถ้าไม่ทำอย่างระมัดระวังรากของพืชอาจจะเกิดการขาดเมื่อนำไปสู่ดิน ต้นไม้จะชะงักการเจริญเติบโตได้ แต่ถ้าใช้ถุงเพาะชำที่ทำมาจากพลาสติกย่อยสลายได้ เกษตรกรไม่ต้องดึงต้นกล้าออกจากถุงเพาะชำให้กลายเป็นปุ๋ยบำรุงพืชได้อีกด้วย



รูปที่ 3 แสดงลักษณะการปลูกพืชจริงของถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน (3ก)

ถุงเพาะชำที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่

ที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30 (3ค) และพันธุ์ระยอง 2 (3จ)

และลักษณะของการปลูกพืชเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์

ของถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน (3ข) ถุงเพาะชำที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ 5 นาที่

ที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30 (3ง) และพันธุ์ระยอง 2 (3ฉ)

สรุป

จากการศึกษาการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยอง 2 พบว่าการเติมกลีเซอรอลสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น การละลายน้ำให้กับแผ่นฟิล์ม ส่วนสมบัติทางกล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น มีผลทำให้ค่าต้านทานแรงดึงและค่าต้านทานแรงเฉือนลดลง จากการศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ และแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ 5 นาที่ และพันธุ์ระยอง 2 ที่ผสมกลีเซอรอลร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 12 - 57 และร้อยละ 12 - 55 ตามลำดับ ภายใน 2 สัปดาห์ เมื่อนำแผ่นฟิล์มมาขึ้นรูปเป็นถุงเพาะชำ

พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ ที่ผสมอัตราส่วนกลีเซอรอลร้อยละ 30 สามารถขึ้นรูปถุงเพาะชำได้ดีที่สุด จึงนำไปศึกษาการเพาะปลูกพืชสภาวะจริง พบว่าพืชที่ปลูกโดยใช้ถุงเพาะชำจากแป้งมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ มีการเจริญเติบโตที่ดีไม่ต่างกับพืชที่ปลูกด้วยถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ได้อุดหนุนทุนวิจัย มา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Abdou, E. S. & Sorour, M. A. (2014). Preparation and characterization of starch/carrageenan Edible Films. *International Food Research Journal*. 21(1), 189-193.
- Alves, V. D., Mali, S., Bele´ia, A. & Grossmann, M. V. E. (2007). Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *Journal of Food Engineering*. 78, 941-946.
- Bobbio, F. O., El-Dash, A. A., Bobbio, P. A. & Rodrigues, L. R. (1978). Isolation and characterization of the physiochemical properties of the starch of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus*). *Cereal Chemistry*. 55, 505-511.
- Briston, J. H. (1988). *Plastic Films* (3rd ed.), Wiley, New York.
- Chillo, S., Flores, S., Mastromatteo, M., Conte, A., Gerschenson, L. & Nobile, M. A. D. (2008). Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. *Journal of Food Engineering*. 88, 159-168.
- Ekthamasut, K. & Akesowan, A. (2001). Effect of vegetable oils on physical characteristics of edible konjac films. *AU Journal of Technology*. 5, 73-78.
- Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible film. Food packaging and preservation theory and practice. London. *Elsevier Application Science Publisher*.
- Gontard, N., Guilbert, S & Cuq, J. L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapour barrier properties of an edible film. *The Journal of Food Science*. 55(1), 206-211.

- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P. & Chiralt, Amparo. (2012). Edible and biodegradable starch films: A Review. **Food and Bioprocess Technology**. 5, 2058-2076.
- Laohakunjit, N. & Noomhorm, A. (2004). Effect of plasticizers on mechanical and barrier properties of rice starch film. **Starch/Starke**. 56(8), 348-356.
- Li, M. & Lee, T. C. (1996). Effect of cysteine on the functional properties and microstructure of wheat flour extrudates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 44, 1871-1880.
- Lieberman, E. R. & Gilbert, S. G. (1973). Gas Permeation of collagen films as affected by cross-linkage, moisture, and plasticizer content. **Journal of Polymer Science**. 41, 33-43.
- Mali, S., Sakanaka, L. S., Yamashita, F. & Grossmann, M. V. E. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**. 60, 283-289.
- Muller, C. M. O., Yamashita, F. & Laurindo, J. B. (2008). Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**. 72, 82-87.
- Noiduang, P. Thawla, L. & Pa-ai, O. (2015). Study on edible film production from chinese water chestnuts starch. **Agricultural Science Journal**. 46(3), 665-668.
- Oh, J.H., Wang, B., Field, P. D. & Aglan, H. A. (2004). Characteristics of edible films made from dairy protein and zein hydrolysate cross-linked with transglutaminase. **International Journal of Food Science and Technology**. 39, 287-294.
- Pena, D.C. & Torres, J.A. (1991). Sorbic acid and potassium sorbate permeability of an edible methylcellulose-palmitic acid films water activity and pH effects. **Journal of Food Science**. 56, 497-499.
- Ryu, S. Y., Rhim, J. W., Roh, H. J. & Kim, S. S. (2002). Preparation and physical properties of zein-coated High-amylose corn starch film. **Lebensm-Wiss. U.-Technol**. 35, 680-686.
- Sierakowski, M.-R., Freitas, R. A., Paula, R. C., Feitosa, J. P. A. & Rocha, S. (2004). Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. **Carbohydrate Polymers**. 55, 3-8.

- Tsou, C. H., Suen, M. C. , Yao, W. H., Yeh, J. T., Wu, C. S., Tsou, C. Y., Chiu, S. H., Chen, J. C., Wang, R. Y., Lin, S. M., Hung, W. S., Guzman, M. D., Hu, C. C. & Lee, K. R. (2014). Preparation and characterization of bioplastic-based green renewable composites from tapioca with acetyl tributyl citrate as a plasticizer. **Materials**. 7, 5617-5632.
- Veiga, S. P. (2007). Sucrose and inverted sugar as plasticizer effect on cassava starch-gelatin film mechanical properties hydrophilicity and water activity. **Food Chemistry**. 103, 255-262.
-

ตัวแบบพยากรณ์ราคาขายส่งกล้วยไม้แคทลียาที่ตลาดสี่มุมเมือง
FORECASTING MODEL FOR THE WHOLESALE COST
OF CATTLEYA ORCHID
AT SI-MUM-MUANG MARKET

วรารัณนา เรียงสุทธิ^{*}

^{*}สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

Warangkhan Riansut^{*}

^{*}Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University,

Phatthalung, 93210

^{*}E-mail: warang27@gmail.com

Received: 2018-09-28

Revised: 2019-01-16

Accepted: 2019-01-30

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาขายส่งกล้วยไม้แคทลียาที่ตลาดสี่มุมเมือง โดยวิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ อนุกรมเวลาราคากกล้วยไม้แคทลียาเฉลี่ยต่อเดือนได้มาจากเว็บไซต์ของตลาดสี่มุมเมือง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนมิถุนายน 2561 จำนวน 66 ค่า แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 60 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2561 จำนวน 6 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด คือ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

คำสำคัญ: กล้วยไม้แคทลียา บ็อกซ์-เจนกินส์ การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

ABSTRACT

The objective of this study was to construct the appropriate forecasting model for the wholesale cost of Cattleya orchid at Si-Mum-Muang market by 4 forecasting methods: Box-Jenkins method, simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method. Time series of monthly Cattleya orchid prices which were gathered from the website of Si-Mum-Muang market during January 2013 to June 2018 of 66 observations were divided into 2 datasets. The first dataset had 60 observations from January 2013 to December 2017 for constructing the forecasting models. The second dataset had 6 observations from January to June 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 forecasting methods that had been studied, the most accurate method was Winters' additive exponential smoothing method.

Keywords: Cattleya orchids, Box-Jenkins, exponential smoothing, mean absolute percentage error, root mean squared error

บทนำ

หากเราพูดถึงพันธุ์ไม้โดยทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า กล้วยไม้ คือ ราชีนีแห่งพันธุ์ไม้ซึ่งแคทลียา (Cattleya) มักจะเป็นกล้วยไม้สายพันธุ์แรก ๆ ที่หลายคนนึกถึง เป็นที่นิยมปลูกเลี้ยงและรู้จักกันมากที่สุดทั้งในประเทศ รวมถึงต่างประเทศ เนื่องจากเป็นกล้วยไม้ที่ให้ดอกสีสวยงาม และมีดอกขนาดใหญ่ บางชนิดมีกลิ่นหอม เมื่อออกดอกได้ขนาดใหญ่จะเห็นสีต้นสวยงาม ชัดเจน จึงเป็นที่กล่าวขวัญและยกย่องว่า แคทลียา คือ ราชีนีแห่งกล้วยไม้ จนเป็นสัญลักษณ์สากลของกล้วยไม้โดยทั่วไป (OK Nation Blog, 2008) ประเทศไทยเป็นแหล่งเพาะปลูกกล้วยไม้เมืองร้อนที่สำคัญ ในอดีตการขยายพื้นที่เพาะปลูกยังทำได้ค่อนข้างจำกัดเนื่องจากเกษตรกรที่จะปลูกต้องมีความรู้ ความชำนาญ ประกอบกับที่ดินและปัจจัยการผลิตมีราคาสูง เมื่อขาดทั้งความรู้ ความชำนาญ และเงินลงทุนในการดูแลและบำรุงรักษา ผลผลิตที่ได้จึงมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ปริมาณการส่งออกมีเพียงร้อยละ 40 ของผลผลิตทั้งหมด

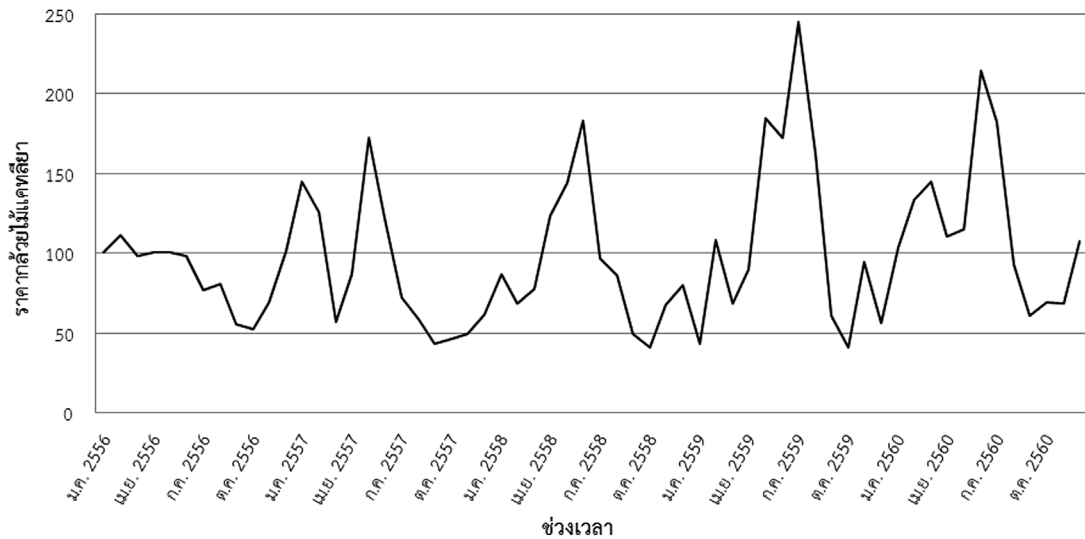
อย่างไรก็ตามกล้วยไม้ยังคงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกเป็นอันดับที่ 2 รองจากประเทศเนเธอร์แลนด์ และมีรายได้จากการส่งออกต้นกล้วยไม้เป็นอันดับที่ 2 รองจากไต้หวัน ดังนั้นกล้วยไม้ไทยจึงเป็นไม้ดอกที่มีความสามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก (Khamapan, 2004) แต่การส่งออกกล้วยไม้ยังคงมีจุดด้อยบางประการ เช่น ขาดอำนาจต่อรองในการได้รับการจัดสรรเที่ยวบินที่เหมาะสม ทำให้เสียโอกาสทางการตลาด อีกทั้งกล้วยไม้เป็นสินค้าที่เน่าเสียง่ายจึงต้องการความรวดเร็วและความระมัดระวังในการขนส่งเป็นอย่างมาก คุณภาพของผลผลิตที่ได้ไม่สม่ำเสมอและลดต่ำลงเมื่อถึงมือผู้บริโภค เนื่องจากการจัดการที่มีประสิทธิภาพในระดับสวน/ฟาร์ม เช่น การตัดดอกในขณะที่ยังมีจำนวนดอกบานน้อย มีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม ขาดการทำตลาดเชิงรุก ขาดข้อมูลการตลาด การประชาสัมพันธ์ การพัฒนาตราสินค้า การปรับปรุงคุณภาพผลผลิต การควบคุมคุณภาพการส่งออกกล้วยไม้ไทยไปยังต่างประเทศ อีกทั้งราคาของกล้วยไม้ยังคงมีความผันผวนตามฤดูกาล (Keerativibool, 2014) ด้วยเหตุผลของความไม่แน่นอนในราคาของกล้วยไม้แคทลียา ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำราคาขายส่งในอดีตมาสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยได้เริ่มต้นที่การสืบค้นงานวิจัยการพยากรณ์ที่เกี่ยวกับกล้วยไม้ พบว่า การศึกษาของ Khamapan (2004) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกของประเทศไทยไปอเมริกา และพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกของประเทศไทยไปอเมริกา ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกของประเทศไทยไปอเมริกา ได้แก่ ราคากล้วยไม้ตัดดอกของประเทศไทยและฤดูกาล โดยที่ความยืดหยุ่นของปริมาณส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกต่อราคามีค่าต่ำ คือ -0.629 ในส่วนของปัจจัยฤดูกาลมีผลกระทบในไตรมาสที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงที่มีเทศกาลต่าง ๆ ในอเมริกาจึงมีการนำเข้ากล้วยไม้ตัดดอกในปริมาณที่มากขึ้น รวมถึงในไตรมาสที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงหยุดฤดูร้อนของอเมริกาจึงมีการนำเข้ากล้วยไม้ตัดดอกในปริมาณที่มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเสนอแนะให้ผู้ส่งออกใช้กลยุทธ์ด้านราคาโดยอาจตั้งราคากล้วยไม้ตัดดอกสูงขึ้น เพื่อให้ได้รายรับจากการส่งออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากความยืดหยุ่นของปริมาณการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกต่อราคามีค่าต่ำ ในขณะที่เดียวกันก็เน้นการเพิ่มปริมาณการผลิตในช่วงไตรมาสที่ 1 และไตรมาสที่ 2 ให้มากขึ้นเพื่อให้สามารถส่งออกได้ในปริมาณเพิ่มขึ้น การศึกษาของ Poomkumarn (2012) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกของประเทศไทยไปยังตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ ญี่ปุ่น อเมริกา และจีน ระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลาและเทคนิคการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลาทำการเปรียบเทียบตัวแบบปรับเรียบทางสถิติ ตัวแบบบ็อกซ์-เจนกินส์ และตัวแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบส่งถ่ายข้อมูลย้อนกลับ พบว่า ตัวแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบส่งถ่ายข้อมูลย้อนกลับมีความถูกต้องในการ

พยากรณ์ปริมาณการส่งออกไปยังประเทศจีนทั้งแบบล่วงหน้า 1 เดือนและล่วงหน้า 12 เดือน ในขณะที่อเมริกา นั้น ตัวแบบบ็อกซ์-เจนกินส์มีความถูกต้องมากที่สุดในการพยากรณ์ทั้งแบบล่วงหน้า 1 เดือน และล่วงหน้า 12 เดือน ส่วนญี่ปุ่นพบว่า ตัวแบบปรับเรียบที่มีฤดูกาลแบบบวก มีความถูกต้องมากที่สุดในการพยากรณ์ทั้งแบบล่วงหน้า 1 เดือนและล่วงหน้า 12 เดือน ส่วนเทคนิคการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำการสร้างตัวแบบการถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น พบว่า ตัวแบบการถดถอยกำลังหนึ่งแบบขั้นบันไดที่สร้างจากตัวแปรทั้งหมดของตลาดอเมริกาและญี่ปุ่นมีความถูกต้องในการพยากรณ์สูงกว่าตัวแบบอื่น ๆ และสามารถบ่งชี้ว่าอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราเปรียบเทียบกับของไทยกับญี่ปุ่นและราคากัญชงไม้ตัดดอกที่เกษตรกรได้รับ ณ ไต้หวัน มีความสำคัญต่อการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกไปยังญี่ปุ่นมากที่สุด แต่อเมริกาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณส่งออกมากที่สุด 2 ลำดับแรก คือ ดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไปย้อนหลัง 3 เดือน และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราเปรียบเทียบกับอเมริกาย้อนหลัง 2 เดือน ในขณะที่ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับประเทศจีน คือ ตัวแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบส่งถ่ายข้อมูลย้อนกลับที่สร้างจากกลุ่มปัจจัยโดยสามารถบ่งชี้ได้ว่า ปัจจัยด้านเศรษฐกิจและปัจจัยด้านราคากัญชงไม้ตัดดอกมีความสำคัญต่อการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการพยากรณ์แบบล่วงหน้า 1 เดือน พบว่า ตัวแบบที่สร้างจากเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา มีความถูกต้องในการพยากรณ์และมีความสามารถในการใช้งานทั่วไปสูงกว่าตัวแบบที่สร้างจากเทคนิคการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและการศึกษาของ Keerativibool (2014) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกต้นกัญชงไม้ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ อย่างไรก็ตามค่าพยากรณ์ของทั้ง 2 วิธี มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลจริง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยจะให้ความสนใจกับการพยากรณ์ราคากัญชงไม้แคทลียาที่ตลาดสี่มุมเมือง โดยใช้วิธีการพยากรณ์ทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ราคากัญชงไม้แคทลียา สำหรับใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนการปลูก ซึ่งจะส่งผลดีต่อการตัดสินใจ การบริหารจัดการด้านความเสี่ยงต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยในการประเมินการคาดการณ์ราคากัญชงไม้แคทลียาที่ตลาดสี่มุมเมืองในอนาคตต่อไป

วิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ราคากลับไม้แคทลียา โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากเว็บไซต์ของตลาดสี่มุมเมือง (Si-Mum-Muang Market, 2018) เป็นอนุกรมเวลาราคากลับไม้แคทลียาเฉลี่ยต่อเดือน (บาท/กำ) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนมิถุนายน 2561 จำนวน 66 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 60 ค่า นำไปใช้สำหรับการทดลอง (Training Data) สร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ สาเหตุที่ใช้วิธีการพยากรณ์ 4 วิธีการนี้เพราะว่าได้พิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคากลับไม้แคทลียาชุดที่ 1 ดังรูปที่ 1 แล้วพบว่า ราคากลับไม้แคทลียามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่มีความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและมีความผันแปรตามฤดูกาล แต่วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีเพียงความผันแปรตามฤดูกาล ไม่มีแนวโน้ม หรือถ้ามีแนวโน้มก็ต้องเป็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Ket-iam, 2005) อีกทั้งวิธีการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธีนี้ให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ของข้อมูลชุดที่ 1 ต่ำกว่าวิธีการพยากรณ์อื่นๆ เช่น วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ซึ่งมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเพียงแนวโน้มเท่านั้น สำหรับอนุกรมเวลาราคากลับไม้แคทลียาเฉลี่ยต่อเดือนชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2561 จำนวน 6 ค่า นำไปใช้สำหรับการทดสอบ (Testing Data) ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างมาจากข้อมูลชุดที่ 1 โดยการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาถ้วยไม้แคทลียา
ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนธันวาคม 2560

สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ แสดงดังนี้

Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

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

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา

a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y , ความชันของแนวโน้ม และความผันแปรตามฤดูกาล ตามลำดับ

α , γ และ δ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$ และ $0 < \delta < 1$
 t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 เมื่อ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

รายละเอียดของแต่ละวิธีการพยากรณ์และการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้ง

ส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล มีตัวแบบในรูปทั่วไป คือ SARIMA (p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (1) (Box *et al.*, 1994) 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 $\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_P(B^s)$ 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))

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

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

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ แสดงรายละเอียดดังนี้

1. พิจารณาอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วน (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 (Bowerman & O'Connell, 1993)

2. กำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่ นั่นคือ กำหนดค่า p, q, P และ Q พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ โดยค่าของ q และ Q จะพิจารณาจากกราฟ ACF และค่าของ p และ P จะพิจารณาจากกราฟ PACF ซึ่งค่าของ p และ q คือ จำนวนแท่งสหสัมพันธ์แท่งแรก ๆ ที่มีค่าเกินจากขอบเขตที่กำหนด ขณะที่ค่าของ P และ Q คือ จำนวนแท่งสหสัมพันธ์ตามฤดูกาลที่มีค่าเกินจากขอบเขตที่กำหนด

3. ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว โดยถ้าพารามิเตอร์ของอันดับที่ต่ำกว่าไม่มีนัยสำคัญ แต่อันดับที่สูงกว่ามีนัยสำคัญ ควรตัดพารามิเตอร์ของอันดับที่สูงที่สุดออกก่อน เช่น มีพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ϕ_1 และ ϕ_2 ถ้า ϕ_1 ไม่มีนัยสำคัญ แต่ ϕ_2 มีนัยสำคัญ ควรตัด ϕ_1 ออกก่อน จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4. คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian Information Criterion: BIC) ที่ต่ำที่สุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ $\{e_t\}$ มีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบรัน (Runs Test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบสถิติที (t-Test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวีนาภายใต้การให้มัธยฐาน (Levene's Test Based on Median) หากพบว่าอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนมีเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็นจริง จะสรุปว่าตัวแบบพยากรณ์ไม่เหมาะสม และไม่สมควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

5. พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนที่ 4

การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย (Simple Seasonal Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่ไม่มีส่วนประกอบของแนวโน้ม หรือถ้ามีแนวโน้มก็ต้องเป็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่มีความผันแปรตามฤดูกาล โดยความผันแปรตามฤดูกาลมีค่าเท่ากันทุกช่วงเวลา ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (2) (Ket-iam, 2005)

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

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

เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ตามขั้นตอนที่ 4 ของการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก (Winters' Additive Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยที่อัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าคงที่ กล่าวคืออัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าไม่เพิ่มขึ้นและไม่ลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (3) (Ket-iam, 2005)

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t \quad (3)$$

$$\text{เมื่อ } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}), \quad b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1},$$

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

เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ตามขั้นตอนที่ 4 ของการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Winters' Multiplicative Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยที่อัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (4) (Ket-iam, 2005)

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) \hat{S}_t \quad (4)$$

$$\text{เมื่อ } a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}), \quad b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1},$$

$$\hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ตามขั้นตอนที่ 4 ของการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

การเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคากัญไม้แคทลียา โดยการเปรียบเทียบราคากัญไม้แคทลียาของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2561 กับค่าพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติทั้ง 4 วิธี เพื่อคำนวณค่า MAPE และ RMSE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุดจัดเป็นตัวแบบที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ MAPE และ RMSE แสดงดังสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ตามลำดับ (Ket-iam, 2005) จากนั้นผู้วิจัยจะใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์ราคากัญไม้แคทลียา ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2561 ต่อไป

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (6)$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ 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 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลา

ชุดที่ 2

ผลการทดลอง

ผลการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

จากกราฟ ACF และ PACF ดังรูปที่ 2 พบว่า อนุกรมเวลายังไม่คงที่โดยมีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลอย่างชัดเจน เนื่องจากกราฟ ACF ในภาพซ้ายมีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบคลื่นไซน์ (Sine-Wave Fashion) ที่มีช่วงเวลาของการเกิดข้อมูลซ้ำรูปแบบเดิมคือ 12 ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($s = 12, D = 1$) ได้กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลา มีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ SARIMA(0, 0, 0) (2, 1, 1)₁₂ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัว มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า BIC ต่ำที่สุด (BIC = 7.541) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 14.219, p-value = 0.652) คือ ตัวแบบ SARIMA(0, 0, 0)(1, 1, 0)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.625, p-value = 0.829) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -0.438, p-value = 0.662) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 1.634$, p-value = 0.109) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.014, p-value = 0.454) ดังนั้นตัวแบบ SARIMA(0, 0, 0)(1, 1, 0)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบได้ดังนี้

$$(1 - \Phi_1 B^{12})(1 - B^{12})Y_t = \varepsilon_t$$

$$(1 - B^{12} - \Phi_1 B^{12} + \Phi_1 B^{24})Y_t = \varepsilon_t$$

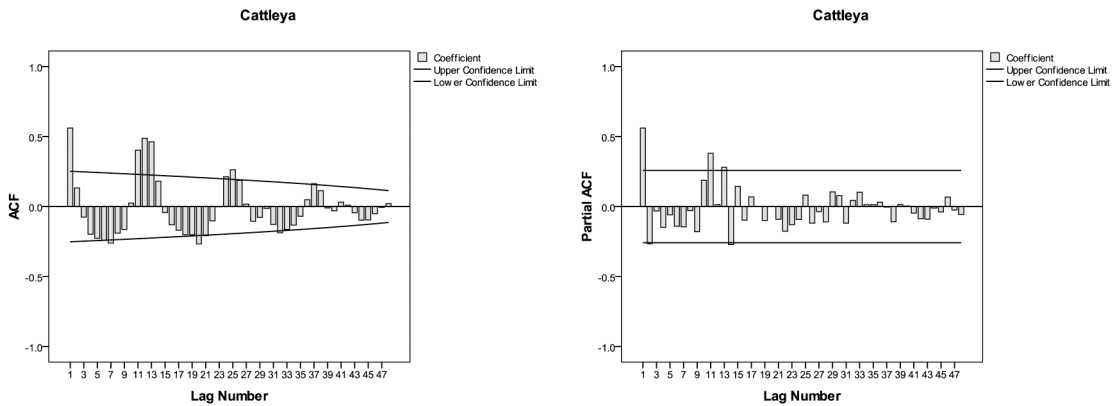
$$Y_t = (1 + \Phi_1)Y_{t-12} - \Phi_1 Y_{t-24} + \varepsilon_t$$

จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

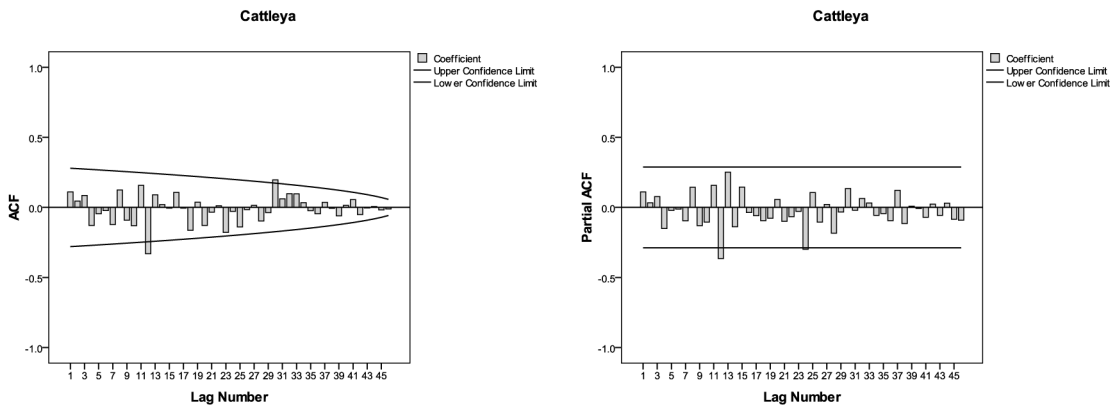
$$\hat{Y}_t = 0.632971Y_{t-12} + 0.367029Y_{t-24} \quad (7)$$

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

Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$



รูปที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคากัญไม้แคทลียา



รูปที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคากัญไม้แคทลียา

เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 7.033 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 22.656, p-value = 0.123) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.817, p-value = 0.516) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -1.042, p-value = 0.298) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t = 1.011, p-value = 0.316) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.648, p-value = 0.127) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_t = 113.207848 + \hat{S}_t \quad (8)$$

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

$\hat{S}_t$ แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ราคากล้วยไม้แคทลียาของเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนเมษายนถึงเดือนกรกฎาคมของทุกปี มีค่ามากกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0

ตารางที่ 1 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาราคากล้วยไม้แคทลียาจากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย

เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล
มกราคม	-2.83672	กรกฎาคม	36.08383
กุมภาพันธ์	10.57301	สิงหาคม	-2.49639
มีนาคม	-9.50324	กันยายน	-44.57661
เมษายน	3.56652	ตุลาคม	-48.57683
พฤษภาคม	44.53028	พฤศจิกายน	-28.70106
มิถุนายน	59.37406	ธันวาคม	-17.43330

ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์

แบบบวก

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 7.088 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 22.330, p-value = 0.099) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.472, p-value = 0.979) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -1.562, p-value = 0.118) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = -0.105$, p-value = 0.916) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.612, p-value = 0.137) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = (120.281897 + 0.693984m) + \hat{S}_t \quad (9)$$

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

$\hat{S}_t$ แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ราคากล้วยไม้แคทลียาของเดือนมกราคม เดือนกุมภาพันธ์ และเดือนเมษายน ถึงเดือนกรกฎาคมของทุกปี มีค่ามากกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0

ตารางที่ 2 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลาราคากล้วยไม้แคทลียาจากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

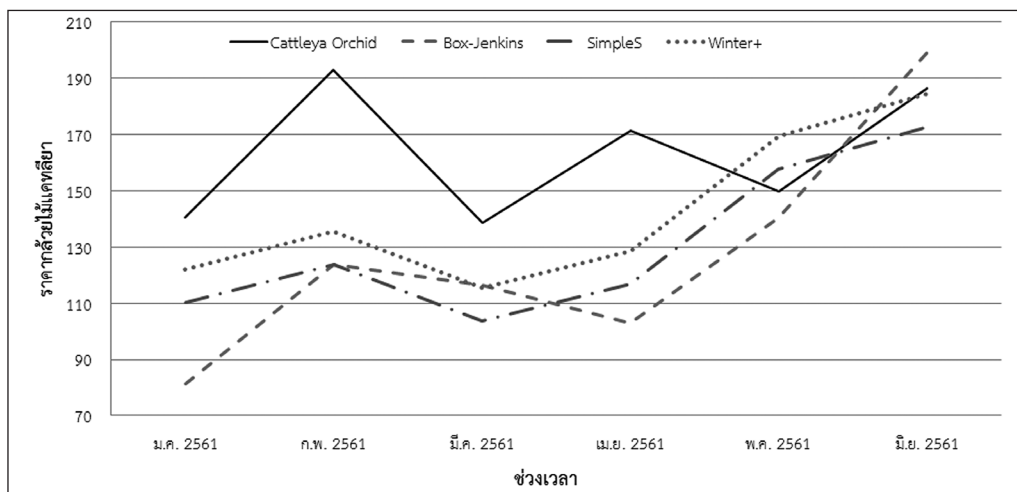
เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล
มกราคม	0.97940	กรกฎาคม	35.73815
กุมภาพันธ์	13.69550	สิงหาคม	-3.53569
มีนาคม	-7.07439	กันยายน	-46.30950
เมษายน	5.30173	ตุลาคม	-51.00329
พฤษภาคม	45.57186	พฤศจิกายน	-31.82106
มิถุนายน	59.72200	ธันวาคม	-21.24681

ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 7.269 แต่มีค่าสถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 26.804, p-value = 0.030) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.942, p-value = 0.338) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.430$, p-value = 0.669) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.118, p-value = 0.376) แต่มีการเคลื่อนไหวไม่เป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -2.083, p-value = 0.037) นั้นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม เพราะค่าสถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวไม่เป็นอิสระกัน จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE

ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

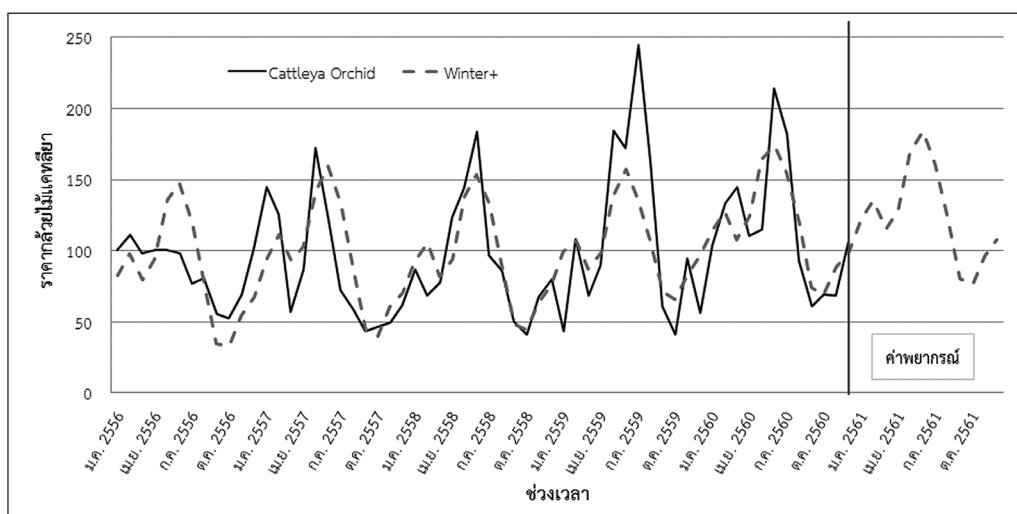
จากการเปรียบเทียบราคาล้วยไม้แคทลียาของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2561 จำนวน 6 ค่า (กราฟเส้น Cattleya Orchid) กับค่าพยากรณ์จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (กราฟเส้น Box-Jenkins) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย (กราฟเส้น SimpleS) และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก (กราฟเส้น Winter+) ดังรูปที่ 4 พบว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกให้ค่าพยากรณ์ที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่าวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ อีกทั้งเมื่อคำนวณค่า MAPE และ RMSE ในสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ตามลำดับ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ในสมการที่ (9) ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด ดังนั้นวิธีการพยากรณ์นี้จึงเป็นวิธีที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับอนุกรมราคาล้วยไม้แคทลียาชุดนี้มากที่สุด โดยวิธีการพยากรณ์นี้มีความผิดพลาดจากการพยากรณ์เพียงร้อยละ 16.4736 (MAPE = 16.4736) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 32.6572 บาท/กำ (RMSE = 32.6572) เมื่อใช้วิธีการพยากรณ์นี้ในการพยากรณ์ราคาล้วยไม้แคทลียา ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2561 ดังรูปที่ 5 พบว่า ราคาล้วยไม้แคทลียามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และยังคงมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยในเดือนกรกฎาคม 2561 ราคาล้วยไม้แคทลียาจะมีค่าประมาณ 160.88 บาท/กำ และในเดือนธันวาคม 2561 ราคาล้วยไม้แคทลียาจะมีค่าประมาณ 107.36 บาท/กำ



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาราคากัลวี่ไม้แคทลียาชุดที่ 2
และค่าพยากรณ์ 3 วิธี

ตารางที่ 3 ค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

วิธีการพยากรณ์	MAPE	RMSE
บ็อกซ์-เจนกินส์	24.4086	47.6480
ฤดูกาลอย่างง่าย	21.1237	40.9955
วินเทอร์บวก	<u>16.4736</u>	<u>32.6572</u>



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาราคากัลวี่ไม้แคทลียาและค่าพยากรณ์
จากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

สรุปและวิจารณ์ผล

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคากล้วยไม้แคทลียา โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของตลาดสี่มุมเมือง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนมิถุนายน 2561 จำนวน 66 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 60 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ชุดที่ 2 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2561 จำนวน 6 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก เป็นวิธีที่มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = (120.281897 + 0.693984m) + \hat{S}_t$$

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

$\hat{S}_t$ แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t

เมื่อใช้วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกในการพยากรณ์ราคากล้วยไม้แคทลียา ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2561 พบว่า ราคากล้วยไม้แคทลียามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและยังคงมีความผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Keerativibool (2014) และ Riansut (2016) ที่พบว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกเป็นวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามการวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาปัจจัยเวลาเพียงปัจจัยเดียว สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ราคากล้วยไม้แคทลียา ดังนั้นการศึกษารั้งต่อไป ผู้วิจัยควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ โดยนำมาสร้างเป็นตัวแบบถดถอย (Regression Model) เช่น ปัจจัยของสถานการณ์การผลิตสถานการณ์ตลาด ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ดัชนีราคาผู้บริโภค คุณภาพของผลผลิต นโยบายการค้า-การส่งออกระหว่างประเทศ และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา เป็นต้น (Khamapan, 2004; Poomkumarn, 2012) อีกทั้งเมื่อมีราคากล้วยไม้แคทลียาที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบ เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ค่าในอนาคตต่อไป

REFERENCES

- Bowerman, B.L. & O'Connell, R.T. (1993). **Forecasting and Time Series: An Applied Approach**. 3rd Edition. California: Duxbury Press.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M. & Reinsel, G.C. (1994). **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. 3rd Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Keerativibool, W. (2014). A Comparison of Forecasting Methods between Box-Jenkins and Winters's Exponential Smoothing for Predicting the Export Quantity of Orchids. **RMUTTO Journal**. 7(1), 62-72. (in Thai)
- Ket-iam, S. (2005). **Forecasting Technique**. 2nd Edition. Songkhla: Thaksin University. (in Thai)
- Khamapan, Ch. (2004). **The Forecasting of Export Quantity for Cut-Flower Orchid from Thailand to the United States of America**. Master Thesis. Kasetsart University. (in Thai)
- OK Nation Blog. (2008). **Orchids**. Retrieved June 25, 2018, from <http://oknation.nationtv.tv/blog/mokara/2008/03/03/entry-1> (in Thai)
- Poomkumarn, R. (2012). **Forecasting Thailand's Cut-Flower Orchid Export Volume Using Quantitative Models**. Master Thesis. Kasetsart University. (in Thai)
- Riansut, W. (2016). Forecasting Model for Sales Volume of Crude Palm Oil in Thailand. **Journal of Science Ladkrabang**. 25(1), 33-45. (in Thai)
- Si-Mum-Muang Market. (2018). **The Wholesale Cost of Cattleya Orchid**. Retrieved June 24, 2018, from <http://www.taladsimummuang.com/dmma/Portals/PriceListItem.aspx?id=080201030> (in Thai)

การพัฒนาออนโทโลยีเพื่อการสืบค้นเชิงความหมาย
ของการจัดการโรคในลำไย

THE DEVELOPMENT OF ONTOLOGIES
OF SEMANTIC SEARCH TECHNOLOGY FOR DISEASE MANAGEMENT
IN LONGAN

วินัย บัณฑิตเนตร^{1*} และ จันทรีจิรา พยัคฆ์พงศ์²

^{1,2}ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

Winai Bangkhomned^{1*} and Janjira Payakpate²

^{1,2}Department of Computer Science and Information Technology, Faculty of Science,
Naresuan University, Phitsanulok, 65000

*E-mail: n3467@hotmail.com

Received: 2018-07-03

Revised: 2018-11-20

Accepted: 2019-01-10

บทคัดย่อ

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของเกษตรกรทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเกษตรกรจะปลูกลำไยเป็นมรดกตกทอดจากรุ่นสู่รุ่น องค์ความรู้ในการผลิตลำไยให้ได้คุณภาพต้องอาศัยประสบการณ์โดยเฉพาะการจัดการโรคในลำไยและแมลงศัตรูลำไย บทความนี้ได้นำเสนอฐานความรู้ออนโทโลยีโรคในลำไยและระบบสืบค้นข้อมูลโรคลำไยเพื่อจัดเก็บองค์ความรู้และค้นคืนข้อมูลองค์ความรู้ด้านโรคในลำไย สนับสนุนการตัดสินใจในการวินิจฉัยโรคของเกษตรกรเพื่อรักษาโรคได้ถูกวิธี ซึ่งฐานความรู้ออนโทโลยีประกอบด้วยคลาสหลัก คือ โรคลำไย แมลง สายพันธุ์ลำไย ชื่อโรค อาการบริเวณใบและยอด อาการบริเวณข้อผลและดอก อาการบริเวณกิ่งและลำต้น อาการบริเวณผล อาการบริเวณราก และการเติบโตทดสอบความแม่นยำของระบบสืบค้นโดยเปรียบเทียบคำตอบกับผู้เชี่ยวชาญ ได้ค่าความแม่นยำ 100% ค่าความลึก 87.92% และค่าประสิทธิภาพโดยรวม 93.57% สามารถเป็นต้นแบบของระบบผู้เชี่ยวชาญด้านโรคลำไยต่อไป

คำสำคัญ: เว็บเชิงความหมาย โรคในลำไย ออนโทโลยี การดึงข้อมูล

ABSTRACT

Longan is one of the important economic crops of northern Thailand. Farmers will plant Longan as a legacy from generation to generation. The knowledge of Longan production has to be based on experience, especially the management of diseases in Longan and Longan insect pests. This article presents the ontology knowledge base on Longan and Longan disease retrieval system, store knowledge and to retrieve information on disease in Longan. Support decision making in the diagnosis of farmers. The ontology knowledge base consists of the main classes: disease, insect, breed, disease name, leaf area symptoms, symptoms of bouquets and flowers, symptoms of the branches and trunk, symptoms of fruit, symptoms of root and growth. Test the accuracy of the search system by comparing the answers with the experts is 100%. It can be used as a prototype of the Longan disease expert system.

Keywords: Semantic Web, Disease in Longan, Ontology, Information Retrieval

บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกมากในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี สายพันธุ์ที่นิยมปลูกคือพันธุ์อีดอ ผลผลิตส่วนใหญ่จะออกสู่ตลาดในช่วงปลายเดือนมิถุนายน ถึงต้นเดือนกันยายน การส่งออกลำไยสร้างรายได้อย่างมากให้กับเกษตรกรไทยซึ่งมีตลาดหลักคือ จีน อินโดนีเซีย และฮ่องกง (Ngamsuthat, 2011) ข้อมูลในปี พ.ศ. 2558 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกลำไยที่ให้ผลผลิตได้ 1,060,391 ไร่ ปริมาณผลผลิต 872,112 ตัน โดยภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกลำไยที่ให้ผลผลิตได้มากที่สุด คือ 866,504 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 82 มีปริมาณผลผลิต 557,510 ตัน คิดเป็นร้อยละ 62 จังหวัดที่ให้ผลผลิตมากที่สุดได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย และ พะเยา ตามลำดับ (Office of Agricultural Economic, 2016)

การปลูกลำไยเป็นอาชีพหนึ่งของเกษตรกรในภาคเหนือตอนบน ส่วนมากได้รับสืบทอดจากรุ่นสู่รุ่นต้นลำไยของเกษตรกรส่วนใหญ่จึงมีอายุมาก การขยายพันธุ์ใช้วิธีตอนกิ่งจากต้นในสวนตัวเอง ทักษะการจัดการสวนลำไยของเกษตรกรได้มาจากประสบการณ์ที่ถ่ายทอดต่อกันมาซึ่งมีวิธีการจัดการสวนที่แตกต่างกันออกไป และเนื่องจากองค์ความรู้ด้านการจัดการสวนลำไยที่มีความหลากหลายทำให้เกษตรกรรุ่นใหม่ต้องลองผิดลองถูกเพื่อหาวิธีการจัดการ

สวนลำไยที่เหมาะสมสำหรับสวนของตัวเองเกษตรกรบางรายสามารถผลิตลำไยได้ปริมาณมาก แต่มีต้นทุนการผลิตสูงจึงเป็นความท้าทายของเกษตรกรรุ่นใหม่ที่ยังไม่สามารถเข้าถึงองค์ความรู้ การผลิตลำไยซึ่งไม่มีการรวบรวมหรือบันทึกไว้อย่างเป็นรูปธรรม

ปัญหาหลักของการทำสวนลำไยคือโรคและแมลงศัตรูลำไย โรคที่สร้างปัญหาให้ชาวสวนลำไยได้แก่ โรคราเน่าฝนหรือโรคผลเน่า โรคพุ่มไม้กวาด โรคหงอย เป็นต้น แมลงที่เป็นศัตรูลำไยโดยตรง เช่น มวนลำไย หนอนม้วนใบ หนอนคืบกินใบ เป็นต้น เกษตรกรมักใช้สารเคมีเป็นหลักในการจัดการกับโรคและแมลงศัตรูลำไยโดยเลือกจากโฆษณาสรรพคุณของผลิตภัณฑ์ กำจัดโรคและแมลงหรือเลียนแบบจากเกษตรกรคนอื่น ๆ เกิดความเสี่ยงในการใช้สารเคมีเกินความจำเป็นส่งผลต่อสุขภาพของเกษตรกรเองและต้นทุนที่อาจเพิ่มขึ้นด้วย

ที่ผ่านมา มีนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับโรคและแมลงในลำไย ผลงานที่น่าสนใจ เช่น Sittigul (2004) ได้เสนอให้ใช้สารสกัดจากพืช หางไหลและยาสูบซึ่งควบคุมการระบาดของเพลี้ยแป้งและไม่ส่งผลต่อสีผิวของลำไย Babpraserth et al. (1994) พบว่า การถ่ายทอดโรคพุ่มไม้กวาดสามารถถ่ายทอดทางเมล็ดซึ่งพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคนี้คือ แห้วและเบี้ยวเขียว Suppawattanabodee (1997) ได้พบลักษณะเด่นของโรคพุ่มไม้กวาดช่วยให้เกษตรกรสามารถสังเกตเพื่อวินิจฉัยเบื้องต้น นอกจากนี้ยังมีโรคที่ไม่ทราบสาเหตุ เช่น โรคหงอย เมื่อระบาดแล้วจะสร้างความเสียหายอย่างมาก ลำไยจะยืนต้นตายป้องกันได้ยากเมื่อพบต้นลำไยที่แสดงอาการหงอยต้องขุดทิ้งและเผาทำลาย สอดคล้องกับ Visitpanich (2003) ได้พบว่าไส้เดือนฝอยเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ลำไยเกิดอาการหงอยและยังพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำมากเกินไปเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดรากเน่าทำให้ลำไยแสดงอาการหงอยและตายในที่สุด การสังเกตลำไยที่แสดงอาการของโรคเป็นเรื่องสำคัญที่เกษตรกรต้องมีความรู้ ความเข้าใจในลักษณะของอาการที่แสดง นอกจากนี้แมลงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกษตรกรต้องสังเกตว่าพบแมลงที่เป็นสาเหตุของโรคหรือไม่ เช่น พบไรสีขาและลักษณะของเชื้อไฟโตพลาสมา ลำไยมีโอกาสเป็นใบม้วนหงิก เกษตรกรต้องจำกัดแมลงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโรคดังกล่าว (Visitpanich, 2000)

องค์ความรู้ด้านการจัดการโรคและแมลงศัตรูลำไยจำเป็นต่อเกษตรกรมาก ปัจจุบันมีการเผยแพร่ในหลายรูปแบบ เช่น งานวิจัย ตำรา คู่มือหรือเว็บไซต์ แต่การจัดเก็บยังกระจัดกระจายไม่เป็นรูปแบบเดียวกัน การเข้าถึงข้อมูลจึงเป็นเรื่องยาก แม้ว่าปัจจุบันวิทยาการทางด้านอินเทอร์เน็ตพัฒนาไปมากแต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ความก้าวหน้าของอินเทอร์เน็ตทำให้มีข้อมูลเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ตจำนวนมากการสืบค้นข้อมูลผู้ใช้ต้องใช้ความรู้ในศาสตร์นั้นๆ เพื่อเลือกใช้ข้อมูลที่ต้องการ จึงมีโอกาสสูงมากที่เกษตรกรรุ่นใหม่อาจเลือกข้อมูลผิดไปใช้ ผู้วิจัยต้องการนำเสนอออนไลน์เพื่อการสืบค้นเชิงความหมายในการจัดการโรคในลำไย เพื่อให้การสืบค้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบดังกล่าวพัฒนาด้วยเทคนิคออนไลน์และเว็บเชิงความหมายซึ่งหมายถึงการช่วยให้การสืบค้นของผู้ที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญในศาสตร์นั้นๆ

สามารถสืบค้นข้อมูลบนเว็บที่ให้คอมพิวเตอร์เข้าใจในระดับความหมายของการประมวลผลข้อมูลบนเว็บอย่างอัตโนมัติสามารถเลือกข้อมูลที่ตรงกับความต้องการ (Berners-Lee et al., 2001) การทำงานของเว็บเชิงความหมายจะทำงานตามหลักการออนโทโลยีซึ่งเป็นแนวคิดที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจัดการความรู้และนำเสนอความรู้ ออนโทโลยีเปรียบเสมือนโครงร่างพื้นฐานในการอธิบายความรู้เฉพาะด้าน มีลักษณะโครงสร้างแบบลำดับชั้นกำหนดขอบเขตเนื้อหาที่สนใจในวงจำกัด(Noy et al., 2001) เช่น ออนโทโลยีการแปรรูปข้าว (Akanit et al., 2011) ออนโทโลยีคลังคำศัพท์เกี่ยวกับพืชไร่(Jonquet et al., 2018) ออนโทโลยีการปลูกองุ่นและการผลิตไวน์ (Muljarto et al., 2017) โครงสร้างภาษาที่ใช้ในการพัฒนาออนโทโลยีนั้นใช้ภาษาเว็บออนโทโลยี (Ontology Web Language: OWL) ทำหน้าที่อธิบายโครงสร้างของความรู้ ตามกรอบของภาษาอาร์ดีเอฟ (Resource Description Framework: RDF Language) และเพื่อให้รองรับการทำงานบนเว็บจึงใช้หลักไวยากรณ์ตามภาษาเอ็กซ์เอ็มแอล (XML extensible Markup Language) ซึ่งเป็นภาษาที่รับรองโดยองค์กร W3C ใช้รูปแบบและไวยากรณ์ภาษาอาร์ดีเอฟรองรับการทำงานสำหรับออนโทโลยีโดยเฉพาะจึงเป็นภาษามาตรฐานสำหรับเว็บเชิงความหมาย(Antoniou et al., 2008) ดังนั้น ออนโทโลยีจึงหมายถึงแนวคิดในการอธิบายหรือบรรยายองค์ความรู้อย่างมีขอบเขตตามลักษณะของความสัมพันธ์เปรียบเทียบการนำแนวคิดที่มีในตัวมนุษย์ องค์ความรู้ในเอกสาร หรือฐานข้อมูลมาสร้างความสัมพันธ์ในระดับแนวความคิดตามข้อเท็จจริง สอดคล้องกับ Gruber (1995)กล่าวว่าการเข้าถึงความคิดที่อยู่ในตัวแต่ละคนมีองค์ประกอบคือคำเรียกแนวคิดและความหมายของแนวคิดแล้วถ่ายทอดออกมาตามโครงสร้างเพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลได้

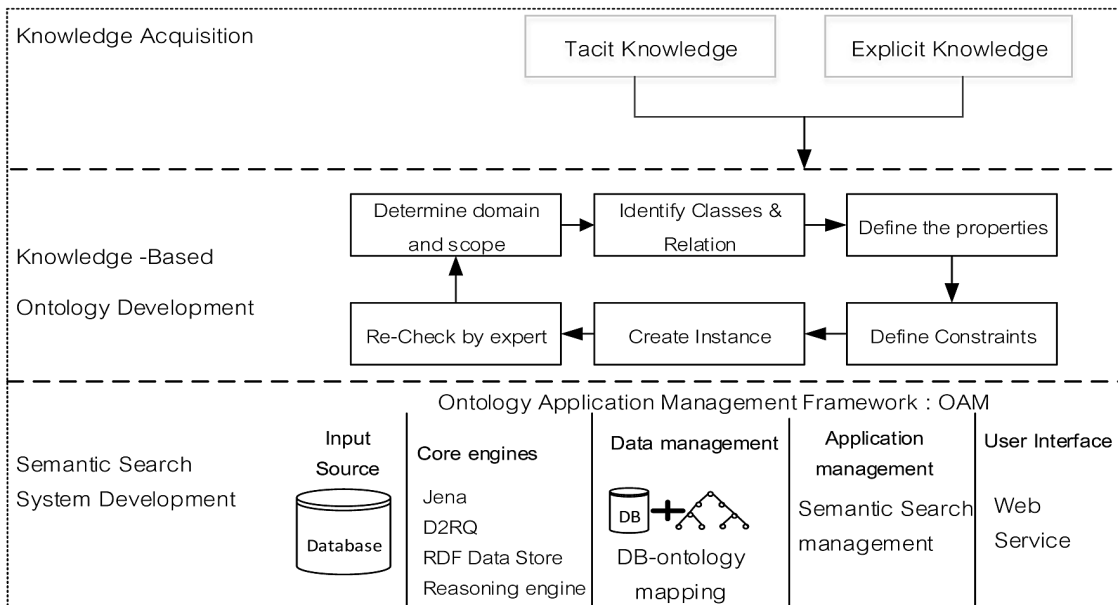
ปัจจุบันออนโทโลยีมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบสืบค้นมักถูกใช้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์ เว็บเชิงความหมายและวิศวกรรมซอฟต์แวร์ มีงานวิจัยที่น่าอนโทโลยีไปพัฒนาระบบบริการความรู้ในหลายสาขาซึ่งงานวิจัยที่น่าสนใจได้แก่ ด้านการแพทย์ Tiansaard et al. (2012) นำเสนอระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยและให้คำแนะนำผู้ป่วยไตวายเรื้อรัง Suksom et al. (2010) นำเสนอออนโทโลยีสำหรับระบบให้คำแนะนำการบริโภคอาหารตามโภชนาการเฉพาะบุคคล ด้านการท่องเที่ยว Chuenta et al. (2014) นำเสนอออนโทโลยีในการแนะนำสถานที่ที่ตรงกับความต้องการของนักท่องเที่ยว ด้านการเกษตร Zheng et al. (2012) นำเสนอกรอบระบบการจัดการความรู้ด้วยออนโทโลยีที่รวมเทคนิคทางด้านการแสวงหาความรู้เพื่อปรับปรุงความรู้ในระบบและการทำเหมืองความรู้ในภาคการเกษตร สอดคล้องกับ Wei et al. (2012) นำเสนอเทคโนโลยีกึ่งอัตโนมัติในการสร้างออนโทโลยีทางการเกษตรจากเว็บที่เก็บองค์ความรู้ด้านการเกษตรเพื่อลดภาระในการสกัดองค์ความรู้โดยผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ Shyamaladevi et al. (2012) นำเสนอระบบช่วยเหลือเกษตรกรโดยมีออนโทโลยีเกี่ยวกับ ดิน ปุ๋ย อากาศ และสารกำจัดศัตรูพืช ช่วยให้เกษตรกรสามารถสืบค้นข้อมูลทางการเกษตร

เพื่อวางแผนการเพาะปลูกได้ Liao et al. (2015) เสนอระบบข้อมูลการเกษตรแบบบูรณาการเพื่อเชื่อมออนไลน์หลายออนไลน์เข้าด้วยกันทำให้โอกาสในการค้นคืนข้อมูลสารสนเทศได้แม่นยำและขอบเขตกว้างมากขึ้น จากข้อมูลข้างผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาต้นแบบระบบการสืบค้นข้อมูลการจัดการโรคในลำไยในรูปแบบเว็บเชิงความหมาย โดยรวบรวมและสกัดองค์ความรู้จากเอกสาร ตำรา งานวิจัยด้านการจัดการโรคในลำไยโดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบสืบค้นข้อมูลโรคในลำไยด้วยหลักการออนไลน์ซึ่งกำหนดขอบเขตในการศึกษาไว้ดังนี้ ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบครอบคลุมโรคและการจัดการโรค ในลำไยจำนวน 20 โรค ได้แก่ โรคพุ่มไม้กวาด โรคพุ่มแฉ้ โรคกระหรี โรคจุดสนิม โรคราดำ โรคราสีชมพู โรคผลเน่าสีน้ำตาล โรครากเน่า โรคใบจุดดำ โรคราน้ำฝน โรคใบไหม้ โรคไส้ดำ โรคหงอย โรคต้นโทรม โรคผลแตกง่าย โรคยอดแห้ง โรคราน้ำค้าง โรคสาหร่ายจุดสนิม โรคกิ่งปม ข้อมูลแมลงศัตรูลำไยจำนวน 20 ชนิด ได้แก่ เพลี้ยหอยหลังเต่า เพลี้ยไฟพริก เพลี้ยแป้ง เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยไก่แจ้ หนอนคืบเขียวกินใบ แมลงค่อมทอง ด้วงมวนหวาน มวนลำไย ด้วงหนวดยาว หนอนกินดอกลำไย หนอนเจาะกิ่งและลำต้น หนอนคืบลำไย หนอนเจาะขั้วผล ไรก้ามหยาบ แมลงวันทอง หนอนซอนใบ ด้วงกุหลาบ หนอนกินเปลือกลำต้น เพลี้ยแป้งรากลำไย เป็นต้น

วิธีการ

การศึกษานี้จะนำเสนอระบบสืบค้นข้อมูลโรคและการจัดการโรคในลำไยด้วยออนไลน์โดยได้แบ่งกรอบการทำงานเป็น 3 ส่วน คือ 1) การจัดเก็บรวบรวมองค์ความรู้ 2) พัฒนาระบบความรู้ออนไลน์ 3) การพัฒนาระบบสืบค้นเชิงความหมาย

ส่วนที่ 1 การเก็บรวบรวมองค์ความรู้ (Knowledge Acquisition) คือ การถอดความรู้เกี่ยวกับโรคและแมลงศัตรูลำไย จากบทความวิชาการ งานวิจัย ตำราและจากผู้เชี่ยวชาญด้านโรคในลำไยโดยใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In depth-Interview) (Musen, 1993) ตลอดจนทำความเข้าใจความต้องการของผู้ใช้จริง การศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมองค์ความรู้ด้านการเกษตร เช่นเดียวกับ Kawtrakul (2012) ศึกษาบริการด้านวิศวกรรมและความรู้ด้วยออนไลน์สำหรับโดเมนเกษตร Akanit et al., (2011) ศึกษาออนไลน์เพื่อการแปรรูปข้าวและ Huang et al., (2012) ศึกษาออนไลน์เพื่อพัฒนาภูมิสารสนเทศสารสนเทศทางการเกษตร แต่ยังไม่มีการเจาะจงในประเด็นเรื่องของโรคในลำไย

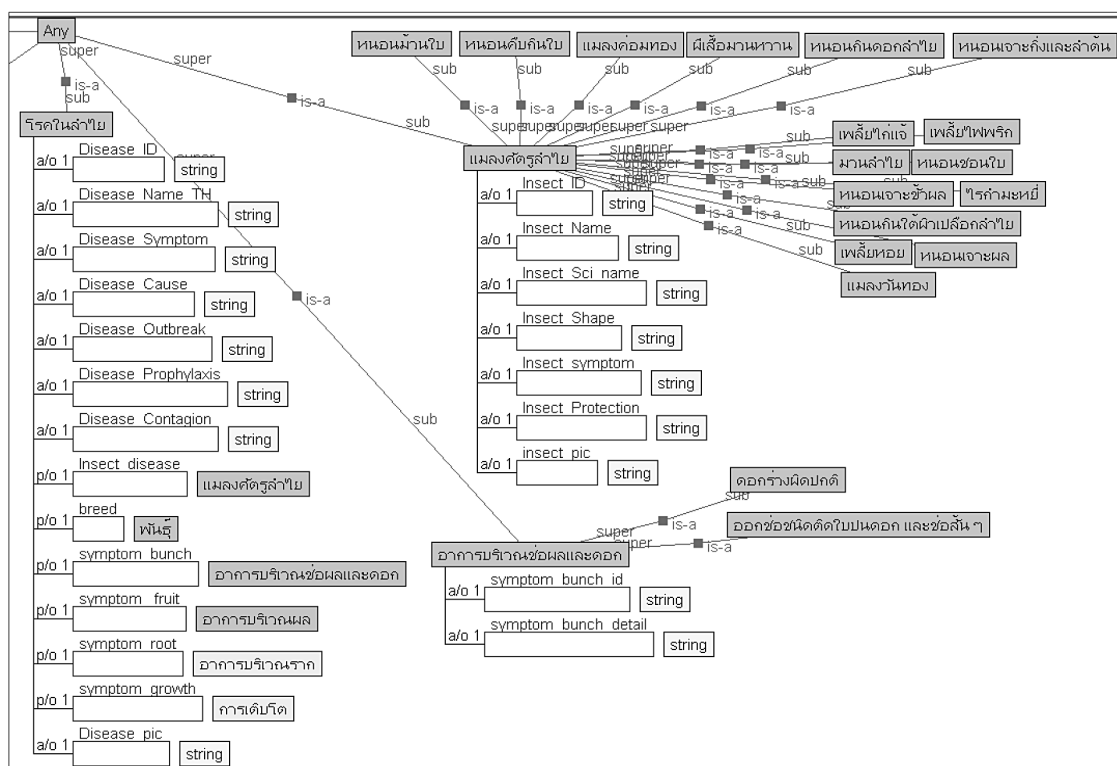


รูปที่ 1 กรอบวิธีการวิจัย

ส่วนที่ 2 การพัฒนาฐานความรู้ออนโทโลยี (Knowledge-Base Ontology Development) เป็นกระบวนการออกแบบและพัฒนาออนโทโลยี โดยได้มีผู้วิจัยเสนอแนวทางไว้หลายวิธี Staab et al. (2001) ได้นำเสนอขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีเป็น 5 ขั้นตอน ในขณะที่ Noy et al. (2001) นำเสนอขั้นตอนไว้ 7 ขั้นตอน ในที่นี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ขั้นตอนจากการศึกษาดังกล่าวเพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาองค์ความรู้ด้านการเกษตร โดยเน้นในเรื่องความถูกต้องเหมาะสมจึงจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบโครงสร้างของออนโทโลยีเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ที่ถูกต้อง ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอกระบวนการออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีในงานด้านการเกษตรโดยประยุกต์จาก Noy et al. (2001) และ Staab et al. (2001) โดยปรับปรุงขั้นตอนการพัฒนาเป็นลักษณะของวงจรและเพิ่มบทบาทของผู้เชี่ยวชาญในการประเมินโครงสร้างของออนโทโลยี ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียด ดังนี้

1. กำหนดโดเมนและขอบเขตของออนโทโลยี (Determine domain and scope) คือ งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบออนโทโลยีของโรคในลำไยโดยการวินิจฉัยโรคจากอาการและแมลงที่พบ เพื่อแสดงรายละเอียดของโรค สาเหตุของโรค อาการของโรค วิธีการรักษาและการป้องกัน

2. สร้างคลาสและความสัมพันธ์ (Identify Classes & Relation) คือ การกำหนดคลาสภายใต้ขอบเขตที่ทำการศึกษาในที่นี้ได้ออกแบบคลาสไว้ 9 คลาสได้แก่ โรคลำไย แมลงสายพันธุ์ลำไย อาการบริเวณใบและยอด อาการบริเวณช่อผลและดอก อาการบริเวณกิ่งและลำต้น อาการบริเวณผลลำไย อาการบริเวณรากลำไย และการเติบโต



รูปที่ 2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของมโนทัศน์ ในออนโทโลยี

- กำหนดคุณสมบัติของคลาส (Define the properties) คือการระบุคุณลักษณะหรือความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ มี 3 ลักษณะความสัมพันธ์ ดังตัวอย่างรูปที่ 2 คือ
 - ความสัมพันธ์ชนิด "จัดเป็น" (IS-A) ตัวอย่าง เช่น เพลี้ยไก่แจ้ is-a แมลงศัตรูลำไย
 - ความสัมพันธ์ชนิดคุณสมบัติ หรือ "เป็นส่วนหนึ่งของ" (part-of) ตัวอย่าง เช่น อาการบริเวณซอผลและดอก Part-of (p/o) โรคลำไย
 - ความสัมพันธ์ชนิดคุณสมบัติ แบบ "เป็นคุณลักษณะของ" (attribute-of) เช่น Disease_cause attribute-of (a/o) โรคลำไย
- กำหนดเงื่อนไขและข้อกำหนดข้อมูลในแต่ละคลาส (Define Constraints) ตัวอย่าง เช่น คลาสการเติบโต กำหนดเงื่อนไขข้อมูลมีเพียง 2 ค่า คือ โตช้า และทรุดโทรม
- กำหนดค่าตัวแทน (Create Instance) ข้อมูลของมโนทัศน์ ตัวอย่างเช่น อาการใบร่วง เป็นอินสแตนซ์ของคลาส อาการบริเวณใบและยอด
- การตรวจสอบออนโทโลยี (Re-Check by expert) คือการตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ของคลาสต่าง ๆ โดยผู้เชี่ยวชาญ

ในส่วนที่ 2 เป็นกระบวนการพัฒนาฐานความรู้ออนโทโลยี ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Hozo-Ontology Editor (Mizoguchi et al., 2007) เป็นโปรแกรมเครื่องมือที่สนับสนุนการพัฒนา

ออนโทโลยี และจัดเก็บองค์ความรู้ในรูปแบบของออนโทโลยีโฮโซะ(Hozo) โดยใช้ทฤษฎีออนโทโลยี (ontological) และมีส่วนช่วยสร้างออนโทโลยีที่ใช้ซ้ำได้ (Kozaki et al., 2002) มีงานวิจัยที่ใช้โฮโซะ (Hozo) เป็นเครื่องมือในการพัฒนาออนโทโลยี เช่น Chotirat et al. (2011) พัฒนาระบบวิเคราะห์ข่าวออนไลน์โดยอัตโนมัติ Jairak (2016) พัฒนาระบบแนะนำการท่องเที่ยว และ Buranarach et al. (2009) พัฒนาระบบแจ้งเตือนทางคลินิกเพื่อการดูแลสุขภาพ ซึ่งฐานความรู้ออนโทโลยีระบบสืบค้นข้อมูลโรคลำไย ประกอบด้วยคลาสหลักจำนวน 9 คลาสโดยมีคลาสโรคลำไยเป็นคลาสที่มีความสัมพันธ์กับคลาสหลักทั้งหมดในออนโทโลยี ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของคลาสโรคลำไย

Attribute	Kind	Label	Relation
Disease_ID	a/o	รหัสโรค	
Disease_Name_TH	a/o	ชื่อโรค	
Disease_Symptom	a/o	อาการโดยรวมของโรค	
Disease_Cause	a/o	สาเหตุการเกิดโรค	
Disease_Outbreak	a/o	การระบาดของโรค	
Disease_Prophylaxis	a/o	วิธีการป้องกัน	
Disease_Contagion	a/o	การแพร่โรค	
Insect_disease	p/o	แมลงที่เกี่ยวข้องกับโรค	คลาสแมลงศัตรูลำไย
breed	p/o	สายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรค	คลาสชื่อสายพันธุ์
symptom_leaf	p/o	อาการบริเวณใบและยอด	คลาสอาการบริเวณใบและยอด
symptom_bunch	p/o	อาการบริเวณช่อผลและดอก	คลาสอาการบริเวณช่อผลและดอก
symptom_branch	p/o	อาการบริเวณกิ่งและลำต้น	คลาสอาการบริเวณกิ่งและลำต้น
symptom_fruit	p/o	อาการบริเวณผล	คลาสอาการบริเวณผล
symptom_root	p/o	อาการบริเวณราก	คลาสอาการบริเวณราก
symptom_growth	p/o	อาการการเติบโต	คลาสอาการการเติบโต

ส่วนที่ 3 เป็นการพัฒนากระบบสืบค้นเชิงความหมาย(Semantic Search System Development) หลังจากได้ฐานความรู้ออนโทโลยีโรคลำไยที่ผ่านการตรวจสอบความสัมพันธ์โดยผู้เชี่ยวชาญแล้ว ต่อไปเป็นการพัฒนากระบบสืบค้นข้อมูลเชิงความหมาย (Semantic Search System) ผู้วิจัยได้ใช้ระบบจัดการโปรแกรมประยุกต์ฐานความรู้ออนโทโลยี (Ontology Application Management Framework : OAM) ซึ่งในที่นี้ประกอบด้วยโปรแกรมน้อย 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนตั้งค่าการแปลงข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยใช้ออนโทโลยี (Database to Ontology Mapping Component)ทำหน้าที่ในการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล(Data Mapping) ในฐานข้อมูลกับฐานความรู้ออนโทโลยีตามมาตรฐาน OWL (Web Ontology Language) โดยสร้างผลลัพธ์ในรูปแบบข้อมูล RDF (Resource Description Framework)
2. ส่วนตั้งค่าการสืบค้นข้อมูล (Search Configuration Component) ทำหน้าที่กำหนดรูปแบบการสืบค้นและรูปแบบผลลัพธ์การสืบค้น ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดให้ผู้ใช้ออกอาการของลำไยและแมลงที่พบเพื่อนำไปประมวลผลและแสดงข้อมูลโรคลำไยรวมถึงการจัดการโรคดังกล่าวหลังจากกำหนดค่าต่าง ๆ แล้วจะได้ต้นแบบระบบสืบค้นที่พร้อมใช้งาน ดังรูปที่ 3

Ontology Application Management Semantic Search System For Disease of Longan

Keyword Search Advanced Search Language: EN

Advanced Search : Get API

Path โรคในลำไย

Condition อาการของโรค Contains

Condition

Label Property

Search

รูปที่ 3 หน้าจอหลักระบบสืบค้นข้อมูลโรคในลำไยด้วยออนโทโลยี

ผลการทดลอง

หลังจากการเชื่อมโยงฐานความรู้ออนโทโลยีเข้ากับข้อมูลที่มีอยู่ด้วยระบบจัดการโปรแกรมประยุกต์ฐานความรู้ออนโทโลยีแล้ว ผู้วิจัยทดสอบและประเมินประสิทธิภาพซึ่งใช้วิธีวัดค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความลึก (Recall) และค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความแม่นยำ (Precision) } P = \frac{|A|}{|B|}$$

โดยที่ |A| คือ จำนวนคำตอบที่ระบบตอบถูก

|B| คือ จำนวนคำตอบทั้งหมดของระบบ

$$\text{ค่าความลึก (Recall) } R = \frac{|A|}{|C|}$$

โดยที่คือ |C| จำนวนคำตอบทั้งหมดที่ผู้เชี่ยวชาญระบุ

$$\text{ประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) } F = \frac{2 \times (R \times P)}{(R + P)}$$

ได้กำหนดการสืบค้นเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการสืบค้นอาการของโรคไข้ไวกัวทั้งหมด 10 กรณี โดยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 2 ท่านเป็นผู้ให้คะแนนการประเมินเป็นผิดหรือถูก โดยผลลัพธ์ที่ถือว่าถูก ผู้เชี่ยวชาญต้องให้คะแนนเป็นถูกทั้ง 2 ท่าน

ตารางที่ 2 แสดงผลการสืบค้นจากระบบเปรียบเทียบคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญ

Query	IAI	IBI	ICI	Precision (%)	Recall (%)
1 อาการบริเวณใบ:ใบร่วง อาการบริเวณดอก : ดอกร่วง	1	1	1	100	100
2 อาการใบและยอด : ใบร่วง	3	3	3	100	100
3 การเจริญเติบโต:ทุดโทรม อาการใบและยอด :ใบร่วง แมลง : หนอนคืบกินใบ	1	1	1	100	100
4 อาการใบและยอด : มีคราบดำคล้ายเขม่า แมลง :แมลงเพลี้ยหอย	1	1	1	100	100
5 อาการใบและยอด : ใบแข็งกระด้าง แมลง : ไรกำมะหยี่	1	1	2	100	50
6 อาการใบและยอด : ยอดแห้ง การเติบโต : โตช้า	1	1	1	100	100
7 การเจริญเติบโต : ทุดโทรม	4	4	4	100	100
8 อาการบริเวณดอก : ดอกร่วงผิดปกติ	3	3	3	100	100
9 แมลง : หนอนชอนใบ	2	2	3	100	66.67
10 อาการใบและยอด : พบอาการบริเวณใบและยอด	5	5	8	100	62.50
เฉลี่ย				100	87.92

จากตารางที่ 2 อธิบายได้ว่าระบบสามารถสืบค้นข้อมูลโรคลำไยจากอาการ โดยใช้ฐานความรู้ออนโทโลยีได้อย่างแม่นยำซึ่งได้ค่าความแม่นยำ (Precision) 100% และได้ค่าความระลึก (Recall) 87.92% เมื่อเทียบคำตอบของผู้เชี่ยวชาญจากการวิเคราะห์การประเมินผลระบบสืบค้นพบว่ากฎแต่ละกฎมีความแม่นยำ (Precision) 100% ภายใต้ขอบเขตโรค 20 โรค แต่เมื่อพบอาการของโรคที่มีลักษณะใกล้เคียงกันส่งผลให้แสดงผลลัพธ์เป็นข้อมูลโรคจำนวนไม่เท่ากันซึ่งผู้เชี่ยวชาญเห็นว่ายังไม่ครอบคลุมโรคทั้งหมดส่งผลต่อค่าความระลึก (Recall) นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นจากแมลงที่พบในบริเวณลำไยที่สงสัยว่าเป็นโรคซึ่งจากการเชื่อมความสัมพันธ์ของคลาสโรคในลำไยกับคลาสแมลงศัตรูลำไยทำให้สืบค้นข้อมูลโรคที่เกี่ยวข้องกับแมลงที่ระบุได้ เช่น การสืบค้นรายการที่ 9 ในตารางที่ 2 ผู้ใช้ระบุเพียงพบหนอนชอนใบทำให้ระบบแสดงข้อมูลโรค 2 รายการที่เกี่ยวข้องกับหนอนชอนใบ ซึ่งช่วยให้เกษตรกรเฝ้าระวังหรือป้องกันโรคที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เป็นต้น

Advanced Search :

Get API

Label

Property

Path

โรคในลำไย

Condition

การเจริญเติบโต

Is A

ทรุดโทรม

Condition

แมลงที่พบ

Is A

หนอนคืบกินใบ

Condition

อาการบริเวณใบและยอด

Is A

ใบร่วง

Condition

Search

records (1)

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการสืบค้นข้อมูลโรคในลำไยด้วยอาการของลำไย

สรุปและวิจารณ์ผล

ผู้วิจัยได้พัฒนาฐานความรู้ออนโทโลยีโรคในลำไยประกอบด้วย 9 คลาสหลักเป็นฐานในการพัฒนาระบบสืบค้นข้อมูลโรคลำไย โดยมีจุดเด่นคือผู้ใช้สามารถเลือกอาการของลำไยที่สงสัยว่าเป็นโรคตามคลาสที่กำหนดคือ การเจริญเติบโตของต้น อาการบริเวณใบและยอด อาการบริเวณกิ่งและลำต้น อาการบริเวณราก อาการบริเวณช่อดอก อาการบริเวณผลและแมลงที่พบซึ่งระบบสามารถแสดงข้อมูลโรคได้ตรงกับอาการ ประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญได้ค่าความแม่นยำ (Precision) 100% ค่าความระลึก (Recall) 87.92 และค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) 93.57% จึงเหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีประสบการณ์น้อยใช้ฝึกฝนทดสอบความรู้ของตนเองรวมถึงใช้ในการวินิจฉัยโรคเบื้องต้นเพื่อรักษาโรคในลำไยได้ตรงกับโรค นอกจากนี้ผู้ใช้ควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอาการของโรคในลำไยและรู้จักชื่อแมลงศัตรูลำไยเพื่อให้การสืบค้นมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 4 ผู้ใช้ระบุการเจริญเติบโต “ทรุดโทรม” อาการใบและยอด : “ใบร่วง” พบแมลง : “หนอนคืบกินใบ” จากกฎดังกล่าวใกล้เคียงอาการของโรคจุดสนิมเพียงโรคเดียวจึงแสดงรายละเอียดของโรคจุดสนิม หากไม่ระบุแมลงที่พบจะเข้าข่ายอาการของโรคถึง 3 โรค ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคลาสโรคในลำไยและคลาสแมลงศัตรูลำไยได้ว่าโรคในลำไยจะมีแมลงเพียงบางชนิดที่เป็นสาเหตุของโรค ดังตารางที่ 1 ที่แสดงคุณสมบัติของคลาสโรคลำไยและความสัมพันธ์กับคลาสต่างๆ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดคือฐานความรู้ครอบคลุมโรคได้เพียง 20 โรคยังไม่เพียงพอกับการจัดการโรคในลำไยทั้งหมดและการสกัดองค์ความรู้ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ แนวทางในอนาคตควรศึกษาวิธีการสกัดองค์ความรู้โดยอาศัยเทคโนโลยีเพื่อการปรับปรุงฐานความรู้ได้ตลอดเวลาลดภาระของผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นแนวทางที่น่าสนใจนอกจากนี้หากสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้ด้านโรคในลำไยจากหลาย ๆ แหล่งจะทำให้ระบบมีข้อมูลโรคลำไยมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญ นักวิจัย ด้านลำไย มหาวิทยาลัยแม่โจ้รวมถึงเกษตรกรชาวสวนลำไยจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ที่กรุณาให้แนวทางในการสืบค้นข้อมูลและคำชี้แนะถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบสืบค้นข้อมูลโรคลำไย

เอกสารอ้างอิง

Akanit, Rosarin, Putthapongsiriporn, Thanit, Lumdabwong, Namfon, & Thunkijjanukij, Aree. (2011). Ontology development for rice processing knowledge management. *Journal of Agriculture*. 27(3), 267-274 (in Thai).

- Antoniou, Grigoris, Bikakis, Antonis, Dimaresis, Nikos, Genetzakis, Manolis, Georgalis, Giannis, Governatori, Guido, Karouzaki, Efe, Kazepis, Nikolas, Kosmadakis, Dimitris, Kritsotakis, Manolis, Lilis, Giannis, Papadogiannakis, Antonis, Pediaditis, Panagiotis, Terzakis, Constantinos, Theodosaki, Rena, & Zeginis, Dimitris. (2008). Proof explanation for a nonmonotonic Semantic Web rules language. **Data & Knowledge Engineering**. 64(3), 662-687. doi:<https://doi.org/10.1016/j.datak.2007.10.006>
- Babpraserth, Chalongchai, Klinkong, Supaporn, Chiemsombat, Pissawan, & Paradornuwat, Ampaiwan. (1994). **Development of disease detection techniques for longan witches' broom and disease epidemiology**. Bangkok: Kasetsart University Research and Development Institute. (in Thai).
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, And. (2001). **The Semantic Web**: Scientific American.
- Buranarach, Marut, Chalortham, Nopphadol, Chatvorawit, Piyatat, Thein, Ye Myat, & Supnithi, Thepchai. (2009). **An Ontology-based Framework for Development of Clinical Reminder System to Support Chronic Disease Healthcare** Paper presented at the The Sixth Indochina Conference on Pharmaceutical Sciences (PHARMA INDOCHINA VI), Hue College of Medicine and Pharmacy, Hue City, Vietnam.
- Chotirat, Wichuda, Boonrawd, Pudsadee, & Wichian, Sageemas Na. (2011). Developing an Ontology Knowledge Based for Automatic Online News Analysis. **Information Technology Journal**. 7(14), 13-18.(in Thai).
- Chuenta, Issara, Thongkam, Jaree, & Phuboon-Ob, Jiratta. (2014). Information Retrieval In Thai Northeast Travel Utilizing Ontology. **Information Technology Journal**. 10(2), 15-25 (in Thai).
- Gruber, Thomas R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? **International Journal of Human-Computer Studies**. 43(5), 907-928.
- Huang, Yong-Qi, Cui, Wei-Hong, Zhang, Yang-Jian, & Deng, Gao-Yan. (2012). Research on Development of Agricultural Geographic Information Ontology. **Journal of Integrative Agriculture**. 11(5), 865-877. doi:[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60077-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60077-X)

- Jairak, Kallaya. (2016). Applying Ontology based Recommendation System for Community Ecotourism: A Case Study of Mae Kam Pong Village, Mae On Sub-District, Chiang Mai Province. **Journal of Modern Management Science**. 9(2), 129-160. (in Thai).
- Jonquet, Clément, Toulet, Anne, Arnaud, Elizabeth, Aubin, Sophie, Dzalé Yeumo, Esther, Emonet, Vincent, Graybeal, John, Laporte, Marie-Angélique, Musen, Mark A., Pesce, Valeria, & Larmande, Pierre. (2018). AgroPortal: A vocabulary and ontology repository for agronomy. **Computers and Electronics in Agriculture**. 144, 126-143.
- Kawtrakul, A. (2012). Ontology Engineering and Knowledge Services for Agriculture Domain. **Journal of Integrative Agriculture**. 11(5), 741-751.
- Kozaki, Kouji, Kitamura, Yoshinobu, Ikeda, Mitsuru, & Mizoguchi, Riichiro. (2002). **Hozo: An Environment for Building/Using Ontologies Based on a Fundamental Consideration of "Role" and "Relationship"**, Berlin, Heidelberg.
- Liao, Jianwei, Li, Li, & Liu, Xiaoyan. (2015). An integrated, ontology-based agricultural information system. **Information Development**. 31(2), 150-163. doi:10.1177/0266666913510716
- Mizoguchi, Riichiro, Sunagawa, Eiichi, Kozaki, Kouji, & Kitamura, Yoshinobu. (2007). The model of roles within an ontology development tool: **Hozo. Appl. Ontol**. 2(2), 159-179.
- Muljarto, Aunur Rofiq, Salmon, Jean-Michel, Charnomordic, Brigitte, Buche, Patrice, Tireau, Anne, & Neveu, Pascal. (2017). A generic ontological network for Agri-food experiment integration – Application to viticulture and winemaking. **Computers and Electronics in Agriculture**. 140, 433-442. doi:https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.020
- Musen, Mark A. (1993). An overview of knowledge acquisition. In D. Jean-Marc, K. Jean-Paul, & S. Reid (Eds.), **Second generation expert systems** (pp. 405-427): Springer-Verlag New York, Inc.
- Natalya F. Noy and Deborah L. McGuinness. "Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology". **Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880**, March 2001.

- Ngamsuthat, Jittakarn. (2011). GAP and Standard Longan Export. **Kasikorn Newspaper**, 84, 46-62.(in Thai).
- Office of Agricultural Economic. (2016). Agricultural Statistics Of Thailand 2016. Retrived February 20,2018,from:http://www.oae.go.th/download/download_journal/2560/yearbook2059.pdf.(in Thai).
- Shyamaladevi, K., Mirmaline, T. T., Trueman, T. E., & Kaladevi, R. (2012, 22-24 Feb. 2012). **Design of ontology based ubiquitous web for agriculture ; A farmer helping system**. Paper presented at the 2012 International Conference on Computing, Communication and Applications.
- Sittigul, Chatree. (2004). **Management of Major Diseases and Insect Pests of Off Season Longan in Northern Area**. Bangkok: The Thailand Research Fund TRF. (in Thai).
- Staab, Steffen, Studer, Rudi, Schnurr, Hans-Peter, & Sure, York. (2001). Knowledge Processes and Ontologies. **IEEE Intelligent Systems**. 16(1), 26-34. doi:10.1109/5254.912382
- Suksom, Napat, Buranarach, Marut, Thein, Ye Myat, Supnithi, Thepchai, & Netisopakul, Ponrudee. (2010). **Ontology Development for Personalized Food and Nutrition RecommenderSystem**. Pathumthani: National Electronics and Computer Technology Center.
- Suppawattanabodee, Pracha. (1997). **Study on morphology and anatomy of witches'broom infected longan (Dimocarpus longan Lour. cv. Eedor)**. Bangkok: The Graduate School, Kasetsart University.(in Thai).
- Tiansaard, Jutamas, & Aemsombud, Orawan. (2012). An Ontology based Expert System for Diagnosis and Recommendation in Hemodialysis Patient. **Journal Of Information Science And Technology**. 3(2), 22-30 (in Thai).
- Visitpanich, Jariya. (2000). **Pest Management of Economic Important Diseases and Insect Pests of Longan and Developing Diagnostic Tool for Producing Pathogen Free Longan Plant**. Bongkok: The Thailand Research Fund TRF. (in Thai).
- Visitpanich, Jariya. (2003). **Determinations of the causal agents of decline, witches' broom symptom and sudden death of longan and their control**. Bangkok: The Thailand Research Fund(TRF). (in Thai).

- Wei, Y. Y., Wang, R. J., Hu, Y. M., & Wang, X. (2012). From Web Resources to Agricultural Ontology: a Method for Semi-Automatic Construction. **Journal of Integrative Agriculture**. 11(5), 775-783.
- Zheng, Ye-Lu, He, Qi-Yun, Qian, Ping, & Li, Ze. (2012). Construction of the Ontology-Based Agricultural Knowledge Management System. **Journal of Integrative Agriculture**. 11(5), 700-709. doi:[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60059-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60059-8)
-

การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้นและวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน
ของผลิตภัณฑ์ตรีผลา ในรูปแบบน้ำและรูปแบบผง
PRIMARY SUBSTANCE EXAMINATION AND ANALYSIS
OF COLLAGEN CONTENT
FROM TRIPHALA PRODUCT IN WATER TYPE AND POWDER TYPE

วิไลลักษณ์ สุขใส^{1*} สธภาพ สัตยชี้อ² เกศริน ดรสรีจันทร์³ และ สิริวิมล พรมนัส⁴

^{1*, 2, 3, 4}ภาควิชาการแพทย์แผนไทย วิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนภิเษก ถนนพู่ 11150

Wilailak Suksai^{1*}, Sathaporn Satsue², Ketsarin Donsrijan³ and Siriwirom Prommanus⁴

^{1*, 2, 3, 4}Department of Thai Traditional Medicine, Kanchanabhishek Institute
of Medical and Public Health Technology, Nonthaburi, 11150

*E-mail: wilailak55169@gmail.com

Received: 2018-04-17

Revised: 2018-12-17

Accepted: 2019-03-21

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้นและเปรียบเทียบปริมาณคอลลาเจนของผลิตภัณฑ์ ตรีผลาในรูปแบบน้ำและรูปแบบผง จำนวน 22 ชนิด ด้วยวิธีไฮดรอกซีโพรลีน ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผงมีสารสำคัญเบื้องต้นในกลุ่มแอลคาลอยด์ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ และสเตียรอยด์ ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำสามารถละลายสารสำคัญเบื้องต้นได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบผง ส่วนการศึกษาปริมาณคอลลาเจน พบว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำชนิด H มีปริมาณคอลลาเจน มากที่สุดคือ 738.45 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบผงชนิด O มีปริมาณคอลลาเจน มากที่สุดคือ 117.27 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคอลลาเจนในผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำกับรูปแบบผง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ตรีผลาเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดและเป็นข้อมูลที่ช่วยสนับสนุน ความเชื่อเกี่ยวกับสรรพคุณของ

ผลิตภัณฑ์ตรีผลาที่มีส่วนช่วยในเรื่องต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยเพิ่มคอลลาเจนปรับสมดุลธาตุ บำรุงผิวพรรณ และฟื้นฟูร่างกายของค์รวมทุกระบบให้แข็งแรงทำงานประสานกัน

คำสำคัญ: สารสำคัญเบื้องต้น คอลลาเจน ตรีผลา วิถีไฮดรอกซีโพรลีน

ABSTRACT

This study focused on primary substance examination and analysis of collagen content from triphala product in water type and powder type in 22 brands of triphala product by hydroxyproline assay. The results showed that the triphala product in water type and powder type were the primary substances in alkaloids, tannins, flavonoids, terpenoid and steroids, respectively. The triphala product in water type can dissolve the primary substances better than the triphala product in powder type. The study of collagen content, the H-water type had the highest collagen content of 738.45 µg/ml and O- powder type had the highest collagen content of 117.27 µg/ml. When compared the collagen content from triphala product in water type and powder type showed significantly difference ($p>0.05$). Therefore, the information can be used as the decision to purchase the product to get the most benefit and to support the product. That contribute to the fight against free radicals, enhances collagen, balance the skin and restore the whole body system to work together.

Keywords: Primary substance, collagen, Triphala, Hydroxyproline assay

บทนำ

คอลลาเจนเป็นองค์ประกอบของกระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในร่างกายมีกระดูกสันหลัง คอลลาเจนเป็นโครงสร้างเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำที่มีความแน่นมากเส้นใยคอลลาเจนประกอบด้วยสายพอลิเปปไทด์สามสายพันรอบกันคล้ายเกลียวเชือก หรือเกลียวสามเส้น (triple helix) ใน พอลิเปปไทด์แต่ละสายจะมีการซ้ำของลำดับกรดอะมิโนสามตัวคือ X-Pro-Gly หรือ X-Hyp-Gly โดย Hyp คือ ไฮดรอกซีโพรลีน และ X ที่ตำแหน่งแรกจะเป็นกรดอะมิโนใด ๆ ก็ได้ (Ratanapo, 2011) การรับประทานอาหารที่ช่วยเสริมสร้างคอลลาเจนจากภายในจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดการเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นของผิวหนังได้ โดยเฉพาะการรับประทานผักและผลไม้ที่มีวิตามินซีและแอนโทไซยานินเนื่องจากวิตามินซีและแอนโทไซยานินเป็นตัวช่วยที่สำคัญในกระบวนการสร้างคอลลาเจน (Rattananukul,

2012) วิตามินซีเป็นวิตามินชนิดเดียวในกลุ่มของวิตามินที่ละลายได้ในน้ำที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โคเอนไซม์ในรูปแบบที่ชัดเจนเหมือนวิตามินละลายน้ำอื่น ๆ จากการศึกษพบว่าวิตามินซีเป็นปัจจัยร่วมในการสังเคราะห์โปรตีนซึ่งพบมากในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันโดยทำหน้าที่เติมหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) แก่กรดอะมิโนโพรลีน และไลซีนให้เป็นไฮดรอกซีโพรลีนและไฮดรอกซีไลซีน ตามลำดับ กรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของคอลลาเจนซึ่งพบในกระดูกอ่อน เนื้อฟัน หลอดเลือด และเยื่อบุผิว (Sriboonlue, 2012)

ตรีผลา ประกอบด้วยผลไม้ธาตุน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ สมอไทย สมอพิเภก มะขามป้อม เป็นสมุนไพร ที่การแพทย์อายุรเวทยกย่องให้เป็นสมุนไพรที่โดดเด่นในด้านการปรับสมดุลธาตุ สามารถบำรุงและฟื้นฟูร่างกายของโดยรวมทุกระบบให้แข็งแรง และทำงานประสานกันอย่างมีประสิทธิภาพ (Wissakdilok, 2012) สมอไทย (*Terminalia chebula* Retz.) ผลแก่มีรสฝาดเปรี้ยว เนื่องจากมีสารพวกแทนนินใช้เป็นยาสมาน แก้ลมจุกเสียด ยาเจริญอาหาร ยารักษา เป็นยาขมอมกลั้วคอแก้เจ็บคอ ขับน้ำเหลืองเสีย ใช้ภายนอกบดเป็นผงละเอียดโรยแผลเรื้อรัง ใช้รักษาโรคฟันและเหงือกเป็นแผล เป็นยาระบายอ่อนๆ แก้พิษร้อนภายใน แก้ลมป่วง ระบายลม รู้ถ้ายรู้ปิดเอง คุมธาตุในตัวเสร็จ ถ่ายพิษไข้ สารสกัดจากสมอไทยได้รับการยอมรับว่าเป็นราชาสมุนไพร เนื่องจากฤทธิ์ในการกำจัดสารพิษออกจากร่างกายและบำบัดโรคหลายชนิดในขณะเดียวกันยังสามารถบำรุงสุขภาพ และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย (Boonworapat, 2011) สมอพิเภก (*Terminalia belerica* Roxb.) สรรพคุณตามตำราแผนไทย ได้แก่ ผลแก่ แก้เสมหะ จุกคอก ทำให้ชุ่มคอ แก้โรคตา แก้อาตุกำเริบ บำรุงธาตุ แก้ไข้ แก้ริดสีดวง แก้ท้องร่วงท้องเดิน รักษาโรคท้องมาน เมล็ดใน แก้บิด แก้บิดมูกเลือด ที่มีการใช้ตามองค์ความรู้ดั้งเดิมตามประกาศ คณะกรรมการแห่งชาติด้านยา (ฉบับที่ 5) พบการใช้สมอพิเภกในยารักษากลุ่มอาการทางระบบไหลเวียนโลหิต (แก้ลม) มีส่วนประกอบของสมอพิเภกร่วมกับสมุนไพรชนิดอื่น ๆ ในตำรับ “ยาหอมนวโกฐ” มีสรรพคุณในการแก้ลมวิงเวียน คลื่นเหียน อาเจียน แก้ลมจุกแน่นในอก ในผู้สูงอายุ แก้ลมปลายไข้ (หลังจากฟื้นไข้แล้วยังมีอาการ เช่น คลื่นเหียน วิงเวียน เบื่ออาหาร ท้องอืด อ่อนเพลีย) (Homhual, 2012) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* L.) สรรพคุณตามตำราแผนไทย ได้แก่ ผลดิบ แก้กระหายน้ำ แก้กอดิบ แก้ไอ ขับเสมหะ ทำให้ชุ่มคอ แก้พิษ แก้หวัด เป็นไข้ตัวร้อน แก้เลือดออกตามไรฟัน แก้เจ็บคอ คอแห้ง และใช้สำหรับผู้ขาดวิตามินซี เพราะเนื้อผล มีวิตามินซีสูงถึง 1-2 เปอร์เซ็นต์ (มะขามป้อม 1 ผล มีปริมาณวิตามินซีเทียบเท่ากับ ผลส้ม 2 ผล) สารสกัดใบและผลมะขามป้อมด้วยเมทานอล ขนาด 50 มก./มล. สามารถยับยั้งการอักเสบได้ โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการเคลื่อนที่ของนิวโทรฟิลมนุษย์ได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ยับยั้งลิโคทรินซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำให้นิวโทรฟิลมีการเคลื่อนที่ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ และยับยั้งการผลิตพรอมบอเซนได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ (Chavalittumrong et al., 1996)

ปัจจุบันได้มีการขายเครื่องดื่มน้ำมันพริตผลา โดยอ้างสรรพคุณว่า ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ ป้องกัน ความเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย ช่วยทำให้สุขภาพแข็งแรง ป้องกันไม่ให้ร่างกายอ่อนเพลีย ใช้เป็น ยาอายุวัฒนะ ทำให้มีอายุยืนยาว ชะลอความแก่ชรา คงความอ่อนเยาว์ ช่วยเพิ่มคอลลาเจน ทำให้ผิวพรรณผ่องใสยิ่งขึ้น มีส่วนช่วยให้แผลลิวจุดต่างดำหายและจางเร็วยิ่งขึ้น ตรีผลาประโยชน์ช่วยให้หลับสบาย หลับลึก และตื่นมาอย่างสดชื่น มีชีวิตชีวาไม่่วงนอน ช่วยปรับธาตุ ปรับสมดุลในร่างกาย กระตุ้นการไหลเวียนของโลหิต (Matichon online, 2017) จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้ศึกษาสนใจที่จะศึกษาหาปริมาณคอลลาเจนในผลิตภัณฑ์ตรีผลาทั้งในรูปแบบน้ำและรูปแบบผงเพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลาในรูปแบบน้ำซึ่งผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อน และผลิตภัณฑ์ตรีผลาในรูปแบบผงซึ่งผ่านการแปรรูปโดยการบดละเอียดจะมีสารสำคัญเบื้องต้นและมีปริมาณคอลลาเจนหรือไม่เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปสนับสนุนการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ตรีผลา

วิธีการ

1. สารเคมีและอุปกรณ์

คลอรามินที่ 4-(ไดเมทิลอะมิโน)เบนซอลดีไฮด์ สารมาตรฐานไฮดรอกซีโพรลีน (Sigma-Aldrich, USA) และหม้อนิ่งความดันไอน้ำ (Wise Clave, Germany)

2. วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน และตัวอย่าง (Suksai & Thapphasarapong, 2014)

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายไฮดรอกซีโพรลีน ปริมาณ 0.001 กรัม ให้มีความเข้มข้น 1-25 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร ใน 50 มิลลิโมลาร์ของอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 3.5 เตรียมสารละลาย 0.056 โมลาร์ของคลอรามิน ที่ ใน 50 เปอร์เซ็นต์ เอ็น-โพรพานอล เตรียมสารละลายแอริค จาก 1 โมลาร์ ของ 4-(ไดเมทิลอะมิโน)เบนซอลดีไฮด์ ในสารละลายผสมของเอ็น-โพรพานอล ต่อกรดเปอร์คลอริก (2:1 โดยปริมาตร)

2.2 เตรียมตัวอย่าง

1. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผงที่จำหน่ายในท้องตลาด จังหวัดนนทบุรี โดยคัดเลือกจากผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผงที่มีราคาไม่เกิน 1,500 บาท จำนวน 22 ชนิด

2. เตรียมผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำชนิด A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K และผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบผงชนิด L,M,N,O,P,Q,R,S,T,U,V ด้วยน้ำปราศจากไอออน ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากสูตร

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

C_1 คือ ความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

C_2 คือ ความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

V_1 คือ ปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

V_2 คือ ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

3. เตรียมผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผง จำนวน 22 ชนิด ที่มี ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใน 50 มิลลิโมลาร์ของอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 3.5 จากนั้นเติม 2 นอร์มอลของโซเดียม ไฮดรอกไซด์ปริมาณ 20 ไมโครลิตร ให้ความร้อนโดยใช้ หม้อนึ่งอัดไอน้ำ ที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

3. การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้น

การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผง 4 กลุ่ม ได้แก่ แอลคาลอยด์ สเตียรอยด์ แทนนิน และฟลาโวนอยด์ จะใช้ปฏิกิริยาการเกิดสี หรือตะกอน (Sunthorncharoenon & Ruangwiset, 2008) ดังนี้

การตรวจสอบแอลคาลอยด์ นำตัวอย่าง ที่มีความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ระเหยให้แห้ง นำสารสกัดที่ได้ละลายด้วย 5 เปอร์เซ็นต์ กรดซัลฟิวริก 5 มิลลิลิตร กรองเอาสารละลายมาแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 นำไปหยดบน แผ่นสไลด์ 1 หยด และหยดน้ำยาตราเจนดรอพ 1 หยด ลงบนสารสกัด สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น ผลบวักจะได้ตะกอนสีส้มแสดงว่าพบแอลคาลอยด์ ส่วนที่ 2 นำสารสกัด ทำให้มีสภาพเป็นด่าง โดยเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นทีละ 1 หยด จนมีสภาพเป็นด่าง (ตรวจสอบด้วยกระดาษ ลิทมัส ซึ่งจะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน) หลังจากนั้นเติมตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน นำสารสกัดไดคลอโรมีเทนที่ได้หยดลงบนกระดาษกรอง 1 หยด ด้วยน้ำยาพ่นตราเจนดรอพ ผลบวักจะได้สีส้มแสดงว่าพบแอลคาลอยด์

การตรวจสอบสารกลุ่มสเตียรอยด์ ด้วยวิธีลิเบอร์แมน-เบอร์ชาร์ด โดยเตรียมตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ระเหยให้แห้ง แล้วหยด ด้วยน้ำยาอะซิติกแอนไฮไดรส์ 3 หยด และหยดกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 หยด ผลบวักจะให้สี น้ำเงิน-เขียว แสดงว่าพบสารกลุ่มสเตียรอยด์ ส่วน การตรวจสอบการเกิดฟอง โดยนำตัวอย่าง 0.005 กรัมเติมน้ำร้อน ปริมาตร 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเขย่าหลอดทดลองขึ้นลง ประมาณ 10 วินาที สังเกตลักษณะของฟองที่เกิดขึ้น วัดความสูงของฟอง หลังจากนั้นหยด 5 เปอร์เซ็นต์ กรดไฮโดรคลอริก 1 หยด สังเกตฟอง ถ้าฟองยังอยู่แสดงว่ามีสารกลุ่มซาโปนิน ฟองจะมีลักษณะ คล้ายรังผึ้ง และให้สีแดง สีชมพู หรือสีม่วงแดง แสดงว่าพบสารกลุ่มสเตียรอยด์ (Steroids)

การตรวจสอบสารกลุ่มแทนนิน แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 นำตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ระเหยให้แห้งเติมสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์

ไซเดียมคลอไรด์ 2-3 หยด กรองสารละลายเอาส่วนตะกอนทิ้ง สารละลายที่ได้แบ่งเป็น 3 หลอด ประกอบด้วย หลอดที่ 1 หลอดควบคุม หลอดที่ 2 เติมน้ำยาเจลาติน 1 เปอร์เซ็นต์ และหลอดที่ 3 เติมน้ำยาเจลาตินซอลในหลอดที่ 1 และ 2 ผลบวกจะได้ตะกอน ส่วนที่ 2 นำตัวอย่างที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร แบ่งเป็น 4 หลอด ประกอบด้วย หลอดที่ 1 หลอดควบคุม หลอดที่ 2 เติมน้ำยาเพอริกคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์ ผลบวก จะได้สีน้ำเงิน หรือ สีเขียว หลอดที่ 3 เติมน้ำยาโบรมีนวอเตอร์ ผลบวก จะได้ตะกอนสีเทาเข้ม และหลอดที่ 4 เติมน้ำยา ไลม์วอเตอร์ ผลบวก จะได้ตะกอนสีเทาเหลืองๆ

การตรวจสอบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ด้วยวิธีชิโนดะ (Shinoda's method) เตรียมตัวอย่างที่ ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 3 มิลลิลิตร หยดกรด ไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร แล้วเติม แผ่นแมกนีเซียมแผ่นเล็ก ๆ ประมาณ 5 - 8 แผ่น เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา สังเกตไม่พบแผ่นแมกนีเซียม ไม่พบการเกิดฟองและสีที่เกิดขึ้นจะให้ผลบวก สีส้ม-แดง

4. การวิเคราะห์คอลลาเจนด้วยวิธีไฮดรอกซีโพรลีน Suksai & Thapphasarapong (2014)

ปิเปต 100 ไมโครลิตร ของสารละลายมาตรฐานไฮดรอกซีโพรลีน ที่ความเข้มข้น 1-25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และตัวอย่างที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในขวดสีชา จากนั้นเติม 900 ไมโครลิตร ของ คลอรามินที่ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 25 นาที เติมน้ำ 900 ไมโครลิตร ของสารละลายแอมริค อุ่นที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณคอลลาเจนโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานไฮดรอกซีโพรลีนและจากสูตร ปริมาณคอลลาเจน = ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) x 100/13.5 (Reddy & Enwemeka, 1996)

ผลการทดลอง

1. การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้น

การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้น 4 กลุ่ม ได้แก่ แอลคาลอยด์ สเตียรอยด์ แทนนิน และฟลาโวนอยด์พบสารสำคัญเบื้องต้น 4 ชนิด คือ แอลคาลอยด์ แทนนิน ฟลาโวนอยด์และเทอร์ปีนอยด์ ทั้งผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผง

ผลิตภัณฑ์ ตรีผลา	สารสำคัญเบื้องต้น							
	แอลคาลอยด์		ซาโปนิน	แทนนิน		สเตียรอยด์	ฟลาโวนอยด์	เทอร์ปีนอยด์
	A.1	A.2		T.1	T.2			
รูปแบบน้ำ								
A	++	++	-	++	+	-	++	+++
B	++	+++	-	+	+	-	++	++
C	+	++	-	++	++	-	+++	++
D	+	++	-	++	++	-	+	++
E	++	++	-	++	+++	-	++	++
F	+++	++	-	++	++	-	+	+
G	+	+	-	+	+	-	+	+
H	+++	++++	-	+++	++++	-	+++	+++
I	+	++	-	++	++	-	+++	+++
J	++	++	-	+	++	-	++	+++
K	++	+++	-	+	++	-	+++	++
รูปแบบผง								
L	+	++	-	++	++	-	+++	++
M	++	++	-	++	+++	-	++	++
N	+	+	-	+	++	-	++	+++
O	+++	++++	-	+++	++++	-	+++	+++
P	++	+++	-	+	++	-	++	++
Q	+	++	-	++	+++	-	+++	+++
R	++	+	-	++	+	-	+++	++
S	+	++	-	++	+++	-	++	++
T	+	+	-	+	+	-	+	+
U	++	+++	-	++	+++	-	++	+
V	+	++	-	++	++	-	++	++

หมายเหตุ: ผลบวก (+) คือ สีเข้มมากหรือมีตะกอน จำนวนเครื่องหมายบวกมาก แสดงว่าเกิดปฏิกิริยามาก
ผลลบ (-) คือ ไม่เกิดปฏิกิริยาหรือไม่เกิดตะกอนกับน้ำยาทดสอบ

การทดสอบสารกลุ่มแอลคาลอยด์;

(A.1) การทดสอบด้วยน้ำยาดราเจนดรอฟ

(A.2) การทดสอบด้วยน้ำยาฟันทราเจนดรอฟ

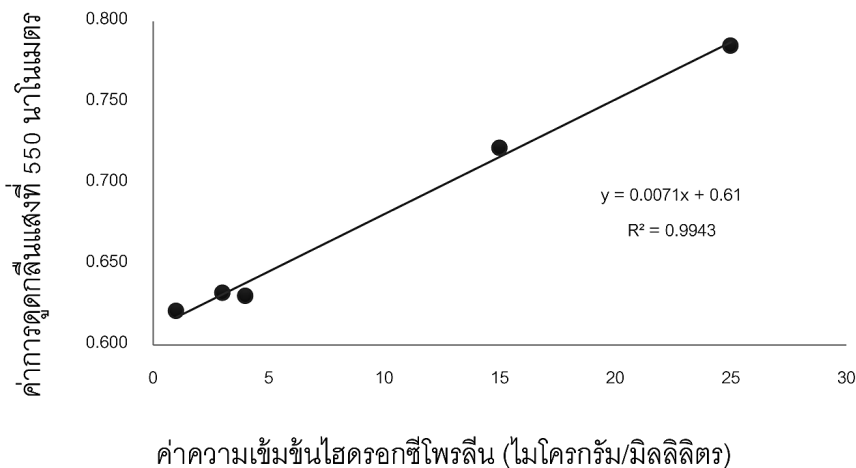
การทดสอบสารกลุ่มแทนนิน;

(T.1) การทดสอบด้วยน้ำยา ร้อยละ 1 ของ เจลาติน และเจลาตินซอล

(T.2) การทดสอบด้วยน้ำยา ร้อยละ 1 ของ เฟอริกคลอไรด์ โบรมีน และ ไลม์วอเทอร์

2. การวิเคราะห์คอลลาเจนด้วยวิธีไฮดรอกซีโพรลีน

การทดสอบความเป็นเส้นตรงและพิสัย (linearity and range) การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮดรอกซีโพรลีน จากสารละลายมาตรฐานไฮดรอกซีโพรลีนในช่วงความเข้มข้น 1-25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร 5 ระดับ ความเข้มข้น ๆ ละ 5 ขั้ว นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟเส้นตรงและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: r) โดย $r > 0.99$ ซึ่งเข้าใกล้ 1 และไม่น้อยกว่า 0.995 ถือว่ากราฟมาตรฐานดังกล่าวมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ



รูปที่ 1 กราฟสารละลายมาตรฐานไฮดรอกซีโพรลีน

เปรียบเทียบปริมาณคอลลาเจนในผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผง
จำนวน 22 ชนิด ผลการทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนด้วยวิธีไฮดรอกซีโพรลีนในผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผง จำนวน 22 ชนิด ($n = 5$)

ชนิด	ผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำ ปริมาณคอลลาเจน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ชนิด	ผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบผง ปริมาณคอลลาเจน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)
A	120.81	L	77.00
B	394.16	M	103.70
C	375.59	N	89.93
D	178.82	O	117.27
E	126.03	P	89.51
F	165.05	Q	93.06
G	81.79	R	98.28
H	738.45	S	97.03
I	107.88	T	58.63
J	154.41	U	60.72
K	87.01	V	77.62

สรุปและวิจารณ์ผล

การตรวจสอบสารสำคัญเบื้องต้นในผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผงพบว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำสามารถละลายสารสำคัญเบื้องต้นในกลุ่มแอลคาลอยด์ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ และสเตียรอยด์ ได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบผง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ตรีผลาแต่ละชนิด แต่ละรูปแบบมีกรรมวิธีการผลิตและส่วนประกอบสารสำคัญในปริมาณที่แตกต่างกัน การตรวจสอบพบสารสำคัญเบื้องต้นดังกล่าวช่วยยืนยันฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ตรีผลาที่สามารถช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยเพิ่มคอลลาเจน ปรับสมดุลธาตุ บำรุงผิวพรรณ และฟื้นฟูร่างกายของโดยรวมทุกระบบให้แข็งแรงทำงานประสานกันได้ เนื่องจากแอลคาลอยด์ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ และสเตียรอยด์ มีฤทธิ์ต้านอักเสบ (Alam & Gomes, 2003) ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย (Bag et al., 2012) ฤทธิ์ขับเสมหะ (Siddique, 1981) ยับยั้งเชื้อราในกลุ่มเดอร์มาโทไฟท์ และยีสต์ (Dutta et al., 1998) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านจุลชีพ (Laplae & Siangproar, 1977) ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อเกิดโรคที่ผิวหนัง และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (Bunyamalee & Tienwan, 2013)

การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนด้วยวิธีไฮดรอกซีโพรลีน พบว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำชนิด H มีปริมาณคอลลาเจนมากที่สุด และผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบผงชนิด O มีปริมาณคอลลาเจนมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคอลลาเจนรูปแบบน้ำกับรูปแบบผงพบว่า ผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำมีปริมาณคอลลาเจนมากกว่าผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบผง

เนื่องจากกรรมวิธีการทำผลิตภัณฑ์น้ำตรีผลาเป็นวิธีการสกัดด้วยน้ำ คือ การสกัดโดยการต้ม ใช้ความร้อนช่วยในการสกัด ทำให้ได้ปริมาณสารสำคัญละลายออกมาได้มากขึ้น (Chantaboon et al., 2014) ส่งผลให้รูปแบบน้ำมีสารสำคัญออกมามากกว่ารูปแบบผง ซึ่งรูปแบบผงมีกรรมวิธีการทำผลิตภัณฑ์โดยการนำสมุนไพรแห้งมาบดและบรรจุจำหน่าย ไม่ได้ผ่านกระบวนการสกัด เพื่อให้ได้สารสำคัญที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้พบปริมาณคอลลาเจนน้อยกว่าแบบน้ำที่ผ่านการต้มและใช้ความร้อน

จากผลการทดลองเบื้องต้นทำให้ทราบ สารสำคัญเบื้องต้นและปริมาณคอลลาเจนในผลิตภัณฑ์ตรีผลารูปแบบน้ำและรูปแบบผง ผู้วิจัยเห็นว่าควรจะศึกษาการตรวจเอกลักษณ์สมุนไพรตรีผลา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าไปพัฒนาต่อยอดการวิจัยในทางการแพทย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนภิเษก ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

Reference

- Alam, M.I. & Gomes, A. (2003). Snake venom neutralization by Indian medicinal plants (*Vitex negundo* and *Emblica officinalis*) root extracts. **Journal of Ethnopharmacology**. (86), 75-80.
- Bag, A., Bhattacharyya, S.K., Pal, N.K. & Chattopadhyay, R.R. (2012). In vitro antimicrobial potential of *Terminalia chebula* fruit extracts against multidrug-resistant uropathogens. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**. S1883-S1887.
- Boonworapat, W. (2011). **thai-chinese herbal encyclopedia frequently used in thailand**. Bangkok: S. Printing. (in Thai)
- Bunyamalee, P. & Tienwan, P. (2013). **Antioxidant activity and tyrosinase activity of cream**. Search from <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/newspdf/specialproject/2556-26.pdf>. [2017, 20 July]. (in Thai)
- Chavalittumrong, P., Auttavich, E., Ruksarmun, P. & Jantapech, P. (1996). Subacute toxicity of traditional medicinal triphala. **Journal of Medical Sciences**. 38(3), 170-171. (in Thai)
- Chantaboon, S., Phuphewkham, T., Phanngam, P., Phimal, W. & Rinthong, P. (2014). The effect of triphala extract to HMG-CoA reductase. **Isan Journal of**

- Pharmaceutical Sciences.** (9) Supplement, 161. (in Thai)
- Dutta, B.K., Rahman, I. & Das, T.K. (1998). Antifungal activity of Indian plant extracts. **Mycoses.** 41, 535-536.
- Homhual, S. (2012). **Beleric Myrobalan.** Search from <http://www.thaicrudedrug.com/main.php?Action=viewpage&pid=133> [2017, 20 July]. (in Thai)
- Laplae, J. & Siangproar, M. (1977). **Antimicrobial activity and antioxidant activity of hair follicles.** Search from <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/en/service-research-special-abstract.php?num=30&year=2557> [2017, 24 October]. (in Thai)
- Matichon Online. (2017). **Tripala three fruit balls coordinated antiretroviral therapy.** Search from https://www.sentangsedtee.com/health-beauty/article_27675 [2017, 24 October]. (in Thai)
- Rattananukul, V. (2012). **Collagen.** Search from <http://biology.ipst.ac.th/index.php/About-the-year-2012/337-2012-07-12-03-58-59html>. [2017, 20 May]. (in Thai)
- Ratanapo, S. (2011). **Introduction to biochemistry.** Bangkok: Department of Biochemistry. Faculty of Science Kasetsart University. (in Thai)
- Reddy, G.K. & Enwemeka, C.S. (1996). A simplified method for the analysis of hydroxyproline in biological tissues. **Clinical Biochemistry.** 29(3), 225-9.
- Siddique, H.H. (1981). Pharmacological studies on emblica officinalis. **Bulletin of Islamic Medicine,** (1), 471-478.
- Sriboonlue, P. (2012). **Biochemistry Textbook.** Khon Kaen: Department of Biochemistry Faculty of Medicine Khonkaen University. (in Thai)
- Suksai, W. & Thapphasarapong, S. **Method validation of collagen content by colorimetric analysis.** In Pongsakorn Punrattanasin (Editors), Graduate Research Conference, Khon Kaen University, 2014 (1515-1521). Khon Kaen: Khon Kaen University. (in Thai)
- Sunthorncharoenon, N. & Ruangwiset, N. (2008). **Quality of thai medicine from research to sustainable development.** Bangkok: National Research Council of Thailand. (in Thai)
- Wissakdilok, N. (2012). **The ruler of balance and detoxification.** Search from <http://thearokaya.com/web/?p=5386> [2017, 20 July]. (in Thai)

ตำรับอาหารพื้นเมืองตำบลทองมงคูล อำเภอบางสะพาน
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

LOCAL FOOD RECIPES THONGMONGKOL SUB-DISTRICT,
BANG SAPHAN DISTRICT PRACHUAP KHIRI KHAN PROVINCE

วิวรรณ วงศ์อรุณ*

*สาขาวิชาการโรงแรม คณะอุตสาหกรรมบริการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร์
ประจวบคีรีขันธ์ 77110

Wiworn Wong-arun*

*Department of Hospitality, Faculty of Hospitality and Tourism Industry, Rajamangala University of Technology
Rattanakosin, Prachuap Khiri Khan , 77110

*E-mail: wiworn.won@rmutr.ac.th

Received: 2018-08-21

Revised: 2018-11-27

Accepted: 2019-01-10

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมืองและศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมือง ประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือ ชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในตำบลทองมงคูล อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงเพื่อให้ข้อมูลตำรับอาหารจำนวน 45 คน และทดสอบการยอมรับอาหาร จำนวน 70 คน โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีแนวคำถามและแบบประเมินการยอมรับอาหารวิธีสเกลรอยยิ้ม เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของตำรับอาหารที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม INMUCAL-Nutrients V3 ผลการวิจัยพบว่า ในพื้นที่ศึกษามีตำรับอาหารพื้นเมือง 30 รายการ และตัวแทนชุมชนมีคะแนนการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมืองเกือบทุกรายการในระดับชอบ ($\bar{X} = 4.56$) ยกเว้นขนมหน่อไม้ ยอมรับในระดับชอบเล็กน้อย ($\bar{X} = 4.15$) ตำรับอาหารทั้ง 30 รายการ ให้พลังงานต่อหน่วยบริโภคระหว่าง 178.40 - 689.29 กิโลแคลอรี โดยมีคาร์โบไฮเดรต

36.44-97.69 กรัม ไขมัน 0.80-26.43 กรัม โปรตีน 0.69-24.33 กรัม อาหารประเภทน้ำพริก กับข้าวสอยและผักให้พลังงานและไขมันน้อยที่สุด โดยให้พลังงานเฉลี่ย 325.37 กิโลแคลอรี และไขมัน 8.70 กรัม อาหารประเภททอดกับข้าวสอยให้พลังงานและไขมันมากที่สุด โดยให้พลังงาน 689.29 กิโลแคลอรีและไขมัน 14.32 กรัม

คำสำคัญ : ตำรับอาหาร อาหารพื้นเมือง คุณค่าทางโภชนาการ

ABSTRACT

This research aims to evaluate the acceptability of local recipes and to study the nutritional value of local dishes. The population used in the study is the villagers living in Thongmongkol Sub-district, Bang Saphan District, Prachuapkhiri Khan Province. Forty –five people were selected by purposive sampling method for giving the information related to the recipes, and 70 people were sampled to take the test of the acceptability of food, using interview guides and smiley scale/face scale as the research tools. Data were collected and analyzed for mean and, standard deviation. The nutritional values of selected recipes were analyzed by INMUCAL-Nutrients V3 program. The results showed that there were 30 indigenous food recipes in this area. The community representatives gave the highest score of acceptance for most of the local dishes ($\bar{X} = 4.56$) except for “Kanom Nhormai” (bamboo sweet) which has the acceptance at a slightly preferable level ($\bar{X} = 4.15$). For the nutritional value of these local dishes, it was found that one serving unit provided energy between 178.40-689.29 kcal from 36.44-97.69 g of carbohydrates, 0.80-26.43 g of fat and 0.69-24.33 g of protein. “Nam-prik” (Chili dip) with rice and vegetables gave the least amount of energy and fat with the average energy of 325.37 kcal and 8.70 g of fat. The fried food with rice gave the highest fat content (14.32 gram) and energy (689.29 kcal)

Keywords: recipe, local food, nutritional value

บทนำ

อาหารพื้นเมืองเป็นภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมอย่างหนึ่งที่มีการสืบทอดกันมาแต่โบราณจนถึงปัจจุบัน เป็นอาหารที่มีเอกลักษณ์เฉพาะท้องถิ่นเนื่องจากส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบที่หาได้ง่ายในชุมชนมาปรุงอาหาร การรับประทานอาหารพื้นเมืองส่วนใหญ่จะรับประทานข้าว

เป็นอาหารหลักคู่กับกับข้าวที่ปรุงด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งต้ม ผัด แกง ทอดรวมทั้งน้ำพริก เน้นการปรุงที่เรียบง่าย แหล่งโปรตีนในอดีตส่วนใหญ่จะเป็นปลา ปัจจุบันมีทั้ง หมู ไก่ ไข่ และเครื่องปรุงอื่นๆ ประกอบด้วยผักพื้นบ้านและสมุนไพรต่าง ๆ ที่หาได้ทั่วไปในท้องถิ่นไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบตามธรรมชาติ การปลูกในครัวเรือน หรือจากตลาดในชุมชน ทำให้อาหารพื้นเมืองเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ปลอดภัยจากสารเคมีและให้สรรพคุณในการดูแลสุขภาพ ซึ่ง Phrutivarapongkul (2008) ได้กล่าวถึงคุณค่าทางโภชนาการของผักพื้นบ้านว่ามีสารอาหารมีหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ แกลีอาแร และวิตามินต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเพราะช่วยให้อวัยวะต่าง ๆ ทำงานได้ตามปกติ นอกจากนั้นผักพื้นบ้านยังมีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสมในการป้องกันและรักษาโรคความเสื่อมของร่างกายได้ ทั้งนี้เพราะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ สารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระช่วยป้องกันโรคมะเร็ง เบาหวาน หลอดเลือดตีบ ไขมันในเลือดสูง ท้องผูก และปัญหาระบบทางเดินอาหาร ลดความเสี่ยงของโรคที่มากับวัย (Pachotikarn et al., 2007)

ปัจจุบันปัญหาสุขภาพที่คนไทยประสบเกิดจากการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตไปอย่างรวดเร็วจากสังคมชนบทเป็นสังคมเมืองมากขึ้น มีการกระตุ้นให้มีการบริโภคอาหารบางอย่างมากขึ้น เช่น อาหารพร้อมรับประทาน อาหารฟาสต์ฟู้ด ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่ไม่เป็นผลดีต่อสุขภาพ เกิดการละเลยคุณค่าของอาหารท้องถิ่น คนรุ่นใหม่เปลี่ยนค่านิยมไปบริโภคตามกระแสโฆษณาชวนเชื่อและมีสัดส่วนของการพึ่งพาตนเองลดลง ในขณะที่ชาวบ้านส่วนใหญ่ มีสัดส่วนรายได้น้อย แต่รายจ่ายเพิ่มขึ้น (Wattanukul et al., 2013) ในทางตรงกันข้ามหากชุมชนหันมาบริโภคอาหารพื้นเมืองโดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นปรุงอาหารรับประทานเอง นอกจากจะช่วยลดรายจ่ายในครัวเรือนแล้ว ยังได้บริโภคอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายและช่วยรักษาอาการของโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคที่ไม่ติดต่อเรื้อรัง ซึ่งพบมากและเป็นปัญหาสุขภาพของคนไทยในปัจจุบัน

ตำบลทองมงคล อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ประกอบด้วยหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบ และหมู่บ้านขยายผลของโครงการปิดทองหลังพระตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช ซึ่งปัจจุบันชาวบ้านบางส่วนเริ่มตื่นตัวและให้ความสำคัญกับผักพื้นบ้านมากขึ้น มีการปลูกผักปลอดสารพิษเพื่อบริโภคในครัวเรือนและลดการซื้อผักจากภายนอกเพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายภายในครัวเรือน ดังนั้นการจัดทำตำรับอาหารพื้นเมืองที่ปรุงจากพืชผักพื้นบ้านและศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมืองจะช่วยส่งเสริมคนในชุมชนได้รู้ประโยชน์ของอาหารและเลือกบริโภคให้ถูกต้องเหมาะสมกับความต้องการของร่างกายและสภาพของแต่ละคนรวมทั้งช่วยส่งเสริมให้คนรู้คุณค่าของอาหารพื้นเมืองและหันมาบริโภคอาหารพื้นเมืองมากขึ้นส่งผลให้คนในชุมชนมีสุขภาพที่ดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมืองของตัวแทนชุมชนเพื่อนำตำรับอาหารไปใช้ส่งเสริมการบริโภคอาหาร
2. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมือง

วิธีการ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือ ชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในตำบลทองมงคล อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 10,148 คน จาก 3,861 ครัวเรือน ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) คัดเลือกหมู่ 4 บ้านห้วยเกรียบและ หมู่ 6 บ้านทองมงคลเป็นตัวแทนของตำบลในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำรับอาหารจำนวน 45 คน โดยพิจารณาจากเป็นผู้ที่มีความรู้เรื่องผักพื้นบ้าน อาหารพื้นเมืองและยินดีให้ข้อมูลที่สามารถตอบคำถามการวิจัยได้และกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ทดสอบการยอมรับอาหาร จำนวน 70 คน คัดเลือกโดยตัวแทนครูและผู้นำชุมชนประกอบด้วยนักเรียน จำนวน 30 คน เพื่อต้องการนำตำรับอาหารไปใช้ในโครงการอาหารกลางวันของโรงเรียน และตัวแทนชุมชนจำนวน 40 คน ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มวัยกลางคนถึงผู้สูงอายุ เพราะเป็นกลุ่มที่ให้ความสนใจในการรับประทานอาหารพื้นเมือง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีแนวคำถาม เพื่อศึกษาอาหารพื้นบ้านของชุมชนที่ใช้พืชผักพื้นบ้านในการประกอบอาหาร และแบบประเมินการยอมรับอาหาร วิธีสเกลรอยยิ้มหรือลายหน้า 5 จุด (Smiley scale/face scale) ของ Aanpruang (2014) เพื่อความสะดวกและความเหมาะสมในการประเมินเนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเป็นวัยเด็กและผู้สูงอายุ

3. การเก็บและรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 จากการทบทวนเอกสาร ตำราวิชาการ งานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และดำเนินการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1. การคัดเลือกรายการอาหารพื้นเมือง โดยการประชุมระดมความคิดเห็นจากตัวแทนชุมชน ณ องค์การบริหารส่วนตำบลทองมงคล เพื่อคัดเลือกรายการอาหารพื้นเมืองที่ได้จากการเปิดเวทีประชุม การสนทนากลุ่มย่อย และการสัมภาษณ์เชิงลึก ตัวแทนชุมชนจำนวน 30 รายการ เป็นอาหารที่มีส่วนประกอบของผักพื้นบ้าน เป็นเอกลักษณ์และนิยมรับประทานในชุมชน

2. การทดลองสูตรอาหารโดยดำเนินการสาธิตการประกอบอาหารประเภทต่าง ๆ

ที่ได้ผ่านการคัดเลือกจากที่ประชุม โดยคณะผู้วิจัยร่วมประกอบอาหารกับตัวแทนชุมชนที่ผู้นำชุมชนคัดเลือกจากกลุ่มแม่บ้านที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการประกอบอาหารพื้นเมืองจากผักพื้นบ้าน มีการจดบันทึก ซึ่งตรงส่วนผสมอย่างละเอียดพร้อมขั้นตอนวิธีการทำรวมทั้งปริมาณอาหารที่สำเร็จเพื่อนำไปจัดทำตำรับมาตรฐานและคำนวณคุณค่าทางโภชนาการ

3. การประเมินการยอมรับอาหารพื้นเมืองจากตัวแทนในชุมชน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีอายุ ระหว่าง 40-75 ปี จำนวน 40 คน และกลุ่มที่มีอายุระหว่าง 10-12 ปี จำนวน 30 คน เพื่อประเมินการยอมรับอาหารพื้นเมือง แล้วนำไปคำนวณคุณค่าทางโภชนาการ

4. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของตำรับอาหารพื้นเมืองทั้ง 30 รายการ โดยการประเมินพลังงานและสารอาหารของรายการอาหารแต่ละรายการต่อ 1 หน่วยบริโภค สำหรับอาหารคาวอ้างอิงปริมาณต่อหน่วยบริโภคจากงานวิจัยคุณค่าอาหารไทยเพื่อสุขภาพของ Charoenkiatkul et al. (2003) ส่วนขนมหวาน อ้างอิงจากฉลากโภชนาการ สำหรับคนที่มีอายุ 6 ปีขึ้นไป (Bureau of Food, 2018)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินการยอมรับอาหารพื้นเมือง จำนวน 30 รายการ โดยกำหนดค่าคะแนน เป็น 5 ระดับ คือ 5 หมายถึง ชอบ 4 หมายถึง ชอบเล็กน้อย 3 หมายถึง เฉย ๆ 2 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย 1 หมายถึง ไม่ชอบ

การวิเคราะห์ข้อมูลการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมืองด้วยการหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบการยอมรับอาหารนำไปแปลผลค่าเฉลี่ยการยอมรับอาหารพื้นเมือง โดยใช้เกณฑ์ของ Vanichbuncha (2006) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.21-5.00 หมายถึง ชอบ

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.41-4.20 หมายถึง ชอบเล็กน้อย

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61-3.40 หมายถึง เฉย ๆ

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.81-2.60 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00-1.80 หมายถึง ไม่ชอบ

2. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมืองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป INMUCAL-Nutrients V3 ของสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

ผลการทดลอง

1. การประเมินการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมือง

ตำรับอาหารพื้นเมืองที่ได้จากการวิจัยโดยการประชุมระดมความคิดเห็นจากตัวแทนชุมชนซึ่งเป็นอาหารที่มีส่วนประกอบของผักพื้นบ้านที่เป็นเอกลักษณ์และนิยมรับประทานในชุมชน จำนวน 30 รายการ ประกอบด้วยอาหารประเภทยำ/ลาบ 2 รายการ แกงใส่กะทิ 8 รายการ แกงไม่ใส่กะทิ 6 รายการ ต้ม 3 รายการ ผัดและทอด อย่างละ 1 รายการ เครื่องจิ้ม 4 รายการ อาหารจานเดียว 1 รายการ และขนมหวาน 4 รายการ นำไปประเมินการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมืองกับผู้ทดสอบ จำนวน 70 คน แบ่งเป็นเพศชาย 17 คน และเพศหญิง 53 คน พบว่า ตัวแทนชุมชนอายุระหว่าง 40-75 ปี จำนวน 40 คน เป็นเพศชาย 6 คน และเพศหญิง 34 คน มีคะแนนการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมืองทุกรายการในระดับชอบ ($\bar{X} = 4.56 - 5.00$) ยกเว้นขนมหน่อไม้ ชอบเล็กน้อย ($\bar{X} = 4.15$) ตัวแทนชุมชนอายุระหว่าง 10 - 12 ปี จำนวน 30 คน เป็นเพศชาย 11 คน และเพศหญิง 19 คน มีคะแนนการยอมรับตำรับอาหารพื้นเมืองทุกรายการในระดับชอบ ($\bar{X} = 4.40-4.77$) ยกเว้นแกงคั่วมะเดื่อชอบเล็กน้อย ($\bar{X} = 3.87$)

2. คุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมือง

คุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมืองต่อ 1 หน่วยบริโภค ประกอบด้วย ข้าวสวย 180 กรัมและกับข้าว 1 อย่าง พบว่า อาหารประเภทน้ำพริกให้พลังงานน้อยที่สุด เฉลี่ย 325.37 กิโลแคลอรี รองลงมา คืออาหารประเภทยำ ลาบ เฉลี่ย 332.73 กิโลแคลอรี และอาหารประเภทแกงไม่ใส่กะทิให้พลังงานเฉลี่ย 427.16 กิโลแคลอรี ส่วนอาหารประเภททอดให้พลังงาน คาร์โบไฮเดรตและไขมันมากที่สุด อาหารประเภทน้ำพริกมีปริมาณไขมันน้อยที่สุด เฉลี่ย 2.83 กรัม และอาหารประเภทแกงใส่กะทิมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด เฉลี่ย 18.29 กรัม รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมืองต่อ 1 หน่วยบริโภค

ประเภท อาหาร	รายการ อาหารพื้นเมือง	ปริมาณ (กรัม)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	โปรตีน (กรัม)
ยำ/ลาบ	ยำผักกูด	280	330.05	64.14	3.22	11.51
	ลาบผักเหียง	280	335.40	65.93	3.94	9.27
แกงใส่กะทิ	แกงคั่วกระยอง	360	480.87	68.24	15.76	18.25
	แกงคั่วใบชะพลู	360	433.00	66.54	14.17	12.02
	แกงคั่วใบชะมวง	360	540.51	62.53	21.69	19.91
	แกงคั่วใบส้มป่อย	360	485.13	61.29	16.82	24.33
	แกงคั่วมะเดื่อ	360	525.90	67.07	21.02	18.76
	แกงคั่วสะตอ	360	573.60	70.43	23.23	22.38
	แกงคั่วหยวกกล้วย	360	430.96	63.17	14.17	14.48
	แกงคั่วเหมาพร้าว	360	485.74	67.78	17.67	16.16
	แกงส้มกระซง	390	398.53	75.62	2.39	18.86
แกงไม่ใส่กะทิ	แกงส้มถั่วลิสงอก	390	374.39	67.33	3.16	21.25
	แกงส้มผักหนาม	390	333.22	63.45	1.62	14.64
	แกงส้มหยวกกล้วย	390	323.16	64.37	1.26	13.83
	แกงส้มออดิบ	390	316.72	62.48	1.37	12.39
	แกงเลียง	410	278.54	62.11	0.80	5.81
ต้ม	ต้มกะทิตะลิงปลิง	360	461.41	61.34	18.75	14.42
	ต้มกะทิน้ำเต้า	360	476.21	76.38	16.93	7.33
	ต้มข่าหมู	380	463.71	62.47	16.09	17.29
ผัด	ผัดผักโขม	330	397.67	64.35	9.05	14.65
ทอด เครื่องจิ้ม	กุ้งทอดใบเล็บครุฑ	270	689.29	97.69	26.43	14.32
	อื้อฟูงปลา+ผัก	315	325.70	67.12	1.39	11.05
	น้ำพริกตะไคร้+ผัก	255	289.98	60.80	1.24	8.77
	น้ำพริกมะขาม+ผัก	315	299.36	66.58	0.89	6.23
	น้ำพริกมัน+ผัก	315	386.42	71.82	7.79	8.74
อาหารจานเดียว	ข้าวย่ำ	220	353.15	62.30	7.79	8.22
ขนมหวาน	ขนมดอกโสน	80	203.32	41.24	3.73	1.55
	ขนมฟักทอง	80	183.06	36.44	3.36	1.80
	ขนมหน่อไม้	80	180.02	38.33	2.26	1.82
	ขนมมันสำปะหลัง	80	178.40	37.49	2.83	0.69

สรุปและวิจารณ์ผล

1. ตำรับอาหารพื้นเมืองเกือบทุกรายการได้รับการยอมรับจากตัวแทนชุมชนในระดับชอบ ($\bar{X} = 4.56$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Anuntathanachai et al. (2010) ที่พบว่า ตำรับอาหารไทยเพื่อสุขภาพบนพื้นฐานเศรษฐกิจพอเพียงจำนวน 24 ตำรับได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในชุมชนโดยมีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับชอบถึงชอบมาก ($\bar{X} = 4.17 - 4.93$) และ Egkantrong et al. (2008) ที่พัฒนาตำรับอาหารท้องถิ่นสำหรับผู้สูงอายุจำนวน 40 รายการ ทุกรายการได้รับคะแนนการยอมรับเฉลี่ยตั้งแต่ค่อนข้างชอบถึงชอบ ($\bar{X} = 3.60 - 4.84$) ส่วนแกงคั่วมะเดื่อตัวแทนชุมชนวัยเด็กยอมรับในระดับชอบเล็กน้อย ($\bar{X} = 3.87$) ในขณะที่ตัวแทนชุมชนวัยผู้ใหญ่ยอมรับในระดับชอบ ($\bar{X} = 4.57$) ทั้งนี้เนื่องจากมะเดื่อมีรสชาติค่อนข้างฝาดทำให้เด็กนักเรียนไม่นิยมอาหารหรือผักที่มีรสฝาดในขณะที่วัยผู้ใหญ่บริโภคอาหารที่มีรสฝาดได้มากกว่าเด็กจึงทำให้มีความชอบในแกงมะเดื่อมากกว่าซึ่งแกงคั่วมะเดื่อมีปริมาณวิตามินบี 2 สูง (0.48 mg) คิดเป็นร้อยละ 28.24 ของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปี ขึ้นไป (RDI) (Bureau of Food, 2018) ดังนั้นในการประกอบอาหารจากมะเดื่อควรนำมะเดื่อไปบดให้แตกแล้วนำไปล้างกับน้ำเกลือก่อนนำไปใส่แกงคั่วและควรเคี้ยวมะเดื่อให้สุกนิ่มจะทำให้มะเดื่อไม่ฝาดและเด็กสามารถรับประทานได้

2. คุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นเมืองต่อ 1 หน่วยบริโภคเมื่อรับประทานกับข้าวสวย พบว่า อาหารพื้นเมืองที่ให้พลังงานน้อยและมีไขมันต่ำ ได้แก่อาหารประเภทแกงไม่ใส่กะทิ น้ำพริก-ผักและยา/พล่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Charoenkiatkul et al. (2003) ที่พบว่า ข้าวกับแกงส้มผักรวม ข้าวกับแกงเลียง และข้าวกับน้ำพริกมะขามผักรวมทั้งอาหารประเภทยา/พล่า ก็มีไขมันต่ำเช่นกันเหมาะสำหรับคนต้องการควบคุมน้ำหนักและไขมัน ดังนั้นสำหรับข้าวกับแกงส้ม ข้าวกับน้ำพริก หรือข้าวกับยา/พล่าจึงเป็นตำรับอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมไขมันในร่างกาย โดยเฉพาะผู้ที่เป็โรคความดันโลหิตสูงที่ต้องหลีกเลี่ยงอาหารที่มีไขมันสูง ซึ่งจากสถิติของสถานอนามัยตำบลทองมวงคล ปี พ.ศ. 2559 พบว่าคนในชุมชนมีผู้ป่วยโรคเบาหวาน 34 คน ความดันโลหิตสูง 369 คน และโรคเบาหวานกับความดันโลหิตสูง 155 คน (Thongmongkol Health Center, 2016) ดังนั้นหากคนในชุมชนให้ความสำคัญในการเลือกบริโภคอาหารพื้นเมืองที่เหมาะสมกับภาวะสุขภาพของตนเองก็จะช่วยลดอาการเจ็บป่วยจากโรคต่าง ๆ ได้ โดยไม่ต้องพึ่งยา และเมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของอาหารพื้นบ้านกับอาหารพร้อมรับประทานที่ให้บริการในร้านสะดวกซื้อพบว่าอาหารพื้นบ้านมีปริมาณโปรตีนมากกว่าอาหารพร้อมรับประทาน แต่มีคาร์โบไฮเดรตและพลังงานน้อยกว่า กล่าวคืออาหารประเภทข้าวกับอาหารพื้นบ้านประเภทแกงกะทิ มีค่าเฉลี่ยพลังงาน 494.46 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 65.88 กรัม ไขมัน 18.07 กรัมและโปรตีน 18.29 กรัม

ในขณะที่ข้าวแกงเสียบหวานที่ซื้อจากร้านสะดวกซื้อ 1 กล่อง ให้พลังงาน 547.30 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 83.62 กรัม ไขมัน 16.38 กรัมและโปรตีน 15.30 กรัม นอกจากนั้นอาหารพร้อมรับประทานหลายรายการ เช่น ข้าวปลาหมึกผัดฉ่า ส่วนข้าวหมูกระเทียมพริกไทย มีปริมาณคลอเลสเตอรอลสูงกว่าปริมาณที่แนะนำให้บริโภค และข้าวหน้าไก่ น้ำมันหอย และข้าวปลาหมึกผัดฉ่า มีปริมาณโซเดียมสูงกว่าปริมาณที่แนะนำเช่นกัน (Boonyoung, 2006) ดังนั้นการรับประทานอาหารพื้นเมืองที่ปรุงเองที่บ้านจะช่วยให้ร่างกายได้รับคุณค่าทางอาหารมากกว่าอาหารพร้อมรับประทานที่ซื้อจากร้านสะดวกซื้อ

ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของอาหารจานเดียวต่อ 1 หน่วยบริโภคพบว่าข้าวยำ มีพลังงาน 353.15 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 62.30 กรัม โปรตีน 8.22 กรัม และไขมัน 7.79 กรัม โยอาหาร 3.19 กรัม (ร้อยละ 12.76 ของ RDI) ชุมชนมีการยอมรับอยู่ในระดับชอบ ($\bar{X} = 4.80$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Intarachaimas et al. (2008) ที่พบว่าผู้บริโภคข้าวยำ มีความสนใจในการบริโภคข้าวยำ เฉลี่ย 3.56 แสดงให้เห็นว่าคนปัจจุบันให้ความสนใจในคุณค่าทางโภชนาการอาหารพื้นเมือง ส่วนอาหารประเภทขนม พบว่าขนมหน่อไม้ ต่อหน่วยบริโภค มีพลังงาน 180.02 กิโลแคลอรี โปรตีน 1.82 กรัม ไขมัน 2.26 กรัม และคาร์โบไฮเดรต 38.33 กรัม สอดคล้องกับการศึกษาของ Prasertsanit et al. (2015) ที่พบว่า ขนมหน่อไม้ต่อ 1 หน่วยบริโภค มีพลังงานมากกว่า 100 กิโลแคลอรีและเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง โดยปริมาณพลังงานอยู่ในเกณฑ์บริโภคได้ปานกลางและปริมาณไขมันอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยในการบริโภคตามเกณฑ์คุณค่าทางโภชนาการอาหารว่าง พ.ศ. 2554 (Sirichakwal, 2011) ดังนั้นตำรับขนมหน่อไม้สามารถนำไปใช้จัดเป็นอาหารว่างให้กับนักเรียนในโครงการอาหารกลางวันของชุมชนได้

จากผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าชุมชนมีองค์ความรู้เกี่ยวกับการนำไปผักพื้นบ้านไปประกอบอาหารพื้นเมือง หากมีการให้ความรู้ถึงประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการของผักพื้นบ้าน อาหารพื้นเมืองให้คนในชุมชนได้รับทราบข้อมูลมากยิ่งขึ้นจะช่วยให้คนในชุมชนเห็นความสำคัญของการบริโภคผักพื้นบ้าน อาหารพื้นเมืองมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Herforth (2010) ที่พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภคผักพื้นบ้านเพิ่มขึ้นคือการได้รับความรู้ด้านสรรพคุณทางยาของผักพื้นบ้านและการมีทัศนคติที่ดี และการศึกษาของ Walch (2016) พบว่าสตรีชาวอลาสกามีความคิดเห็นว่าอาหารพื้นเมืองมีคุณค่าทางเศรษฐกิจและทำให้มีสุขภาพดีกว่าอาหารที่ซื้อตามร้านอาหารทั่วไป การบริโภคอาหารแบบพื้นเมืองเพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคะแนนคุณภาพอาหารที่สูงขึ้น การให้ความรู้และส่งเสริมการบริโภคอาหารพื้นเมืองมากขึ้นจะช่วยเพิ่มภาวะโภชนาการโดยรวมและภาวะสุขภาพที่ดีในระยะยาวได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาที่สนับสนุนทุนวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่สนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Aanpruang, P. (2014). **Principle of sensory food analysis**. (3rd ed). Bangkok: Chulalongorn University. (in Thai)
- Anuntathanachai, R., Kittiwaphon, T., Kulaseethanichee, C., Onvimol, N., Khansi, A., Jarupran, K., et al. (2010). Development of Healthy Thai Food Set Menus based on the Sufficiency Economy Philosophy and Community Context. **SDU Research journal Sciences and Technology**. 3(1), 59-74. (in Thai)
- Boonyoung, P. (2006). **The quantity of specific nutrients related to cardiovascular disease in popular thai ready to eat food products**. A Thesis Master of Science (public Health), Mahidol University. (in Thai)
- Bureau of Food, Food and Drug Administration.(2018). **Nutrition and nutrition labeling**. Retrieved January, 22, 2018 from <http://food.fda.moph.go.th/Rules/Nutrition.php> (in Thai)
- Charoenkiatkul, S., Kosulwat, V., Chavasit, V., Kosulwat, S., Rojroongwasinkul, N., & Boonpraderm, A., (2003). Nutritive value of healthy Thai foods. **NRCT. official journal**. 35(1), 1-54. (in Thai)
- Egkantrong, P., Banjong, O., Tamachotiopng, S., Boonpraderm, A. & Charoonruk, G., (2008). **Developing local recipes for the elderly**. (Research report) Health promotion fund office. (in Thai)
- Herforth, A. W. (2010). **Promotion of traditional African vegetables in Kenya and Tanzania: A case study of an intervention representing emerging imperatives in global nutrition**. Retrieved February, 25, 2017, from <https://search.proquest.com/docview/743818246?accountid=32067>
- Intarachaimas, W., Phetcharat P., Rungphithakchai C., Semae S. & Suwannapak T. (2008). Potential of Vegetable for Kao Yam Budu Mixture. **Journal of Yala Rajabhat University**. 3(1), 19-29. (in Thai)
- Pachotikarn, C., Kongsomboonvech, S. & Chattananon, A. (2007). **Food & Health : Functional Foods for Health**. (2nd ed.). Bangkok: Serm-Mit. (in Thai)

- Phrutivarapongkul, A. (2008). **Traditional food: Academic Text Book of Food for Health**. Bangkok: The war veterans organization of thailand. (in Thai)
- Prasertsanit, J., Phiangngok, W. & Sapantupong, S. (2015). **The Recipes from Diversity of Bamboo in Ban Thi Phu Yae Community Tambon Cha-lae Amphoe Thong Pha Phum Kanchanaburi Province**. (Research report). Kanchanaburi Rajabhat University. (in Thai)
- Sirichakwal, P. (2011). **Light snack - traffic light** . Retrieved November, 14, 2017, from <http://inmu.mahidol.ac.th/Th/knowledge/view.php?id=275>. (in Thai)
- Thongmongkol Health Center. (2016). **Office of public health administration**. Retrieved November, 28, 2017, from <http://phdb.moph.go.th/hssd1>. (in Thai)
- Vanichbuncha, K., (2006). **Statistics for research**. (2nd ed.). Bangkok: Chulalongorn University. (in Thai)
- Walch, A. (2016). **Traditional food security and diet quality in Alaska native women**. Retrieved February, 18, 2017, from <https://search.proquest.com/docview/1801660992?accountid=32067>
- Wattanakul, U., Akkhara, P., Chaiping, D., Akkhara, S., Akkhara, H., Chaiping, K., et al. (2013). **Guidelines for restoring food base to improve food security of luau community dong phaya sub-district, bo kleua district, Nan province**. (Research report) The thailand research fund. (in Thai).

.....

อิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายในต่อศักยภาพการทำงาน
และความพึงพอใจของคนไทยในอาคารสำนักงาน

THE EFFECT OF INTERIOR ENVIRONMENT
ON VISUAL PERFORMANCE AND PREFERENCE OF THAI OFFICE
WORKER IN OFFICE BUILDING

สุทาลักษณ์ ตันติวงศ์^{1*} นวลวรรณ ทวยเจริญ² และ ชนิกันต์ ยิ้มประยูร³

^{1*, 2, 3, 4}สาขาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Sutalak Tantiwong^{1*}, Nuanwan Tuaycharoen² and Chanikarn Yimprayoon³

^{1*}Building Innovation Technology of Architecture Faculty, Kasetsart University Bangkok,
Thailand 10900

*E-mail: evf_pkc503@hotmail.com

Received: 2018-02-05

Revised: 2019-01-24

Accepted: 2019-03-21

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการมีสภาพแวดล้อมภายในและแสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านการมองเห็นและช่วยส่งเสริมศักยภาพในการทำงาน อาคารสำนักงานในประเทศไทยส่วนใหญ่นั้นหากมีการใช้แสงประดิษฐ์ที่มีปริมาณที่ไม่เพียงพอและไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน ทำให้เกิดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อศักยภาพของการทำงานและการมองเห็น การคำนึงถึงคุณลักษณะทางสถาปัตยกรรม การจัดวางองค์ประกอบในส่วนต่าง ๆ ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของพนักงาน วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้คือเพื่อศึกษาผลกระทบจากรูปแบบของแสงประดิษฐ์ต่อศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจของคนไทยในอาคารสำนักงาน โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 8 ปัจจัย ได้แก่ รูปร่างห้อง สีของผนังผิวห้อง การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์ เทคนิคแสงธรรมชาติ ชนิดหลอดไฟ สีของแสง ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) และรูปแบบวิวภายนอก การศึกษาได้มีการสำรวจอาคารสำนักงานที่เป็นกรณีศึกษาจำนวน 7 แห่ง โดยมีการให้พนักงานในสำนักงานตอบคำถามเกี่ยวกับศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจในการทำงาน เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวแล้วนำ

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมารวบรวม เพื่อหาความสัมพันธ์ในแต่ละปัจจัย ผลการศึกษาได้มีการสรุปคุณลักษณะของสภาพแวดล้อมภายในที่เหมาะสมต่อศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจในอาคารสำนักงานสำหรับคนไทย

คำสำคัญ : อาคารสำนักงาน แสงประดิษฐ์ ศักยภาพการมองเห็น สุขภาพ

ABSTRACT

Nowadays, the used of interior environment and artificial lighting in office buildings have the potential to visual task performance and visual preference. Most Thai office buildings use artificial light that is not enough and inappropriate for visual task performance and visual preference. The architectural features and the composition of the various parts in the space is an important factor that can affect employee productivity. This study's objective was the effect of artificial light on visual task performance and visual preference in Thai office worker. There are eight factors investigated which are room shape, wall color, furniture arrangement, daylighting technique, luminaire types, color of light, colour rendering index (CRI), and outdoor views. The result of studies can conclude the characteristic of lighting condition which suitable for visual task performance and visual preference of Thai office worker. Seven offices were surveyed as case studies. Visual task performance and visual preference were explored from Thai office workers. The results of the study have summarized the characteristics of interior environment that are appropriate for the visual task performance and visual preference complacency in the office building.

Keywords: Office building, Artificial light, Task performance, Health

บทนำ

การใช้แสงประดิษฐ์ในอาคารสำนักงานมีความจำเป็นอย่างมาก โดยปริมาณแสงสว่างได้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานเพื่อให้เพียงพอกับกิจกรรมและการใช้งานประเภทต่างๆ ซึ่งค่าปริมาณแสงสว่างในอาคารสำนักงานตามเกณฑ์มีค่าการส่องสว่างอยู่ที่ 300 ลักซ์ นอกจากนี้ปริมาณแสงสว่างในสำนักงานแล้ว หลายการศึกษาในต่างประเทศชี้ให้เห็นว่ายังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลทำให้ค่าความส่องสว่างที่มาจากแหล่งกำเนิดมีค่าเปลี่ยนไปส่งผลถึงกิจกรรมการทำงานในสำนักงาน อาทิ ลักษณะทางกายภาพในสำนักงาน การจัดวางเครื่องใช้ในสำนักงาน เทคนิค

แสงธรรมชาติ ชนิดคอมไฟ ชนิดหลอดไฟ และรูปแบบวิวภายนอก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวกับศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจในการมองเห็นของคนไทยในสำนักงาน จากการรวบรวมเอกสารการจัดรูปแบบของพื้นที่สำนักงานแบบเปิด มีการจำแนกตามประเภทการใช้งานสำหรับพื้นที่ทำงานในสำนักงาน และสามารถพิจารณาได้ว่ารูปแบบของพื้นที่ภายในอาคารสำนักงานที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลต่อความพึงพอใจของพนักงานในสำนักงาน (Marquardt, Veitch and Charles, 2002) การปรับปรุงรูปแบบการจัดพื้นที่ภายในสำนักงาน ก็ยังสามารถจัดเป็นรูปแบบส่วนตัว การออกแบบผังสำนักงานสามารถแบ่งเป็นพื้นที่ส่วนตัวตามความต้องการของพนักงานได้ด้วย (Nenonen et al., 2012) การออกแบบสภาพแวดล้อมในพื้นที่สำนักงานจึงมีความจำเป็นในการช่วยเพิ่มความพึงพอใจของพนักงาน ความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมของพนักงานในสำนักงาน (Veitch, Charles, Farley and Newsham, 2007) การปรับเปลี่ยนรูปแบบของพื้นที่ทำงานเพื่อให้เกิดมุมมองที่สามารถเห็นวิวภายนอกอาคาร และการจัดรูปแบบเฟอร์นิเจอร์ให้เหมาะสมกับผู้ใช้ภายในอาคารสำนักงานแบบเปิด จะช่วยลดความไม่สบายทางสายตาของพนักงานในสำนักงานด้วย (Zhe Kong, Michael Utzinger, Kara Freihofer and Troy Steege, 2018) ซึ่งในปัจจุบันอาคารสำนักงานมีการใช้แสงประดิษฐ์ในสำนักงานเพื่อช่วยในการมองเห็นโดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเปรียบเทียบ การเลือกหลอดไฟ ประเภทของหลอดไฟมาใช้งานจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแอลอีดี นอกจากนี้ในเรื่องของการมองเห็นแล้วยังช่วยในเรื่องของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า (Fabio et al., 2017) อีกทั้งการให้แสงเฉพาะจุดโดยเฉพาะบริเวณโต๊ะทำงานก็มีส่วนที่ช่วยให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นที่ดีขึ้น ช่วยในการเชื่อมโยงกับพื้นที่ทำงานในสำนักงาน และช่วยในการควบคุมปริมาณแสงสว่างบริเวณโต๊ะทำงานและบริเวณใกล้เคียงรวมไปถึงสภาพแสงรวมไปถึงความสอดคล้องระหว่างอุณหภูมิสีของแสง (CCT) และความถูกต้องสีของแสง (CRI) เป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการมองเห็น การทำกิจกรรม และยังส่งผลไปถึงความตื่นตัวในการทำงานด้วย (Peter R. Mills, 2007) วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมภายในต่อศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจของคนไทยในอาคารสำนักงาน โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 8 ปัจจัย ได้แก่ รูปร่างห้อง สีของผนังผิวห้อง การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์ เทคนิคแสงธรรมชาติ ชนิดหลอดไฟ สีของแสง ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) และรูปแบบวิวภายนอก

วิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

ในการศึกษาครั้งนี้มีการใช้อุปกรณ์วัดค่าความส่องสว่าง (digital lux meter) ใช้ในการวัดสภาพแสงสว่างบริเวณโต๊ะทำงาน และเก็บข้อมูลด้านแสงสว่างรวมไปถึงการสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้ที่มีต่อสภาพแสงสว่างในสำนักงาน มีแบบสอบถาม 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลของผู้ใช้จะประกอบด้วยคำถามสั้นๆ เกี่ยวกับ อายุ เพศ ความผิดปกติของสายตาซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อความต้องการแสงสว่าง และชนิดของงานที่ทำบริเวณโต๊ะทำงาน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แบบสอบถามผู้ใช้แสงสว่าง

หัวข้อ	ความเห็น	
1. ในภาพรวม แสงสว่างในห้องนี้ให้ความสบายในการมองเห็น	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
2. แสงนั้นสว่างมากเกินไปจนไม่สบายตาสำหรับงานที่กำลังทำอยู่	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
3. แสงนั้นสว่างน้อยเกินไปจนไม่สบายตาสำหรับงานที่กำลังทำอยู่	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
4. แสงสว่างที่นี้ไม่สม่ำเสมอ	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
5. แสงสว่างทำให้เกิดเงามืด	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
6. เงาสะท้อนจากแสงสว่างเป็นอุปสรรคกับการทำงาน	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
7. คอมไฟมีความสว่างมากเกินไป	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
8. สีผิวดูไม่เป็นธรรมชาติในแสงแบบนี้	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
9. แสงกระพริบตลอดวัน	☐ เห็นด้วย	☐ ไม่เห็นด้วย
10. แสงสว่างที่นี้เป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับแสงสว่างในสำนักงาน	☐ แย่กว่าอาคารอื่น ๆ	☐ ไม่เห็นด้วย
แบบเดียวกันในอาคารอื่น ๆ	☐ พอกัน	☐ ดีกว่าอาคารอื่น ๆ

ส่วนที่ 2 เป็นการสำรวจศักยภาพในการมองเห็น (Visual Performance) ของผู้ใช้ที่มีต่อสภาพแสงสว่างในสำนักงาน โดยมีการใช้แผนภาพการทดสอบด้วยตัวเลข Numerical Verification Test (NVT) เป็นแบบทดสอบการอ่านโดยใช้ตัวเลข ที่มีขนาดอักษรแบบเดียวกัน สีเดียวกัน พิมพ์ลงบนกระดาษชนิดเดียวกัน โดยจะแบ่งเป็น 2 แถว ซ้ายและขวา ส่วนคอลัมน์ขวาจะมีบางตัวที่มีตัวเลขผิดอยู่ ผู้ทดสอบจะต้องอ่านตัวเลขทั้งหมด 20 บรรทัดด้วยเวลาที่รวดเร็ว (ตารางที่ 2) เมื่ออ่านเจอตัวเลขที่ไม่เหมือนด้านซ้ายให้ทำเครื่องหมายด้วยปากกาสีแดง ในสภาพแสงสว่างที่เปลี่ยนไป ผลจากการเก็บข้อมูลจะถูกนำมาคิดเป็น NVT Score เพื่อทำการหาผลทางสถิติต่อไป (Davis and Garza, 2002)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบความรู้สึกพึงพอใจ (NVT)

แบบสอบถาม Numeric Verification Test	สำหรับผู้เข้าร่วมการทดลอง
<u>41073</u>	<u>41053</u>
<u>76475</u>	<u>78475</u>
<u>05023</u>	<u>05023</u>
<u>54101</u>	<u>54101</u>
<u>39164</u>	<u>39154</u>
EROR..... เวลา.....วินาที	

1. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1: เตรียมข้อมูลพื้นฐานและทำการสำรวจอาคารสำนักงาน โดยเกณฑ์ในการคัดเลือกในการศึกษาอาคารสำนักงานดังกล่าว มีดังนี้

1. เป็นอาคารสำนักงานที่มีการใช้งานในช่วง 8.00น.-16.00น. และมีการใช้คอมพิวเตอร์

2. เป็นอาคารสำนักงานที่มีรูปแบบห้อง การใช้แสงธรรมชาติ การใช้แสงประดิษฐ์ รูปแบบวิวและการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์ ครอบคลุมระดับตัวแปรต้นที่ศึกษา

3. เป็นสำนักงานขนาดเล็ก-ขนาดกลางเท่านั้น และมีปัจจัยทางด้านคุณลักษณะห้องคล้ายคลึงกันมากที่สุดยกเว้นปัจจัยที่ศึกษา เช่น สีของห้องโดยภาพรวมเป็นสีโทนขาว

4. ระดับชั้นของห้องสำนักงานอยู่ในชั้นที่ไม่มีสิ่งกีดขวางภายนอกที่มีผลต่อแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร

นอกจากนี้การศึกษาค้างนี้ยังมีขอบเขตในการศึกษา ดังนี้

1. ทำการสำรวจสภาพการส่องสว่างในช่วงสภาพท้องฟ้าแบบโปร่งเท่านั้น (Clear sky)

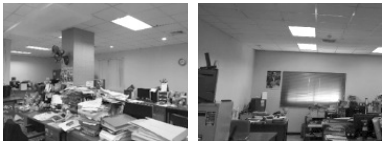
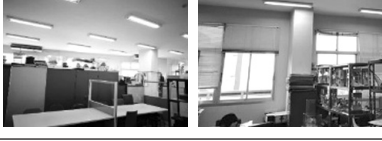
2. ทำการสำรวจสภาพการส่องสว่างในช่วง 11.00น. - 14.00น. เท่านั้น ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณแสงธรรมชาติสูงที่สุดในช่วงวัน

3. ผู้เข้าร่วมทดลองมีอายุในช่วง 20 - 50 ปี ซึ่งเป็นวัยทำงาน และไม่มีปัญหาเรื่องตาบอดสีและเบาหวานขึ้นจอตา และโรคตาอื่น ๆ ที่มีผลต่อการมองเห็น เหตุผลในการศึกษากลุ่มตัวอย่างดังกล่าวเนื่องจากเป็นช่วงอายุที่อยู่ในวัยทำงาน โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นพนักงานที่ทำงานทางด้านเอกสารเท่านั้น และไม่มีปัญหาเรื่องตาบอดสีและปัญหาทางด้านการมองเห็นอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง เช่น เบาหวานหรือต่อกระเจกและต้อหิน เป็นต้น

จากการสำรวจเอกสารต่าง ๆ ทางด้านงานวิจัยในเรื่องศักยภาพในการมองเห็น พบว่าการศึกษาในเรื่องของศักยภาพในการมองเห็นนั้นจะใช้จำนวนผู้เข้าร่วมการศึกษา ค่อนข้างน้อย (Yamagishi et al., 2006; Davis and Garza, 2002) อย่างไรก็ตาม Bechtel (1987) กล่าวว่าจำนวนของผู้เข้าร่วมการศึกษาไว้ว่าควรมีจำนวนไม่น้อยกว่า 30 คน จำนวนผู้เข้าร่วมทดลองในการทดลองมีจำนวน 210 คน

การศึกษาค้างนี้ประกอบไปด้วยกรณีศึกษา 7 กรณีศึกษา โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ข้อมูลพื้นฐานกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	ลักษณะภายในสำนักงาน
1) สำนักงานสรรพสามิต ชั้น 3	
2) สำนักงานสถานธนาณบาลกรุงเทพ (สธก.) ชั้น 3	
3) สำนักงานกรมสรรพากร กรุงเทพฯ ชั้น 4	
4) สำนักงานธนาคารออมสิน พญาไท กรุงเทพฯ ชั้น 2	
5) สำนักงานไซเลนเทค บางใหญ่ นนทบุรี ชั้น 3	
6) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ม.เทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี ชั้น 2	
7) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ม.เทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี ชั้น 4	

ตารางที่ 4 รายละเอียดของระดับปัจจัยที่ศึกษาของกรณีศึกษาอาคารสำนักงาน

กรณีศึกษา	รูปแบบห้อง	เทคนิคแสงธรรมชาติ	แสงประดิษฐ์	รูปแบบวิว	การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์
สำนักงานสรรพสามิต ชั้น 2	ตัว T	หน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวนอน	ฟลูออเรสเซนต์ (CRI=69)	อาคาร	ไม่มีฟาติชั่น หันไปทางเดียวกัน
สำนักงานสธก. ชั้น 3	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	ไม่มีหน้าต่าง	ฟลูออเรสเซนต์ (CRI=69) หลอดแอลอีดี (CRI=80)	ไม่มีวิว	มีฟาติชั่น หันหน้าเข้าหากัน
สำนักงานกรมสรรพากร ชั้น 4	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	หน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวนอน	ฟลูออเรสเซนต์ (CRI=69)	อาคาร	มีฟาติชั่น หันไปทางเดียวกัน
ธ.ออมสิน พญาไท ชั้น 2	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	หน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวนอน	ฟลูออเรสเซนต์ (CRI=69)	ต้นไม้	มีฟาติชั่น หันไปทางเดียวกัน
สำนักงานไซเลนเทค ชั้น 3	พื้นที่โค้ง	หน้าต่างบานเลื่อน กระจกติดฟิล์ม	ฟลูออเรสเซนต์ (CRI=69)	ต้นไม้	ไม่มีฟาติชั่น หันคนละทิศทาง
ห้องอาจารย์ ชั้น 2	พื้นที่สี่เหลี่ยม ผืนผ้า	หน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวตั้ง	ฟลูออเรสเซนต์ (CRI=69)	ต้นไม้	ไม่มีฟาติชั่น หันคนละทิศทาง
ห้องอาจารย์ ชั้น 4	พื้นที่สี่เหลี่ยม ผืนผ้า	หน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวตั้ง	ฟลูออเรสเซนต์ (CRI=69)	ต้นไม้	ไม่มีฟาติชั่น หันคนละทิศทาง

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาครั้งนี้มีตัวแปรต้นที่ใช้ในการทดสอบ 8 ปัจจัย ได้แก่ รูปร่างห้อง สีของผนังผิวห้อง การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์ เทคนิคแสงธรรมชาติ ชนิดหลอดไฟ สีของแสง ทัศนียภาพภายนอกห้อง การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์ เทคนิคแสงธรรมชาติ ชนิดหลอดไฟ สีของแสง ทัศนียภาพภายนอกห้อง โดยปัจจัยและระดับของปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจ รวมถึงได้มีการศึกษาในหลายการศึกษาในต่างประเทศ (Yamagishi et al., 2006; Davis and Garza, 2002)

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการประมวลผลทางสถิติ มีการวิเคราะห์ผลด้วยไคสแควร์ (Chi-square) ในการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร ซึ่งตัวแปรมีระดับในการวัดแบบแบ่งประเภท ซึ่งมีข้อมูลเป็นจำนวนนับเพื่อทดสอบสมมติฐานโดยในการวิเคราะห์จะจำแนกกลุ่มผลของความพึงพอใจและศักยภาพในการมองเห็นเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ น้อย ปานกลาง และมาก

ผลการทดลอง

ผลการศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในสำนักงานต่อความพึงพอใจ

ตารางที่ 3 แสดงผลการศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในสำนักงานต่อความพึงพอใจ โดยผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า รูปร่างห้อง สีของผนังผิวห้อง การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์ เทคนิคแสงธรรมชาติ ชนิดโคมไฟ ชนิดหลอดไฟ สีของแสง ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) และรูปแบบวิวภายนอกนั้นมีผลต่อความพึงพอใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

รูปร่างห้อง

สำนักงานที่มีพื้นที่รูปคล้ายตัว T นั้นจะก่อให้เกิดความพึงพอใจได้มากกว่าสำนักงานที่มีรูปร่างห้องแบบอื่น ๆ โดยสำนักงานที่มีพื้นที่รูปคล้ายตัว T นั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 30.00) นั้นมีความพึงพอใจมากกว่าในขณะที่อยู่ในสำนักงานที่มีพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า และหากอยู่ในสำนักงานที่มีพื้นที่โค้งนั้นผลความพึงพอใจจะกระจาย

สีของผนังผิวห้อง

สำนักงานที่ห้องมีสีของผนังผิวห้องโทนอบอุ่น นั้นจะก่อให้เกิดความพึงพอใจได้มากกว่าสำนักงานที่มีสีของผนังผิวห้องแบบอื่นๆ โดยสำนักงานที่มีห้องสีของผนังผิวห้องโทนอบอุ่นนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 20.50) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.92 ในขณะที่สำนักงานที่มีพื้นที่มีสีของผนังผิวห้องสีโทนขาว พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 25.00) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.75 นอกจากนี้สำนักงานที่มีสีของผนังผิวห้องเป็นกระจกและสีโทนเย็นนั้นผลความพึงพอใจแบบกระจาย

การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์

สำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบไม่มีผนังกันแบบหันหน้าไปทางเดียวกันนั้น จะก่อให้เกิดความพึงพอใจได้มากกว่าสำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบอื่น ๆ โดยสำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบมีผนังกันแบบหันหน้าไปทางทิศเดียวกัน พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 20.00) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.75 ในขณะที่สำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบมีผนังกันแบบหันหน้าชนกันนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 21.70) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.67 ในขณะที่สำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบมีผนังกันแบบหันหน้าไปทางทิศเดียวกัน พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 13.20) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.33 นอกจากนี้สำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบไม่มีผนังกันแบบหันหน้าชนกัน นั้นจะก่อให้เกิดความพึงพอใจได้มากกว่าสำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบอื่น ๆ นอกจากนี้สำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบมีผนังกันแบบหันหลังชนกัน นั้นผลความพึงพอใจแบบกระจาย

เทคนิคแสงธรรมชาติ

สำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบหน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวอนอนนั้น จะก่อให้เกิดความพึงพอใจได้มากกว่าสำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบอื่น ๆ โดยสำนักงาน

ที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบหน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวนอน พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 25.80) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.92 ในขณะที่สำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบหน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวตั้ง นั้นพนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 26.10) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.75 อีกทั้งสำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบหน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวนอน พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 23.50) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.33 นอกจากนี้สำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบหน้าต่างบานเลื่อนกระจกติดฟิล์มนั้นผลความพึงพอใจแบบกระจาย

ชนิดหลอดไฟ

สำนักงานที่ห้องมีชนิดของหลอดแอลอีดี นั้นจะก่อให้เกิดความพึงพอใจที่มากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยสำนักงานที่มีหลอดแอลอีดี พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 16.20) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.92 และ 1.67 ในขณะที่สำนักงานที่มีหลอดฟลูออเรสเซนต์พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 16.20) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.75 และ 1.50

สีของแสง

สำนักงานที่ห้องมีสีของแสงสีโทนเย็น นั้นจะก่อให้เกิดความพึงพอใจได้มากกว่าสำนักงานที่มีสีของแสงโทนขาว โดยสำนักงานที่มีห้องสีของแสงสีโทนเย็นนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 15.00) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.90 ในขณะที่โดยสำนักงานที่มีห้องสีของแสงสีโทนขาวนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 19.00) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.67

ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI)

สำนักงานที่มีดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 69 นั้นจะก่อให้เกิดความพึงพอใจมากกว่าดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 98 โดยสำนักงานที่มีดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 69 นั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 16.70) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.92 ในขณะที่โดยสำนักงานที่มีดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 98 เปอร์เซ็นต์ นั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 23.50) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.33

รูปแบบวิวภายนอก

สำนักงานที่มีรูปแบบวิวภายนอกแบบเมือง นั้นจะก่อให้เกิดความพึงพอใจได้มากกว่าสำนักงานที่มีรูปแบบวิวภายนอกแบบอื่นๆ โดยสำนักงานที่มีวิวภายนอกแบบเมืองนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 30.00) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.92 ในขณะที่สำนักงานที่ไม่มีวิวภายนอก พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 17.90) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.33 และวิวธรรมชาติพนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 22.90) นั้นมีความพึงพอใจที่มีค่า 1.67

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในสำนักงานต่อความพึงพอใจในการมองเห็น

หัวข้อ	รายละเอียด	ความพึงพอใจในการมองเห็น								เฉลี่ย	X ²
		1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.60	1.67		
รูปร่างห้อง	1. พื้นที่รูปคล้ายตัว T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	<u>15.00</u>	5.00	100.00	205.517**
	2. พื้นที่ใช้เหลื่อมผืนผ้า	0.00	3.90	9.80	5.90	11.80	11.80	0.00	17.60	100.00	
	3. พื้นที่ใช้	8.30	0.00	0.00	11.80	0.00	<u>25.00</u>	0.00	<u>25.00</u>	99.90	
สีของผนังห้อง	1. สีโทนอบอุ่น	0.00	2.60	12.80	2.60	10.30	12.0	0.00	12.80	99.30	232.167**
	2. สีโทนขาว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	15.00	20.00	100.00	
	3. กระจาก	8.30	0.00	0.00	<u>25.00</u>	0.00	<u>25.00</u>	0.00	<u>25.00</u>	99.90	
	4. สีโทนเย็น	0.00	8.30	0.00	<u>16.70</u>	<u>16.70</u>	8.30	0.00	8.30	100.00	
การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์	มีผนังกัน										195.068**
	1. หันหน้าชนกัน	0.00	<u>430.0</u>	0.00	8.70	8.70	8.70	0.00	21.70	138.60	
	2. หันหน้าไปทิศทางเดียวกัน	0.00	<u>0</u>	<u>13.20</u>	2.60	10.50	10.50	7.90	10.50	99.90	
	ไม่มีผนังกัน		2.60								
	3. หันหลังชนกัน	8.30	0.00	0.00	<u>25.00</u>	0.00	<u>25.00</u>	0.00	<u>25.00</u>	99.90	
เทคนิคแสงธรรมชาติ	4. หันหน้าไปทิศทางเดียวกัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	100.00	212.034**
	1. หน้าต่างบานเลื่อนกระจากติดฟิล์ม	8.30	0.00	0.00	<u>25.00</u>	0.00	<u>25.00</u>	0.00	<u>25.00</u>	99.90	
	2. หน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวตั้ง	0.00	4.30	0.00	8.70	8.70	8.70	0.00	21.70	99.90	
	3. หน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวนอน	0.00	0.00	3.20	0.00	3.20	12.90	9.70	9.70	100.00	
	4. ไม่มีหน้าต่าง	0.00	5.90	<u>23.50</u>	5.90	17.60	5.90	0.00	11.80	99.40	
ชนิดหลอด	1. หลอดฟลูออเรสเซนต์	0.00	6.70	13.30	6.70	<u>20.00</u>	6.70	0.00	13.30	100.10	52.954**
	2. หลอดแอลอีดี	1.50	1.50	4.40	7.40	4.40	13.20	4.40	<u>16.20</u>	100.10	
สีของแสง	1. สีโทนขาว	1.60	3.20	7.90	9.50	9.50	14.30	0.00	<u>19.00</u>	99.90	147.026**
	2. สีโทนเย็น	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	15.00	5.00	100.00	
ดัชนีความถูกต้องสีของแสง	1. ค่า CRI 69	1.50	1.50	1.50	7.60	4.50	13.60	4.50	<u>16.70</u>	99.80	78.145**
	2. ค่า CRI 98	0.00	5.90	<u>23.50</u>	5.90	17.60	5.90	0.00	11.80	100.00	
รูปแบบวิว	1. วิวธรรมชาติ	2.90	2.90	0.00	14.30	5.70	14.30	0.00	<u>22.90</u>	100.20	197.928**
	2. ไม่มีวิว	0.00	3.60	<u>17.90</u>	3.60	14.30	14.30	0.00	14.30	100.10	
	3. วิวเมือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	<u>15.00</u>	5.00	99.00	
รูปร่างห้อง	1. พื้นี่รูปคล้ายตัว T	10.00	<u>15.00</u>	0.00	0.00	<u>15.00</u>	30.00	5.00	0.00	100.00	205.517**
	2. พื้นี่ใช้เหลื่อมผืนผ้า	<u>19.60</u>	0.00	2.00	7.80	0.00	7.80	0.00	2.00	100.00	
	3. พื้นี่ใช้	0.00	0.00	0.00	8.30	0.00	8.30	0.00	0.00	99.90	
สีของผนังห้อง	1. สีโทนอบอุ่น	<u>15.40</u>	0.00	0.00	5.10	0.00	20.50	2.60	2.60	99.30	232.167**
	2. สีโทนขาว	<u>25.00</u>	15.00	5.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
	3. กระจาก	0.00	0.00	0.00	8.30	0.00	8.30	0.00	0.00	99.90	
	4. สีโทนเย็น	8.30	0.00	0.00	<u>16.70</u>	0.00	<u>16.70</u>	0.00	0.00	100.00	
การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์	มีผนังกัน	26.10	0.00	4.30	8.70	0.00	8.70	0.00	0.00	138.60	195.068**
	1. หันหน้าชนกัน	10.50	7.90	0.00	5.30	7.90	7.90	0.00	2.60	99.90	
	2. หันหน้าไปทิศทางเดียวกัน										
	ไม่มีผนังกัน										
	3. หันหลังชนกัน	0.00	0.00	0.00	8.30	0.00	8.30	0.00	0.00	99.90	
	4. หันหน้าไปทิศทางเดียวกัน	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<u>50.00</u>	10.00	0.00	100.00	

ตารางที่ 5 (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	ความพึงพอใจในการมองเห็น								เฉลี่ย	X ²
		1.17	1.25	1.33	1.42	1.50	1.58	1.60	1.67		
เทคนิคแสงธรรมชาติ	1. หน้าต่างบานเลื่อนกระจกติดฟิล์ม	0.00	0.00	0.00	8.30	0.00	8.30	0.00	0.00	99.90	212.034**
	2. หน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวตั้ง	26.10	0.00	4.30	8.70	0.00	8.70	0.00	0.00	99.90	
	3. หน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวนอน	9.70	9.70	0.00	3.20	9.70	25.80	3.20	0.00	100.00	
	4. ไม่มีหน้าต่าง	17.00	0.00	0.00	5.90	0.00	0.00	0.00	5.90	99.40	
ชนิดหลอด	1. หลอดฟลูออเรสเซนต์	20.00	0.00	0.00	6.70	0.00	0.00	0.00	6.70	100.10	52.954**
	2. หลอดแอลอีดี	13.20	4.40	1.50	5.90	4.40	16.20	1.50	0.00	100.10	
สีของแสง	1. สีโทนขาว	15.90	0.00	1.60	7.90	0.00	7.90	0.00	1.60	99.90	147.026**
	2. สีโทนเย็น	10.00	15.00	0.00	0.00	15.00	30.00	5.00	0.00	100.00	
ดัชนีความถูกต้องสีของแสง	1. ค่า CRI 69	13.60	4.50	1.50	6.10	4.50	16.70	1.50	0.00	99.80	78.145**
	2. ค่า CRI 98	17.60	0.00	0.00	5.90	0.00	0.00	0.00	5.90	100.00	
รูปแบบวิว	1. วิวธรรมชาติ	17.10	0.00	2.90	8.60	0.00	8.60	0.00	0.00	100.20	197.928**
	2. ไม่มีวิว	14.30	0.00	0.00	7.10	0.00	7.10	0.00	3.60	100.10	
	3. วิวเมือง	10.00	14.00	0.00	0.00	15.00	0.00	5.00	0.00	99.00	

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้หมายถึงค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่

** มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) โดย Chi-square test

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย Chi-square test

NS ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Chi-square test

1. ผลการศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในสำนักงานต่อศักยภาพการมองเห็น

ตารางที่ 4 แสดงผลการศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในสำนักงานต่อศักยภาพในการมองเห็นโดยผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า รูปร่างห้อง สีของผนังผิวห้อง การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์ เทคนิคแสงธรรมชาติ ชนิดโคมไฟ ชนิดหลอดไฟ สีของแสง ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) และรูปแบบวิวภายนอกนั้นมีผลต่อศักยภาพในการมองเห็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$)

รูปร่างห้อง

สำนักงานที่มีพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่มีรูปร่างห้องแบบอื่นๆ โดยสำนักงานที่มีพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 41.90) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก ในขณะที่สำนักงานที่มีพื้นที่รูปคล้ายตัว T พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 45.00) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นปานกลาง และสำนักงานที่มีพื้นที่โค้ง พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 66.40) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นน้อย

สีของผนังผิวห้อง

สำนักงานที่ห้องมีสีของผนังผิวห้องสีโทนเย็นนั้นจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่มีสีของผนังผิวห้องแบบอื่นๆ โดยสำนักงานที่มีห้องเป็นสีโทนเย็นนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 49.80) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก ในขณะที่สำนักงานที่มีพื้นที่มีสีของผนังผิวห้องสีโทนขาว พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 40.00) นั้นมีความพึงพอใจปานกลาง สำนักงานที่มีห้องสีโทนอบอุ่นและกระจก พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 38.90 และร้อยละ 66.40 ตามลำดับ) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นน้อย

การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์

สำนักงานมีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบมีผนังกันแบบหันหน้าชนกันนั้นจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบอื่น ๆ โดยสำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบมีผนังกันแบบหันหลังชนกันนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 47.30) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก ในขณะที่สำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบไม่มีผนังกันแบบหันหน้าไปทางทิศเดียวกันกันนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 50.00) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นปานกลาง นอกจากนี้สำนักงานที่มีการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบมีผนังกันแบบหันหน้าไปทางทิศเดียวกันและไม่มีการมีผนังกันแบบหันหลังชนกันนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 44.30 และร้อยละ 66.40 ตามลำดับ) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นน้อย

เทคนิคแสงธรรมชาติ

สำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบไม่มีหน้าต่างนั้นจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบอื่น ๆ โดยสำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบไม่มีหน้าต่างนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 41.30) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก ในขณะที่สำนักงานที่มีเทคนิคแสงธรรมชาติแบบหน้าต่างบานเลื่อนติดตั้งมู่ลี่แนวตั้ง พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 43.00) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นปานกลาง สำนักงานที่มีหน้าต่างบานเลื่อนกระจกติดฟิล์มและหน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวนอน พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 66.40 และร้อยละ 48.10 ตามลำดับ) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นน้อย

ชนิดหลอดไฟ

สำนักงานที่มีชนิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์นั้นจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่มีชนิดหลอดไฟแบบแอลอีดี โดยสำนักงานที่มีชนิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์นั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 33.50) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก ในขณะที่สำนักงานที่มีชนิดหลอดไฟแอลอีดี พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 35.70) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นน้อย

สีของแสง

โดยสำนักงานที่ห้องมีสีของแสงสีโทนขาวนั้นจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่มีสีของแสงโทนเย็น โดยสำนักงานที่มีห้องสีของแสงสีโทนขาวนั้น พนักงาน

ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 40.00) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก ในขณะที่สำนักงานที่มีสีของแสงโทนเย็นนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 45.00) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นปานกลาง

ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI)

สำนักงานที่ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 98 นั้นจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 69 โดยสำนักงานที่ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 98 พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 41.31) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก ในขณะที่สำนักงานที่ดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 69 พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 36.00) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นน้อย

รูปแบบวิวกายนอก

สำนักงานที่มีรูปแบบวิวกายนอกแบบธรรมชาตินั้นจะก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นได้มากกว่าสำนักงานที่มีรูปแบบวิวกายนอกแบบอื่น ๆ โดยสำนักงานที่มีวิวกายนอกแบบธรรมชาตินั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 43.50) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นมาก

ในขณะที่สำนักงานที่มีรูปแบบวิวเมื่อนั้น พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 45.00) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็นปานกลาง และสำนักงานที่ไม่มีวิวกายนอก พนักงานส่วนใหญ่ (ร้อยละ 43.10) นั้นมีศักยภาพในการมองเห็น

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมในสำนักงานต่อศักยภาพในการมองเห็น

หัวข้อ	รายละเอียด	น้อย	ปานกลาง	มาก	χ^2
		0.00 - 37.85	38.20 - 46.25	46.54 - 96.02	
รูปร่างห้อง	1. พื้นที่รูปคล้ายตัว T	35.00	<u>45.00</u>	20.00	665.596**
	2. พื้นทึ่สี่เหลี่ยมผืนผ้า	27.90	32.00	<u>41.90</u>	
	3. พื้นทึ่โค้ง	<u>66.40</u>	0.00	33.20	
สีของผนังผิวห้อง	1. สีโทนอบอุ่น	<u>38.90</u>	28.60	33.70	665.596**
	2. สีโทนขาว	25.00	<u>40.00</u>	35.00	
	3. กระจุก	<u>66.40</u>	0.00	33.20	
	4. สีโทนเย็น	8.30	<u>49.80</u>	<u>49.80</u>	
การจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์	มีผนังกัน	8.60	43.00		660.88**
	1. หันหน้าชนกัน	<u>44.30</u>	26.00	<u>47.30</u>	
	2. หันหน้าไปทิศทางเดียวกัน			28.70	
	ไม่มีผนังกัน				
	3. หันหลังชนกัน	<u>66.40</u>	0.00		
	4. หันหน้าไปทิศทางเดียวกัน	20.00	<u>50.00</u>	33.20	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด	น้อย	ปานกลาง	มาก	X ²
		0.00 - 37.85	38.20 - 46.25	46.54 - 96.02	
เทคนิคแสง ธรรมชาติ	1. หน้าต่างบานเลื่อนกระจก ติดฟิล์ม	<u>66.40</u>	0.00	33.20	238.869**
	2. หน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวตั้ง	8.60	43.00	<u>47.30</u>	
	3. หน้าต่างบานเลื่อน ติดตั้งมู่ลี่แนวนอน	<u>48.10</u>	28.80	22.40	
	4. ไม่มีหน้าต่าง	23.60	35.40	<u>41.30</u>	
ชนิดหลอด	1. หลอดฟลูออเรสเซนต์	26.80	<u>33.50</u>	<u>33.50</u>	238.869**
	2. หลอดแอลอีดี	<u>35.70</u>	30.30	34.20	
สีของแสง	1. สีโทนขาว	35.20	25.60	<u>40.00</u>	240.799**
	2. สีโทนเย็น	35.00	<u>45.00</u>	20.00	
ดัชนีความถูกต้อง	1. ค่า CRI 69	29.00	30.00	<u>33.00</u>	249.00**
	2. ค่า CRI 98	<u>43.10</u>	29.50	41.30	
รูปแบบวิว	1. วิวธรรมชาติ	43.10	29.00	<u>43.50</u>	448.20**
	2. ไม่มีวิว	35.00	21.60	<u>35.90</u>	
	3. วิวเมือง	35.00	<u>45.00</u>	20.00	

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้หมายถึงค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่

** มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p < 0.01$) โดย Chi-square test

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย Chi-square test

NS ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Chi-square test

สรุปและวิจารณ์ผล

วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้คือเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมภายในต่อศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจของคนไทยในอาคารสำนักงาน ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจของคนไทยในสำนักงานขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมภายในต่าง ๆ โดยสามารถสรุปคุณลักษณะของสภาพแวดล้อมภายในที่เหมาะสมต่อศักยภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจในอาคารสำนักงานสำหรับคนไทย ดังนี้

ผลการศึกษาด้านความพึงพอใจต่อสภาพแสงสว่างในสำนักงานพบว่า สภาพแสงสว่างที่ก่อให้เกิดความพึงพอใจสูงสุดควรมีรูปร่างห้องเป็นรูปแบบที่มีพื้นที่รูปคล้ายตัว T สีของผนังผิวห้องโทนอบอุ่น รูปแบบการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์แบบไม่มีผนังกั้นและ

มีเฟอร์นิเจอร์หันหน้าไปทางทิศเดียวกัน โดยมีการใช้เทคนิคแสงธรรมชาติคือมีหน้าต่างบานเลื่อนและติดตั้งมู่ลี่แนวนอน และชนิดหลอดไฟเป็นหลอดแอลอีดี ซึ่งมีสีของแสงเป็นสีโทนเย็น และมีดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 69 โดยควรมีวิวที่มองเห็นภายนอกเป็นวิวเมือง

ผลการศึกษาด้านศักยภาพในการมองเห็นในสำนักงานพบว่าสภาพแสงสว่างที่ก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นสูงที่สุดควรมีรูปร่างห้องเป็นรูปแบบพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า สีของผนังห้องเป็นสีโทนเย็น รูปแบบการจัดเรียงเฟอร์นิเจอร์เป็นแบบมีผนังกันและเฟอร์นิเจอร์หันหน้าชนกัน โดยไม่มีหน้าต่าง และชนิดหลอดไฟเป็นฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีสีของแสงเป็นสีโทนขาว และมีดัชนีความถูกต้องสีของแสง (CRI) 98 โดยควรมีวิวที่มองเห็นภายนอกเป็นวิวธรรมชาติ

ผลการศึกษาในเรื่องของสีของแสงและวิวที่มองเห็นผ่านหน้าต่างต่อความพึงพอใจและศักยภาพในการมองเห็นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แตกต่างจากผลการศึกษาในต่างประเทศ คนไทยพึงพอใจต่อแสงสีโทนเย็นและวิวเมือง และมีศักยภาพในการมองเห็นที่ดีกว่าเมื่อใช้แสงสีโทนขาวและมองเห็นวิวธรรมชาติ ซึ่ง IESNA (2010) แนะนำว่าแสงสีโทนอบอุ่นและวิวธรรมชาติควรใช้ในอาคารสำนักงานเพื่อการมองเห็นที่เหมาะสม

ผลการศึกษาครั้งนี้แตกต่างกับผลการศึกษาในต่างประเทศที่ศึกษากับชาวตะวันตก โดยเหตุผลของความแตกต่างระหว่างคนไทยและชาวดังกล่าวจะมาจากการที่คนไทยหรือชาวเอเชียเน้นคุ้นเคยในการอยู่อาศัยกับแสงแดดที่แรง และมีช่วงเวลากลางวันที่มีแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารที่ยาวนานกว่าในประเทศในแถบตะวันตกมาก ซึ่งสีของแสงธรรมชาติในช่วงเวลากลางวันดังกล่าวจะมีโทนสีขาว (CCT 4000K-5500K) จึงทำให้เกิดความคุ้นเคยที่มากขึ้นอาจจะมีผลต่อการตัดสินใจและศักยภาพในการมองเห็นที่ดีขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน (Altman and Wohlwill, 1983; Berlyne, 1971) นอกจากนี้เนื่องจากแสงแดดที่แรงกว่าและมีสีโทนร้อนและก่อให้เกิดความร้อนในอาคาร ทำให้คนไทยอาจหันไปเกิดความพึงพอใจต่อสีโทนเย็นมากกว่าโทนอบอุ่นได้

นอกจากนี้ความแตกต่างที่คนไทยในสำนักงานนั้นมีความพึงพอใจต่อวิวเมืองมากกว่าวิวธรรมชาติและแตกต่างจากการที่ก่อให้เกิดศักยภาพในการมองเห็นที่ดีกว่าในวิวธรรมชาติมากกว่าวิวเมืองนั้น น่าจะมีเหตุผลมาจากคนไทยที่ทำงานในสำนักงานอาจอาศัยในพื้นที่นอกเมืองซึ่งเงียบและโดดเดี่ยว และเดินทางเข้ามาทำงานในสำนักงาน ดังนั้นการได้เห็นวิวเมืองจึงก่อให้เกิดความสนุกสนานและความพึงพอใจมากกว่า อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงสาเหตุของผลการศึกษาดังกล่าวต่อไป

การศึกษานี้เป็นแนวทางหนึ่งในการหาคุณลักษณะสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่เหมาะสมสำหรับการมองเห็นในสำนักงานผ่านทางการสำรวจปริมาณแสงที่ใช้จริง (field study) อย่างไรก็ตามยังมีความต้องการผลของจากงานวิจัยที่ทำการทดลอง (experimental

study) ที่มีการควบคุมตัวแปรภายนอกเพื่อศึกษาผลกระทบของสภาพแสงสว่างต่อความพึงพอใจหรือศักยภาพในการมองเห็นมาพิจารณาประกอบกันเพื่อเสนอเป็นแนวทางในการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในสำนักงานที่เหมาะสมต่อการมองเห็นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นวลวรรณ ทวยเจริญ และผศ.ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ผู้ให้คำปรึกษาและแบ่งปันประสบการณ์ความรู้ตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ขอขอบพระคุณครอบครัว และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Altman I., and Wohlwill, J. F. (1983). **Behavior and the Natural Environment**. New York: Plenum Press.
- Berlyne, D. E. (1971). **Aesthetics and Psychobiology**. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Bechtel, R. B., Marans, R. W., & Michelson, W. (Eds.). (1987). **Methods in environmental and behavioral research**. New York, NY, US: Van Nostrand Reinhold Co.
- Boyce, P.R., Eklund, N., Mangum, S., Saalfeld, C. and Tang, L. (1995) **Minimum acceptable transmittance of glazing**, *Lighting Res.Technol.*, 27, 145-152.
- Davis, R.G. and A. Garza. 2002. **Task Lighting for the Elderly**. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 31 (1), 20-32.
- Fabio D., Palazzeschi A., L., and Bucci O. (2017). **In an unpredictable and changing environment: intrapreneurial self-capital as a key resource for life satisfaction and flourishing**. *Front. Psychol.* 8:1819. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.01819
- Fotios, S. and C. Cheal. (2007). **Lighting for Subsidiary Streets: Investigation of Lamps of Different SPD: Part 2-Brightness**. *Lighting Research & Technology* 39 (3), 233-252.
- Fotios. S., C. Cheal. And P.R. Boyce. (2005). **Light Source Spectrum, Brightness Perception and Visual Performance in Pedestrian Environment: A Review** *Lighting Research & Technology*. 37,4.
- IESNA. (2011). **The IES Lighting Handbook (10th Edition): Reference and Application**. New York: IESNA.
- Marquardt, C. J. G., Veitch, J. A., & Charles, K. E. (2002). **Environmental Satisfaction**

with OpenPlan Office Furniture Design and Layout : National Research Council Canada.

Nenonen et al. (2012). **Designing Business Models for Value Co-Creation**. Review of Marketing Research 9:51-78 · June 2012. DOI: 10.1108/S1548-6435(2012)0000009007

Ruan Saiyod and Aungkana Saiyod. (2540). **Statistics in Research**. Bangkok: Suweeriyasan. (in Thai) Illuminating Engineering Association Thailand. (2546). TIEA-GD003.

The recommended of illumination of the building. Bangkok (in Thai)

Veitch, Charles, Farley and Newsham. (2007). A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings. **Journal of Environmental Psychology**, 27(3), 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2007.04.002>

Yamagishi, M., Kawasaki, F., Yamaba, K. and Nagata, M. (2006). Legibility under reading lights using white LED. **Gerontechnology**, 5(4), 31-236.\

Veitch, J. A., Charles, K. E., Farley, K. M., & Newsham, G. R. (2007). A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings. **Journal of Environmental Psychology**, 27(3), 177-189.

Zhe Kong, Michael Utzinger, Kara Freihoefer and Troy Steege. (2018). **The impact of interior design on visual discomfort reduction: A field study integrating lighting environments with POE survey**. Building and Environment 138 · April 2018. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.04.025

.....

การวิเคราะห์ออกซาเลตในตัวอย่างผักโดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำ
ด้วยวิธีโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชัน

DETERMINATION OF OXALATE IN VEGETABLE SAMPLES
USING A LOW COST ELECTRODE
BY POTENTIOMETRIC MICROTRITRATION METHOD

อภิชาติ บุญมาลัย^{1*} คณภรณ์ แสงชัยมงคลลาภ² และ กนกนิกา บุตรศรี³

^{1*, 2, 3}สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

Apichart Boonmalai^{1*}, Khanaphon Sangchaimongkonlap² and Kanoknipa Bhudsri³

^{1*, 2, 3}Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University,
Nakhon Sawan, 60000

E-mail: apichart_boon@hotmail.com

Received: 2018-05-04

Revised: 2018-09-24

Accepted: 2019-01-10

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชัน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำที่ผลิตขึ้นใช้เอง คือใช้ขั้วไฟฟ้าที่ทำจากคาร์บอนจากไส้ดินสอเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน และใช้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ที่ประยุกต์ขึ้นเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ในการวิเคราะห์หาปริมาณออกซาเลตอาศัยพื้นฐานของปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยสารละลายออกซาเลตเป็นตัวแทนที่ที่อยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก จะถูกไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.02 โมลต่อลิตร เป็นตัวแทนในระดับไมโครลิตร และได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ ได้แก่ เวลาในการชุบเส้นลวดเงินด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์อิ่มตัว ความเข้มข้นและปริมาตรของกรดซัลฟิวริก และอุณหภูมิของระบบ ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่า ได้เวลาในการชุบเส้นลวดเงิน 9 นาที ใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 2.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และไทเทรตสารที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณออกซาเลตในตัวอย่างผักชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนการวิเคราะห์ต่ำเนื่องจากราคาเครื่องมือถูก เป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีปริมาณน้อย เป็นมิตรต่อ

สิ่งแวดล้อม และผลการวิเคราะห์หาปริมาณออกซาเลตในตัวอย่างผัก พบว่ามีความถูกต้องและความเที่ยงในการวิเคราะห์ที่ดี

คำสำคัญ: โพเทนชิโอเมตริก ไมโครไทเทรชัน ออกซาเลต ผัก

ABSTRACT

The purpose of this research was to build a potentiometric microtitration system by using homemade low cost electrodes (a pencil carbon electrode as a working electrode and a silver/silver chloride (Ag/AgCl) electrode as a reference electrode) for determination of oxalate. The analysis was based on a redox reaction of the oxalate (titrand) in sulfuric acid solution was titrated with a few microliter of 0.02 mol L^{-1} potassium permanganate solution (titrant). The conditions such as electroplating time of silver stripe in saturated potassium chloride solution, concentration and volume of sulfuric acid and temperature of titration system were studied. The results were 9 min of electroplating time, 2.0 mol L^{-1} and 1 mL of sulfuric acid and titration at room temperature. This proposed method was applied for the determination of oxalate in some vegetable samples. It provided some advantages of low cost of instruments and analysis, simple system and operation, low chemical consumption, low toxic waste and environmental friendly. It was found that the results obtained from the proposed method were good accuracy and precision.

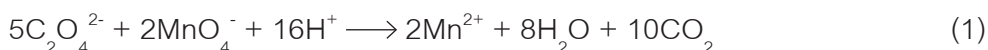
Keywords: Potentiometric, Microtitration, Oxalate, Vegetable

บทนำ

ออกซาเลต (Oxalate) เป็นเกลือของกรดออกซาลิก $[(\text{COOH})_2]$ สามารถพบได้ในพืชผักทั่วไปที่รับประทานหลายชนิด อาทิเช่น ผักโขม ผักขึ้นฉ่าย สะระแหน่ ผักหวานป่า ผักกาดหอม โหระพา ใบชะพลู ใบชะมวง (Pourreza et al., 2018; Piwpuan, 2014) โดยสารออกซาเลตที่มีในพืชผักที่รับประทานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ สารออกซาเลตที่ละลายน้ำได้ (Soluble oxalate) เช่น โซเดียมออกซาเลต โพแทสเซียมออกซาเลต และสารออกซาเลตที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble oxalate) เช่น แคลเซียมออกซาเลต (Shi et al., 2018) โดยพืชผักหลายชนิดมีปริมาณออกซาเลตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพการเจริญเติบโต ชนิดของดิน ฤดูกาล ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว และปริมาณแคลเซียมในดิน (Kusuma et al., 2016)

การรับประทานพืชผักที่มีปริมาณออกซาเลตสูงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคคือ จะทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดเป็นนิ่วในทางเดินปัสสาวะ (Nguyễn et al., 2018; Charoenkiatkul, 2004) ซึ่งกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข แนะนำว่าไม่ควรบริโภคอาหารที่มีออกซาเลตเกินวันละ 22 กรัมต่อน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม หรือ 378 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (Chongchaitet, 2006) ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความเสี่ยงดังกล่าว จึงจำเป็นจะต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณออกซาเลตในพืชผักเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกบริโภคให้เหมาะสม

การวิเคราะห์ปริมาณออกซาเลตมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีพื้นฐาน เช่น การไทเทรต (Nakorn, 2003) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานและทำได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ การหาจุดยุติอาศัยการดูสีที่เปลี่ยนแปลงของสารละลายซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ นอกจากวิธีพื้นฐานแล้วยังมีวิธีที่ใช้เครื่องมือขั้นสูง เช่น วิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตรี (Pourreza et al., 2018) วิธีทางโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) (Nguyễn et al., 2018) วิธีทางแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) (Hu et al., 2014) วิธีทางแคปิลลารี อิเล็กโทรโฟรีซิส (CE) (Nelson et al., 2000) วิธีทางไอออนโครมาโทกราฟี (Cao et al., 2012) และการวิเคราะห์ด้วยเอนไซม์ (Shi et al., 2018) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความถูกต้อง ความเที่ยงและมีความไวสูง แต่ก็มีข้อเสียคือ ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีราคาแพง ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญหรือต้องใช้นักวิทยาศาสตร์ที่มีความชำนาญในการใช้เครื่องมือเหล่านั้น มีความยุ่งยากในการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สร้างระบบ โพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำที่ผลิตขึ้นใช้เอง คือใช้ขั้วไฟฟ้าที่ทำจากคาร์บอนจากไผ่ดินสอเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน และใช้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ที่สร้างขึ้นเองอย่างง่ายเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณออกซาเลต ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนการวิเคราะห์ต่ำเนื่องจากราคาเครื่องมือถูก เป็นวิธีที่ง่ายมีขั้นตอนไม่ซับซ้อน ใช้สารเคมีปริมาณน้อย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยพื้นฐานของปฏิกิริยารีดอกซ์ ดังสมการที่ (1)



งานวิจัยนี้ใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตปริมาณน้อยระดับไมโครลิตรเป็นตัวไทเทรนต์ (Titrant) ในการไทเทรตหาปริมาณออกซาเลตซึ่งเป็นตัวไทเทรนด์ (Titrand) ที่บรรจุอยู่ในภาชนะที่มีขนาดเล็ก โดยออกซาเลตในสารละลายกรดนี้สามารถรีดิวซ์เปอร์แมงกาเนตไอออนให้เป็นแมงกานีสไอออนได้ แล้ววัดค่าศักย์ไฟฟ้านำไปสร้างไทเทรชันกราฟหาจุดยุติเพื่อคำนวณหาปริมาณออกซาเลตในสารละลาย

วิธีการ

1. อุปกรณ์และสารเคมี

โวลต์มิเตอร์ รุ่น DT93A Digital เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า เตาไฟฟ้า ไมโครปิเปต ภาชนะสำหรับการไทเทรตขนาด 10 มิลลิลิตร ไล้ดินสอ (ชนิด 2B เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร) และเส้นลวดเงิน (ความยาว 7 เซนติเมตร กว้าง 3 มิลลิเมตร)

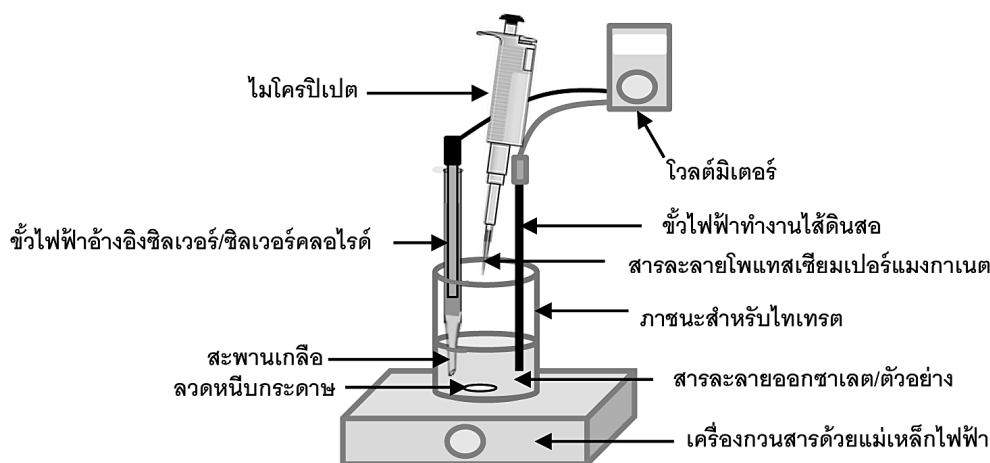
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง น้ำปราศจากไอออน (DI water) ผลิตจากเครื่อง Milli-Q โฟแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (99.0%, A.R., Ajax Finechem, Austria) โซเดียมออกซาลาเลต (99.9%, A.R., Ajax Finechem, Austria) กรดซัลฟิวริก (97.5-98.5%, A.R., Labscan, Ireland) กรดไฮโดรคลอริก (35.4%, A.R., BDH, England) กรดไนตริก (69%, A.R., BDH, England) กรดอะซิติก (99.7%, A.R., Labscan, Ireland) โฟแทสเซียมคลอไรด์ (99.8%, A.R., Ajax Finechem, Austria) แคลเซียมอะซิเตต (99%, A.R., Carlo Erba, Italy) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (30%, A.R., J.T.Baker, USA)

2. ระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ไฟฟ้าต้นทุนต่ำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำใช้เอง ซึ่งประยุกต์มาจากการวิจัยของ Khiawsaart et al. (2013) โดยมีวิธีการทำดังนี้ การสร้างขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ นำเส้นลวดเงินจำนวน 2 เส้นต่อกับขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ จุ่มเส้นลวดเงินทั้งสองลงในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) อิ่มตัวเป็นเวลา 9 นาที จะได้เส้นลวดซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) ที่ขั้วบวก (ขั้วแอนอด) ส่วนสะพานเกลือทำจากหลอดแก้วยาว 8 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เซนติเมตร บริเวณปลายหลอดแก้วมีสะพานเกลือที่ทำจากผงวุ้นผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ซึ่งมีความสูงประมาณ 1.5-2.0 เซนติเมตร ภายในหลอดแก้วบรรจุสารละลาย KCl อิ่มตัว หลังจากนั้นนำเส้นลวด Ag/AgCl ที่เตรียมไว้ไปประกอบกับสะพานเกลือที่สร้างขึ้นแล้วใช้แผ่นพาราฟิล์มปิดท้ายหลอดแก้วเหลือปลายเส้นลวดเงินไว้ต่อเข้ากับสายไฟ ส่วนขั้วไฟฟ้าทำงานทำจากคาร์บอนจากไล้ดินสอ โดยระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ไฟฟ้าต้นทุนต่ำแสดงดังรูปที่ 1

สารละลายมาตรฐานออกซาลาเลตหรือสารตัวอย่างจะถูกปิเปตใส่ลงไปในภาชนะสำหรับไทเทรตขนาดเล็กที่วางไว้บนเครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า และใช้ลวดหนีบกระดาษตัดเป็นชิ้นเล็กแล้วพันด้วยเทปพันเกลียวแทนการใช้แท่งกวนสาร (Magnetic bar) นำขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl และขั้วไฟฟ้าทำงานไล้ดินสอที่สร้างขึ้นจุ่มลงไปในสารละลายและต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับโวลต์มิเตอร์ โดยการไทเทรตนั้นจะ ปิเปตไทเทรนต์หรือสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตครั้งละ 50 หรือ 200 ไมโครลิตรและบริเวณจุดยุติปิเปตครั้งละ 10 ไมโครลิตร คนสารละลายตลอดการไทเทรต วัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยโวลต์มิเตอร์ นำผลการทดลองไปสร้าง

ไทเทรชันกราฟโดยใช้กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าตอนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ($\Delta E / \Delta V$) กับปริมาณของไทเทรนต์เพื่อหาจุดยุติ



รูปที่ 1 ระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำ

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำ

3.1 การศึกษาเวลาในการชุบเส้นลวดเงินด้วยสารละลาย KCl อิ่มตัว

ทำโดยนำเส้นลวดเงินที่ต่อกับแบตเตอรี่จุ่มลงในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 นาที แล้วนำไปใช้เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl โดยทดสอบประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ออกซาเลตด้วยระบบที่สร้างขึ้น โดยใช้ออกซาเลตความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 โมลต่อลิตร

3.2 การศึกษาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก

ทำโดยการเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 โมลต่อลิตร ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริก 1.0 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายมาตรฐานออกซาเลตความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในภาชนะสำหรับการไทเทรต แล้วนำไปวิเคราะห์ออกซาเลตด้วยระบบที่สร้างขึ้น

3.3 การศึกษาปริมาตรกรดซัลฟิวริก

ทำโดยการปิเปตกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.2 ที่ปริมาตรต่าง ๆ 0.05, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายมาตรฐานออกซาเลตความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในภาชนะสำหรับการไทเทรต แล้วนำไปวิเคราะห์ออกซาเลตด้วยระบบที่สร้างขึ้น

3.4 การศึกษาการให้หรือไม่ให้ความร้อนของระบบการไทเทรต

โดยทำการเปรียบเทียบการทดลองไทเทรตในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติ ($25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$) ซึ่งไม่มีการให้ความร้อนแก่สารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างในภาชนะสำหรับการไทเทรตก่อนการไทเทรต เปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแก่สารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่าง 60°C ประมาณ 5 นาที ก่อนนำมาไทเทรตกับสารละลายสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

3.5 การทดสอบความเที่ยง (Precision) และการทดสอบความถูกต้องหรือความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์

โดยทำการทดลองที่สภาวะเหมาะสมในหนึ่งวัน ทดสอบสารละลายมาตรฐานออกซาลेट ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร จำนวน 11 ซ้ำ (Intra day) และทำการทดลองคนละวัน (Inter day) จำนวน 7 วัน แล้วคำนวณหาความเที่ยงจากค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ส่วนการทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ (Accuracy) ประเมินจากค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) โดยใช้สารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (Spiked sample) ที่มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานออกซาลेट เท่ากับ 0.005 โมลต่อลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยระบบดังกล่าว แล้วคำนวณหาค่า %Recovery

4. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

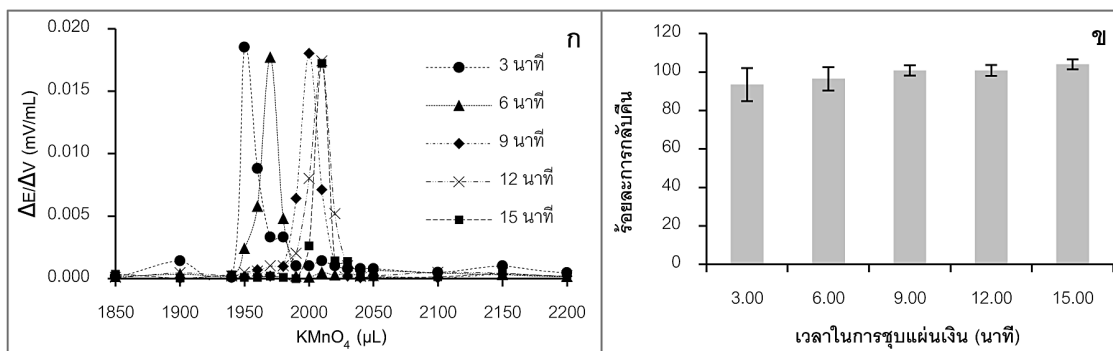
การเตรียมสารละลายตัวอย่างในการวิเคราะห์หาปริมาณออกซาลेट โดยประยุกต์วิธีการของ Nakorn (2003) ซึ่งมีวิธีการสำคัญคือ ชั่งตัวอย่างผักสดที่หั่นเป็นชิ้นเล็กหนักรวม 25.000 กรัม มาปั่นและเติมน้ำ DI 80 มิลลิลิตร จากนั้นทำการสกัดออกซาลेटจากตัวอย่างผักด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตรและกรดไนตริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตรนำไปให้ความร้อน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรอง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ปรับ pH สารละลายให้ได้ประมาณ 8 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นทำการตกตะกอนแคลเซียมออกซาลेटด้วยการเติมสารละลายแคลเซียมอะซิเตตอิ่มตัว นำสารละลายเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1.5 โมลต่อลิตร 5-10 มิลลิลิตร เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง รินส่วนของเหลวทิ้ง นำหลอดที่มีตะกอนไปอบในตู้อบที่ 80°C นาน 2 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร เขย่าแบบอุลตราโซนิก และปรับปริมาตรของสารละลายด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร แล้วเตรียมสารละลายตัวอย่างผักชนิดอื่น ๆ ในทำนองเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างผักชนิดต่าง ๆ 13 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักบุ้งจีน ผักกวางตุ้ง ผักกระเฉด ผักกาดหอม ชะอม ชะพลู สะเดา ใบมะกรูด ผักหวาน โหระพา ใบยอ และมะรุ้ม โดยส่วนของพืชที่นำมาวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับส่วนที่นิยมมาบริโภคเช่น ใบและยอดอ่อน สารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ

ออกซาลेटด้วยระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ไฟฟ้าต้นทุนต่ำที่ได้หาสภาวะที่เหมาะสมแล้ว

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาเวลาในการชุบเส้นลวดเงินด้วยสารละลาย KCl อิ่มตัว

เวลาในการชุบเส้นลวดเงินด้วยสารละลาย KCl อิ่มตัวมีผลต่อปริมาณการเกิด AgCl มาเคลือบที่เส้นลวดเงินและมีผลต่อประสิทธิภาพของไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl ด้วย โดยศึกษาการชุบเส้นลวดเงินที่เวลาต่างๆ ได้กราฟการไทเทรชันของอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ดังแสดงรูปที่ 2 ก. และกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการชุบเส้นลวดเงินกับร้อยละการกลับคืน ดังแสดงรูปที่ 2 ข.



รูปที่ 2 ก. กราฟการไทเทรชันของอนุพันธ์อันดับหนึ่งจากการทดลองหาเวลา

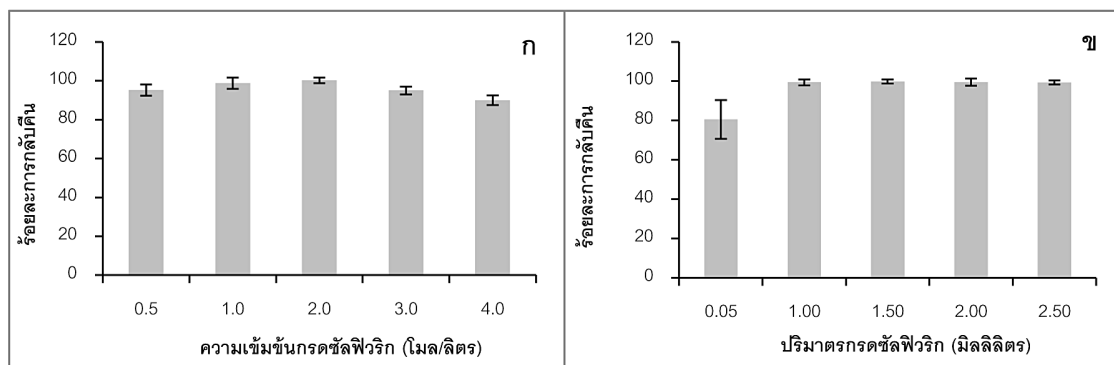
ในการชุบเส้นลวดเงินที่เหมาะสม

ข. กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการชุบเส้นลวดเงินกับร้อยละการกลับคืน

จากรูป 2 ก. จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้เวลาในการชุบเส้นลวดเงินต่างกัน จะได้จุดยุติที่แตกต่างกัน เนื่องจากการเกิด AgCl มาเคลือบที่ผิวของเส้นลวดเงินได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการชุบและมีความหนาและพื้นที่ผิวเรียบมากกว่า ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไฟฟ้าอ้างอิงและการหาปริมาณออกซาลेटที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 2 ข. จะเห็นได้ว่าที่เวลา 9 ถึง 15 นาที ได้ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ระหว่างร้อยละ 100.8-104.0 และมีความเที่ยงสูง จากการทดลองพบว่าไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl ที่มีประสิทธิภาพดี และใช้เวลาในการเตรียมน้อย คือไฟฟ้าที่ใช้สภาวะในการชุบเส้นลวดเงินเป็นเวลา 9 นาที

2. ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก

ทำการทดลองหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมที่จะสามารถใช้กับระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชัน โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในการทดลอง ได้ผลการทดลองดังรูป 3 ก. ซึ่งเป็นกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกกับร้อยละการกลับคืน จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 2.0 โมลต่อลิตร มีค่าร้อยละการกลับคืนเท่ากับร้อยละ 100.2 ซึ่งมีความถูกต้องมากกว่าความเข้มข้นอื่น เนื่องจากปฏิกิริยารีดอกซ์นี้ต้องอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดดังสมการ (1) เพื่อให้ออกซาเลตสามารถไปรีดิวซ์เปอร์แมงกาเนตไอออนให้เป็นแมงกานีสไอออนได้สมบูรณ์ แต่หากมีความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกมากเกินไป จะทำให้ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ทำจากไส้ดินสอเกิดความเสียหายได้เมื่อใช้ไประยะเวลานาน เนื่องจากการสึกกร่อน ทำให้ประสิทธิภาพการตรวจวัดด้วยไฟฟ้าลดลง แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการใช้ไส้ดินสอพบว่าสามารถใช้ซ้ำได้ 21 ครั้งโดยยังมีประสิทธิภาพดี ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมคือ 2.0 โมลต่อลิตร เพื่อทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมอื่น ๆ ต่อไป



รูปที่ 3 ก. กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกกับร้อยละการกลับคืน ข. กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของกรดซัลฟิวริกกับร้อยละการกลับคืน

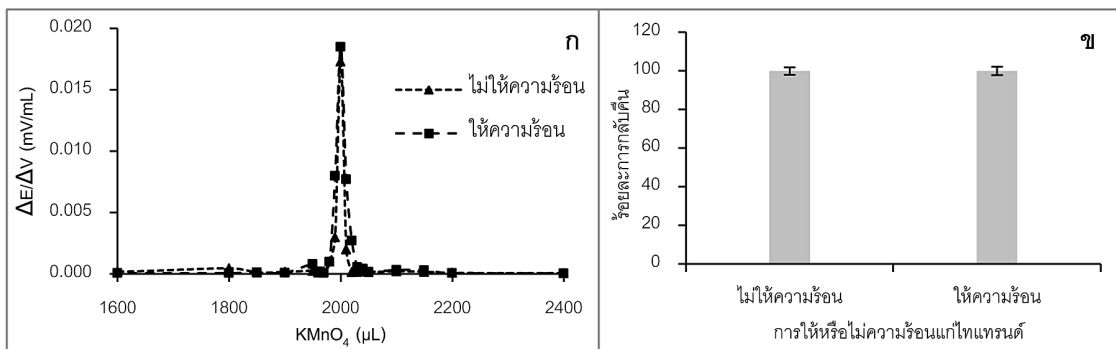
3. ผลการศึกษาปริมาตรกรดซัลฟิวริก

ทำการทดลองหาปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมที่ใช้กับระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยการเปลี่ยนปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในภาชนะสำหรับไทเทรต ได้กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของกรดซัลฟิวริกกับร้อยละการกลับคืน ดังแสดงรูปที่ 3 ข. จะเห็นได้ว่าที่ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกมีผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์หาปริมาณออกซาเลตโดยดูจากร้อยละการกลับคืน โดยที่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกตั้งแต่

1.0 ถึง 2.5 มิลลิลิตร จะให้ผลร้อยละการกลับคืนอยู่ระหว่างร้อยละ 99.3-99.8 เนื่องจากว่ามีกรดมากเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ดังกล่าว และเพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมคือ 1.0 มิลลิลิตร สำหรับการทดลองหาสภาวะอื่น ๆ ต่อไป

4. ผลการศึกษาการให้หรือไม่ให้ความร้อนของระบบการไทเทรต

ทำการทดลองการเปรียบเทียบการไทเทรตแบบให้ความร้อนแก่สารไทแทนด์ที่อยู่ในภาชนะสำหรับไทเทรตที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 5 นาทีก่อนนำมาไทเทรตเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาเทียบกับการไม่ให้ความร้อนแก่สารไทแทนด์ โดยไทเทรตที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 ± 0.5 °C) ด้วยระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชัน ผลการทดลองได้กราฟการไทเทรชันของอนุพันธ์อันดับหนึ่งดังแสดงรูปที่ 4 ก. และกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการให้หรือไม่ให้ความร้อนกับร้อยละการกลับคืน ดังแสดงรูปที่ 4 ข.



รูปที่ 4 ก. กราฟการไทเทรชันของอนุพันธ์อันดับหนึ่งจากการเปรียบเทียบการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารไทแทนด์ ข. กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการให้หรือไม่ให้ความร้อนแก่สารไทแทนด์กับร้อยละการกลับคืน

จากรูปที่ 4 ก. จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนและการไม่ให้ความร้อนแก่สารไทแทนด์ก่อนการนำไปไทเทรต ให้ผลกราฟไทเทรชันของอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่เหมือนกันคือได้จุดยุติที่เท่ากัน ทำให้ผลการวิเคราะห์หาปริมาณออกซาลेटไม่แตกต่างกันดังรูปที่ 4 ข. ซึ่งโดยปกติวิธีมาตรฐานการไทเทรตระหว่างโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับออกซาลेटในสภาวะกรดมักมีการให้ความร้อนแก่สารไทแทนด์ก่อนนำไปไทเทรตเพื่อช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี และจะทำให้สีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหายไปชัดเจน แต่จากการทดลองการไม่ให้ความร้อนแก่สารไทแทนด์มีผลไม่แตกต่างกัน คาดว่าน่าจะเนื่องมาจากการไทเทรตที่มีขนาดเล็กระดับไมโครลิตรจึงใช้เวลาไม่นานในการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ได้ และการวิเคราะห์

ทางไฟฟ้าเคมีไม่จำเป็นต้องดูสีด้วยตาเปล่าที่จุดยุติเหมือนการไทเทรตทั่วไป นอกจากนี้การให้ความร้อนแก่สารไทเทรนต์อาจทำให้เกิดการละลายของวุ้นที่ทำหน้าเป็นสะพานเกลือที่ปลายหลอดแก้วของขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl ที่สร้างขึ้นเอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกการไทเทรตสารที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ให้ความร้อน เพื่อความสะดวกในการทำงานและยืดอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

5. ผลการทดสอบความเที่ยง (Precision)

จากการทดสอบความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ พบว่าได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 1.8% (Intra day จำนวน 11 ขั้ว) และ 3.4% (Inter day จำนวน 7 วัน) โดยใช้อุปกรณ์ชุดเดิม แสดงให้เห็นว่าระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำที่ผลิตขึ้นใช้เองนั้นมีความเที่ยงสูง

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซาเลตในผักและผลทดสอบความถูกต้อง (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำที่ผลิตขึ้นใช้เองนั้น นำไปประยุกต์ใช้หาปริมาณออกซาเลตในตัวอย่างผักที่เก็บมาจากตลาดใน อ.เมือง จ.นครสวรรค์ ซึ่งตรวจพบปริมาณออกซาเลตในหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (สด) โดยแสดงผลดังตารางที่ 1 พบว่าผักทั้ง 13 ชนิด ที่ปริมาณออกซาเลตที่แตกต่างกัน ผักที่มีปริมาณออกซาเลตสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม คือ สะเดา และใบมะกรูด ส่วนผักที่มีปริมาณออกซาเลตระหว่าง 100 - 1,000 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม คือ ผักบุ้งจีน ผักกระเฉด ผักกาดหอม สะพลู ผักหวาน สะอม โหระพา ใบยอ และ มะรุม ส่วนผักที่มีปริมาณออกซาเลตน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม คือ ผักคะน้า และผักกวางตุ้ง จากข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซาเลตที่ตรวจพบในงานวิจัยอื่น พบว่ามีความใกล้เคียงหรือแตกต่างกันบ้างเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของดินที่ปลูก สภาวะแวดล้อมและ ฤดูกาล เป็นต้น (Kusuma et al., 2016) จึงทำให้พืชผักมีปริมาณออกซาเลตที่แตกต่างกันถึงแม้จะเป็นชนิดเดียวกันก็ตาม และจากการทดสอบความถูกต้องหรือความแม่นยำ พบว่าสามารถวิเคราะห์หาปริมาณออกซาเลตในตัวอย่างผักได้ถูกต้องโดยมีค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ระหว่างร้อยละ 92.7-113.3 งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ออกซาเลตด้วยวิธีโพเทนชิโอเมตริกไมโครไทเทรชันกับวิธีมาตรฐานไทเทรชัน เมื่อใช้ paired t-test ตรวจสอบ พบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 1 ปริมาณออกซาเลตในตัวอย่างผักที่วิเคราะห์ด้วยระบบโพเทนชิโอเมตริกไมโคร-ไทเทรชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำและวิธีมาตรฐาน ไทเทรชัน

ตัวอย่างผัก	วิธีโพเทนชิโอเมตริกไมโคร-ไทเทรชัน		วิธีไทเทรชัน AOAC Official Method 974.24	ปริมาณออกซาเลต ที่ตรวจพบ ในงานวิจัยอื่น
	ร้อยละ การคืนกลับ (%Recovery)	มิลลิกรัม/ 100กรัม (n = 3) ± %RSD	มิลลิกรัม /100กรัม (n = 3) ± %RSD	มิลลิกรัม /100กรัม
ผักคะน้า	108.9	18.9 ± 1.2	21.6 ± 1.3	12.6 ²
ผักบุ้งจีน	92.7	135.6 ± 1.7	146.9 ± 2.4	113.3 ²
ผักกวางตุ้ง	110.5	19.2 ± 1.3	14.8 ± 1.7	8.2 ²
ผักกระเฉด	98.3	120.3 ± 2.3	88.5 ± 2.1	107.6 ²
ผักกาดหอม	95.5	142.5 ± 3.1	97.2 ± 1.7	131.13 ⁵
ชะพลู	106.7	775.3 ± 2.8	806.7 ± 3.2	682.73 ¹
สะเดา	109.0	1475.7 ± 2.0	1395.5 ± 3.4	1,818.03 ¹
ใบมะกรูด	101.7	1375.6 ± 2.3	1402.4 ± 3.1	2,254 ³
ผักหวาน	101.7	137.4 ± 3.2	128.3 ± 2.9	56.8 ⁴
ชะอม	103.3	250.1 ± 3.1	215.8 ± 2.2	327.02 ¹
โหระพา	106.7	500.2 ± 2.6	455.4 ± 3.2	416.22 ¹
ใบยอ	113.3	725.3 ± 2.9	808.5 ± 2.2	843 ²
มะรุม	106.7	650.2 ± 1.7	703.7 ± 3.4	-

¹Nakorn (2003) ²Charoenkiatkul et al., 2004 ³Sriboonlue et al., 1994 ⁴Chongchaithet (2006) ⁵Piwpuan (2014)

หมายเหตุ: สมการในการคำนวณปริมาณออกซาเลตในตัวอย่างผักในหน่วย มิลลิกรัม/100 กรัม ดังนี้

$$\text{มิลลิกรัม/100กรัม} = \frac{C \times V \times 90.03 \times 100}{W}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นที่ได้จากการไทเทรต (โมล/ลิตร)

V = ปริมาตรตัวอย่างผักที่เตรียมเท่ากับ 250 มิลลิลิตร

W = น้ำหนักผักตัวอย่าง (กรัม)

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเวลาในการชุบเส้นลวดเงินด้วยสารละลาย KCl อิมมัว ถ้าใช้เวลาชุบมากจะมี AgCl มาเคลือบอยู่บนเส้นลวดเงินทำให้มีความหนาและพื้นผิวที่เรียบมากกว่าและมีประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl ดีกว่าการชุบที่ใช้เวลาน้อย ส่วนความเข้มข้นและปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่ใช้มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของ

อุณหภูมิของระบบการไทเทรต จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมได้เวลาในการชุปเส้นลวดเงิน ที่เวลา 9 นาที ใช้กรดซัลฟิวริก 2.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และไทเทรตสารที่อุณหภูมิห้อง ระบบที่สร้างขึ้นมานี้ มีข้อดีคือใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีราคาถูกคือขั้วไฟฟ้าทำงานจากไส้ดินสอ และ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl ที่สร้างขึ้นเอง ทำให้ต้นทุนการวิเคราะห์ต่ำเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ ด้วยเครื่องมือใช้สูง และระบบนี้เป็นการไทเทรตระดับไมโครลิตร จึงใช้สารเคมีปริมาณน้อย ลดของเสียที่เหลือจากการทดลอง การทดลองไม่ยุ่งยาก เครื่องมือยังมีขนาดเล็กสามารถ เคลื่อนย้ายได้ง่าย นอกจากนี้ในการไทเทรตสามารถหาจุดยุติได้อย่างชัดเจนจากการวัดศักย์ ไฟฟ้าและใช้กราฟไทเทรตแบบอนุพันธ์อันดับหนึ่งในการหาจุดยุติจะตรงกับจุดสมมูลที่สาร ทำปฏิกิริยาพอดี ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลถูกต้องกว่าการใช้อินดิเคเตอร์ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ระบบนี้ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณออกซาลेटในตัวอย่างผักได้ผลถูกต้องและแม่นยำ สูง ให้ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ระหว่างร้อยละ 92.7 - 113.3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ น้อยกว่าร้อยละ 5 นอกจากนี้สามารถนำระบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับการไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ อื่น ๆ ได้ โดยต้องศึกษาปฏิกิริยาและหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านสารเคมี เครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่รวมทั้ง เงินสนับสนุนในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Cao, S.L., Ye, M.L., Lv, W.D., Pan, G.W., Zhang, T.T., Hu, Z.Y., Liang, L.N. & Zhu, Y. (2012). Determination of common anions in oxalate by ion chromatography couple with UV photolysis pretreatment. **Chinese Chemical Letters**. 23, 1263-1266.
- Charoenkiatkul, S., Wasantwisut, E., Rojroongwasinkul, N., Judprasong, K. & Kettawan, A. (2004). Study of calcium bioavailability in selected Thai food by estimation from chemical composition. Research report submitted to Thailand Research Fund.
- Chongchaitet, N. (2006). **Kerd Khwam ru reuang oxalate**. Bureau of Nutrition (BoN), Department of Health, Ministry of Public Health. (in Thai)
- Hu, H.C., Jin, H.J. & Chai, X.S. (2014). A practical headspace gas chromatographic method for the determination of oxalate in bleaching effluents. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 20, 13-16.

- Khiawsaart, K., Jaidee, P., Ramangthong, J. (2013). **Determination of ethanol in alcoholic beverage by a microscale potentiometric redox titration.** Bachelor of Science Program in Chemistry. Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University. (in Thai)
- Kusuma, D.S., Vanhanen, L.P. & Savage, G.P. (2016). Evaluation of extraction parameters for total oxalate determination in spinach using design of experiment analysis. **Journal of Food Composition and Analysis.** 51, 9-14.
- Nakorn, B. (2003). **Determination of Oxalic acid in Thai vegetables by Precipitation of Calcium Oxalate.** Ubonratchatani : Faculty of Science and Technology, Ubonratchatani Rajabhat University. (in Thai)
- Nelson, B.C., Rockwell, G.F., Campfield, T., O'Grady, P., Hernandez, R.M. & Wise, S.A. (2000). Capillary electrophoretic determination of oxalate in amniotic fluid. **Analytica Chimica Acta.** 410, 1-10.
- Nguyễn, H.V.H., Lê, H.M. & Savage, G.P. (2018). Effects of maturity at harvesting and primary processing of cocoa beans on oxalate contents of cocoa powder. **Journal of Food Composition and Analysis.** 67, 86-90.
- Piwpuan, N. (2014). Calcium oxalate crystals and oxalate content in some vegetables from Nong Khai Province. **KKU Science Journal.** 42(4), 820-829. (in Thai)
- Pourreza, N., Lotfizadeh, N. & Golmohammadi, H. (2018). Colorimetric sensing of oxalate based on its inhibitory effect on the reaction of Fe(III) with curcumin nanoparticles. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.** 192, 251-256.
- Shi, L., Arntfield, S.D. & Nickerson, M. (2018). Changes in levels of phytic acid, Lectins and oxalates during soaking and cooking of Canadian pulses. **Food Research International.** 107, 660-668.
- Sriboonlue, P., Prasongwatana, V. & Suwanatrai, S. (1994). **Calcium oxalate content of vegetables frequently consumed in Khon Kaen province.** Khon Kaen: Khon Kaen University. (in Thai)

.....

ผีล้านนาในมิติการสร้างเสริมสุขภาพชุมชน

LANNA SPIRIT ON DIMENSIONAL COMMUNITY HEALTH

สามารถ ใจเตี้ย^{1*} และ วรางคณา สินธูยา²

^{1,2}ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อมชุมชน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

Samart Jaitae^{1*} and Warangkana Sintuya²

^{1,2}Center of Excellence in Public Health Innovation and Community Environment, Faculty of Science
and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300

*E-mail: samartcmru@gmail.com

Received: 2018-10-04

Revised: 2019-01-20

Accepted: 2019-01-30

บทคัดย่อ

ความเชื่อเกี่ยวกับผีในชุมชนล้านนาเป็นกระบวนการภายใต้ลัทธิบูชาบรรพบุรุษที่สะท้อนทางเลือกในการสร้างเสริมสุขภาพชุมชน ผีในมิติวัฒนธรรมสุขภาพชุมชนเป็นการช่วยเหลือ ค้ำครอง ป้องกันชุมชนเมื่อประสบปัญหาและต้องการความช่วยเหลือและเป็นทางเลือกในการสร้างเสริมสุขภาพจิตของผู้คนภายใต้ความศรัทธาและความเชื่อ ส่วนผีในมิตินิเวศวัฒนธรรมเพื่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรพื้นบ้านเป็นการนำภูมิปัญญาพื้นบ้านมาจัดการทรัพยากรธรรมชาติด้วยกฎเกณฑ์ที่ชุมชนเป็นผู้กำหนด

คำสำคัญ: ผีล้านนา การสร้างเสริมสุขภาพชุมชน

ABSTRACT

Spiritual beliefs of Lanna community is an ancestor worship heritage that guides of community health promotion. Spiritual on cultural health was support when they face with problems and are in need of supported and the alternative to mental health of people under faith and beliefs. Furthermore, in terms of the cultural ecology

to conserve for local medicinal plants resource, spiritual beliefs are local wisdom of managing the natural resources base on rules agreed by community members.

Keywords: Lanna Spirit, Community Health Promotion

บทนำ

ระบบการดูแลสุขภาพชุมชนได้พัฒนาให้สอดคล้องกับวิถีชีวิตของผู้คนในแต่ละพื้นที่ ระบบเหล่านี้เป็นภูมิปัญญาที่มีการก่อเกิดและปรับตัวจนมีลักษณะเฉพาะและต่างก็มีความสำคัญต่อความมั่นคงทางสุขภาพและการดำรงชีวิตของแต่ละชุมชน ในประเทศไทย การดูแลสุขภาพตั้งแต่อดีตตั้งอยู่บนพื้นฐานทางวัฒนธรรมซึ่งประกอบด้วยวิถีคิดและความเชื่อในแต่ละภูมิภาคจึงมีระบบการดูแลสุขภาพเฉพาะที่มีความหลากหลายแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาคที่อาจจะอธิบายองค์ความรู้ที่เกิดจากการปฏิสัมพันธ์ของผู้คนและการพึ่งพิงอาศัยกันระหว่างมนุษย์ สัตว์ พืชและธรรมชาติในระบบนิเวศเดียวกัน (David, 2008) ในแต่ละชุมชนจึงมักจะมีระบบสุขภาพอยู่ 3 ส่วน คือ การแพทย์และสาธารณสุขแผนปัจจุบัน (Professional Sector) การแพทย์ทางเลือก การแพทย์แผนไทย และการแพทย์พื้นบ้าน (Folk Sector) และการดูแลสุขภาพของประชาชน (Popular Sector) นอกจากนี้ระบบสุขภาพชุมชนยังเป็นระบบความสัมพันธ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ โดยมีขอบเขตและความหมายที่กว้างขวางเกี่ยวข้องกับเหตุและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลเกี่ยวข้องกับสุขภาพทั้งปัจจัยด้านบุคคล ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม และปัจจัยด้านระบบบริการสุขภาพซึ่งส่งผลให้ปัญหาสุขภาพชุมชนมีความซับซ้อนในกระบวนการดำเนินงานเพื่อแก้ไขปัญหาจึงต้องพยายามแสวงหาวิธีการใหม่ภายใต้สภาพความเป็นจริงในแต่ละชุมชน (Richard, Rebecca and Samuel, 2014) สอดคล้องกับภูมิปัญญาการดูแลสุขภาพของชุมชนในเขตภาคเหนือที่มีความเชื่อเกี่ยวกับชีวิตและสุขภาพของผู้คนที่ประกอบขึ้นด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 2 อย่าง คือ รูปกับนามหรือส่วนของธาตุ กับส่วนของขวัญ ซึ่งสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดเมื่อใดที่แต่ละส่วนบกพร่องหรือความสัมพันธ์ระหว่างกายกับใจไม่สมดุลก็ก่อให้เกิดความเจ็บป่วยขึ้นได้ เมื่อเจ็บป่วยผู้คนจะแสวงหากระบวนการรักษาที่เชื่อมโยงกับธรรมชาติภายใต้ข้อกำหนดของแต่ละพื้นที่ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะส่งผลต่อการมอง “สุขภาพ” ในฐานะที่เป็นทั้งหมด (Totality) ของการมีชีวิตรอยู่ของบุคคลจึงเป็นทฤษฎีแบบองค์รวมของเรื่องสุขภาพ (Holistic View of Health) ซึ่งมาจากการมีปฏิสัมพันธ์กันของปัจจัยทางกายภาพ ทางจิตใจอารมณ์ สังคม จิตวิญญาณและสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ผู้คนมีแนวทางในการดูแลรักษาสุขภาพที่เหมาะสม (Mcevoy and Duffy, 2008)

ผีในมิติการสร้างเสริมสุขภาพชุมชนล้านนา

ความเชื่อเกี่ยวกับผีเป็นกระบวนการภายใต้ลัทธิบูชาบรรพบุรุษ (Ancestor Worship) คติความเชื่อเกี่ยวกับผีจึงเป็นความเชื่อของมนุษย์ที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณและเป็นพัฒนาการของความเชื่อระดับหนึ่งของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้างและสภาพของสังคม คำว่าผีตามองค์ประกอบทางความหมายภาษาไทยถิ่นเหนือมีความแตกต่างกันใน 8 มิติ ได้แก่ การกระทำ การปรากฏ เพศ การแสดงออก แหล่งที่อยู่ ที่มาของการตาย สิ่งที่มีมนุษย์กระทำให้และอาหาร ความเชื่อเรื่องผีจึงมีความสัมพันธ์กับประชาชนในภาคเหนืออย่างใกล้ชิดนับตั้งแต่ระดับครอบครัวจนกระทั่งระดับโครงสร้างทางสังคม มีหน้าที่ในการควบคุมทางสังคมเพื่อให้สังคมดำรงอยู่อย่างราบรื่นและปกติสุข (Boonmalert, 2011) ดังนั้นการสร้างเสริมสุขภาพชุมชนภายใต้ความเชื่อ ความศรัทธาสืบเนื่องจากรวมชาติ (ผี) จึงเป็นแนวคิดที่สะท้อนให้เห็นถึงความรู้ความเข้าใจวิถีชีวิตที่ผูกพันกับธรรมชาติที่สัมพันธ์กับประสบการณ์และการเรียนรู้ของประชาชนทั้งนี้การดำเนินกิจกรรมตามความเชื่อดังกล่าวจะเชื่อมโยงกับครอบครัวและญาติมิตรที่ต้องพึ่งพาเกื้อกูลและเอื้ออาทรซึ่งกันและกันภายใต้โครงสร้างชุมชนและสิ่งแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ลักษณะ เช่น

1. ผีในมิติวัฒนธรรมสุขภาพชุมชน แนวคิดนี้ให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพที่เป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมและมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันกับลักษณะทางวัฒนธรรมและการจัดระเบียบทางสังคม มุมมองที่นักมานุษยวิทยาใช้ศึกษาวัฒนธรรมสุขภาพจะประมวลจากประวัติศาสตร์แนวคิดแต่ละยุคสมัยของมานุษยวิทยา ทั้งนี้มนุษย์ในแต่ละสังคมต่างก็มีวิถีเอาชนะโรคภัยไข้เจ็บที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบความเชื่อ สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และการติดต่อแลกเปลี่ยนกับวัฒนธรรมอื่น วิธีการเอาชนะความเจ็บป่วยนี้ค่อยพัฒนามาจนกลายเป็นระบบการดูแลสุขภาพของชุมชนในสังคมไทยในอดีตการดูแลสุขภาพและรักษาความเจ็บป่วยมักจะเกี่ยวข้องกับความเชื่อในอำนาจลึกลับ อำนาจเหนือธรรมชาติ และภูตผีปีศาจ ผ่านกิจกรรม เช่น การเซ่นไหว้ การบวงสรวง โดยหัวหน้าครอบครัวหรือหัวหน้าชุมชนเป็นผู้นำ ส่วนการถ่ายทอดองค์ความรู้เป็นการถ่ายทอดผ่านความสัมพันธ์ทางเครือญาติ ซึ่งการดูแลสุขภาพชุมชนน่าจะใช้แนวทางนี้มาเป็นแนวทางในการดูแลสุขภาพประชาชนโดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนา (Busisiwe, 2005) รูปแบบการดูแลสุขภาพดังกล่าวข้างต้นยังส่งผลต่อมุมมองสุขภาพในมิติวัฒนธรรมสุขภาพล้านนาที่มองจากมุมมองสุขภาพดี (Good health approach) ตลอดช่วงชีวิตตั้งแต่เกิดจนเสียชีวิตซึ่งไม่ได้มองสุขภาพในเชิงเจ็บป่วย (Sick health approach) ที่มักจะมองจากโรคหรือการบำบัดรักษาเป็นหลัก เมื่อประชาชนที่มีปัญหาทางด้านสุขภาพไม่ได้รับการตอบสนองต่อความต้องการหรือยังไม่พอใจการใช้บริการจากโรงพยาบาลหรือสถานบริการด้านสาธารณสุขก็จะเลือกมารักษากับหมอเมือง (หมอพื้นบ้าน) โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจ เช่น ความเชื่อ

ความศรัทธา ฐานะเศรษฐกิจสังคม สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้หมอเมืองแต่ละคนก็จะมีระบบการเรียนรู้ การสั่งสมประสบการณ์ในการดูแลสุขภาพผ่านประสบการณ์ตรงหรือระบบเครือข่ายโดยใช้วิธีการถ่ายทอดความรู้จากคนรุ่นหนึ่งไปสู่คนอีกรุ่นหนึ่งในลักษณะตัวต่อตัว อาศัยการจดจำ มากกว่าการจดบันทึก และผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดจะเลือกสรรดัดแปลงเพิ่มเติมประยุกต์องค์ความรู้เหล่านั้นให้สอดคล้องกับประสบการณ์ ความถนัด และสถานการณ์สิ่งแวดล้อมเฉพาะตน (Thien-Ngam, 1999)

สำหรับประชาชนในภาคเหนือแล้วความเชื่อในการนับถือผีคงจะเป็นความเชื่อดั้งเดิมที่มีอยู่มาก่อนที่พระพุทธศาสนาจะเผยแพร่เข้ามา ทั้งนี้ในโลกทัศน์ของชาวล้านน่านั้นมีความเข้าใจว่าโลกมนุษย์กับโลกของผีนั้นซ้อนทับกันอยู่และมีความเกี่ยวข้องกัน โดยเชื่อว่าผีนั้นมีจำนวนมากมายในทุกหนทุกแห่งทั้งในเมือง หมู่บ้าน ทุ่งนา แม่น้ำ เหมืองฝาย ป่า ภูเขา และในบ้านเรือนจะมีผีปกปักรักษาอยู่ ผีนั้นมีทั้งที่ให้คุณและให้โทษแก่มนุษย์เป็นทั้งมิตรกับมนุษย์ในขณะเดียวกันก็สามารถจะดลบันดาลให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ได้ แต่การนับถือผีส่วนใหญ่ มักจะเป็นผีที่ให้การปกป้องคุ้มครองพิทักษ์รักษาและอำนวยความสะดวกดีให้แก่มนุษย์ด้วยมหิทธานุภาพของผีเอง ในกลุ่มผีดีจะมีลำดับขั้นตอนตามอำนาจและหน้าที่ในอาณาเขตของตนภาพแห่งผียังสะท้อนให้เห็นถึงโครงสร้างทางการเมืองและสังคมของชุมชนในภาคเหนือ เช่น ผีเสื้อบ้าน เสื้อบ้านตามความเชื่อของผู้คนในภาคเหนือเป็นดวงวิญญาณที่ทำหน้าที่ปกปักรักษาสมาชิกในหมู่บ้าน สถิตอยู่ในเรือนล้านนาขนาดเล็กกลางหมู่บ้าน เรียกว่า หอเสื้อบ้าน ตามความเชื่อล้านนาเมื่อผู้คนพากันมาตั้งบ้านเรือนกันใหม่จะพากันตั้งศาลประจำหมู่บ้านด้านหน (ทิศ) เหนือของหมู่บ้านและสถานที่ไกลออกไปก็จะกำหนดให้เป็นป่าช้าสถานที่เผาศพหรือฌาปนกิจศพของผู้คนในหมู่บ้านที่เสียชีวิต เรียกกันว่า ศาลหอผีเสื้อบ้าน คำว่า “เสื้อ” จึงเป็นเสมือนสิ่งปกคลุม หุ้มห่อให้ความอบอุ่นเกิดกำลังใจแก่ผู้คนทั้งหลายในหมู่บ้าน คนในหมู่บ้านจะอัญเชิญเสื้อบ้านมาอยู่ ณ หอผีที่ตั้งหรือที่ดอนประจำหมู่บ้านหรือจุดใดจุดหนึ่ง อันถือเป็นพื้นที่ศักดิ์สิทธิ์ทำหน้าที่เป็นหลักหมายหรือศูนย์รวมพลัง ทางจิตใจของหมู่บ้าน (Sookawat & Untaya, 2016) เสื้อบ้านจึงมีหน้าที่และบทบาทสำคัญต่อการปกปักรักษาคุ้มครองสมาชิกในหมู่บ้าน การประกอบพิธีกรรมชาวบ้านในหมู่บ้านก็จะร่วมกันนำเอาสิ่งของต่าง ๆ ทั้งอาหารคาว หวาน ดอกไม้ ธูปเทียน มารวมกันจัดทำเป็นเครื่องสักการบูชา ผู้นำพิธีประจำหมู่บ้านก็จะกล่าวอัญเชิญเพื่อขอให้ผีเสื้อบ้านช่วยปกปักรักษาให้ผู้คนในหมู่บ้านให้มีความร่มเย็นเป็นสุขปราศจากภัยอันตรายและโรคภัยไข้เจ็บ พืธีกรรมการเลี้ยงผีเสื้อบ้านจึงเป็นกลไกในการควบคุมดูแล จัดระเบียบกฎเกณฑ์ของชุมชนที่แฝงไว้ด้วยกลไกในการควบคุมดูแลและจัดการหมู่บ้าน จัดระเบียบคนในชุมชนหรือเป็นเสมือนโครงสร้างหนึ่งที่ทำหน้าที่จัดระบบความสัมพันธ์ของคนในชุมชน ให้ชาวบ้านประพฤติปฏิบัติตามกฎหมายเกณฑ์เพื่อการดำรงชีวิตร่วมกันในหมู่บ้าน

นอกจากนี้ยังมีการเลี้ยงผีอันเป็นการนำปัญหาสุขภาพมาต่อรองกับความเชื่อเรื่องผี โดยการเลี้ยงอาหารแก่ผีตามที่ต้องการโดยมีจุดประสงค์แตกต่างกันออกไป เช่น ทำให้ผีพอใจ และจะไม่มารบกวนคนอื่นหรือเพื่อให้ผีหายโกรธที่คนทำให้ผีไม่พอใจหรือคนประพฤติในสิ่งที่ผิดควรลงประเพณีและเพื่อให้ผีพอใจและจะให้ความคุ้มครองตลอดจนบันดาลให้เกิดสิ่งที่ต้องการแก่คน การเลี้ยงผีจะกระทำในกรณีรักษาพยาบาลและการเลี้ยงผีเพื่อแสดงความเคารพบูชาหรือความคุ้มครองป้องกันในกรณีที่เกิดการเจ็บป่วย กระบวนการจะเริ่มต้นจากชาวบ้านจะไปถาม “เมื่อ” ซึ่งเป็นวิธีการเสี่ยงทายเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความไม่สบายหรือเจ็บป่วยผ่านคนทรงเจ้าที่เชื่อว่าสามารถติดต่อกับเจ้าเพื่อให้เจ้ามาสังเกตตนเองและช่วยเหลือมนุษย์ เมื่อเจ้าลงประทับจะถามญาติผู้ป่วยที่มาหาว่ามีเรื่องอะไร เมื่อทราบเรื่องราวแล้วเจ้าจะออกไปตรวจตราดูที่บ้านของผู้ป่วย ตลอดจนอาการผู้ป่วยว่าเป็นอย่างไร จากนั้นก็จะบอกว่าถูกผีที่นั่นที่นี้ทำให้เกิดความเจ็บป่วย โดยเฉพาะผีตายโหง ผีกะยักซ์ (ผีปอบ) ผีเจ้าที่ และผีเร่ร่อน ไร้สังกัดอื่น ๆ (เจ้าจะเป็นผู้บอกเอง) เมื่อทราบแล้วว่าผีที่กระทำให้เกิดความเจ็บป่วยเป็นผีประเภทใด เจ้าจะบอกให้ญาติเตรียมของเลี้ยง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นลาบเนื้อหมูหรือเนื้อวัวดิบ แกงอ่อม (เนื้อหมูหรือเนื้อวัว) ไก่ต้ม 2 ตัว (โดยไก่ต้องนำไปเตรียมบริเวณที่จะเลี้ยงผีตั้งแต่การฆ่า การชำแหละ และการต้ม) น้ำดื่ม 1 แก้ว เหล้าขาว 1 ขวด กรวยดอกไม้ธูปเทียน และเมี่ยง การเลี้ยงผีมักจะเลี้ยงในตอนพลบค่ำ (ภาษาล้านนาเรียกว่า สะลุ่มสะลิม) ทำโดยใครก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะให้ผู้เฒ่าผู้แก่ในครอบครัวเป็นผู้กระทำพิธี โดยการเลี้ยงจะนำของเลี้ยงไปเลี้ยงผี ณ บริเวณที่ผีสิงสถิตอยู่ (เจ้าจะเป็นผู้บอก) เมื่อวางของเช่นไว้ที่พื้นแล้วคนเลี้ยงจะรอกจนกว่าผีจะอิม (ส่วนมากจะดูจากชั่วระยะเวลารูปหมดก้าน) หลังจากเสร็จพิธีคนเลี้ยงจะเทน้ำและเหล้าในแก้วลงบนพื้น และขอของเลี้ยงจากผีแบ่งให้คนที่ไปเลี้ยงด้วยรับประทาน ณ บริเวณที่เลี้ยง (ห้ามนำกลับบ้าน) และแบ่งบางส่วนวางบนใบตองหรือภาชนะแล้วนำไปวางบนพื้นบริเวณที่เลี้ยง (Jaitae and Sangwong, 2015)

จะเห็นได้ว่าความเชื่อเกี่ยวกับผีในมิติวัฒนธรรมสุขภาพล้านนาจะสอดคล้องกับโครงสร้างทางวัฒนธรรม ประเพณี แนวคิดและจิตวิญญาณในการดำเนินชีวิตของประชาชนที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ประชาชนในชุมชนล้านนายังให้ความสำคัญกับคุณธรรมและจริยธรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณธรรมด้านความกตัญญูต่อพ่อแม่และผู้มีพระคุณ การเคารพนับถือผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ ปรากฏการณ์เหล่านี้ทำให้ชุมชนล้านนามีความหลากหลายของวัฒนธรรมสุขภาพ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้วัฒนธรรมสุขภาพเพื่อการดูแลสุขภาพชุมชนควรก่อเกิดกระบวนการมีส่วนร่วมในการรับรู้ข่าวสารด้านปัญหาสุขภาพในชุมชนและมีส่วนร่วมในกิจกรรมเพื่อการแก้ไขปัญหสุขภาพอย่างแท้จริง และมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหสุขภาพการสูญหายของวัฒนธรรมสุขภาพจากการขยายพื้นที่ชุมชนเมืองที่สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน

2. ฝึนมิติการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พืชสมุนไพรพื้นบ้าน การใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรพื้นบ้านเพื่อการดูแลสุขภาพได้รับการถ่ายทอดจากบรรพบุรุษสืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคนกลายเป็นวัฒนธรรมของชุมชน พืชสมุนไพรพื้นบ้านจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในวิถีการดำรงชีวิตโดยมีหมอสมุนไพรพื้นบ้านปรุงยาสมุนไพรเพื่อการดูแลสุขภาพของประชาชนและจำหน่ายนอกชุมชน รวมถึงมีประชาชนที่พอจะมีความรู้จะเข้าป่าเพื่อหาสมุนไพรมาปรุงเองเป็นตำรับยาต้มซึ่งจะใช้รักษาอาการปวดเมื่อย บำรุงกำลังและรักษาอาการเจ็บป่วยเรื้อรังบางอาการ เช่น เบาหวานและความดันโลหิตสูง สมุนไพรพื้นบ้านหลายชนิดมีสรรพคุณยับยั้งกิจกรรมของแอลกอฮอล์และแอลกอฮอล์โคโคเดสในผู้ป่วยเบาหวาน เช่น สารสกัดฝางซึ่งมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพและโภชนเภสัชในการบำบัดโรคเบาหวานได้ (Chalopagorn & Klomsakul, 2017) พืชสมุนไพรพื้นบ้านหลายชนิดถูกนำมาปลูกทิ้งไว้ตามหัวไร่ปลายนาหรือในบริเวณบ้านเพื่อความสะดวกในการเก็บหา นำมาใช้บริโภคในชีวิตประจำวัน พืชสมุนไพรบางชนิดหายากและเป็นที่ยอมรับใช้กันอย่างแพร่หลายทำให้บางช่วงเวลาเกิดการแก่งแย่งเก็บหาออกจากป่าธรรมชาติจนเกิดกำลังผลิตทำให้ผลผลิตในป่าธรรมชาติลดลงไม่เพียงพอต่อความต้องการและเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ นอกจากนี้ปัญหาการบุกรุกทำลายแหล่งพืชสมุนไพรพื้นบ้านมักจะเกี่ยวข้องกับการไม่ตระหนักถึงคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ของประชาชนในชุมชนบางส่วนไม่รู้จักวิธีการเก็บเกี่ยวพืชสมุนไพรพื้นบ้านที่ถูกต้อง ปราบปรามการนี้ส่งผลต่อพืชสมุนไพรพื้นบ้านบางชนิดที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์หากปราศจากการอนุรักษ์ด้วยการส่งเสริมการปลูก การอนุรักษ์แหล่งสมุนไพรพื้นบ้านและการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม (Jaitae & Na Chai Mai, 2017)

ทั้งนี้ชุมชนล้านนาบางแห่งได้รื้อฟื้นแนวคิดนิเวศวัฒนธรรม (Cultural Ecology) อันเป็นแนวคิดการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติภายใต้ความเชื่อ ความศรัทธาสังเห็นธรรมชาติมาใช้เพื่อการอนุรักษ์แหล่งสมุนไพรพื้นบ้านในป่าธรรมชาติ เช่น ชุมชนพื้นที่ลุ่มน้ำลี้ จังหวัดลำพูนได้นำแนวคิดการบวชป่าซึ่งเป็นพิธีกรรมที่มีรากฐานมาจากวิถีคิดว่าด้วยการต่ออายุให้เจริญยั่งยืนสืบไปตามคติความเชื่อของคนในชุมชน ส่วนที่มาของการ “บวชป่า” มาจากวิถีการห่มจีวรให้กับต้นไม้เช่นเดียวกับการบวชพระส่งผลให้สถานภาพของคนและต้นไม้เปลี่ยนไปนับเป็นการนำความเชื่อทางศาสนามาประยุกต์ใช้ในการดูแลสุขภาพป่าต้นน้ำ การประกอบพิธีจะนิยมทำกันเหมือนงานบุญทั่วไปโดยเจ้าพิธีจะใช้สายสิญจน์ล้อมอาณาบริเวณที่จะบวชต้นไม้แล้วนิมนต์พระสงฆ์มาสวดมนต์เพื่อเป็นสิริมงคลต่อชาวบ้าน ต้นไม้ที่จะทำพิธีการบวชให้จะถูกเลือกตามความเชื่อและเจตนาของชุมชนเองส่วนมากจะเน้นต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ รวมถึงต้นไม้ในป่าที่ผ่านการบุกรุกทำลายเพราะจะสามารถฟื้นคืนสภาพเป็นป่าสมบูรณ์ได้ในเวลาเพียงไม่กี่ปีถ้าไม่ถูกรบกวนอีก ประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับการบวชป่ามี ดังนี้

เป้าหมายของการบวชป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำลุ่มรักษาป่าไม่ให้เกิดความอุดมสมบูรณ์อันจะส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำที่ประชาชนใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรและการผลิตอาหาร ชาวบ้านเชื่อว่าผืนป่าที่ผ่านพิธีบวชเป็นเสมือนดินแดนศักดิ์สิทธิ์ ไม่ว่าผู้ใดก็ไม่อาจเข้าไปทำลายได้ ทำให้ต้นไม้มีโอกาสฟื้นความชุ่มชื้นแก่พื้นที่ป่าได้เต็มที่ รวมถึงต้นน้ำลำธารที่เกิดจากป่าต้นน้ำดังกล่าวก็จะมีน้ำไหลตลอดปี อีกทั้งจะมีเทวาอารักษ์ช่วยปกป้องให้ชาวบ้านอยู่เย็นเป็นสุข ดังนั้นการบวชป่าจึงเป็นกุศโลบายของชุมชนที่ร่วมมือกันรักษาความอุดมสมบูรณ์ของป่าธรรมชาติไว้ให้กับลูกหลาน เป็นการเรียกร้องสิทธิของชุมชนในการดูแลรักษาป่าและแหล่งต้นน้ำลำธาร พิธีบวชป่าจึงเป็นความปรารถนาที่ดีที่บรรพบุรุษส่งต่อไปสู่คนรุ่นหลัง ชื้อห้าม (กุศโลบาย) เมื่อบวชป่าแล้วห้ามผู้ใดตัดต้นไม้ เผาป่า ผู้ใดฝ่าฝืนจะมีอันเป็นไปเครื่องเช่นไฉนในพิธีการบวชป่าจะประกอบด้วยผ้าเหลือง สายสิญจน์ ข้าวตอก กรวยดอกไม้ ธูปเทียน น้ำมันต์ น้ำส้มป่อย อาหารคาว (หัวหมู) อาหารหวาน เหล้าขาว ผลไม้ ข้าวเหนียว 1 บัณ กล้วยสุก 1 ลูก โดยสถานที่ประกอบพิธีจะอยู่บริเวณพื้นที่ป่าชุมชนรอบชุมชน และช่วงเวลาประกอบพิธีกรรมเป็นเดือนเมษายน – มิถุนายน การบวชป่าจึงเป็นแนวทางนิเวศวัฒนธรรมที่มีรากฐานมาจากความเชื่อ ความศรัทธาสิ่งเหนือธรรมชาติของชุมชนซึ่งส่งผลต่อกฎ กติกาของชุมชนในการเข้าไปใช้ประโยชน์ความหลากหลายของพืชสมุนไพรพื้นบ้านในป่าธรรมชาติ เช่นเดียวกับการบวชป่าและเลี้ยงผีขุนน้ำในพื้นที่บ้านทาป่าเปา ตำบลทาปลาดุก อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูนซึ่งเป็นประเพณีที่ชาวบ้านสืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคนการประกอบพิธีจะทำทุก 2 ปี โดยจะทำการห่มจีวรให้กับต้นไม้เช่นเดียวกับการบวชพระแนวคิดนี้เป็นการนำความเชื่อทางศาสนาพุทธมาประยุกต์ใช้ในการดูแลรักษาป่าต้นน้ำ อย่างไรก็ตามขั้นตอนและวิธีการบวชป่าไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว (Poungngamchuen, Supa-udomlerk Trirat & Rungkawat, 2013)



รูปที่ 1 การบวชป่า

นอกจากนี้ยังมีความพยายามของชุมชนในล้านนาอีกหลายแห่งที่พยายามนำแนวคิดนิเวศวัฒนธรรม เช่น ฝั่เลื้อดงที่ดูแลคุ้มครองรักษาดงป่าไม้ ฝั่นี้จะอาศัยอยู่ตามดงป่าที่มีต้นไม้ขึ้นหนาแน่นชาวบ้านเชื่อว่าในดงป่าจะมีฝั่เลื้อดงคุ้มครองอยู่จึงสร้างหอฝั่เพื่อไม่ให้ฝั่เลื้อดงต้องเร่ร่อนไปอยู่ที่อื่น ทุกปีจะประกอบพิธีกรรมและถวายเครื่องเซ่นไหว้เพื่อเป็นการขอขอบคุณที่ให้ดงป่าไม่มีความอุดมสมบูรณ์ และบางชุมชนได้ร่วมกันจัดกิจกรรมการเสริมสร้างและพัฒนาองค์ความรู้ด้านนิเวศวัฒนธรรมสู่การปฏิบัติเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่แหล่งสมุนไพรพื้นบ้านผ่านการเรียนรู้ในสถานศึกษา

บทสรุป

ฝั่ในมิติสุขภาพชุมชนทั้งฝั่ร้ายและฝั่ดีได้สะท้อนความเชื่อและการนับถือฝั่อันเป็นระบบอำนาจของชุมชนที่ใช้ขัดเกลา และควบคุมความสัมพันธ์ของคนในชุมชนล้านนาและก่อเกิดคุณค่าที่ทำให้สมาชิกในชุมชนมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมสร้างเสริมสุขภาพชุมชน กระบวนเหล่านี้ยังเป็นภูมิปัญญาด้านสุขภาพล้านนาที่สะท้อนการใช้ชีวิตของผู้คนที่เชื่อมโยงกับทรัพยากรธรรมชาติเมื่อเผชิญปัญหาใด ๆ ทางเลือกในการแก้ไขปัญหา ก็มักจะต้องพึ่งพาธรรมชาติทั้งการตอรอง การขอร้อง และการแลกเปลี่ยน ผ่านสัญลักษณ์นิยมทั้งสถานที่ ตัวบุคคล และวัตถุ ภายใต้ความศรัทธาส่วนบุคคลที่เกิดจากการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์โดยมุ่งหวังให้ปัญหาที่เผชิญอยู่ได้รับการแก้ไข

REFERENCES

- Boonmalert, P. (2011). Spirit Terms and Beliefs in Northern Thai Dialect. *Veridian E-Journal SU*. 4(1), 587- 604
- Busisiwe, P. N. (2005) . Models of Community/Home-Based Care for People Living With HIV/AIDS in Southern. *Africa. Association of Nurses in AIDS care*.16 (3),33 - 40.
- Chalopagorn, P. & Klomsakul, P. (2017). α - Amylase and α - Glucosidase Inhibitory Active of Ceasalpinia Sappan, Ficus Foveolata and Eurycoma Longifolia Extracts. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*. 12 (1), 63 – 73.
- David, R. W. (2008). *The Wisdom of Whores: Bureaucrats, Brothels and the Business of AIDS*. New York: W. W. Norton & Co.

- Jaitae, S. & Sangwong, S. (2015). Evaluation of Folk Science Lesson Plans about Lanna local for HIV/AIDS patient Health Promotion. **Journal of Thai Traditional and Alternative Medicine**. 13(1), 14 – 22 .
- Jaitae, S. & Na Chai Mai, N. (2017). Factors Predicting Utilization of Medicinal Plants of People in Li Watershed, Lumphun Province. **Ratchaphruek Journal**, 15 (3), 70 - 78
- Mcevoy, L. & Duffy, A. (2008). Holistic practice – A concept analysis. **Nurse Education in Practice**. 8 (6), 412 – 419.
- Poungngamchuen. J., Supa-udomlerk Trirat, S. & Rungkawat, N. (2013). Participatory Development of the People in Community Forest Management Model: A Case Study of Baan Tha Pha Pao, Tha Pra Duk Sub-district, Maetha District, Lampun Province. **KMUTT Research and Development Journal**. 36 (2), 215 -234.
- Richard A., Rebecca, B. Samuel F.P. (2014). What is “community health” Examining the meaning of an evolving field in public health. **Preventive Medicine**. 67 (Supplement 1), S58 - S61
- Sookawat, B. & Untaya, S. (2016). Village Guardians, Village Pillars, Temples, Relationship Negotiation, and Supernatural Power-Based Construction of Northern Regional Ethnic Identity to Become a Cultural Citizen. **Rommayasan**. 14(1), 43 - 54.
- Thien-Ngam, T. (1999). **The Study of Healing Knowledge of “Lanna” Traditional Medicine : A Case Study of Doctor Pinkaew Tun-Nuan**. Master. Arts Program in Cultural Studies, Mahidol University.
-

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน : เทคโนโลยีชีววิถีเพื่อการอนุรักษ์ดิน
และการจัดการขยะอินทรีย์ในประเทศไทย

VERMICOMPOSTING: BIOLOGICAL TECHNOLOGY
FOR SOIL CONSERVATION AND ORGANIC WASTES MANAGEMENT
IN THAILAND

พิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร^{1*} และ อุทาน บุรณศักดิ์ศรี²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (ชีววิทยา) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สุพรรณบุรี 72130

²สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สุพรรณบุรี 72130

Pitchya Tangsombatvichit^{1*} and Utharn Buranasaksee²

¹Department of Science (Biology) Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology
Suvarnabhumi, Suphanburi, 72130

²Department of Computer Science Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology
Suvarnabhumi, Suphanburi, 72130

*E-mail: pitchya.t@rmutsb.ac.th

Received: 2018-10-30

Revised: 2018-12-07

Accepted: 2019-01-10

บทคัดย่อ

การทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนในประเทศไทยเป็นเทคโนโลยีที่ยั่งยืนสำหรับการกำจัดของเสียทางการเกษตรและสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นกระบวนการทางธรรมชาติในการรีไซเคิลสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วเพื่อเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักที่อุดมด้วยสารอาหารโดยใช้ไส้เดือนสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ภายใต้สภาวะมีอากาศ ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนเป็นผลิตภัณฑ์ปลอดสารพิษที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีต้นทุนต่ำ ใช้เครื่องจักรน้อย ใช้แรงงานต่ำในระหว่างกระบวนการ กระบวนการนี้ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงโครงสร้างดินที่เสียให้ดีขึ้น ดังนั้นเทคนิคนี้จึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่ดีและง่าย ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรถูกนำมาทดสอบเพื่อค้นหาวัดสุทางการเกษตรที่ดีที่สุดสำหรับผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มี

สารอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชปริมาณสูง และมีจุลินทรีย์ที่ดีที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช โดยการเพิ่มฮอร์โมน สดทำยา กระบวนการทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนช่วยเกษตรกรยุคใหม่ในการบริหารจัดการของเสียอินทรีย์และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อีกทั้งเพิ่มความปลอดภัยของผลผลิตทางการเกษตรและสุขภาพของผู้บริโภคในประเทศไทย

คำสำคัญ: เทคโนโลยีชีววิธี ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ขยะอินทรีย์ เป็นมิตรกับธรรมชาติ

ABSTRACT

In Thailand, vermicomposting is an innovative sustainable technology for organic and agricultural waste treatment which is a natural process of quick recycling of organic material into nutrient-rich compost using earthworms such as *Eudrilus eugeniae* under aerobic condition. Vermicompost is an eco-friendly non-toxic product, low cost, less mechanized, easy operation and uses low energy input during processing etc. This process is adopted for the improvement of soil damage. Thus, this technique has become a simpler alternative technology. The vermicompost from various organic wastes was evaluated to find out the best organic raw material for quality vermicompost production that has high essential nutrients for plants and contains good microorganisms that help to grow the plant as a hormones enhancement. Finally, vermicomposting process benefits the organic and agricultural wastes management for smart farmer while improving agricultural safety and consumer health in Thailand.

Keywords: Biological technology, Vermicomposting, Organic wastes, Nature-friendly

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำการเพาะปลูกพืช ไม่ว่าจะเป็นพืชอาหาร พืชประดับ พืชน้ำมัน ด้วยประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้น มีช่วงฝนตก อากาศอบอุ่น และมีดินที่อุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช จึงทำให้มีความหลากหลายทางสายพันธุ์พืชเป็นอย่างมาก พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่ต้องการอาหารเพื่อช่วยในการสร้างพลังงานจากกระบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากพืชมีวงจรชีวิตที่มีชื่อว่า คลอโรฟิลล์ ดังนั้น อาหารของพืช จะได้จากดิน เมื่อมีการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายปีติดต่อกัน สภาพดินที่เคยมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชก็จะถูกนำไปใช้ และลดลงตามลำดับ ดังนั้น มนุษย์จึงคิดที่จะเพิ่มธาตุอาหารในดิน เพื่อชดเชยส่วนที่ถูกใช้ไป ในรูปของสิ่งที่เรียกว่า

“ปุ๋ย” เป็นวัสดุที่เพิ่มธาตุอาหารพืชในดิน จากความฉลาดที่ไม่เฉลียวของมนุษย์ มนุษย์ได้ผลิตปุ๋ยเคมี ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารด้วยโครงสร้างทางเคมี มีใช้สิ่งที่มาจากธรรมชาติ ช่วงแรกที่มีการใช้จะปรากฏผลการเจริญเติบโตของพืชที่ดีและรวดเร็ว เนื่องจากปุ๋ยเคมีถูกสร้างให้ละลายน้ำได้ง่าย แต่ผลเสียที่เกิดขึ้นคือ ปุ๋ยเคมีจะอุดช่องว่างของอากาศภายในดิน ทำให้การระบายน้ำมีปัญหา และเมื่อสะสมไปนาน ๆ จะเกิดเป็นสารตกค้างในดิน และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และระบบนิเวศ ดังนั้น ในปัจจุบันมนุษย์จึงเห็นความสำคัญของทรัพยากรดินมากขึ้น ได้มีการคิดผลิตปุ๋ยที่มาจากธรรมชาติ เพื่อกลับสู่ธรรมชาติ เรียกว่าปุ๋ยอินทรีย์ อาทิเช่น ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินก็เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่มีกระบวนการคิดใช้คุณสมบัติของไส้เดือนดินร่วมกับวิธีการผลิตปุ๋ยหมัก ปุ๋ยที่ผลิตได้จากวัสดุทางธรรมชาติจะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจึงเป็นอีกหนึ่งวิธี ที่จะช่วยพลิกฟื้นสภาพดินให้มีคุณภาพดีจัดเป็นเทคโนโลยีสีเขียวเป็นมิตรต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เพื่อช่วยกำจัดขยะอินทรีย์และได้ปุ๋ยคุณภาพดีใช้ในการทำเกษตรอินทรีย์ การผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินเกิดขึ้นในประเทศต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น เวียดนาม จีน สหรัฐอเมริกา อินเดีย แคนาดา รวมทั้งประเทศไทยด้วย

เทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน

ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินเป็นกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เกิดจากการเปลี่ยนวัสดุอินทรีย์ที่เป็นส่วนเหลือทิ้งมาผ่านขั้นตอนการหมักตามธรรมชาติด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ร่วมกับการทำงานของไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่เหมาะสมของแต่ละสภาพพื้นที่ของประเทศต่าง ๆ เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสำหรับการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ปุ๋ยที่ได้ถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ปรับปรุงโครงสร้างของดินให้มีช่องว่างของอากาศ การระบายน้ำดี รวมทั้งเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดิน เช่นจุลินทรีย์ปฏิปักษ์กับเชื้อก่อโรคพืช ในขณะที่ตัวไส้เดือนดินสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์เนื่องจากมีโปรตีนสูง (Sinha et al., 2010) จากการศึกษาธรรมชาติของไส้เดือนดินและนักวิจัยสนใจศึกษาจึงมีการนำไส้เดือนดินมาเลี้ยงและศึกษาสภาพเลี้ยงให้เหมาะสมเลียนแบบธรรมชาติ เช่น การเลี้ยงในลึนชักไม้ ลึนชักพลาสติก กล่องพลาสติก ถังพลาสติก รวมทั้งกะละมังพลาสติก ภายใต้โรงเรือนปิดป้องกันการโดนแสงแดดจัด ให้ความชื้นและออกซิเจนที่พอเหมาะ (Sharma et al., 2005)

ไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินเป็นสิ่งมีชีวิตที่จัดอยู่ในอาณาจักรสัตว์ ไฟลัมแอนเนลิดา เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ลำตัวกลมยาว มีข้อปล้อง มีชื่อเรียกทั่วไปว่า Earthworm ส่วนชื่อวิทยาศาสตร์นั้นมีความหลากหลายของสายพันธุ์มากถึง 8,000 สายพันธุ์ แหล่งที่พบไส้เดือนดิน มักเป็นกองปุ๋ยหมัก กองมูลสัตว์ บริเวณดินที่ต่าง ๆ ที่มีแหล่งอาหารและความชื้นเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของไส้เดือนดิน (Pathma and Sakthivel, 2012) ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่มี 2 เพศ ในตัวเดียว เวลาผสมพันธุ์จะมีการจับคู่กันของตัวผู้ตัวหนึ่ง และตัวเมียจากอีกตัวหนึ่ง การจับคู่กันและผสมพันธุ์จะเกิดขึ้นกับไส้เดือนดินที่มีการสร้าง ไคเลเทลล์ชัดเจนที่บริเวณส่วนหัว เวลาช่วงกลางคืน ไม่มีแสงและความชื้นสูง จะเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการผสมพันธุ์ หลังจากผสมพันธุ์กันเรียบร้อยแล้ว จะเกิดการสร้างถุงไข่ (cocoon) เป็นที่บรรจุตัวอ่อนของไส้เดือนดินเป็นจำนวนมาก ในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูงจะมีการสร้างถุงไข่ได้มากกว่าช่วงฤดูอื่น ๆ เมื่อไส้เดือนดินฟักออกจากถุงไข่ ลำตัวจะมีลักษณะใส ต่อมาจะเริ่มเจริญเติบโตและพัฒนาสีผิวเป็นสีน้ำตาลแดง สีแดง เป็นระยะวัยก่อนเจริญพันธุ์ แตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ และเริ่มมีการสร้างไคเลเทลล์ชัดเจน ซึ่งเป็นสัญญาณบอกให้รู้ว่าเป็นไส้เดือนดินระยะตัวเต็มวัยพร้อมผสมพันธุ์และขยายพันธุ์ต่อไป เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรวงจรชีวิต (Edwards, 2004)

ไส้เดือนดินสามารถจัดกลุ่มได้ 3 ลักษณะ ตามการอยู่อาศัยในระดับความลึกของชั้นดิน วัดจากระดับผิวดิน ได้แก่ กลุ่มไส้เดือนดินผิวดิน (0 - 5 เซนติเมตร) กลุ่มไส้เดือนดินในดิน (0 - 25 เซนติเมตร) และกลุ่มไส้เดือนดินในชั้นดินลึก (0 - 100 เซนติเมตร) (ตารางที่ 1) ไส้เดือนดินในกลุ่มผิวดิน (Epigeics) เป็นไส้เดือนดินที่เลื้อยมีรงควัตถุ จะเห็นได้ว่าไส้เดือนดินชนิดนี้จะมีสีแดงสีแดงน้ำตาลเหลือง สีน้ำตาลแดง ลำตัวมีขนาดเล็กถึงปานกลาง ยาวประมาณ 2-5 นิ้ว ชอบอยู่บริเวณระดับผิวดินไม่ลึกมาก มีความชื้นสูงตลอดปี ไม่มีการขุดรู ชอบกินอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ กินในปริมาณมาก แพร่พันธุ์ ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว ไส้เดือนดินในกลุ่มนี้ได้แก่ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ ชีตาแร่ แอฟริกันไนท์ คอลเลอร์ บลูเวอร์ม ไทเกอร์เวอร์ม และไส้เดือนดินสีแดง เป็นสายพันธุ์ที่พบในประเทศไทยและถูกนำมาใช้ในการกำจัดขยะอินทรีย์ ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Pathma and Sakthivel, 2012)

ตารางที่ 1 การจัดจำแนกชนิดของไส้เดือนดินตามความชอบอยู่ในแหล่งที่อยู่อาศัยในระดับความลึกของชั้นดิน (Gajalakshmi and Abbasi, 2004)

คุณลักษณะ	ชนิดของไส้เดือนดิน (Earthworm's ecological type)		
	ผิวดิน (Epigeics)	ในดิน (Endogeics)	ชั้นดินลึก (Anecics)
ขนาดรูปร่าง	เล็ก	ใหญ่	ปานกลาง
ความทนทานต่อแสง	น้อย	มาก	ปานกลาง
การเคลื่อนที่ในดิน	คล่องแคล่ว	เชื่องช้า	ปานกลาง
ความชื้นของผิว	มีการสร้างเมือกขึ้น	มีการสร้างเมือกขึ้น	ไม่สร้างเมือกขึ้น
การสร้างเมดลี	มี	ไม่มี	มีน้อย
ปริมาณไข่ต่อรอบ	มาก	น้อย	น้อย
การแพร่พันธุ์	เร็ว	ช้า	ช้า
ช่วงอายุ	ปานกลาง	นานหลายปี	นานหลายปี

บทบาทไส้เดือนดินทางการเกษตร

ปกติไส้เดือนดินถูกพบในดิน หรือกองมูลสัตว์ ใช้เป็นตัววัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน และตรวจสอบการปนเปื้อนของสารเคมีในดิน เรียกว่า ดัชนีชี้วัดทางชีวสิ่งแวดล้อม (Bio-index) ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ และไม่มีสารเคมีตกค้างในดิน จะมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต รวมทั้ง ไส้เดือนดินด้วย เนื่องจากไส้เดือนดินมีไขมันที่สามารถดูดซับสารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืช หรือ โลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน (Paoletti et al., 1991) สายพันธุ์ไส้เดือนดินบางชนิดยังมีความทนทานต่อการได้รับสารเคมีเข้าไปภายในเซลล์อีกด้วย ไส้เดือนดินมีคุณสมบัติชอบชื้นทำให้ดินร่วนซุย เพิ่มช่องว่างในดิน ให้อากาศถ่ายเท การระบายน้ำและการอุ้มน้ำดีขึ้น การละลายของธาตุอาหารเกิดขึ้นได้ง่าย ทำให้รากพืชดูดซึมสารอาหารได้สะดวก การเคลื่อนที่ของไส้เดือนดินจะช่วยพลิกดินกลับจากด้านล่างขึ้นมาด้านบนทำให้ดินด้านบนลงไปด้วยส่วนดินด้านบนจะมีมูลไส้เดือนดินอยู่ เป็นส่วนที่มีธาตุอาหารต่างๆ ของพืช เป็นการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุอาหารในดินเป็นประโยชน์ต่อรากพืชในชั้นใต้ดินได้ดูดธาตุอาหารไปใช้ ด้วยธรรมชาติของไส้เดือนดินที่สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ซากพืช ซากสัตว์ และสารอินทรีย์ต่าง ๆ จึงเป็นประโยชน์ต่อการสร้างธาตุอาหารที่มีโมเลกุลเหมาะสมต่อการที่พืชจะนำไปใช้ได้เลยทันที (Edwards and Bohlen, 1996; Edwards, 2004) รวมทั้งการผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโต หรือ ฮอร์โมนที่พืชต้องการ (PGRs) เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก วิตามินที่จำเป็น จะได้มาพร้อมกับมูลไส้เดือนดิน ซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญ

เติบโตของพืช (Edwards et al., 2011) นอกจากนี้ด้วยระบบการย่อยอาหารของไส้เดือนดินที่มีแบคทีเรียและจุลินทรีย์หลายชนิดอยู่เป็นเชื้อประจำถิ่น เมื่อไส้เดือนดินย่อยสลายอินทรีย์วัตถุแล้วได้เป็นมูลไส้เดือนดินออกมาจะมีการปลดปล่อยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ออกมาบริเวณรากพืชด้วย ป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรค (ตารางที่ 2) (Pathma and Sakthivel, 2012)

ตารางที่ 2 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่พบในปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากไส้เดือนดินสายพันธุ์ต่าง ๆ และการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ (ดัดแปลงจาก Pathma and Sakthivel, 2012)

ชนิดของไส้เดือนดิน	ชนิดของจุลินทรีย์ที่ได้จากมูลไส้เดือนดิน	การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์	อ้างอิง
<i>Lumbricus rubellus</i>	<i>Rhizobium japonicum</i> <i>Pseudomonas putida</i>	กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนพืชเพื่อการเจริญเติบโต	Madsen and Alexander (1982)
<i>L. terrestris</i>	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	ส่งเสริมการสร้างปุ๋ยหมักที่รากของถั่วเหลือง	Rouelle (1983)
<i>Eisenia foetida</i>	<i>Bacillus sp.</i> <i>B. megaterium</i> <i>B. pumilus</i> <i>B. subtilis</i>	ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น <i>Enterococcus faecalis</i>	Vaz-Moreira et al. (2008)
<i>E. foetida</i>	Proteobacteria Bacteroidetes Verrucomicrobia Actinobacteria Firmicutes	ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรค เช่น <i>Colletotrichum coccodes</i> <i>R. solani</i> <i>P. ultimum</i> , <i>P. capsici</i> <i>F. moliniforme</i>	Yasir et al. (2009)
<i>Eudrilus sp.</i> , <i>Eudrilus eugeniae</i>	Free-living N ₂ fixers <i>Azospirillum</i> <i>Azotobacter</i> Autotrophic <i>Nitrosomonas</i> <i>Nitrobacter</i> Ammonifying bacteria	กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนพืชเพื่อการเจริญเติบโต ช่วยตรึงไนโตรเจน ช่วยในการละลายของฟอสเฟต ต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคพืช	Gopal et al. (2009)

วัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสมนำมาผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน

กระบวนการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน เป็นวิธีผลิตปุ๋ยที่ใช้ต้นทุนต่ำ ได้ธาตุอาหารและฮอร์โมนต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณที่พืชต้องการ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมทั้งช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่มาจากแหล่งชุมชน ตลาด แหล่งอุตสาหกรรม แหล่งสถานศึกษา หน่วยงานราชการต่าง ๆ และจากการเกษตร เราสามารถนำขยะอินทรีย์มาใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นในกระบวนการผลิต โดยใช้คุณสมบัติของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องเป็นตัวขับเคลื่อนกระบวนการสร้างปุ๋ยมูลไส้เดือนดินให้เกิดเร็วขึ้น ใช้เวลาในการผลิตเป็นปุ๋ยสั้นขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตปุ๋ยหมัก (Dominguez and Edwards, 2004; Edwards et al., 2011) เนื่องจากในกระเพาะอาหารของไส้เดือนดินจะมีจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์หลายชนิดช่วยย่อยขยะอินทรีย์ต่าง ๆ (Lazcano et al., 2008) ได้แก่ มูลสัตว์ที่ได้จากการทำการเกษตร เช่น มูลวัว มูลไก่ หรือ มูลสุกร วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด กากผลไม้ เปลือกผลไม้หลากหลายชนิด วัสดุเพาะเห็ดที่ทิ้งแล้ว วัชพืช เศษผักที่ทิ้ง เป็นต้น รวมทั้งกระดาษที่ทิ้งแล้วก็สามารถนำมาผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินได้ (Tangsombatvichit et al., 2016) ปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน จัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ คือ มีความชื้น น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30% ความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 5.5 - 8.5 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 dS/m การละลายสมบูรณ์ของปุ๋ย (GI) มากกว่า 80% อินทรีย์วัตถุ (OM) มากกว่าหรือเท่ากับ 20% รวมทั้งธาตุอาหารหลักของพืช คือ ไนโตรเจนทั้งหมด มากกว่า 1.0% ฟอสฟอรัสทั้งหมด มากกว่า 0.5% และ โพแทสเซียมทั้งหมด มากกว่า 0.5% (Prasitket et al., 2005)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร วัชพืช เศษผักผลไม้ ถูกนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่ใช้ไส้เดือนดินช่วยทำงาน พบว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนดินมีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมสภาพดินให้ดี มีธาตุอาหารสำหรับพืชมากกว่าปุ๋ยหมักอินทรีย์ธรรมดา ในระยะเวลาที่ใช้ในการหมักเท่ากัน การผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์ แล้วนำมาใช้ในการปลูกพืช พบว่าช่วยส่งเสริมให้ดินมีความโปร่งร่วนซุย เพิ่มช่องว่างช่วยกักเก็บน้ำในดิน ทำให้จุลินทรีย์ดินบริเวณรากพืชทำงานได้ดี (Bansal และ Kapoor, 2000; Sinha et al., 2010) การนำมูลแพะ ฟางข้าว วัสดุเพาะเห็ด ขี้เลื่อย มาเป็นวัสดุเริ่มต้นในการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน โดยใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Lumbricus rubellus* เป็นสายพันธุ์ที่พบในประเทศมาเลเซีย พบว่า คุณภาพปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ผลิตได้ ให้ค่าธาตุอาหารหลักของพืช เช่น N, P, K, Cu และ Zn รวมทั้งค่า C:N ratio มีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด (Sailila et al., 2010) ในขณะที่ Klangkongsub and Sohsalam (2013) ได้นำไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugenei* มาช่วยในการย่อยเศษวัสดุเหลือทิ้งจากแปลงปลูกมะเขือเทศ เพื่อผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยที่ผลิตได้เมื่อนำไปวิเคราะห์

ให้ค่าธาตุอาหารหลัก N, P และ K สูงกว่าค่าที่กำหนดของปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน และสามารถใช้ปลูกผักกาดขาวจีนและบานชื่นได้คุณภาพดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี หรือแม้กระทั่งพืชอย่าง ผักตบชวา ก็สามารถนำมาผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่มีคุณภาพดีได้ โดย Zirbes et al. (2011) ได้นำมูลสุกรมาผสมกับผักตบชวาในอัตราส่วน 3:1 ผ่านการทำงานของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Perionyx excavatus* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่พบในประเทศเวียดนาม เมื่อวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ย พบว่า ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ผลิตได้ ช่วยส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าว เนื่องจากมีธาตุอาหารพืชได้แก่ N, P, K, Ca และ Mg อยู่ในปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช หรือผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการย่อยจากไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus engeniae* ก็ให้ผลผลิตของปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพดี เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช (Gajalakshmi et al., 2001) วัสดุเพาะเห็ดที่ต้องการทิ้งแล้วก็สามารถนำมาผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินได้ด้วยผ่านกระบวนการทำงานของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia foetida* and *E. andrei* (Tajbakhsh et al., 2008) รวมทั้งขยะที่เป็นกระดาษที่ต้องการทิ้ง ก็สามารถนำมาเป็นวัสดุเริ่มต้นในการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินได้เช่นกัน โดยผ่านการทำงานของไส้เดือนดินสายพันธุ์ชันดินลึก *Lampito mauritii* (Gajalakshmi et al., 2002)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน

กระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการนำไส้เดือนมาช่วยในการย่อยขยะอินทรีย์คือ ความชื้นที่พอเหมาะต่อการดำรงชีวิตของไส้เดือนดินในอาหารหลากหลายชนิดที่เราเลือกมาสร้าง bedding เนื่องจากไส้เดือนดินใช้ผิวหนังและความชื้นในกระบวนการหายใจเพื่อปรับสภาพให้มีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะที่ร้อนหรือหนาวเกินไป ซึ่งความชื้นที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของไส้เดือนดินมีค่าอยู่ที่ 45-60% แต่หากเป็นความชื้นโดยรวมของ bedding สำหรับไส้เดือนดินในการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจะต้องอยู่ในช่วง 70-90% เป็นค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของไส้เดือนดิน อุณหภูมิของสภาพอากาศโดยรวม ในการเลี้ยงไส้เดือนดินก็ควรอยู่ในช่วง 27 - 35 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของไส้เดือนดินด้วย แสงแดดและความร้อนมีผลอย่างมากต่อความเป็นอยู่ของไส้เดือนดิน เนื่องจากตามธรรมชาติไส้เดือนดินชอบอยู่ในที่มีแสงน้อยมาก ดังนั้นหากต้องการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจะต้องหาสถานที่ที่ไม่มีแสงแดดส่องถึง และความร้อนก็มีผลต่อการสูญเสียน้ำและความชื้นในตัวไส้เดือนดิน (Sinha et al., 2010; Tangsombatvichit et al., 2016) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้เป็นส่วนผสมใน bedding สำหรับให้ไส้เดือนดินอยู่ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการมีชีวิตรอดของไส้เดือนดิน เนื่องจาก pH ที่ไส้เดือนดินสามารถอยู่รอดได้ตามธรรมชาติอยู่ในช่วง 6 - 8 (Edwards et al., 2011)

สรุป

ประโยชน์จากการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน

ในประเทศไทย ปัจจุบันขยะอินทรีย์มีปริมาณมาก นอกจากการฝังกลบในดินแล้ว ก็ยังถูกนำมาผลิตปุ๋ยหมักอินทรีย์ กระบวนการทำปุ๋ยหมักยังคงให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อย และอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในปุ๋ย เมื่อมีการวิจัยการผลิตปุ๋ยหมักโดยการขับเคลื่อนของไส้เดือนดิน กลับพบความมหัศจรรย์ว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้น สามารถลดปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ เช่น *Escherichia coli* fecal coliform และ *Salmonella* sp. เป็นต้น (Dominguez and Edwards, 2004) นั้นหมายความว่า ปุ๋ยหมักที่ได้จากเจ้าไส้เดือนดินนั้น ไม่เพียงแต่ลดปริมาณขยะอินทรีย์จำนวนมากแล้ว ยังส่งผลให้ปุ๋ยลดการปนเปื้อนของเชื้อโรค เมื่อนำปุ๋ยไปใช้กับพืช พืชก็จะไม่มีการติดเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคทางดินอาหารที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค เจ้าไส้เดือนดินยังมีความสามารถในการกระตุ้น การทำงานของแบคทีเรียในดินที่ทำหน้าที่ย่อยสลายซากพืช (Decomposer) ได้อีกด้วย (Sinha et al., 2010) และประโยชน์หลักของปุ๋ยหมักที่ผ่านการทำงาน of เจ้าไส้เดือนดินนั้น คือได้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณสูง อาทิเช่น N P และ K เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชอย่างเห็นผลชัดเจน (Tangsombatvichit et al., 2016) รวมทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนดินยังมีธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมที่พืชต้องการ ปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพของดิน คือ มีความร่วนซุย มีช่องว่างของอากาศ น้ำสามารถไหลผ่านได้ดี รากพืชสามารถชอนไชดูดธาตุอาหารและน้ำได้ดีมากขึ้น อีกด้วย ดังนั้น การผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจึงเหมาะต่อบริบทของประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่รายได้หลักมาจากการเกษตร ปลูกพืชผักต่าง ๆ การผลิตปุ๋ยชนิดนี้ยังลดต้นทุนการผลิตได้อีก วัสดุอินทรีย์หรือขยะอินทรีย์หาได้ฟรีตามครัวเรือน (Pathma and Sakthivel, 2012) เทคโนโลยีปุ๋ยมูลไส้เดือนดินไม่เพียงแค่ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยไว้ใช้ในการเพาะปลูก ปรับปรุงโครงสร้างดินให้ดีขึ้น หรือลดปริมาณขยะอินทรีย์ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศเท่านั้น การใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินยังส่งเสริมเกษตรกรให้ผลิตพืชผักปลอดภัย ส่งผลต่อความปลอดภัยด้านสุขภาพของผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม สนับสนุนการเป็นเกษตรกรยุคดิจิทัลเพื่อพัฒนาประเทศไทยต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Bansal S, Kapoor K.K. (2000). Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. **Bioresour Technol.** 73, 95–98.
- Dominguez J. & Edwards C.A. (2004). **Vermicomposting organic wastes: A review.** In: Shakir Hanna S.H., Mikhail W.Z.A. (eds) Soil zoology for sustainable development in the 21st century., Cairo, pp.369-395.
- Edwards C.A. and Bohlen P.J. (1996). **Biology and Ecology of Earthworms.** Third edition London: Chapman & Hall.
- Edwards C.A. (2004). **Earthworm ecology.** Second edition The United States of America: CRC Press.
- Edwards C.A., Arancon N.Q. & Sherman R. (2011). **Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes and environmental management.** The United States of America: Taylor and Francis Group.
- Gajalakshmi S., Ramasamy E.V. & Abbasi S.A. (2001). Assessment of sustainable vermiconversion of water hyacinth at different reactor efficiencies employing *Eudrilus engeniae* Kingburg. **Bioresour Technol.** 80,131–135.
- Gajalakshmi S., Ramasamy E.V. & Abbasi S.A. (2002). Vermicomposting of paper waste with the anecic earthworm *Lampito mauritii* Kingburg. **Indian J Chem Technol.** 9, 306–311.
- Gajalakshmi S. & Abbasi S.A. (2004). Earthworms and vermicomposting. **Indian J. of Biotechnology.** 3, 486-494.
- Gopal M., Gupta A., Sunil E. & Thomas V.G. (2009). Amplification of plant beneficial microbial communities during conversion of coconut leaf substrate to vermicompost by *Eudrilus* sp. **Current Microbiology.** 59, 15-20.
- Klangkongsub S. & Sohsalam P. (2013). Vermicompost production by using tomato residue and yard waste. **Journal of Medical and Bioengineering.** 2, 270-273.
- Lazcano C., Gomez-Brandon M. & Dominguez J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere.** 72, 1013–1019.
- Madsen E.L. & Alexander M. (1982). Transport of *Rhizobium* and *Pseudomonas* through soil. **Soil Science Society of America.** 46, 557-560.

- Paoletti M.G., Faveretto M.R., Stinner B.R., Purrington F.F. & Bater J.E. (1991). Invertebrates as bioindicators of soil use. **Agriculture Ecosystem Environment**. 34, 341-362.
- Pathma J. & Sakthivel N. (2012). Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. **SpringerPlus**. 26, 1-19.
- Prasitket J., Chuvorivate N., Ruengnab M., Padung T., Choulvanapong P. & Reanjareang S. (2005). **Organic fertilizer: Production, utilization and quality**. Department of Agriculture. pp.87.
- Rouelle J. (1983). Introduction of an amoeba and *Rhizobium Japonicum* into the gut of *Eisenia fetida* (Sav.) and *Lumbricus terrestris* L. In: Satchel1 J.E. (ed) **Earthworm Ecology: From Darwin to Vermiculture**. NewYork: Chapman and Hall.
- Sailila N., Bakar A.A., Mahmood N.Z., Siliva J.T., Abdullah N. & Jamaludin. (2010). Nutrient elements of different agricultural wastes from vermicomposting activity. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**. 4, 155-158.
- Sharma, S., Pradham, K., Satya, S. & Vasudevan, P. (2005). Potentiality of earthworms for waste management and in other Use-A Review. **Journal American Science**. 1, 4-16.
- Sinha, R.K., Agarwai, S., Chauhan, K. & Valani, D. (2010). The wonders of earthworms & its Vermicompost in farm production: Charles Darwin's friends of farmers' with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture. **Agricultural Sciences**. 1, 76-94.
- Sinha, R.K., Agarwal, S., Chauhan, K., Chandran, V. & Soni, B.K. (2010). Vermiculture technology: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. **Technology and Investment**. 1, 155-172.
- Tajbakhsh J, Abdoli MA, Mohammadi Goltapeh E, Alahdadi I, Malakouti MJ (2008). Trend of physico-chemical properties change in recycling spent mushroom compost through vermicomposting by epigeic earthworms *Eisenia foetida* and *E. And rei*. **J Agric Technol**. 4, 185–198.

- Tangsombatvichit P., Chupong S., Ketrot D. & Boonlerthirun K. (2016). The management of organic wastes produced vermicompost using earthworm *Eudrilus eugeniae* and effects of vermicompost on growth of *Helianthus annuus*. 5th International conference on food, Agricultural and Biological Sciences (ICFABS-2016), Dec 25-26, 2016, Thailand.
- Vaz-Moreira I., Maria E., Silva C.M., Manaia Olga C. & Nunes. (2008). Diversity of bacterial isolates from commercial and homemade composts. **Microbial Ecology**. 55, 714–722.
- Yasir M., Aslam Z., Kim S.W., Lee S.W., Jeon C.O. & Chung Y.R. (2009). Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. **Bioresour Technol**. 100, 4396–4403.
- Zirbes, L., Renard, Q., Dufey, J., Tu, P.K., Duyet, H.N., Lebailly, P., Francis, F. & Haubruge, E. (2011). Valorisation of a water hyacinth in vermicomposting using an epigenic earthworm *Perionyx excavatus* in central Vietnam. **Biotechnol. Agron. Soc. Environ**. 15, 85-93.
-



ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอการตีพิมพ์

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Preparation Process of PNRU Research Journal Science and Technology

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นวารสารราย 6 เดือน เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม จัดพิมพ์ขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานวิชาการในลักษณะบทความวิจัย (Research Article) บทความทางวิชาการ (Article) และ บทความปริทรรศน์ (Review Article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แก่ นักวิจัย นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

● ขั้นตอนการดำเนินงานจัดทำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รับต้นฉบับจากผู้สนใจตีพิมพ์บทความผ่านระบบ ThaiJo (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login)

2. กองบรรณาธิการตรวจสอบความสมบูรณ์ความถูกต้องและคุณภาพของบทความต้นฉบับ

3. กองบรรณาธิการเตรียมต้นฉบับจัดส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviews) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง ไม่น้อยกว่าสองท่านต่อหนึ่งบทความ ทั้งนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้แต่ง (Authors) จะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double-blind Peer Review) โดยบทความที่ลงตีพิมพ์ได้นั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งสองท่าน หรือสองในสามท่าน

ทั้งนี้ ความคิดเห็นเกี่ยวกับบทความมีดังนี้

- Accept Submission = รับตีพิมพ์บทความโดยไม่ต้องแก้ไข
- Revisions Required = แก้ไขบทความโดยให้บรรณาธิการพิจารณาอีกครั้ง
- Resubmit for Review = ผู้แต่งต้องแก้ไขบทความส่งกลับมาให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบอีกครั้ง
- Resubmit Elsewhere = ปฏิเสธรับตีพิมพ์บทความ กรณีที่ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตของวารสาร และการเตรียมบทความ ทั้งนี้ ให้ผู้แต่งส่งบทความตีพิมพ์ในวารสารอื่น

- Decline Submission = ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ
- See Comments = พิจารณาข้อเสนอแนะของผู้ประเมินบทความ

4. กองบรรณาธิการส่งต้นฉบับที่ปรับแก้ไขแล้วพร้อมสรุปผลการประเมินคุณภาพต้นฉบับ และจัดส่ง ผู้แต่งเพื่อปรับแก้ไข พร้อมให้ชี้แจงการปรับแก้ไขกลับมายังกองบรรณาธิการ

5. กองบรรณาธิการตรวจสอบการปรับแก้ไขความถูกต้อง และรูปแบบการเขียนต้นฉบับ

6. บรรณาธิการตอบรับการตีพิมพ์และเผยแพร่ต้นฉบับดังกล่าวผ่านระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login) จากนั้น จะออกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์บทความอย่างเป็นทางการจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร อีกครั้ง

7. กองบรรณาธิการรวบรวมต้นฉบับและตรวจสอบความถูกต้อง ก่อนจัดส่งโรงพิมพ์เพื่อจัดทำวารสารฉบับร่าง

8. กองบรรณาธิการตรวจสอบความถูกต้องของวารสารฉบับร่างจากโรงพิมพ์อีกครั้ง จากนั้นจึงส่งตีพิมพ์และเผยแพร่

9. กองบรรณาธิการเผยแพร่วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผ่านระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login) และจัดส่งวารสารฉบับตีพิมพ์ให้กับผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่ง และหน่วยงานอื่น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ทางวิชาการต่อไป

● หลักเกณฑ์ในการส่งบทความของวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ

2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่น โดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)

3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น

5. กรณีมีข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอเพื่อตีพิมพ์

● วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

ด้วยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ได้มีการเผยแพร่ผลงานวิชาการในรูปแบบของวารสาร เพราะเห็นว่าจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้ทางวิชาการ และเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนข่าวสารสาระสำคัญ ประสิทธิภาพ ด้านการวิจัยต่าง ๆ แก่นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ จึงได้จัดทำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยจัดทำเป็นวารสารราย 6 เดือน (ปีละ 2 ฉบับ) มกราคม-มิถุนายน และ กรกฎาคม-ธันวาคม ซึ่งมีการเผยแพร่ทั้งในรูปแบบวารสารตีพิมพ์เป็นรูปเล่มและลักษณะวารสารอิเล็กทรอนิกส์

● ขอบเขตของผลงานที่ตีพิมพ์

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Phranakhon Rajabhat Research Journal in Science and Technology ISSN : 1905-4963) พิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ โดยบทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์หรือกำลังพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 2 ท่าน

● คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

รับการตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวหนังสือแบบ Cordia New กำหนดตั่งค่าหน้ากระดาษ ซ้าย 1 นิ้ว ขวา 1 นิ้ว บน 1 นิ้ว ล่าง 1 นิ้ว โดยพิมพ์ต้นฉบับแบบขาว-ดำ ลงบนกระดาษขนาด A4 (210X297 mm) โดยความยาวของบทความควรเป็นดังนี้

1. บทความวิจัย (Research Article) ประมาณ 12 หน้า ต่อบทความ
2. บทความทางวิชาการ (Article) ประมาณ 7 หน้า ต่อบทความ
3. บทความปริทรรศน์ (Review Article) ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ

บทความภาษาไทยที่มีศัพท์เทคนิคหรือศัพท์เฉพาะ ให้ใช้คำทับศัพท์ และ/หรือ ศัพท์บัญญัติ พร้อมวงเล็บคำศัพท์ภาษาอังกฤษนั้น

สำหรับการอ้างอิงเอกสารต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ ทั้งนี้ให้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมที่หัวข้อ **รูปแบบการพิมพ์เอกสารอ้างอิง**

เอกสารต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ ทั้งนี้ บทความประเภทต่างๆ ในวารสารเล่มนี้มีจำนวนหน้าต่อหนึ่งบทความแตกต่างกันโดยประมาณ ดังนี้

บทความวิจัย (Research Article) (รูปแบบที่ 1)	บทความวิจัย (Research Article) (รูปแบบที่ 2)
1. ชื่อเรื่อง (Title)	1. ชื่อเรื่อง (Title)
2. รายชื่อผู้เขียน (Authors)	2. รายชื่อผู้เขียน (Authors)
3. สถานที่ทำงาน (Addresses)	3. สถานที่ทำงาน (Addresses)
4. ที่อยู่อิเล็กทรอนิกส์ของตัวแทนนักวิจัย (E-mail Address)	4. ที่อยู่อิเล็กทรอนิกส์ของตัวแทนนักวิจัย (E-mail Address)
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ	5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
6. บทนำ (Introduction)	6. บทนำ (Introduction)
7. วิธีการ (Methods)	7. วิธีการ (Methods)
8. ผลการทดลอง (Results)	8. ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and
9. สรุปและวิจารณ์ผล (Conclusion and Discussion)	Discussion)
10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) - ถ้ามี	9. สรุป (Conclusion)
11. เอกสารอ้างอิง (References)	10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) - ถ้ามี
	11. เอกสารอ้างอิง (References)

ชื่อเรื่อง : ควรกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ถ้าบทความเป็นภาษาไทย ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้แต่ง : ชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของผู้แต่งครบทุกคนทั้งบทความภาษาไทย และภาษาอังกฤษ

1. ชื่อผู้แต่ง ไม่ใช่ตำแหน่งทางวิชาการ ยศ ตำแหน่งทหาร สถานภาพทางการศึกษา หรือ คำนำหน้าชื่อหรือท้ายชื่อ เช่น นาย, นาง, นางสาว, ผศ.ดร., Ph.D., ร.ด.ด., พ.ด.ท.
2. ไม่ต้องระบุสถานภาพผู้แต่ง เช่น นักศึกษาปริญญาเอก, อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., ผู้อำนวยการ..., คณบดีคณะ..., พยาบาลวิชาชีพ
3. ให้ใส่ตัวเลขเป็นตัวช่วยกำกับท้ายนามสกุลของผู้แต่งทุกคน และใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) เฉพาะผู้รับผิดชอบบทความ

หน่วยงานที่ทำวิจัย: ระบุหน่วยงาน จังหวัด รหัสไปรษณีย์ ประเทศ ทั้งนี้ให้สอดคล้องกับผู้แต่ง

อีเมล : ให้ใส่เฉพาะผู้รับผิดชอบบทความ

บทคัดย่อ : บทคัดย่อภาษาไทย และบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ต้องมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ

- คำสำคัญ :** ต้องมีคำสำคัญอย่างน้อย 3 ถึง 5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- เนื้อหา :** จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรกเว้น 1 Tab จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน
- รูปภาพ :** ขึ้นหน้าใหม่ให้มี 1 รูปต่อ 1 หน้า และแยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุล TIFFs, หรือ JPEGs ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับ เพื่อคุณภาพในการพิมพ์ หมายเลขรูปภาพและกราฟให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่างๆ อยู่ด้านล่างของรูปภาพและกราฟ
- ตาราง :** หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่างๆ อยู่ด้านบนของตาราง
- เอกสารอ้างอิง :** การอ้างอิงให้มีเฉพาะที่ปรากฏในบทความโดยอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ หากยาวเกิน 1 บรรทัดให้ Tab 0.75 เซนติเมตร

● รูปแบบการพิมพ์เอกสารอ้างอิงในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การอ้างอิงเอกสารให้เขียนตามแบบ APA (American Psychological Association) หากรายการอ้างอิงเป็นหนังสือหรือบทความภาษาไทยที่มีบทแปลเป็นภาษาอังกฤษกำกับอยู่ก่อนแล้ว ให้ใส่บทแปลภาษาอังกฤษนั้นก่อน ตามด้วยรายการอ้างอิงภาษาไทยเดิมโดยวงเล็บท้ายรายการว่า (in Thai) สำหรับรายการอ้างอิงภาษาไทยที่ไม่ได้มีบทแปลภาษาอังกฤษไว้ก่อนให้ยึดตามประกาศราชบัณฑิตยสถาน เรื่อง หลักเกณฑ์การถอดอักษรไทยเป็นอักษรโรมันแบบถ่ายเสียง ทั้งนี้ ให้จัดเรียงลำดับตามลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษก่อน-หลัง

หลักเกณฑ์การอ้างอิงในเนื้อหา

กรณีการอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ให้ใส่สกุลผู้แต่งและปีที่พิมพ์ไว้ในวงเล็บ เช่น

ผู้แต่งเป็นคนไทย:

กาญจนา แก้วเทพ พิมพ์เป็น (Kaewthep, 2011)

กาญจนา แก้วเทพ และสมคิด สุทธิธารวัช พิมพ์เป็น (Kaewthep & Soottitantawat, 2011)

กาญจนา แก้วเทพ สมคิด สุทธิธารวัช และวัชมี แสงศิริมงคลยิ่ง
พิมพ์เป็น (Kaewthep et al., 2011)

ผู้แต่งเป็นชาวต่างประเทศ: Arthur Asa Berger พิมพ์เป็น (Berger, 2011)

หากการอ้างอิงกล่าวถึงผู้แต่งไว้แล้ว ให้ใส่เฉพาะปีที่พิมพ์ไว้ในวงเล็บ เช่น

ผู้แต่งคนไทย กาญจนา แก้วเทพ ลงว่า Kaewthep (2011)

ผู้แต่งเป็นชาวต่างประเทศ Arthur Asa Berger ลงว่า Berger (2011)

ทั้งนี้ กรณีที่ผู้แต่งเป็นคนไทย ให้ใส่สกุลผู้แต่งเป็นภาษาอังกฤษ หากไม่ปรากฏว่าผู้แต่งคนดังกล่าวเคยเขียนสกุลเป็นภาษาอังกฤษมาก่อน อนุโลมให้ใช้หลักเกณฑ์การถอดอักษรไทยเป็นอักษรโรมันแบบถ่ายเสียงตามประกาศราชบัณฑิตยสถานได้

หลักเกณฑ์การอ้างอิงท้ายบทความ

1. อ้างอิงจากหนังสือ

รูปแบบ : ผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ.ที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ.//ครั้งที่พิมพ์.(ถ้ามี)//เมืองที่พิมพ์.//สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง :

Liochanmongkhon, N., Saenbunthai, S. & Kengwinit, T. (1984). *Khumue Tuekthaeo*. Bangkok: Rongphim Nam-aksonkanphim. (in Thai)

Davis, C.V. (1980). *Handbook of applied hydraulics*. 3rd Edition. New York: McGraw – Hill.

Gunpai, K. (2008). *Psychology of communication*. Bangkok: Faculty of Communication Arts, Chulalongkorn Univeristy. (in Thai)

2. อ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ : ผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ.ที่พิมพ์).//ชื่อบทความ.//ชื่อวารสาร.//ปีที่(ฉบับที่).//เลขหน้า-เลขหน้า.
ตัวอย่าง :

Ozaki, M., Adachi, Y., Iwahori, Y. & Ishii, N. (1998). Application of fuzzy theory to writer recognition of Chinese characters. *International Journal of Modeling and Simulation*. 18(2), 112-116.

Korbkeeratipong, K. & Taiphapoon, T. (2016). Branded content marketing communication in reality television program. *PNRU Research Journal Science and Technology*. 11(2), 1-11. (in Thai)

3. อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

รูปแบบ : ผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ.ที่พิมพ์).//ชื่อวิทยานิพนธ์.//ชื่อปริญญา (เต็ม)//หน่วยงาน
ตัวอย่าง :

Roonkaseam, N. (2006). *Communication and practices of representation through the museums as texts in Thailand*. Ph.D. Program in Communication Arts. Faculty of Communication Arts, Chulalongkorn Univeristy. (in Thai)

Choomchuay, S. (1993). *Algorithm and architecture for Reed-Solomon Decoding*. Ph.D. Thesis, Imperial College, University of London, UK.

4. อ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

รูปแบบ : ผู้แต่ง //(ปี พ.ศ.ที่พิมพ์) //ชื่อเรื่อง //สืบค้นเมื่อ //, //สืบค้นจาก

ตัวอย่าง :

Wongmaneeroj, A. (2542). History of soil fertility studies. Retrieved June 7, 2016, from <http://web.sut.ac.th/farm/farm/index.php/th/2012-06-03-05-02-12/68-2012-06-22-09-24-9>

Noam, E.M. (1994). Telecommunication policy issue for the next century. Retrieved June 7, 2006, from gopher://198.80.36.../global/telcom.txt

Chuastapanasiri, T. (2009). Advertising literacy. Retrieved March 2, 2012, from <http://resource.thaihealth.or.th/system/files/documents/ruuethaathanokhsnaaaefng1.pdf> (in Thai)

5. อ้างอิงจากการสัมภาษณ์

รูปแบบ : ผู้ให้สัมภาษณ์ //ตำแหน่ง (ถ้ามี) //สัมภาษณ์ //วันที่/เดือน/ปี.

ตัวอย่าง :

Sthapitanonda, P. Dean, Faculty of Communication Arts, Chulalongkorn University. Interviewed on March 2, 2016. (in Thai)

Smith, M. Interview on January 31, 2008. Saengdounghae, J. Lecturer, Hatyai University. Interviewed on August 20, 2010. (in Thai)

● การส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผู้แต่งต้องส่งบทความผ่านทางระบบออนไลน์เท่านั้น โดยการสมัครสมาชิก (Register) วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login) เพื่อขอรับ Username และ Password แล้วคลิกที่ปุ่ม Log In เพื่อเข้าสู่ระบบ ในกรณีที่เป็นการสมัครสมาชิกของวารสารแล้ว กรุณาเข้าสู่ระบบ log in และดำเนินการส่งบทความโดยดูตัวอย่างการส่งบทความได้ที่ ขั้นตอนการ SUBMISSION

หมายเหตุ:

1. กองบรรณาธิการฯ ขอสงวนสิทธิ์ ในการแก้ไขข้อความบางส่วนโดยไม่กระทบต่อเนื้อหาหลักของบทความ ทั้งนี้ เพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบการตีพิมพ์ของวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2. บทความในวารสารฉบับนี้ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

MANUSCRIPT PREPARATION GUIDELINES FOR PUBLICATION IN PHRANAKHON RAJABHAT RESEARCH JOURNAL IN SCIENCE AND TECHNOLOGY

Cordia New
ขนาด 18 pt.
ตัวหนา

ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความคนที่^{1*} ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความคนที่² → Cordia New
ขนาด 14 pt. ตัวบาง

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Cordia New
ขนาด 12 pt. ตัวบาง

Author^{1*}, Author² → Cordia New ขนาด 14 pt. ตัวบาง

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, 10900,

²Department of Physics, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

Cordia New
ขนาด 12 pt. ตัวบาง

E-mail: address@mailservice.com → Cordia New ขนาด 12 pt. ตัวบาง

1 นิ้ว

บทคัดย่อ (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

←→ การจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับ ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดตามรูปแบบที่กำหนด ในกรณีบทความเป็นภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียวไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ ผลลัพธ์หรือสรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ → (ขนาด 16 pt. ตัวบาง)

คำสำคัญ: คำสำคัญ1 คำสำคัญ2 คำสำคัญ3 (ไม่เกิน 5 คำ) → (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

ABSTRACT (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

This is an instruction for manuscript preparation. Please follow this guideline strictly. For a Thai article, an abstract in English must accompany the Thai version. The

abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.————>(ขนาด 16 pt. ตัวบาง)

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3 (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

บทนำ (16 pt. ตัวหนา)

Introduction (16 pt. bold)

....(Cordia Newขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....

วิธีการ (16 pt. ตัวหนา)

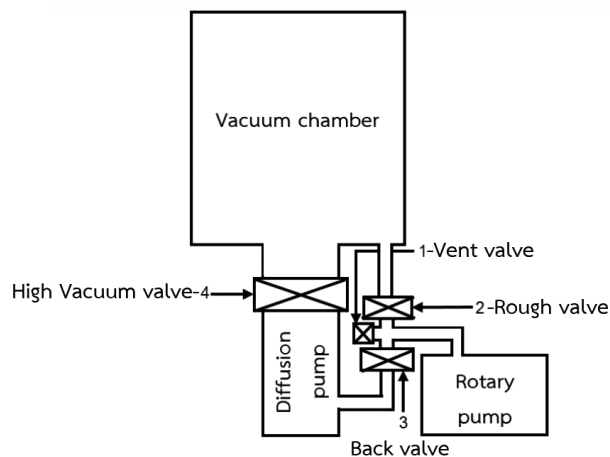
Methods (16 pt. bold)

....(Cordia Newขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....

ผลการทดลอง หรือ ผลการทดลองและวิจารณ์ (16 pt. ตัวหนา)

Results or Results and Discussion (16 pt. bold)

....(Cordia Newขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....



รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบสุญญากาศและวาล์วทั้ง 4 ตำแหน่ง
(โปรดใช้รูปให้เหมาะสมกับการตีพิมพ์แบบขาว-ดำ หรือ Greyscale)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร์ไอน้ำมัน

เวลาที่ใช้ (นาทิจ)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

หมายเหตุ : ในส่วนหมายเหตุใช้ Cordia New ขนาด 12 pt. ตัวธรรมดา

สรุปและวิจารณ์ผล หรือ สรุป (16 pt. ตัวหนา)

Conclusion and Discussion or Conclusion (16 pt. bold)

....(Cordia New ขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....

กิตติกรรมประกาศ (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

ส่วนนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อแสดงความขอบคุณในกรณีที่งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากแหล่งทุน ขอขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย เช่น อนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องใช้ หรือสถานที่ เป็นต้น (หากไม่มีกรณีดังกล่าวไม่จำเป็นต้องมีส่วนนี้)

เอกสารอ้างอิง (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

....(Cordia New ขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....

Koktong, T., Suwannawaj, S. & Soodsang, N. (2014). The creation of digital photography art for the promotion of fashion goods on Facebook. **Art and Architecture Journal Naresuan University**. 5(1), 26-40. (in Thai)

Moertini, V.S. (2012). Small medium enterprises: On utilizing business-to-business e-commerce to go global. In International Conference on Small and Medium Enterprises Development with a Theme. **Procedia Economics and Finance**. 4(1). 13-22.

- Pansap, S. (2011). **Attitude and intention of the consumer in Bangkok when buying products on the Internet**. Research Report. Naresuan University. (in Thai)
- Saenkasame, J. (2002). **Business research**. Bangkok: Rongphim Pituckakson. (in Thai)
- Sriwichailamphan, T. (2012). **Teaching academic community economic development**. Chiang Mai University. (in Thai)
- Thai e-Commerce Association. (2014). **Introduction to e-commerce**. Retrieved February 6, 2014, from <http://www.thaiecommerce.org/index.php?lay=show&ac=article&Id=538636758&Ntype=6>. (in Thai)
- Wimonsantiroj, M. (2000). **Marketing mix factors affecting consumers purchasing decision on wooden furniture in Chiang Mai**. Master of Business Administration Program in Business Administration. Faculty of Business Administration. Chiang Mai University. (in Thai)
- Yasamut, K. & nantapeechakun, N. (2004). **Management system web commercial electronic processing plant tamarind Sarach Marketing Company Limited.**, Master of Business Administration Program in Business Administration. Faculty of Business Administration. Naresuan University. (in Thai)

จริยธรรมในการตีพิมพ์

Publication Ethics

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีมาตรฐานทางจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ ดังนี้

จริยธรรมของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่ พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
2. บรรณาธิการมีหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาความถูกต้องของบทความร่วมกับกองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์
3. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์ ผู้ประเมินบทความ และบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง
4. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด
5. บรรณาธิการต้องรักษาความลับของผู้นิพนธ์
6. บรรณาธิการมีหน้าที่รักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพอยู่เสมอ

จริยธรรมของผู้นิพนธ์บทความ

1. บทความที่ส่งจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยมีการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน และต้องไม่คัดลอกผลงานผู้อื่นโดยขาดการอ้างอิง
2. หากบทความมีการทดลองเกี่ยวกับมนุษย์หรือสัตว์ ผู้นิพนธ์ต้องปฏิบัติตามหลักจริยธรรมในการวิจัยและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง
3. ผู้นิพนธ์ควรระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนการวิจัย
4. ผู้นิพนธ์ควรเคารพความคิดเห็นทางวิชาการของผู้อื่น และแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
5. ผู้นิพนธ์จะต้องไม่นำส่วนใดส่วนหนึ่งของเนื้อหาในบทความไปตีพิมพ์เผยแพร่ยังแหล่งอื่น ๆ
6. ชื่อผู้นิพนธ์ที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง

จริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักถึงความเชี่ยวชาญตามศาสตร์ของตนเองในการรับประเมินบทความ
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความกับงานตีพิมพ์อื่น ๆ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องประเมินและให้ข้อเสนอแนะตามหลักเกณฑ์ทางวิชาการโดยปราศจากอคติ
5. ผู้ทรงคุณวุฒิควรตรงต่อเวลาในการส่งผลการประเมินบทความ
6. ผู้ทรงคุณวุฒิควรรักษาความลับของผู้นิพนธ์บทความ