

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2563

Vol.1 No.2 May – August 2020

- ความหลากหลายระดับชนิดของพืชสมุนไพรในอำเภอสวรรคภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด
เอี่ยมพร จันทร์สองดวง, ทัศนญาพัชร ทะนะเวช, สุวรรณา ลำไย, วิภาพร หลวงเทพ, มาลีตา คำมณี
และนภกร ไชยธรรม
- ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ด้านการให้สีย้อมธรรมชาติ: กรณีศึกษา ป่าชุมชนในจังหวัดสุรินทร์
สมชนญา ศรีธรรม, วสา วงศ์สุขแสง และประติภา ปานสันเทียะ
- ผลของการเสริมไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มในอาหารโคร็ดนมต่อประสิทธิภาพผลผลิตและองค์ประกอบน้ำมันโคนม
ทางประสาทสัมผัสของชาเขียวทุ่หลาน
นพรัตน์ ผนกาเชิด และชยพล มีพร้อม
- คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และความคงตัวของสารเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานิน จากผลลำดวนด้วยเทคนิค
การทำแห้งแบบสุญญากาศ
กรรณรัตน์ สกุลนามรัตน์ และเด่นชัย วงศรีแก้ว
- การศึกษากายภาพเชิงแสงของสีย้อมที่เป็นแคตไอออนที่ถูกขังในซีโอไลต์แอลทีแอล เพื่อใช้เป็นเสาอากาศเทียม
สุริยา ดวงมณี และวิไลพร อินสุวรรณ
- ระบบจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง
จิรพันธ์ ทะสันเทียะ, บุญเหลือ นามำรุง, อัญวิณ์ ไชยวชิระกัมพล, ชนาธิป กุณอก และชัยณรงค์ แสนมี
- การออกแบบระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการ ภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
อภินันท์ชัย โจมสดี
- ผลกระทบของจำนวนใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ
ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, พัทธน์ พลวัน, พัฒนา พรรณสน และภากร เกรัมย์
- ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์
ชญาชนก แสงมณี และวุฒิชัย สิกธิวงษ์
- ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เหมาะสมกับปืมน้ำ
ปรัชญา มุขดา, กฤษณ์ ไชยวงศ์, กัดทอง พรหมณี และขวัญชัย หนาเน่น

ISSN 2730 - 163X

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) ความหลากหลายระดับชนิดของพืชสมุนไพรในอำเภอสวรรภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 2) ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ด้านการให้สีย้อมธรรมชาติ: กรณีศึกษาป่าชุมชนในจังหวัดสุรินทร์ 3) ผลของการเสริมไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มในอาหารโคโรดินมต่อประสิทธิภาพผลผลิตและองค์ประกอบน้ำมันโคเนม 4) คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และความคงตัวของสารเอนแคปซูเลชันโทไซยานินจากผลลำตวนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ 5) การศึกษากายภาพเชิงแสงของสีย้อมที่เป็นแคตไอออนที่ถูกขังในซีโอไลต์แอลทีแอลเพื่อใช้เป็นเสาอากาศเทียม 6) ระบบจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง 7) การออกแบบระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 8) ผลกระทบของจำนวนใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบลูกตุ้ม 9) ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับฮีตเตอร์ 10) ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เหมาะสมกับปั้มน้ำ โดยบทความได้ผ่านการพิจารณาและการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี Agriculture and Technology Journal

วัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม

เจ้าของ/สำนักงานวารสาร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี 145 หมู่ 15 ต.นอกเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000
โทร. 044-153093 โทรสาร. 044-153093
E-mail: atj.rmuti@gmail.com
Website: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/index>

ที่ปรึกษาบรรณาธิการ	รศ.ดร.สำเนาวิ	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผศ.ดร.กรณรัตน์	สกุลนามรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	ดร.ปวีณา	สาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	อาจารย์อัญวิทย์	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศ.ดร.สนั่น	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.อลงกลด	แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรภักข ศรีเกษม		โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.พนธ์วัช	สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทิง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนัชฐา	ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์	จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.รัชพล	สันติวรการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.กริช	สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รศ.ดร.บุญเสถียร	บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุรพล	แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.วิศิษฐ์พร	สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บรรจง	บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อังคณา	บุญยิด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.เอื้อมพร	จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์	อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.ภาณุพล	หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.วีระเวทย์	อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อรอนงค์	ภูสีฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.สิริภัทร	เชี่ยวชาญวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.บัณฑิต	ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.รัตติกาล	เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วช.บางพระ
ผศ.ดร.พัชริน	ส่งศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิติล	ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.วิไลพร	อินสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิชาน์	นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทศพร	แจ่มใส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุริยา	อุดด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ศุภลักษณ์	เกตุดากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ศักดิ์ชาญ	เหลือมณีโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.วิภาสทธิ์	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.อรรถพล	สีด้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
อาจารย์ปรัชญา	บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

- ฉบับที่ 1 ประจำปี มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 ประจำปี พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 ประจำปี กันยายน – ธันวาคม

พิมพ์ที่

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กริช สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุชิตา มุ่งงาม	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.นิราวรรณ กุณัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุสรณ์ เชิดทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราชาติ โตแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังคณา อินตา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาริก สุรินทร์ตะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษม ตริตรระการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอื้อมพร จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสิทธิ์ เจริญบุตร	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ภูสีฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบรรณ ฝอยกลาง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา มุขดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระพันธ์ สีหานาม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จิระชีวะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษ เหล่าสาย	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ดร.สมภาพ ถมโพธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.กิตติชัย ไชยสีดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรและเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่ม จำนวน 3 ฉบับต่อปี ในทุก ๆ 4 เดือน โดยฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม และฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม เปิดรับบทความที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 10 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 เรื่อง กองบรรณาธิการมุ่งมั่นที่จะให้วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TCI)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิริวิงษ์

บรรณาธิการ

ความหลากหลายระดับชนิดของพืชสมุนไพรในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด Biodiversity of medicinal plants in Suwannaphum district, Roi Et Province <i>เอี่ยมพร จันทร์สองดวง, กัญญาพัชร ทะนะเวช, สุวรรณา ลำไย, วิภาพร หลวงเทพ, มาลีตา คำมณี และนธกร ไชยธรรม</i>	1
ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ด้านการให้สีย้อมธรรมชาติ: กรณีศึกษา ป่าชุมชนในจังหวัดสุรินทร์ Diversity of tree species and utilization of natural dyeing: A case study of community forest in Surin Province <i>สมชญา ศรีธรรม, วสา วงศ์สุขแสง และประติภา ปานสันเทียะ</i>	17
ผลของการเสริมไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มในอาหารโครีดนมต่อประสิทธิภาพ ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมโคนม Effects of supplementation Ca-salt of palm oil fatty acid in the lactating dairy cow diet on productivity and milk compositions <i>นพรัตน์ ผกาเขต และชยพล มีพร้อม</i>	33
คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และความคงตัวของสารแอนโทไซยานิน จากผลลำดวนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ Physico-Chemical Properties and stability of lamduan anthocyanin encapsulation by vacuum drying technique <i>กรุณรัตน์ สกลนามรัตน์ และเด่นชัย วงศรีแก้ว</i>	41
การศึกษากายภาพเชิงแสงของสีย้อมที่เป็นแคตไอออนที่ถูกขังในซีโอไลต์แอลทีแอล เพื่อใช้เป็นเสาอากาศเทียม Photophysical study of cationic dyes confined zeolite LTL for artificial antenna applications <i>สุรียา ดวงมณี และวิไลพร อินสุวรรณ</i>	55

ระบบจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง	70
Scheduling system with drag and drop technique	
จิรนนท์ ตะสันเทียะ, บุญเหลือ นามำรุง, อัญวิณ์ ไชยวชิระกัมพล, ชนาธิป กุนอก และชัยณรงค์ แสนมี	
การออกแบบระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการ ภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์	86
Design augmented reality geographic information system to search for government positions in Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University	
อภิวันทิชัย โจมสติ	
ผลกระทบของจำนวนใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ	96
The effects of blade number on the efficiency of undershot water wheel	
ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, พิพัฒน์ พลวัน, พัฒนา พรธมน และภากร เกรรัมย์	
ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์	110
Vapor-compression refrigeration system with ejector	
ชญานนท์ แสงมณี และวุฒิชัย สิทธิวงษ์	
ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เหมาะสมกับปั้มน้ำ	123
The suitable off-grid Solar energy generator system with water pump	
ปรัชญา मुखดา, กฤษณ์ ไชยวงศ์, ทัดทอง พรหมณี และขวัญชัย หนาแน่น	

Received: May 11, 2020; Revised: June 28, 2020; Accepted: August 26, 2020

ความหลากหลายระดับชนิดของพืชสมุนไพรในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

Diversity of medicinal plants species in Suvarnabhumi District, Roi Et Province

เอี่ยมพร จันทร์สองดวง^{1*} กัญญาพัชร ทะนะเวช¹ สุวรรณ ลาไย¹ วิภาพร หลวงเทพ¹
 มาลีตา คำนณี¹ และนธกร ไชยธรรม²
 Auemporn Junsongduang^{1*}, Kanyapat Thanaweth¹, Suwanna Lumyai¹,
 Wipaporn Luangthep¹, Malita Khammanee¹ and Nathaporn Chaiyatham²

¹ศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด

²โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด

*Corresponding Author E-mail Address : a.junsongduang@gmail.com, a.junsongduang@reru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดและภูมิปัญญาท้องถิ่นของพืชสมุนไพรในการรักษาสุขภาพเบื้องต้นของชุมชนไทลาวในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด พื้นที่ศึกษาคือ บ้านดอนตูและบ้านปลาควัว ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นตัวแทนแต่ละครัวเรือนโดยวิธีการกำหนดโควตาและเจาะจง หมู่บ้านละ 10 คน (ครัวเรือน) และใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างถึงชนิดและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพรในชุมชน ผลการศึกษาพบพืชสมุนไพรทั้งหมด 81 ชนิด 74 สกุล 49 วงศ์ พบพืชวงศ์ Fabaceae มากที่สุด จำนวน 6 ชนิด รองลงมาเป็นวงศ์ Rutaceae จำนวน 5 ชนิด และ Myrtaceae จำนวน 4 ชนิด พืชที่นิยมนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุดคือ มะนาว และตะไคร้ โดยมีค่าดัชนีรายการการใช้เท่ากันคือ 0.8 ไม่ล้มลุกเป็นพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุด 38 ชนิด (ร้อยละ 47) ส่วนของพืชที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ใบ 41 ชนิด (ร้อยละ 33) รองลงมาเป็นราก มีจำนวน 23 ชนิด (ร้อยละ 18) วิธีการใช้พืชสมุนไพรทั้งหมดพบ 9 วิธี พบว่า วิธีที่พืชสมุนไพรถูกนำไปใช้มากที่สุดคือ การต้มดื่มเป็นชา จำนวน 35 ชนิด (ร้อยละ 40) รองลงมาเป็นนำไปประกอบอาหาร จำนวน 17 ชนิด (ร้อยละ 19) การศึกษาพบว่า กลุ่มอาการหรือโรคที่ชุมชนไทลาวทั้ง 2 ชุมชน ใช้พืชสมุนไพรในการรักษาเบื้องต้น มีทั้งหมด 22 กลุ่มอาการ โดยค่าดัชนีความเป็นเอกฉันท์ขององค์ความรู้ (ICF) มากที่สุดคือการใช้พืชในการขับปัสสาวะ มีค่า ICF เท่ากับ 0.88 และกลุ่มอาการหรือโรคที่มีจำนวนพืชสมุนไพรใช้ในการรักษามากที่สุด คือการใช้พืชเพื่อบำรุงร่างกาย บำรุงโลหิต จำนวน 18 ชนิด

คำสำคัญ: ความหลากหลาย พืชสมุนไพร ชุมชนไทลาว พฤษศาสตร์พื้นบ้าน ดัชนีรายการการใช้

Abstract

The objective of this study was to study species diversity and traditional knowledge of medicinal plant in Tai-Lao community for primary health care in Suvarnabhumi district, Roi Et province. We studied in the two villages including Ban Dondu and Ban Plakaw. The twenty interviews were conduct with respondents representing each household by multistage stage sampling and purposive sampling. Semi-structure interviewed were used for the informants. The results found plant in the two communities were used as medicinal plants 81 species belonging to 74 genera 49 families. Fabaceae had the highest number of medicinal plants with 6 spp. followed by Rutaceae with 5 spp. and Myrtaceae 4 spp. The most important of medicinal plant among the two villages was *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle. and *Cymbopogon citratus* L. with Used Value index 0.8 Herb was the most habit of medicinal plants 38 spp. (47%). Leaf was the most part used 41 spp. (33%) followed by root 23 spp. (18%). Methods of preparations and used of medicinal plants were found 9 methods. Decoction was the most preparation of medicinal plants 35 spp. (40%) followed by cook 17 spp. (19%). The total 22 symptoms were found in this study. The highest ICF was Diuretic (0.88). Tonic was the highest aliments of medicinal plants use with 18 spp.

Keywords: Biodiversity, Ethnobotany, Medicinal plants, Tai-Lao community, UV index

บทนำ

มนุษย์ได้อาศัยปัจจัยหลักในการดำรงชีพจากทรัพยากรชีวภาพที่มีอยู่รอบตัวมาใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่รอดมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยผ่านการเรียนรู้ในการนำพืชพรรณชนิดต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ ทั้งเพื่อการบริโภคเป็นอาหาร ยารักษาโรค เครื่องนุ่งห่ม และที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะพืชสมุนไพรเป็นผลผลิตจากธรรมชาติที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้เป็นประโยชน์เพื่อการรักษาโรคภัยไข้เจ็บตั้งแต่โบราณ ในเอเชียมีหลักฐานแสดงว่ามนุษย์รู้จักใช้พืชสมุนไพรมากกว่า 6,000 ปี และประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง เนื่องจากเป็นประเทศหนึ่งที่อยู่ในแถบเส้นศูนย์สูตรเขตร้อนชื้นซึ่งเป็นลักษณะภูมิอากาศที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของพรรณพืชและสัตว์มากที่สุดเมื่อเทียบกับภูมิอากาศแบบอื่น พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน (2542) ได้ให้คำจำกัดความของสมุนไพร คือเป็นผลผลิตจากธรรมชาติได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ ที่ใช้เป็นยาหรือผสมกับสารอื่นตามตำรับยาเพื่อบำบัดโรคหรือบำรุงร่างกาย ประโยชน์ของพืชสมุนไพรนั้นสามารถช่วยในการรักษาโรคต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งราคาค่อนข้างที่จะถูกเพราะหาได้ง่ายในท้องถิ่น หลายชนิดก็เป็นพืชที่อยู่ในชุมชน เป็นพืชผักสวนครัว เช่น กะเพรา โหระพา ข่า และตะไคร้ จึงช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อยาแผนปัจจุบัน ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญเกี่ยวกับความสำคัญของพืชในชุมชนมีการตระหนักถึงคุณค่าและประโยชน์ของพืชในแต่ละท้องถิ่น เพราะในแต่ละในภูมิภาคต่าง ๆ ประชาชนได้พึ่งพิงประโยชน์จากพืชผักพื้นบ้านที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งเป็นอาหาร

และเป็นพืชสมุนไพร เช่น การศึกษาของอัมพร (2531) ศึกษาพืชผักพื้นบ้านที่จังหวัดลำปางและเชียงใหม่ พบว่ามีจำนวนถึง 50 ชนิด ในการใช้ประโยชน์นั้นนอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารยังสามารถนำมาใช้เป็นยารักษาโรคได้อีกด้วย เช่น กระชาย จึงช่วยลดอาการท้องอืดท้องเฟ้อ ปิยนาล (2557) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของผักพื้นบ้านชุมชนในตำบลแหลมบัว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ผลการศึกษาพบว่าผักพื้นบ้านของคนในตำบลแหลมบัว มีทั้งหมด 80 ชนิด จำแนกตามลักษณะวิสัยได้ 4 ประเภท คือไม้ยืนต้น 13 ชนิด ไม้ล้มลุก 44 ชนิด ไม้พุ่ม 7 ชนิดและไม้เลื้อย 16 ชนิด ชาวตำบลแหลมบัวมีการนำผักพื้นบ้านมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารมากที่สุด รองลงมาคือเป็นยาสมุนไพร ทะนงศักดิ์ (2562) ศึกษาความหลากหลายชนิดของพืชสมุนไพรในชุมชนบ้านเชียงเหียน ตำบลเขวา อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พบพืชสมุนไพร 160 ชนิด พบไม้ต้นมากที่สุดถึง 62 ชนิด รองลงมาเป็นไม้เลื้อย 26 ชนิด ชาวบ้านเชียงเหียนมีวิธีปรุงยาทั้งหมด 4 วิธีคือ เป็นยาต้มมากที่สุด รองลงมาเป็นยาลูกกลอน ยาฝน และยาผง และ Panyadee et al. (2016) ทำการศึกษาความหลากหลายชนิดของพืชมีเนื้อไม้ในสวนครัว ในภาคเหนือของประเทศไทย พบพืชทั้งหมด 94 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นพืชอาหาร พืชที่พบบ่อยที่สุดคือ มะม่วง (*Mangifera indica* L.; Anacardiaceae) และพบพืชที่เป็นสมุนไพร ในการศึกษาครั้งนี้คือ ว่านพระยาอภัย (*Pseuderanthemum palatiferum* Radlk.; Acanthaceae) และเปล้าน้อย (*Croton stellatopilosus* H. Ohba; Euphorbiaceae) ดังนั้นการรวบรวมเกี่ยวกับความหลากหลายชนิดของพืชที่มีในชุมชนและรักษาองค์ความรู้ในเรื่องสมุนไพรในแต่ละท้องถิ่นจึงมีความสำคัญเพื่อป้องกันการสูญหายไปขององค์ความรู้พื้นบ้าน และเป็นฐานข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์ในภาพรวมของประเทศต่อไปในอนาคต

อำเภอสวรรณภูมิ เป็น 1 ใน 20 อำเภอ ในจังหวัดร้อยเอ็ด ตั้งอยู่ในพื้นที่ราบอยู่กึ่งกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ส่วนหนึ่งครอบคลุมพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นพื้นที่ ๆ ถือว่าแห้งแล้งที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อำเภอสวรรณภูมิ มีระยะทางห่างจากจังหวัดร้อยเอ็ดไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 59 กิโลเมตร ถือเป็นอำเภอที่ค่อนข้างอยู่ห่างไกลจากตัวอำเภอเมืองร้อยเอ็ดมากที่สุด รองลงมาจากอำเภอเกษตรวิสัย ประชากรทั้ง 2 หมู่บ้านเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาว ซึ่งเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและมีฐานะยากจน กลุ่มชาติพันธุ์ไทลาวเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ที่มีวัฒนธรรมที่เก่าแก่และดั้งเดิมและยังคงรักษาขนบธรรมเนียมประเพณีต่าง ๆ ไว้เป็นอย่างดีมาจนถึงปัจจุบัน รวมไปถึงวัฒนธรรมการรักษาโรคต่าง ๆ โดยใช้พืชสมุนไพร ซึ่งจะเห็นได้จากการมีหมอยาพื้นบ้านอยู่ในชุมชนตามชนบทที่ห่างไกลในภาคอีสานเสมอ ดังนั้นองค์ความรู้พื้นบ้านในการใช้พืชในชุมชนมาเป็นพืชสมุนไพรในการรักษาโรคเบื้องต้นของกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาว จึงเป็นที่น่าสนใจและควรที่จะทำการศึกษาและรวบรวมไว้ เพื่อป้องกันการสูญหายไปขององค์ความรู้เหล่านี้ การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพระดับชนิดของพืชในชุมชนที่เป็นพืชสมุนไพร ในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ คือ 1) ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพระดับชนิดของพืชในชุมชนที่เป็นพืชสมุนไพรในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 2) รวบรวมองค์ความรู้ของการใช้พืชในชุมชนในการเป็นพืชสมุนไพรในอำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลทางวิชาการอันที่จะเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ประโยชน์ของพืชในชุมชน การอนุรักษ์ และรวมทั้งการพัฒนาพืชสมุนไพรที่มีศักยภาพในเชิงการเกษตรและการพาณิชย์ต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

พื้นที่ที่ศึกษาและประชากรกลุ่มตัวอย่าง

เลือกพื้นที่ที่ศึกษาโดยเลือกหมู่บ้านในอำเภอสวรรภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 2 หมู่บ้าน ได้แก่ บ้านดอนตู ตำบลหัวช้าง มีจำนวนหลังคาเรือน 1,076 หลังคาเรือน และบ้านปลาข้าว ตำบลปลาขัน มีจำนวน 87 หลังคาเรือน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ประชากรกลุ่มตัวอย่าง ทำการสุ่มเลือกผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ (Key informants) โดยทำการเลือกแบบกำหนดโควตา (Multistage stage sampling) และการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) (บุญธรรม, 2540) มาสัมภาษณ์ หมู่บ้านละ 10 คน ทั้งหมด 20 คน โดยใช้การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structured interview) คำถามจะประกอบไปด้วย ชนิดหรือชื่อของพืชในชุมชนที่มีการใช้เป็นพืชสมุนไพร ส่วนของพืชที่ใช้ โรคที่ใช้ในการรักษา วิธีการใช้

2. สำนักรวความหลากหลายของพืชในชุมชนที่นำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรร่วมกับผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ (Key informants) ในพื้นที่สวนครัวของผู้ให้ข้อมูลและรอบ ๆ หมู่บ้าน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ของพืชสมุนไพรจากหนังสือพรรณพฤกษชาติแห่งประเทศไทย (Flora of Thailand) จากฐานข้อมูลพืชสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และฐานข้อมูลสมุนไพรที่ใช้ในงานสาธารณสุขมูลฐาน คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และตรวจสอบชื่อพื้นเมืองในหนังสือรายชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (เต็ม, 2557)

2. วิเคราะห์ข้อมูลพืชที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในชุมชน โดยใช้ดัชนีทางพฤกษศาสตร์พื้นบ้าน คือ Used Value Index (UV) (Phillips et al., 1994) ดังสมการ

$$UV = \sum U_i / N \quad (1)$$

เมื่อ U_i = จำนวนรายงานการใช้พืชชนิดนั้น ๆ ในการนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพร

N = จำนวนผู้ให้ข้อมูล (Key informant) ทั้งหมดที่ทำการสัมภาษณ์

3. วิเคราะห์หาค่าความเป็นเอกฉันท์ขององค์ความรู้ของทั้ง 2 ชุมชน โดยใช้ ดัชนีพฤกษศาสตร์พื้นบ้าน Informant Consensus Factor (ICF) (Trotter and Logan, 1986) ดังสมการ

$$ICF = N_{ur} - N_t / N_{ur} - 1 \quad (2)$$

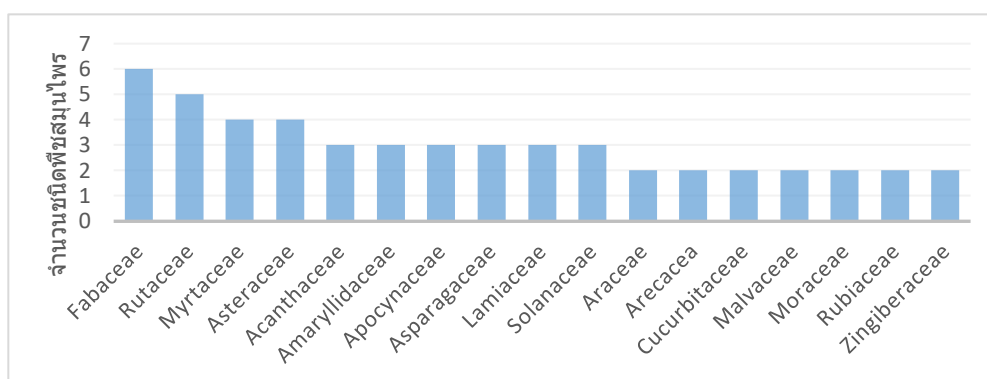
เมื่อ N_{ur} = จำนวนรายงานการใช้พืชในการรักษาอาการใด ๆ

N_t = จำนวนของชนิดพืชที่ใช้ในการรักษาอาการใด ๆ

ผลการวิจัย

ความหลากหลายชนิดพืชสมุนไพรในชุมชน

พบพืชในชุมชนที่ถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรทั้งหมด 81 ชนิด 74 สกุล 49 วงศ์ โดยพบพืชวงศ์ Fabaceae มากที่สุด จำนวน 6 ชนิด รองลงมาเป็นวงศ์ Rutaceae 5 ชนิด วงศ์ Asteraceae และ Myrtaceae วงศ์ละ 4 ชนิด ส่วนวงศ์ Acanthaceae, Amaryllidaceae, Apocynaceae, Asparagaceae, Lamiaceae, Rubiaceae และ Solanaceae วงศ์ละ 3 ชนิด วงศ์ที่มีการนำมาใช้ 2 ชนิด ได้แก่ Araceae, Arecaceae, Cucurbitaceae, Malvaceae, Moraceae, Rubiaceae และ Zingiberaceae ส่วนวงศ์ที่เหลือจะมีการนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรเพียงแค่วงศ์ละ 1 ชนิดเท่านั้น (ตารางที่ 1 และรูปที่ 1)



รูปที่ 1 จำนวนชนิดพืชสมุนไพรในแต่ละวงศ์

พืชที่นิยมนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรและลักษณะวิสัย

พืชในชุมชนที่นิยมและนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุดในโดยพิจารณาจาก ค่าดัชนีรายงานการใช้พืช (UV) มากที่สุด เท่ากับ 0.80 เท่ากันคือตะไคร้ (*Cymbopogon citrates* Stapf.) มะนาว (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle.) รองลงมาเป็นพริก (*Capsicum annuum* L.; UV 0.7) และชะอม (*Acacia pennata* (L.) Willd.; UV=0.45) (ตารางที่ 2) ลักษณะวิสัยของพืชในชุมชนแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ 3 ประเภท คือไม้ต้น ไม้ล้มลุก และไม้พุ่ม พบว่าไม้ล้มลุก เป็นพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุด จำนวน 38 ชนิด (ร้อยละ 47) รองลงมาเป็น ไม้พุ่ม จำนวน 22 ชนิด (ร้อยละ 27) และไม้ต้น (รวมปาล์ม) มีจำนวน 21 ชนิด (ร้อยละ 25) (ตารางที่ 1) โดยพบว่าในการศึกษาครั้งนี้พบพืชสมุนไพรส่วนใหญ่เป็นพืชในท้องถิ่น จำนวน 42 ชนิด (ร้อยละ 51) และเป็นพืชนำเข้าจากต่างประเทศที่นำมาปลูกในชุมชน จำนวน 39 ชนิด (ร้อยละ 48)

ตารางที่ 1 รายชื่อพืชสมุนไพรนำมาใช้ประโยชน์เป็นรักษาโรค (Ex= นำเข้าจากต่างประเทศ, C=ไม้เลื้อย, G=หญ้า H=ไม้ล้มลุก, CH= ไม้ล้มลุกเลื้อย, P= ปาล์ม, S=ไม้พุ่ม, T=ไม้ต้น)

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์	ชื่อท้องถิ่น	สรรพคุณ	ส่วนที่ใช้	วิธีการ	ลักษณะวิสัย
1	<i>Acacia pennata</i> (L.) Willd.	Fabaceae	ชะอม	ขับลม แก้ไข้จับสั่น	ใบ เปลือกลำต้น ราก	ต้มดื่มเป็นชา หรือประกอบอาหาร	S
2	<i>Aegle marmelos</i> (L.) Corrêa ex Roxb.	Rutaceae	บั๊กตุม	แก้มูกเลือด แก้ไข้	ใบ เปลือกลำต้น ผล	ต้มดื่มเป็นชา	T
3	<i>Allium ascalonicum</i> L. <i>Allium tuberosum</i> Rotter ex Spreng.	Amaryllidaceae	ต้นหอม	แก้ไข้	ใบ	ขยี้ สูดดม	ExH
4	ExH	Amaryllidaceae	ขึ้นฉ่าย	เพิ่มน้ำนมให้กับสตรีหลังคลอด	ใบ ราก	ประกอบอาหาร	H
5	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.	Asparagaceae	ว่านหางจระเข้	แก้กระเพาะอักเสบ	ใบ	ประคบทา	ExH
6	<i>Alpinia galanga</i> (L.) Willd.	Zingiberaceae	ข่า	บำรุงกำลัง แก้บิด แก้ไข้ มูกเลือด ริดสีดวง	ลำต้นใต้ดิน	ประกอบอาหาร	ExH
7	<i>Amaranthus viridis</i> L.	Amaranthaceae	ผักโขม	จุมูก	ใบ ลำต้น	ประกอบอาหาร	H
8	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	Bromeliaceae	สับปะรด	ห้ามเลือด ขับประจำเดือน	ผล	กินสด	ExH
9	<i>Annona squamosa</i> L.	Annonaceae	บักชีเย็บ	ฆ่าเหา	ใบ	คั้นน้ำ แล้วพอกหัว	ExS
10	<i>Areca catechu</i> L.	Aracaceae	หมาก	แก้ท้องอืด บำรุงร่างกาย	ราก	ต้มดื่มแล้วดื่มเป็นชา	T/ExP
11	<i>Averrhoa carambola</i> L.	Oxalidaceae	มะเฟือง	แก้ร้อนใน	ผล	กินสด	ExT
12	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Meliaceae	สะเดา	บำรุงกำลัง	ดอก ใบ	ประกอบอาหาร	T
13	<i>Barleria prionitis</i> L.	Acanthaceae	อังกาบหนู	แก้ไข้ บำรุงร่างกาย	ราก ดอก ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	ExS
14	<i>Blumea balsamifera</i> (L.) DC.	Asteraceae	ต้นหนาด	กระตุ้นการหมุนเวียนของโลหิต	ใบ ราก	ต้มดื่มเป็นชา	S
15	<i>Bombax ceiba</i> L.	Malvaceae	จ้าวแดง	บำรุงกำลัง แก้ร้อนใน	ใบ ผล	กินสด ต้มดื่มเป็นชา	T
16	<i>Brassica oleracea</i> L.	Brassicaceae	คะน้า	บำรุงผิว รักษาการอักเสบ แก้ปวด และ	ใบ ลำต้น	ประกอบอาหาร นำมาบดผสมกับมะนาวทา	ExH
17	<i>Butea monosperma</i> (Lam.) Taub	Fabaceae	ทองกวาว	ถอนพิษ	ใบ เมล็ด	แผล	T
18	<i>Calamus viminalis</i> Willd.	Arecaceae	หวาย	แก้ไข้ ถอนพิษจากสัตว์ตอย	ลำต้น	ประกอบอาหาร	S
19	<i>Calotropis gigantea</i> (L.) W.T. Aiton	Apocynaceae	ดอกกรัก	แก้ปวด	ดอก เปลือกลำต้น ราก	ขยี้ทาผิวหนัง	ExS
20	<i>Capsicum annuum</i> L.	Solanaceae	พริก	บำรุงร่างกาย	ผล	กินสด	ExH
21	<i>Careya aborea</i> Roxb.	Lecythidaceae	กระโดน	แก้ไข้	เปลือกลำต้น	นำมาแช่น้ำแล้วดื่ม	T

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2563

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์	ชื่อท้องถิ่น	สรรพคุณ	ส่วนที่ใช้	วิธีการ	ลักษณะวิสัย
22	<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae	มะละกอ มะม่วงหาว	ขับปัสสาวะ	ผล	กินสด	ExS
23	<i>Carissa carandas</i> L.	Apocynaceae	มะนาวโห่	ชะลอวัยและริ้วรอย บำรุงหัวใจ ถูมน้ำดีอีกเสบ ลด	ผล	กินสด	ExS
24	<i>Cassia fistula</i> L. <i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King &	Fabaceae	คูณ	ไขมันในเลือด	เปลือกลำต้น	ต้มดื่มเป็นชา	T
25	H. Rob.	Asteraceae	สาบเสือ	แก้โรคกระเพาะ	ราก ต้น ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	ExH
26	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	Rutaceae	มะนาว	แก้โรคกระเพาะ	เปลือกผล	ต้มดื่มเป็นชา	ExS
27	<i>Citrus hystrix</i> DC.	Rutaceae	มะกรูด	บำรุงหัวใจ	เปลือกผล	ต้มดื่มเป็นชา ใบมาตำแล้วพอกบริเวณ	S
28	<i>Citrus maxima</i> (Burm.) Merr.	Rutaceae	ส้มโอ	ปวดศีรษะ	ใบ	ศีรษะ	ExS
29	<i>Clitoria ternatea</i> L.	Fabaceae	อัญชัน	ป้องกันโรคต่อกระจาก ต้อหิน กระตุ้นการหมุนเวียนของโลหิต	ดอก	กินสด	ExCH
30	<i>Coccinia grandis</i> (L.) Voigt	Cucurbitaceae	ตำลึง	บำรุงสายตา	ใบ	ประกอบอาหาร	HC
31	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	มะพร้าว	บำรุงผิว	ผล	กินสด	T/ExP
32	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	Araceae	บอน	แก้พิษไข้	ใบ	คั้นเอาน้ำจากก้านใบประคบ ต้มดื่มเป็นชา หรือประกอบ	H
33	<i>Coriandrum sativum</i> L. <i>Cratogeomys cochinchinense</i> (Lour.)	Apiaceae	ผักชีไทย	แก้ไข้หัว ใช้อีดำอีแดง	ใบ ต้น ราก	อาหาร	ExH
34	Blume	Hypericaceae	ผักตัว	บำรุงโลหิต	ใบ ดอก	ประกอบอาหาร	T
35	<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne	Cucurbitaceae	ฟักทอง	แก้พิษไข้ แมลงกัดต่อย	ผล	คั้นพอกแผล	ExHC
36	<i>Curcuma longa</i> L.	Zingiberaceae	ขมิ้น	แก้ท้องเสีย แก้บิด	ลำต้น	ตำรากับน้ำปูนใสแล้วดื่ม ต้มดื่มเป็นชา หรือประกอบ	H
37	<i>Cymbopogon citratus</i> Stapf	Poaceae	ตะไคร้	ลดความดันโลหิตสูง	ลำต้น	อาหาร	ExG
38	<i>Cyperus involucratus</i> Rottb.	Cyperaceae	กก	รักษาท้องน้ำดีอีกเสบ บรรเทาอาการปวดในการคลอด	ใบ ต้น	ต้มดื่มเป็นชา	ExH
39	<i>Dieffenbachia</i> sp.	Araceae	ว่านเศรษฐี	บุตร	ต้น ราก	ต้มดื่มเป็นชา	H

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2563

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์	ชื่อท้องถิ่น	สรรพคุณ	ส่วนที่ใช้	วิธีการ	ลักษณะวิสัย
40	<i>Dimocarpus longan</i> Lour.	Sapindaceae	ลำไย	แก้ท้องเสีย	เปลือกลำต้น	ต้มดื่มเป็นชา	ST
41	<i>Dracaena cochinchinensis</i> (L.) S.C.	Dracaenaceae	จันทน์	บำรุงหัวใจ	ลำต้น เมล็ด	ต้มดื่มเป็นชา	T
42	<i>Elaeocarpus hygrophilus</i> Kurz	Elaeocarpaceae	มะกอกน้ำ	พอกโลหิตหลังคลอด	เปลือกต้น	ต้มดื่มเป็นชา	T
43	<i>Graptophyllum pictum</i> (L.) Griff.	Acanthaceae	ใบเงิน ใบทอง	ขับประจำเดือน ลดไขมันในเส้นเลือด และช่วยลด	ใบ ต้น	ต้มดื่มเป็นชา	ExH
44	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Malvaceae	กระเจี๊ยบ	น้ำหนึก	ดอก	ประกอบอาหาร	ExH
45	<i>Hippeastrum</i> sp. <i>Hylocereus undatus</i> (Haw) Britton & Rose)	Amaryllidaceae	ว่านรางเงิน	แก้ฟกช้ำบวม ร้อนใน	ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	ExH
46	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	Cactaceae	แก้วมังกร	ลดการเกิดมะเร็ง เบาหวาน	ผล	กินสด	ExH
47	<i>Ixora coccinea</i> L.	Convolvulaceae	ผักบุ้ง	บำรุงสายตา	ใบ ลำต้น	ประกอบอาหาร	CH
48	<i>Jasminum sambac</i> (L.) Aiton	Rubiaceae	เข็มบ้าน	แก้โรคตาแดง ริดสีดวงจมูก	ดอก	กินสด	ExS
49	<i>Lawsonia inermis</i> L.	Oleaceae	มะลิ	แก้ฟกช้ำ บำรุงหัวใจ	ราก	ตำพอก	ExCH
50	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	Lythraceae	กาว	ฆ่าเชื้อโรค	ใบ	ตำพอก	S
51	<i>Mangifera indica</i> L.	Solanaceae	มะเขือเทศ	บำรุงผิว	ผล	กินสด หรือทาหน้า	ExH
52	<i>Manilkara kauki</i> (L.) Dubard	Anacardiaceae	มะม่วง	รักษาการอักเสบ สมานแผล	เปลือกเมล็ด	ต้มดื่มเป็นชา ต้มดื่มเป็นชา	T
53	<i>Mentha cordifolia</i> Opiz Fresen	Sapotaceae	ละมุด	บำรุงกำลัง	เปลือกลำต้น ผล	หรือกินผลสด	T
54	<i>Morinda citrifolia</i> L.	Lamiaceae	สาระแหน่	ขับลม	ใบ	ประกอบอาหาร	ExH
55	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Rubiaceae	บักยอบ้าน	ใช้รักษาทุย	ใบ ดอก ผล	ต้มดื่มเป็นชา	ST
56	<i>Morus alba</i> L.	Moringaceae	มะรุม	บำรุงกำลัง	ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	ST
57	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	Moraceae	หม่อน	เป็นยาระบาย กระตุ้นการหมุนเวียนของโลหิต	ผล	กินสด	S
58	<i>Musa sapientum</i> L.	Rutaceae	ดอกแก้ว	ขับประจำเดือน	ราก ดอก ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	S
59	<i>Ocimum americanum</i> L.	Musaceae	กล้วย	ชะลอความแก่	ผล	กินสด	H
60	<i>Ocimum tenuiflorum</i> L.	Lamiaceae	แมงลัก	ลดระดับคอเลสเตอรอล	เมล็ด	แช่น้ำ	ExH
61		Lamiaceae	กะเพรา	แก้ท้องอืด	ราก	ต้มดื่มเป็นชา	H

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2563

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์	ชื่อท้องถิ่น	สรรพคุณ	ส่วนที่ใช้	วิธีการ	ลักษณะวิสัย
	<i>Ophiopogon japonicus</i> (Thunb.) Ker						
62	Gawl.	Asparagaceae	หนวดปลาชุก	แก้พิษปลาชุก	ลำต้นใต้ดิน ราก	บดประคบ	ExH
63	<i>Oroxylum indicum</i> L. Kurz	Bignoniaceae	ลิ้นฟ้า	รักษาการอักเสบ ฟกช้ำ บวม	ราก	นำมาฝนกับน้ำมันในสทาผล	T
64	<i>Phyllanthus acidus</i> L. Skeels	Phyllanthaceae	มะยม	ลดอาการปวดศีรษะ	ราก ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	ExST
65	<i>Piper sarmentosum</i> Roxb.	Piperaceae	ชะพลู	รักษาโรคเบาหวาน	รากใบ	ต้มดื่มเป็นชา	CH
66	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Rosaceae	หมากท้อ	ขับพยาธิ บำรุงผิว	เมล็ด ดอก ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	ExST
67	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	ฝรั่ง	บำรุงเหงือกและฟัน	ใบ	เคี้ยวอม	ExS
68	<i>Sansevieria cylindrica</i> Bojer ex Hook.	Asparagaceae	ว่านงาช้าง	แก้ริดสีดวงทวาร ขับพยาธิ	ใบ ราก	ต้มดื่มเป็นชา ต้มดื่มเป็นชา หรือประคบ	ExH
69	<i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin & Barneby.	Fabaceae	ขี้เหล็ก	แก้ท้องอืด แก้ไข้	ใบ ดอก ราก ลำต้น	อาหาร	ExST
70	<i>Sesbania grandiflora</i> (L.) Desv.	Fabaceae	แค	แก้ร้อนใน	ดอก	ประกอบอาหาร ต้มดื่มเป็นชา หรือประคบ	ExS
71	<i>Solanum aculestissimum</i> Jacq.	Solanaceae	มะเขือเปราะ	แก้ไข้ รักษาการอักเสบ	ผล ราก	อาหาร	US
72	<i>Streblus asper</i> Lour.	Moraceae	ข่อย	แก้รำมะนาด	เปลือกลำต้น	ต้มดื่มเป็นชา	S
73	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae	ห้ว	แก้ท้องเสีย ริดสีดวง	ผล	กินสด	T
74	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston.	Myrtaceae	ชมพู่น้ำดอกไม้	แก้ตาเจ็บ เบาหวาน	ผล	กินสด	T
	<i>Syzygium gratum</i> (Wight) S.N. Mitra						
75	var. <i>gratum</i>	Myrtaceae	ผักแม็ก	ขับลม	ใบอ่อน	กินสด	T
	<i>Tabernaemontana divaricate</i> (L.)						
76	R.Br.ex Roem. & Schult.	Apocynaceae	ดอกพุด	ขับพยาธิ	ราก ลำต้น ใบ	คั้นเอาน้ำดื่ม	ExS
77	<i>Tagetes erecta</i> L.	Asteraceae	ดาวเรือง	พอกเลือด ตาลขโมย	ดอก ราก ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	ExH
78	<i>Thunbergia laurifolia</i> Lindl.	Acanthaceae	รางจืด	แก้ร้อนใน	ใบ ลำต้น ราก	ต้มดื่มเป็นชา	CH
79	<i>Tiliacora triandra</i> (Colebr.) Diels	Menispermaceae	ย่านาง	ชะลอการเกิดริ้วรอย	ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	HC
80	<i>Tradescantia spathacea</i> Stearn.	Commelinaceae	ว่านกาบหอย	แก้ร้อนใน แก้ไอ ขับปัสสาวะ	ใบ	ต้มดื่มเป็นชา	H
81	<i>Vernonia extensa</i> (Wall.) Wall. ex DC.	Asteraceae	หนานเฉาเหว่ย	ลดน้ำตาลในเลือด	ใบ ราก เปลือกลำต้น	ต้มดื่มเป็นชา	ExH

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีรายการการใช้ (UV index) ที่มีค่าสูงสุด 10 ชนิดแรก ของพืชสมุนไพรใน 2 หมู่บ้าน

ลำดับที่	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์	UV
1	ตะไคร้	<i>Cymbopogon citratus</i> L.	0.80
2	มะนาว	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle.	0.80
3	พริก	<i>Capsicum annuum</i> L.	0.70
4	ชะอม	<i>Acacia pennata</i> (L.)	0.45
5	หอม	<i>Allium ascalonicum</i> L.	0.40
6	ข่า	<i>Alpinia galanga</i> (L.) Willd.	0.40
7	สาระแหน่	<i>Mentha cordifolia</i> Opiz Fresen	0.40
8	หวาย	<i>Calamus viminalis</i> Willd.	0.35
9	มะรุม	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	0.30
10	กล้วยน้ำหว่า	<i>Musa sapientum</i> L.	0.30

ส่วนของพืชที่ใช้

ส่วนของพืชสมุนไพรที่พบทั้งหมด 9 ส่วน และพบว่าใบเป็นส่วนของพืชที่นิยมใช้มากที่สุดถึง 41 ชนิด (ร้อยละ 33) รองลงมาเป็นส่วนของราก มีจำนวน 23 ชนิด (ร้อยละ 18) และลำต้น มีจำนวน 18 ชนิด (ร้อยละ 14) ส่วนที่ใช้น้อยที่สุดคือลำต้นใต้ดินและเปลือกผลอย่างละ 1 ชนิด (ร้อยละ 0.8) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ส่วนของพืชในชุมชนที่ใช้เป็นยาสมุนไพร

ส่วนของพืชที่ใช้	จำนวนชนิด	ร้อยละ
ใบ	41	33.0
ราก	23	18.0
ผล	18	14.0
ลำต้น	15	12.0
ดอก	13	10.0
เปลือกลำต้น	7	5.0
เมล็ด	5	4.0
เปลือกของผล	1	0.8
ลำต้นใต้ดิน	1	0.8

วิธีการเตรียมและใช้พืชสมุนไพร

ชุมชนไทลาวบ้านดอนคู และบ้านปลาค้าว อ. สุวรรณภูมิ มีวิธีการใช้พืชสมุนไพรทั้งหมด 9 วิธี โดยพบว่าวิธีที่พืชสมุนไพรถูกนำไปใช้ในการเตรียมและรักษาโรคมามากที่สุดคือ การต้มดื่ม จำนวนทั้งสิ้น 35 ชนิด (ร้อยละ 40) รองลงมาเป็นนำไปประกอบอาหาร จำนวน 17 ชนิด (ร้อยละ 19) กินสด จำนวน 13 ชนิด (ร้อยละ 18) คั้นน้ำหรือขยี้ 6 ชนิด (ร้อยละ 7) ส่วนวิธีที่ใช้น้อยที่สุดคือการเคี้ยวแล้วอม และประคบ อย่างละ 1 ชนิด (ร้อยละ 1) คือ ใบของฝรั่ง (*Psidium guajava* L.) ช่วยบำรุงเหงือกและฟัน และเปลือกของต้นกระโดน (*Careya arborea* Roxb.) ซึ่งช่วยแก้อาการไอ (ตารางที่ 1 และ 4)

ตารางที่ 4 วิธีการเตรียมและใช้พืชสมุนไพร

วิธีการเตรียมและใช้พืชสมุนไพร	จำนวนชนิด	ร้อยละ
ต้มดื่ม	35	40
ประกอบอาหาร	17	19
กินสด	16	18
คั้นน้ำหรือขยี้	6	7
ตำพอก	5	6
ฝนหรือบด	3	3
แช่น้ำดื่ม	2	2
เคี้ยวอม	1	1
ประคบ	1	1

กลุ่มอาการหรือโรคที่ใช้พืชสมุนไพรในการรักษา และค่าดัชนีความเป็นเอกลักษณ์ขององค์ความรู้ (ICF) ในการใช้พืชสมุนไพร

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากลุ่มอาการหรือโรคที่ชุมชนไทลาวทั้ง 2 หมู่บ้าน ใช้พืชสมุนไพรในการรักษาเบื้องต้น มีทั้งหมด 22 กลุ่มอาการ โดยพบว่ากลุ่มอาการหรือโรคที่มีค่าดัชนีความเป็นเอกลักษณ์ขององค์ความรู้ (ICF) มากที่สุดคือ ขับปัสสาวะ มีค่า ICF เท่ากับ 0.88 รองลงมาเป็นการใช้พืชสมุนไพรในการขับพยาธิ ค่า ICF เท่ากับ 0.84 สำหรับจำนวนของชนิดพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษามากที่สุด คือ การใช้พืชสมุนไพรเพื่อการบำรุงร่างกาย ได้แก่ บำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ บำรุงโลหิต มีจำนวนชนิดพืชสมุนไพรมากที่สุด 18 ชนิด มีรายงานการใช้พืชสมุนไพรในการรักษาโรคกลุ่มนี้ 41 รายงาน ค่า ICF เท่ากับ 0.57 รองลงมาเป็นการใช้สมุนไพรเพื่อการรักษาโรคในช่องท้อง ได้แก่ โรคกระเพาะ ท้องเสีย เป็นยาระบาย หรือขับลม และการใช้สมุนไพรเพื่อรักษาอาการเคล็ดขัดยอก ฟกช้ำ หรือบวม จำนวน 11 ชนิด 39 รายงาน ค่า ICF เท่ากับ 0.73 (ตารางที่ 1 และ 5)

ตารางที่ 5 กลุ่มอาการหรือโรคที่ใช้พืชสมุนไพรในการรักษา และค่าดัชนีความเป็นเอกลักษณ์ขององค์ความรู้ (ICF) ในการใช้พืชสมุนไพร

กลุ่มอาการหรือโรค	จำนวนชนิด (N _t)	รายงานการใช้ (N _u)	ICF
ขับปัสสาวะ	2	10	0.88
ขับพยาธิ	3	14	0.84
บำรุงผิว/ลดริ้วรอย/ชะลอวัย	6	28	0.81
เบาหวาน	3	11	0.80
ลดน้ำตาล/ไขมันในเลือด	3	9	0.75
กะเพาะ/ท้องเสีย/ขับลม/ระบาย/ท้องอืด	11	39	0.73
พิษจากสัตว์/กำจัดเหา	4	12	0.72
ต่อหิน/ต่อกระจก/ตากุ้งยิง/บำรุงสายตา	4	11	0.70
แก้ปวด/ปวดศีรษะ	4	9	0.625
บำรุงกำลัง/บำรุงหัวใจ/บำรุงโลหิต/ความดันโลหิต	18	41	0.57

กลุ่มอาการหรือโรค	จำนวนชนิด (N_p)	รายงานการใช้ (N_{ur})	ICF
เคล็ดขัดยอก/ฟกช้ำ/บวม	5	9	0.50
ไข้/ไอ	10	18	0.47
แผลอักเสบ/ฆ่าเชื้อ/ห้ามเลือด	7	12	0.45
ท่อน้ำดีอักเสบ/ตาชโมย	3	4	0.33
สตรีหลังคลอด/เพิ่มน้ำนม/ขับประจำเดือน	4	5	0.25
ร้อนใน/กระหายน้ำ	5	5	0.00
ริดสีดวง/มูกเลือด	3	3	0.00
บำรุงเหงือกและฟัน/ร่ามะนาด	2	2	0.00
มะเร็ง	1	1	0.00

ผลการวิจัย

ความหลากหลายระดับชนิดของพืชสมุนไพรในชุมชน

จากการสำรวจความหลากหลายชนิดพืชสมุนไพรของชุมชนไทลาว ในอำเภอสวรรคภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด พบพืชในชุมชนที่ถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรทั้งหมด 81 ชนิด 74 สกุล 49 วงศ์ โดยพบพืชวงศ์ Fabaceae มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Pholhiamhan et al. (2018) ที่ทำการศึกษาพฤกษศาสตร์พื้นบ้านของชุมชนภูไท ในจังหวัดนครพนม พบพืชวงศ์ Fabaceae มีความหลากหลายชนิดของพืชที่มีการใช้ประโยชน์มากที่สุด 42 ชนิด (ร้อยละ 12) โดยมีการนำพืชมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันทั้งหมด 329 ชนิด 89 วงศ์ ซึ่งเป็นการนำมาบริโภคมากที่สุด จำนวน 199 ชนิด รองลงมาเป็นใช้เป็นพืชสมุนไพร จำนวน 176 ชนิด และสอดคล้องกับ Thongpukdee et al. (2014) ศึกษาพฤกษศาสตร์พื้นบ้านของพืชผักในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบพืชทั้งหมด 55 ชนิด 54 สกุล 34 วงศ์ โดยพบว่าวงศ์ที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือวงศ์ Fabaceae เช่นกัน อาจจะเป็นเพราะว่าพืชวงศ์ถั่ว (Fabaceae) มีจำนวนสมาชิกเป็นอันดับสามของพืชดอกทั้งหมด มีลักษณะวิสัยหลากหลายแบบทั้งไม้ต้น ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุก ดังนั้นโอกาสที่จะพบและใช้ประโยชน์จากพืชวงศ์นี้จึงมีอยู่สูง อย่างไรก็ตามการศึกษารั้วนี้แตกต่างจากการศึกษาของอุดมวิทย์ และคณะ (2561) ที่ศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านความหลากหลายทางชีวภาพของพืชในชุมชนจังหวัดนครพนมและจังหวัดมุกดาหาร โดยการสำรวจรวบรวมพันธุ์พืชและสัมภาษณ์ชุมชนพื้นเมือง จำนวน 6 ชนเผ่า 12 หมู่บ้าน พบพืชที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งหมด 176 ชนิด 156 สกุล 73 วงศ์ โดยพบว่าพืชวงศ์ Acanthaceae เป็นวงศ์ที่มีการนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุด และพบว่าภูมิปัญญาในการใช้ประโยชน์พืชที่พบมากที่สุดคือ ด้านพืชอาหาร รองลงมาเป็นด้านพืชสมุนไพร ซึ่งความแตกต่างในผลการศึกษาครั้งนี้อาจเป็นเพราะความแตกต่างของวัฒนธรรม และองค์ความรู้ของแต่ละชุมชนในแต่ละกลุ่มชาติพันธุ์ที่ส่งสม ถ่ายทอดกันมาจากรุ่นสู่รุ่น รวมไปถึงความแตกต่างของสภาพภูมิศาสตร์ และระบบนิเวศที่เป็นที่ตั้งของชุมชนในแต่ละกลุ่มชาติพันธุ์ ซึ่งก่อให้เกิดความหลากหลายชนิดของพรรณไม้และการใช้ประโยชน์พรรณพืชในระบบนิเวศนั้น ๆ ตามไปด้วย

พืชที่นิยมนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรและลักษณะนิสัย

พืชในชุมชนทั้ง 2 หมู่บ้าน ที่นิยมนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุดในการศึกษาค้นคว้า โดยพิจารณาจาก ค่า UV มากที่สุดคือ ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* L.) และมะนาว (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle.) รองลงมาเป็น พริก (*Capsicum annuum* L.) และชะอม (*Acacia pennata* (L.) ซึ่งจะเห็นว่าพืชเหล่านี้เป็นพืชที่ถูกนำมาประกอบอาหารในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว ส่วนลักษณะนิสัยของพืชสมุนไพรในชุมชนส่วนใหญ่เป็นไม้ล้มลุก สอดคล้องกับการศึกษาของอุดมวิทย์ และคณะ (2561) ทำการวิจัยภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านความหลากหลายทางชีวภาพของพืชในชุมชนจังหวัดนครพนมและจังหวัดมุกดาหาร พบว่าไม้ล้มลุกเป็นพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุดเช่นกัน อาจจะเป็นเพราะว่าพืชสมุนไพรที่ทำการศึกษาค้นคว้านี้เป็นพืชที่พบตามสวนครัว สวนหลังบ้าน หรือพืชที่อยู่รอบ ๆ หมู่บ้านอยู่แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่ก็จะเป็นพืชล้มลุก อายุสั้น ปลูกง่าย เจริญเติบโตได้เร็ว และที่สำคัญต้องเป็นพืชที่นำมาประกอบอาหารได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุมชนมีความรู้ในการนำพืชเหล่านี้มาใช้เป็นพืชสมุนไพรเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพของชุมชนได้เป็นอย่างดี และสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยนาด (2557) ที่ศึกษาการฟื้นฟูป่าชุมชนบ้านและการบริโภคผักพื้นบ้านเพื่อสุขภาพชุมชนในตำบลแหลมบัว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ผลการศึกษาพบว่าผักพื้นบ้านที่ค้นในตำบลแหลมบัวนำมาบริโภคมีทั้งหมด 80 ชนิด โดยพบว่ามีการใช้ประโยชน์จากไม้ล้มลุกมากที่สุด และชาวตำบลแหลมบัวมีประสบการณ์และเรียนรู้การวิธีนำผักพื้นบ้านมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารมากที่สุด รองลงมาคือนำมาใช้เป็นยาสมุนไพร และพบว่าทั้งสองชุมชนมีการใช้พืชในท้องถิ่นเป็นพืชสมุนไพรมากกว่าพืชที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงภูมิปัญญาท้องถิ่นในการรู้จักใช้ประโยชน์จากพืชในชุมชนของตนเองเป็นอย่างดี

ส่วนของพืชสมุนไพรที่ใช้

ส่วนของพืชที่ใช้พบทั้งหมด 9 ส่วน และพบว่าใบเป็นส่วนของพืชที่นิยมใช้มากที่สุดคือใบ รองลงมาเป็นส่วนของราก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pholhiamhan et al. (2018) ที่ศึกษาพฤกษศาสตร์พื้นบ้านของกลุ่มชาติพันธุ์อุไทย ในจังหวัดนครพนม ซึ่งพบว่าส่วนของพืชที่มีการนำมาใช้มากที่สุดคือใบ 21.20% และสอดคล้องกับการศึกษาของ บังอร (2554) ศึกษาผักพื้นบ้านมาใช้ประโยชน์ของชุมชนบ้านไร่พิจิตรภายใต้กรอบแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง ก็พบว่าใบเป็นส่วนที่มีการใช้มากที่สุดเช่นกัน อาจจะเป็นเพราะใบเป็นส่วนของพืชที่มีจำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ ของพืช สะดวกและง่ายต่อการเก็บเกี่ยวและนำไปใช้ และเมื่อปล่อยให้แห้งพืชก็สามารถที่จะงอกใบใหม่ทดแทนใบที่ถูกเก็บเกี่ยวไปได้เร็วกว่า ในขณะที่รากเป็นส่วนของพืชที่ได้รับความนิยมรองลงมา อาจเป็นเพราะรากมีความปริมาณของสารที่มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ แต่กรรมวิธีในการใช้จะต้องมีการขูดราก หรือถอนโคนของพืชชนิดนั้น ๆ ขึ้นมาทั้งต้น หรือถ้าเป็นการตัดรากไปบางส่วน ก็อาจจะทำให้พืชชนิดนั้น ๆ เกิดบาดแผลส่งผลให้พืชตายในที่สุด อาจจะต้องปลูกใหม่ ซึ่งต้องรอเวลาในการเติบโตของพืชชนิดนั้น ๆ เพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวเมื่อต้องการใช้ประโยชน์อีกครั้ง ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาและไม่ทันต่อการใช้งาน ในกรณีที่ต้องการใช้รากในปริมาณมาก

วิธีการเตรียมและใช้พืชสมุนไพร

ชาวบ้านในชุมชนบ้านดอนตูและบ้านปลาข้าว อำเภอสวรรคภูมิ มีวิธีการเตรียมและใช้พืชสมุนไพรทั้งหมด 9 วิธีโดยพบว่าวิธีที่พืชสมุนไพรถูกนำไปเตรียมหรือใช้มากที่สุดคือ การต้มดื่ม รองลงมาเป็นประกอบอาหาร ซึ่งผลงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Phumthum et al. (2018) ที่พบว่าการต้มดื่มเป็นวิธีที่นิยมในการใช้พืชสมุนไพรในการ

รักษาโรคมามากที่สุดในประเทศไทย อาจจะเป็นเพราะการต้มดื่มเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการเตรียม และการต้มเป็นการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายที่ไม่ยุ่งยาก ความร้อนจะกระตุ้นให้มีการสกัดสารหรือตัวยาที่อยู่ในพืชสมุนไพรออกมาได้ดี จะเห็นได้ว่าวิธีการเหล่านี้เป็นองค์ความรู้และเป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านที่ถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่นมาจนถึงปัจจุบัน

กลุ่มอาการหรือโรคที่ใช้พืชสมุนไพรในการรักษา และคำดัชนีความเป็นเอกลักษณ์ขององค์ความรู้ (ICF) ในการใช้พืชสมุนไพร

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากลุ่มอาการหรือโรคที่ชุมชนไทลาวทั้ง 2 หมู่บ้าน ใช้พืชสมุนไพรในการรักษาเบื้องต้น มีทั้งหมด 22 กลุ่มอาการ โดยพบว่ากลุ่มอาการหรือโรคที่มีคำดัชนีความเป็นเอกลักษณ์ขององค์ความรู้ในการใช้พืชสมุนไพรในการรักษามากที่สุดคือ ขับปัสสาวะ รองลงมาเป็นการขับพยาธิ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะชุมชนไทลาวทั้ง 2 หมู่บ้านเป็นชุมชนที่อยู่ห่างไกลจากตัวเมืองจังหวัดร้อยเอ็ด การสาธารณสุขมูลฐานยังไม่ค่อยดีนัก ทั้งการต้องใช้น้ำใต้ดินในการอุปโภคบริโภค ทำให้อาจจะไม่ถูกสุขลักษณะ อาจก่อให้เกิดภาวะนี้ไต ภาวะปัสสาวะยาก และสาเหตุอีกอย่างหนึ่งคือวัฒนธรรมการกินอาหารของชาวอีสานจะนิยมรับประทานแบบสุก ๆ ดิบ ทำให้พบผู้ป่วยมีพยาธิแบบต่าง ๆ ในภาคอีสานมากที่สุด ดังนั้นจึงเกิดองค์ความรู้ในการใช้พืชสมุนไพรในการขับปัสสาวะ และขับพยาธิขึ้นมา และถ่ายทอดมายังรุ่นลูกหลานจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีพืชเพียง 2-3 ชนิดเท่านั้นในการใช้ในการขับปัสสาวะ และขับพยาธิในทั้ง 2 ชุมชน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงองค์ความรู้ที่เป็นหนึ่งเดียวในการใช้พืชมารักษาทั้ง 2 โรคนี้ สำหรับกลุ่มอาการที่มีจำนวนของชนิดพืชสมุนไพรมากที่สุด คือ การบำรุง ได้แก่ บำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ บำรุงโลหิต สาเหตุที่มีการใช้พืชสมุนไพรในการรักษากลุ่มอาการนี้มากที่สุดอาจจะเป็นเพราะกิจวัตรประจำวันของชาวอีสานที่ปกติจะต้องออกไปใช้แรงงาน ทำไร่ทำนา การใช้แรงงานทำให้มีการบำรุงร่างกายให้แข็งแรงอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดภูมิปัญญาท้องถิ่นในการสรรหาพืชชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการบำรุงกำลัง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศรีัญญา และคณะ (2562) ซึ่งศึกษาความหลากหลายชนิดและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์กุ่มในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด-บ้านคูสีแจ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดศรีสะเกษ พบว่ามีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ในการรักษาทั้งหมด 27 กลุ่มอาการ และพบว่ามีกลุ่มอาการที่ใช้พืชสมุนไพรในการรักษาคล้ายคลึงกัน เช่น แก้ไข้ กระเพาะ ถอนพิษ ขับพยาธิ แก้ปวด แก้ไอ แต่ชนิดของพืชที่นำมาใช้ในการรักษาของกลุ่มชาติพันธุ์กุ่มแต่ละกลุ่มอาการแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะความแตกต่างของวัฒนธรรมการใช้พืชของทั้งสองกลุ่มชาติพันธุ์ ส่งผลให้เกิดความแตกต่างองค์ความรู้ของสรรพคุณของพืชสมุนไพรแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังพบว่า ศรีัญญา และคณะ (2562) เป็นการศึกษาพืชสมุนไพรในพื้นที่ป่าเต็งรัง ทำให้พรรณไม้ที่นำมาใช้ประโยชน์เป็นชนิดของพรรณไม้ที่มักพบในป่าเต็งรัง ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่ศึกษาพืชสมุนไพรในพื้นที่สวนหลังบ้านและพื้นที่รอบชุมชนซึ่งจะเป็นพรรณปลูกและเป็นพืชผักสวนครัวมากกว่า

บทสรุป

ผลการศึกษาครั้งนี้พบพืชสมุนไพรทั้งหมด 81 ชนิด 74 สกุล 49 วงศ์ โดยพบพืชวงศ์ Fabaceae มากที่สุด รองลงมาเป็นวงศ์ Rutaceae และ Myrtaceae พืชที่นิยมนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุดคือ มะนาว (*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle.) และตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* L.) ไม้ล้มลุกเป็นพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรมากที่สุด ส่วนของพืชที่นิยมใช้มากที่สุดคือใบ รองลงมาเป็นราก วิธีการใช้พืชสมุนไพรทั้งหมดพบ 9 วิธี โดยพบว่า วิธีที่พืชสมุนไพรถูกนำไปใช้มากที่สุดคือ การต้มดื่มเป็นชา รองลงมาเป็นนำไปประกอบอาหาร กลุ่มอาการหรือโรคที่ชุมชนไทลาวทั้ง 2 ชุมชน ใช้พืชสมุนไพรในการรักษาเบื้องต้น มีทั้งหมด 22 กลุ่มอาการ โดยพบว่าคำดัชนีความเป็นเอกลักษณ์ขององค์ความรู้

(ICF) มากที่สุดคือการใช้พืชในการขับไล่สวาท และกลุ่มอาการหรือโรคที่มีจำนวนพืชสมุนไพรใช้ในการรักษามากที่สุดคือการใช้พืชเพื่อบำรุงร่างกาย บำรุงโลหิต

จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการนำพืชในชุมชนมาใช้ประโยชน์เป็นพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาว ในหมู่บ้านดอนตู และบ้านปลาเค้า อำเภอสวรรภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด มีองค์ความรู้การใช้พืชรักษาโรคที่หลากหลาย โดยพบว่าพืชส่วนใหญ่เป็นพืชที่ปลูกไว้รอบบ้านหรือรอบหมู่บ้านเพื่อการบริโภคและใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ปัจจุบันกระแสการเปลี่ยนแปลงทางสังคมที่เปลี่ยนไป ทำให้มีความนิยมในพืชสมุนไพรพื้นบ้านรอบตัวลดลงหันมาใช้ยาปัจจุบันในการรักษาโรคต่าง ๆ แทน ซึ่งให้การรักษาที่เห็นผลเร็วกว่า เป็นสาเหตุให้องค์ความรู้ในการใช้พืชสมุนไพรในชุมชนเริ่มเสื่อมสลาย และค่อย ๆ หายไปจากชุมชน ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปเผยแพร่ให้กับชุมชน ให้หันกลับมาใช้ชีวิตแบบดั้งเดิม คือการใช้พืชผักสวนครัวมาเป็นพืชสมุนไพรในการรักษาดูแลสุขภาพเบื้องต้นได้สามารถนำไปสู่การอนุรักษ์ และพัฒนาพืชผักสวนครัวที่มีสรรพคุณเป็นสมุนไพรให้เป็นพืชเศรษฐกิจได้ ดังนั้นชุมชนจึงควรที่จะตระหนักถึงความสำคัญและมีแนวทางป้องกันการสูญหายขององค์ความรู้พื้นบ้านเหล่านี้ เพื่อให้สืบทอดยังคนรุ่นหลัง รวมไปถึงกระตุ้นให้เกิดการกระแสนอนุรักษ์ทรัพยากรท้องถิ่นสำหรับชุมชนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สาขาชีววิทยา คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณชาวบ้านในหมู่บ้านดอนตูและบ้านปลาเค้า อำเภอสวรรภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ให้ความอนุเคราะห์การเข้าไปสำรวจข้อมูลและทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

ฐานข้อมูลพืชสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562.

www.Phargarden.com

ฐานข้อมูลสมุนไพรที่ใช้ในงานสาธารณสุขมูลฐาน คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562.

<http://medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/index.asp>

ทะนงศักดิ์ ปัดสินธุ์. (2560). การศึกษาความหลากหลายของพืชสมุนไพรในชุมชนบ้านเชียงเหียน ตำบลเขวาสี อำเภอมือง จังหวัดมหาสารคาม. วารสารแสงอีสาน. 4(1): 1-14.

ทะนงศักดิ์ ปัดสินธุ์. (2562). วิถีชุมชนกับความหลากหลายของพืชสมุนไพรในชุมชน: กรณีศึกษาชุมชนบ้านเชียงเหียน ตำบลเขวาสี อำเภอมือง จังหวัดมหาสารคาม. วารสารมนุษยสังคมสาร (มสส.). 17(4): 21-39.

บังอร เลิศสกุลจินดา. (2554). การศึกษาการนำผักพื้นบ้านมาใช้ประโยชน์ของชุมชนบ้านไร่พิจิตร ภายใต้กรอบแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง. สักทองวารสารวิจัย: วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์. 2(2): 106-124.

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2540). ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. โรงพิมพ์เจริญผล: กรุงเทพฯ.

- ปิยนถ อิมตี. (2557). การฟื้นฟูผืนป่าและการบริโภคผืนป่าเพื่อสุขภาวะชุมชนในตำบลแหลมบัว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม. ใน การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4 “Rethink : Social Development for Sustainability in ASEAN Community” 11-13 มิถุนายน 2557. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 373-382.
- ยุพา คำจำปา. (2558). ความหลากหลายของพืชสมุนไพรในหมู่บ้านปืลือกคี อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. 684-695.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2542). พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2542. นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่น: กรุงเทพฯ.
- ศรัณญา ก่อพันธุ์, ธวัชชัย ธาณี และ สมบัติ อัมระภา. (2562). ความหลากหลายชนิดและการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพรของกลุ่มชาติพันธุ์อยู่ในพื้นที่ป่าชุมชนโคกคูขาด-บ้านคูสีแจ อำเภอไพรบึง จังหวัดศรีสะเกษ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 3(3): 247-262.
- เต็ม สมิตินันท์. (2544). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2541. สวนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้. กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.
- อุดมวิทย์ ไวยการ, ภัฏญรัตน์ จำปาทอง, ปิยรัตน์ จังพล และปจจิราย์ อินทะขุบ. (2561). การวิจัยภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านความหลากหลายทางชีวภาพของพืชในชุมชนจังหวัดนครพนมและจังหวัดมุกดาหาร. รายงานการวิจัย ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านความหลากหลายทางชีวภาพของพืชในชุมชน. กรมวิชาการเกษตร. 194-229.
- อัมพร แก้วหนู. (2531). กินผักพื้นเมืองไม่เปลืองชีวิต. โครงการพันธุ์ไม้พื้นเมืองภาคเหนือ มุลินีการศึกษาเพื่อชีวิตและสังคม. ค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562. http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2017/TU_2017_5917035072_8998_8328.pdf
- Panyadee P., Balslev H., Wangpakapattanawong P. and Inta A. (2016). Woody Plant Diversity in Urban Homegardens in Northern Thailand. *Economic Botany*. 70(3): 285–302.
- Phillips O., Gentry A.H., Reynel C., Wilkin P. and Galvez-Durand C. (1994). Quantitative Ethnobotany and Amazonian Conservation. *Conservation Biology*. 8(1): 225–248.
- Pholhiamhan R., Saeunsouk S. and Saeunsouk P. (2018). Ethnobotany of Phu Thai Ethnic Group in Nakhon Phanom province, Thailand. *Walailak Journal Science and Technology*. 15(10): 679–699.
- Phumthum M., Srithi K., Inta A., Junsongduang A., Tangjitman K., Pongamornkul W., Trisonthi C. and Balslev H. (2018). Ethnomedicinal Plant Diversity in Thailand. *Journal of Ethnopharmacol*. 214: 90–98.
- Thongpukde A., Thepsithar C. and Thammaso C. (2014). Ethnobotanical Survey of Vegetable Plants Traditionally Used in Kalasin Thailand. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*. 8(7): 692-695.
- Trotter R.T. and Logan M.H. (1986). Informant Consensus: A New Approach for Identifying Potentially Effective Medicinal Plants. In: N.L. Etkin, Editor, *Plants in Indigenous Medicine and Diet*, Redgrave Publishing, Bedford Hills. 91–112.

Received: June 3, 2020; Revised: June 29, 2020; Accepted: August 26, 2020

ความหลากหลายของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ด้านการให้สีย้อมธรรมชาติ:

กรณีศึกษา ป่าชุมชนในจังหวัดสุรินทร์

Diversity of tree species and utilization of natural dyeing:

A case study of community forest in Surin Province

สมชญา ศรีธรรม^{1*} วสา วงศ์สุขแสง¹ และประติภา ปานสันธิยะ¹Somchaya Sritram^{1*}, Vasa Wongsuksaweang¹ and Pradipha Pansanthia¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : somchaya777@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ด้านการให้สีย้อมธรรมชาติในป่าชุมชนจังหวัดสุรินทร์ โดยวิธีการสำรวจป่าชุมชนจำนวน 5 ป่า สัมภาษณ์ชุมชนทอผ้าไหม 5 ชุมชน รวม 25 คน ผลการศึกษาพบไม้ต้นในป่าชุมชน 96 ชนิด 80 สกุล 37 วงศ์ พบว่าเป็นพืชให้สีย้อมธรรมชาติ 53 ชนิด (55.21%) วงศ์ของไม้ต้นที่พบมากที่สุดคือ FABACEAE มี 17 ชนิด ซึ่งเป็นพืชให้สีทั้งหมด ส่วนประกอบของไม้ต้นที่ให้สีมากที่สุดคือ เปลือกลำต้น (75.47%) ผล (16.95%) แก่นต้นและใบ (15.09%) ชนิดไม้ต้นที่มีส่วนประกอบให้สีมากที่สุดคือ ยอป่า (*Morinda coreia* Buch. Ham.) หว้าป่า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) ขี้เหล็กบ้าน (*Senna siamea* (Lam.) Irwin and Barneby) แคบ้าน (*Sesbania grandiflora* (L.) Pers.) และ ชงโค (*Bauhinia purpurea* L.) โทณสีที่ได้จากพืชมากที่สุดคือ โทณสีน้ำตาล-กากี (54.72%) รองลงมาคือ โทณสีเหลือง-ทอง (28.30%) และ โทณสีเขียว (20.75%) โดยไม้ต้นที่ให้โทณสีมากที่สุดได้แก่ มะหาด (*Artocarpus lacucha* Buch. Ham.) และยอป่า (*M. coreia*) โดยให้โทณสี 3 โทณสี ซึ่งแต่ละชนิดพันธุ์พืชอาจให้สีมากกว่า 1 สี ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการย้อม การใช้สารช่วยย้อม และการใช้สารช่วยติดสี ทั้งนี้พบว่าไม้ต้นที่มีความสำคัญและนำมาใช้ย้อมสีธรรมชาติมากที่สุด คือ มะเกลือ (*Diospyros mollis* Griff.) ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) เพกา (*Oroxylum indicum* (L.) Kurz) สะเดา (*Azadirachta indica* A. Juss.) และ ยอป่า (*M. coreia*) มีค่า UV 0.76, 0.72, 0.60, 0.56 และ 0.48 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความหลากหลาย ไม้ต้น พืชย้อมสี สีย้อมธรรมชาติ ป่าชุมชน

Abstract

The objectives of this research were to study the diversity of tree species and the utilization of natural dyeing in community forests in Surin Province. Methods of surveying 5 community forests, interviews with silk weaving communities in Surin Province 5 communities, totaling 25 people. The finding found that 96 tree species in the community forest, 80 genera and 37 families, found that 53 species of natural dyes (55.21%), the most common tree families are FABACEAE, there are 17 species of plants which give all colors. The components of tree that gave the most color was bark (75.47%), fruit (16.95%), stalks and leaves (15.09%). The tree species that has the most colorant components are *Morinda coreia* Buch. Ham., *Syzygium cumini* (L.) Skeels, *Senna siamea* (Lam.) Irwin and Barneby, *Sesbania grandiflora* (L.) Pers. and *Bauhinia purpurea* L. The color tone of the plants is the most brown-khaki (54.72%), followed by yellow-gold (28.30%) and green (20.75%), the trees that gave the most color tones were *Artocarpus lacucha* Buch. Ham and *M. coreia*. with 3 color tones, each plant species may be more than one color depending on dyeing process, dye auxiliaries and mordanting. It was found that the most important trees that are used for dyeing natural dyes are *Diospyros mollis* Griff., *Pterocarpus macrocarpus* Kurz, *Oroxylum indicum* (L.) Kurz, *Azadirachta indica* A. Juss. and *M. coreia*. with UV (Use values) 0.76, 0.72, 0.60, 0.56 and 0.48, respectively.

Keywords: Diversity, Tree, Dye plants, Natural dye, Community forestry

บทนำ

ทรัพยากรป่าไม้ (Forest) มีความสำคัญและมีประโยชน์หลากหลาย นอกจากจะช่วยควบคุมสภาวะสมดุลทางธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ทำให้ระบบนิเวศมีความสมบูรณ์เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตแล้ว เป็นปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งในเรื่องของอาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค และเอื้อประโยชน์ต่อชุมชนทั้งทางตรงและทางอ้อม ชุมชนสามารถนำทรัพยากรจากป่ามาใช้ประโยชน์จากพื้นฐานองค์ความรู้ด้านภูมิปัญญาท้องถิ่น โดย สมชญา (2559) ได้จำแนกการนำพืชจากป่าจังหวัดสุรินทร์มาใช้ประโยชน์ได้ 9 ประเภท ดังนี้ (1) สมุนไพร (2) อาหาร (3) ก่อสร้างที่อยู่อาศัย (4) ไม้ย้อมสี (5) เครื่องมือเครื่องใช้ในบ้าน (6) เครื่องมือเครื่องใช้ในการเกษตร (7) เชื้อเพลิง (8) ไม้ประดับ และ (9) ด้านอื่น ๆ เช่น เครื่องเล่นเด็ก เครื่องดนตรี และอุปกรณ์ทอผ้า เป็นต้น ซึ่งไม้ย้อมสีในป่าจังหวัดสุรินทร์มีความหลากหลาย โดยชุมชนทอผ้าไหมจังหวัดสุรินทร์ใช้ประโยชน์จากส่วนประกอบของพืชในการย้อมผ้าไหม รวมทั้งนำไปปลูกไว้ในชุมชนเพื่อใช้ประโยชน์และเพื่ออนุรักษ์ไม้ย้อมสี

ด้วยจังหวัดสุรินทร์มีชื่อเสียงด้านผ้าไหมและภูมิปัญญาด้านการทอผ้าไหม กระบวนการย้อมสีผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติเป็นสิ่งที่ได้รับการส่งเสริมเพื่อลดการใช้สารเคมีและรักษาสิ่งแวดล้อมชุมชน ลักษณะของ “สีธรรมชาติ” คือ สีที่สกัดได้จากวัตถุดิบที่มาจาก พืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการตามธรรมชาติ แหล่งวัตถุดิบของสีธรรมชาติสามารถหาได้จากพืช และสัตว์หลายชนิด ด้วยกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสวยงามและสีสันทันหลากหลาย (ศูนย์วิชาการและเทคโนโลยีสิ่งทอพื้นบ้าน, 2558) การย้อมผ้าไหมเป็นภูมิปัญญาไทยที่สืบทอดมาแต่โบราณ มีการคัดสรรพืชในท้องถิ่นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบให้สี ที่ได้รับการพัฒนางานใช้ย้อมได้สีคุณภาพดีสีไม่ตกและไม่ซีดจางง่าย แต่มี

จำนวนไม่กี่ชนิดและเริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในขณะที่ความนิยมในผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมสีธรรมชาติเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีกระบวนการผลิตจากวัสดุธรรมชาติและผ้าย้อมสีธรรมชาติมีลักษณะเด่นที่สีนูนวลไม่ฉูดฉาด เป็นที่ต้องการของตลาด โดยเฉพาะในต่างประเทศ (สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม, 2558) การย้อมผ้าจากสีธรรมชาติมีกรรมวิธีการย้อม 2 รูปแบบ คือ (1) การย้อมร้อน เป็นการย้อมสีจากส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยนำวัตถุดิบย้อมสีมาสับให้ละเอียดแล้วต้มให้เดือดเพื่อสกัดสีออกจากพืช จากนั้นจึงทำการย้อมกับเส้นใย โดยใช้ความร้อนและสารช่วยย้อมให้สารสีจากพืชติดเส้นใย หรือเพิ่มความเข้มข้นสดให้กับสีของเส้นใย และ (2) การย้อมเย็น หรือการย้อมแบบหมัก เป็นการย้อมสีจากส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยวิธีการย้อมไม่ใช้ความร้อน แต่อาศัยคุณสมบัติจากธรรมชาติของสารสีและปฏิกิริยาเคมีทางธรรมชาติช่วยให้สารสีจากพืชติดเส้นใย โดยจะหมักเส้นใยไว้ในน้ำย้อมจากพืชในอุณหภูมิปกติ ซึ่งสีและวิธีการจะแตกต่างกันตามชนิดของสารสีจากพืช เช่น การย้อมเส้นใยด้วยคราม มะเกลือ และโคลน เป็นต้น (ประภากร, 2560) ทั้งนี้ ด้วยกลุ่มผ้าไหมจังหวัดสุรินทร์ เช่น ชุมชนตำบลท่าสว่าง ตำบลเทนมีย์ ตำบลแกใหญ่ ตำบลเพ็ญราม และตำบลสวาย อำเภอเมืองสุรินทร์ ตำบลจอมพระ ตำบลผือ อำเภอจอมพระ เป็นชุมชนที่มีการย้อมสีธรรมชาติ แต่พันธุ์ไม้ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพืชในท้องถิ่นที่ขึ้นอยู่ในบริเวณชุมชนหรือหัวไร่ปลายนา เช่น กระจินณรงค์ กล้วย ขุนน ขมิ้น ขี้เหล็กบ้าน คำแสด บวบ ประดู่ป่า เพกา มะเกลือ มะขาม มะพร้าว มะพูด มะม่วง มะยม มะหาด โมกมัน ยอบ้าน สะเดา หว้า และอัญชัน (สมชญา และคณะ, 2560) แต่สีที่ได้ยังไม่มีหลากหลายเท่าที่ควร ซึ่งการย้อมสีธรรมชาติจากพืชเป็นที่ต้องการของชุมชนและตลาดผ้าไหม จึงเห็นความสำคัญของการสำรวจหาพันธุ์พืชที่สามารถนำมาใช้ในการย้อมสีและนำมาทดลองใช้ในชุมชน เพื่อให้สีของผ้าไหมมีความหลากหลายน่าสนใจมากขึ้น และช่วยเพิ่มมูลค่าของผ้าไหมในชุมชน

จากการสำรวจพืชในป่าชุมชน พบว่ามีกลุ่มของไม้ต้นขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก มีความหลากหลายชนิดกว่ากลุ่มไม้ชนิดอื่น โดยสุวิทย์ และประจักษ์ (2556) และจากงานวิจัยของปิยะชาติ (2540), พินัย (2548), นันทิพย์ และฉัตรดาว (2559), เอี่ยมพร และคณะ (2561) ได้สรุปไว้ว่า ลักษณะวิสัยของพืชที่นำมาใช้ในการย้อมสีที่พบมากที่สุดคือกลุ่มไม้ต้น ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของไม้ต้นในป่าชุมชนจังหวัดสุรินทร์ที่นำมาใช้ประโยชน์ด้านการย้อมสีธรรมชาติ และ (2) เพื่อรวบรวมองค์ความรู้ด้านการให้สีย้อมธรรมชาติของพืชในป่าชุมชนจังหวัดสุรินทร์ จากการสัมภาษณ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านย้อมสีธรรมชาติ คือ ชุมชนตำบลท่าสว่าง ตำบลเทนมีย์ และตำบลแกใหญ่ อำเภอเมืองสุรินทร์ ตำบลจอมพระ และตำบลผือ อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งเป็นชุมชนที่มีการย้อมสีธรรมชาติจากพืชมาทอผ้าไหมสีธรรมชาติเพื่อจำหน่าย และเป็นการรวบรวมข้อมูลความหลากหลายชนิดของไม้ต้นในป่าชุมชนที่นำมาใช้ย้อมสีธรรมชาติ การให้สีจากส่วนประกอบของพืช กลุ่มโทสนีที่ได้ รวมถึงกรรมวิธีการย้อม ซึ่งทำให้เกิดนวัตกรรมการใช้สีธรรมชาติที่หลากหลายมากขึ้นตอบสนองความต้องการของตลาดผ้าไหมในปัจจุบัน ช่วยลดต้นทุนการผลิต ช่วยลดสารตกค้างจากการย้อมด้วยสีเคมี และเป็นการส่งเสริมให้ชุมชนเห็นคุณค่าของป่าไม้และใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

วัสดุ อุปกรณ์

1. วัสดุ อุปกรณ์สำรวจวางแผนไม้ต้น ได้แก่ เครื่องกำหนดตำแหน่งพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม (GPS) เทปวัดระยะ ตลับเมตร เข็มทิศ เชือกวางแปลงสำรวจ หมุดปักแปลงสำรวจ ป้ายรหัสพันธุ์ไม้ และผังบันทึกไม้ต้นในแปลงสำรวจ
2. วัสดุ อุปกรณ์เก็บข้อมูลไม้ต้น ได้แก่ สมุดจดบันทึก กล้องบันทึกภาพ และหนังสืออ้างอิงด้านพันธุ์ไม้
3. เครื่องมือสัมภาษณ์ชุมชน ได้แก่ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง เครื่องบันทึกเสียง สมุดจดบันทึก

วิธีการศึกษา

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

1.1 คัดเลือกพื้นที่ศึกษาและสุ่มตัวอย่างวางแผนในพื้นที่ป่าชุมชน ป่าละ 3 แปลง กระจายตามกลุ่มความเด่นของพันธุ์พืช โดยกำหนดแปลงตัวอย่างขนาด 40×40 เมตร ตามแนวทิศเหนือ-ใต้ ใน 1 แปลงตัวอย่างมีขนาด 40×40 เมตร ขนาด 1,600 ตารางเมตร รวมพื้นที่ป่าทั้งหมด 4,800 ตารางเมตร

1.2 สำรวจไม้ต้นที่มีเส้นรอบวงลำต้น 12 เซนติเมตร ขึ้นไป โดยวัดความสูงจากพื้นดินขึ้นมา 130 เซนติเมตร (ความสูงระดับอก) (ดอกรัก, 2549) และถ่ายภาพส่วนต่าง ๆ ของพืช

1.3 สำรวจป่าร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านพันธุ์พืชในป่าจังหวัดสุรินทร์

1.4 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของพันธุ์พืชและการย้อมสีธรรมชาติ และสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างคำถามปลายเปิดภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการย้อมสีไหมธรรมชาติจำนวน 5 ชุมชน ชุมชนละ 5 คน เป็นชุมชนกลุ่มชาติพันธุ์เขมร 3 ชุมชน คือ ชุมชนตำบลท่าสว่าง ตำบลเทนมีย์ และตำบลแกใหญ่ อำเภอเมืองสุรินทร์ และชุมชนกลุ่มชาติพันธุ์กูย 2 ชุมชน คือ ตำบลจอมพระ และตำบลผือ อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

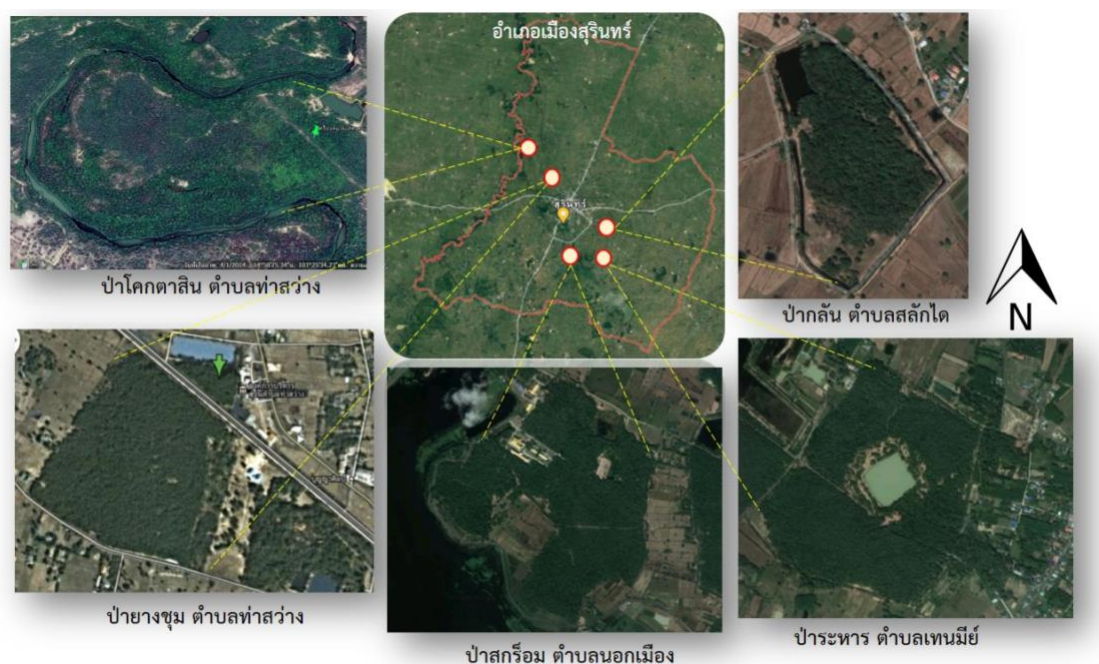
2.1 ตรวจสอบระดับชนิดพืช ชื่อวิทยาศาสตร์ ชื่อวงศ์ มีเอกสารอ้างอิงดังนี้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2556), คณะเภสัชศาสตร์ (2538), จิรายุพิน และวชิรพงศ์ (2548), เอื้อมพร และปณิธาน (2547)

2.2 วิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยค่าร้อยละ (%) ชนิดของพืชให้สี ส่วนประกอบของพืชที่ให้สี โทนีและกรรมวิธีการย้อม จากการสัมภาษณ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสืบค้นข้อมูล (พินัย, 2548; สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม, 2558)

2.3 วิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยค่า Use value; $UV = \sum U_i / n$ เป็นดัชนีใช้เพื่อหาค่าการใช้ประโยชน์สูงสุดของพืชให้สี ค่าใกล้เคียงศูนย์แปลว่าการใช้ประโยชน์พืชชนิดนี้น้อย โดย U_i แทนค่า จำนวนรายการใช้พืชให้สีชนิดนั้น ๆ n แทนค่า จำนวนผู้ให้ข้อมูลทั้งหมด (Phillips et al., 1994 as cited in Neamsuvan et al., 2015)

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นป่าชุมชนในอำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 5 ป่า ดังนี้ ป่าโคกตาสิน ตำบลท่าสว่าง ป่ายางชุม ตำบลท่าสว่าง ตำบลท่าสว่าง ป่าสกร้อม ตำบลนอกเมือง ป่าระหาร ตำบลเทนมีย์ และป่ากลัน ตำบลสลักได (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ผังพื้นที่ศึกษา ป่าชุมชน 5 ป่า ในอำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์

ที่มา: ดัดแปลงจาก <https://www.google.co.th/maps>

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นในป่าชุมชนจังหวัดสุรินทร์

1. ป่าโคกตาสิน ตำบลท่าสว่าง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ เป็นป่าที่อยู่ติดกับลำน้ำชีเส้นแบ่งเขตระหว่าง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ และอำเภอกระสัง จังหวัดบุรีรัมย์ พื้นที่ประมาณ 500 ไร่ ลักษณะของป่าโคกตาสิน มีลักษณะป่าผสมกันอยู่ 3 ประเภท คือ ป่าทามร้อยละ 50 ป่าเบญจพรรณป่าหรือผสมผลัดใบร้อยละ 20 และป่าเต็งรัง ร้อยละ 30 ผลการศึกษาพบพืชจากแปลงตัวอย่าง 67 ชนิด 59 สกุล 33 วงศ์ (ตารางที่ 1)

2. ป่ายางชุม ตำบลท่าสว่าง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ มีพื้นที่ 150 ไร่ เป็นป่าเบญจพรรณร้อยละ 80 ป่า เต็งรังร้อยละ 20 เดิมเป็นป่าที่ผ่านการแผ้วถางตัดไม้ทำให้ป่าเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันชุมชนได้ตระหนักถึง ความสำคัญของป่าจึงจัดตั้งกลุ่มอนุรักษ์เพื่อดูแลรักษาป่าให้คงอยู่ ป่ายางชุมจึงเป็นป่าที่มีความสมบูรณ์ ไม้ต้นมีขนาดใหญ่ เป็นจำนวนมากและมีความหลากหลายของพันธุ์ไม้มากกว่าพื้นที่อื่น ผลการศึกษาพบพืชจากแปลงตัวอย่าง 70 ชนิด 58 สกุล 33 วงศ์ (ตารางที่ 1)

3. ป่าสกร้อม ตำบลนอกเมือง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ในส่วนพื้นที่สำนักสงฆ์โคกกะเพอ 165 ไร่ ติดกับ พื้นที่อ่างเก็บน้ำห้วยเสนง เป็นป่าเบญจพรรณร้อยละ 60 ป่าเต็งรังร้อยละ 40 เนื่องจากพื้นที่ป่าอยู่ในเขตของสำนักสงฆ์ ทำให้ระบบนิเวศค่อนข้างสมบูรณ์ ขนาดของไม้ต้นมีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับป่ายางชุม ผลการศึกษาพบพืชจากแปลง ตัวอย่าง 55 ชนิด 50 สกุล 28 วงศ์ (ตารางที่ 1)

4. ป่าระหาร ตำบลเทนมีย์ อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ มีพื้นที่ 463 ไร่ มีการแผ้วถางตัดไม้ทำลายป่า บางส่วน ต่อมาผืนนโยบายป้องกันป่าโดยการขุดหนองน้ำขนาดใหญ่กลางป่าและขุดคูน้ำรอบป่าบางส่วนเพื่อป้องกันการบุกรุก ทำให้พื้นที่ป่าลดลง โดยแบ่งสัดส่วนป่าได้ดังนี้ ป่าเบญจพรรณ ร้อยละ 30 ป่าเต็งรัง ร้อยละ 50 หนองน้ำ ถนน และ พื้นที่โล่ง ร้อยละ 20 โดยพืชส่วนใหญ่อยู่ในช่วงวัยรุ่น (sapling) ผลการศึกษาพบพืชจากแปลงตัวอย่าง 47 ชนิด 42 สกุล 24 วงศ์ (ตารางที่ 1)

5. ป่ากลัน ตำบลสลักไธ อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ มีพื้นที่ 95 ไร่ เป็นพื้นที่ที่เล็กที่สุดโดยมีสัดส่วนของป่า เบญจพรรณ ร้อยละ 40 ป่าเต็งรัง ร้อยละ 30 ป่าใหม่ที่มีการปลูก ต้นกระถินณรงค์ ต้นยูคาลิปตัส ร้อยละ 20 และพื้นที่ น้ำ ร้อยละ 10 ส่วนใหญ่เป็นพืชที่อยู่ในช่วงวัยรุ่น ผลการศึกษาพบพืชจากแปลงตัวอย่าง 25 ชนิด 24 สกุล 17 วงศ์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นในป่าชุมชนอำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

ลำดับที่	ชื่อไทย	ป่าชุมชน					ลำดับที่	ชื่อไทย	ป่าชุมชน				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
1	กรวยป่า	/		/	/		18	คัตลีน	/	/			
2	กระเจียน		/		/		19	คาง		/		/	
3	กระโดน			/			20	คำมอกน้อย	/	/		/	
4	กระทุ่ม*	/	/	/	/	/	21	คำรอก		/	/		
5	กระบก	/	/	/	/		22	แคบ้าน	/				
6	กระบาก		/				23	จั่วป่า*	/	/	/	/	/
7	กราย	/	/		/		24	จิกน้ำ		/			
8	กล้วยน้อย		/	/	/		25	ฉนวน	/	/		/	
9	กล้วยฤๅษี	/	/				26	เหียงพ้านางแอ	/	/			
10	กันเกรา	/	/				27	ขงโค	/		/	/	

11	กำแพงเจ็ดชั้น	/	/	/	/	28	ชะมวง	/			
12	กุ่มบก		/			29	แดง	/	/	/	
13	ขี้วาว	/	/	/		30	ตะกู	/			/
14	ข่อย	/	/			31	ตะโกนา*	/	/	/	/
15	ชันทองพยาบาท	/	/	/	/	32	ตะขบป่า	/	/	/	
16	ขี้เหล็กบ้าน	/		/		33	ตะคร้อ			/	
17	คอแลน		/			34	ตะครอง	/	/		

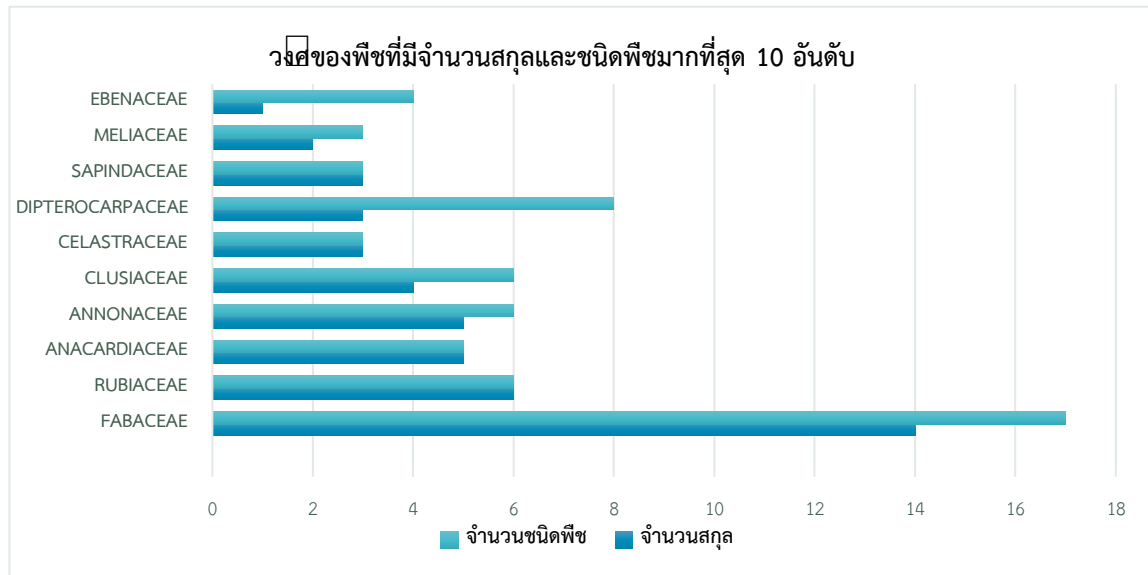
ตารางที่ 1 ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นในป่าชุมชน อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อไทย	ป่าชุมชน					ลำดับที่	ชื่อไทย	ป่าชุมชน				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
35	ตะแบกนา	/	/		/	/	66	มะดัน	/				
36	ตับเต่าตัน	/					67	มะดูก			/		
37	ตัวเกลี้ยง		/	/	/	/	68	มะไฟป่า		/			
38	ตัวแดง*	/	/	/	/	/	69	มะม่วงป่า	/	/	/	/	
39	ตีนนก			/		/	70	มะมุ่น	/			/	
40	เต็ง		/	/	/		71	มะหวด	/	/		/	/
41	ทองกวาว	/					72	มะหาคาหนัง		/		/	
42	ธนูไชย			/	/		73	มะหาด	/	/	/	/	
43	นนทรี			/			74	มังคุดป่า		/	/	/	
44	นางดำ*	/	/	/	/	/	75	โมกมัน	/	/	/		/
45	ประดู่ป่า*	/	/	/	/	/	76	ยอป่า	/		/	/	
46	ปลาไหลเผือก		/		/		77	ยางกราด		/	/	/	
47	ปีบ	/					78	ยางนา		/			
48	พญาายา	/	/	/		/	79	ยางเหียง	/	/	/	/	
49	พยอม	/	/	/	/		80	ระเวียง			/		
50	พยูง		/	/	/	/	81	รักขี้หมู	/	/	/		/
51	พฤกษ์			/			82	รักใหญ่			/	/	
52	พลวง	/	/				83	รัง		/		/	
53	พลับพลา*	/	/	/	/	/	84	ลำตวน*	/	/	/	/	/
54	พอก	/	/	/	/		85	สะแกนา	/				
55	พะอูง	/	/				86	สะแกแสง	/		/		/
56	พันชาติ	/	/	/			87	สะเดา	/	/	/		/
57	เพกา	/		/			88	สะเดาช้าง	/	/	/	/	
58	มะกล่ำตัน	/	/			/	89	ส้าน	/	/	/	/	
59	มะกอกเกลื่อน	/	/	/	/		90	เสม็ดขาว	/	/			/
60	มะกอกป่า	/	/				91	แสลงใจ	/		/		/
61	มะเกลือ	/	/		/		92	หมีเหม็น	/	/	/		/
62	มะขามป้อม	/					93	หว่า	/	/		/	
63	มะค่าแต้	/	/	/	/	/	94	เหมือดโสด	/	/	/	/	
64	มะค่าโมง		/	/	/	/	95	อบเชย	/				
65	มะแขว	/	/				96	อะราง	/	/	/	/	
รวม 96 ชนิด									67	70	55	47	25

หมายเหตุ 1=ป่าโคกตาสิน 2=ป่ายางชุม 3=ป่าสกรือม 4=ป่าระหาร 5=ป่ากลัน, *ไม้ต้นที่พบทั้ง 5 ป่า

ผลการศึกษาพบไม้ต้นในป่าชุมชนทั้ง 5 ป่า ทั้งหมด 96 ชนิด 80 สกุล 37 วงศ์ โดยเรียงอันดับวงศ์ของพืชที่พบจำนวนสกุลและจำนวนชนิดมากที่สุด 10 อันดับ ดังนี้ FABACEAE พบ 14 สกุล 17 ชนิด RUBIACEAE พบ 6 สกุล 6 ชนิด ANNONACEAE พบ 5 สกุล 6 ชนิด ANACARDIACEAE พบ 5 สกุล 5 ชนิด CLUSIACEAE พบ 4 สกุล 6 ชนิด DIPTEROCARPACEAE พบ 3 สกุล 8 ชนิด CELASTRACEAE พบ 3 สกุล 3 ชนิด SAPINDACEAE พบ 3 สกุล 3 ชนิด MELIACEAE พบ 2 สกุล 3 ชนิด และ EBENACEAE พบ 1 สกุล 4 ชนิด ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และรูปที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอื้อมพร และคณะ (2561) พบพืชที่ใช้ในการย้อมสีทั้งหมด 36 ชนิด 32 สกุล 22 วงศ์ โดยพบว่า วงศ์ FABACEAE มีการใช้ย้อมสีมากที่สุด 9 ชนิด

พบว่าพืชที่มีการกระจายตัวอยู่ทั้ง 5 ป่า จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ กระทุ่ม จั้วป่า ตะโกนา ตัวแดง นางคำ ประดู่ป่า พลับพลา มะค่าแต้ และลำตวน ซึ่งเป็นพืชที่ชอบนิเวศป่าแบบป่าผสมผลัดใบและป่าเต็งรัง และมีการกระจายพันธุ์ได้ง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมแห้งแล้งได้ดี ส่วนต้นขงโคและแคบ้านที่สำรวจพบในพื้นที่ป่าเนื่องจากเป็นป่าชุมชนที่อยู่ในเขตของชุมชน สาเหตุเนื่องจากการปลูปลูกของเมล็ดผลสุกไปตกลงบริเวณป่า หรือเนื่องมาจากนกหรือสัตว์ชนิดอื่นนำไป เมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงทำให้ไม้ต้นดังกล่าวขึ้นอยู่ในบริเวณป่า (Anne, 2011)



รูปที่ 2 วงศ์ของพืชที่มีจำนวนสกุลและชนิดมากที่สุด 10 อันดับแรก

การใช้ประโยชน์ของไม้ต้นที่ให้สีย้อมธรรมชาติ

1. ส่วนประกอบของไม้ต้นที่ให้สี จากจำนวนชนิดไม้ต้นทั้งหมด 96 ชนิด พบไม้ต้นที่สามารถนำมาใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติได้ 53 ชนิด (55.21%) โดยจำแนกการนำไปใช้ประโยชน์จากส่วนประกอบของพืชทั้งหมด 6 ส่วน ได้แก่ ราก ลำต้นหรือแก่นต้น เปลือกต้นหรือเปลือกกิ่งก้าน ใบ ดอก และ ผล ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ นันทิพย์ และฉัตรดาว (2559) กล่าวว่า ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ให้สี ได้แก่ แก่นลำต้น เปลือก กิ่ง ใบ ผล และดอก โดยส่วนประกอบของพืชที่นำมาใช้ในการย้อมสีธรรมชาติมากที่สุดคือ ส่วนของเปลือกต้น/เปลือกกิ่งก้าน พบ 40 ชนิด (75.47%) รองลงมาเป็นส่วนของผล พบ 9 ชนิด (16.98%) ส่วนของลำต้นหรือแก่นต้น และส่วนของใบ พบเท่ากัน 8 ชนิด (15.09%) ส่วนของราก พบ 3 ชนิด (5.66%) และส่วนของดอก พบ 1 ชนิด (1.89%) ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และรูปที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ เอื้อมพร และคณะ (2561) ที่พบว่าส่วนของพืชที่ใช้ย้อมมากที่สุดคือส่วนของเปลือกจำนวน 21 ชนิด (58%)

2. กลุ่มโชนสีที่ได้จากพืช ผลการจำแนกไม้ต้นที่ใช้ประโยชน์ด้านการย้อมสีธรรมชาติตามกลุ่มโชนสี 8 โชนสี ตามการจำแนกโชนสีของ พินัย (2548), กรมหม่อนไหม (2558), งานข้อมูลท้องถิ่นและจดหมายเหตุ (2558), มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (ม.ป.ป.) โดยพบว่า จำนวนโชนสีที่ได้จากพืชมากที่สุด คือ โชนสีน้ำตาล-กากี 29 ชนิด (54.72%) โชนสีเหลือง-ทอง 15 ชนิด (28.30%) โชนสีเขียว 11 ชนิด (20.75%) โชนสีแดง-ชมพู และ โชนสีเทา-ดำ สีละ 10 ชนิด (18.87%) โชนสีส้ม-แสด 5 ชนิด (9.43%) โชนสีม่วง 3 ชนิด (5.66%) และโชนสีน้ำเงิน-ฟ้า 2 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 1.89 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยะชาติ (2540) พบว่า สีที่ได้จากพืชส่วนใหญ่เป็นกลุ่มโชนสีน้ำตาล โชนสีเหลือง และโชนสีแดง

ตารางที่ 2 พืชให้สีย้อมไหมในป่าชุมชน จังหวัดสุรินทร์

ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	สีที่ได้จากพืช	ส่วนที่ให้สี					
			ราก	ลำต้น/ แก่นต้น	เปลือก ต้น/กิ่ง	ใบ	ดอก	ผล
กระบก	<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex. A. W. Benn.	เทา-ดำ						/
กระโดน	<i>Careya arborea</i> Roxb.	เทา-ดำ, น้ำตาล			/			
กันเกรา	<i>Fagraea fragran</i> Roxb.	เหลือง, น้ำตาล		/		/		
ช่อย	<i>Streblus asper</i> Lour.	เหลือง, น้ำตาล		/	/			
ซีเหล็กบ้าน	<i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin & Barneby	เขียว-เหลือง, เหลือง-ทอง, น้ำตาล			/	/		
คาง	<i>Albizia lebbikoides</i> (DC.) Benth.	น้ำตาล			/			
แคบ้าน	<i>Sesbania grandiflora</i> (L.) Pers.	เขียว, เหลือง-ทอง, น้ำตาล			/	/		
จิวป่า	<i>Bombax ceiba</i> L.	น้ำตาล, ส้มแสด			/			
ชงโค	<i>Bauhinia purpurea</i> L.	น้ำตาล, ส้ม-แสด, แดง			/			
ชะมวง	<i>Garcinia cowa</i> Roxb. ex Choisy	เหลือง			/			
เถียงพัวนางแอ	<i>Carallia brachiata</i> (Lour.) Merr.	เหลือง-ทอง, เทา-ดำ			/			/
ตะโกนา	<i>Diospyros rhodocalyx</i> Kurz	เทา-ดำ, น้ำตาล						/
ตะคร้อ	<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Merr.	น้ำตาล			/			
ตะแบกนา	<i>Lagerstroemia floribunda</i> Jack var. <i>floribunda</i>	เทา-ดำ, น้ำตาล			/			
ตับเต่าตัน	<i>Diospyros ehretioides</i> Wall. ex G. Don	เทา-ดำ						/
ตัวเกลี้ยง	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	น้ำตาล			/			
ตัวแดง	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook. f. ex Dyer subsp. <i>pruniflorum</i> (Kurz) Gogelein	น้ำตาล			/			
ตีนนก	<i>Vitex peduncularis</i> Wall. ex Schauer	เหลือง-ทอง, ส้ม-แสด			/			
ทองกวาว	<i>Butea monosperma</i> (Lam.) Taub.	ส้ม-แสด					/	
รณนไชย	<i>Buchanania siamensis</i> Miq.	แดง-ชมพู, น้ำตาล-แดง			/			
นนทรี	<i>Peltophorum pterocarpum</i> (DC.) K. Heyne	ส้ม-แสด, แดง-ชมพู, น้ำตาล			/			
นางดำ	<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre	น้ำตาล-แดง		/	/			

ประดู่ป่า	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	น้ำตาลเข้ม, แดง-ชมพู	/	/
ปืบ	<i>Millingtonia hortensis</i> L. f.	เหลือง-ทอง	/	/
พฤษภ	<i>Albizia lebbek</i> (L.) Benth.	แดง-ชมพู		/
พะยอม	<i>Shorea roxburghii</i> G. Don	น้ำตาล, กากี		/
เพกา	<i>Oroxylum indicum</i> (L.) Kurz	น้ำเงิน, เขียว, เหลือง-ทอง		/

ตารางที่ 2 รายละเอียดของพืชให้สีย้อมไหมในป่าชุมชน จังหวัดสุรินทร์ (ต่อ)

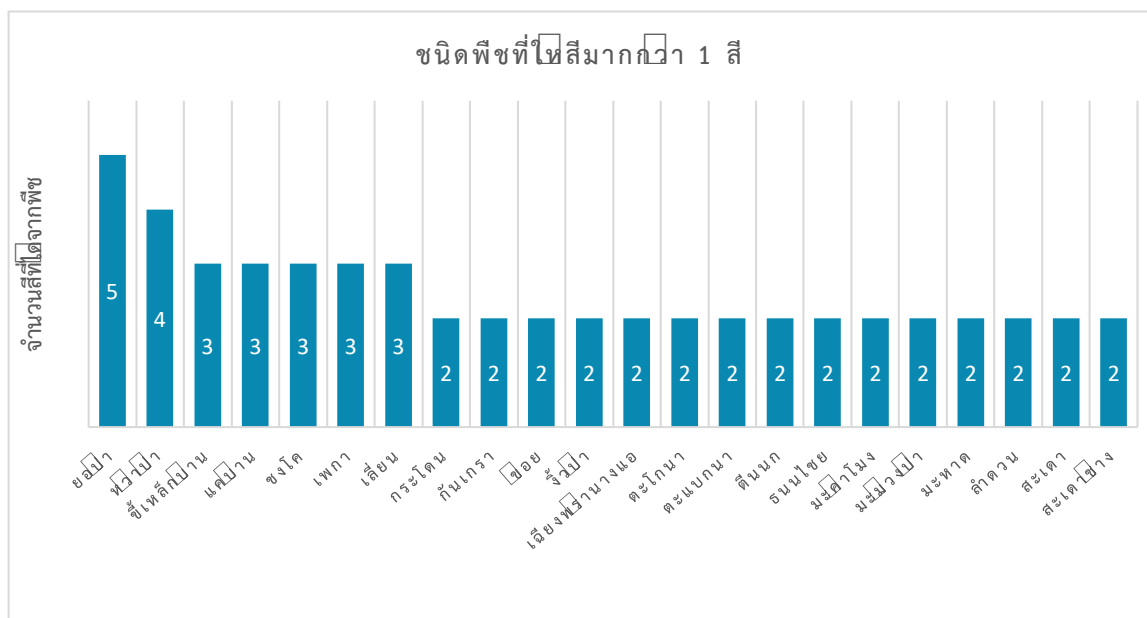
ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	สีที่ได้จากพืช	ส่วนที่ให้สี					
			ราก	ลำต้น/ แก่นต้น	เปลือก ต้น/กิ่ง	ใบ	ดอก	ผล
มะกล่ำต้น	<i>Adenanthera pavonina</i> L.	แดง-ชมพู		/				
มะกอกป่า	<i>Spondias bipinnata</i> Airy Shaw & Forman	เขียว			/			
มะกอกเลื่อม	<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	เทา-ดำ						/
มะเกลือ	<i>Diospyros mollis</i> Griff.	เทา-ดำ						/
มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	เหลือง-ทอง			/			
มะค่าแต้	<i>Sindora siamensis</i> Miq	น้ำตาล, กากี			/			
มะค่าโมง	<i>Azizia xylocarpa</i> (Kurz) Craib	เหลือง-ทอง, น้ำตาล			/			
มะดัน	<i>Garcinia schomburgkiana</i> Pierre	เขียวอ่อน			/			
มะไฟ	<i>Baccaurea ramiflora</i> Lour.	แดง	/					
มะม่วงป่า	<i>Mangifera pentandra</i> Hook f.	เหลือง-ทอง, น้ำตาล			/			
มะหวด	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> (Roxb.) Leenh.	ม่วง						/
มะหาด	<i>Artocarpus lacucha</i> Buch. Ham.	เหลือง-ทอง, น้ำตาล	/	/	/			
โมกมัน	<i>Wrightia pubescens</i> R.Br.	เขียว			/			
ยอป่า	<i>Morinda coreia</i> Buch. Ham.	เขียว, เหลือง-ทอง, แดง- ชมพู, น้ำตาล, ส้ม-แสด	/	/		/		
ยางนา	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb.ex G. Don	น้ำตาล			/			
ยางเหียง	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm.ex Miq	เหลืองหม่น			/			
เลี่ยน	<i>Melia azedarach</i> L.	น้ำตาล-ครีม, เขียว, น้ำเงิน				/		
ลำควน	<i>Melodorum fruticosum</i> Lour.	เทา, ม่วง			/			
สะแกนา	<i>Combretum quadrangulare</i> Kurz	น้ำตาล, กากี			/			
สะเดา	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	แดง-ชมพู, น้ำตาล			/	/		
สะเดาช้าง	<i>Azadirachta excelsa</i> (Jack) Jacobs	แดง-ชมพู, น้ำตาล			/			
เสม็ดขาว	<i>Melaleuca cajuputi</i> Powell subsp. <i>cumingiana</i> (Turcz.) Barlow	น้ำตาลอ่อน				/		
หมีเหม็น	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour) C.B. Rob.	เขียว				/		
หว้าป่า	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	ม่วง, เขียว, น้ำตาล, เทา-ดำ			/			/
เหมือดโลด	<i>Aporosa villosa</i> (Lindl.) Baill.	แดง			/			
อะราง	<i>Peltophorum dasyrrhachis</i>	น้ำตาล			/			/

(Miq.) Kurz

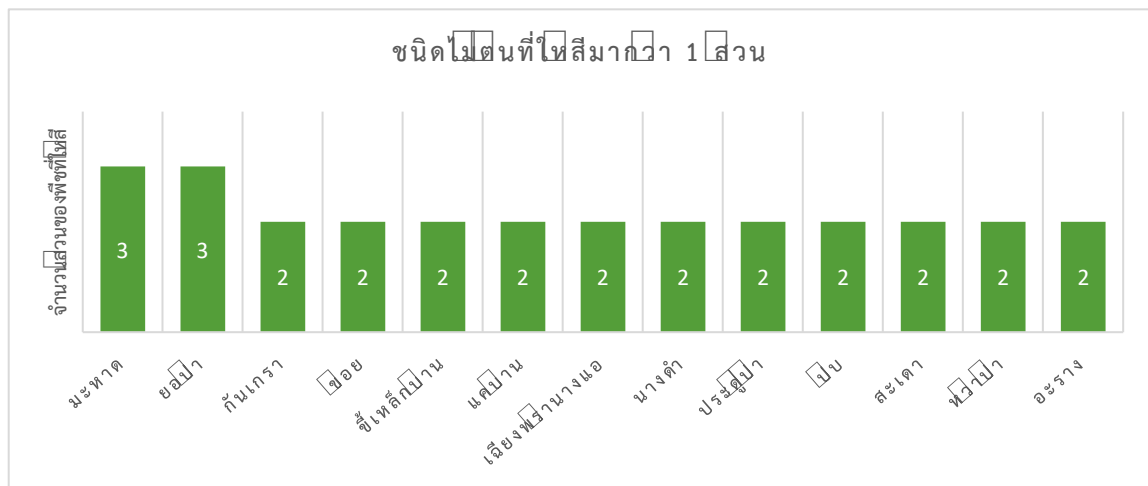
รวม 53 ชนิด	3	8	40	8	1	9
-------------	---	---	----	---	---	---

หมายเหตุ: ชื่อไทยและชื่อวิทยาศาสตร์อ้างอิงตาม สำนักงานหอพรรณไม้ (2557)

จากผลการสำรวจความหลากหลายชนิดของไม้ต้นในป่าชุมชนจังหวัดสุรินทร์ พบไม้ต้นที่นำมาใช้ประโยชน์ด้านการย้อมสีธรรมชาติ 53 ชนิด จากจำนวนทั้งหมด 96 ชนิด โดยพบว่า ไม้ต้นที่ให้สีมากกว่า 1 โทนสี 22 ชนิด โดยไม้ต้นที่ให้โทนสีมากที่สุดถึง 5 สี และพบว่าชนิดของไม้ต้นที่ให้สีมากกว่า 1 ส่วน มี 13 ชนิด โดยมะหาดและยอป่านำไปใช้ย้อมสีธรรมชาติมากที่สุดถึง 3 ส่วน ซึ่งแต่ละชนิดพืชที่ให้สีมากกว่า 1 สี ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของการให้สีและกรรมวิธีการย้อมสี โดยแต่ละโทนสียังสามารถเลือกใช้พันธุ์พืชได้หลายชนิด แต่ละชนิดอาจให้เฉดสีที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน เป็นทางเลือกที่ช่วยให้ชุมชนสามารถสร้างความหลากหลายของสีย้อมไหมที่สวยงามแตกต่างกันมากขึ้นและช่วยเพิ่มมูลค่าของผ้าไหม (ตารางที่ 2, รูปที่ 3 และรูปที่ 4)



รูปที่ 3 จำนวนชนิดไม้ต้นที่ให้สีมากกว่า 1 สี



รูปที่ 4 จำนวนชนิดไม้ต้นที่ให้สีมากกว่า 1 ส่วน

ความหลากหลายจากกรรมวิธีการย้อมสีธรรมชาติ

จากการสัมภาษณ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสืบค้นรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง (พินัย, 2548; สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม, 2558) พบว่าการย้อมสีธรรมชาติจากพืชมีกรรมวิธีที่ได้สีจากทุกส่วนของพืชทั้งราก ลำต้น แก่นไม้ ใบ ดอก และผล สามารถแบ่งกรรมวิธีการย้อมได้ 2 วิธี คือ กรรมวิธีการย้อมร้อน และกรรมวิธีเย็น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืชที่ให้สี และความต้องการด้านโทนสีที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 โทนสีที่ได้จากส่วนประกอบของพืชและกรรมวิธีการย้อม

โทนสีที่ได้จากพืช	ส่วนประกอบของพืชที่ให้สีและกรรมวิธีการย้อม	
	ย้อมร้อน	ย้อมเย็น
	ส่วนของราก - ยอป่า และ มะไฟ	ส่วนของลำต้นหรือ
	ส่วนของลำต้นหรือแก่น - ประดู่ป่า และ มะกล่ำต้น	แก่น - ประดู่ป่า
	ส่วนของเปลือก - หนนхай นนทรี พุทธรักษา สะเดา สะเดาช้าง และ เหมือดโลด	
แดง-ชมพู	ส่วนของราก - มะหาด และ ยอป่า	-
	ส่วนของลำต้นหรือแก่น - แคว้น ปับ และ มะหาด	
	ส่วนของเปลือก - ชะมวง เฌียงพ้านางแอ ตีนนก ปับ เพกา มะขามป้อม	
	มะค่าโมง มะม่วงป่า และ ยางเหียง	
	ส่วนของใบ - ชี้เหล็กบ้าน	
เหลือง-ทอง		

โทนสีที่ได้จากพืช	ส่วนประกอบของพืชที่ให้สีและกรรมวิธีการย้อม	
	ย้อมร้อน	ย้อมเย็น
 น้ำตาล - กากี	ส่วนของราก - ยอป่า ส่วนของลำต้นหรือแก่น - นางดำ ส่วนของเปลือก - กระโดน คาง ชีเหล็กบ้าน แควบ้าน จีวป่า ชงโค ธนิน ไชย ตะคร้อ ตะแบกนา ตัวเกลี้ยง ตัวแดง นนทรี นางดำ ประดู่ป่า พะยอม มะค่าแต้ มะค่าโมง มะม่วงป่า มะหาด ยางนา สะแกนา สะเดา สะเดาข้าง หว้าป่า และ อะราง ส่วนของใบ - เลี่ยน สะเดา และ เสม็ดขาว ส่วนของผล - ตะโกนา และ อะราง	ส่วนของเปลือก - กระโดน นนทรี และ มะม่วงป่า ส่วนของใบ - สะเดา
		ส่วนของเปลือก - กระโดน ตะแบกนา เพกา และ ลำดวน ส่วนของผล - กระบก เฌียงพรว้านางแอ ตะโกนา ตับเต่าตัน มะเกลือ มะกอกเลื่อม และ หว้าป่า ส่วนของเปลือก - กระโดน ส่วนของผล - กระบก และมะเกลือ
 เทา - ดำ	ส่วนของลำต้นหรือแก่น - ชีเหล็กบ้าน ส่วนของเปลือก - เพกา มะกอกป่า มะดัน และ โมกมัน ส่วนของใบ - ชีเหล็กบ้าน แควบ้าน ยอป่า เลี่ยน และ หมี่เหม็น ส่วนของผล - หว้าป่า	-
		-
เขียว		
น้ำเงิน-ฟ้า	ส่วนของเปลือก - เพกา	-
ม่วง	ส่วนของเปลือก - ลำดวน ส่วนของผล - มะหาด และ หว้าป่า	-
ส้ม-แสด	ส่วนของราก - ยอป่า ส่วนของลำต้นหรือ - ยอป่า ส่วนของเปลือก - จีวป่า ชงโค ตีนนก และ นนทรี ส่วนของดอก - ทองกวาว	ส่วนของเปลือก - นนทรี

ที่มา: พินัย (2548)

จากผลการศึกษาพบว่า ชุมชนนิยมใช้กรรมวิธีย้อมร้อนในการย้อมสีธรรมชาติจากพืชเนื่องจากมีกระบวนการไม่ซับซ้อนและใช้เวลาไม่นาน เหตุที่ไม่นิยมใช้กรรมวิธีย้อมเย็น เนื่องจากมีปัจจัยและข้อจำกัดในด้านคุณภาพการย้อมจากพืชให้สี ควบคุมโทนสีได้ยาก ทำให้สีเพี้ยนไม่ได้ตามที่ต้องการ รวมทั้งชุมชนยังขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับพืชให้สีที่นำมาใช้

ย้อมเย็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นันทิพย์ และฉัตรดาว (2559) กล่าวว่า การสกัดสีธรรมชาติจากพืช ส่วนใหญ่นิยมใช้การสกัดสีโดยการต้มหรือการสกัดสีแบบร้อน ทั้งนี้โทนสีที่ได้จะมีความแตกต่างกันจากการใช้ “สารช่วยย้อม” (mordant) หรือ สารกระตุ้นสี ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้สีติดกับเส้นด้ายดีขึ้นและเปลี่ยนเฉดสีธรรมชาติให้เปลี่ยนแปลงไปจากสีเดิม ซึ่งการใช้สารช่วยย้อมธรรมชาติ เป็นสารประกอบน้ำหมักธรรมชาติจะช่วยในการย้อมสีและบางครั้งทำให้เฉดสีเปลี่ยน ได้แก่ (1) น้ำปูนใส (2) น้ำค้างหรือน้ำขี้เถ้า ซึ่งได้จาก กล้วย ฝรั่ง กากมะพร้าว (3) กรดจากพืชเปรี้ยว เช่น น้ำมะนาว น้ำใบหรือฝักส้มป่อย หรือน้ำมะขามเปียก (4) น้ำบาดาลหรือน้ำสนิมเหล็ก ช่วยให้สีเข้มขึ้น ให้เฉดสีเทา-ดำ และ (5) น้ำโคลน ช่วยให้ได้โทนสีเข้มขึ้นหรือโทนสีเทา-ดำ (ศูนย์วิชาการและเทคโนโลยีสิ่งทอพื้นบ้าน, 2558) ซึ่งใกล้เคียงกับกับงานวิจัยของ เอี่ยมพร และคณะ (2561) พบสารที่ช่วยติดสี ได้แก่ น้ำโคลน เกลือ น้ำปูนใสสนิม น้ำสบู่ และน้ำมะขามเปียก โดยการใช้สารช่วยย้อมในการย้อมผ้ามี 3 วิธี ดังนี้ วิธีที่หนึ่ง เป็นการนำเส้นด้ายไปชุบสารช่วยย้อมก่อนนำไปย้อมสีธรรมชาติ วิธีที่สอง เป็นการใช้สารช่วยย้อมพร้อมกับการย้อมสี โดยใส่สารช่วยย้อมไปในน้ำสีแล้วจึงนำเส้นด้ายลงย้อม และวิธีที่สาม เป็นการใช้สารช่วยย้อมหลังย้อมสี โดยนำเส้นด้ายไปย้อมสีก่อนแล้วจึงนำไปย้อมกับสารช่วยย้อมภายหลัง (ศูนย์วิชาการและเทคโนโลยีสิ่งทอพื้นบ้าน, 2558; ประภากร, 2560)

ค่าดัชนีการใช้ประโยชน์ (Use value) ของไม้ต้นที่นิยมนำมาใช้ย้อมสีธรรมชาติ

จากการสัมภาษณ์ชุมชนทอผ้าไหมจังหวัดสุรินทร์ และการวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ไม้ต้นที่มีการนำมาใช้ย้อมสีธรรมชาติโดยพิจารณาจากค่าดัชนีการใช้ประโยชน์ (Use value ; UV) พบว่าไม้ยืนต้นในป่าที่มีความสำคัญโดยชุมชนนำมาใช้ย้อมสีมากที่สุด 5 อันดับแรก คือ มะเกลือ (0.76) รองลงมาคือ ประดู่ป่า (0.72) เพกา (0.60) สะเดา (0.56) และยอป่า (0.48) (ตารางที่ 4) ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นชนิดไม้ต้นที่มีอยู่ในท้องถิ่นหรือจัดหาได้ง่าย และมีการทดลองใช้งานได้รับการยอมรับว่าใช้ย้อมสีได้ดีจึงมีการนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย (พินัย, 2548; กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2549; กรมหม่อนไหม, 2558; มุลนิธิสืบนาคะเสถียร, 2562)

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีการใช้ประโยชน์ (Use value) ของพืชให้สี 20 อันดับแรก

ลำดับที่	ชนิดพืช	ค่า UV	ลำดับที่	ชนิดพืช	ค่า UV
1	มะเกลือ	0.76	11	หว่าป่า	0.32
2	ประดู่ป่า	0.72	12	ตัวเกลี้ยง	0.24
3	เพกา	0.60	13	ทองกวาว	0.24
4	สะเดา	0.56	14	นนทรี	0.24
5	ยอป่า	0.48	15	มะกอกเลื่อม	0.24
6	กระบก	0.44	16	พะยอม	0.24
7	ขี้เหล็กบ้าน	0.40	17	กระโดน	0.20
8	มะหาด	0.36	18	ตะแบกนา	0.20
9	ตะโกนา	0.32	19	ขงโค	0.20
10	มะม่วงป่า	0.32	20	ตัวแดง	0.16

บทสรุป

ผลการศึกษาความหลากหลายชนิดของไม้ต้นในป่าจังหวัดสุรินทร์ทั้ง 5 ป่า พบไม้ต้น 96 ชนิด 80 สกุล 37 วงศ์ โดยพบวงศ์ของไม้ต้นมากที่สุดคือ FABACEAE จำนวน 14 สกุล 17 ชนิด และพบว่าทั้ง 17 ชนิดสามารถนำไปใช้เป็นไม้ย้อมสีได้ทั้งหมด โดยส่วนประกอบของไม้ต้นที่ให้สีมากที่สุดคือ เปลือกลำต้นหรือเปลือกกิ่งก้าน รองลงมาคือ ลำต้นหรือแก่นต้น และ ใบ ซึ่งชนิดไม้ต้นที่มีส่วนประกอบนำไปใช้ย้อมสีมากที่สุดคือ ยอป่า หว้าป่า ชีเหล็กบ้าน แควบ้าน ชงโค และ เพกา เป็นต้น ส่วนโทสนีที่ได้จากพืชมากที่สุดคือ โทสนีน้ำตาล-กากี รองลงมาคือ โทสนีเหลือง-ทอง และ โทสนีเขียว ทั้งนี้แต่ละชนิดพืชอาจให้สีมากกว่า 1 โทสนี ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของพืชและกรรมวิธีการย้อม โดยพบว่าไม้ต้นที่ให้โทสนีได้หลากหลายมากที่สุดได้แก่ มะหาด และยอป่า โดยให้โทสนีมากถึง 3 โทสนี นอกจากประโยชน์ด้านการให้สีแล้วไม้ยืนต้นบางชนิดยังเป็นสารช่วยให้สีติดด้วย เช่น เปลือกเพกา เปลือกประดู่ และ ใบชงโค เป็นต้น และเมื่อใช้ดัชนีในการหาค่าดัชนีการใช้ประโยชน์ (Use value) ของพืช พบว่า ไม้ต้นที่มีความสำคัญและนำมาใช้ย้อมสีธรรมชาติมากที่สุด คือ มะเกลือ ประดู่ป่า เพกา สะเดา ยอป่า กระบก ชีเหล็กบ้าน และ มะหาด ตามลำดับ

ทั้งนี้จากความหลากหลายของสีที่ได้จากพืชในป่าซึ่งน่าจะเป็นผลดีกับชุมชนทอผ้าไหมสีธรรมชาติ แต่ด้วยปัจจัยและข้อจำกัดในการย้อมสีธรรมชาติจากพืช เช่น ปริมาณและจำนวนของวัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีน้อย บางชนิดต้องใช้ส่วนของแก่นต้นซึ่งไม่สามารถตัดมาใช้ได้ บางชนิดใช้ดอกหรือผลซึ่งต้องอาศัยช่วงฤดูกาลออกดอกออกผล บางชนิดเป็นไม้หายาก ส่งผลให้ไม่สามารถใช้ได้ตามต้องการ อีกทั้งในเรื่องของคุณภาพของสีที่ติดกับเส้นใยจะไม่คงทนต่อแสงและซีดจางในระยะเวลาอันรวดเร็ว รวมทั้งการขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับพืชให้สีธรรมชาติที่หลากหลาย ทำให้การเลือกใช้ชนิดพืชและโทสนีต่าง ๆ ยังอยู่ในขอบเขตจำกัด ดังนั้นจึงควรมีการส่งเสริมสนับสนุนและให้องค์ความรู้แก่ชุมชน การเข้าไปอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อให้ชุมชนเกิดความชำนาญในด้านการย้อมสีธรรมชาติจากพืชให้หลากหลายมากขึ้น ซึ่งเป็นทางเลือกที่ช่วยให้ชุมชนสามารถสร้างความหลากหลายของสีย้อมไหมที่สวยงามแตกต่างกันตอบสนองกับความต้องการของตลาดผ้าไหมในปัจจุบัน เป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิต ช่วยเพิ่มมูลค่าของผ้าไหม ช่วยลดปัญหาจากการใช้สารเคมีในการย้อมผ้า และเป็นการส่งเสริมให้ชุมชนเห็นคุณค่าของป่าไม้และใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้นำชุมชนที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่สำรวจป่า หมอยาสมุนไพรและชุมชนในพื้นที่ตำบลท่าสว่าง ตำบลนอกเมือง ตำบลเทนมี และตำบลสลักได อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ที่ช่วยนำทางสำรวจป่า ขอขอบคุณ ภูมิปัญญาด้านย้อมสีธรรมชาติชุมชนตำบลท่าสว่าง ตำบลเทนมี และตำบลแกใหญ่ อำเภอเมืองสุรินทร์ ชุมชนตำบลจอมพระ และตำบลผือ อำเภอจอมพระ จังหวัดสุรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลด้านการย้อมสีธรรมชาติจนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2556). ฐานข้อมูลพรรณไม้องค์การสวนพฤกษศาสตร์. ค้นเมื่อ 10 กันยายน 2558. จาก <http://www.qsbg.org/database/plantdb/index.asp>.

- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2549). พันธุ์ไม้ย้อมสีธรรมชาติ. ค้นเมื่อ 7 พฤศจิกายน 2560. จาก <https://www.ryt9.com/s/ryt9/64537>
- กรมหม่อนไหม. (2558). พันธุ์ไม้ย้อมสีธรรมชาติ. ค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2558. จาก <http://qsds.go.th/webtreecolor/index.php>.
- คณะเภสัชศาสตร์. (2538). สยามเภสัชวิทยา. มหาวิทยาลัยมหิดล: กรุงเทพฯ.
- งานข้อมูลท้องถิ่นและจดหมายเหตุ. (2558). ไม้ย้อมสีธรรมชาติ “ภูมิปัญญาอีสาน ภูมิปัญญาไทย”. ค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2558. จาก <http://www.lib.ubu.ac.th/localinformation/tint/tint.php>
- จิรายุพิน จันประสงค์ และวชิรพงศ์ หวลบุตรตา. (2548). ไม้ต้นประดับ. โรงพิมพ์อัมรินทร์พรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน): กรุงเทพฯ.
- ดอกรัก มารอด. (2549). บทปฏิบัติการการวิเคราะห์สังคัมพืช. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- ประชากร สุคนธมณี. (2560). สืบค้นจากพันธุ์พืช. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับภาษาไทย. 37(3): 183-202.
- นันทิพย์ หาสิน และ ฉัตรดาว ไชยหล่อ. (2559). การศึกษากระบวนการสกัดสีธรรมชาติจากพืชเพื่องานมัดย้อม. การประชุมวิชาการระดับชาติ นอร์ทเทิร์นวิจัย ครั้งที่ 3. วิทยาลัยนอร์ทเทิร์น: จังหวัดตาก: 513-516.
- ปิยะชาติ ไตรสารศรี. (2540). การศึกษาอนุกรมวิธานของพืชให้สีย้อมเส้นใยธรรมชาติในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พินัย ทองทองแดง. (2548). พันธุ์ไม้ย้อมสีธรรมชาติ. โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี: กรุงเทพฯ.
- มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. (ม.ป.ป.). ไม้ย้อมสีธรรมชาติ พรรณไม้ใช้ย้อมสีธรรมชาติ ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมสีผ้า. ค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2558. จาก <http://www.esanpedia.oar.ubu.ac.th/tint/>
- Anne M. (2011). การเดินทางของเมล็ดพืช. แปลจาก Uber Land und Durch die Luft. So Reisen die Pflazen. โดย หัตยา บุปผาทอง. นานมีบุ๊คส์พับลิเคชันส์: กรุงเทพฯ.
- มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. (2562). วัสดุธรรมชาติ ที่ให้สีต่าง ๆ. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2560. จาก <https://www.seub.or.th/blogging/เกร็ดความรู้/วัสดุธรรมชาติ-สีแตกต่าง/>
- ศูนย์วิชาการและเทคโนโลยีสิ่งทอพื้นบ้าน. (2558). การย้อมสีธรรมชาติ. สืบค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2560. จาก http://www.ist.cmu.ac.th/cotton/naturalColor_Human.php?subnav=3
- สมขญา ศรีธรรม. (2559). ความหลากหลายของไม้ต้นและการใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น ป่าหาร อำเภอมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 34(3): 96-105.
- สมขญา ศรีธรรม, วสา วงศ์สุขแสง และจินตนา รุ่งเรือง. (2560). พันธุ์พืชให้สีย้อมไหมในชุมชนทอผ้าไหม จังหวัดสุรินทร์. การประชุมวิชาการและนิทรรศการ ทรัพยากรไทย: ศักยภาพมากขึ้นมีให้เห็น. ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: สระบุรี. 426-436.
- สุวิทย์ วรรณศรี และ ประจักษ์ บัวพันธ์. (2556). ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์จากสมุนไพรบริเวณพื้นที่ภูผาม้า อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานหอพรรณไม้. (2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557. สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช: กรุงเทพฯ.
- สำนักวิจัยและพัฒนาหม่อนไหม. (2558). วัสดุย้อมสี. ค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2559. จาก http://www.qsds.go.th/osrd_new/inside_page.php?pageid=19

- เอื้อมพร จันทรสองดวง, กนกกรณ์ ศิริทิพย์, รัชนิพร นาไชย, ลัดดาวัลย์ บัวคำโคตร และเบญจมาศ อ่อนพุทธา. (2561). พืชที่ให้สีย้อมและองค์ความรู้พื้นบ้านในการย้อมสีธรรมชาติของกลุ่มชาติพันธุ์ไทลาว ในอำเภออาจสามารถ และ อำเภอโพธิ์ชัย จังหวัดร้อยเอ็ด. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 10(1): 109-126.
- เอื้อมพร วิสมหมาย และปณิธาน แก้วดวงเทียน. (2547). ไม้ป่ายืนต้นของไทย 1. โรงพิมพ์ เอช เอ็น กรุ๊ป: กรุงเทพฯ.
- Neamsuvan O., Kama A., Salaemae A., Leesen S. and Waedueramae N. (2015). A survey of herbal formulas for skin diseases from Thailand's three southern border provinces. Journal of Herbal Medicine. 5(4): 190-198.

Received: June 19, 2020; Revised: August 5, 2020; Accepted: August 26, 2020

ผลของการเสริมไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มในอาหารโครีดนมต่อประสิทธิภาพการผลิต และองค์ประกอบน้ำนมโคนม

Effects of supplementation Ca-salt of palm oil fatty acid in the lactating dairy cow diet on productivity and milk compositions

นพรัตน์ ผกาเชิด¹ และชยพล มีพร้อม^{2*}Noppharat Phakachod¹ and Chayapol Meeprom^{2*}¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์²คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : chayapol.me@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริม Ca-salt of palm oil fatty acid (Ca-PO) ในอาหารโครีดนมต่อการกินได้วัวตฤแห่ง ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม โดยใช้โครีดนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียนจำนวน 10 ตัว ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำนมที่ 7.21 ± 2.35 กิโลกรัมและจำนวนวันให้นม 159 ± 48 วัน ทำการสุ่มโดยใช้วิธีการ Stratified random balance โดยใช้ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม แบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่มทดลองได้แก่กลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริม Ca-PO ที่ระดับ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน ระยะเวลาทดลองทั้งหมด 35 วัน โดย 7 วันแรกเป็นช่วงปรับตัว และ 28 วันหลังเป็นช่วงการเก็บตัวอย่าง ผลการทดลองพบว่า การเสริม Ca-PO ในอาหารโครีดนมที่ระดับ 300 กรัมต่อตัวต่อวันไม่ส่งผลต่อการกินได้วัวตฤแห่ง และปริมาณน้ำนม ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าการเสริม Ca-PO สามารถเพิ่มปริมาณเปอร์เซ็นต์ไขมันน้ำนม ($p < 0.05$) และมีแนวโน้มว่าของแข็งรวมในน้ำนมสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมได้ ($p < 0.10$) โดยไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์โปรตีน แลคโตส และของแข็งไม่รวมไขมัน ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเสริม Ca-PO ที่ระดับ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน สามารถเพิ่มระดับความเข้มข้นของไขมันในน้ำนมได้โดยไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนม

คำสำคัญ: ไขมันไหลผ่าน พลังงาน ไขมันนม

Abstract

The aim of this experiment was to evaluate the effects of supplementation Ca-salt of palm oil fatty acid (Ca-PO) in the lactating dairy cows diet on dry matter intake, milk yield and milk compositions. Ten crossbred Holstein Frisian lactating dairy cows with averaging milk yield of 7.21 ± 2.35 kg and 159 ± 48 days in milk were used. The animals were stratified random balance by using milk yield and milk compositions divided into 2 groups including control and supplemented Ca-PO at 300g/d. The experiment lasted for 35d with the first 7d was the adjustment period followed by 28d was collection period. The results showed that supplementation Ca-PO at 300g/d in lactating dairy cow diet had no significant differences on dry matter intake and milk yield ($p < 0.05$). However, supplemented Ca-PO significant to increased milk fat and tended to increase total solid percentage when compare to the control group ($p < 0.10$). For milk protein, lactose and solid not fat percentage had no significant differences ($p > 0.05$). It can be concluded that supplemented Ca-PO at 300g/d can increased the concentration of milk fat and no detrimental effect on milk yield.

Keywords: Bypass fat, Energy, Milk fat

บทนำ

การใช้ไขมันเสริมในอาหารสัตว์ในอดีตมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดสถานการณ์พลังงานของโครีดนมหลังคลอดอยู่ในสถานะพลังงานที่ติดลบเนื่องจากโครีดนมอยู่ในช่วงที่มีการผลิตที่สูงแต่ขัดแย้งกับการกินได้ของโคมีการกินได้ที่ต่ำ (Herdt, 2000) จึงเป็นเหตุให้โคต้องมีการสลายพลังงาน (Mobilization) สำรองที่สะสมอยู่ในร่างกายมาใช้เป็นพลังงานเพื่อผลิตน้ำนม ซึ่งการสลายพลังงานมาใช้ในการแบบนี้จะส่งผลให้เกิดสารคีโตน (Ketone) ขึ้นในร่างกาย หากในร่างกายของโคไม่สามารถกำจัดสารคีโตนนี้ออกจากร่างกายได้ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยจะก่อให้เกิดโรคคีโตซิส (Ketosis) ขึ้น (Andersson, 1988) อย่างไรก็ตามการเสริมไขมันในรูปของน้ำมันพืชนั้นมีข้อจำกัดในการใช้และมีรายงานว่า การเสริมไขมันในรูปของน้ำมันพืชที่มากกว่า 60 g/kg DM จะส่งผลเชิงลบต่อกระบวนการหมักย่อยภายในกระเพาะหมักของโค โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยเยื่อใย (Messana et al., 2013) การใช้ไขมันที่อยู่ในรูปของไขมันไหลผ่าน (Bypass fat) เป็นวิธีที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เนื่องจากไขมันชนิดนี้จะไม่ย่อยสลายภายในกระเพาะหมักแต่จะย่อยสลายที่บริเวณกระเพาะส่วนล่าง (Palmquist and Jenkins, 2003) จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใยและไม่ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของน้ำมันโคโดยเฉพาะอย่างยิ่งเปอร์เซ็นต์ไขมันน้ำนม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำไขมันไหลผ่านมาใช้เพื่อเสริมเป็นแหล่งพลังงานในอาหารสำหรับโครีดนม แต่นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้กรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์ม (Ca-salt of palm oil fatty acid; CaPO) สามารถที่จะส่งเสริมการเพิ่มปริมาณของไขมันน้ำนมได้ (De Souza et al., 2017) และพลังงานที่โครีดนมได้รับที่เพิ่มมากขึ้นยังสามารถทำให้ปริมาณน้ำนมของโคนมมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นด้วย (Piantoni et al., 2013) ซึ่งไขมันน้ำนมเป็นองค์ประกอบน้ำนมที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาราคาน้ำนมดิบ หากสามารถพัฒนาวิธีการในการเพิ่มไขมันน้ำนมได้จะส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพของน้ำนมในอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเสริม Ca-PO ในอาหารโครีดนมต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำนมและ

องค์ประกอบน้ำมันของโครีตนม โดยมีสมมุติฐานว่าการนำ Ca-PO เสริมในอาหารโครีตนมสามารถเพิ่มผลผลิตของโครีตนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันน้ำมันได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

ใช้โครีตนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียนระดับสายเลือด 87.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 10 ตัวที่มีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยต่อวัน 7.21 ± 2.35 กิโลกรัม จำนวนวันให้นมเฉลี่ย 159 ± 48 วัน ทำการสุ่มแบบจัดชั้น (Stratified random balance group) โดยใช้ปริมาณน้ำมันและองค์ประกอบน้ำมัน ทำการแบ่งกลุ่มโคเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มควบคุม และ กลุ่มเสริม Ca-PO 300 กรัมต่อวัน โดยโครีตนมทั้งสองกลุ่มจะได้รับอาหารชั้นสำเร็จรูปตามความต้องการโภชนะของโครีตนมที่กำหนดไว้ใน NRC (2001) และได้รับฟางข้าวอย่างเต็มที่แบ่งการให้อาหารเป็น 2 มื้อเวลา 05.00 น. และ 16.00 น. มีน้ำสะอาดและแร่ธาตุให้กินตลอดเวลา ระยะเวลาทดลองทั้งหมด 35 วัน โดย 7 วันแรกเป็นระยะปรับตัว ตามด้วย 28 วันหลังเป็นระยะทดลองและเก็บตัวอย่าง จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกัน

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล

ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งจะวัดทุกช่วงการทดลอง 5 วัน จะทำการเก็บข้อมูล 2 วันติดต่อกัน โดยทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักของอาหารก่อนโคกินซึ่งได้แก่อาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าว และการเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกิน หลังจากนั้นทำการชั่งอาหารที่เหลือจากการกินของโคในวันถัดไป และสุ่มเก็บอาหารประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงตามวิธีการของ AOAC (1998) เพื่อนำมาคำนวณการกินได้ของวัตถุแห้ง นำตัวอย่างอาหารที่ทำกรเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใยในที่ไม่ละลายในสารเป็นกลาง (NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารเป็นกรด (ADF) และลิกนิน (ADL) หลังจากนั้นนำมาคำนวณพลังงานสุทธิของโครีตนม (Net energy for lactation at production level; NE_{LP}) ของอาหารแต่ละชนิดตามสมการของ NRC (2001)

ทำการจดบันทึกผลผลิตน้ำมันของโครีตนมทุกตัวทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลองเพื่อนำมาคำนวณปริมาณน้ำมันเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน และนำข้อมูลดังกล่าวไปเข้าสมการเพื่อหาปริมาณน้ำมันปรับไขมันนมที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์ (Parekh, 1986) นอกจากนี้สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันดิบของโครีตนมรายตัวของโคที่ใช้ในการทดลองทุกตัวในมือเช้าและมือเย็นเป็นปริมาณ 30 มิลลิลิตรต่อมือ ก่อนนำน้ำมันดิบมา Pooled โดยคิดเป็นอัตราส่วนของปริมาณน้ำมันมือเช้าและมือเย็นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อรอวิเคราะห์ผลทดลอง โดยจะดำเนินการทุกช่วงการทดลอง 5 วัน และสุ่มเก็บช่วงละ 2 วันติดต่อกัน เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันได้แก่ โปรตีน ไขมัน แลคโตส ของแข็งในน้ำมันไม่รวมไขมัน และของแข็งรวมในน้ำมัน ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างโดยใช้เครื่อง Milkoscan FT-6000

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกระหว่างการทดลองซึ่งได้แก่ การกินได้วัตถุแห้ง ปริมาณน้ำมัน และองค์ประกอบน้ำมัน นำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (t-test independent) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ $p < 0.05$ และระดับแนวโน้มที่ $0.05 > p > 0.10$

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

องค์ประกอบทางเคมีที่ใช้ในการทดลองพบว่า พางข้าวมีโปรตีน 1.32 เปอร์เซ็นต์ พลังงานสุทธิ 0.81 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัม ในส่วนของอาหารชั้นสำเร็จรูปมีโปรตีน 18.43 เปอร์เซ็นต์ พลังงานสุทธิ 1.53 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัม ในส่วน Ca-PO มีพลังงานเท่ากับ 3.34 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

Item	Rice straw	Concentrate	Ca-PO
Dry matter; DM (%)	92.10	93.00	96.88
Crude protein; CP (%)	1.32	18.43	-
Ether extract; EE (%)	1.52	5.12	85.60
Ash (%)	15.86	7.84	14.40
Neutral detergent fiber; NDF (%)	73.58	37.64	-
Acid detergent fiber; ADF (%)	59.15	19.40	-
Acid detergent lignin; ADL (%)	10.41	6.97	-
Total digestible nutrients; TDN (%)	37.07	66.22	165.64
Net energy for lactation at production level; NE _{LP} (Mcal/kg)	0.81	1.53	3.34

ผลของการเสริม Ca-PO ในอาหารโครีดนมไม่ส่งผลต่อการกินได้วัตถุแห้งของพางข้าวและการกินได้ของวัตถุแห้งรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามโครีดนมที่ได้รับการเสริม Ca-PO ที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน มีปริมาณพลังงานสุทธิที่ได้รับสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Leiva et al. (2018) ได้ใช้ Ca-PO เสริมให้โครีดนมที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งไม่พบความแตกต่างของการกินได้และรายงานไว้ว่าการประเมินความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อให้ให้น้ำนมจะสามารถกำหนดปริมาณการกินได้ของโคนม โดยในการทดลองนี้ได้ดำเนินการประเมินความต้องการพลังงานของโครีดนมและให้อาหารชั้นในรูปแบบของการจำกัดการกินจึงเป็นผลให้การกินได้ของอาหารชั้นไม่แตกต่างกัน ในส่วนของพางข้าวการใช้ไขมันในรูปของ Ca-salt จะไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยสลายของเยื่อใยในกระเพาะหมักแต่ส่งผลเมื่อสัตว์ได้รับอาหารหยาบที่ปริมาณสูง (Ollier et al., 2009) อย่างไรก็ตามชนิดของกรดไขมันมีส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงการกินได้เช่น การใช้ไขมันที่เป็นแหล่งของกรดไขมันลิโนเลอิกในอาหารโคจะส่งผลให้โคมีการกินได้ที่ลดลง (He et al., 2015) แต่เมื่อใช้ไขมันที่เป็นแหล่งของกรดไขมันโอเลอิกทำให้การกินได้ของโค สูงขึ้น (Beauchemin et al., 2009) ส่วนการที่โครีดนมได้รับปริมาณพลังงานสุทธิที่เพิ่มมากขึ้นเกิดจากการที่โครีดนมได้รับพลังงานที่เสริมจาก Ca-PO ซึ่งมีพลังงานสุทธิต่อหน่วยอยู่ที่ 3.34 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่งผลให้การกินได้พลังงานสุทธิของโคนมในกลุ่มที่มีการเสริมกรดไขมันไหลผ่านมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามการเสริมไขมันในอาหารโคจะส่งผลต่อการกินได้ของโคที่เป็นผลจากการย่อยสลายเยื่อใยภายในกระเพาะหมักของโคมีระดับที่ลดลงทำให้อัตราการไหลผ่านของอาหารมีการไหลผ่านที่ต่ำ โดย Benson et al. (2001) ทดลองฉีดไขมันใส่ในกระเพาะหมักของโคซึ่งไขมันที่ใช้มีระดับของความไม่อิ่มตัวอยู่สูงพบว่าโคมีการกินได้ที่ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยที่เสริมไขมันถั่วเหลืองให้แก่โคโดยการฉีดเข้ากระเพาะพบว่าโคมีปริมาณการกินได้ที่ลดลง เนื่องจากไขมันจะไปกระตุ้นการไหลเวียนของฮอร์โมน Cholecystokinin ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งการกินได้ของโค (Litherland et al., 2005)

ตารางที่ 2 การกินได้วัตถุแห้ง (DMI) และการกินได้พลังงานสุทธิ (NEI) ของโครีดนมที่ได้รับ Ca-salt of palm oil fatty acid (Ca-PO)

Item	Control	Ca-PO 300 g/d	SE	p-value
DMI (kg/d)				
Concentrate	5.29	5.29	-	-
Rice straw	4.29	4.26	0.121	0.827
Ca-salt of palm oil fatty acid	-	0.28	-	-
Total	9.58	9.85	0.121	0.155
NEI (Mcal/d)				
Concentrate	8.08	8.08	-	-
Rice straw	3.47	3.45	0.099	0.578
Ca-salt of palm oil fatty acid	-	1.00	-	-
Total	11.55 ^a	12.53 ^b	0.098	<0.001

หมายเหตุ: ^a และ ^b ที่กำกับอยู่ในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

SE = Standard error

การเสริม Ca-PO ไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนม ($p > 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Leiva et al. (2018) ซึ่งทำการเสริม Ca-PO เพื่อลดการใช้แบ่งเป็นแหล่งพลังงานจึงทำให้ระดับของพลังงานที่โคได้รับมีปริมาณพลังงานสุทธิที่เท่ากัน และการทดลองเสริมกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มในแพะนมพบว่า ปริมาณของน้ำนมไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมเมื่อมีการควบคุมพลังงานที่ได้รับของสัตว์ (Eknæs et al., 2017) นอกจากนั้นการทดลองเสริมพลังงานในสัตว์ที่มีประสิทธิภาพของผลผลิตน้ำนมที่สูง การเพิ่มขึ้นผลผลิตน้ำนมจากการเสริมพลังงานจะมีปริมาณน้อยซึ่งแตกต่างจากสัตว์ที่มีประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมที่สูงหากได้รับพลังงานที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำนมมีการเพิ่มขึ้นในปริมาณที่สูงมากกว่า อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยพบว่าการใช้ Ca-PO เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ Ca-salt ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงจะมีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานที่สูงกว่า (De Souza et al., 2017) โดยงานวิจัยของ Meshram et al. (2016) พบว่า การเสริมไขมันไหลผ่านสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น 12.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของกรดไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันโดยกรดไขมันปาล์มติกจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวจึงเป็นผลให้การเสริม Ca-PO สามารถเพิ่มปริมาณน้ำนมได้ (Piantoni et al., 2013) ในส่วนขององค์ประกอบน้ำนมในงานวิจัยนี้การเสริม Ca-PO ในอาหารของโครีดนมสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ไขมันน้ำนมได้ ซึ่งปาล์มติกเป็นกรดไขมันที่พบมากใน Ca-PO และพบว่า การใช้กรดไขมันชนิดนี้สามารถเพิ่มการสังเคราะห์ไขมันน้ำนมได้ (Enjalbert et al., 2000) โดยปาล์มติกจะเพิ่มระดับของ Non esterified fatty acid (NEFA) ในกระแสเลือดซึ่งจะพบปริมาณที่สูงเมื่อมีการใช้กรดไขมันอิ่มตัวเสริมในอาหารของโครีดนม (Choi et al., 2000) ปริมาณของ NEFA ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ต่อการสังเคราะห์ไขมันน้ำนมโดยปกติแล้ว NEFA จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสลายพลังงานที่สะสมในร่างกายมาใช้เป็นพลังงานเมื่อโคมีพลังงานที่ได้รับที่ไม่เพียงพอ ปริมาณของเปอร์เซ็นต์ไขมันน้ำนมที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็งในน้ำนม (Total solid; TS) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วย ($p < 0.10$) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์โปรตีนและเปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของการใช้ Ca-salt of palm oil fatty acid (Ca-PO) ต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของโครีดนม

รายการ	Control	Ca-PO 300 g/d	SE	p-value
Milk yield (kg/d)	7.09	7.81	0.871	0.432
FCM 3.5% (kg/d)	7.38	8.21	0.916	0.390
Milk fat				
(%)	3.99 ^a	5.03 ^b	0.322	0.012
(g/d)	285	394	49.589	0.058
Milk protein				
(%)	3.00	3.04	0.224	0.883
(g/d)	214	233	24.289	0.456
Milk lactose				
(%)	4.44	4.56	0.180	0.524
(g/d)	317	357	47.027	0.415
Milk total solid				
(%)	12.07	13.29	0.600	0.077
(g/d)	860	1,034	199.000	0.184
Milk solid not fat				
(%)	8.11	8.30	0.079	0.603
(g/d)	579	644	72.936	0.400

หมายเหตุ: ^a และ ^b ที่กำกับอยู่ในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

SE = Standard error; FCM 3.5% = ปริมาณน้ำนมปรับไขมันนมที่ 3.5 เปอร์เซนต์

บทสรุป

การเสริม Ca-PO ในอาหารโครีดนมที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบน้ำนมในส่วน โปรตีนและแลคโตส โดยการเสริมไขมันไหลผ่านทำให้ไขมันน้ำนมมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาณของแข็งรวมในน้ำนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย การใช้ Ca-PO เสริมในอาหารเป็นอีกแนวทางในการเพิ่มศักยภาพของการสร้างไขมันน้ำนมของโคนมให้สูงขึ้นกรณีที่เกษตรกรขาดแหล่งอาหารหยาบคุณภาพดีและใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลักในการเลี้ยงโค อย่างไรก็ตามการใช้ Ca-PO เสริมในอาหารของโคเพื่อส่งเสริมปริมาณไขมันน้ำนมอาจมีต้นทุนที่สูงกว่าการใช้อาหารหยาบคุณภาพดี หากเพิ่มในส่วนการคำนวณเรื่องต้นทุนการใช้ Ca-PO หรือไม่ใช้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และหากต้นทุนอาจเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกรได้ นอกเหนือจากนั้นการวิจัยในโคที่มีประสิทธิภาพของผลผลิตน้ำนมที่สูงอาจจะส่งผลที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ซึ่งมีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพต่อการผลิตน้ำนมที่สูงสุดควรดำเนินการวิจัยนี้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณแผนกโคนม สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย ในส่วนของการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

เอกสารอ้างอิง

- Andersson L. (1988). Subclinical ketosis in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 4 (2): 233–251.
- AOAC. (1998). *Official Methods of Analysis*. 16thedn. rev. Association of Official Analytical Chemist, Washington: DC.
- Beauchemin K.A., McGinn S.M., Benchaar C. and Holtshausen L. (2009). Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science*. 92(5): 2118–2127.
- Benson J.A., Reynolds C.K., Humphries D.J., Rutter S.M. and Beever D.E. (2001). Effects of abomasal infusion of long-chain fatty acids on intake, feeding behavior and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 84(5): 1182–1191.
- Choi B.R., Palmquist D.L. and Allen M.S. (2000). Cholecystokinin mediates depression of feed intake in dairy cattle fed high fat diets. *Domestic Animal Endocrinology*. 19(3): 159–175.
- De Souza J., Garver J.L., Preseault C.L. and Lock A.L. (2017). Short communication: Effects of prill size of a palmitic acid-enriched fat supplement on the yield of milk and milk components, and nutrient digestibility of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 100(1): 379–384.
- Eknæs M., Chilliard Y., Hove K., Inglingstad R.A., Bernard L. and Volden H. (2017). Feeding of palm oil fatty acids or rapeseed oil throughout lactation: Effects on energy status, body composition, and milk production in Norwegian dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 100(9): 7588–7601.
- Herdin T.H. (2000). Ruminant adaptation to negative energy balance Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 16(2): 215–230.
- Enjalbert F., Nicot M.C., Bayourthe C., and Moncoulon R. (2000). Effects of duodenal infusions of palmitic, stearic, or oleic acids on milk composition and physical properties of butter. *Journal of Dairy Science*. 83(7): 1428–1433.
- He M., Perfield K.L., Green H.B. and Armentano L.E. (2012). Effect of dietary fat blend enriched in oleic or linoleic acid and monensin supplementation on dairy cattle performance, milk fatty acid profiles, and milk fat depression. *Journal of Dairy Science*. 95(3): 1447–1461.

- Leiva T., Cooke R.F., Brandão A.P. Bertin R.D., Colombo E.A., Miranda, V.F.B. and Vasconcelos J.L.M. (2018). Effects of supplemental calcium salts of palm oil and chromium-propionate on insulin sensitivity and productive and reproductive traits of mid-to late-lactating Holsteinx Gir dairy cows consuming excessive energy. *Journal of Dairy Science*. 101(1): 491-504.
- Litherland N.B., Thire S., Beaulieu A.D., Reynolds C.K., Benson J.A. and Drackley J. K. (2005). Dry matter intake is decreased more by abomasal infusion of unsaturated free fatty acids than by unsaturated triglycerides. *Journal of Dairy Science*. 88(2): 632–643.
- Meshram R.B., Waghmare S.P., Dakshinkar N.P., and Pajai K.S. (2016). Effect of supplementation of rumen bypass fat with chromium on milk yield and milk fat per cent in dairy cow. *Veterinary Science Research Journal*. 7(2): 95–98.
- Messana J.D., Berchielli T.T., Arcuri P.B., Reis R.A., Canesin R.C., Ribeiro A.F. and Fernandes J.R. (2013). Rumen fermentation and rumen microbes in Nellore steers receiving diets with different lipid contents. *Revista Brasileira de Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science*. 42(3): 204–212.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National academy press: Washington D.C.
- Ollier S., Leroux C., de la Foye A., Bernard L., Rouel J. and Chilliard Y. (2009). Whole intact rapeseeds or sunflower oil in high forage or high-concentrate diets affects milk yield, milk composition, and mammary gene expression profile in goats. *Journal of Dairy Science*. 92(11): 5544–5560.
- Palmquist D.L. and Jenkins T.C. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*. 81(12): 3250–3254.
- Parekh H.K. (1986). A new formula for fat-corrected milk. *Indian Journal of Animal Sciences*. 56: 608–609.
- Piantoni P., Lock A.L. and Allen M.S. (2013). Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. *Journal of Dairy Science*. 96(11): 7143–7154.
- Rabiee A.R., Breinhild K., Scott W., Golder H.M., Block E. and Lean I.J. (2012). Effect of fat additions to diets of dairy cattle on milk production and components: a meta-analysis and meta regression. *Journal of Dairy Science*. 95(9): 3225–3247.

Received: June 8, 2020; Revised: August 5, 2020; Accepted: August 26, 2020

คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และความคงตัวของสารแอนแคปซูลแอนโทไซยานินจากผล
ลำตวนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ
Physico-chemical properties and stability of lamduan anthocyanin
encapsulation by vacuum drying technique

กรุณรัตน์ สกุนนามรัตน์^{1,2,*} และเด่นชัย วงศรีแก้ว²Karunrat Sakulnarmrat^{1,2,*} and Denchai Wongsrikaew²¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์²ศูนย์ทดสอบทางวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : karunrat.sa@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การแอนแคปซูลเป็นกระบวนการช่วยกักเก็บสารออกฤทธิ์สำคัญให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้นด้วยสารห่อหุ้ม การแอนแคปซูลแอนโทไซยานินจากผลลำตวนร่วมกับสารห่อหุ้มมอลโตเด็คซ์ทริน เด็กโตรส อิกวีวาลีนซ์ (ดีอี) 10 (MD10) และ ดีอี 20 (MD20) ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติสารแอนแคปซูลให้ดีขึ้น พบว่า อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสร่วมกับ MD20 (50°C MD20) มีความเหมาะสมในการเตรียมสารแอนแคปซูล โดยมีความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าการดูดน้ำกลับต่ำ ปริมาณกรด ความเป็นกรดต่าง และปริมาณแอนโทไซยานินสูง มีประสิทธิภาพการแอนแคปซูลและความสามารถในการละลายสูง (>90%) ความคงตัวต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 120 นาที ยังคงมีปริมาณแอนโทไซยานิน 70% สารแอนแคปซูลมีสีแดงอมม่วง โดยมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 15.06 ความเป็นสีแดง (a*) เท่ากับ 1.86 ความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 0.57 ความบริสุทธิ์ (C*) เท่ากับ 1.94 และ ค่าเฉดสี (H°) เท่ากับ 0.3 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการแอนแคปซูลสามารถกักเก็บและช่วยลดอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถใช้สารแอนแคปซูลเป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ในอนาคตได้

คำสำคัญ: ลำตวน แอนโทไซยานิน แอนแคปซูล สารห่อหุ้ม การทำแห้งแบบสุญญากาศ

Abstract

Encapsulation is a process to trap bioactive compounds within carrier agents in order to improve its physical, chemical and environmental stability. Lamduan (*Melodorum fruticosum* Lour.) anthocyanin extract encapsulation with maltodextrin dextrose equivalent (DE) 10 (MD10) and DE20 (MD20) by vacuum drying technique at 50 and 60 °C for improving encapsules properties revealed that 50 °C MD20 provided good encapsulated powder with low moisture content and water activity (a_w), the highest acid, anthocyanin coupled with low pH value, high encapsulation efficiency and solubility (>90%). Thermal stability at 70 °C showed good anthocyanin retention with about 70% at 120 min. Encapsulated powder exhibited purple-red color with L^* of 15.06, a^* of 1.86, b^* of 0.57, C^* of 1.94 and H° of 0.3. The results indicated that encapsulation could entrap and reduce anthocyanin degradation, which could provide feasibility of encapsulated powder as active ingredient for food processing functional-products in the future.

Keywords: *Melodorum fruticosum* Lour, Anthocyanin, Encapsulation, Carrier agent, Vacuum drying

บทนำ

ลำตวน (*Melodorum fruticosum* Lour., Lamduan (LD)) เป็นผลไม้พื้นเมืองที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ และศรีสะเกษ มีสีดอชม่วง รสชาติเปรี้ยวหวาน ให้ผลสุกในช่วงต้นฤดูฝนช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม นิยมบริโภคผลในรูปของผลสุก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลสุกมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้นส่งผลให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย และในแต่ละปีผลลำตวนที่เหลือทิ้งโดยไม่ได้นำไปบริโภคและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอื่น เช่น แยม น้ำผลไม้พร้อมดื่ม และไวน์ มีเป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุดจากผลไม้พื้นเมืองในท้องถิ่น การนำผลลำตวนมาผลิตสารสีธรรมชาติทดแทนสารสีสังเคราะห์น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากผลไม้ในท้องถิ่น ผลลำตวนเป็นผลไม้สีม่วงดำซึ่งเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้านการเกิดการอักเสบ และด้านการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งกระเพาะและลำไส้ (Jensen et al., 2011; Sakulnarmrat and Konczak, 2013) สารแอนโทไซยานินมีข้อด้อยคือไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และสภาพแวดล้อมได้ดี (Jensen et al., 2011; da Fonseca Machado et al., 2018) เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชันจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยกักเก็บสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ ที่จะช่วยให้สารแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น (Labuschagne, 2018; da Fonseca Machado et al., 2018; Mar et al., 2020) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารที่เกี่ยวข้องกับความร้อนได้

การเลือกเทคนิคการทำแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ การประยุกต์ใช้สารเอนแคปซูเลชัน ขนาดของอนุภาค คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารออกฤทธิ์ที่สำคัญและสารห่อหุ้ม กลไกการปลดปล่อย ปริมาณการผลิต ต้นทุน และวัตถุประสงค์ของการศึกษา การทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ภายใต้สภาวะสุญญากาศ กระบวนการไม่ยุ่งยากและค่าใช้จ่ายไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Nurhadi et al., 2012; Hamzah et al., 2013) สารห่อหุ้มถือเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน (Pang et al.,

2014) มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ที่นิยมใช้เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชันเนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย มีความหนืดต่ำ (Tonon et al., 2008) ทำหน้าที่ห่อหุ้มสารออกฤทธิ์สำคัญในลักษณะเป็นฟิล์มบาง (film forming) เกาะจับ (binding flavours/actives) หรือ matrix forming (Labuschagne, 2018) ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเอนแคปซูเลชันมีการเลือกใช้เทคนิคและสารห่อหุ้มที่หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Nurhadi et al., 2012; da Silva Carvalho et al., 2016; Dag et al., 2017; da Fonseca Machado et al., 2018; Jimenez-Gonzalez et al., 2018)

การทำแห้งน้ำผึ้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบสุญญากาศได้ร้อยละผลได้มากกว่าและผลิตภัณฑ์มีค่าสีที่สดและเข้มกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Nurhadi et al., 2012) สารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน (butterfly pea flower) ทำแห้งแบบสุญญากาศมีความชื้นต่ำ อายุการเก็บรักษานานกว่าและการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าสารเอนแคปซูลเตรียมด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Hamzah et al., 2013) การใช้มอลโตเด็กซ์ตริน เด็กโตรส อีควิวาเลนต์ (ดีอี) ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติของสารเอนแคปซูลที่ได้เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี เพิ่มขึ้น จะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและประกอบด้วยกลุ่มไฮโดรฟิลิกมาก ความหนืดลดลง ความสามารถในการละลายและค่า structure integrity เพิ่มขึ้น (Labuschagne, 2018) สารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD₄₋₇ หรือ MD₁₇₋₂₀ มีค่าต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Tolun et al., 2016) โดยสารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD₄₋₇ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน พบว่า มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า ดีอี สูง จะมีความว่องไวต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าเนื่องจากมีพันธะสันและน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่าสารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินสกัดจากผล Juçara ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองป่าดิบชื้นแถบแอตแลนติก เตรียมด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 30 (Maltodextrin dextrose equivalent (DE) 30) มีค่าการดูดกลืนน้ำสูงกว่าและค่า Tg (glass transition temperature) ต่ำกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 10 และ 20 และเอนแคปซูลที่ได้มีผิวเรียบกว่าการใช้กัมมะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม (da Silva Carvalho et al., 2016) การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากผลแบล็คเบอร์รี่ด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 10 และ ดีอี 20 พบว่า เอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 10 มีความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่าการดูดน้ำกลับ น้อยกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดย ดีอี 10 ให้สารสีที่มีลักษณะสีแดงเข้มกว่า (p<0.05) ในขณะที่ความสามารถในการละลายและขนาดอนุภาคไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (Yamashita et al., 2017) การเตรียมเอนแคปซูลจากแบล็คเบอร์รี่ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย แบบแช่เยือกแข็ง และแบบ supercritical antisolvent พบว่า กระบวนการเอนแคปซูเลชันช่วยปกป้องสารแอนโทไซยานินได้มากกว่าร้อยละ 76 และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงมากกว่า 100 ไมโครโมล ทรอล็อกซ์เทียบเท่าต่อกรัม (da Fonseca Machado et al., 2018)

ดังนั้น การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากผลลำตวน เพื่อใช้เป็นสีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารจึงคาดว่าจะ เป็นแนวทางการวิจัยที่จะช่วยให้เกิดประโยชน์ทั้งในแง่ของการอนุรักษ์ การเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้พื้นเมืองและการประยุกต์ใช้ ในกระบวนการผลิตอาหารเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค การใช้สารสีจากธรรมชาติในกระบวนการแปรรูปอาหารเป็น อีกแนวทางหนึ่งในการผลักดันนโยบายความปลอดภัยทางอาหาร (Food security) และความยั่งยืนทางอาหาร (Food sustainability) ผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษากระบวนการเอนแคปซูเลชันสารแอนโทไซยานินจากผลลำตวน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสารสีธรรมชาติ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารสีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และความคงตัวต่อความร้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการขยายขอบข่ายงานไปสู่การประยุกต์ใช้ใน ผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่มูลค่าสูงต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สารเคมี

มอลโตเด็กซ์ทริน เด็กโตรส อีควิวาเลนซ์ (ดีอี) 10 (MD10) และ มอลโตเด็กซ์ทริน เด็กโตรส อีควิวาเลนซ์ 20 (MD20) ซื้อจากบริษัท Cargill Inc. (Brazil) และสารเคมีทุกชนิดที่ใช้ทั้งหมดเป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ ซื้อจากบริษัท Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)

การเตรียมตัวอย่าง

เก็บรวบรวมผลลำตวนจากตลาดช่องจอม อ.กาบเชิง จ.สุรินทร์ ในช่วงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2562 นำผลลำตวนมาทำความสะอาด ชั่งน้ำหนัก แยกส่วนเนื้อและเมล็ดออกจากกัน วัดความหวาน นำส่วนเนื้อที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนแบบzip หุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะเริ่มการทดลอง

การสกัดสารแอนโทไซยานินจากผลลำตวน

นำเนื้อลำตวนที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มาละลายน้ำแข็งและทำการสกัดแอนโทไซยานิน (Sakulnarmrat and Konczak, 2013) ด้วยตัวทำละลายอะซิติกแอซิด (acidified ethanol: 80% ethanol; 1% acetic acid; 19% distilled water v/v/v) อัตราส่วนผลไม้ต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:2 โฮโมจีไนซ์ด้วยความเร็วรอบ 25,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที (T18 digital IKA, SP Sci., Bangkok, Thailand) และอัลตราซาวด์ที่ระดับความถี่ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ 120 วัตต์ (Sonica 5300 EP, Soltex, Milano, Italy) เพื่อช่วยในกระบวนการสกัด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำสารสกัดไปปั่นเหวี่ยง (Sorvall RC-5B; DuPont, Wilmington, DE, USA) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แยกของเหลวใสที่สกัดได้ออกจากกากเก็บไว้ในขวดสีชา (Amber Duran® youtility GL45, Duran, Hattenbergstraße, Germany) นำกากมาทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ส่วนของเหลวใสที่สกัดได้นำมาผสมรวมกันได้เป็นสารสกัดหยาบ นำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Series no. 10612316, Type N-N, Eyela, Tokyo Rikankikai Co., Ltd., Tokyo, Japan) ให้เหลือปริมาตรสุดท้ายประมาณร้อยละ 25 จากปริมาตรเริ่มต้นจะได้สารสกัดแอนโทไซยานินเข้มข้น สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้น

1. ปริมาณกรด

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวิเคราะห์ปริมาณกรด (AOAC, 2000) โดยนำตัวอย่างที่เจือจางแล้วมา 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด ทำการไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ คำนวณปริมาณกรดและรายงานในรูปร้อยละ (% acid)

2. ความเป็นกรด-ด่าง

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Mettler Toledo, Ohio, USA)

3. ปริมาณแอนโทไซยานิน

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method (AOAC, 2005) โดยการใช้บัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (pH 1.0) และโซเดียมอะซิเตท (pH 4.5) วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 520 และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader (Thermo Scientific Multiskan Go, Thermo Fisher Scientific Oy Rastatie, Finland) และรายงานปริมาณสารแอนโทไซยานินในหน่วยมิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่ากับลิตร (mg C3G E/L)

4. ปริมาณของแข็ง

นำสารสกัดแอนโทไซยานินหยาบและเข้มข้นมาวัดปริมาณของแข็งด้วยเครื่องวัดความหวานแบบดิจิตอล (Model PAL1; Cat No.3810; ATAGO, Minato-Ku, Tokyo, Japan)

กระบวนการเอนแคปซูเลชันสารแอนโทไซยานินลำดับด้วยการทำแห้งแบบสุญญากาศ

นำสารสกัดแอนโทไซยานินเข้มข้น 20 กรัมผสมกับน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณ 80 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นนำสารสกัดแอนโทไซยานินเข้มข้นที่ได้มาผสมสารห่อหุ้ม MD10 และ MD20 (200 กรัม ละลายน้ำ 800 มิลลิลิตร) อัตราส่วน 1:4 คนให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer อีกครั้งเพื่อให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer, Memmert, Fisher Scientific Ltd., Leicestershire, UK) ที่อุณหภูมิ 50 นาน 36 ชั่วโมง และ 60 องศาเซลเซียส นาน 34 ชั่วโมง (ข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้นโดยอุณหภูมิ 40 และ 70 องศาเซลเซียส ต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานมากกว่า 3 วัน และตัวอย่างมีกลิ่นไหม้ตามลำดับ) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้บดให้เป็นผง เก็บรักษาไว้ในถุงอลูมิเนียมแบบซิปลงสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และความคงตัวต่อความร้อนของสารเอนแคปซูล

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture analyzer, MB25, Ohaus Corporation, USA) ปริมาณของแข็ง (Digital refractometer) ความเป็นกรดต่าง (pH meter) ปริมาณกรด (AOAC, 2000) ความคงตัวต่ออุณหภูมิ (อรุษา และ อีรารัตน์, 2554) ปริมาณแอนโทไซยานิน (AOAC, 2005) อัตราการละลาย (อรุษา และ อีรารัตน์, 2554) ค่าการดูดซับน้ำกลับ (Tonon et al., 2008) ค่าสี (L^* , a^* , b^*) (Hunter colorimeter) และ ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation Efficiency, %EE; Idham et al., 2010) สำหรับแอนโทไซยานินรายงานในหน่วย มิลลิกรัม ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่ากับ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (mg C3G E/100 g DW)

การวิเคราะห์ความคงตัวต่ออุณหภูมิ (อรุษา และ อีรารัตน์, 2554) นำตัวอย่างผง 1 กรัม มาละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายที่ได้ใส่หลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แสงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิสำหรับการนำสารเอนแคปซูลไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกอมกัมมีเยลลี่ สุ่มหยิบหลอดทดลองทุก 10 นาที แล้วจุ่มในอ่างน้ำเย็นอุณหภูมิห้องทันที นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (AOAC, 2005)

การศึกษาอัตราการละลาย (อรุษา และ อีรารัตน์, 2554) ทำได้โดยละลายสารเอนแคปซูลปริมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วให้ละลายจนหมด จากนั้นนำไปเทบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ที่ซึมน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน นำกระดาษกรองไปชั่งน้ำหนัก คำนวณอัตราการละลาย และรายงานค่าเป็นร้อยละการละลาย

การวิเคราะห์ค่าการดูดน้ำกลับ (Tonon et al., 2008) ชั่งสารเอนแคปซูล 1 กรัม แล้วนำมาห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ (ขนาด 4x3 เซนติเมตร) วางบนตะแกรงในเดซิเคเตอร์ (Desiccator DN300, Duran, Germany) ที่มีสารละลาย NaCl

อิมตัว (75%) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจาก 1 สัปดาห์ นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละการดูดน้ำกลับ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินก่อนและหลังการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งต่าง ๆ ผลของมอลโตเด็กซ์ทริน คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และความคงตัวต่อความร้อน ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดแอนโทไซยานิน

ลักษณะผลของลำดวน (Lamduan, LD) สารสกัดเข้มข้น และสารแอนแคปซูลลำดวน (Lamduan anthocyanin encapsulated powder, LDA) แสดงดังรูปที่ 1 และสารสกัดหยาบและสารสกัดเข้มข้นลำดวน (ตารางที่ 1) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.00-4.95 ปริมาณกรดร้อยละ 0.64 ± 0.00 และ 1.28 ± 0.00 ปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 47.01 ± 0.12 และ 349.58 ± 4.12 มิลลิกรัม ไซยานิดินส์-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่ากับลิตร (mg C3G E/L) ปริมาณของแข็ง 16.60 ± 0.14 และ 45.70 ± 0.07 °Brix ตามลำดับ จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่า เมื่อนำสารสกัดหยาบไปผ่านการระเหยสารที่เหลือจะส่งผลให้สารสกัดมีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดลดลง อาจเนื่องมาจากในกระบวนการระเหยต้องอาศัยความร้อนอุณหภูมิประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส และส่งผลต่อปริมาณกรดและค่าความเป็นกรด-ด่าง สำหรับปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณของแข็ง พบว่า ในสารสกัดเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้น (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดซังข้าวโพดแอนแคปซูล พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกัน (5.5 ± 0.04) ในขณะที่ปริมาณกรดค่อนข้างแตกต่างกัน (ร้อยละ 0.04) (ธัญนันท์ และอภิรดา, 2561)



รูปที่ 1 ผลลำดวน สารสกัดแอนโทไซยานินลำดวนเข้มข้น และสารแอนแคปซูลลำดวน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารสกัดแอนโทไซยานินชนิดหยาบและเข้มข้น

พารามิเตอร์	สารสกัดหยาบ	สารสกัดเข้มข้น
ความเป็นกรด-ด่าง	4.95 ± 0.02	4.00 ± 0.03
ปริมาณกรด (%)	1.28 ± 0.00	0.64 ± 0.00
ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg C3G E/L)	47.01 ± 0.12	349.58 ± 4.12
ปริมาณของแข็ง (°Brix)	16.60 ± 0.14	45.70 ± 0.07

หมายเหตุ: ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และรายงานค่าในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

เมื่อนำสารสกัดแอนโทไซยานินลำดับความเข้มข้นไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสูญญากาศร่วมกับ MD10 และ MD20 (50 °C MD10, 50 °C MD20, 60 °C MD10, 60 °C MD20) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น LDA มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลง อย่างไรก็ตามพบว่า LDA ที่เตรียมจากทั้งสองสถานะคือ 50 °C MD10 และ 50 °C MD20 มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 และปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 (ตารางที่ 2) ซึ่งถือว่าสารเอนแคปซูลที่ได้มีลักษณะแห้งดี ความชื้นต่ำ โดยปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 เป็นปริมาณที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การดูดน้ำกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างที่แห้งมากจะสามารถดูดซับน้ำในบรรยากาศกลับได้ดี จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า LDA ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ MD10 และ MD20 มีค่าการดูดน้ำกลับน้อยกว่าร้อยละ 10 คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.27 ± 2.42 และ 7.50 ± 0.94 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

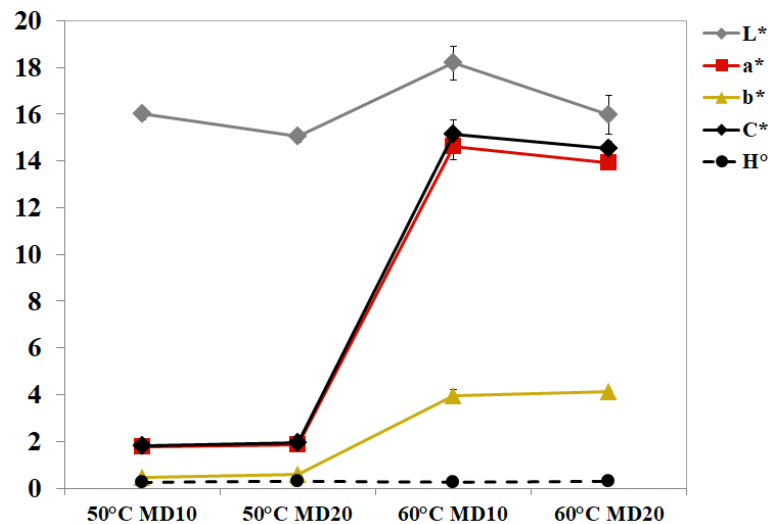
ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด และปริมาณแอนโทไซยานิน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน พบว่า เมื่อปริมาณกรด (กรดอินทรีย์) มากขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีแนวโน้มลดลง และปริมาณแอนโทไซยานินจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีความคงตัวในสภาพความเป็นกรดเล็กน้อยที่ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.5–6.0 ซึ่งสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD20 มีความเป็นกรด-ด่าง (5.90 ± 0.03) ปริมาณกรด (ร้อยละ 3.23 ± 0.05) และสารแอนโทไซยานิน (44.32 ± 1.00 mg C3G E/100 g DW) มากที่สุด และแตกต่างจากสารเอนแคปซูลที่สถานะอื่น ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินลำดับความ

องค์ประกอบ	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	
	MD10	MD20	MD10	MD20
ความชื้น	$4.90 \pm 0.07a$	$3.37 \pm 0.12b$	$1.91 \pm 1.00c$	$1.68 \pm 0.42d$
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	$0.467 \pm 0.05a$	$0.421 \pm 0.02a$	$0.374 \pm 0.04b$	$0.367 \pm 0.03b$
ปริมาณของแข็ง (TSS)	$3.53 \pm 0.02c$	$3.16 \pm 0.04d$	$3.67 \pm 0.02b$	$3.72 \pm 0.02a$
ความเป็นกรด-ด่าง	$5.86 \pm 0.01b$	$5.90 \pm 0.03a$	$5.75 \pm 0.02c$	$5.78 \pm 0.02c$
ปริมาณกรด (%)	$2.75 \pm 0.02b$	$3.23 \pm 0.05a$	$2.52 \pm 0.02c$	$2.70 \pm 0.02b$
แอนโทไซยานิน (mg C3G E/100 g DW)	$36.50 \pm 0.68b$	$44.32 \pm 1.00a$	$34.01 \pm 0.13c$	$36.17 \pm 0.12b$
การดูดน้ำกลับ (%)	$6.27 \pm 2.42d$	$7.50 \pm 0.94c$	$14.23 \pm 0.14a$	$13.92 \pm 0.40b$

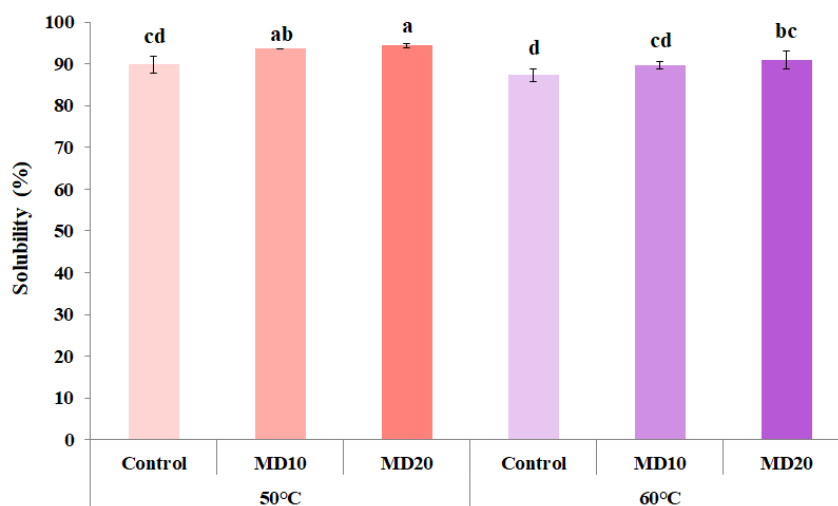
หมายเหตุ: อักษร a, b, c, d ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$), ns-not significant difference หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$), D10: มอลโตเด็คซ์ทริน ดีอี 10, MD20: มอลโตเด็คซ์ทริน ดีอี 20, mg C3G E/100 g DW: มิลลิกรัม ไชยานิดิน-3-กลูโคไซด์ เทียบเท่า ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง

ค่าความสว่าง (L^*) ของสารเอนแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้มชนิดเดียวกัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 60 องศาเซลเซียส ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 2; เส้นสีเทา) ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^* , เส้นสีแดง) และสีเหลือง (b^* , เส้นสีเหลือง) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า Chroma (C^* , เส้นสีดำ) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า a^* ซึ่งเป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี และค่าเฉดสี (h°) มีค่าระหว่าง 0.25 - 0.30 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งสารเอนแคปซูลสูงขึ้นจะทำให้สารเอนแคปซูลมีสีเข้มขึ้น



รูปที่ 2 ค่าความสว่าง (lightness, L*) ความเป็นสีแดง (redness, a*) ความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) chroma และค่า hue angle (h°)

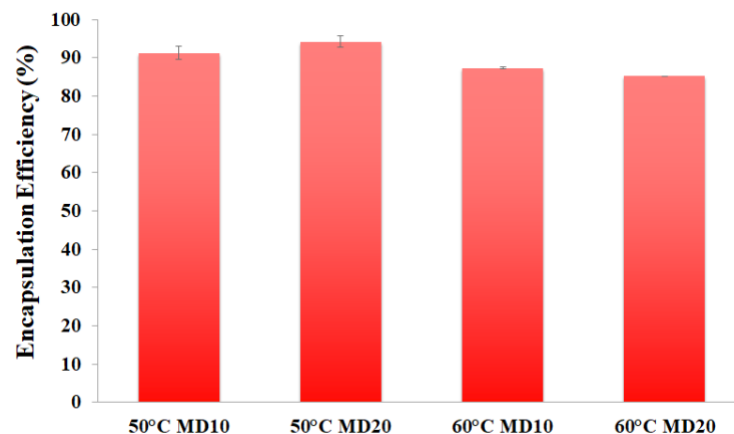
สารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD20 มีความสามารถในการละลายสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 94.40 ± 0.53 ซึ่งไม่แตกต่างกับสารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD10 ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยมีความสามารถในการละลายเท่ากับร้อยละ 93.57 ± 0.09 ($p > 0.05$) (รูปที่ 1) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารเอนแคปซูลที่เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 พบว่า สารเอนแคปซูล 50 °C MD10 มีความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกับ 60 °C MD20 และ 60 °C MD10 กับ 60 °C MD20 เมื่อพิจารณาสารเอนแคปซูลที่เตรียมได้ทั้งหมดด้วยการทำแห้งแบบสุญญากาศ ร่วมกับ MD10 และ MD20 พบว่า มีความสามารถในการละลายได้ในระดับดีมากโดยมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้นตัวอย่างควบคุม (สารสีที่ไม่มีสารทอหุ้ม) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความสามารถในการละลายเพียงร้อยละ 87.25 ± 1.02 (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ความสามารถในการละลายของสารเอนแคปซูล

ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันของสารสกัดแอนโทไซยานินลำตวน

ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันสารเอนแคปซูลด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า สารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันร้อยละ 91.25 ± 1.70 และ MD20 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันร้อยละ 94.23 ± 1.40 ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารเอนแคปซูลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 (ร้อยละ 87.31 ± 0.22) และ MD20 (ร้อยละ 85.16 ± 0.11) อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กรณีใช้สารห่อหุ้ม MD20 สารเอนแคปซูลมีประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันมากกว่ากรณีใช้ MD10 เล็กน้อย และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบแนวโน้มที่ตรงข้ามกับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คือ กรณีใช้ MD10 เป็นสารห่อหุ้มกลับแสดงประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันมากกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่า ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันมีค่าค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากการทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากร่วมกับสภาวะสุญญากาศ (ความดันต่ำ) จึง สามารถช่วยกักเก็บและรักษาคุณภาพของ LDA ได้เป็นอย่างดี (Hamzah et al., 2013) ที่สภาวะดังกล่าวทำให้แอนโทไซยานินยังคงมีความคงตัวสูง และร่วมกับโครงสร้างของสารห่อหุ้มยึดเกาะกับโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินกลายเป็นฟิล์มเพื่อปกป้องสารออกฤทธิ์จึงทำให้การเอนแคปซูลมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ มอลโตเด็คซ์ตรินที่เลือกใช้เป็นสารห่อหุ้มมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ซึ่งช่วยให้เกิดการป้องกันสารออกฤทธิ์ได้เป็นอย่างดี โดยมอลโตเด็คซ์ตริน ดีอี ต่ำ มีความหนืดและค่า structure integrity เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการห่อหุ้มและกักเก็บสารออกฤทธิ์ได้มากกว่ามอลโตเด็คซ์ตริน ดีอี สูง (Hamzah et al., 2013; Labuschagne, 2018)



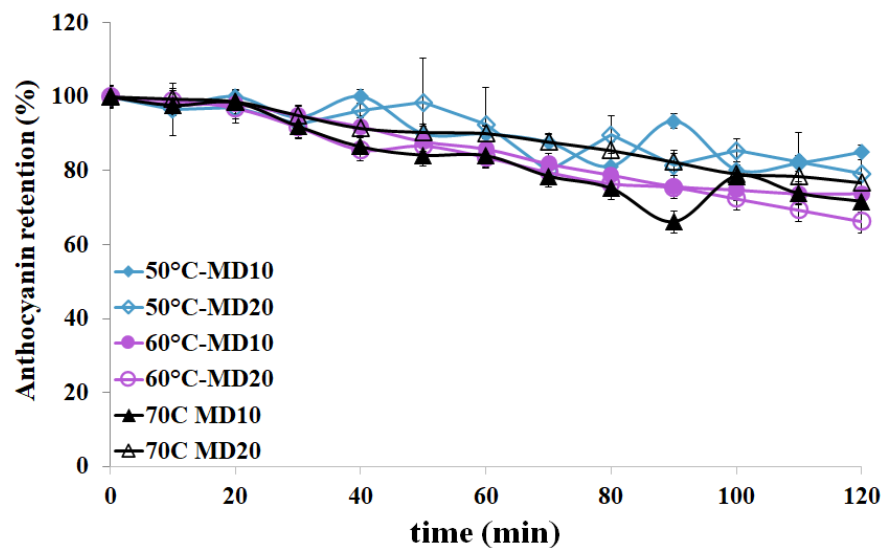
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชัน

ความคงตัวของสารสีต่อความร้อน (Thermal stability)

การศึกษาความคงตัวของสารเอนแคปซูลที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที (รูปที่ 5) พบว่า ตลอดระยะเวลา 120 นาที อัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิ โดยที่สารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD10 และ MD20 มีอัตราการลดลงของแอนโทไซยานินใกล้เคียงกัน ผลการศึกษารังนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับ อรุษา และธีรรัตน์ (2554) ที่ศึกษาการเตรียมสารเอนแคปซูลแอนโทไซยานินจากเปลือกมังคุด ด้วย MD10 และ MD18 และศึกษาความคงตัวของอุณหภูมิระดับพาสเจอร์ไรส์ (70 80 และ 90 องศาเซลเซียส) ผู้วิจัยรายงานว่าสารสีที่เติมสารห่อหุ้มมีค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานินสูงกว่า 102 นาที ที่ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ จากรูปที่ 5 พบว่า ที่เวลา 120 นาที ปริมาณสารแอนโทไซยานินยังคงเหลืออยู่ที่ระดับร้อยละ 70 โดยประมาณ

สารเอนแคปซูลมีความคงตัวที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งแนวโน้มที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากช่วงของอุณหภูมิที่เลือกศึกษาเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก จึงทำให้เห็นความแตกต่างของความคงตัว

ได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควรเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นซึ่งเลือกศึกษาอุณหภูมิในช่วงระดับพาสเจอร์ไรซ์ (อรุษา และธีรารัตน์, 2554)



รูปที่ 5 ความคงตัวของความร้อนของสารแอนโทไซยานินที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

การใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันร่วมกับสารห่อหุ้ม MD10 และ MD20 และเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้อุณหภูมิต่ำและต้นทุนการเตรียมไม่แพงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อรักษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Biofunctional property) ของสารแอนโทไซยานินจากผลลำตวน สามารถช่วยรักษาคุณภาพด้านเคมีฟิสิกส์ (Physico-chemical properties) ให้กับสารเอนแคปซูลได้ โดยศึกษาสภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมสารเอนแคปซูล โดยสารเอนแคปซูลที่เตรียมได้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 และปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงของค่าที่พบได้โดยทั่วไปในสารเอนแคปซูล เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่า มีค่าน้อยกว่าไกลเดนเบอร์รีเอนแคปซูเลทด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 4-7 (MD₄₋₇) ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ค่าความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งโดยเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการทำแห้ง (Dag et al., 2017) การเอนแคปซูเลชันแอนโทไซยานินจากผลแบล็คเบอร์รี่ด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งร่วมกับมอลโตเด็กซ์ตริน ดีอี 10 และ ดีอี 20 พบว่า เอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 10 มีความชื้น ($4.97 \pm 0.16\%$, $5.52 \pm 0.04\%$) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (0.51 ± 0.003 , 0.53 ± 0.002) ค่าการดูดน้ำกลับ ($11.27 \pm 0.12\%$, $13.00 \pm 0.17\%$) น้อยกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย ดีอี 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย ดีอี 10 ให้สารสีที่มีลักษณะสีแดงเข้มกว่า ($p > 0.05$) ในขณะที่ความสามารถในการละลายและขนาดอนุภาคไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (Yamashita et al., 2017)

เมื่อศึกษาผลกระทบการทำแห้งแบบสุญญากาศ พบว่า ตัวอย่างจะถูกเกลบนภาตสแตนเลสที่เป็นภาชนะรองรับตัวอย่าง ปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศคือความหนาของตัวอย่างในภาตอบ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความหนาของตัวอย่างไม่ให้หนาจนเกินไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ข้อดีของการทำแห้งแบบสุญญากาศ คือ อัตราการทำแห้งสูงที่อุณหภูมิต่ำ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าอนุภาคเชื้อเริ่มต้นกรดแลคติกที่เตรียมได้จะมีความแข็งแรงและอัตราการละลายต่ำ (Santivarangkna et al., 2017) ในทางตรงกันข้าม ผลการศึกษานี้พบว่า อัตราการละลายของสารเอนแคปซูลมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นเหตุผลยืนยันได้เป็นอย่างดีว่าการทำแห้งแบบสุญญากาศมีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการเอนแคปซูเลชัน

ถึงแม้ว่าเทคนิคการทำแห้งในกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยทั่วไปนิยมใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยและแช่เยือกแข็ง (Labuschagne, 2018) สำหรับเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นเทคนิคที่ใช้อุณหภูมิระดับปานกลางและมีค่าใช้จ่ายถูกกว่าเทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง สารห่อหุ้มที่นิยมใช้คือมอลโตเด็คซ์ตริน คิดเป็นร้อยละ 29 ของสารห่อหุ้มประเภทอื่นที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน เนื่องจากมีราคาไม่แพง หาซื้อได้ทั่วไป ความหนืดไม่สูง มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ไม่มีสี กลิ่นและรสชาติ และมีปริมาณน้ำตาลน้อย (Tonon et al., 2008) การใช้มอลโตเด็คซ์ตรินที่มีค่าเด็คโตรอส อีควิวเลนซ์ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติของสารเอนแคปซูล ซึ่งการเลือกใช้สารห่อหุ้มที่มีค่า ดีอีแตกต่างกัน เช่น MD₄₋₇ หรือ MD₁₇₋₂₀ มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารเอนแคปซูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Tolun et al., 2016; Dag et al., 2017) นอกจากนี้ มอลโตเด็คซ์ตรินที่มีค่า ดีอี แตกต่างกัน ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันด้วย โดยสารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD10 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันต่ำกว่า MD20 เล็กน้อย ทั้งอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของมอลโตเด็คซ์ตริน MD20 พบว่า มีจำนวนพันธะสายสั้นมากกว่าซึ่งง่ายต่อการเกาะจับกับโมเลกุลของแอนโทไซยานิน จึงส่งผลให้สารเอนแคปซูลที่เตรียมด้วย MD20 มีประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันมากกว่า

สำหรับความสามารถในการละลายเมื่อค่า ดีอี ของมอลโตเด็คซ์ตรินเพิ่มขึ้นจาก MD10 เป็น MD20 จะทำให้ได้สารเอนแคปซูลที่มีคุณสมบัติด้านความสามารถในการละลายและค่าดูดน้ำกลับสูงขึ้น (Labuschagne, 2018) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสปีเลอิกมังกุดที่เตรียมด้วย MD10 และ MD18 ทำแห้งแบบสุญญากาศและแบบพ่นฝอย มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 94.88 – 96.88 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ โดยการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินที่มีค่า ดีอี ที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อความสามารถในการละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Nurhadi et al. (2012) ที่รายงานว่า น้ำผึ้งผงเตรียมด้วยมอลโตเด็คซ์ตริน ดีอี 17.8 ทำแห้งแบบสุญญากาศ มีค่า wettability และ dispersing time เท่ากับ 0.07 และ 1.08 นาที ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้กัมมะราบิกเท่ากับ 5.71 และ 3.05 เท่า ตามลำดับ

การดูดน้ำกลับเป็นอีกปัจจัยที่ใช้พิจารณาคุณสมบัติของเอนแคปซูลที่เตรียมได้ เนื่องจากการดูดน้ำกลับมีผลต่อความเหนียวและการเก็บรักษาของสารเอนแคปซูล จากการศึกษาพบว่าสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 มีค่าการดูดน้ำกลับต่ำกว่า 50 °C MD20, 60 °C MD10 และ 60 °C MD20 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับ Yamashita et al. (2017) และ Nayak and Rastogi (2010) มอลโตเด็คซ์ตรินที่มีค่า ดีอี ต่ำ เป็นกลุ่มที่มีพันธะโอลิโกแซคคาไรด์แบบสายยาว ซึ่งจะมีน้ำหนักโมเลกุลมาก ตรงกันข้ามกับมอลโตเด็คซ์ตรินที่มีค่า ดีอี สูง จะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า ดังนั้น MD20 ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์มากกว่าจะมีจำนวนกลูโคสที่มีพันธะสายสั้นมากกว่าและสามารถดูดน้ำกลับได้มากกว่า (Mahdavi et al., 2016) การดูดน้ำกลับของสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 พบว่า ไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายของสารเอนแคปซูลที่เตรียมได้ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.40 และ 93.57 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Yamashita et al. (2017) ที่รายงานว่าสารเอนแคปซูลเตรียมด้วย MD10 และ MD20 มีความสามารถในการละลายไม่แตกต่างกัน (ร้อยละ 44.78±0.63, 44.86±0.11) และงานวิจัยของ Rigon and Norena (2016) ที่ศึกษาการเตรียมเอนแคปซูลจากแบคทีเรียด้วยกัมมะราบิก พบว่า สารเอนแคปซูลมีความสามารถในการละลายร้อยละ 88.2–97.4 และค่าการดูดน้ำกลับร้อยละ 14.49 – 19.42 ซึ่งความสามารถในการละลายของ LDA จากการศึกษาในช่วงที่รายงาน

ค่าการดูดน้ำกลับของสารเอนแคปซูลแสดงความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าความสามารถในการละลาย จะเห็นได้ว่าสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 มีค่าการดูดน้ำกลับน้อยที่สุดแต่มีความสามารถในการละลายสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 94.40±0.53 และ 93.57±0.09 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของสาร

เอนแคปซูล 60°C MD10 และ MD20 พบว่า มีลักษณะเหนียวเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สารเอนแคปซูลที่เตรียมได้มีค่าความสามารถในการละลายต่ำกว่าเอนแคปซูลที่เตรียมที่ 50°C ด้วย MD10 และ MD20 อย่างไรก็ตาม ค่าความสามารถในการละลายของสารเอนแคปซูลเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับ MD10 และ MD20 ก็มีค่าสูงโดยมีค่ามากกว่าร้อยละ 90

บทสรุป

การเอนแคปซูลเส้นสารแอนโทไซยานินจากผลลำตวนร่วมกับสารห่อหุ้มมอลโตเดกซ์ตริน ดีอี 20 ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะได้สารเอนแคปซูลที่มีคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ความคงตัวต่อความร้อน ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลขึ้น ความสามารถในการละลาย และสารแอนโทไซยานินสูง การดูดซับน้ำกลับต่ำ ร่วมกับความชื้นและปริมาณน้ำอิสระต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติที่ดีของสารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งและประสิทธิภาพของกระบวนการทำแห้ง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นกระบวนการเอนแคปซูลเส้นสามารถช่วยกักเก็บ รักษาคุณภาพ และลดการสลายตัวของสารออกฤทธิ์แอนโทไซยานิน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการนำสารเอนแคปซูลไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารเพื่อสุขภาพที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และมูลค่าเพิ่มสูงต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาอุตสาหกรรมเกษตร และศูนย์ทดสอบทางวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ธัญนันท์ ฤทธิมณี และอภิตา พรปัญญาวิชัย. (2561). การเอนแคปซูลเส้นแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดหวานสีม่วง ด้วยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 12(2): 169-180.
- อรุษา เขาวนลิขิต และธีรรัตน์ อธิธิโสภณกุล. (2554). รายงานการวิจัย สีสรรมาติจากเปลือกมังคุด คณะเทคโนโลยี และนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- AOAC. (2000). Official Methods 920.149. 17th Edition. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Gaithersburg, Md. : Washington. DC.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th Edition. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Gaithersburg, Md. : Washington, DC.
- Da Fonseca Machado A.P., Rezende C.A., Rogrigues R.A., Barbero G.F., de Tarso Vieira e Rosa P., and Martinez J. (2018). Encapsulation of anthocyanin-rich extract from blackberry residues by spray-drying, freeze-drying and supercritical antisolvent. Powder Technology. 340: 553-562.

- Da Silva Carvalho A.G., Machado M.T.C., da Silva V.M., Sartoratto A., Rodrigues R.A.F. and Hubinger M.D. (2016). Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. Powder Technology. 294: 421-428.
- Dag D. Kilercioglu M. and Oztop M.H. (2017). Physical and chemical characteristics of encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice powder. LWT-Food Science and Technology. 83: 86-94.
- Hamzah Y., Juma N.A. and Sembok W.Z.W. (2013). Effect of drying on the storage stability of encapsulated anthocyanins powder extract from butterfly pea flower (*Clitoria ternatea*). In 13th ASEAN Food Conference. 9-11 September 2013. Singapore. 1-4.
- Idham Z., Muhamad I.D.A.I. and Sarmidi M.R. (2010). Degradation kinetics and colour stability of spray-dried encapsulated anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. Journal of Food Process Engineering. 35: 522-542.
- Jensen M.B., Bergamo C.A.L-d-D., Payet R.M., Liu X. and Konczak I. (2011). Influence of Copigment Derived from Tasmanian Pepper Leaf on Davidson's Plum Anthocyanins. Journal of Food Science. 76: 447-453.
- Jimenez-Gonzalez O., Ruiz-Espinosa H., Luna-Guevara J.J., Ochoa-Velasco C.E., Luna Vital D. and Luna-Guevara M.L. (2018). A potential natural coloring agent with antioxidant properties: Microencapsulates of *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas fruit pericarp. NFS Journal. 13: 1-9.
- Labuschagne P. (2018). Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. Food Research International. 107: 227-247.
- Mahdavi S.A., Jafari S.M., Assadpour E. and Ghorbani M. (2016). Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. Journal of Food Engineering. 181: 59-66.
- Mar J.M. da Silva, L.S. Lira, A.C. Kinupp, V.F. Yoshida, M.R. Moreira, W.P. Bruginski, E. Campos, F.R. Machado, M.B. de Souza, T.P. Campelo, P.H. de Araujo Bezerra J. and Sanches E.A. (2020). Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. Powder Technology. 360: 383-391.
- Nayak C.A., and Rastogi N.K. (2010). Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. Drying Technology. 28: 1396-1404.
- Nurhadi B., Andoyo R., Mahani and Indarto R. (2012). Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. International Food Research Journal. 19: 907-912.
- Pang S.F., Yusoff M.M. and Gimbin J. (2014). Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of *Orthosiphon stamineus* extracts. Food Hydrocolloids. 37: 159-165.
- Rigon R.T. and Norena C.P.Z. (2016). Microencapsulation by spray-drying of bioactive compounds extracted from blackberry (*Rubus fruticosus*). Journal of Food Science and Technology. 53: 1515-1524.

- Sakulnarmrat K. and Konczak I. (2013). Composition and inhibitory activities towards digestive enzymes of polyphenolic-rich fractions obtained from Davidson's plum and quandong. LWT- Food Science and Technology. 57: 366-375.
- Santivarangkna Ch., Kulozik U. and Foerst P. (2007). Alternative drying processes for the industrial preservation of lactic acid starter cultures, Biotechnology Progress. 23: 302-315.
- Silva P.B., Duarte C.R. and Barrozo M.A.S. (2016). Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. Food and Bioproducts Processing. 98: 62-70.
- Tonon R.V., Brabet C. and Hubinger M.D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. Journal of Food Engineering. 88: 411-418.
- Tolun A., Altintas Z. and Artik N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum Arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. Journal of Biotechnology. 239: 23-33.
- Yamashita C., Chung M.M.S., dos Santos C., Mayer C.R.M., Moraes I.C.F. and Branco I.G. (2017). Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. LWT-Food Science and Technology. 84: 256-262.

Received: May 12, 2020; Revised: June 15, 2020; Accepted: August 26, 2020

การศึกษากายภาพเชิงแสงของสีย้อมที่เป็นแคตไอออนที่ถูกขังในซีโอไลต์แอลทีแอลเพื่อใช้เป็นเสาอากาศเทียม

Photophysical study of cationic dyes confined zeolite LTL for artificial antenna applications

สุรียา ดวงมณี^{1*} และวิไลพร อินสุวรรณ²Suriya Doungmanee^{1*} and Wilaiporn Insuwan²¹ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา² คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : wi_insuwan@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติกายภาพเชิงแสงและการถ่ายเทพลังงานแสงของโมเลกุลสีย้อมพาราควอท(PQ) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้พลังงานไปยังโมเลกุลสีย้อมอะคริฟลาวีนไฮโดรคลอไรด์ (AF) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานซึ่งสีย้อมทั้งสองถูกกักขังในรูพรุนของซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโพแทสเซียม (K-LTL) และซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปโปรตอน (H-LTL) กระบวนการถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นจะเกิดผ่านกลไกของ Fluorescence Resonance Energy Transfer (FRET)จากการศึกษาพบว่าในการใส่โมเลกุลสีย้อมทั้งสองเข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์แอลทีแอลสามารถนำไปใช้เป็นเสาอากาศเทียมได้โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงาน Value of critical transfer distance (R_{DA}) และประสิทธิภาพของFRET (%E) ของ PQ-AF_K-LTL คือ 23.4 Å, 74.9% และ PQ-AF_H-LTL คือ 23.8 Å, 78.1% ตามลำดับ

คำสำคัญ: พาราควอท อะคริฟลาวีนไฮโดรคลอไรด์ การออกแบบโมเลกุลโดยใช้กระบวนการ Fluorescence Resonance Energy Transfer

Abstract

The photophysical properties and energy transfer characteristic of dye molecules between donor (Paraquat, PQ) to an acceptor molecule (Acriflavine hydrochloride, AF) confined in zeolite LTL (K-LTL and H-LTL) have been studied. The energy transfer processes occur via Fluorescence Resonance Energy Transfer (FRET). The results show that Paraquat and Acriflavine hydrochloride confined in zeolite LTL

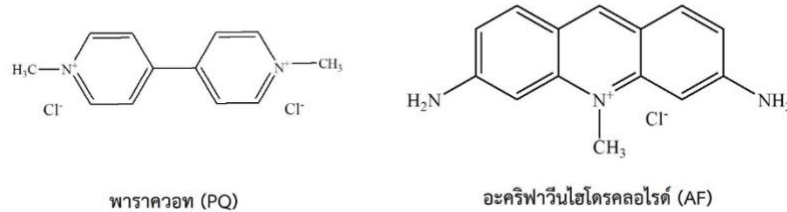
can be utilized as antenna materials. The value of critical transfer distance (R_{DA}) and FRET efficiency (%E) for PQ-AF_K-LTL are 23.4 Å, 74.9% and PQ-AF_H-LTL are 23.8 Å, and 78.1%, respectively.

Keywords: Paraquat, Acriflavine hydrochloride, Fluorescence resonance energy transfer

บทนำ

พาราควอต (PQ) มีชื่อทางเคมีคือ 1,1'-Dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride (ดังแสดงในรูปที่ 1) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีประสิทธิภาพสูงและปลอดภัยเมื่อใช้ตามคำแนะนำที่ติดอยู่บนฉลากแต่การได้รับสารพาราควอตในขนาดที่เป็นพิษโอกาสเสียชีวิตได้สูงแม้จะได้รับการรักษาอย่างเต็มที่ Mojović et al. (2009) ได้รายงานว่าความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาตให้พาราควอตปนเปื้อนในน้ำดื่มและผิวน้ำได้คือ 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตรและ 1-3 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามถ้าสัมผัสโดนผิวหนังหรือดวงตาที่ส่งผลต่อมนุษย์และสัตว์ได้เช่นกัน ในการกำจัดพาราควอตที่ง่ายและสะดวกก็คือการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่เหมาะสม มีการศึกษาการดูดซับพาราควอตบนตัวดูดซับซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปของโพแทสเซียม (K-LTL) และโปรตอน (H-LTL) ซึ่งพบว่าซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปของโพแทสเซียมมีความสามารถดูดซับพาราควอตได้ถึง 161.71 มิลลิกรัมต่อกรัมของปริมาณตัวดูดซับ ปริมาณการดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณอะลูมิเนียม (Al) อะตอม จำนวนของอะลูมิเนียมส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมไอออน (K^+) มากขึ้นด้วย ส่งผลให้พาราควอตสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับโพแทสเซียมไอออน (K^+) ที่อยู่ในโครงสร้างของซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโพแทสเซียม ได้ดีกว่าไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่อยู่ในซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปโปรตอน (Insuwan and Rangsiwatananon, 2014) นอกจากนี้การดูดซับพาราควอตบนตัวดูดซับซีโอไลต์โซเดียมวาก็มีการศึกษาโดย วินา รองจะโป๊ะ และคณะ (Rongchapo et al., 2013) สำหรับอะคริฟาวีนไฮโดรคลอไรด์ (acriflavine hydrochloride) ชื่อทางเคมีคือ 3,6-Diamino-10-methylacridinium chloride hydrochloride (ดังแสดงในรูปที่ 1) ถูกนำมาใช้ในเทคโนโลยีจอภาพ (organic light emitting diode) เซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic cell) เพื่อเซนเซอร์ (pH sensor) และเสาอากาศเทียม (Artificial antenna) (Ibrahim and Etaiw, 2002; Megelski and Calzaferri, 2001; Misra et al., 1999; Misra et al., 2002; Insuwan et al., 2015) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการจับคู่ของพาราควอตและอะคริฟาวีนไฮโดรคลอไรด์ เพื่อใช้เป็นเสาอากาศเทียมมาก่อนจึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาเป็นเสาอากาศเทียมต่อไป หลักการทำงานของเสาอากาศเทียมจะคล้ายกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งเป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันเป็นลำดับในคลอโรพลาสต์ในเซลล์พืชโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนจากน้ำหรือแหล่งไฮโดรเจนอื่น ๆ ให้กลายเป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตและมีแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้เสาอากาศเทียมจะประกอบไปด้วยซีโอไลต์แอลทีแอลทำหน้าที่เป็นโฮสต์ (Host) ของโมเลกุลสีย้อมซึ่งซีโอไลต์แอลทีแอลมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและสามารถทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้โมเลกุลสีย้อมเกิดการรวมกลุ่มกัน (Aggregate) ซึ่งจะส่งผลเสียต่อกระบวนการทางแสงของโมเลกุลสีย้อมทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง เราจึงแก้ไขปัญหานี้โดยใช้ซีโอไลต์แอลทีแอลทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของแข็ง (Solid solvent) แทนตัวทำละลายทั่วไปภายในรูพรุนของซีโอไลต์แอลทีแอลจะเป็นที่อยู่ของโมเลกุลสีย้อมที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้พลังงาน (Donor) บริเวณตรงกลางของซีโอไลต์แอลทีแอล ในขณะที่โมเลกุลสีย้อมที่เป็นตัวรับพลังงาน (Acceptor) จะอยู่ตรงบริเวณปลายทั้งสองด้านของซีโอไลต์แอลทีแอล ระบบนี้ถูกออกแบบให้เป็นเสาอากาศเทียมเพื่อเก็บกักพลังงานแสง การทำงานของระบบเสาอากาศเทียมเริ่มต้นจากโมเลกุลสีย้อมที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้พลังงานถูกกระตุ้นด้วยพลังงานแสง เนื่องจากระยะห่างที่สั้นและอยู่ใกล้ชิดกันของโมเลกุลสีย้อมที่เป็นตัวให้พลังงานและโมเลกุลสีย้อมที่เป็นตัวรับพลังงานและการวางตัวของไดโพลโมเมนต์ (Dipole

moments) ของโมเลกุลสี่ย้อมทั้งสองเกิดการถ่ายโอนพลังงานผ่านกระบวนการ Fluorescence resonance energy transfer (Gfeller et al., 1999) พลังงานที่ส่งมาถึงโมเลกุลที่เป็นตัวรับพลังงานบริเวณปลายทั้งสองข้างของซีไอไลต์แอลทีแอลจะถูกส่งต่อไปยังโมเลกุลเป้าหมาย (External material) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) (Bossart et al., 2004)



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของพาราควอท (PQ) และ อะครีฟานไฮโดรคลอไรด์ (AF)

ได้มีนักวิจัยได้ทำการศึกษารวบรวมและลักษณะกายภาพเชิงแสงของโมเลกุลสี่ย้อมไทโอนีนที่ถูกกักขังในซีไอไลต์แอลทีแอลจากการศึกษาพบว่าโมเลกุลไทโอนีนสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในโพรงเปิดของซีไอไลต์แอลทีแอลที่มีขนาด 7.1 Å และวางตัวในแนวขนานของแกน c (c-axis) ของคอลัมน์ของซีไอไลต์แอลโดยไม่มีการเกาะกลุ่มกันของโมเลกุลสี่ย้อมไทโอนีน จากการที่ถูกกักขังด้วยซีไอไลต์แอลส่งผลให้โมเลกุลสี่ย้อมไทโอนีนไม่มีการหมุนและมีค่าชีวิตที่ยาว (Gigli et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาทั้งการทดลองและทางทฤษฎีเมื่อทำการใส่โมเลกุล boron-dipyrromethene (BODIPY) เข้าไปในรูพรุนของซีไอไลต์แอลทีแอลจากการศึกษาพบว่าโมเลกุลสี่ย้อมจะเกิดอันตรกิริยากับโปรตอนที่อยู่ในโครงสร้างของซีไอไลต์ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีน้ำเงินซึ่งแตกต่างจากในสารละลายที่เกิดการดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีเขียว-เหลือง นอกจากนี้การกำจัดฟลูออรีนออกจาก BODIPY ยังส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่สั้นลง จากการศึกษารูปได้ว่าการใส่ BODIPY เข้าไปในรูพรุนของซีไอไลต์แอลทีแอลสามารถให้ช่วงการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันถึงสองความยาวคลื่นพร้อมทั้งให้สเปกตรัมการคายแสงที่กว้างขึ้นซึ่งสามารถพัฒนาไปใช้เป็นตัวเก็บกักพลังงานแสงได้เป็นอย่างดี (Manzano et al., 2013)

การออกแบบโมเลกุลโดยใช้กระบวนการ Fluorescence resonance energy transfer (FRET) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลที่อยู่ในรูพรุนของซีไอไลต์แอลทีแอล โดยเป็นการถ่ายโอนพลังงานของโมเลกุลสี่ย้อมที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้พลังงาน (Donor) ไปยังโมเลกุลสี่ย้อมที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงาน (Acceptor) เมื่อตัวรับพลังงานได้รับพลังงานจากตัวให้พลังงานจะส่งผลทำให้เกิดการปล่อยพลังงานออกมาสู่ระบบภายนอกในรูปของแสงซึ่งสามารถตรวจวัดได้และถูกส่งต่อไปยังโมเลกุลเป้าหมายต่อไป (External material) สิ่งสำคัญในกระบวนการนี้คือจะต้องประกอบไปด้วยสี่ย้อมที่เป็นตัวให้พลังงานและสี่ย้อมที่เป็นตัวรับพลังงานจะต้องอยู่ใกล้กัน โดยทั่วไปคือ 10–100 Å สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorption spectrum) ของสี่ย้อมที่เป็นตัวรับพลังงานจะต้องซ้อนทับกับสเปกตรัมการคายแสง (Fluorescence emission spectrum) ของสี่ย้อมที่เป็นตัวให้พลังงานและการวางตัวของ Transition dipole moment ของสี่ย้อมที่เป็นตัวให้พลังงานและสี่ย้อมที่เป็นตัวรับพลังงานจะต้องวางตัวในแนวขนานกัน ในการศึกษากระบวนการถ่ายโอนพลังงานระหว่างตัวให้และรับพลังงานของโมเลกุลสี่ย้อมมีความสำคัญอย่างมากในทางปฏิบัติและทฤษฎีโมเลกุลสี่ย้อมได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ทางด้านชีวภาพและอุตสาหกรรม ในหลาย ๆ งานวิจัยได้ทำการศึกษา การถ่ายโอนพลังงานของโมเลกุลสี่ย้อมระหว่างตัวให้และรับพลังงาน เช่น โมเลกุลของ rhodamine 6G และ cresyl violet ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ทางด้าน เลเซอร์ (Laser) ซึ่งการถ่ายโอนพลังงานในสี่ย้อมนี้ได้ถูกศึกษาโดย Lin and Dienes (1973) นอกจากนี้นักวิจัยบางคนยังได้ทำการศึกษารวบรวมการถ่ายโอนพลังงานจากอนุพันธ์ของแนฟทาลีน (Naphthalene derivatives) ไปยังอะครีฟาน โดยทำการวัดค่า Critical transfer distances (R_0) ของคู่ตัวให้-รับ พลังงานซึ่งค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 25 ถึง 28 อังสตรอม (Å) ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ทางทฤษฎี (Ellis and

Solomon, 1967) FRET ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน ยกตัวอย่างเช่น ใช้เป็น pH sensor โดยมีการศึกษาการเกิด FRET ของโมเลกุลสีย้อมอะคริฟลาวีน (Acriflavine, donor) ไปยังโมเลกุลสีย้อมโรดามีน 6จี (rhodamine 6G, acceptor) (Misra et al., 1999) โดยพบว่าการถ่ายโอนพลังงานของสีย้อมจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ของโมเลกุลสีย้อมอะคริฟลาวีนเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีมาใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติกายภาพเชิงแสงและพฤติกรรมของพลังงานในสภาวะการกระตุ้นของโมเลกุลสีย้อมพาราควอทและอะคริฟลาวีนไฮโดรคลอไรด์ที่อยู่ในสารละลายและที่ถูกกักขังในรูพรุนของซีโอไลต์แอลทีแอลทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นตัวเสาะอากาศเทียมที่สามารถเก็บกักพลังงานแสงได้ในช่วงของการดูดกลืนแสงที่กว้างขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. ซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปโพแทสเซียม (K-LTL) และรูปโปรตอน (H-LTL)
2. พาราควอท (1,1'-Dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride)
3. อะคริฟลาวีนไฮโดรคลอไรด์ (3,6-Diamino-10-methylacridinium chloride hydrochloride)
4. เอ็น-บิวทานอล (n-Butanol)
5. โทลูอีน (Toluene)
6. อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium hydroxide)
7. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)
8. LUDOX[®] HS-40 colloidal silica
9. อะมโมเนียมไนเตรท (Ammonium Nitrate)
10. เอทานอล (Ethanol)

เครื่องมือที่ต้องใช้ในงานวิจัย

1. Powder X-ray diffractometer (Model D5005, Bruker, Karlsruhe, Germany)
2. Scanning Electron Microscope (JSM 6400, Jeol, Japan)
3. Cary-1/1E UV/VIS spectrophotometer (Varian, Germany)
4. Luminescence spectrometer LS 50 B (Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)
5. UV-Vis spectrophotometer (UV-2550, Shimadzu, Japan)

การสังเคราะห์ซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปโพแทสเซียม (K-LTL)

1. ทำการชั่ง 0.59 กรัมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มาละลายในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อน 1.28 กรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายในน้ำกลั่น 2.51 กรัม จนสารละลายใส
2. ค่อย ๆ เติมสารละลายในข้อ 1 ลงใน 5.52 กรัม LUDOX[®] HS-40 colloidal silica และ 4.82 กรัมของน้ำกลั่น จากนั้นกวนสารอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 นาทีจนกระทั่งได้ของผสมที่หนืดและข้นคล้ายเจล
3. เทสารประกอบเจลที่ได้ลงในถ้วยเทฟลอนแล้วนำเข้าเครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัลโดยให้ความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสังเคราะห์ 48 ชั่วโมง

4. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจน $\text{pH} \approx 7$ แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

การสังเคราะห์ซีโอไลต์แอลที่แอลรูปโปรตอน (H-LTL) ซึ่งเตรียมได้จากซีโอไลต์แอลที่แอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียม (K-LTL) 4 ขั้นตอน

1. ซีโอไลต์แอลที่แอลรูปโปรตอน (H-LTL) เตรียมได้จากการเปลี่ยนซีโอไลต์แอลที่แอล (K-LTL) ไปอยู่ในรูป NH_4LTL
2. NH_4LTL เตรียมได้โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange) ระหว่างซีโอไลต์แอลที่แอลรูปโพแทสเซียมด้วยสารละลาย 1 โมลาร์แอมโมเนียมไนเตรทที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
3. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ (NH_4LTL) มากรองและล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
4. หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากข้อ 3 ไปเผาที่ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงเพื่อกำจัด NH_3 เพื่อให้ได้ซีโอไลต์แอลที่แอลรูปโปรตอน (H-LTL)

การใส่โมเลกุลของสีย้อมลงไปในรูพรุนของซีโอไลต์แอลที่แอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียมและในรูปโปรตอน

วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับพาราควอททำได้โดยชั่ง 100 มิลลิกรัมของซีโอไลต์แอลที่แอลมาเติมลงในสารละลาย 25 มิลลิตรของ 1×10^{-5} โมลาร์ของพาราควอทหลังจากนั้นนำไปโซนิเคตเป็นเวลา 10 นาทีและกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสหลังจากการแลกเปลี่ยนไอออนนำตัวอย่างไปทำการล้างด้วย n-Butanol จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรองแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงสำหรับกรณีอะครีฟาวีนไฮโดรคลอไรด์ก็ทำเหมือนกับกรณีของพาราควอท

การใส่โมเลกุลพาราควอทและอะครีฟาวีนไฮโดรคลอไรด์ลงไปในซีโอไลต์แอลที่แอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียมและในรูปโปรตอน

1. ชั่ง 100 มิลลิกรัมของซีโอไลต์แอลที่แอลมาเติมลงในสารละลาย 25 มิลลิตรของสารละลายพาราควอทที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (คำนวณจากสมการที่ 1) หลังจากนั้นนำไปโซนิเคตเป็นเวลา 10 นาทีและกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หลังจากการแลกเปลี่ยนไอออนนำตัวอย่างไปทำการล้างด้วย n-Butanol จนกระทั่งปราศจากพาราควอท
2. จากนั้นนำสารละลาย 25 มิลลิตรของสารละลายอะครีฟาวีนไฮโดรคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (คำนวณจากสมการที่ 1) มาเติมลงในสารละลายในข้อ 1 จากนั้นนำไปโซนิเคตเป็นเวลา 10 นาทีและกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หลังจากการแลกเปลี่ยนไอออนนำตัวอย่างไปทำการล้างด้วย n-Butanol จนกระทั่งปราศจากอะครีฟาวีนไฮโดรคลอไรด์ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรองแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

$$c(\rho) = \frac{\rho_z \rho}{M_r s} \quad (1)$$

เมื่อ $c(\rho)$ คือความเข้มข้นของโมเลกุลของสีย้อม (โมลาร์), ρ คือความน่าจะเป็นในการใส่โมเลกุลสีย้อม, ρ_z คือ ความหนาแน่นของผลึกซีโอไลต์ (2.17 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร), M_r คือ น้ำหนักโมเลกุลของหน่วยเซลล์ของซีโอไลต์ (2883

กรัม/โมล) และ s คือจำนวนของหน่วยเซลล์ที่โมเลกุลสีย้อมเข้ามาครอบครอง (พาราครอท เท่ากับ 1.0 และ อะครีฟวินไฮโดรคลอไรด์ เท่ากับ 1.5) (Cao et al, 2016)

วิเคราะห์ค่า Excitation และ Emission

สารละลายของสีย้อมถูกเจือจางให้อยู่ในช่วง 1×10^{-6} โมลาร์เพื่อหลีกเลี่ยงการเกาะกลุ่มกันของสีย้อม สำหรับกรณีสีย้อมที่ใส่เข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์แล้วนั้นจะทำการชั่งตัวอย่างประมาณ 1 มิลลิกรัมมาละลายใน Toluene ซึ่งค่าการวัดค่าดัชนีหักเห (Refractive index) ที่ใกล้เคียงกับซีโอไลต์แอลทีแอล ซึ่งสามารถลดผลของการกระเจิงของแสงได้อย่างดี ตัวอย่างที่กล่าวมาจากข้างต้นนี้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Luminescence spectrometer LS 50B (Perkin-Elmer)

การวิเคราะห์การดูดกลืนแสง

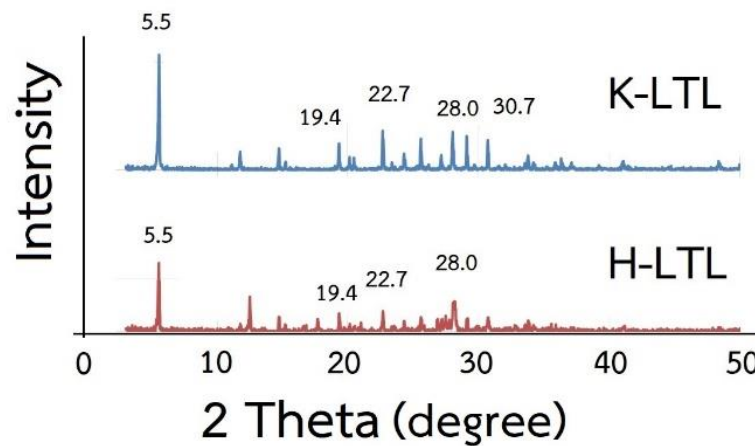
สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมถูกเจือจางให้อยู่ในช่วง 1×10^{-6} โมลาร์ด้วยเครื่อง Cary-1/1E UV/VIS spectrophotometer สำหรับกรณีสีย้อมที่ใส่เข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์ จะทำการชั่งตัวอย่างมาประมาณ 5 มิลลิกรัม ละลายใน 5 มิลลิลิตร Ethanol จากนั้นทำการโซนิเคท ระเหยตัวทำละลายแล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (UV-2550, Shimadzu) ในช่วงความยาวคลื่น 200–800 นาโนเมตร

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

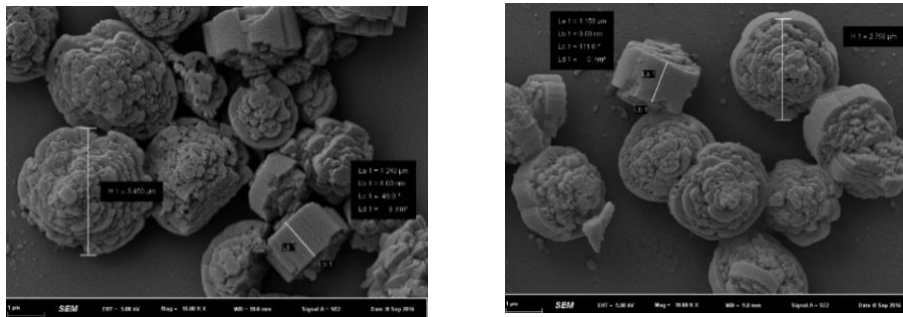
การวิเคราะห์โดยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Analysis (XRD))

ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ชนิดผลึกด้วยเครื่อง Powder X-ray diffractometer (Model D5005, Bruker, Karlsruhe, Germany) ใช้รังสี Cu-K α เดินเครื่องด้วยกระแสและความต่างศักย์ที่ 30 ไมโครแอมแปร์ และ 40 โวลต์ จากการวิเคราะห์ซีโอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียม (K-LTL) ที่สังเคราะห์พบว่าสเปกตรัมมุมหักเหของการกระเจิงรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโปรตอน (H-LTL) พบว่าความเป็นผลึกของซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโปรตอน (H-LTL) ลดลง ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากในขั้นตอนการเปลี่ยนรูปซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปโพแทสเซียม (K-LTL) เป็นซีโอไลต์แอลทีแอลในรูปโปรตอน (H-LTL) มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงในขั้นตอนเผาที่อุณหภูมิสูงซึ่งนำไปสู่การทำลายโครงสร้างผลึกได้ แต่อย่างไรก็ตามซีโอไลต์แอลทีแอลทั้งสองรูปแบบปรากฏที่ตำแหน่งองศาในการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (2Theta) ที่ตำแหน่งเดียวกันและเป็นลักษณะเฉพาะของซีโอไลต์แอลทีแอล คือ 5.5 19.4 22.7 28.0 29.1 และ 30.7 ตามลำดับ



รูปที่ 2 สเปกตรัมมุมหักเหของการกระเจิงรังสีเอกซ์ของ K-LTL and H-LTL

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)



รูปที่ 3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ K-LTL (ซ้าย) และ H-LTL (ขวา)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของซีโอไลต์แอลที่แอลที่สังเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM, Jeol รุ่น JSM-6400) พบว่าผลึกมีรูปร่างค่อนข้างกลมทั้งซีโอไลต์แอลที่แอลในรูปโพแทสเซียม (K-LTL) และซีโอไลต์แอลที่แอลในรูปโปรตอน (H-LTL) ผลึกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\times$ ความยาว เท่ากับ 3.450×1.243 ไมโครเมตรและ 2.758×1.153 ไมโครเมตรสำหรับซีโอไลต์แอลที่แอลในรูป โพแทสเซียม (K-LTL) เป็นซีโอไลต์แอลที่แอลในรูปโปรตอน (H-LTL) ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3

วิเคราะห์หาค่า Excitation และ Emission

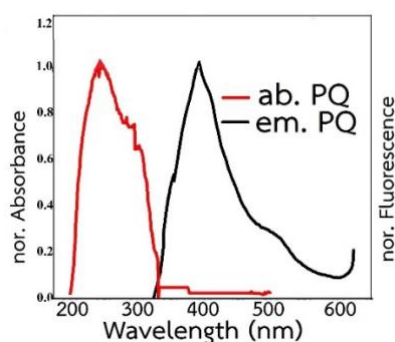
สารละลายของสีย้อมถูกเจือจางให้อยู่ในช่วง 1×10^{-6} โมลาร์เพื่อหลีกเลี่ยงการเกาะกลุ่มกันของสีย้อม สำหรับกรณีสีย้อมที่ใส่เข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์แล้วนั้นจะทำการชั่งตัวอย่างประมาณ 1 มิลลิกรัมมาละลายใน Toluene ซึ่งค่าการวัดค่าดัชนีหักเห (Refractive index) เท่ากับ 1.4969 ซึ่งใกล้เคียงกับซีโอไลต์แอลที่แอลที่มีค่าเท่ากับ 1.4–1.5 (Calzaferri and Devaux, 2010) ซึ่งสามารถลดผลของการกระเจิงของแสงได้ดี ตัวอย่างที่กล่าวมาจากข้างต้นนี้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Luminescence spectrometer LS 50B (Perkin-Elmer)

การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง

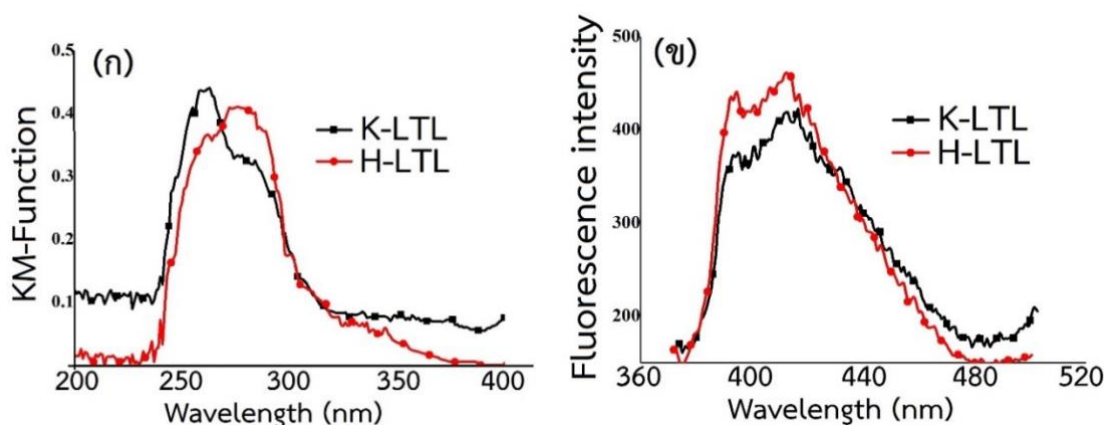
สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสี้อมถูกเจือจางให้อยู่ในช่วง 1×10^{-6} โมลาร์ด้วยเครื่อง Varian Cary1E UV-Vis spectrophotometer สำหรับกรณีสี้อมที่ใส่เข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์ จะทำการชั่งตัวอย่างมาประมาณ 5 มิลลิกรัม ละลายใน 5 มิลลิตรเอทานอล จากนั้นทำการโซนิเคท ระเหยตัวทำละลายแล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Shimadzu UV-2550 UV-visible spectrometer ในช่วงความยาวคลื่น 200–800 นาโนเมตร

สมบัติทางกายภาพเชิงแสงของพาราควอท (PQ) ที่อยู่ในสารละลายและถูกกักขังในซีโอไลต์แอลทีแอล

พิจารณารูปที่ 4 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการคายแสงของสารละลายพาราควอท (1×10^{-6} โมลาร์) ผลการทดลองพบว่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงและการคายแสงของพาราควอทปรากฏที่ตำแหน่ง 250 และ 400 นาโนเมตรตามลำดับ ในขณะที่สเปกตรัมของการดูดกลืนแสง/การคายแสงของพาราควอทที่ถูกกักขังในซีโอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียมและซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโปรตอนปรากฏสเปกตรัมที่มีลักษณะค่อนข้างกว้างที่ 267/420 และ 275/420 นาโนเมตรตามลำดับ (รูปที่ 5) เป็นที่น่าสังเกตว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของพาราควอทที่ถูกกักขังในซีโอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียมมีค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ประมาณ 285 นาโนเมตรและสเปกตรัมการคายแสงที่ประมาณความยาวคลื่นที่ 420 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการทรานซิชันจาก $\pi-\pi^*$ (García-Sosa and Ramírez, 2010)

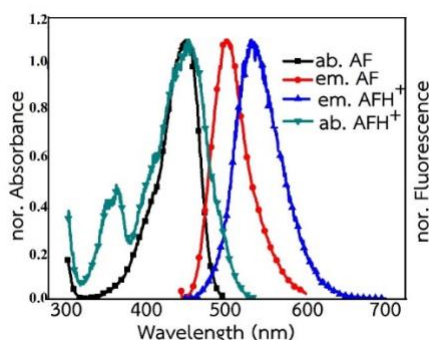


รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการคายแสงของสารละลายพาราควอท (1×10^{-6} โมลาร์)



รูปที่ 5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (ก) และการคายแสง (ข) ของพาราควอทที่ถูกกักขังในซีโอไลต์แอลทีแอล

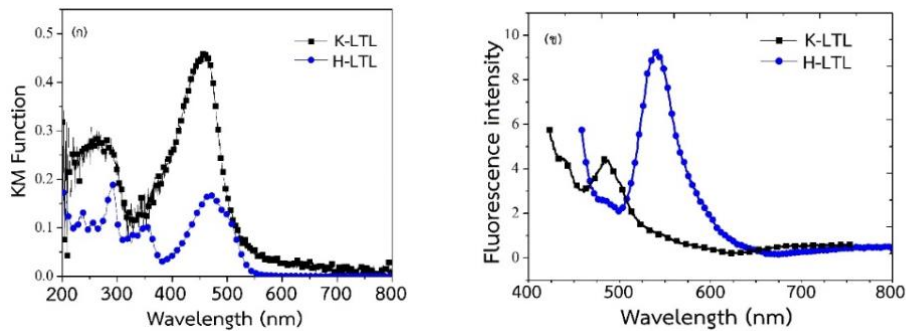
สมบัติทางกายภาพเชิงแสงของอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ (AF) ที่อยู่ในสารละลายและถูกกักขังในซีโอไลต์แอลทีแอล



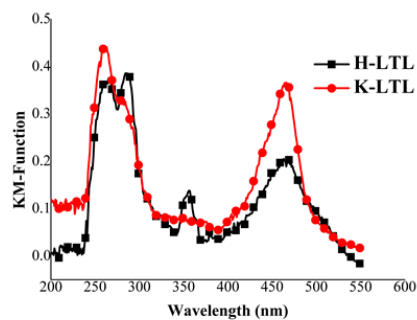
รูปที่ 6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการคายแสงของสารละลายอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ (1×10^{-6} โมลาร์) และอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ละลายใน 0.2 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริก

รูปที่ 6 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการคายแสงของสารละลายเข้มข้น 1×10^{-6} โมลาร์ อะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์และอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ละลายในสารละลาย 0.2 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริก ผลการทดลองพบว่า สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงและการคายแสงของอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ปรากฏที่ 446/500 นาโนเมตรและ 446/538 นาโนเมตรสำหรับสารละลายอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ (1×10^{-6} โมลาร์) และอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ละลายใน 0.2 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริกตามลำดับ และนอกจากนี้ยังพบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตรของอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ละลายใน 0.2 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริกซึ่งมีการรายงานว่าเป็นลักษณะเฉพาะของอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่อยู่ในรูปโปรโตเนท (AFH²⁺) (Insuwan and Rangsiwatananon, 2015)

ในขณะที่อะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ถูกดูดซับในซีโอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียมในรูปที่ 7 จะปรากฏสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่ 460 นาโนเมตรและสเปกตรัมของการคายแสงที่ 496 นาโนเมตรซึ่งเป็นการทราบกันดีจาก $\pi-\pi^*$ ในขณะที่อะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ถูกดูดซับในซีโอไลต์แอลทีแอลจะปรากฏสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่ 350 และ 460 นาโนเมตรและสเปกตรัมของการคายแสงที่ 538 นาโนเมตรซึ่งเป็นลักษณะคล้ายกับอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่อยู่ในสารละลาย 0.2 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริกที่ถูกโปรโตเนท (AFH²⁺) จากการศึกษาพบว่าอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ จะอยู่ในรูปของแคไทออน (AF⁺) และโปรโตเนท (AFH²⁺) เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมของซีโอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียม และซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโปรตอนตามลำดับและเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อโมเลกุลอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์อยู่ในสภาพแวดล้อมของซีโอไลต์แอลทีแอล สเปกตรัมการดูดกลืนแสงจะเกิดการเคลื่อนที่ไปยังความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น (446 ไปยัง 460 นาโนเมตร) ทั้งนี้เนื่องมาจากความเป็นขั้วของซีโอไลต์แอลทีแอลมีความเป็นขั้วที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่ออยู่ในสารละลาย



รูปที่ 7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (ก) และการคายแสง (ข) ของอะคริฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ถูกกักขังในซีโอไลต์แอลทีแอล

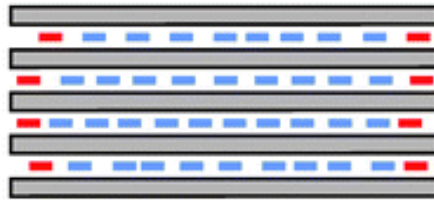


รูปที่ 8 UV-Visible diffuse reflectance spectra ของพาราควอทและอะคริฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ดูดซับในซีโอไลต์แอลทีแอล

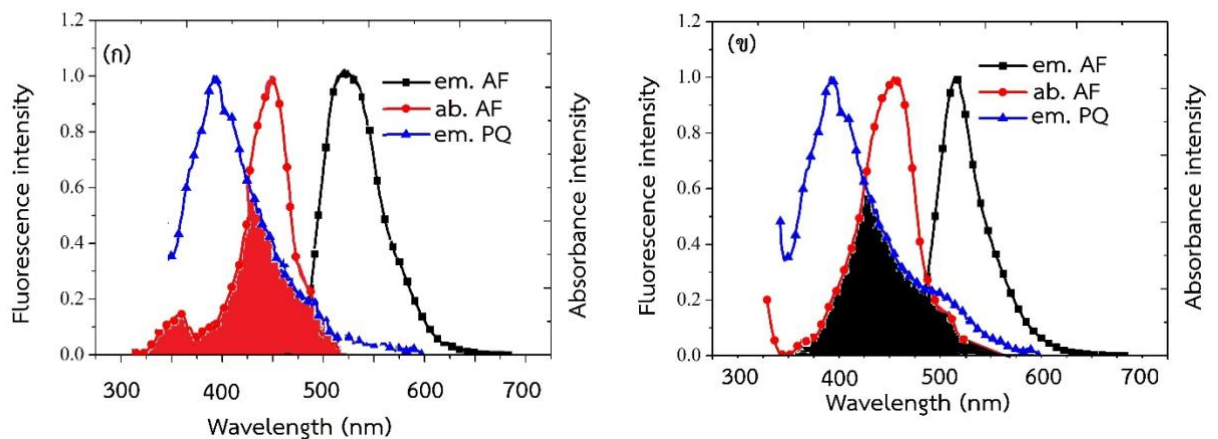
รูปที่ 8 แสดง UV-Visible diffuse reflectance spectra ของพาราควอทและอะคริฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่ดูดซับในซีโอไลต์แอลทีแอลซึ่งพบว่ามีสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงปรากฏที่ความยาวคลื่นช่วง 260-270 นาโนเมตรซึ่งเป็นลักษณะการดูดกลืนแสงของพาราควอทและการดูดกลืนแสงของโมเลกุลอะคริฟาวินไฮโดรคลอไรด์ปรากฏที่ความยาวคลื่น 350 และ 460 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในรูปโปรตอน (AFH²⁺) เมื่อถูกดูดซับในซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโปรตอนในขณะที่การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 460 นาโนเมตร แสดงถึงโมเลกุลอะคริฟาวินไฮโดรคลอไรด์อยู่ในรูปแคตไอออน (AF⁺) เมื่อถูกดูดซับในซีโอไลต์แอลทีแอลรูปโพแทสเซียมจากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าโมเลกุลของสีย้อมทั้งสองสามารถใส่เข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์แอลทีแอลได้สมบูรณ์

การถ่ายโอนพลังงานจากตัวให้ (พาราควอท) ไปยังตัวรับพลังงาน (อะคริฟาวินไฮโดรคลอไรด์)

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบเสาอากาศเทียมที่สามารถเก็บกักพลังงานแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งหมายถึงจะต้องประกอบด้วยโมเลกุลสีย้อมจะต้องสามารถใส่เข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์แอลทีแอลได้โดยไม่เกิดการรวมกลุ่ม (aggregation) และสามารถดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงที่กว้าง ๆ ภายใต้การกระตุ้นตัวให้พลังงานและถ่ายโอนพลังงานไปยังตัวรับพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงลำดับการใส่พาราควอทในบริเวณตรงกลาง (สีฟ้า) และโมเลกุลอะครีฟวินไฮโดรคลอไรด์ตรงปลายทั้งสองข้างของฟลิก (สีแดง) (Insuwan et al., 2017)



รูปที่ 10 การซ้อนทับกันระหว่างสเปกตรัมการคายแสงของพาราควอทและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะครีฟวินไฮโดรคลอไรด์ที่อยู่ในซีไอไลต์แอลทีแอลรูปโปรตอน (ก) และซีไอไลต์แอลทีแอลรูปโพแทสเซียม (ข)

อันดับแรกจะทำการใส่พาราควอทซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้พลังงานไปอยู่ในบริเวณตรงกลางของฟลิกซีไอไลต์แอลทีแอลก่อนแล้วค่อยใส่โมเลกุลอะครีฟวินไฮโดรคลอไรด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานไปอยู่ตรงปลายทั้งสองข้างของฟลิก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่าสามารถส่งผ่านพลังงานถึงกันหรือไม่ โดยทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงานจะต้องอยู่ในช่วง 1-10 นาโนเมตร ซึ่งเป็นระยะห่างที่สามารถถ่ายโอนพลังงานถึงกันได้และนอกจากนี้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะครีฟวินไฮโดรคลอไรด์ที่เป็นตัวรับพลังงานจะต้องซ้อนทับกับสเปกตรัมการคายแสงของพาราควอทที่เป็นตัวให้พลังงานดังแสดงในรูปที่ 10 และตารางที่ 1 ซึ่งเราพบว่าสีย้อมที่ใส่ลงไปในซีไอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียมและรูปโปรตอน สามารถถ่ายโอนพลังงานถึงกันได้ ตารางที่ 1 แสดงผลของการคำนวณพื้นที่ซ้อนทับระหว่างสเปกตรัมการคายแสงของตัวให้และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวรับพลังงาน (Ω_{DA}) $10^{-15} \text{ cm}^3 \text{ M}^{-1}$ ค่าระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงาน (R_{DA}) และประสิทธิภาพของ FRET (%E) ที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ 2 และ 4 ตามลำดับ (Gartzia-Rivero et al., 2015) โดยทั่วไปแล้วค่าระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงานจะอยู่ในช่วง 20-90 (Å) มีรายงานกล่าวถึงประสิทธิภาพของการถ่ายโอนพลังงานว่าถ้าระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงานมีค่าน้อย ๆ จะส่งผลให้กระบวนการถ่ายโอนพลังงานมีประสิทธิภาพสูง (Gartzia-Rivero et al., 2015). จากการศึกษาพบว่าค่าระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงาน และประสิทธิภาพของ FRET ของ สีย้อมที่ใส่เข้าไปในซีไอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียม K-LTL และ H-LTL มีค่าเท่ากับ 23.4 Å, 74.9% และ 23.8 Å, 78.1% ตามลำดับ

$$R_{DA}^6 = \frac{9000 \times (\ln 10) k_p^2 \Omega_{DA} \phi_D}{128 N_A \pi^5 n^4} \quad (2)$$

เมื่อ Ω_{DA} คือ บริเวณที่สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorption spectrum) ของสีย้อมที่เป็นตัวรับพลังงาน จะต้องซ้อนทับกับสเปกตรัมการคายแสง (Fluorescence emission spectrum) ของสีย้อมที่เป็นตัวให้พลังงาน ϕ_D คือ Quantum yield ของตัวให้พลังงาน n คือ ดัชนีหักเห (refractive index) ของตัวทำละลาย N_A คือ เลขอาโวกาโด k_p^2 คือ แฟกเตอร์ที่ใช้อธิบายการวางตัวไดโพลโมเมนต์ของตัวให้และรับพลังงานและ Ω_{DA} ก็สามารถคำนวณจากสมการ (3) (Gartzia-Rivero et al., 2015; Insuwan et al., 2015)

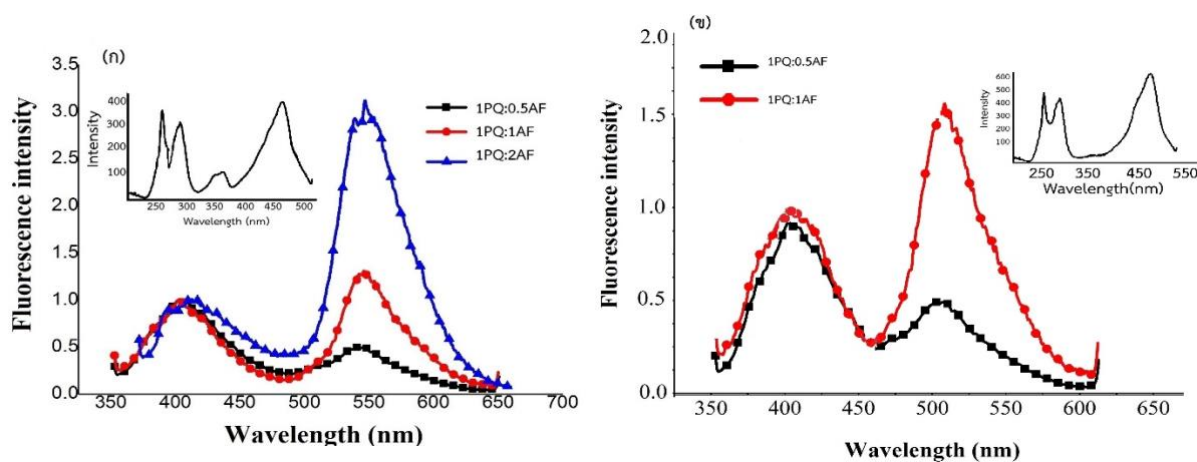
$$\Omega_{DA} = \frac{\int_0^\infty f_d(\lambda) \varepsilon_a(\lambda) \lambda^4 d\lambda}{\int_0^\infty f_d(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

เมื่อ $\int_0^\infty f_d(\lambda) \varepsilon_a(\lambda) \lambda^4 d\lambda$ คือ บริเวณที่สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (absorption spectrum) ของสีย้อมที่เป็นตัวรับพลังงานจะต้องซ้อนทับกับสเปกตรัมการคายแสง (fluorescence emission spectrum) ของสีย้อมที่เป็นตัวให้พลังงานและ $\int_0^\infty f_d(\lambda) d\lambda$ คือ บริเวณสเปกตรัมการคายแสง (fluorescence emission spectrum) ของสีย้อมที่เป็นตัวให้พลังงาน

$$\%E = (1 - \frac{F_{DA}}{F_D}) \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ F_{DA} คือ สเปกตรัมการคายแสงของตัวให้พลังงานในกรณีที่มีตัวรับพลังงานอยู่ด้วยและ F_D คือ สเปกตรัมการคายแสงของตัวให้พลังงานในกรณีที่ไม่มีความรับพลังงาน

พิจารณารูปที่ 11 แสดงสเปกตรากการคายแสงของพาราควอทและอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในซีโอไลต์แอลทีแอล (H-LTL) และ (K-LTL) ผลการทดลองพบว่าความเข้มของการเรืองแสง (Fluorescence intensity) ของอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโมเลกุลของสีย้อมอยู่ใกล้กันมากขึ้นส่งผลให้การถ่ายโอนพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยทั้งในระบบซีโอไลต์แอลทีแอล (H-LTL) และ (K-LTL) จากสเปกตรากการคายแสงของสีย้อมในระบบซีโอไลต์แอลทีแอลที่อยู่ในรูปโพแทสเซียม (K-LTL) ปรากฏที่ 400 และ 500 นาโนเมตรเป็นลักษณะของพาราควอทและอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ในรูปแคโทไอออนตามลำดับในขณะที่สเปกตรากการคายแสงของสีย้อมในระบบซีโอไลต์แอลทีแอล (H-LTL) ปรากฏที่ 400 และ 550 นาโนเมตรเป็นลักษณะของพาราควอทและอะครีฟาวินไฮโดรคลอไรด์ในรูปโปรโตเนทตามลำดับจะเห็นได้ว่าการคายแสงมีอยู่สองช่วงความยาวคลื่นซึ่งเป็นผลดีที่จะนำมาใช้เป็นเสาอากาศเทียม



รูปที่ 11 สเปกตรากายแสงของพาราควอทและอะครีฟวินไฮโดรคลอไรด์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในซีไอไลต์แอลทีแอล (H-LTL, ก) และ (K-LTL, ข) ภายใต้การกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร; ภาพแทรกคือ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะครีฟวินไฮโดรคลอไรด์และพาราควอท

ตารางที่ 1 ผลของการคำนวณพื้นที่ซ้อนทับระหว่างสเปกตรัมการคายแสงของตัวให้และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวรับพลังงาน ผลได้เชิงควอนตัม ค่าระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงาน ประสิทธิภาพของ FRET

ตัวให้-ตัวรับ พลังงาน	พื้นที่ซ้อนทับระหว่าง สเปกตรัมการคายแสงของตัว ให้และสเปกตรัมการดูดกลืน แสงของตัวรับพลังงาน (Ω_{DA}) $10^{-15} \text{ cm}^3\text{M}^{-1}$		ผลได้เชิง ควอนตัม (Φ_D)	ค่าระยะห่าง ระหว่างตัวให้ และรับ พลังงาน R_{DA} (Å)	ประสิทธิภาพ ของ FRET (%E)
Ac-AF_K-LTL (Insuwan and Rangsiwatananon, 2015)	0.98		0.66	22.2	90.0
Ac-AF_H-LTL (Insuwan and Rangsiwatananon, 2015)	0.51		0.66	19.9	72.5
PIC-AF_K-LTL (Insuwan et al, 2017)	0.60		0.33	17.9	62.0
PIC-AF_H-LTL (Insuwan et al, 2017)	0.70		0.33	18.4	75.5
PQ-AF_K-LTL	4.33		0.20	23.4	74.9
PQ-AF_H-LTL	4.84		0.20	23.8	78.1

Ac คือ Acridine hydrochloride และ PIC คือ 1,1'-Diethyl-2,2'-cyanine iodide

บทสรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการศึกษากระบวนการ FRET ระหว่างโมเลกุลสีย้อมที่ใส่เข้าไปในรูพรุนของซีโอไลต์แอลทีแอล PQ-AF_K-LTL และ PQ-AF_H-LTL โดยที่ PQ ทำหน้าที่เป็นตัวให้และ AF เป็นตัวรับพลังงาน ผลวิจัยแสดงให้เห็นว่าค่าระยะห่างระหว่างตัวให้และรับพลังงาน (Value of critical transfer distance, R_{DA}) ของ PQ-AF_K-LTL และ PQ-AF_H-LTL ไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ประสิทธิภาพของ FRET (%E) ของ PQ-AF_H-LTL จะสูงกว่า PQ-AF_K-LTL จากการศึกษาพบว่าในการใส่โมเลกุลสีย้อมพาราควอต (PQ) และ อะคริฟราวินไฮโดรคลอไรด์ (AF) ที่ถูกกักขังในซีโอไลต์แอลทีแอลสามารถนำไปใช้เป็นเสาอากาศเทียมได้เพื่อเก็บกักพลังงานแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมีและสถานที่ในการทำวิจัยจนกระทั่งสามารถดำเนินการทำวิจัยจนบรรลุตามวัตถุประสงค์ และบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ สำหรับมิตรภาพและความช่วยเหลือที่มีให้กันเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

- Calzaferri G. and Devaux A. (2010). Supramolecular effects in photochemical and photophysical processes. John Wiley and Sons, Inc. New Jersey.
- Ellis D.W. and Solomon B.S. (1967). Resonance energy transfer: Influence of heteroatoms on the donor's properties. *Journal of Chemical Physics*. 46: 3497-3501.
- García-Sosa I. and Ramírez F.M. (2010). Synthesis, solid and solution studies of paraquat dichloride calixarene complexes. *Molecular modelling. Journal of the Mexican Chemical Society*. 54(3): 143-152.
- Gartzia-Rivero L., Bañuelos J. and López-Arbeloa I. (2015). Excitation energy transfer in artificial antennas from photoactive materials to molecular assemblies. *International Reviews in Physical Chemistry*. 34(4): 515-556.
- Gfeller N., Megelski S. and Calzaferri G. (1999). Fast energy migration in pyronine-loaded zeolite L microcrystals. *Journal of Physical Chemistry B*. 103: 1250-1257.
- Gigli L., Arletti R., Vitillo J.G., Alberto G., Martra G., Devaux A. and Vezzalini G. (2015). Thionine dye confined in zeolite L: Synthesis location and optical properties. *The Journal of Physical Chemistry C*. 119: 16156-16165.
- Ibrahim M.S. and Etaiw S. El-din H. (2002). Supramolecular host-guest systems as frameworks for excitation energy transfer. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 58: 373-378.

- Insuwan W. and Rangsiwatananon K. (2014). Evaluation of adsorption of cationic dyes on H-LTL and K-LTL zeolite. *Journal of Porous Material*. 21: 345-354.
- Insuwan W., Jungsuttiwong S. and Rangsiwatananon K. (2015). Host-guest composite materials of dyes loaded zeolite LTL for antenna applications. *Journal of Luminescence*. 161: 31-36.
- Insuwan W., Rangsiwatananon K., Meeprasert J., Namuangruk S., Surakhot Y., Kungwan N. and Jungsuttiwong S. (2017). Combined experimental and theoretical investigation on Fluorescence Resonance Energy Transfer of dye loaded on LTL zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*. 214: 372-382.
- Lin C. and Dienes A. (1973). Study of excitation transfer in laser dye mixtures by direct measurement of fluorescence lifetime. *Journal of Applied Physics*. 44: 5050-5052.
- Manzano H., Gartzia-Rivero L., Bañuelos J. and Lopez-Arbeloa I. (2013). Ultraviolet-Visible dual absorption by a single BODIPY dye confined in LTL zeolite nanochannels. *The Journal of Physical Chemistry C*. 117: 13331-13336.
- Megelski S. and Calzaferri G. (2001). Tuning the size and shape of zeolite L-based inorganicorganic host-guest composites for optical antenna systems. *Advanced Functional Materials*. 11(4): 277-286.
- Misra V., Misra H., Joshi H.C. and Pant T.C. (1999). Excitation energy transfer between acriflavine and rhodamine 6G as a pH sensor. *Sensors and Actuators B*. 63: 18-23.
- Misra, V., Misra H., Joshi H.C. and Pant T.C. (2002). An optical pH sensor based on excitation energy transfer in Nafion® film. *Sensors and Actuators B*. 82: 133-141.
- Mojović Z., Banković P., Milutinović-Nikolić A., Dostanić J., Jović-Jovčić N. and Jovanović D. (2009). Al, Cu pillared clays as catalysts in environmental protection. *Chemical Engineering Journal*. 154: 149-155.
- Rongchapo W., Sophiphun O., Rintramee K., Prayoonpokarach S. and Wittayakun J. (2013). Paraquat adsorption on porous materials synthesized from rice husk silica. *Water Science and Technology*. 68: 863-869.

Received: December 17, 2019; Revised: April 23, 2020; Accepted: August 26, 2020

ระบบจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง Scheduling system with drag and drop technique

จิรนนท์ ตะสันเทียะ^{1*} บุญเหลือ นามำรุง¹ อัญวีณ์ ไชยวชิระกัมพล¹ ชนาธิป กุนอก¹
และชัยณรงค์ แสนมี¹

Jeeranun Tasuntia^{1*}, Boonlueo Nabumroong¹, Anyawee Chaiwachiragompol¹,
Tanathip Kunok¹ and Chainarong Sanmee¹

¹ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : jeeranun.ta@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง โรงเรียนไพรแก้ว วิทยา จังหวัดสุรินทร์ โดยนำเทคนิคการลากวาง (Drag and Drop) เข้ามาช่วยในการพัฒนาระบบ มีเครื่องมือที่นำมาใช้พัฒนาระบบ ได้แก่ โปรแกรม Visual Studio Code ภาษาที่ใช้ PHP, JavaScript Library (jQuery) ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ระบบปฏิบัติการที่ใช้ Linux Ubuntu Server และ Apache Web Server การทดสอบระบบจะใช้การทดสอบการทำงานทุกฟังก์ชัน (Black Box Testing) และมีการประเมินความพึงพอใจจากผู้เกี่ยวข้องกับระบบ ผลการทดสอบการทำงานสามารถใช้งานได้ทุกฟังก์ชัน สามารถทำงานตามขอบเขตที่กำหนดไว้ ผลประเมินความพึงพอใจของระบบทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนของเจ้าหน้าที่จำนวน 1 คน พบว่า มีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ที่ $\bar{x} = 4.27$, S.D. = 0.00 อยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก ส่วนของหัวหน้ากลุ่มสาระจำนวน 5 คน พบว่า มีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ที่ $\bar{x} = 4.06$, S.D. = 0.26 อยู่ในเกณฑ์ระดับดี และส่วนของผู้อำนวยการจำนวน 1 คน พบว่า มีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ที่ $\bar{x} = 3.91$, S.D. = 0.00 อยู่ในเกณฑ์ระดับดี สรุปผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนโรงเรียนไพรแก้ววิทยา จังหวัดสุรินทร์ นี้มีประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในเกณฑ์ระดับดีและเป็นไปตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ: ระบบจัดตาราง การจัดตารางเรียนตารางสอน ตารางเรียน

Abstract

This research aims to develop the Scheduling System with Drag and Drop Technique Sai Kaew Witthaya School, Surin Province. The drag and drop technique help to develop the system. The tools used to develop the system were: Visual Studio Code, PHP Language, JavaScript Library (jQuery), MySQL Database, Linux Ubuntu Server and Apache Web Server. Black Box Testing tests the functionality of the system and evaluates the satisfaction of system integrators. The test results can be used for all functions within the defined range and in the experiment. Assess the satisfaction of using all three systems. The staff found satisfaction at $\bar{x} = 4.27$, S.D. = 0.00 was very good. The leader found that the satisfaction was $\bar{x} = 4.06$, S.D. = 0.26. and the director found that satisfaction $\bar{x} = 3.91$, S.D. = 0.00 was in good level. Summarize the results of the overall performance evaluation of the scheduling system. Sai Kaew Witthaya School, Surin Province, has a good performance and is in accordance with the objectives.

Keywords: Scheduling system, Scheduling, Timetable

บทนำ

ในปัจจุบันการจัดตารางเรียนตารางสอนของโรงเรียนหรือสถานศึกษามักประสบปัญหาหลายอย่าง อาทิเช่น การปรับปรุงหลักสูตรใหม่ จำนวนรายวิชา จำนวนนักเรียน จำนวนครู หรือจำนวนห้องเรียน ซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อการจัดตารางเรียนตารางสอนของสถานศึกษาที่ยังใช้วิธีการจัดด้วยมือทั้งสิ้น นั่นคือ การจัดตารางเรียนตารางสอนโดยใช้การจดบันทึกลงบนกระดาษ และการจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งวิธีการดังกล่าวต้องใช้ทรัพยากรจำนวนมาก เช่น แรงงานคน กระดาษ อุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้ ยังใช้ระยะเวลานานและก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

งานวิจัยนี้ได้ใช้กรณีศึกษาจากโรงเรียนไพร่แก้ววิทยา ซึ่งมีวิธีการจัดตารางเรียนตารางสอน โดยทำการจดบันทึกลงบนกระดาษ ขั้นตอนการทำงานการจัดตารางเรียนตารางสอนของโรงเรียนเริ่มจากการส่งแบบฟอร์มสำรวจรายวิชาในแต่ละภาคการศึกษาไปยังครูผู้สอนตามกลุ่มสาระการเรียนรู้ หลังจากสำรวจรายวิชาเสร็จแล้ว กลุ่มสาระการเรียนรู้จะทำการรวบรวมแบบฟอร์มส่งคืนไปยังฝ่ายวิชาการ จากนั้นฝ่ายวิชาการรวบรวมข้อมูลรายวิชาทั้งหมดที่จะใช้ในการจัดตารางเรียนตารางสอนในแต่ละภาคการศึกษาพร้อมกับตั้งคณะกรรมการดำเนินงาน ในส่วนของการจัดตารางเรียนตารางสอนของโรงเรียนนั้นจะใช้หลักของการจดบันทึกลงบนกระดาษขนาดมากกว่า 36 X 60 นิ้ว จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวพิมพ์ลงในโปรแกรมตารางทำงานหรือกระดานคำนวณ (Spreadsheet) (ณัฐวิทย์, 2559) เพื่อออกเป็นรายงานให้ผู้เกี่ยวข้องตรวจสอบและอนุมัติลงนามเป็นลำดับถัดไป จากขั้นตอนดังกล่าวทำให้พบปัญหาที่เกิดขึ้นของโรงเรียนไพร่แก้ววิทยา โดยสรุปไว้ดังนี้คือ การจัดตารางเรียนตารางสอนของโรงเรียนไพร่แก้ววิทยานี้ใช้คนมากกว่า 2 คน ใช้ระยะเวลามากกว่า 2 วัน การจัดตารางเรียนตารางสอนซ้อนกัน ข้อความบนกระดาษที่ใช้ในบันทึกลงบนกระดาษจางหาย (ปิยวิทย์, 2558) เป็นต้น

จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) โดยใช้แนวทางในการจัดตารางสอนคือ การนำข้อมูลที่ใช้ในการจัดตารางสอน ได้แก่ ข้อมูลรายวิชา ข้อมูลครู และข้อมูลนักเรียน เป็นต้น จัดลงในช่วงเวลาว่างของแต่ละห้อง โดยที่ข้อมูลนั้นต้องไม่ถูกจัดซ้ำกันอีกใน

ช่วงเวลาเดียวกันของวันในตารางสอนนั้น (ศุภชีพ, 2560) โดยนำเทคนิคการลากวาง (Drag and Drop) มาช่วยแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อความสะดวกและลดระยะเวลาการจัดตารางเรียนตารางสอนให้น้อยลง โดยมีส่วนประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ 1) เจ้าหน้าที่ทำหน้าที่เพิ่มรายวิชาทั้งหมดของหลักสูตรลงในระบบ และรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการจัดตารางเรียน ตารางสอนในแต่ละภาคการศึกษา และจัดการเพิ่ม ลบ แก้ไข โดยใช้เทคโนโลยีการลากวาง 2) หัวหน้ากลุ่มสาระ ทำหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลรายวิชาที่จะเปิดสอนของกลุ่มสาระ และทำการเลือกรายวิชาที่เปิดสอน และ 3) ผู้อำนวยการ ทำหน้าที่ในการตรวจสอบและอนุมัติตารางเรียนตารางสอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบจัดตารางเรียนตารางสอน และหาความพึงพอใจการใช้งานระบบจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

การดำเนินงานและจัดการวิจัยในการพัฒนาระบบจัดตารางเรียนตารางสอนโดยใช้เทคนิคการลากวาง ของโรงเรียน ไทรแก้ววิทยา ในลักษณะเว็บแอปพลิเคชันและระบบฐานข้อมูล ภายในได้แนวทางวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) 7 ขั้นตอน (ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์, 2551) โดยสามารถอธิบายการดำเนินการวิจัยเพื่อการพัฒนากระบวนโดยมี รายละเอียดดังนี้

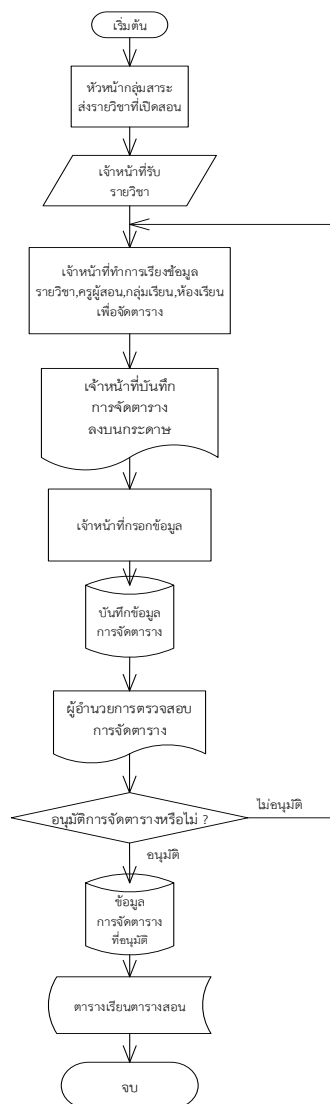
ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และรวบรวมข้อมูลของโรงเรียนไทรแก้ววิทยาจากเอกสารข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการจัดตารางเรียน ตารางสอนเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการสร้างระบบงานใหม่ดังต่อไปนี้

1. แบบฟอร์มข้อมูลตารางเรียนตารางสอน
2. แบบฟอร์มการสำรวจการเปิดรายวิชาและครูผู้สอน
3. แบบฟอร์มตารางเรียนของกลุ่มเรียน
4. แบบฟอร์มตารางสอนของครูผู้สอน
5. หลักสูตรสถานศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
6. หลักสูตรสถานศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

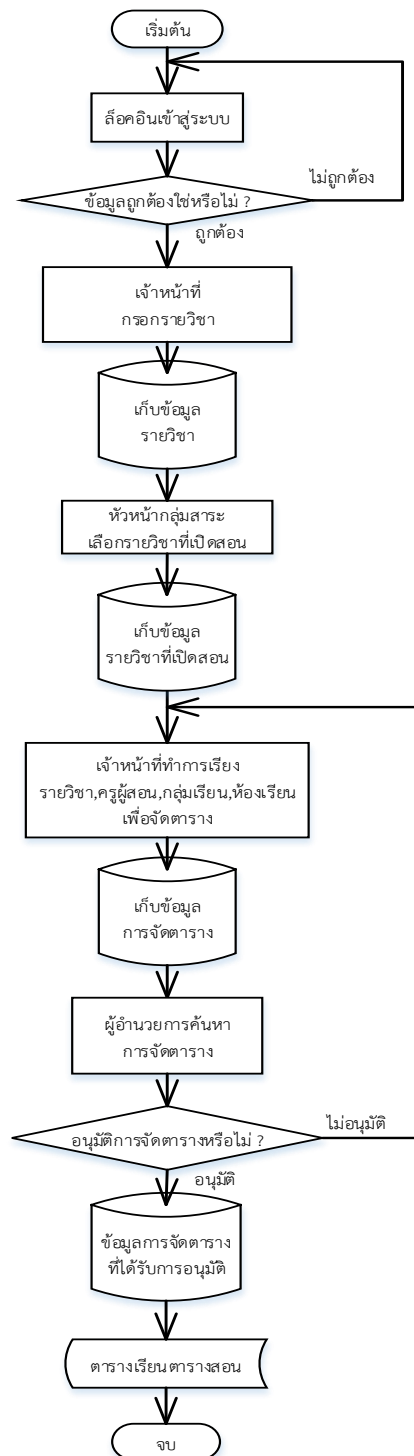
ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบ

1. การวิเคราะห์ระบบงานเดิม เป็นขั้นตอนการทำงานของระบบงานเดิมโดยมีกระบวนการทำงานเริ่มจาก ขั้นตอนที่ 1 เมื่อมีกำหนดการ การจัดตารางเรียนตารางสอน หัวหน้ากลุ่มสาระส่งรายวิชาที่จะเปิดสอนของกลุ่มสาระ ขั้นตอนที่ 2 เจ้าหน้าที่ที่จัดตารางเรียนตารางสอนรับรายวิชาที่เปิดสอนของกลุ่มสาระ ขั้นตอนที่ 3 เจ้าหน้าที่ที่จัดตารางเรียนตารางสอน ทำการจัดตารางสอนโดยใช้ข้อมูลรายวิชา ข้อมูลอาจารย์ผู้สอน ข้อมูลกลุ่มเรียนและข้อมูลห้องเรียน เมื่อทำการจัดข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนที่ 4 เจ้าหน้าที่ทำการจัดบันทึกข้อมูลการจัดตารางลงบนกระดาษ ขั้นตอนที่ 5 เจ้าหน้าที่พิมพ์ข้อมูลการจัดตารางลงในโปรแกรมตารางการทำงาน ขั้นตอนที่ 6 เจ้าหน้าที่ส่งแบบฟอร์มการจัดตารางสอน ให้กับผู้อำนวยการเพื่อทำการอนุมัติการจัดตารางสอน



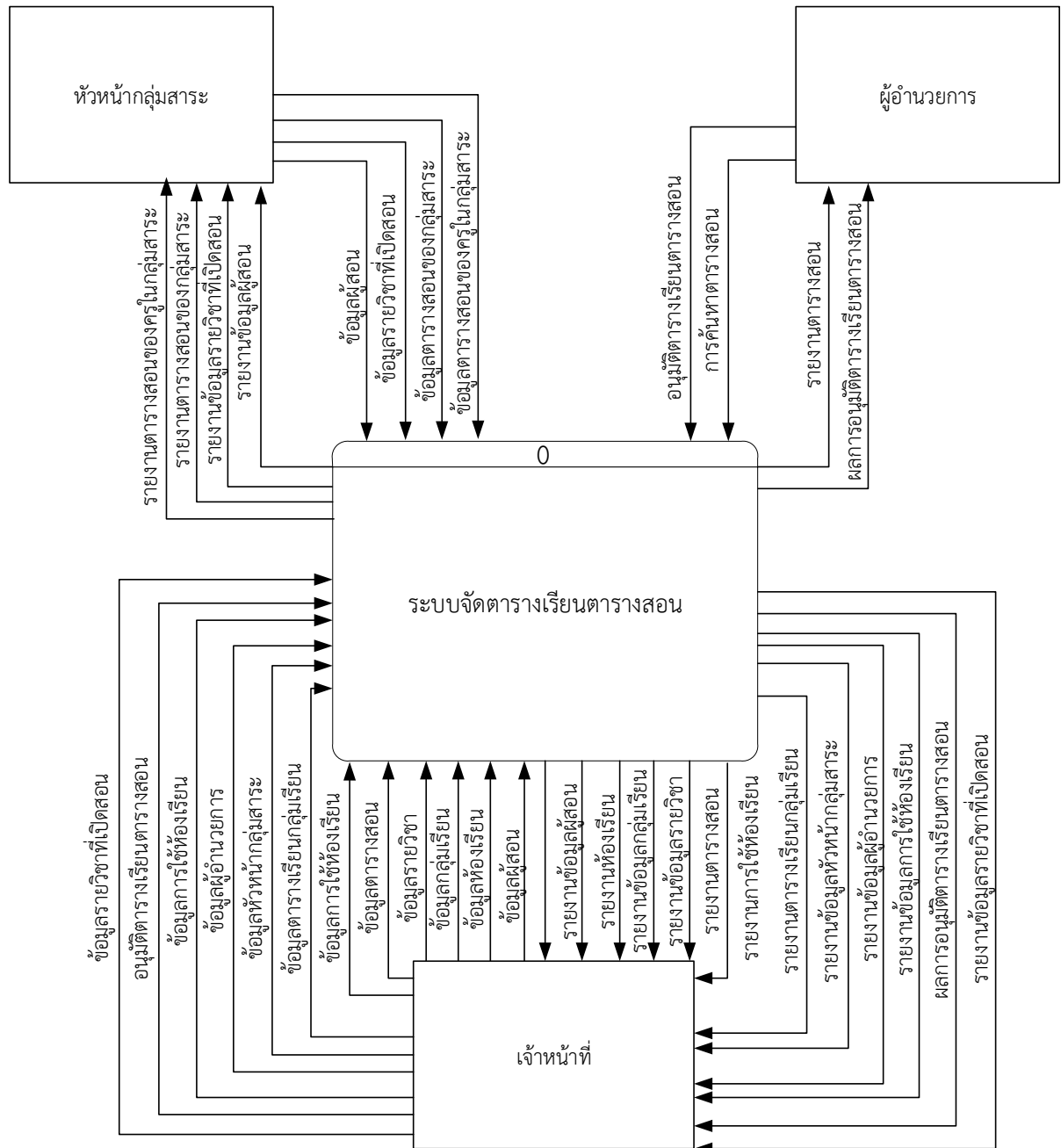
รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของระบบงานเดิม

2. การวิเคราะห์ระบบงานใหม่ เป็นขั้นตอนการทำงานของระบบงานใหม่โดยมีกระบวนการทำงานเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 เมื่อมีกำหนดการ การจัดตารางเรียนตารางสอน เจ้าหน้าที่ทำการเพิ่มรายวิชาทั้งหมดของหลักสูตร ลงในระบบการจัดตารางเรียนตารางสอน ขั้นตอนที่ 2 หัวหน้ากลุ่มสาระเลือกรายวิชาที่จะเปิดสอนของกลุ่มสาระและครูผู้สอน ในระบบการจัดตารางเรียนตารางสอน ขั้นตอนที่ 3 เจ้าหน้าที่ที่จัดตารางเรียนตารางสอน ทำการจัดตารางสอนโดยใช้ข้อมูลรายวิชา ข้อมูลอาจารย์ผู้สอน ข้อมูลกลุ่มเรียน และข้อมูลห้องเรียน เมื่อทำการจัดข้อมูลเรียบร้อยแล้ว บันทึกการจัดตารางที่ยังไม่ได้รับการอนุมัติข้อมูลลงระบบฐานข้อมูล ขั้นตอนที่ 4 ผู้อำนวยการโรงเรียนค้นหาการจัดตารางเรียนตารางสอนเพื่ออนุมัติการจัดตาราง เมื่ออนุมัติเรียบร้อยแล้ว บันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูล

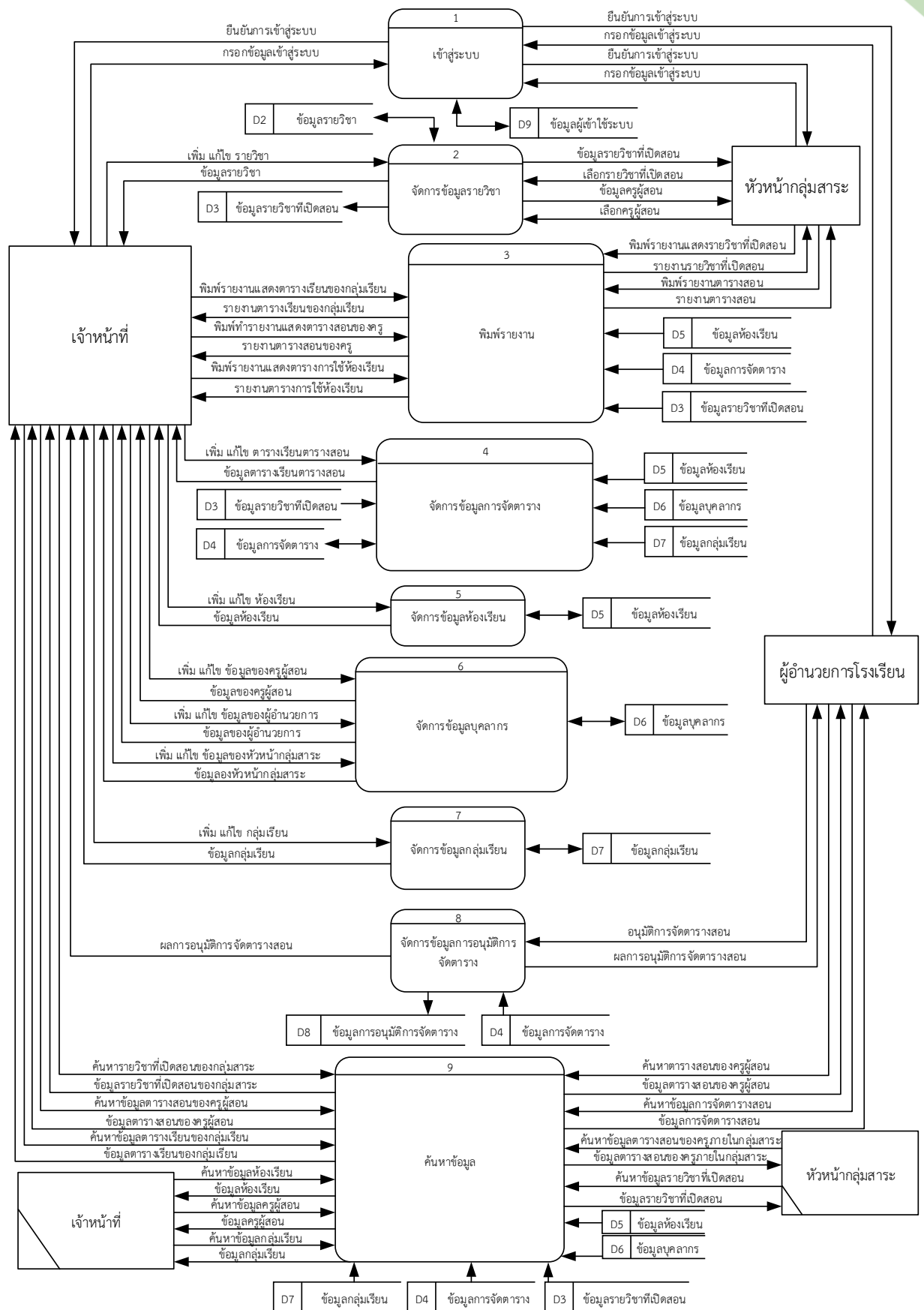


รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของระบบงานใหม่

3. แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) จากรวบรวมข้อมูล ปัญหาและความต้องการนำไปสู่การวิเคราะห์ระบบ จึงสามารถออกแบบกระบวนการทำงานของระบบที่ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ หัวหน้ากลุ่มสาระ และผู้อำนวยการโรงเรียน โดยสามารถนำมาวิเคราะห์แยกรายละเอียด และแสดงเป็นแผนภาพกระแสข้อมูลของระบบได้ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) ระดับที่ 0



รูปที่ 4 แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) ระดับที่ 1

จากรูปที่ 4 แผนภาพกระแสข้อมูล ระดับที่ 1 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการทำงานทั้งหมดภายในระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 เอนทิตีภายนอก (External Entity) ได้แก่ เจ้าหน้าที่ หัวหน้ากลุ่มสาระ และผู้อำนวยการ 9 กระบวนการทำงาน (Process) ได้แก่ เข้าสู่ระบบ จัดการรายวิชา พิมพ์รายงาน จัดการข้อมูลการจัดตาราง จัดการข้อมูลห้องเรียน จัดการข้อมูลบุคลากร จัดการข้อมูลกลุ่มเรียน จัดการข้อมูลการอนุมัติการจัดตารางเรียน และค้นหาข้อมูล

การออกแบบระบบ

ในส่วนของการออกแบบระบบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การออกแบบฐานข้อมูล

ในส่วนของการออกแบบฐานข้อมูลได้มีการสร้างตารางในการจัดเก็บข้อมูล จำนวน 13 ตาราง ประกอบด้วย ตารางข้อมูลบุคลากร (T_Personnels) ตารางข้อมูลตำแหน่ง (T_Positions) ตารางสถานะการปฏิบัติราชการ (T_Statuses) ตารางชนิดห้องเรียน (T_Classrooms) ตารางกลุ่มเรียน (T_Student_Groups) ตารางกลุ่มสาระ (T_Subject_Matter) ตารางหลักสูตรการศึกษา (T_Study_Courses) ตารางรายวิชา (T_Courses) ตารางปีการศึกษา (T_Year_Studies) ตารางรายวิชาที่เปิดสอน (T_Instructors) ตารางวัน (T_Days) ตารางเวลา (T_Times) และตารางข้อมูลการจัดตาราง (T_Scheduels)

2. การออกแบบหน้าจอระบบ

ในส่วนการออกแบบหน้าจอของระบบ ได้นำเสนอหน้าจอหลักของระบบบางส่วน เช่น การเพิ่มรายวิชา การจัดรายวิชาลงในตาราง ดังนี้

ตรา
โรงเรียน

โรงเรียนไพร่แก้ววิทยา

เข้าสู่ระบบ

ระบบจัดตาราง

ห้องเรียน

กลุ่มเรียน

รายวิชา

จัดตารางเรียน

นักเรียน

+ เพิ่มรายวิชาที่เปิดสอน

รหัสวิชา 2550 ✓

ปีการศึกษา 2560 เทอม 1 ✓

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 ✓

ปกติ ✓

พ11002 ✓

ภาษาไทยพื้นฐาน

กนกพร แสงแดง ✓

นักศึกษาฝึกสอน "อานัน"

1.0 ✓

2 ✓

10 ✓

ยกเลิก ✓ ตกลง

รูปที่ 5 เพิ่มรายวิชา

จากรูปที่ 5 แสดงถึงการออกแบบหน้าจอในส่วนของการเพิ่มรายวิชาที่เปิดสอนในภาคการศึกษานั้น โดยประกอบไปด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรายวิชาเพื่อไปจัดลงในตารางเรียนตารางสอน

ตรา

โรงเรียน

ระบบจัดตารางเรียนตารางสอนโรงเรียนไพร่แก้ววิทยา

โรงเรียนไพร่แก้ววิทยา

เข้าสู่ระบบ

ระบบจัดตาราง

ห้องเรียน

กลุ่มเรียน

รายวิชา

จัดตารางเรียน
นักเรียน

ตารางเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1
ประจำปีการศึกษา 2560

	ภาษาจีน สนทนา	ภาษาจีน สนทนา	ภาษาจีน สนทนา	ภาษาจีน สนทนา	ภาษาจีน สนทนา	ภาษาจีน สนทนา	ไทย พิเศษ	ไทย พิเศษ	ไทย พิเศษ	ไทย พิเศษ
วัน/เวลา	08.30-09.20	09.25-10.15	10.20-11.10	11.15-12.05	12.30-12.55	13.00-13.50	13.55-14.45	14.50-15.40		
วันจันทร์	วิชา ภาษาไทย					พักเที่ยง			วิชาบูรณาการ	
วันอังคาร						พักเที่ยง		รวมพล	วิชาบูรณาการ	
วันพุธ						พักเที่ยง		ลูกเสือ	วิชาบูรณาการ	
วันพฤหัสบดี						พักเที่ยง			วิชาบูรณาการ	
วันศุกร์						พักเที่ยง			วิชาบูรณาการ	

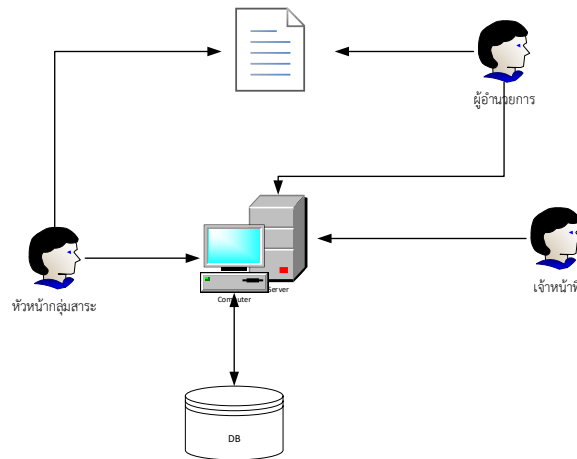
ดาวน์โหลด

รูปที่ 6 จัดรายวิชาลงในตาราง

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงหน้าจอการออกแบบในส่วนของการจัดรายวิชาลงในตารางเรียนตารางสอน โดยยกตัวอย่างตารางเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/1 ซึ่งระบบจะใช้วิธีการลากรายวิชาที่กำหนดไว้มาวางลงในตาราง

การพัฒนาระบบ

หลังจากวิเคราะห์และออกแบบระบบเรียบร้อยแล้ว จะเป็นขั้นตอนการพัฒนาระบบ โดยในการพัฒนาระบบจัดตารางเรียนตารางสอนโดยใช้เทคนิคการลากวางของโรงเรียนไพร่แก้ววิทยาได้ใช้โปรแกรม Visual Studio Code ในการพัฒนาเว็บ และได้ใช้ภาษา PHP, JavaScript Library (jQuery) ร่วมกับโปรแกรมจัดการฐานข้อมูล phpMyAdmin (บัญชี, 2553) เป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้ง่ายและสนับสนุนระบบปฏิบัติการได้หลากหลายรูปแบบ เลือกใช้ระบบปฏิบัติการ Ubuntu โดยใช้ Apache Web Server ในการจัดการและควบคุมการทำงานของเว็บไซต์ ซึ่งในส่วนของการพัฒนาได้นำเทคนิคการลากวาง (Drag and Drop) (เอ็ม.ดี.ซอฟต์แวร์, 2556) เข้ามาช่วยในการจัดตารางเรียนตารางสอนโดยใช้หลักการว่าข้อมูลนั้นต้องไม่ถูกจัดซ้ำกันอีกในช่วงเวลาเดียวกันของวันในตารางสอนนั้น หมายรวมถึงรายวิชาและอาจารย์ผู้สอนที่จะไม่ถูกจัดซ้ำกันในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการซ้ำซ้อนของรายวิชาที่จะเกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้ประหยัดเวลาในการจัดตารางเรียนตารางสอนลงได้



รูปที่ 7 ขั้นตอนการใช้งานระบบ

จากรูปที่ 7 แสดงถึงการใช้งานระบบที่ประกอบไปด้วย เจ้าหน้าที่ทำการเพิ่มข้อมูลต่าง ๆ และทำการจัดตารางเรียน ตารางสอน ผ่านระบบและมีการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล มีการตรวจสอบข้อมูลโดยหัวหน้ากลุ่มสาระ แล้วจึงส่งข้อมูล ตารางเรียนตารางสอนให้ผู้อำนวยความสะดวกมีระบบและมีการออกรายงาน

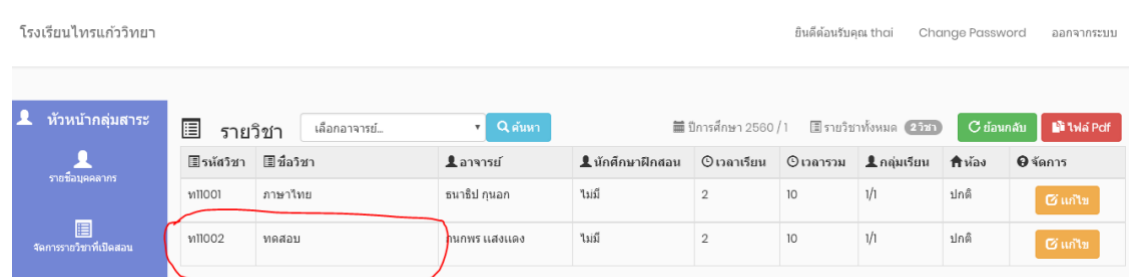
การทดสอบระบบ

ในการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ 1) เจ้าหน้าที่ 2) หัวหน้ากลุ่มสาระ 3) ผู้อำนวยความสะดวก ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้ใช้วิธีการทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Testing) นั่นคือการทดสอบฟังก์ชันการทำงานโดยไม่สนใจว่าการทำงานภายในเป็นอย่างไร สนใจเพียงผลลัพธ์ที่ได้จากระบบเท่านั้น ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 8 ซึ่งเป็นตัวอย่างการทดสอบระบบแบบกล่องดำ

ตารางที่ 1 ทดสอบการแก้ไขรายวิชาที่เปิดสอน

กรณีทดสอบ	ข้อมูลนำเข้า		ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ	ผลลัพธ์ที่ได้	ผลการทดสอบ
	รหัสวิชา	ชื่อวิชา			
1	ท11002	ทดสอบ	แก้ไขรายวิชาสำเร็จ	แก้ไขรายวิชาสำเร็จ	ผ่าน

จากตารางที่ 1 พบว่า การทดสอบแก้ไขรายวิชาที่เปิดสอนผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลลัพธ์การแก้ไขรายวิชาที่เปิดสอน

การทดลองการใช้งานระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งระบบจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง โรงเรียนไทรแก้ววิทยา จังหวัดสุรินทร์ ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยใช้ Web Server Apache ในการจัดการและควบคุมการทำงานเว็บไซต์

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการประเมินระบบ โดยการประเมินความพึงพอใจผู้เกี่ยวข้องกับระบบ ซึ่งมีการประเมินความพึงพอใจ 3 ส่วน คือ

1. หัวหน้ากลุ่มสาระ 5 คน ซึ่งหัวหน้ากลุ่มสาระได้ทดลองการใช้งานตามฟังก์ชันการทำงานตามขอบเขตของหัวหน้ากลุ่มสาระ
2. เจ้าหน้าที่ 1 คน ซึ่งเจ้าหน้าที่ได้ทดลองการใช้งานตามฟังก์ชันการทำงานตามขอบเขตของเจ้าหน้าที่
3. ผู้อำนวยการ 1 คน ซึ่งผู้อำนวยการได้ทดลองการใช้งานตามฟังก์ชันการทำงานตามขอบเขตของผู้อำนวยการ

การประเมินผล

ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินความพึงพอใจโดยแบ่งลักษณะการทำงานของผู้ใช้โดยใช้การแบ่งคะแนน ดังนี้

1. ความพึงพอใจของผู้ใช้โดยเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้ (ล้วน และอังกฤษ, 2538)
 - ระดับคะแนน 5 ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพระดับดีมาก
 - ระดับคะแนน 4 ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพระดับดี
 - ระดับคะแนน 3 ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพระดับพอใช้
 - ระดับคะแนน 2 ระบบที่พัฒนาขึ้นต้องปรับปรุงแก้ไข
 - ระดับคะแนน 1 ระบบที่พัฒนาขึ้นไม่สามารถนำไปใช้ได้
2. การกำหนดเกณฑ์ในการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ โดยใช้วิธีของไลเกิร์ต (ล้วน และอังกฤษ, 2538) ซึ่งแบ่งระดับคะแนนเป็น 5 ระดับ ดังนี้

4.21-5.00	หมายถึง	ระดับดีมาก
3.41-4.20	หมายถึง	ระดับดี
2.61-3.40	หมายถึง	ระดับปานกลาง
1.81-2.60	หมายถึง	ระดับพอใช้
1.00-1.80	หมายถึง	ระดับควรปรับปรุง
3. การแปลผลแบบสอบถามส่วนที่ใช้คะแนนเฉลี่ยในแต่ละชั้น โดยการใช้สถิติพื้นฐานคือการหาค่าพิสัย (ค่ามากที่สุด-ค่าน้อยสุด) และใช้สูตรคำนวณความกว้างของอันตรภาคชั้น ได้ดังนี้

$$\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} = \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}}$$

$$= \frac{5-1}{5} = 0.8$$

4. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

4.1 ค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{x}$) จากสูตร

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

เมื่อ $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n = จำนวนผู้ทดสอบ

$\sum x$ = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

4.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

$$S.D. = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

เมื่อ $S.D.$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง

n = จำนวนคู่ทั้งหมด

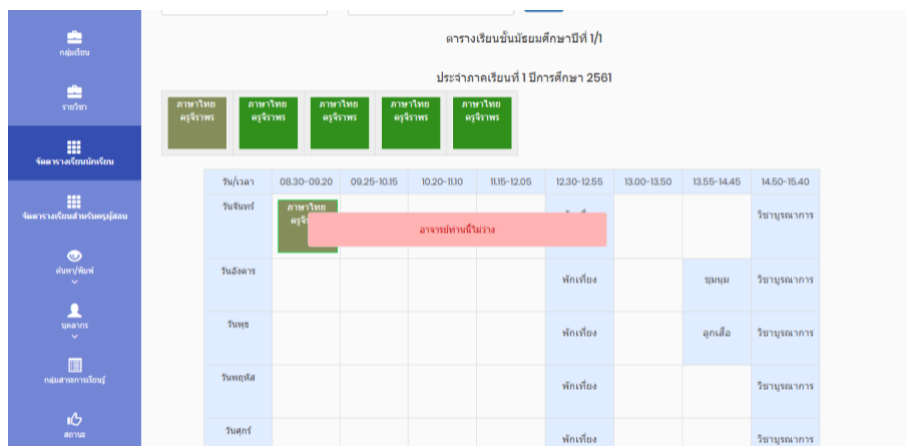
x = คะแนนแต่ละตัวในกลุ่มข้อมูล

$\sum x$ = ผลรวมของความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบ

ระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคลากวาง (Drag and drop) ได้พัฒนาโดยใช้ภาษาที่ PHP, JavaScript Library (jQuery) ระบบฐานข้อมูล MySQL ระบบปฏิบัติการที่ใช้ Linux Ubuntu Server และ Apache Web Server ซึ่งแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้ 2) เจ้าหน้าที่ 3) ผู้อำนวยการ ซึ่งระบบพัฒนาเสร็จสิ้นแล้วใช้ตามขอบเขตการทำงาน



วัน/เวลา	08.30-09.20	09.25-10.15	10.20-11.10	11.15-12.05	12.30-12.55	13.00-13.50	13.55-14.45	14.50-15.40
วันจันทร์	ภาษาไทย ครูจิราพร							วิชาบูรณาการ
วันอังคาร					ฟิสิกส์		ชุมนุม	วิชาบูรณาการ
วันพุธ					ฟิสิกส์		ลูกเสือ	วิชาบูรณาการ
วันพฤหัสบดี					ฟิสิกส์			วิชาบูรณาการ
วันศุกร์					ฟิสิกส์			วิชาบูรณาการ

รูปที่ 9 หน้าจัดตารางเรียน

จากรูปที่ 9 หน้าจัดตารางเรียนแสดงให้เห็นถึงการจัดตารางเรียนโดยการลากวาง เมื่อมีการวางรายวิชาลงในช่วงเวลาใดแล้ว จะไม่สามารถวางวิชาซ้ำลงเวลานั้นได้



วัน/เวลา	08.30-09.20	09.25-10.15	10.20-11.10	11.15-12.05	12.30-12.55	13.00-13.50	13.55-14.45	14.50-15.40
วันจันทร์	ครูจิราพร ภาษาไทย ปกติ		ครูจิราพร ภาษาไทย ปกติ		ฟิสิกส์	ครูจิราพร ภาษาไทย ปกติ		วิชาบูรณาการ
วันอังคาร		ครูจิราพร ภาษาไทย ปกติ			ฟิสิกส์		ชุมนุม	วิชาบูรณาการ
วันพุธ				ครูจิราพร ภาษาไทย ปกติ	ฟิสิกส์		ลูกเสือ	วิชาบูรณาการ
วันพฤหัสบดี		ครูจิราพร ภาษาไทย ปกติ			ฟิสิกส์			วิชาบูรณาการ
วันศุกร์					ฟิสิกส์			วิชาบูรณาการ

รูปที่ 10 หน้าแสดงตารางเรียน

เมื่อมีการจัดรายวิชาลงในตารางเรียนตารางสอนเรียบร้อยแล้ว และไม่มีการซ้ำของรายวิชา จะแสดงข้อมูลตารางเรียนตารางสอนดังรูปที่ 10



วิชา	08.30-09.20	09.25-10.15	10.20-11.10	11.15-12.05	12.05-12.55	13.00-13.50	13.55-14.45	14.50-15.40
วส33102 คุรุวิชา บส			วส2102 คุรุวิชา บส		ผดสิง	วส2102 คุรุวิชา บส		วิชาเฉพาะ
วส101 คุรุวิชา บส		วส2102 คุรุวิชา บส			ผดสิง		วิชาเฉพาะ	วิชาเฉพาะ
วส2102 คุรุวิชา บส				วส2102 คุรุวิชา บส	ผดสิง		วิชาเฉพาะ	วิชาเฉพาะ

รูปที่ 11 หน้าออกรายงาน

จากรูปที่ 11 แสดงตารางเรียนตารางสอนในรูปแบบเอกสารโดยการออกรายงาน ซึ่งรายงานนี้จะแสดงเมื่อมีการอนุมัติการจัดตารางเรียนตารางสอนโดยผู้อำนวยการแล้ว

ผลการหาความพึงพอใจ

การนำระบบงานนี้ไปประเมินเพื่อหาความพึงพอใจของระบบ และเป็นการทดสอบเพื่อยอมรับระบบโดยผู้ใช้ (Acceptance Test by Users) ระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง โรงเรียนไพรแก้ววิทยา ที่ได้พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินระบบของเจ้าหน้าที่

ผลการประเมิน	$\bar{x}$	ระดับประสิทธิภาพ
การจัดวางรูปแบบในระบบง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	4.00	ดี
ความสวยงาม ความทันสมัย และน่าสนใจของระบบ	3.00	พอใช้
ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่ายและสวยงาม	4.00	ดี
ความเร็วในการตอบสนองของระบบโดยรวม	5.00	ดีมาก
ความถูกต้องของการประมวลผล	4.00	ดี
ความเหมาะสมในการจัดการข้อมูล	4.00	ดี
การจัดการข้อมูลครูผู้สอน	4.00	ดี
การจัดการข้อมูลห้อง	5.00	ดีมาก
การจัดการข้อมูลกลุ่มเรียน	5.00	ดีมาก
การจัดการข้อมูลรายวิชา	4.00	ดี
การจัดการข้อมูลกลุ่มสาระ	4.00	ดี
การจัดการข้อมูลการจัดตารางเรียน/ตารางสอน	5.00	ดีมาก
การตรวจสอบข้อมูลการจัดตารางเรียน/ตารางสอน	5.00	ดีมาก
การตรวจสอบข้อมูลรายวิชาที่เปิดสอน	4.00	ดี
การตรวจสอบข้อมูลครูผู้สอน	4.00	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.27	ดีมาก

จากตารางที่ 2 ในส่วนการทำงานของเจ้าหน้าที่ที่มีผลการประเมินความพึงพอใจของระบบอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.27 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 เนื่องจากมีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในส่วนนี้เพียง 1 คนจึงไม่มีการกระจายของข้อมูล

ตารางที่ 3 ผลการประเมินระบบของหัวหน้ากลุ่มสาระ

ผลการประเมิน	$\bar{x}$	S. D.	ระดับประสิทธิภาพ
การจัดวางรูปแบบในระบบง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	3.80	0.45	ดี
ความสวยงาม ความทันสมัย และน่าสนใจของระบบ	3.40	0.55	ปานกลาง
ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่ายและสวยงาม	3.60	0.55	ดี
ความเร็วในการตอบสนองของระบบโดยรวม	5.00	0.00	ดีมาก
ความถูกต้องของการประมวลผล	4.00	0.00	ดี
ความเหมาะสมในการจัดการข้อมูล	3.40	0.55	ปานกลาง
การจัดการข้อมูลรายวิชาที่เปิดสอนของกลุ่มสาระ	4.00	0.00	ดี
การตรวจสอบข้อมูลตารางสอน	4.60	0.55	ดีมาก
การตรวจสอบข้อมูลรายวิชาที่เปิดสอนของกลุ่มสาระ	4.40	0.55	ดีมาก
การตรวจสอบข้อมูลครูผู้สอนภายในกลุ่มสาระ	4.40	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.06	0.26	ดี

จากตารางที่ 3 ในส่วนการทำงานของหัวหน้ากลุ่มสาระมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 4.06 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.26 อยู่ในเกณฑ์ระดับดี

ตารางที่ 4 ผลการประเมินระบบของผู้บริหาร

ผลการประเมิน	$\bar{x}$	ระดับประสิทธิภาพ
การจัดวางรูปแบบในระบบง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	3.00	ปานกลาง
ความสวยงาม ความทันสมัย และน่าสนใจของระบบ	3.00	ปานกลาง
ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่ายและสวยงาม	4.00	ดี
ความเร็วในการตอบสนองของระบบโดยรวม	5.00	ดีมาก
ความถูกต้องของการประมวลผล	4.00	ดี
ความเหมาะสมในการจัดการข้อมูล	4.00	ดี
การจัดการข้อมูลการอนุมัติตารางเรียน	4.00	ดี
การจัดการข้อมูลการอนุมัติตารางสอน	4.00	ดี
การตรวจสอบข้อมูลครูผู้สอน	4.00	ดี
การตรวจสอบข้อมูลการอนุมัติการจัดตารางเรียน	4.00	ดี
การตรวจสอบข้อมูลการอนุมัติการจัดตารางสอน	4.00	ดี
ค่าเฉลี่ย	3.91	ดี

จากตารางที่ 4 ในส่วนการทำงานของผู้บริหารมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) = 3.91 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.00 อยู่ในเกณฑ์ระดับดี เนื่องจากมีผู้บริหารเพียง 1 คนจึงไม่มีการกระจายของข้อมูล

การอภิปรายผล

ระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง ของโรงเรียนไตรแก้ววิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา สุรินทร์ เขต 3 ตำบลกันตวงระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ได้พัฒนาระบบตามหลักการพัฒนา (System development Life Cycle: SDLC) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเดิมแล้วนำระบบที่พัฒนาไปเสริมในการทำงาน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะทำงานแบบคู่ขนานกับระบบเดิม โดยมีการทดสอบระบบ ทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Testing) ทดสอบการทำงานของระบบตามฟังก์ชันการทำงานและมีการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ซึ่งสรุปผลการทดสอบการทำงานของระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และเป็นไปตามขอบเขต

ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง ของโรงเรียนไตรแก้ววิทยาพบว่าอยู่ในระดับดี ทั้ง 3 ส่วนการใช้งานโดย พบว่า ระบบสามารถใช้งานได้ดี สามารถทดแทนการจัดตารางเรียนตารางสอนแบบเดิมคือ จัดด้วยมือลงในกระดาษ ช่วยลดระยะเวลาในการจัดตารางเรียนตารางสอนลงได้ การใช้ทรัพยากรลดลง ไม่ว่าจะเป็น จำนวนคน จำนวนกระดาษ แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานในส่วนของการตรวจสอบแบบอัตโนมัติ คือ เมื่อมีการจัดรายวิชาใดลงในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งแล้ว ไม่สามารถจัดรายวิชาอื่นซ้ำได้ ซึ่งจะมีการแจ้งเตือนในขณะที่มีการใช้ระบบนั้น แต่ยังไม่มีการตรวจสอบแบบอัตโนมัติซึ่งในส่วนนี้ยังเป็นส่วนที่ต้องศึกษาและพัฒนาต่อไป

บทสรุป

ระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนด้วยเทคนิคการลากวาง ของโรงเรียนไตรแก้ววิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา สุรินทร์ เขต 3 ตำบลกันตวงระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ ที่พัฒนาขึ้นจากการทดสอบระบบสามารถใช้งานได้จริง ทุกฟังก์ชัน การทำงานตามขอบเขตที่กำหนดไว้และในการทดลอง ได้ประเมินความพึงพอใจของระบบทั้ง 3 ส่วน คือ เจ้าหน้าที่ พบว่ามีผลการประเมินความพึงพอใจของระบบอยู่ที่ $\bar{X}=4.27$, $S.D. = 0.00$ อยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก หัวหน้ากลุ่มสาระ พบว่ามีผลการประเมินความพึงพอใจของระบบอยู่ที่ $\bar{X} = 4.06$, $S.D. = 0.26$ อยู่ในเกณฑ์ระดับดี และผู้อำนวยการพบว่ามีผลการประเมินความพึงพอใจของระบบอยู่ที่ $\bar{X} = 3.91$, $S.D. = 0.00$ อยู่ในเกณฑ์ระดับดี เนื่องจากมีเจ้าหน้าที่และผู้อำนวยการเพียง 1 คนจึงไม่มีการกระจายของข้อมูล จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของระบบได้ว่าระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนโรงเรียนไตรแก้ววิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา สุรินทร์ เขต 3 ตำบลกันตวงระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ นี้ มีประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในเกณฑ์ระดับดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหาร บุคลากร และนักเรียน โรงเรียนไตรแก้ววิทยา จังหวัดสุรินทร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำการศึกษาระบบการทำงาน รวมทั้งการทดสอบระบบและพัฒนาระบบการจัดตารางเรียนตารางสอนโรงเรียนไตรแก้ววิทยาเป็นอย่างดี และขอบคุณสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสุรินทร์ เขต 3 ตำบลกันตวงระมวล อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ สำหรับข้อมูลโครงสร้างหลักสูตรการศึกษาทำให้ระบบจัดตารางเรียนตารางสอนแบบลากวางเสร็จสมบูรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดประโยชน์อย่างมากให้กับผู้พัฒนา

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐวิทย์ บุญไชย. (2559). การพัฒนาระบบจัดการการสอนสำหรับโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ฝ่ายมัธยม). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- บริษัท เอ็ม.ดี.ซอฟต์แวร์ จำกัด. (2556). Drag and Drop. ค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2560. <https://www.mdsoft.co.th/ความรู้/139-html5-drag-and-drop.html>
- บัญชา ปะสีละเตสัง. (2553). พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วย PHP ร่วมกับ MySQL และ Dreamweaver. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ.
- ปิยวิทย์ คำสุข. (2558). ระบบจัดการการใช้ห้องเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์. (2551). การวิเคราะห์และออกแบบระบบ. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2538). เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์สุวีริยาสาส์น: กรุงเทพฯ.
- ศุภชีพ แหม่มเจริญ. (2560). การพัฒนาระบบจัดการการเรียนการสอน คณะดิจิทัลมีเดีย มหาวิทยาลัยศรีปทุม. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์ (2551). ระบบฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ.

Received: May 22, 2020; Revised: July 13, 2020; Accepted: August 26, 2020

การออกแบบระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการ
ภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

Design augmented reality geographic information system to search for
government positions in Faculty of Industrial Technology Surindra
Rajabhat University

อภินันท์ชัย โจมสติ^{1*}

Apinanthichai Jomsati^{1*}

^{1*}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

^{*}Corresponding Author E-mail Address : Kaitoon2kilo@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและสร้างระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยมีศึกษาสภาพปัญหาและเก็บรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาข้อสรุปที่ชัดเจนในด้านความต้องการระหว่างผู้พัฒนากับผู้ใช้งาน มีการทดสอบประสิทธิภาพใน 2 ขั้นตอน คือ การทดลองในขั้นแอลฟา (Alpha testing) เป็นการทดลองในขั้นต้นเพื่อหาข้อบกพร่องหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นโดยผู้วิจัย และทดลองในขั้นเบต้า (Beta testing) เป็นการทดสอบความสมบูรณ์ของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิค จำนวน 3 คน กลุ่มตัวอย่างในการทดสอบประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จำนวน 30 คน โดยวิธีการคัดเลือกอย่างง่าย การประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จากกลุ่มตัวอย่างในการทดลองจำนวน 30 คน โดยผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในภาพรวม พบว่า มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{x}=3.76$; S.D.=0.48) สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ สามารถใช้ในการแนะนำเส้นทางสำหรับการติดต่อประสานงานหรืองานอื่นกับส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้จริง โดยการนำกราฟิกรูปแบบ 3 มิติเข้ามาช่วยในการนำเสนอให้เห็นภาพที่ชัดเจนและมีความน่าสนใจแก่ผู้ใช้งานระบบได้

คำสำคัญ: ระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริง การนำทางค้นหา ประสิทธิภาพระบบ

Abstract

The purposes of this research were 1) to design and build augmented reality geographic information system to search for government positions within the Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University 2) to find an effective augmented reality geographic information system to search for government positions within the Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University by studying problem conditions and collect data analysis To find clear conclusions about the needs between developers and users And analyze various data related to the system There are two stages of performance testing. Alpha testing is a preliminary test for defects, or problems that may occur by the researcher and tested in Beta Testing of system integrity by 3 technical experts. The samples in the test assess the efficiency of the augmented reality geographic information system to search for governmental positions within the Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, consisting of 30 people by simple selection method. Assessment of the effectiveness of augmented reality geographic information systems in the search for governmental positions within the Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University From a sample of 30 people in the experiment. The results of the augmented reality geographic information system performance evaluation were used to search for government positions within the Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University in general, found that it has a good level of performance ($\bar{x}$ = 3.76; S.D. = 0.48). Summary of the evaluation of augmented reality geographic information system efficiency in the search for governmental positions within the Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University Can be used to suggest routes for communication or other government agencies within the Faculty of Industrial Technology By bringing 3D graphics to help present a clear picture And is interesting to users of the system as well.

Keywords: Augmented reality geographic information system, Navigation search, Efficiency system

บทนำ

เทคโนโลยีสารสนเทศในโลกปัจจุบันมีการพัฒนามากขึ้น จนทำให้เทคโนโลยีมีบทบาทกับวิถีชีวิต และสังคมมนุษย์ มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนในการตัดสินใจในการดำเนินชีวิตด้วย โดยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ หรือ Geo-Informatics เป็นสารสนเทศที่มีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน จากยุทธศาสตร์สำคัญของท่านนายกรัฐมนตรีของประเทศไทยได้ เน้นในเรื่องการพัฒนาสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนด้วยการสร้าง ความเข้มแข็งจากภายใน การต่อยอดเทคโนโลยีพื้นฐานด้วยวิทยาการ ความคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการวิจัยพัฒนาที่มีมูลค่าสูง รวมถึงการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในวงการการศึกษายังมีความสำคัญยิ่ง การเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ การสื่อสาร และประสานงานราชการในปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาเกี่ยวข้องผ่านอุปกรณ์เทคโนโลยีสมัยใหม่ ๆ โดยเฉพาะเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ตโฟน ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารได้ผ่านทางแอปพลิเคชันต่าง ๆ ทั้งที่ให้ใช้ได้ฟรี และต้องซื้อเพื่อติดตั้งบนอุปกรณ์

การติดต่อกับราชการในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ กรณีผู้ที่อยู่ในหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยอาจไม่เป็นปัญหา หากแต่ถ้าสำหรับผู้ที่อยู่ภายนอกมหาวิทยาลัย ประชาชน นักเรียน ที่ต้องการเข้ามาใช้บริการในหน่วยงานย่อย ๆ ภายในมหาวิทยาลัยอาจเป็นเรื่องยากในการเดินทางเพื่อเข้ารับบริการ ซึ่งเดิมมหาวิทยาลัยได้จัดทำแผนที่ติดตั้งไว้ในหลายจุดภายในมหาวิทยาลัย แต่เนื่องจากเป็นแผนที่แบบ 2 มิติ จึงยังคงพบปัญหานี้อยู่เสมอ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ เป็นคณะที่เปิดให้มีการศึกษาในด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อยู่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ประกอบไปด้วยสาขาวิชาทั้งหมด 8 สาขาที่เปิดสอน ได้แก่ สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสถาปัตยกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์และเทคโนโลยี และยังมีสำนักงานคณบดี ฝ่ายงานต่าง ๆ ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งไม่ได้อยู่รวมกัน และยังไม่มีแผนที่บอกตำแหน่งส่วนราชการดังกล่าวทำให้ผู้มาติดต่อราชการ นักเรียน นักศึกษาต้องการการให้บริการเกิดปัญหา หรือมีความไม่สะดวกในการเข้าติดต่อ เนื่องจากยังขาดสื่อในการแนะนำที่ชัดเจน รวมถึงรายละเอียดในการนำทางให้ไปยังตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยังไม่มีเพื่ออำนวยความสะดวกในลักษณะดังกล่าวนี้

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข ออกแบบ และสร้างระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ให้เกิดขึ้น เพื่อเกิดประโยชน์ในการดำเนินกิจกรรมทางการศึกษา การเข้าถึงบริการด้านต่าง ๆ ของส่วนงานราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ให้ประสบผลสำเร็จมากยิ่งขึ้น เป็นสื่อระบบภูมิสารสนเทศที่สามารถอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ที่มาติดต่อราชการ นักเรียน นักศึกษาได้ในโอกาสต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

การออกแบบ และสร้างระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยการออกแบบส่วนประกอบที่เป็นโลกเสมือน 3 มิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปกราฟิก 3 มิติ และสร้างการโต้ตอบระหว่างผู้ใช้กับระบบ ซึ่งระบบที่ได้เป็นลักษณะโปรแกรมขนาดเล็กที่มีความจำเป็นต้องติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Microsoft windows) และสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) มีหน้าต่างแสดงผลกราฟิก 3 มิติ แสดงรายละเอียดเส้นทางเดินทางไปยังส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีหน้าต่างแสดงในส่วนข้อมูลบุคลากรภายในส่วนราชการ ข้อมูลรูปภาพบุคลากรสำหรับการเข้าระบบเพื่อใช้งานโดยการเลือกเป้าหมายเพื่อการค้นหา และตำแหน่งที่ผู้ใช้งานระบบกำลังใช้งานอยู่ เพื่อให้ผู้ใช้งานระบบได้ศึกษาเส้นทางจากระบบที่แนะนำมาให้เห็นเบื้องต้น โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

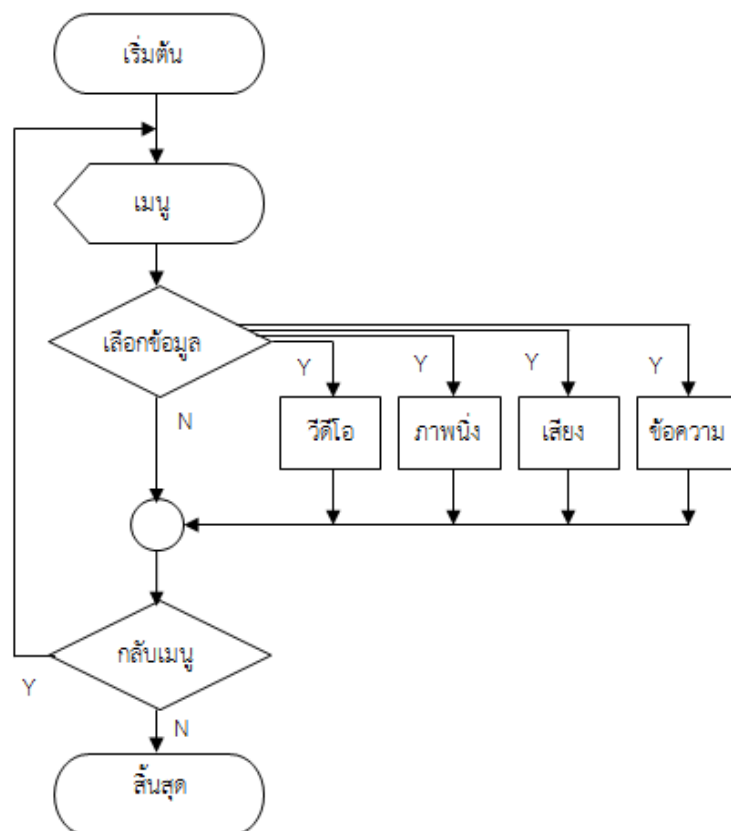
1. การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีใน การทำงานของระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ และวิธีการค้นหาเส้นทางของผู้มาติดต่อราชการที่เหมาะสมที่สุด

2. การรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับความต้องการของผู้มาติดต่อราชการ เพื่อหาข้อสรุปที่ชัดเจนในด้านความต้องการระหว่างผู้พัฒนากับผู้ใช้งาน และวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ เช่น ตำแหน่งที่ตั้ง ข้อมูลเบื้องต้นของส่วนราชการ บุคลากรที่ประจำส่วนราชการ เบอร์โทรศัพท์

3. กำหนดความคิดรวบยอด ในการออกแบบระบบการทำงานของระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ และทำการออกแบบส่วนประกอบ

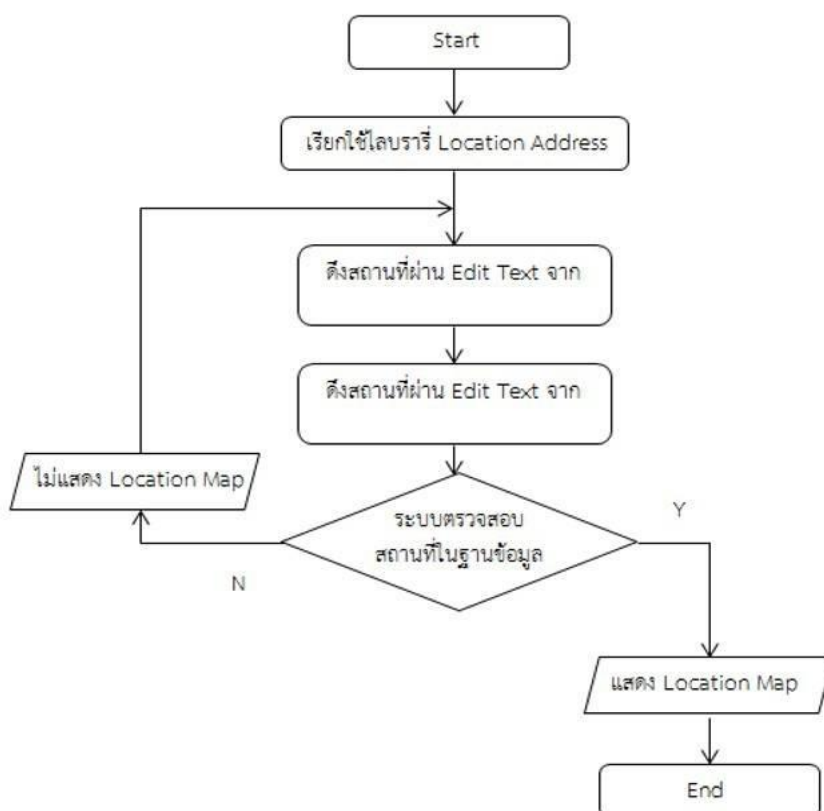
ระบบตามหลักการออกแบบกราฟิก (อภินันท์ชัย, 2561) หลักการใช้เส้นกริด (Grid) ในการออกแบบกราฟิก ทำให้หน้าตา ระบบมีระเบียบ มีความสวยงาม

4. การพัฒนาระบบ การดำเนินการพัฒนาระบบการค้นหาเส้นทางโดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปกราฟิก 3 มิติ โปรแกรมสำเร็จรูปตัดต่อวิดีโอ โปรแกรมสำเร็จรูปสร้างการโต้ตอบกับผู้ใช้ และโปรแกรมสำเร็จรูปตัดต่อ ตกแต่งภาพนิ่ง เป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบ เขียนคำสั่งควบคุมฟังก์ชันด้วยภาษาจาวา ออกแบบหน้าจออินเตอร์เฟส ออกแบบผังงานการทำงานของระบบ โดยเน้นความง่าย และสะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้ระบบ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังการทำงานของระบบ

ในการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยจากผลการสำรวจความต้องการของผู้ใช้ระบบ ผู้วิจัยพบว่า ผู้ใช้ต้องการให้มีกำหนดจุดเริ่มต้นในการค้นหาจากตำแหน่งส่วนราชการหลักของมหาวิทยาลัย คือ อาคาร 31 (อาคารช่าง) คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะครุศาสตร์ คณะวิทยาการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร และต้องการให้มีการกำหนดตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะ โดยกำหนดแยกเป็น สำนักงานคณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสถาปัตยกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ และสาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์และเทคโนโลยี โดยระบบมีขั้นตอนในการทำงาน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังการทำงานค้นหาตำแหน่งส่วนราชการ

5. การทดสอบระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

5.1 การทดลองในขั้นแอลฟา (Alpha testing) เป็นการทดลองในขั้นต้นเพื่อหาข้อบกพร่อง หรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นของการพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ทดลองขั้นต้นโดยผู้วิจัย

5.2 การทดลองในขั้นเบต้า (Beta testing) เป็นการทดสอบความสมบูรณ์ของระบบหลังจากการได้รับการแก้ไขระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่สร้างเสร็จแล้ว โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิค จำนวน 3 ท่าน โดยทดสอบระบบ และตอบแบบประเมินความสมบูรณ์ของระบบ โดยผู้ประเมินระบบมีความเชี่ยวชาญทางเทคนิค ดังต่อไปนี้

5.2.1 ผู้มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยี และจัดการระบบสารสนเทศ

5.2.2 ผู้มีความเชี่ยวชาญด้านการเขียนโปรแกรม การวิเคราะห์ระบบ

5.2.3 ผู้มีความเชี่ยวชาญด้านสื่อ และการออกแบบ 3 มิติ

6. ขั้นตอนประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยการสอบถามผู้ใช้งานระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ซึ่งในการสอบถามเพื่อหาประสิทธิภาพระบบใช้กลุ่มตัวอย่างในการทดลองใช้งานระบบ จำนวน 30 คน ด้วยการคัดเลือกการสุ่มอย่างง่าย โดยการกำหนดรูปแบบของการประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ (บุญชม, 2535) แบ่งเป็น 3 ด้านการประเมิน คือ ด้านการนำเสนอข้อมูลส่วนราชการของระบบ ด้านองค์ประกอบ 3 มิติ และสวยงามของระบบ และด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ

7. รวบรวมผลการวิจัย วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย
8. สรุปผล และอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัย

ผลการออกแบบระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยผู้วิจัยออกแบบเส้นทาง และตำแหน่งส่วนราชการจากแผนที่รูปแบบที่เป็น 2 มิติ เนื่องจากผู้ใช้งานเคยในการใช้งาน จากนั้นออกแบบให้เป็นในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งผู้ใช้งานจะเห็นรายละเอียดของส่วนต่างๆ ที่เสมือนจริงเมื่อใช้งาน ระบบสามารถใช้งานได้ง่าย เพื่อการนำทางสู่เป้าหมายที่ผู้ใช้งานต้องการได้ชัดเจนในการนำทาง ผู้วิจัยสร้างโมเดล 3 มิติ และการกำหนดวัสดุพื้นผิวโมเดลด้วยระบบ map UVW โดยการใส่พื้นผิว (Texture) ด้วยวิธีการ unwrap UVW ในโมเดลออกมา (คชายุทธ, 2551) ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง มีความสมจริง การสร้างเส้นทางการคมนาคมภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อาคารโรงฝึกงาน สำนักงานสาขาวิชาภายในคณะ มีหลักการกำหนดมุมกล้อง และให้แสงกับโมเดล ด้วยหลักการ Three-point lighting (Kubanov, 2016) ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่มีมิติ ส่วนราชการที่ผู้ใช้งานระบบสามารถเข้าถึงข้อมูลรายละเอียดเบื้องต้นของส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ซึ่งได้นำระบบการโต้ตอบกับผู้ใช้งานช่วยในการสร้างการนำทาง และพัฒนาให้สามารถติดตั้งใช้งานได้บนคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Microsoft windows) และสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์ (Android)

สำหรับการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ผู้วิจัยทำการติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบไว้พร้อมใช้งาน ณ ตำแหน่งเริ่มต้นการค้นหา หรือให้ติดตั้งระบบบนสมาร์ตโฟนของผู้ทดลอง แล้วให้ผู้ทดลองที่ได้รับการคัดเลือกใช้งานระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ แล้วเดินทางตามเส้นทางที่ระบบนำทางให้จนถึงส่วนราชการที่ค้นหา จึงตอบแบบประเมินผลประสิทธิภาพระบบ โดยหน้าหลักในการใช้งานระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ แสดงดังรูปที่ 3



(ก) ระบบบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์



(ข) ระบบบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

รูปที่ 3 ระบบภูมิสารสนเทศ

การแสดงผลการค้นหาคำแหน่งส่วนราชการของระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาคำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ระบบจะแสดงผลใน 2 ส่วนด้วยกัน นั่นคือการแสดงผลภาพตำแหน่งที่ทำการค้นหาในรูปแบบกราฟิก 3 มิติ และการแสดงผลตำแหน่งการค้นหาในรูปแบบแผนที่แสดงเส้นทาง 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 4



(ก) ระบบบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์



(ข) ระบบบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

รูปที่ 4 สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

ผลประสิทธิภาพของระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาคำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ได้แบ่งการประเมินไว้ 3 ด้าน ซึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาคำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในภาพรวม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย
1. ด้านการนำเสนอข้อมูลส่วนราชการของระบบ	3.77	0.45	ระดับดี
2. ด้านองค์ประกอบ 3 มิติ และสวยงามของระบบ	3.83	0.40	ระดับดี
3. ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ	3.67	0.58	ระดับดี
ค่าเฉลี่ย	3.76	0.48	ระดับดี

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาคำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในภาพรวม พบว่า มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{x}=3.76$: S.D.=0.48) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการนำเสนอข้อมูลส่วนราชการของระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{x}=3.77$: S.D.=0.45) ด้านองค์ประกอบ 3 มิติ และสวยงามของระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{x}=3.83$: S.D.=0.40) ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{x}=3.67$: S.D.=0.58)

การอภิปรายผล

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เป็นส่วนราชการหนึ่งในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยมีการจัดการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี 4 หลักสูตร 8 สาขาวิชา ประกอบไปด้วย 1) สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า 2) สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล 3) สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 4) สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสถาปัตยกรรม 5) สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต 6) สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ 7) สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี และ 8) สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์และเทคโนโลยี ซึ่งในการติดต่อประสานงานระหว่างส่วนราชการ หรือการติดต่อเข้ารับบริการทางการศึกษาจึงมีความสำคัญมาก โดยระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ มีการออกแบบผังการทำงานของระบบภูมิสารสนเทศเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานระบบให้มากที่สุด มีการออกแบบผังส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในรูปแบบกราฟิก 3 มิติ เพื่อจำลองให้ผู้ใช้งานระบบได้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในการทดลองเพื่อการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ในตำแหน่งจุดเริ่มต้นของระบบ หรือให้ผู้ทดลองติดตั้งระบบบนสมาร์ตโฟนแล้วให้ผู้ใช้งานที่ต้องการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ แล้วเดินทางไปยังส่วนราชการนั้น ๆ จึงทำการเก็บผลการประเมินซึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในภาพรวมพบว่า มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ผู้ใช้งานระบบสามารถเลือกเส้นทาง และเดินทางตามเส้นทางที่ระบบนำเสนอไปยังส่วนราชการที่ต้องการได้ถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับ ปุญญรัตน์ และคณะ (2557) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ สำหรับการเดินทางในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยผู้ใช้งานสามารถค้นหาเส้นทางไปยังจุดหมายที่ผู้ใช้งานต้องการได้ เมื่อพิจารณาในรายด้าน ผู้วิจัยพบว่า ในด้านที่ 2) ด้านองค์ประกอบ 3 มิติ และสวยงามของระบบ มีผลค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x}=3.83$: S.D.=0.40) ทั้งนี้เพราะลักษณะการแสดงผลที่เป็น 3 มิติ ทำให้ระบบสามารถแสดงลักษณะเส้นทาง สิ่งแวดล้อม สถานที่ต่าง ๆ ใกล้เคียงสถานที่จริง จึงทำให้ผู้ใช้เข้าใจเส้นทางมาก สอดคล้องกับ มงคล (2545) ได้วิจัยเรื่อง การศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ โดยผลการวิจัย พบว่าการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานออกแบบ สามารถช่วยให้ช่วยให้เจ้าของโครงการผลการออกแบบได้อย่างชัดเจนก่อนการก่อสร้าง ช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบระหว่างก่อสร้าง ผู้เข้าร่วมงานมองเห็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างก่อสร้างได้อย่างชัดเจน สามารถใช้ข้อมูลแบบ 3 มิติไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นได้ และผู้วิจัยพบว่า ในด้านที่ 3) ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ มีผลค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ อยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{x}=3.67$: S.D.=0.58) ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานระบบได้ แต่อาจเพราะระบบไม่สามารถใช้จุดเริ่มต้นในการค้นหาจากตำแหน่งของผู้ใช้ นอกจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ จึงมีผลการประเมินประสิทธิภาพในระดับต่ำกว่าด้านอื่น สอดคล้องกับ เสกศักดิ์ และภัทรา (2559) ที่ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบสืบค้นเชิงแผนที่โรงเรียนมัธยมศึกษาในจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งมีผลประสิทธิภาพของระบบในด้านระบบมีประโยชน์ต่อการใช้งาน มีผลค่าเฉลี่ยต่ำกว่าด้านอื่น ๆ เช่นกัน โดยมีข้อเสนอแนะว่า ควรมีการศึกษาการค้นหาข้อมูลในรูปแบบอื่น ๆ ที่เอื้อต่อการค้นหาข้อมูลของผู้ใช้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงถือว่า ระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ มีความเหมาะสมในการให้บริการนำทาง และเพื่อเป็นการเผยแพร่ข้อมูลคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในการให้บริการด้านอื่นอีกในลำดับต่อไป

บทสรุป

การประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จากกลุ่มตัวอย่างในการทดลองจำนวน 30 คน โดยผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในภาพรวม พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{X}=3.76 : S.D.=0.48$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการนำเสนอข้อมูลส่วนราชการของระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{X}=3.77 : S.D.=0.45$) ซึ่งมีข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อผู้ใช้ระบบในการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการ ด้านองค์ประกอบ 3 มิติ และสวยงามของระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{X}=3.83 : S.D.=0.40$) และมีผลค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่สูงที่สุด ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ($\bar{X}=3.67 : S.D.=0.58$) เนื่องจากข้อจำกัดของระบบไม่สามารถค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ และโดยสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ สามารถนำไปใช้ในการแนะนำเส้นทางสำหรับการติดต่อประสานงาน หรืองานอื่นกับส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้จริง โดยการนำกราฟิกรูปแบบ 3 มิติเข้ามาช่วยในการนำเสนอให้เห็นภาพที่ชัดเจน และมีความน่าสนใจแก่ผู้ใช้งานระบบได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์บัญชา ชื่นจิตคณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลไฟล์โมเดลอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และรองศาสตราจารย์ยุพดี สีนมาก ที่ได้ให้คำปรึกษาต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าของเอกสาร บทความ หนังสือ และเว็บไซต์ ทุกท่านที่ผู้วิจัยใช้ในการสืบค้นข้อมูลเพื่องานวิจัยในครั้งนี้ ในบรรณานุกรมท้ายเล่มทุกท่าน

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย อาจารย์ทรงศักดิ์ มีสิทธิ นายโกสิน สนนนาม นายวิกรม สุนทรารักษ์ ที่ได้ อนุเคราะห์ข้อมูลในการพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเสมือนจริงนำทางการค้นหาตำแหน่งส่วนราชการภายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

คชาฤทธิ์ ขาวบริสุทธิ์. (มปป). แนวคิดการสร้างโมเดล และทำ texture ด้วยการกาง uv ด้วยคำสั่ง unwrap.

ใน CG. PLUS. คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ จำกัด. กรุงเทพฯ.

ธานีล ม่วงพูล และอวยไชย อินทรสมบัติ. (2559). การทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชันสื่อการสอน

ศัพท์ภาษาอังกฤษ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. ใน การประชุม

วิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3 “ก้าวสู่ทศวรรษที่ 2: บูรณาการงานวิจัย ไของค์ความรู้ สู่ความยั่งยืน” 17 มิถุนายน 2559. วิทยาลัยนครราชสีมา. นครราชสีมา. 31-37.

- บุญญรัตน์ บุญญา, พงษ์พิพัฒน์ สายทอง และมนัสวี แก่นอำพรพันธ์. (2557). การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ สำหรับการเดินทางในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 7(2): 45-54.
- มงคล ฉันทไพศาล (2545). การศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสกศักดิ์ ปราบพาลา และภัทรา นามเมือง. (2559). การพัฒนาระบบสืบค้นเชิงแผนที่โรงเรียนมัธยมศึกษาในจังหวัดชัยภูมิ. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม. 3(2): 81-87.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2535). การวิจัยพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์สุวีริยาสาส์น: กรุงเทพฯ.
- อภิรักษ์ชัย โจมสติ. (2561). การออกแบบสิ่งพิมพ์เพื่องานประชาสัมพันธ์ด้วย Adobe Photoshop CS6. เอกสารประกอบการสอน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- Kubanova A. (2016). The process of creating a 3D model of a hotel interior. B.Sc. Thesis Information Technology. MAMK University of Applied Sciences.

Received: June 8, 2020; Revised: June 26, 2020; Accepted: August 26, 2020

ผลกระทบของจำนวนใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

The effects of blade number on the efficiency of undershot water wheel

ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม^{1*} พิพัฒน์ พลวัน¹ พัฒนา พรณสน¹ และภากร เกรรัมย์¹Piyawat Sritram^{1*}, Pipat Ponlwan¹, Patana Pannason¹ and Phakorn Keram¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : sritram_1111@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลกระทบของจำนวนใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำที่ระดับความสูงของน้ำต่ำ โดยการศึกษาเปรียบเทียบจำนวนใบพัดที่มีจำนวนใบพัดที่แตกต่างกัน เริ่มจากจำนวนใบพัดที่ 12 ใบพัด โดยทำการเพิ่มจำนวนใบพัดทีละ 2 ใบพัด สูงสุดที่จำนวนใบพัดที่ 18 ใบพัด ซึ่งทำการทดลองและวิเคราะห์หาแรงบิด กำลังที่ได้และประสิทธิภาพ ณ อัตราการไหลของน้ำที่ 960 ลิตร/นาที ที่ความสูงของน้ำในช่วง 40 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่า การออกแบบกังหันน้ำด้วยการเพิ่มจำนวนใบพัดให้เพิ่มมากขึ้น สามารถทำให้ค่าแรงบิดที่เพลา กังหันและกำลังงานทางกลที่ออกมาเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพทางกลที่ได้ของกังหันน้ำให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนใบพัดของกังหันที่เพิ่มขึ้น กังหันน้ำชนิด 18 ใบพัด มีค่าแรงบิดมากที่สุดที่ 14.66 นิวตันเมตร มีค่ากำลังทางกลสูงที่สุดที่ 33.94 วัตต์ และมีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ค่า 50.06 %

คำสำคัญ: กังหันน้ำ จำนวนใบพัด ประสิทธิภาพ แรงบิด

Abstract

The objective of this research is to study the effects of the number of blade on the efficiency of the undershot water wheel at a low water level. The research has compared effect of different number of blades, starting from 12-blades propeller and increasing every 2 blades, therefore, the maximum number of propellers is at 18 blades. The experiments were conducted to analyze for the torque, power output, and efficiency at the water flow rate of 960 liters/minute, while the height of water about 40 centimeters. The experiment results found that increasing number of water turbine blades, can increase the torque of the turbine shaft and the mechanical power output. The mechanical efficiency of the turbine will increase with number of turbine blades. The water turbine with 18 blades

has maximum torque of 14.66 Nm, highest mechanical power of 33.94 Watts and highest efficiency at 50.06%.

Keywords: Water turbine, Number of blades, Efficiency, Torque

บทนำ

การใช้พลังงานของโลกในสภาวะปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงที่ได้จากฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก (International Energy Agency, 2016) แต่เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านลบของเชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นมลภาวะต่ออากาศ ด้วยสาเหตุนี้จึงนำไปสู่การใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนและปลอดภัย โดยมีการแสวงหาแหล่งพลังงานที่สะอาดประหยัดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Gautam et al., 2016) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำเป็นแหล่งผลิตพลังงานที่สะอาด ราคาถูกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นพลังงานที่ยั่งยืนอย่างมีนัยสำคัญ ต่ออนาคต (Date and Aliakbar, 2009) ไฟฟ้าจากพลังน้ำถูกใช้งานมานานมากกว่าร้อยปี และไม่อาจปฏิเสธได้ว่าน้ำเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีประสิทธิภาพสูงและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Islam et al., 2013) ไฟฟ้าพลังน้ำคิดเป็น 19% ของกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดทั่วโลก ภายในสิ้นปี 1999 ซึ่งผลิต 2,650 Terawatt hour หรือ TWh (Williamson et al., 2014) และมีการผลิตอย่างต่อเนื่องเกือบ 3,100 TWh ในต้นปี 2009 และคาดว่าจะถึง 3,606 TWh ในปี 2020 (World Energy Council, 2001) ไฟฟ้าพลังน้ำเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เป็นที่ต้องการมากที่สุด พร้อมกับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม นี่เป็นเพราะอย่างน้อย 71% ของโลกปกคลุมด้วยผิวน้ำ นอกจากนั้นมันยังเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานที่ถูกที่สุดที่มีการปล่อยคาร์บอนเป็นศูนย์ (Cleveland, 2013) ตามโครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (United Nation Development Project, UNDP) ประชากร 1.4 พันล้านคนยังคงอยู่โดยไม่มีไฟฟ้า (International Energy Agency, 2017) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ยากจนในประเทศกำลังพัฒนา (Development program (UNDP) report available, 2012) โดยทั่วไปจะต้องใช้เงินทุนจำนวนมากในการผลิตพลังงานที่เพียงพอ สถานีไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กกระตือรือร้นของน้ำต่ำเป็นวิธีที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทห่างไกลและที่เป็นภูเขา (Khan et al., 2008; Ghosh and Prelas, 2011; Shahram and Ahmad, 2008; Banos et al., 2011) การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กสามารถใช้เพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอสำหรับบ้าน ฟาร์มและสวน หรือสำหรับหมู่บ้านเล็ก ๆ (Paish, 2002) ข้อได้เปรียบที่สำคัญของระบบ Micro power ที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำ คือสามารถคาดการณ์ได้หากมีน้ำเพียงพอ (Mohibullah et al., 2014) และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงบวก (Teuteberg, 2010) ดังนั้นระบบนี้จึงกลายเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาระบบน้ำในอนาคต ในหลายประเทศอย่างในทวีปยุโรป ซึ่งสถานีผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ได้ถูกนำไปใช้ได้จริง แต่กลับส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Paish, 2002; Yaakob et al., 2014) ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าจากแม่น้ำหรือแหล่งน้ำขนาดเล็กที่มีน้ำไหลตลอดทั้งปี จึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำขนาดเล็กมีแนวทางการผลิตอยู่ 2 แนวทาง คือวิธีการบายพาส (Bypass Method) คือการเบี่ยงน้ำจากคลองส่งน้ำหลักเข้ามาสู่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้น และวิธีการติดตั้งในคลอง (Open Canal Method) คือการติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขวางคลองส่งน้ำโดยตรง โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างใดๆ เพิ่มเติม การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังน้ำ โดยใช้วิธีการบายพาสมีข้อดีคือ เมื่อเราทำการผลิตไฟฟ้าเสร็จแล้ว น้ำก็จะกลับเข้าสู่แหล่งน้ำเดิม โดยสามารถนำน้ำหลังจากการผลิตไฟฟ้าไปใช้งานในด้านอื่นๆ ได้ตามที่ต้องการ (Wichian and Suntivarakorn, 2016).

ผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานว่า การเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำสามารถทำได้ ด้วยการให้จำนวนใบพัดของกังหันน้ำเพิ่มจำนวนมากขึ้นจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบได้ โดยมี การศึกษาการเพิ่มจำนวนใบพัดของกังหันน้ำชนิดใบพัดในบ่อน้ำวน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานน้ำวนอิสระ (Suntivarakorn et al., 2016; Sritram and Suntivarakorn, 2019) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มี ความชัดเจนในการศึกษาจำนวนใบพัดที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพที่จะช่วยให้กังหันน้ำชนิดหลุกต่ำ สามารถรับ พลังงานจากน้ำมากขึ้น และสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันน้ำได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจในการเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ด้วยการศึกษาลักษณะของจำนวน ใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการ

การหาแรงบิดกังหันน้ำ (Torque of water turbine)

วิธีการในการหาแรงบิดของกังหันน้ำนั้น จะประยุกต์ใช้หลักการไดนาโมมิเตอร์แบบดูดซับ (Absorption dynamometer) ชนิดพรอนีเบรก (Prony brake) โดยการติดตั้งชุดวัดแรงบิดพรอนีเบรกบริเวณเพลากังหันน้ำ เพลา ที่ติดตั้งพรอนีเบรกจะเกิดแรงบิดในทิศตรงกันข้ามกับพรอนีเบรกทำให้สามารถอ่านแรงได้ โดยสูตรคำนวณหาแรงบิดที่ เพลากังหันน้ำกระทำกับพรอนีเบรก สามารถหาได้จากสมการ (Sritram et al., 2015; Suntivarakorn et al., 2016; Sritram and Suntivarakorn, 2017)

$$\tau = \omega L \quad (1)$$

เมื่อ τ = แรงบิดกังหันน้ำ (N.m)

ω = แรงดึงที่พรอนีเบรกกระทำกับตาชั่งสปริง (N)

การคำนวณกำลังที่ได้ (Power output)

จากเพลากังหันน้ำสามารถหาได้จากสมการ (Sritram et al., 2015; Suntivarakorn et al., 2016; Sritram and Suntivarakorn, 2017)

$$P = \frac{2\pi \tau N}{60} \quad (2)$$

เมื่อ P = กำลังที่ได้จากเพลากังหันน้ำ (W)

τ = แรงบิดกังหันน้ำ (N.m)

N = รอบการหมุนของเพลากังหันน้ำ (rpm)

การคำนวณหาประสิทธิภาพ (Efficiency)

เป็นการคำนวณหาประสิทธิภาพที่ได้จริงของกังหันน้ำ (Actual efficiency) โดยจะคำนวณอัตราส่วนระหว่างกำลังที่ได้ จากเพลากังหันน้ำต่อกำลังที่ให้จากน้ำที่กระทบกับกังหันน้ำ สามารถหาได้จากสมการ (Sritram et al., 2015; Suntivarakorn et al., 2016; Sritram and Suntivarakorn, 2017)

$$\eta = \frac{P}{\rho g Q H} \quad (3)$$

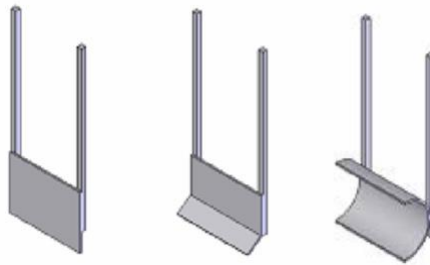
เมื่อ η = ประสิทธิภาพโดยรวม ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (Kg/m³)

g = ค่าความโน้มถ่วง (m/s²) Q = อัตราการไหลของน้ำ (m³/s)

H = เหนื่อน้ำ (m)

กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (Undershot water wheel)

ในงานวิจัยได้ศึกษาลักษณะการออกแบบใบพัดแบบต่าง ๆ จากผลการศึกษาการออกแบบและสร้างแบบจำลองกังหันน้ำขนาดเล็กแบบหลุกต่ำ โดยมีใบพัดกังหันน้ำที่ใช้ในการทดลอง 3 ลักษณะ คือ 1. กังหันที่มีใบพัดลักษณะแบน 2. กังหันที่มีใบพัดลักษณะแบนปลายหักมุม 3. กังหันที่มีใบพัดลักษณะโค้ง ดังรูปที่ 1 จากผลการศึกษาพบว่า กังหันที่มีลักษณะใบแบบโค้ง สามารถให้แรงบิดได้มากกว่ากังหันน้ำที่มีลักษณะใบอีก 2 แบบ และยังให้ค่าพลังงานที่ได้สูงกว่ากังหันน้ำที่มีลักษณะ ใบแบน และใบแบนปลายหักมุม คิดเป็น 11.76 % และ 20.58% ตามลำดับ (อัศวิน, 2552).



(ก) แบบใบพัดกังหันน้ำที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ลักษณะ



(ข) กังหันที่มีใบพัดลักษณะแบน



(ค) กังหันที่มีใบพัดลักษณะแบนปลายหักมุม

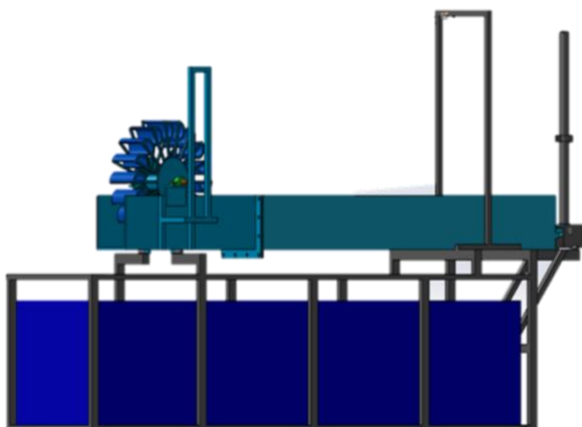


(ง) กังหันที่มีใบพัดลักษณะโค้ง

รูปที่ 1 ใบพัดกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (อัศวิน, 2552).

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์ทดลองประกอบไปด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ และ ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำวนอิสระ โดยมีขนาดของรางน้ำไหลเข้าที่เท่ากันคือรางน้ำขนาด $0.25 \times 0.25 \times 2$ เมตร



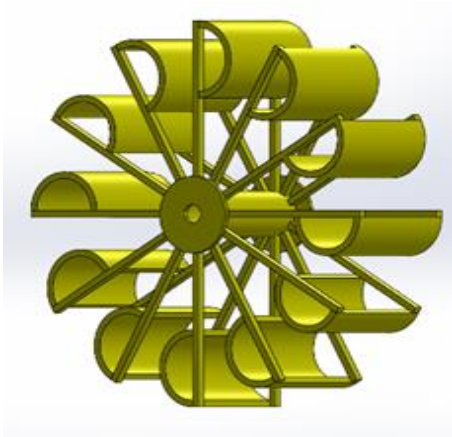
(ก) การออกแบบชุดทดลองกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ
รูปที่ 2 ชุดทดลองกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ



(ข) ชุดทดลองกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ประกอบไปด้วย

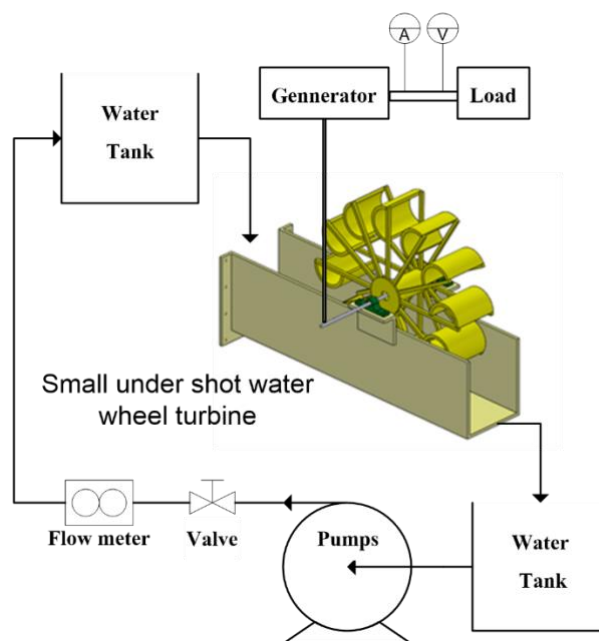
1. ใช้กังหันน้ำหลุกต่ำที่มีลักษณะใบพัดแบบโค้ง ทั้ง 4 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 มีจำนวน 12 ใบพัด ชนิดที่ 2 มีจำนวน 14 ใบพัด ชนิดที่ 3 มีจำนวน 16 ใบพัด และ ชนิดที่ 4 มีจำนวน 18 ใบพัด เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.6 เมตร กว้าง 0.18 เมตร
2. รางน้ำไหลขนาด $0.25 \times 0.25 \times 2$ เมตร
3. อ่างพักน้ำด้านล่าง
4. ปัมป์สูบน้ำสามารถจ่ายอัตราไหลการไหลของน้ำได้สูงสุดที่ 960 ลิตรต่อนาที



(ก) แบบกังหันน้ำหลุกต่ำ



(ข) กังหันน้ำหลุกต่ำ

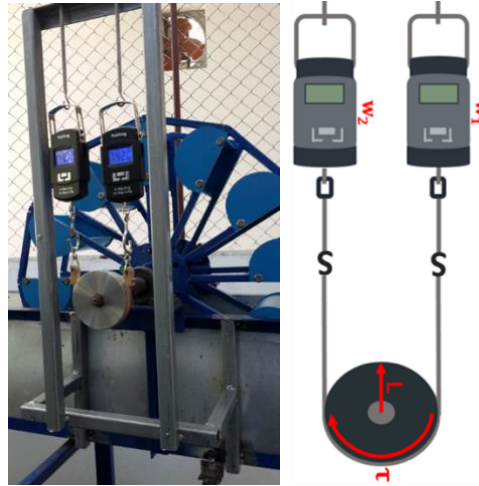


(ค) ระบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

รูปที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

เครื่องวัดแรงบิดโพรนีเบรก (Prony brake)

โพรนีเบรกเป็นอุปกรณ์เพื่อทดสอบหาค่าแรงบิด โดยใช้หลักไดนามิเตอร์ ประกอบไปด้วยตราซังสปริง (Electric pocket scale) มู่เลย์ (Pulley) ผ้าเบรก สกรูปรับความฝืดเพื่อลดหรือเพิ่มความฝืดดังรูปที่ 3 หลักการทำงานของโพรนีเบรกคือเพลาของกังหันน้ำที่ติดตั้งโพรนีเบรกจะเกิดแรงบิดในทิศทางตรงกันข้ามกับโพรนีเบรกเมื่อเกิดแรงบิดทำให้เกิดแรงดึงตามทิศทางแรงบิดกับตาซังสปริง ทำให้สามารถอ่านค่าแรงได้ (Sritram and Suntivarakorn, 2017).



รูปที่ 4 เครื่องวัดแรงบิดชนิดไดนาโมมิเตอร์แบบพรอนีเบรก

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic flow meter)

ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอัลตราโซนิก เพื่อที่จะสามารถปรับอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าสู่กังหันน้ำได้



รูปที่ 5 เครื่องวัดอัตราการไหล

เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

เครื่องวัดความเร็วรอบใช้วัดความเร็วรอบของเพลากังหันน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความฝืดที่พรอนีเบรก มีหน่วยวัดเป็น rpm หรือ รอบต่อนาที



รูปที่ 6 เครื่องวัดความเร็วรอบ

วิธีการทดลอง

มีการศึกษาหลักการและวิธีการทดลองจากงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพกังหันน้ำ (Sritram and Suntivarakorn, 2017; Sritram and Suntivarakorn, 2019) และได้อ้างอิงวิธีการทดลองโดยมาประยุกต์ใช้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำชนิด 12 ใบพัด เข้าชุดทดลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ บ่อน้ำเข้าไปยังระบบ โดยปั้มน้ำสามารถจ่ายค่าอัตราการไหลสูงสุดวัดได้ที่ 960 ลิตรต่อนาที
2. ทำการวัดความเร็วรอบของเพลากังหันน้ำในขณะที่ไม่มีแรงกระทำจากโพรนิเบรก เพื่อวัดค่าความเร็วรอบของกังหันเมื่อไม่มีแรงเสียดทาน เพื่อหาความเร็วสูงสุด
3. เพิ่มแรงกระทำจากโพรนิเบรกที่มีต่อเพลากังหันน้ำโดยการปรับสกรูโพรนิเบรก ให้เพลากังหันน้ำมีความเร็วรอบลดลงทีละ 10 rpm แล้ววัดค่าแรงดึงที่โพรนิเบรกกระทำกับตาชั่งสปริง จนกระทั่งเพลากังหันน้ำหยุดหมุน เพื่อหาค่าที่ได้ไปคำนวณหาแรงบิด กำลังที่ได้ และ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ
4. ทำการเริ่มต้นทดลองใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1. โดยเปลี่ยนกังหันน้ำแบบหลุกต่ำเป็นชนิด 14 16 และ 18 ใบพัด ติดตั้งเข้ากับชุดทดลองดังกล่าว แล้วทำตามขั้นตอนการทดลองจากข้อ 2. และขั้นตอนการทดลองข้อ 3.

ผลการวิจัย

ค่าตัวแปรในตารางผลการทดลองกำหนดให้ N คือ จำนวนรอบการหมุนของเพลากังหันน้ำ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm) P_i คือ กำลังของของไหลที่เข้าระบบ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W) H คือ ความสูงของน้ำ หรือเฮดน้ำ มีหน่วยเป็น เมตร (m) T คือแรงบิดที่เพลากังหันน้ำ มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร (Nm) P_o คือกำลังทางกลที่ได้จากกังหันน้ำ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W) และ eff. คือประสิทธิภาพทางกลที่ได้จากกังหันน้ำ ได้ค่าเป็น เปอร์เซนต์ (%)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำทั้ง 4 ชนิด โดยชนิดที่ 1 มีจำนวน 12 ใบพัด ชนิดที่ 2 มีจำนวน 14 ใบพัด ชนิดที่ 3 มีจำนวน 16 ใบพัด และ ชนิดที่ 4 มีจำนวน 18 ใบพัด ที่ค่าอัตราการไหลของน้ำสูงสุด 960 ลิตรต่อนาที

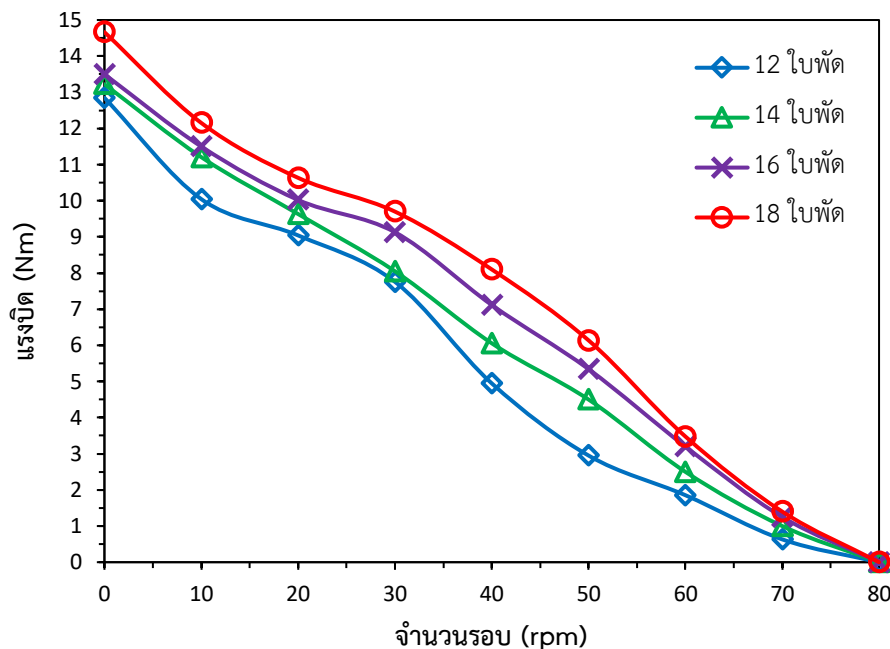
N (rpm)	P_i (W)	H (m)	T (Nm)				P_o (W)				eff. (%)			
			12	14	16	18	12	14	16	18	12	14	16	18
80	67.81	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	67.81	0.43	0.63	1.00	1.25	1.40	4.63	7.33	9.17	10.27	6.83	10.81	13.52	15.14
60	67.81	0.43	1.85	2.50	3.20	3.48	11.65	15.71	20.11	21.86	17.19	23.17	29.66	32.23
50	67.81	0.43	2.95	4.50	5.34	6.14	15.45	23.57	27.98	32.15	22.79	34.76	41.26	47.41
40	67.81	0.43	4.95	6.06	7.12	8.10	20.73	25.38	29.82	33.94	30.58	37.43	43.97	50.06
30	67.81	0.43	7.76	8.05	9.13	9.70	24.38	25.30	28.69	30.49	35.96	37.31	42.31	44.96
20	67.81	0.43	9.04	9.63	10.02	10.63	18.94	20.18	21.00	22.28	27.94	29.76	30.97	32.86
10	67.81	0.43	10.05	11.21	11.50	12.15	10.52	11.74	12.05	12.73	15.52	17.31	17.77	18.78
0	67.81	0.43	12.85	13.22	13.50	14.66	0	0	0	0	0	0	0	0

จากตารางผลการทดลองที่ 1 กำหนดให้ค่าอัตราการไหลของน้ำ 960 ลิตรต่อนาที กำลังของของไหลที่เข้าระบบมีค่าเท่ากับ 67.81 วัตต์ และค่าความสูงของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.43 เมตร พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนใบพัดให้กับกังหันน้ำ จะทำให้ค่าแรงบิดที่เพลากังหันน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนใบพัดที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าแรงบิดมากที่สุดคือ 14.66 นิวตันเมตร ที่

จำนวนใบพัดกังหันน้ำ 18 ใบพัด ที่ 12 ใบพัด มีค่า 12.85 นิวตันเมตร 14 ใบพัด มีค่า 13.22 นิวตันเมตร และ 16 ใบพัด มีค่า 13.5 นิวตันเมตร ดังรูปที่ 7

เมื่อพิจารณาค่ากำลังทางกลและประสิทธิภาพทางกลที่ได้จากกังหันน้ำ จะได้ว่าจำนวนใบพัดกังหันน้ำที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อค่าทั้งสอง โดยจำนวนกังหันน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังทางกลที่ได้มีค่าเพิ่มตามจำนวนใบพัดกังหันน้ำที่เพิ่มขึ้น และยังทำให้ประสิทธิภาพทางกลของกังหันน้ำที่ได้มีค่าเพิ่มตามจำนวนใบพัดที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ที่จำนวนใบพัดกังหันน้ำ 12 ใบพัด มีค่ากำลังทางกลสูงสุดที่ 24.38 วัตต์ และมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 35.96 % ที่ 14 ใบพัด มีค่ากำลังทางกลสูงสุดที่ 25.38 วัตต์ และมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 37.43 % ที่ 16 ใบพัด มีค่ากำลังทางกลสูงสุดที่ 29.82 วัตต์ และมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 43.97 % และที่ 18 ใบพัด มีค่ากำลังทางกลสูงสุดที่ 33.94 วัตต์ และมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 50.06 % ซึ่งมีค่ามากขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 8 และ 9 ที่ค่าอัตราการไหลของน้ำในค่าเดียวกัน เมื่อเพิ่มจำนวนใบพัดของกังหันน้ำแบบลูกตุ้มจะทำให้ แรงบิด กำลังงานทางกลที่ได้ และประสิทธิภาพที่ได้จากกังหันแบบลูกตุ้มมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าค่าแรงบิด ค่ากำลังไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพแปรผันตามค่าจำนวนใบพัดของกังหันน้ำที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

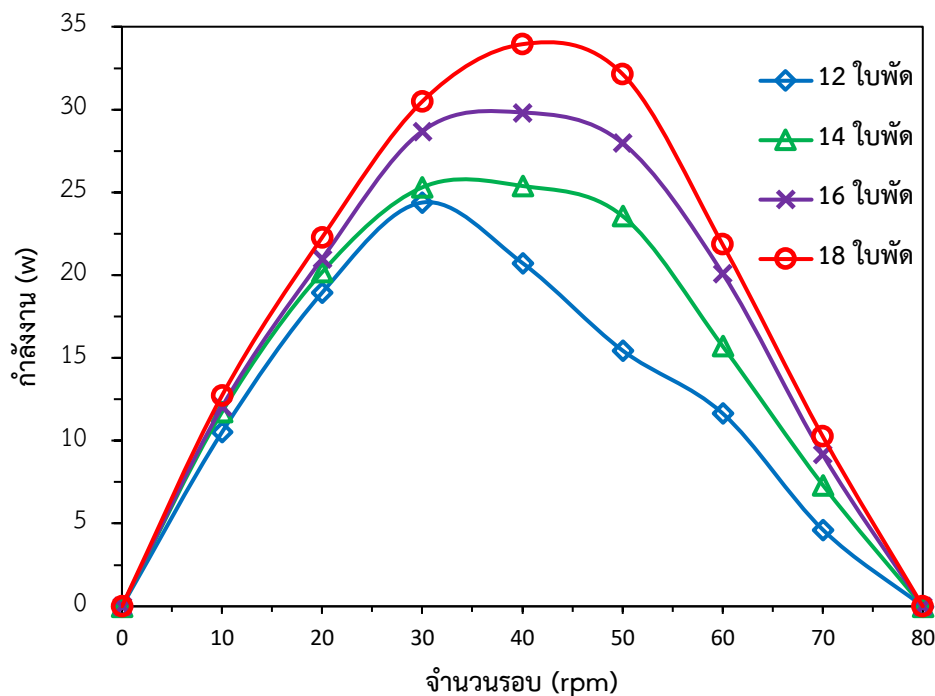
แรงบิด (Torque values)



รูปที่ 7 กราฟแรงบิดที่ได้ของกังหันน้ำทั้ง 4 ชนิด

รูปที่ 7 เป็นกราฟที่ได้จากการทดลองหาแรงบิดกังหันน้ำของระบบ สังเกตได้ว่าแรงบิดของกังหันน้ำนั้นตรงกันข้ามหรือแปรผกผันกับจำนวนรอบการหมุนของกังหันน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแรงบิดที่ความเร็วรอบการหมุนของเพลากังหันน้ำสูงสุดที่ 80 rpm มีค่าเท่ากับศูนย์ จากการที่ยังไม่มีโหลดที่ระบบจึงไม่เกิดแรงบิดขึ้นที่เพลากังหันน้ำ แต่เมื่อใส่โหลดและเพิ่มค่าโหลดให้สูงขึ้นหรือนั่นก็คือการเพิ่มแรงดึงที่ไดนาโมมิเตอร์แบบโพนิเบอร์กให้สูงขึ้น จะทำให้เกิดแรงบิดที่เพลากังหันน้ำเพิ่มขึ้นตามด้วยและมีค่าสูงสุดเมื่อเพลากังหันน้ำหยุดหมุน ดังสมการการหาค่าแรงบิดจาก $T = Fr$ ที่กังหันน้ำชนิด 18 ใบพัด จะมีค่าแรงบิดสูงสุด โดยลดลงตามจำนวนใบพัดที่ลดลงของกังหันน้ำ เนื่องจากจำนวนใบพัดกังหันที่มากขึ้นซึ่งจะทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างแรงการไหลของน้ำกับใบพัดกังหันน้ำจะมีค่ามากขึ้นจึงทำให้แรงดึงที่ไดนาโมมิเตอร์มีค่าสูงขึ้น และส่งผลทำให้ค่าแรงบิดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนใบพัดที่เพิ่มขึ้นของกังหันน้ำ

กำลังที่ได้ (Power Output)



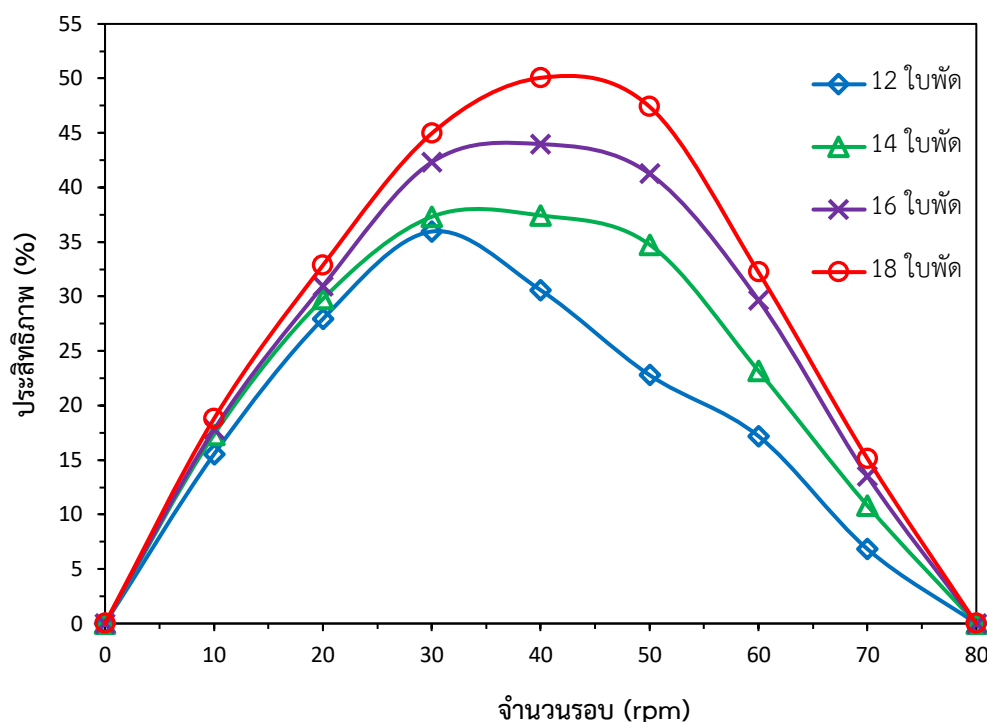
รูปที่ 8 กราฟกำลังงานทางกลที่ได้ของกังหันน้ำทั้ง 4 ชนิด

ผลการทดสอบของค่ากำลังงานทางกลที่ได้เทียบกับความเร็วรอบของกังหันน้ำ จะเห็นว่า ลักษณะกราฟกำลังงานทางกลที่ได้ในแต่ละความเร็วรอบมีลักษณะคล้ายกัน คือเมื่อค่าของกำลังงานเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าจุดสูงสุดแล้วจะมีค่าลดลงแม้ว่าความเร็วรอบกังหันน้ำจะมากขึ้นก็ตาม ทั้งกังหันน้ำชนิด 12 14 16 และ 18 ใบพัด ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการการหาค่ากำลังที่ได้จากเพลากังหันน้ำ $P = \frac{2\pi T N}{60}$ เมื่อ P = กำลังที่ได้ (W) T = แรงบิดของกังหันน้ำ (N.m) และ N = จำนวนรอบการหมุนของเพลากังหันน้ำ (rpm) จากที่ค่าแรงบิดของกังหันน้ำลดลงเมื่อความเร็วรอบเพลากังหันน้ำเพิ่มขึ้น ดังกราฟรูปที่ 7 เมื่อแทนค่าแรงบิด และความเร็วรอบในสมการทำให้ได้กราฟกำลังงานทางกลที่ได้ออกมามีลักษณะดังรูปที่ 8 ซึ่งพบว่า กำลังที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบลูกตุ้มชนิดที่มีจำนวนใบพัดมากที่สุด คือที่ 18 ใบพัด จะให้กำลังทางกลออกมามากที่สุดที่ 33.94 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที

ประสิทธิภาพ (Efficiency)

ผลการทดสอบของค่าประสิทธิภาพทางกลเทียบกับความเร็วรอบของกังหันน้ำพบว่า กังหันชนิด 18 ใบพัด มีค่าสูงสุดและค่าจะลดลงมาตามการเปลี่ยนแปลงจำนวนใบพัดที่ลดลงเป็น 16 14 และ 12 ใบพัด ตามลำดับและยังพบว่า ประสิทธิภาพกังหันลูกตุ้มทั้ง 4 ชนิด จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่สูงขึ้นจนถึงค่าจุดสูงสุดแล้วจะมีค่าลดลง แม้จะความเร็วรอบกังหันน้ำจะมากขึ้นก็ตามคล้ายกราฟกำลังงานทางกล ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการการหาประสิทธิภาพกังหันน้ำ $\eta = \frac{P}{\rho g Q H}$ เมื่อ η = ประสิทธิภาพโดยรวม ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (Kg/m^3) g = ค่าความโน้มถ่วง (m/s^2) Q = อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s) H = เหนื่อน้ำ (m) P = กำลังที่ได้ (W) จากกราฟผลการทดสอบค่ากำลังงานทางกลที่ได้เทียบกับความเร็วรอบของกังหันน้ำในรูปที่ 8 และเมื่อแทนค่ากำลังงานทางกลที่ได้ในสมการการหาประสิทธิภาพกังหันน้ำส่งผลต่อลักษณะของกราฟที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งคล้ายกับผลการวิจัยของ

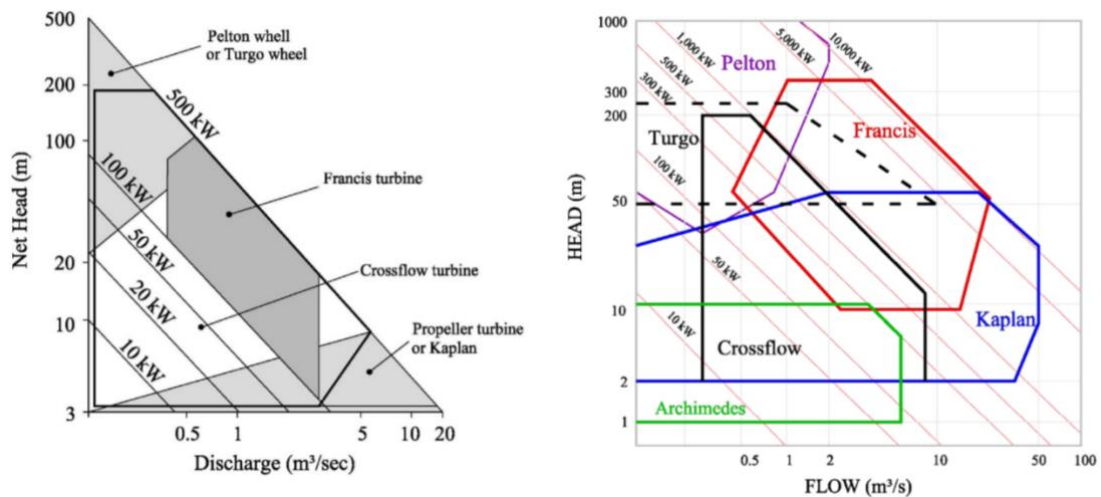
Suntivarakorn et al. (2016) ที่ได้ทำการทดลองเรื่อง An Experimental Study of Electricity Production Using a Vortex Turbine in a Gravitational Water Vortex Power Plant ซึ่งได้ศึกษากังหันน้ำแบบ propeller ในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานอิสระ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ



รูปที่ 9 กราฟประสิทธิภาพทางกลของกังหันแบบลูกตุ้ม 4 ชนิด

จากกราฟแสดงในรูปที่ 7 รูปที่ 8 และรูปที่ 9 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นว่าลักษณะกราฟที่ได้มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Elbatran et al. (2015) ที่ได้ทำการทดลองเรื่อง “Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review” การศึกษาของ P. Sritram and R. Suntivarakorn (2015) ที่ได้ทำการทดลองเรื่อง “Comparative Study of Small Hydropower Turbine Efficiency at Low Head Water.” โดยกราฟผลการทดลองการหาประสิทธิภาพทางกลที่ได้และกำลังงานที่ได้ มีลักษณะของเส้นกราฟไปในลักษณะเดียวกัน คือจะมีการเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดแล้ว เส้นกราฟจะมีค่าลดลงถึงแม้ค่าความเร็วรอบกังหันน้ำจะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม

แต่ถ้าพิจารณาผลการทดสอบของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกังหันน้ำ จะเห็นว่าค่าของแรงบิด กำลังงานที่ออกมา และประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของกังหันน้ำและค่าตัวแปรต่าง ๆ ในระบบ โดยในรูปที่ 10 จะแสดงช่วงความเหมาะสมของกังหันน้ำแต่ละชนิดที่ขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหลและความสูงน้ำ (Head Water) ดังกล่าว (Elbatran et al., 2015)



(ก) ช่วงการเลือกใช้นิตกั้นน้ำจากคามสูงและอัตราการไหล (ข) การอ้างอิงคามสูงและอัตราการไหลของนิตกั้นน้ำ

รูปที่ 10 ช่วงความเหมาะสมของกันหันน้ำแต่ละชนิด (Elbatran et al., 2015)

การอภิปรายผล

โครงการวิจัยการศึกษาผลกระทบของจำนวนใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกันหันน้ำแบบลูกตุ้ม เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่ระดับความสูงของน้ำต่ำ ได้มีการประยุกต์ใช้หลักการไดนาโมมิเตอร์แบบดูดซับ (Absorbs ion Dynamometer) ชนิดโพนีเบรก (Pony Brake) โดยทำการติดตั้งชุดวัดแรงบิดโพนีเบรกบริเวณเพลลาของกันหันน้ำเพื่อนำค่าแรงบิดที่ได้ในแต่ละอัตราการไหลที่มีความเร็วรอบของเพลลาของกันหันน้ำที่แตกต่างกัน นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่ากำลังที่ได้จริงของกันหันน้ำ แล้วจึงนำค่ากำลังที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของกันหันน้ำเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของกันหันน้ำแบบลูกตุ้มทั้ง 4 ชนิด ซึ่งผลการทดลองของการวิจัยในครั้งนี้สามารถพบว่า การออกแบบกันหันน้ำลูกตุ้ม โดยการเพิ่มจำนวนใบพัดให้มากขึ้น เริ่มต้นที่ 12 ใบพัด และเพิ่มขึ้นทีละ 2 ใบพัด เป็น 14 16 และ 18 ใบพัด สามารถทำให้ค่าแรงบิดที่เพลลา กำลังงานทางกลที่ได้ออกมา และค่าประสิทธิภาพทางกลของกันหันน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในงานวิจัยนี้สามารถเพิ่มจำนวนใบพัดของกันหันน้ำแบบลูกตุ้มได้มากที่สุดที่ 18 ใบพัด เนื่องจากการเพิ่มจำนวนใบพัดจะทำให้ระยะห่างระหว่างใบพัดที่ติดตั้งในกันหันน้ำลดลง และถ้าเพิ่มจำนวนมากกว่านี้จะส่งผลให้ไม่สามารถติดตั้งใบพัดที่ตัวกันหันน้ำได้ เนื่องจากช่องว่างระหว่างตัวกันหันน้อยกว่าความสูงของใบพัดกันหันน้ำ

ผลที่ได้ในการทดลองนี้คงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกันหันน้ำ ในระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานน้ำไหลผ่านกันหันน้ำแบบลูกตุ้ม

เอกสารอ้างอิง

อัศวิน ปศุศุทธากร. (2552). การประเมินสมรรถนะของกันหันน้ำขนาดเล็กแบบลูกตุ้มเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า.

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

International Energy Agency. (2016). Key world energy statistics. Technical report. International Energy Agency.

- Gautam A., Sapkota A., Neupane S., Dhakal J., Timilsina B., and Shaky, S. (2016). Study on effect of adding booster runner in Conical basin: Gravitational Water Vortex Power Plant: A Numerical and Experimental Approach. *Proceedings of IOE Graduate Conference*. 107–113.
- Date A. and Aliakbar A. (2009). Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply. *Renew Energy*. 34(2): 409–15.
- Islam S., Gupta D., Masum M., Karim A. and Rahman G. (2013). A case study of the notion and model of Micro hydro power plant using the kinetic energy of flowing water of Burinadi and Meghna river of Bangladesh. *Engineering Journal*. 7(4): 47-60.
- Williamson J., Stark H., Booker D. (2014). Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renew Energy*. 61: 43–50.
- World Energy Council. (2001). *Survey of energy resources*. 19th Ed. Regency House: London UK
- Cleveland J. (2013). *Hydropower. Handbook of Energy Section 3*. Amsterdam: Elsevier. 79–102.
- International Energy Agency. (2017). *Key World Energy Statistics 2017*. IEA Publications: International Energy Agency.
- Development program (UNDP) report available. (2012). To cut poverty in Asia and the Pacific, ‘Energy Plus’ package a must, says UN report. Accessed 3 February 2014. <http://www.undp.org>.
- Khan J., Iqbal T. and Quaicoe, E. (2008). River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12(8): 2177-2193.
- Ghosh K. and Prelas A. (2011). *Energy resources and systems*. Renewable resources, 2. Netherlands: Springer: 157-215.
- Shahram D. and Ahmad N. (2008). Experimental study of characteristic curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds. *Experimental thermal and fluid science*. 32(3): 800-807.
- Banos R., Mazano F., Gugliaro A., Montoya G., Gil C. and Alcayde, A. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*. 15(4): 1753-1766.
- Paish O. (2002). Micro-hydropower: status and prospects. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. 216(1): 31-40.
- Mohibullah M., Radzi M. and Hakim A. (2014). Basic design aspects of micro hydro power plant and its potential development in Malaysia. In *PECon 2004. Proceedings. National Power and Energy Conference*. IEEE. 220-223.
- Teuteber H. (2010). Design of a pump-as-turbine for an abalone farm, final report for mechanical project 878. Department of Mechanical and Mechatronic Engineering University of Stellenbosch.
- Yaakob B., Ahmed M., Elbatran H. and Shabara M. (2014). A review on micro hydro gravitational vortex power and turbine systems. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*. 69(7): 1–7.
- Wichian P. and Suntivarakorn R. (2016). The Effects of Turbine Baffle Plates on the Efficiency of Water Free Vortex Turbines. *Energy Procedia*. 100: 198–202.

- Sritram P., Treedet W. and Suntivarakorn R. (2015). Effect of Turbine Materials on Power Generation Efficiency from Free Water Vortex Hydro Power Plant. IOP Conference Series: Material Science and Engineering. 103: 1-7.
- Sritram P. and Suntivarakorn R. (2017). Comparative Study of Small Hydropower Turbine Efficiency at Low Head Water. Energy Procedia. 138: 646-650.
- Sritram P. and Suntivarakorn R. (2019). The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines. OP Conference Series: Earth and Environmental Science. 257: 012-040.
- Suntivarakorn R., Wanchat R. and Suwanasri S. (2016). An experimental study of electricity production using a vortex turbine in a gravitational water vortex power plant. GMSARN Int. Conference on Innovative Energy, Environment, and Development in GMS. 1-4.
- Elbatran H., Yaakob B., Yasser B., Ahmed M., Shabara M. (2015). Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 43: 40-50.

Received: June 23, 2020; Revised: July 13, 2020; Accepted: August 26, 2020

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ Vapor-compression refrigeration system with ejector

ชญาณนท์ แสงมณี^{1*} และวุฒิชัย สิริวงษ์²

Chayanon Sangmanee^{1*} and Wuttichai Sittiwong²

¹คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี

²คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Corresponding Author E-mail Address : chayanon.sa@udru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะและการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบอัดไอกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ ทำการทดลอง 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอมมาตรฐาน กรณีที่ 2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์บริเวณทางออกของเครื่องควบแน่น และกรณีที่ 3 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์บริเวณทางออกของเครื่องอัดไอ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้อีเจ็คเตอร์ร่วมมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่าระบบทำความเย็นแบบอัดไอบนมาตรฐาน ในขณะที่อัตราการใช้ไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้อีเจ็คเตอร์ร่วมมีค่าต่ำกว่าระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

คำสำคัญ: อีเจ็คเตอร์ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Abstract

This research aims to compare the coefficients of performance of conventional vapor compression refrigeration system with that system co-operated with the ejector. 3 cases study were tested. There is the conventional vapor compression refrigeration system, the vapor compression refrigeration system installed with the ejector at the condenser exit and the vapor compression refrigeration system installed with the ejector at the exit of the compressor. The experimental results reveal that the coefficient of performance of the vapor compression refrigeration system installed the ejector is higher than that of the conventional vapor compression refrigeration system. While the electrical consumption rate of the vapor compression refrigeration system installed the ejector is lower than that of the conventional vapor compression refrigeration system

Keywords: Ejector, Compression Refrigeration system, Coefficient of performance.

บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กหรือมีขนาดใหญ่ โดยการเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ในการใช้งานเป็นหลัก ความคงทนในการใช้งานของเครื่องปรับอากาศและปัจจัยหลักที่จะตามมาหากเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินไป นอกจากจะขนาดและราคาที่สูงเกินความจำเป็นแล้ว เมื่อนำมาใช้งานยังส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ในทางกลับกัน หากเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กจนเกินไป ก็จะมีปัญหาเรื่องไม่สามารถทำอุณหภูมิห้องให้เย็นได้ตามต้องการ อายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศจะลดลงและสิ้นเปลืองพลังงานมากเกินความจำเป็นอีกด้วย การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศหลัก ๆ มาจากเครื่องอัดไอหรือคอมเพรสเซอร์ ถ้าคอมเพรสเซอร์ทำงานหนักต่อเนื่องก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเท่านั้น ซึ่งหากสามารถลดความดันด้านสูงและเพิ่มความดันด้านต่ำในระบบได้ ก็จะลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอก็จะมีสมรรถนะเพิ่มขึ้น และการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง มีนักวิจัยศึกษา หาแนวทางการเพิ่มสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดไอเป็นจำนวนมากทั้งการลดอุณหภูมิของเครื่องควบแน่นเพื่อลดความดันด้านอัดและให้สารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลวจนหมด (นิกร และคณะ, 2553; ฤวิกา และจตุวัฒน์, 2555)

ระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์ เป็นระบบที่มีใช้งานในปัจจุบัน แต่ยังมีจำนวนไม่มากนักในเชิงพาณิชย์ สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอีเจ็คเตอร์เป็นหลัก โดยอีเจ็คเตอร์มีพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ได้ 2 ค่า คือ Entrainment ratio mass of secondary flow หรือ ค่า Rm กับค่า PLR (Pressure lift ratio) ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้อาจบ่งบอกความสามารถในการเหนี่ยวนำสารและทำความดันของอีเจ็คเตอร์ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ก็ถูกจำกัดอยู่ในช่วงความดันที่ทางออกของอีเจ็คเตอร์ และสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์จะขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของระบบด้วย (วีระพันธ์ และคณะ, 2548)

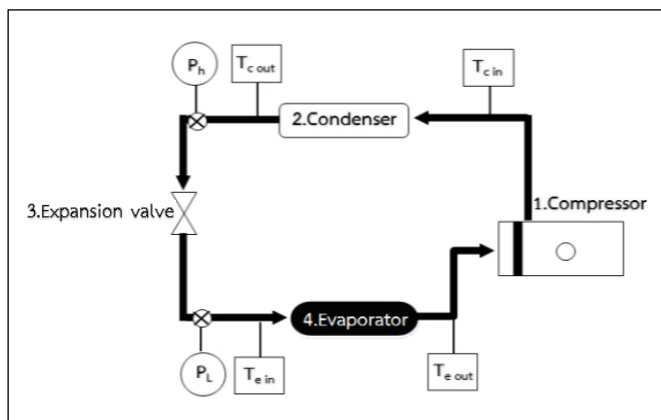
แต่ด้วยหลักการทำงานของตัวอีเจ็คเตอร์โดยอาศัยหลักการทำงานของของไหลไหลผ่านคอคอด หรือ เวนจูรี เมื่อพื้นที่หน้าตัดของการไหลลดลง ความเร็วของของไหลจะเพิ่มขึ้น แต่ความดันต่อพื้นที่จะลดลงซึ่งหากนำหลักการทำงานของอีเจ็คเตอร์มาประยุกต์ใช้กับระบบทำความเย็นแบบอัดไอจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ คณะผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้อีเจ็คเตอร์เป็นอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นให้มากกว่าเดิม และสามารถลดการใช้พลังงานได้ โดยในระบบยังคงใช้อุปกรณ์เดิมของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เป็นระบบทำความเย็นแบบอัดไอ แต่จะใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของการติดตั้งอีเจ็คเตอร์ และระยะของหัวฉีดภายในอีเจ็คเตอร์ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้ง อีเจ็คเตอร์และประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้อีเจ็คเตอร์ร่วม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาตรฐานกับระบบทำความเย็นร่วมกับอีเจ็คเตอร์ และทำการศึกษาการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

การทดลองที่ 1 ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาตรฐาน โดยการทดลองทำการวัดค่าความดัน (P) และอุณหภูมิ (T) ที่จุดต่าง ๆ ดังรูปที่ 1 โดยใช้เครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ LG ขนาด 12,000 BTU/hr ใช้ R32 เป็นสารทำความเย็น



รูปที่ 1 วัฏจักรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

การคำนวณหาขนาดอีเจ็คเตอร์

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการทดลองติดตั้งหัวฉีดหลายตำแหน่งทั้งสถานะของไหลปฐมภูมิอยู่ในสถานะแก๊ส และสถานะของเหลว แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบและคำนวณของ สมจินต์ (2550) ทำการออกแบบของไหลปฐมภูมิและทุติยภูมิในสถานะแก๊ส ซึ่งเป็นงานลักษณะเดียวกัน ดังนั้นผลงานวิจัยจึงออกแบบอีเจ็คเตอร์ในสถานะของแก๊สทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งได้ขนาดและรูปแบบของอีเจ็คเตอร์ดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4

หาอัตราการไหลของไหล และขนาดของอีเจ็คเตอร์จากสมการที่ (1)-(12) (สมจินต์, 2550) ได้ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3

อุณหภูมิเครื่องควบแน่น $T_g = 50^\circ\text{C}$ ความดัน $P_g = 3141 \text{ kPa}$

อุณหภูมิเครื่องระเหย $T_e = 0^\circ\text{C}$ ความดัน $P_e = 813.1 \text{ kPa}$

อุณหภูมิเครื่องระเหย $T_c = 10^\circ\text{C}$ ความดัน $P_c = 1107 \text{ kPa}$

$$Q_e = \dot{m} (h_g - h_f) \quad (1)$$

$$\dot{m} = \frac{3.5}{515.30 - 217.74} = 0.0117 \text{ Kg/s} = 42 \text{ kg/hr}$$

$$N_p = \frac{P_g}{P_c} = \frac{3141}{1107} = 2.84 \quad (2)$$

$$N_s = \frac{P_c}{P_e} = \frac{1107}{813.1} = 1.361 \quad (3)$$

น้ำหนักโมเลกุลของสารทำความเย็น R32 เท่ากับ 52.02

$$C_1 = 1.25$$

อัตราการไหลเชิงมวล

$$\frac{\dot{m}_e}{c_1} = \frac{42.12}{1.25} = 33.7 \text{ kg/hr} \quad (4)$$

ประมาณค่าอัตราส่วนการเหนี่ยวนำ

$$r_m = 0.4$$

ปริมาณขนาดรูปร่างอีเจ็คเตอร์ที่เหมาะสม

หาอัตราส่วนพื้นที่ของหัวฉีด

$$A_t = 1$$

หาอัตราพื้นที่ของอีเจ็คเตอร์ จะได้

$$\frac{A_R}{N_p} = \frac{1.11+1.25}{2} = 1.18 \quad (5)$$

$$\frac{A_R}{2.84} = 1.18$$

$$A_R = 3.351$$

คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอดหัวฉีด ปากท่อทางออกหัวฉีดและคอคอดอีเจ็คเตอร์

หาอัตราการไหลเชิงมวลของของไหลป้อนจากปริมาณ

$$r_m = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_g} = \frac{33.7}{0.4} \quad (6)$$

$$\dot{m}_g = 84.25 \text{ kg/hr (0.0234 kg/s)}$$

หาพื้นที่ของคอคอดหัวฉีด (A_{th}) จากสมการ

$$A_{th} = \frac{\dot{m}_g \sqrt{T_{gR}}}{0.67 P_g} = \frac{0.0234 \sqrt{323+461.5}}{0.67 \times 3141 \times 1000} = 0.0000031 \text{ m}^2 \quad (7)$$

หาเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอดหัวฉีด (D_{th}) จากสมการ

$$D_{th} = \frac{\sqrt{4A_{th}}}{\pi} = \frac{\sqrt{4 \times 0.0000031}}{\pi} \quad (8)$$

$$= 0.00198 \text{ m} = 1.98 \text{ mm}$$

หาพื้นที่ปากทางออกหัวฉีด (A_e) จากสมการ

$$A_e = A_T A_{th} = 1 \times 0.0000031 = 0.0000031 \text{ m}^2 \quad (9)$$

หาเส้นผ่านศูนย์กลางของปากทางออกหัวฉีด (D_e) จากสมการ

$$D_e \sqrt{\frac{4A_{th}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0000031}{\pi}} \quad (10)$$

$$= 0.00198 \text{ m} = 1.98 \text{ mm}$$

หาพื้นที่คอคอดอีเจ็คเตอร์ (A_m) จากสมการ

$$\begin{aligned} A_m &= A_T A_{th} = 3.36 \times 0.0000031 \\ &= 0.00001 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

หาเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอดอีเจ็คเตอร์ (D_m) จากสมการ

$$\begin{aligned} D_m &= \frac{\sqrt{4A_m}}{\pi} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00001}{\pi}} = 0.00568 \text{ m} \\ &= 5.68 \text{ mm} \end{aligned} \quad (12)$$

นอกจากนี้ การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบอัดไอดังสมการที่ (13)

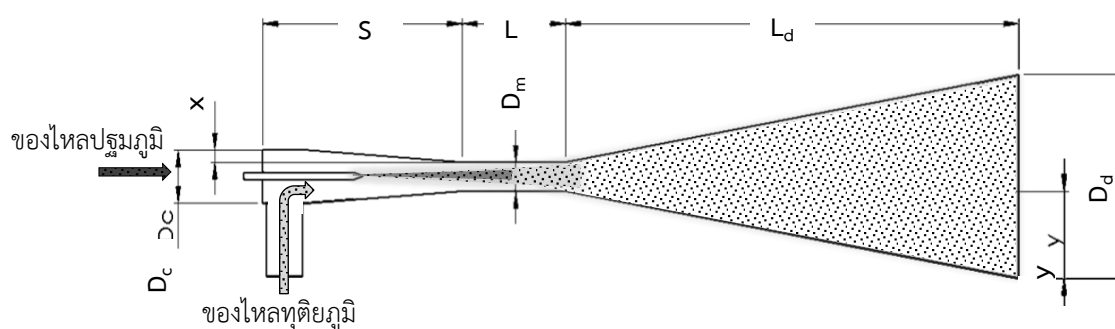
$$COP_{me} = \frac{\dot{Q}_e}{W_{COM}} \quad (13)$$

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบอัดไอดังสมการที่ (14) และ (15) (ณัฏฐ์ และณัฏฐ์จันน์, 2556)

$$COP_{system} = \frac{\dot{Q}_e}{W_{COM} + W_P} \quad (14)$$

หรือ

$$COP_{system} = \frac{COP_{ej} COP_{me}}{COP_{ej} + COP_{me}} \quad (15)$$



$D_d = 60 \text{ mm}$	$L = 22.72 \text{ mm}$	$S = 34.08 \text{ mm}$	$X = 28 \text{ mm}$
$D_c = 10.44 \text{ mm}$	$Y = 27.16 \text{ mm}$	$L_d = 388.40 \text{ mm}$	$D_m = 5.68 \text{ mm}$

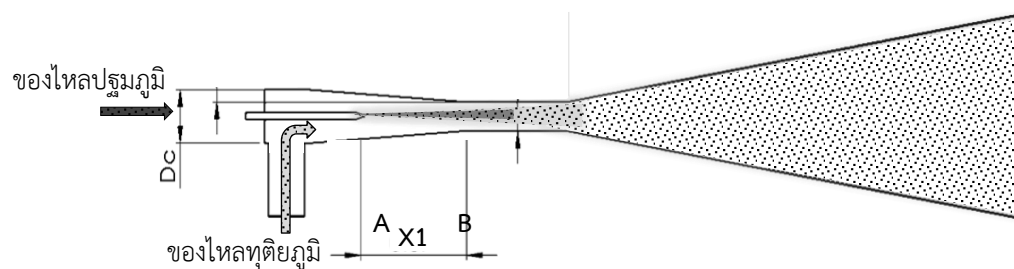
รูปที่ 2 รูปร่างและขนาดภายในของอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบ



รูปที่ 3 รูปร่างของหัวฉีดแบบคอปเปอร์

ตำแหน่งของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คณะผู้วิจัยประยุกต์ใช้อีเจ็คเตอร์เป็นอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นและลดการใช้พลังงานได้ โดยในระบบยังคงใช้อุปกรณ์เดิมของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ และเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของการติดตั้งอีเจ็คเตอร์ และระยะของหัวฉีดภายในอีเจ็คเตอร์ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งอีเจ็คเตอร์ และประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้อีเจ็คเตอร์ร่วม โดยระยะของปลายหัวฉีดกับคอคอดที่ทำการทดลอง 3 ตำแหน่ง ได้แก่จุด A มีระยะห่างจากจุด B เป็นระยะ 30 mm, 25 mm และระยะ 20 mm ดังแสดงในรูปที่ 4



- ตำแหน่ง x1 จุด A มีระยะห่างจากจุด B เป็นระยะ 30 mm, 25 mm และระยะ 20 mm

รูปที่ 4 ระยะตำแหน่งของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองมี 3 ตำแหน่ง

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์

ระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์ เป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่งในปัจจุบันเนื่องจากเป็นระบบที่สามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศได้ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ การนำตัวอีเจ็คเตอร์มาใช้ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงติดตั้งอีเจ็คเตอร์ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อหาความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุด โดยตำแหน่งที่ติดตั้งประกอบด้วย

1 ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกของเครื่องควบแน่น ในรูปที่ 5 สารทำความเย็นในสถานะของเหลวจากเครื่องควบแน่นที่ความดันสูงส่งไปยังอีเจ็คเตอร์เป็นของไหลปฐมภูมิและอีกส่วนหนึ่งส่งไปยังเอ็กแพนชันวาล์ว เพื่อควบคุมอัตราการไหลและความดันจากของเหลวอุณหภูมิสูงความดันสูงเป็นของเหลวอุณหภูมิต่ำความดันต่ำก่อนที่จะเข้าเครื่องระเหย ส่วนสารทำความเย็นที่ส่งเข้าอีเจ็คเตอร์นั้นเมื่อฉีดผ่านอีเจ็คเตอร์จะทำให้เกิดสุญญากาศบริเวณทางดูดของอีเจ็คเตอร์ที่ต่อกับเครื่องระเหย เพื่อลดความดันด้านของไหลทุติยภูมิช่วยให้สารทำความเย็นระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายขึ้น ช่วยลดความดันด้านดูดของเครื่องอัดไอ สารทำความเย็นที่อยู่ภายในอีเจ็คเตอร์มีสถานะเป็นของผสมจะไหลมายัง Receiver drier ทำหน้าที่เพื่อเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็นให้เป็นไอทั้งหมดก่อนที่จะเข้าเครื่องอัดไอ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์แสดงดังรูปที่ 5 โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ โดย กรณีที่ 1 หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดไอมাত্রฐาน กรณีที่ 2 หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกของเครื่องควบแน่น และกรณีที่ 3 หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกของเครื่องอัดไอ โดยกรณีที่ 2 และ 3 ทำการเปลี่ยนแปลงระยะหัวฉีด (X1) 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 4

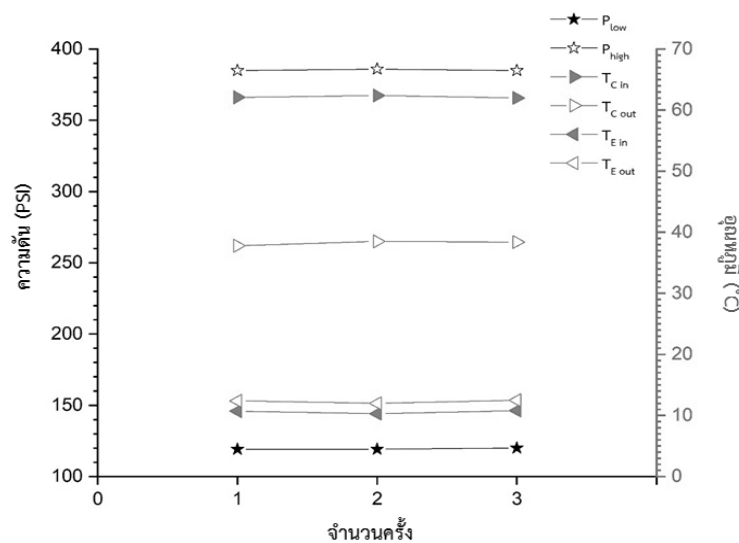
ผลการทดลองเบื้องต้นระบบทำความเย็นแบบอัดไอมাত্রฐาน

จากรูปที่ 7 แสดงผลความดันของสารทำความเย็นด้านความดันต่ำ (P_{low}) ความดันของสารทำความเย็นด้านความดันสูง (P_{high}) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องควบแน่น (T_{Cin}) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออกจากเครื่องควบแน่น (T_{Cout}) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องระเหย (T_{Ein}) และอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออกจากเครื่องระเหย (T_{Eout}) เฉลี่ย 3 ครั้ง เพื่อใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดไอก่อนติดตั้งอีเจ็คเตอร์ ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 11.4°C อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 23.7°C ความชื้นภายในห้องเฉลี่ยที่ 51.3 %HR อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.5°C และความชื้นภายนอกเฉลี่ยที่ 63.3 %HR

ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ ที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกเครื่องควบแน่น

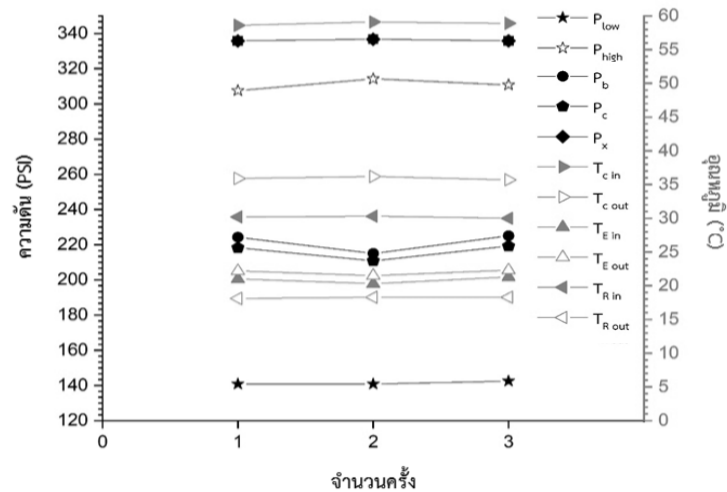
การทดลองจะทำการบันทึกผลความดันของสารทำความเย็นด้านความดันต่ำ (P_{low}) ความดันของสารทำความเย็นด้านความดันสูง (P_{high}) ความดันของสารทำความเย็นที่ทางเข้าอีเจ็คเตอร์ (P_a) ความดันของสารทำความเย็นที่ทางดูดอีเจ็คเตอร์ (P_b) ความดันของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเอ็กแพนชันวาล์ว (P_x) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องควบแน่น (T_{Cin}) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องควบแน่น (T_{Cout}) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องระเหย (T_{Ein}) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องระเหย (T_{Eout}) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางเข้า Receiver drier (T_{Rin}) และอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออก Receiver drier (T_{Rout})

1. ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบสร้าง ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 7 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

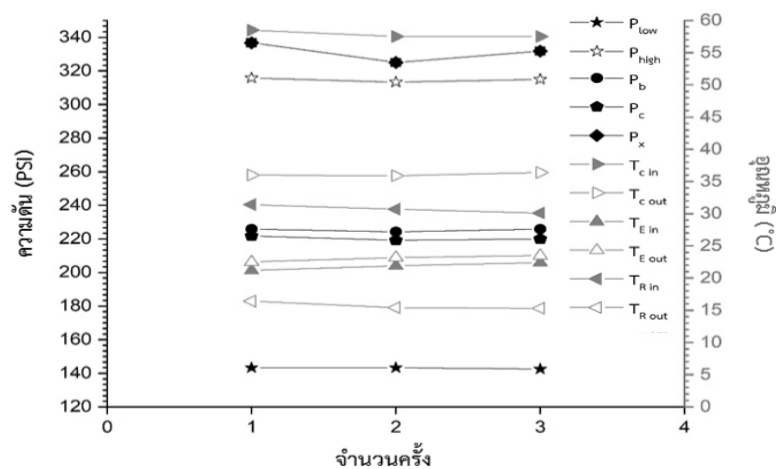
รูปที่ 8 แสดงผลการทดลองอุณหภูมิหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 22.1°C ความชื้นหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 53 %HR อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 29°C ความชื้นภายในห้องเฉลี่ยที่ 63.6 %HR อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.9°C และความชื้นภายนอกเฉลี่ยที่ 64.6 %HR



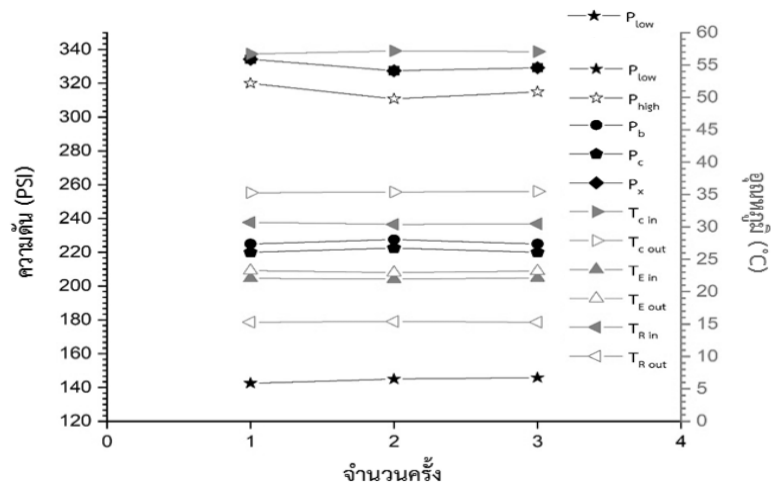
รูปที่ 8 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกเครื่องควบแน่น ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 1

2. ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบสร้าง ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 2 จากรูปที่ 9 แสดงผลทดลองอุณหภูมิหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 22.8°C ความชื้นหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 53 %HR อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 29.4°C ความชื้นภายในห้องเฉลี่ยที่ 68.7 %HR อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.5°C และความชื้นภายนอกเฉลี่ยที่ 62.1 %HR

3. ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบสร้าง ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 3 จากรูปที่ 10 แสดงผลการทดลองอุณหภูมิหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 23.3°C ความชื้นหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 53 %HR อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 29.8°C ความชื้นภายในห้องเฉลี่ยที่ 66.6 %HR อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.5°C และความชื้นภายนอกเฉลี่ยที่ 61.1 %HR



รูปที่ 9 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกเครื่องควบแน่น ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 2

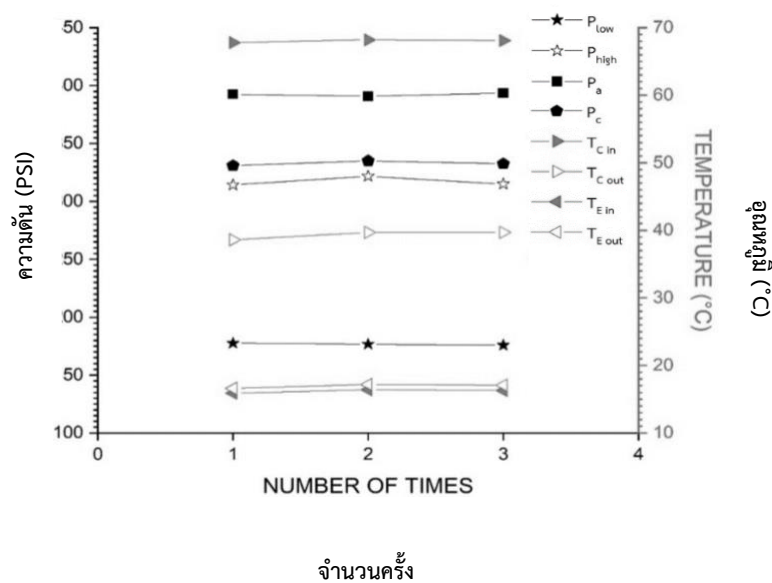


รูปที่ 10 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกเครื่องควบแน่น ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 3

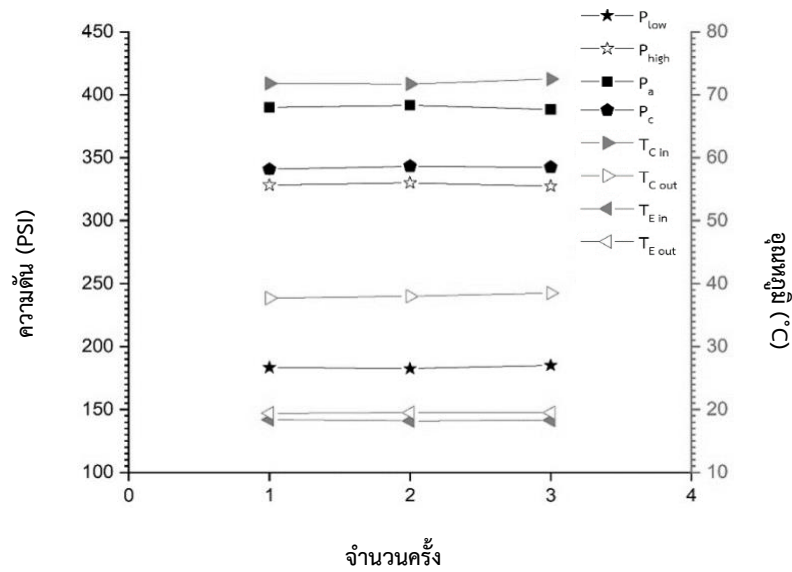
ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบสร้าง ติดตั้งอีเจ็คเตอร์บริเวณทางออกเครื่องอัดไอ

การทดลองเปรียบเทียบความดันของสารทำความเย็นและอุณหภูมิของสารทำความเย็น เก็บผล 3 ครั้ง ตั้งอุณหภูมิเครื่องทำความเย็นที่ 25°C ความดันสารของทำความเย็นด้านความดันต่ำ (P_{low}) ความดันของสารทำความเย็นด้านความดันสูง (P_{high}) ความดันของสารทำความเย็นที่ทางเข้าอีเจ็คเตอร์ (P_a) ความดันของสารทำความเย็นที่ทางออกอีเจ็คเตอร์ (P_b) ความดันสารของทำความเย็นที่ทางออกอีเจ็คเตอร์ (P_c) อุณหภูมิสารของทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องควบแน่น ($T_{c in}$) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องควบแน่น ($T_{c out}$) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องระเหย ($T_{E in}$) อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องระเหย ($T_{E out}$)

1 ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 1 จากรูปที่ 11 ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 18.2°C ความชื้นหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 53 %HR อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 24°C ความชื้นภายในห้องเฉลี่ยที่ 72.7 %HR อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.6°C และความชื้นภายนอกเฉลี่ยที่ 62.7 %HR



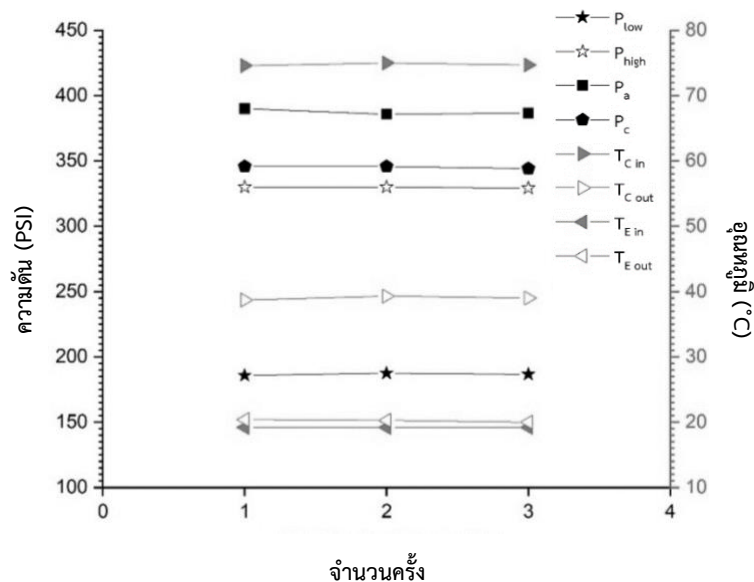
รูปที่ 11 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 12 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 2

2. ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 2 จากรูปที่ 12 ในการทดลองอุณหภูมิหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 20.7°C ความชื้นหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 53 %HR อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 25.1°C ความชื้นภายในห้องเฉลี่ยที่ 71.5 %HR อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.4°C และความชื้นภายนอกเฉลี่ยที่ 60.9 %HR

3. ผลการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 13 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ติดตั้งอีเจ็คเตอร์ทางออกเครื่องอัดไอ ระยะของหัวฉีดตำแหน่งที่ 3

จากรูปที่ 13 ในการทดลองอุณหภูมิหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 21.3°C ความชื้นหน้าเครื่องระเหยเฉลี่ยที่ 53 %HR อุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 25.3°C ความชื้นภายในห้องเฉลี่ยที่ 72.9 %HR อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.6°C และความชื้นภายนอกเฉลี่ยที่ 61.2 %HR

การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น

ผลการทดลองเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็นทั้ง 3 คือ กรณีที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาตรฐาน กรณีที่ 2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องเครื่องควบแน่น กรณีที่ 3 ระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ จากผลการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น กรณีที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็น ที่ 3.85 กรณีที่ 2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องควบแน่นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีค่า 7 และกรณีที่ 3 ระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบสร้างที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นที่ 5.95

การเปรียบเทียบอัตราการใช้ไฟฟ้า

ผลอัตราการใช้ไฟฟ้าพบว่า กรณีที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาตรฐาน อัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 1.3 KW/hr กรณีที่ 2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องของเครื่องควบแน่น อัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 0.956 KW/hr กรณีที่ 3 ระบบทำความเย็นแบบอัดไรร่วมกับอีเจ็คเตอร์ที่ติดตั้งบริเวณทางออกเครื่องอัดไอ อัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 0.756 KW/hr

บทสรุป

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศจากการทดลองแต่ละกรณี พบว่าการติดตั้งอุปกรณ์เสริมอีเจ็คเตอร์ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นเพิ่มขึ้นเพิ่ม และอัตราการใช้ไฟฟ้าลดลงในทุกกรณีเมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งสรุปได้ว่าอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบจะเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดไอลดลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดจนถึงเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

- สมจินต์ พ่วงเจริญ. (2550). การออกแบบหัวฉีดไอน้ำลดความดัน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม 2550. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ. 1-5.
- นิกร เนื่องอุทัย, ปิยากร จันทนะ, สมนึก เครือสอน และณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์. (2553). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้ลมเย็นจากพัดลมระบายอากาศ. วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 10(1): 15-23.
- ถวิกา ผาติดำรงกุล และจตุวัฒน์ วโรตมพันธ์. (2555). ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง. 9(1): 101-112.
- ณัฐ สุวรรณภูมิ และณัฐธินันท์ กิตติธาดาธนภัทร. (2556). การทำนายสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น ของวัฏจักรทำความเย็นแบบฮีตเตอร์ร่วมกับวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอสำหรับการปรับอากาศในรถยนต์. วารสารวิศวกรรมสาร มช. 41(1): 39-51.
- ถวิกา ผาติดำรงกุล และจตุวัฒน์ วโรตมพันธ์. (2555). ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ. รายงานการวิจัย. คณะสถาปัตยกรรมและการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี.
- ธีรพงศ์ บริรักษ์ และพงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ (2556). การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 6(2): 147-155.
- พูนพงษ์ สวาสดิพันธ์, อำไพศักดิ์ ที่บุญมา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์. (2548). การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศโดยการนำความร้อนที่ทิ้งกลับมาใช้. รายงานการวิจัย. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี.
- วีระพันธ์ สีหามาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และศรัทธา อภรณ์รัตน์. (2548). การออกแบบทดสอบการทำงานของ Steam ejector ชนิด CRMC ในระบบทำความเย็น. รายงานการวิจัย. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี.

Received: July 8, 2020; Revised: July 9, 2020; Accepted: August 26, 2020

ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เหมาะสมกับปั้มน้ำ

The suitable off-grid solar energy generator system with water pump

ปรีชญา มุขดา^{1*} กฤษณ์ ไชยวงศ์¹ ทัดทอง พรหมณี² และขวัญชัย หนาแน่น¹Prachya Mukda^{1*}, Krit Chaiwong¹ Tadtong Prammanee² and Kwanchai Nanan¹¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี²คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

*Corresponding Author E-mail Address : mukdaen@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการหาความเหมาะสมระหว่างส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดกับปั้มน้ำ ซึ่งประกอบด้วย แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์ชั่วโมง จำนวน 8 ลูก แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 330 วัตต์ จำนวน 6 แผง 8 แผง และ 10 แผง นำมาทดสอบกับปั้มน้ำขนาด 2.2 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน และเวลาเปิดปั้มน้ำที่ต่างกันของแต่ละวันคือ 08.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. เพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ จากผลแสดงให้เห็นว่า ส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เหมาะสม คือ แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์ชั่วโมง จำนวน 8 ลูก และโซลาร์เซลล์ ขนาด 330 วัตต์ จำนวน 8 แผง เปิดเครื่องในเวลาไม่เกิน 08.00 น. (ในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง) เงื่อนไขนี้ การชาร์จพลังงานไฟฟ้าจะเพียงพอกับพลังงานที่ปั้มน้ำต้องการใช้ในรอบวัน

คำสำคัญ: ระบบกำเนิดไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ ออฟกริด

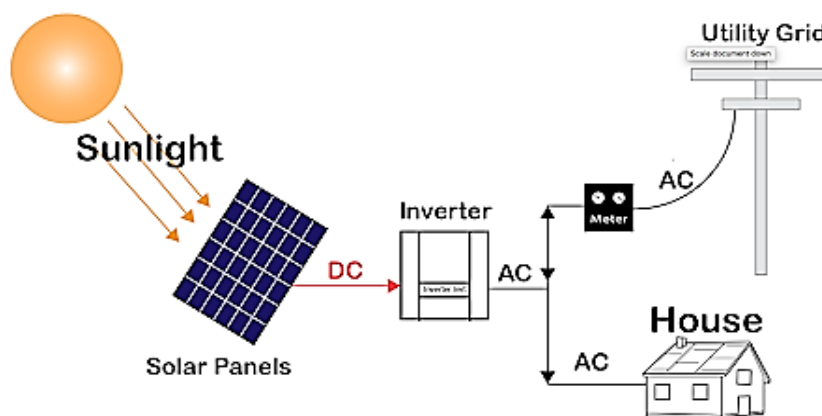
Abstract

This research work is finding of the suitable between the off-grid solar energy generator components with water pump. The components are the 8 battery 100 Ah and the solar cell 330 W of 6, 8 and 10 panel. This off-grid generator tests the water pump 2.2 kW for 2 hour per day. Starting of running pump with various times are 08.00 a.m., 10.00 a.m., 12.00 p.m., 14.00 p.m. and 16.00 p.m. to compare electric charging into batteries. The result shows that, the suitable off-grid solar energy generator components are the 8 battery 100 Ah, the solar cell 330 W of 8 panel and running pump time is 08.00 a.m. (the sky is clearing up). This condition, the charging is enough for output energy of water pump.

Keywords: Generator system, Solar energy, Off-grid

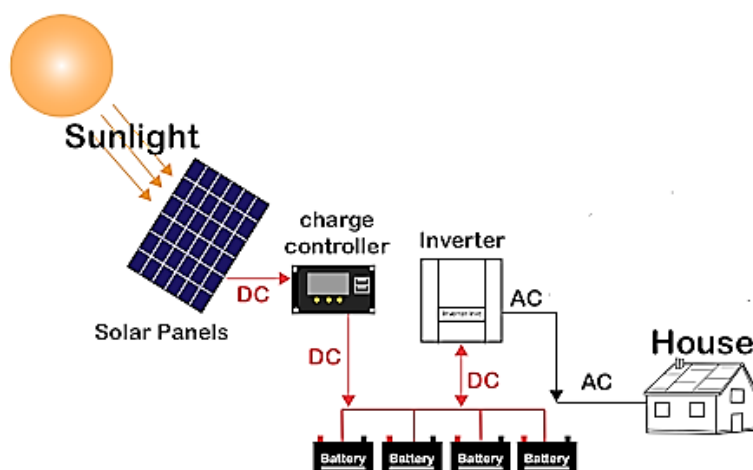
บทนำ

ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ 1) ระบบออนกริด (On-grid system) เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ (Solar panels) ที่เชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า จะใช้อุปกรณ์เพียง แผงโซลาร์เซลล์ และอินเวอร์เตอร์ออนกริด (On-grid inverter) โดยหลักการแปลงไฟกระแสตรง (DC) จากแผงโซลาร์เซลล์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อเชื่อมต่อเข้าระบบการไฟฟ้าเพื่อทำการขายไฟฟ้าคืนหรือลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าได้ (นครินทร์, 2558) ซึ่งระบบแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าแบบออนกริด (On-grid system)

2) ระบบออฟกริด (Off-grid system) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด คือระบบที่ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ไม่ปฏิสัมพันธ์กับผู้ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้ารายใหญ่ ระบบออฟกริดนี้จะแยกเดี่ยวออกมาโดยผู้ติดตั้งโซลาร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าใช้เอง โดยไม่ต้องพึ่งพาการไฟฟ้าซึ่งสามารถแยกหมวดย่อยลงไปได้อีกตามลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่จะใช้งานว่าเป็น ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยต้องเลือกโหลด (เครื่องใช้ไฟฟ้า) ให้เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งมีวิธีการต่อระบบที่หลากหลาย ทั้งต่อโหลดกระแสตรงกับแผงโซลาร์เซลล์ (ซึ่งผลิตไฟฟ้ากระแสตรง) โดยตรง หรือนำไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงไปชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ด้วย Charge Controller แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ด้วย Inverter สำหรับไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนซึ่งใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับอยู่แล้ว (นภัทร, 2554) ซึ่งระบบในแสดงในรูปที่ 2 โดยระบบโซลาร์เซลล์นี้จะมีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้คงที่และเหมาะสม มากกว่านั้นก็สามารถเก็บสำรองไฟฟ้าไปใช้ได้ในตอนกลางคืน



รูปที่ 2 ระบบไฟฟ้าแบบออฟกริด (Off-grid system)

ระบบไฟฟ้าแบบออฟกริดนี้ จึงสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการพลังงาน โดยเฉพาะพื้นที่ทำการเกษตรที่กว้างขวางและห่างไกลจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี (วัฒนพงษ์ และคณะ, 2536) แต่อย่างไรก็ตาม ระบบกำเนิดไฟฟ้านี้เกษตรกรหรือประชาชนเข้าถึงได้ค่อนข้างลำบาก เพราะราคาการติดตั้งระบบและระยะคุ้มทุนที่สูง ซึ่งเหตุผลหนึ่งของการที่ทำให้ราคาการติดตั้งสูง เนื่องจากความไม่เหมาะสมระหว่างความต้องการของกำลังไฟฟ้า (Output) กับกำลังการผลิตไฟฟ้า (Input) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับปั๊มน้ำ ซึ่งเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานที่จำเป็นในงานเกษตรทั่วไป ซึ่งเหตุผลที่ทำให้ราคาการติดตั้งที่สูงอย่างหนึ่งเกิดจากการใช้ปริมาณของชุดอุปกรณ์ที่เกินความจำเป็น อาทิ จำนวนหรือขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ ที่มากหรือน้อยเกินไปกับปริมาณพลังงานของปั๊มน้ำที่ต้องการใช้ (เจษฎา, 2558; สมชาย, 2537) ดังนั้น โครงการนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด หาคความเหมาะสมระหว่างจำนวนแบตเตอรี่ จำนวนแผงเซลล์ให้น้อย และเวลาในการใช้งานของปั๊ม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและความคุ้มค่ามากที่สุด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบอิสระ กำลังผลิตไฟฟ้าประมาณ 4 kW ($330 \text{ W} \times 12 \text{ แผง} = 3,960 \text{ W}$) ที่ติดตั้งในพื้นที่ของศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี เพื่อใช้ในการทดสอบ ดังแสดงใน รูปที่ 3 (ก)
2. ใช้แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด Polycrystalline ขนาดกำลังการผลิต 330 W ต่อแบบอนุกรม 2 แผง แล้วนำมาต่อแบบขนาน 3, 4 และ 5 คู่ (หรือ 6, 8 และ 10 แผง) เพื่อเปรียบเทียบการชาร์จ (อริคม, 2559) ดังแสดงใน รูปที่ 3 (ข)
3. ใช้แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah ต่ออนุกรม 4 ลูก (48 V) แล้วกันมาต่อแบบขนานกัน 2 ชุด (หรือ 8 ลูก) ดังแสดงใน รูปที่ 3 (ค) ซึ่งพลังงานในแบตเตอรี่ที่เหมาะสมคำนวณได้จาก ($100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} \times 8 = 9,600 \text{ Wh} / 2 = 4.8 \text{ kWh}$) (ปรัชญา และขวัญ, 2562)
4. โหลดที่ใช้ได้แก่ ปั๊มน้ำ AC 220 V Single Phase ขนาด 2.2 kW (3 Hp) ทำงาน 2 ชั่วโมง พลังงานที่ปั๊มใช้คำนวณได้จาก ($2,200 \text{ W} \times 2 \text{ h} = 4.4 \text{ kWh}$) (อัครธร และคณะ, 2560)

5. หาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการใช้น้ำขนาด 2.2 kW กับการชาร์จไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่แบตเตอรี่ โดยปั้มทำงาน 2 ชั่วโมง เวลาเริ่มต้นที่ปั้มเริ่มทำงาน คือ 08.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น.

6. ทดสอบเฉพาะวันที่ท้องฟ้าโปร่ง อากาศแจ่มใส ของช่วงเดือน มีนาคม ถึง เมษายน 2563



(ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด



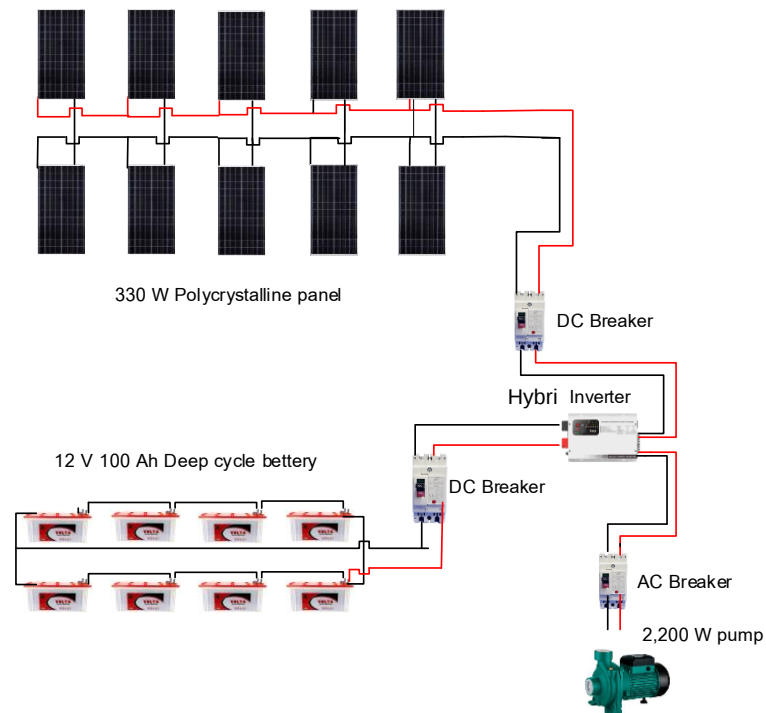
(ข) แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Polycrystalline



(ค) แบตเตอรี่แบบ Deep cycle และ Inverter ขนาด 6 kW

รูปที่ 3 ลักษณะทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบออฟกริดได้ถูกออกแบบและสร้าง โดยกำหนดแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 330 W ต่อแบบอนุกรมชุดละ 2 แผง ที่ต่อขนานกันทั้งหมด 6 ชุด รวมเป็น 12 แผง ที่มีแรงดันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ประมาณ 80 V เข้าสู่ Charger controller (ซึ่งจะรวมอยู่ในตัวของ Hybrid inverter) มีหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เข้าสู่แบตเตอรี่ด้วยแรงดันประมาณ 48 V หลังจากนั้น Inverter ที่ต่อพ่วงกับโหลด (ปั้มน้ำ) มีหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ 220 V (ไฟฟ้าบ้าน) ดังแสดงในรูปที่ 4 ทดสอบกับการทำงานของปั้มน้ำขนาด 2.2 kW เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการชาร์จตามลำดับ



รูปที่ 4 ไดอะแกรมส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด

การทดสอบ ใช้จำนวนแผงด้วยการต่อแบบอนุกรมชุดละ 2 แผง แล้วนำมาต่อแบบขนานกัน 3 ชุด 4 ชุด และ 5 ชุด (6 แผง 8 แผง และ 10 แผง ตามลำดับ) โดยขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยโดยใช้เครื่องมือวัด Solar power meter ในการวัดจะวางอุปกรณ์ให้ตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์ค่าจะปรากฏบนหน้าจอแสดงผล เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์มีหน่วยเป็น W/m^2 และ Btu ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทำการตรวจวัดแสงตั้งแต่เวลา 06.00 น.–18.00 น. ทุกหนึ่งชั่วโมง



รูปที่ 5 การวัดความเข้มแสง

2. การตรวจสอบไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยแคลมป์มิเตอร์ ใช้ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ด้วยวิธีลัดวงจรหรือที่เรียกว่า “short circuit” ที่แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวัดกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์

3. การตรวจสอบการชาร์จไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยการใช้แคลมป์มิเตอร์ แคลมป์ที่เส้นขั้วบวกระหว่างสายแบตเตอรี่ กับอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งหากอ่านค่าจากแคลมป์มิเตอร์กระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่ามีการชาร์จไฟฟ้า เข้าสู่แบตเตอรี่ และหากอ่านค่าเป็นลบแสดงว่าไม่มีการชาร์จไฟหรือกำลังการใช้โหลดมากกว่ากำลังการชาร์จไฟฟ้าจาก แผงโซลาร์เซลล์



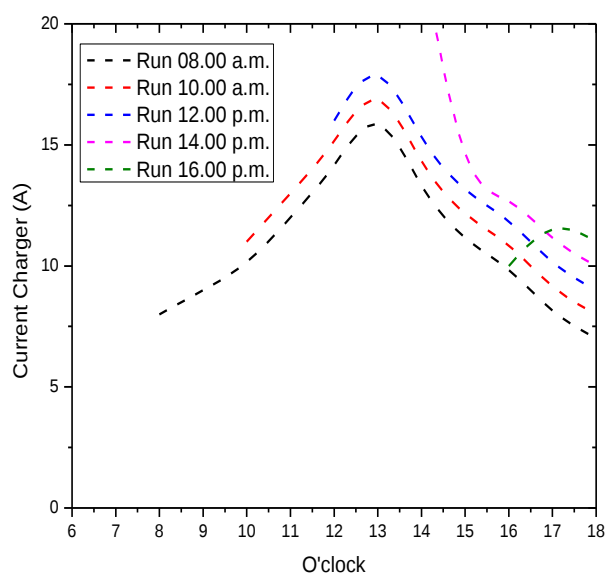
รูปที่ 7 การวัดการชาร์จกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่

ดังนั้นการตรวจสอบความเหมาะสมระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดกับปั้มน้ำ สามารถตรวจสอบเพื่อเปรียบได้จากค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์และค่ากระแสไฟฟ้าที่เข้าหรือออกจากแบตเตอรี่ เพื่อนำไปสู่การได้จำนวนและขนาดที่พอดีกับปริมาณโหลดที่ใช้ อาทิ จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ และจำนวนแบตเตอรี่ เป็นต้น

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

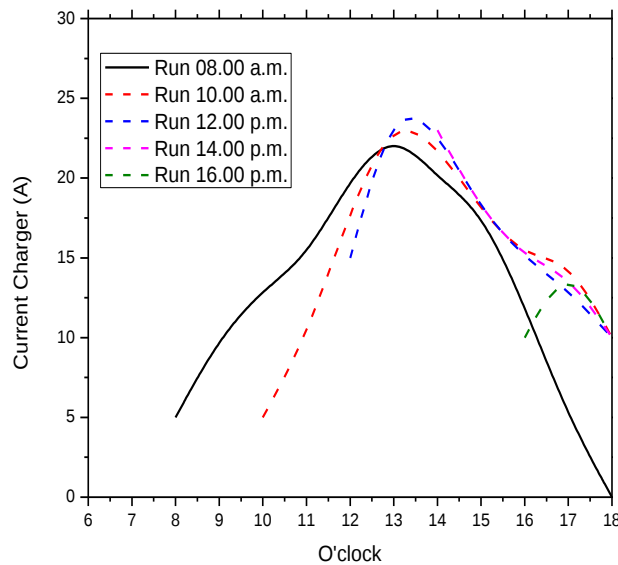
จากรูปที่ 8-10 เป็นการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ ที่มีจำนวนแผงที่แตกต่างกันคือ 6, 8 และ 10 แผงตามลำดับ โดยเส้นกราฟแต่ละเส้นจะเป็นเวลาเริ่มต้นของการเปิดปั๊ม (Run) ที่เวลาแตกต่างกันของแต่ละวันคือ 08.00 น.(สีดำ) 10.00 น.(สีแดง) 12.00 น.(สีน้ำเงิน) 14.00 น.(สีชมพู) และ 16.00 น.(สีเขียว) ซึ่งเส้นประ หมายถึงการชาร์จพลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบวัน และ เส้นทึบ หมายถึงการชาร์จพลังงานไฟฟ้าที่พอดีหรือมากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มในรอบวัน

รูปที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ ที่ใช้จำนวน 6 แผง โดยเส้นกราฟแต่ละเส้นจะเป็นเวลาเริ่มต้นของการเปิดปั๊ม (Run) ที่เวลาแตกต่างกันของแต่ละวันคือ 08.00 น.(สีดำ) 10.00 น.(สีแดง) 12.00 น.(สีน้ำเงิน) 14.00 น.(สีชมพู) และ 16.00 น.(สีเขียว) โดยทุกเส้นจะเป็นเส้นประทั้งหมด ซึ่งหมายถึงการชาร์จที่น้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าในรอบวัน



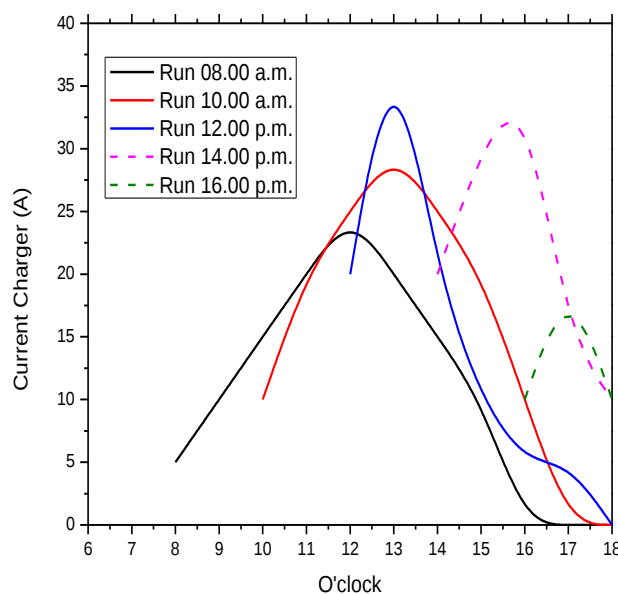
รูปที่ 8 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ จากแผงโซลาร์เซลล์จำนวน 6 แผง

รูปที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ ที่ใช้จำนวน 8 แผง โดยเส้นกราฟแต่ละเส้นจะเป็นเวลาเริ่มต้นของการเปิดปั๊ม (Run) ที่เวลาแตกต่างกันของแต่ละวันคือ 08.00 น.(สีดำ) 10.00 น.(สีแดง) 12.00 น.(สีน้ำเงิน) 14.00 น.(สีชมพู) และ 16.00 น.(สีเขียว) โดยทุกเส้นจะเป็นเส้นประ ยกเว้นเส้นสีดำ (Run 08.00 น.) ซึ่งหมายถึงการชาร์จพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการที่ใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มในรอบวัน โดยสังเกตได้จากค่าการชาร์จกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์พอดีที่เวลา 18.00 น. เกิดจากการที่ไม่มีการชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่เพิ่ม (แบตเตอรี่เต็ม)



รูปที่ 9 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ จากแผงโซลาร์เซลล์จำนวน 8 แผง

รูปที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ ที่ใช้จำนวน 10 แผง โดยเวลาเริ่มต้นของการเปิดปั๊ม (Run) ที่ 08.00 น.(สีดำ) 10.00 น.(สีแดง) 12.00 น.(สีน้ำเงิน) เป็นเส้นทึบ ซึ่งหมายถึงการชาร์จพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั๊มในรอบวัน โดยสังเกตได้จากค่าการชาร์จกระแสไฟฟ้าเป็นลดลงเป็นศูนย์ ซึ่งเกิดจากการที่ไม่มีการชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่เพิ่ม (แบตเตอรี่เต็ม) ต่อมาเริ่มต้นของการเปิดปั๊ม (Run) ที่เวลา 14.00 น.(สีชมพู) และ 16.00 น.(สีเขียว) ซึ่งหมายถึงเป็นช่วงเวลาที่ไม่สามารถชาร์จได้ทันเวลาของรอบวัน



รูปที่ 10 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ จากแผงโซลาร์เซลล์จำนวน 10 แผง

บทสรุป

จากการทดสอบการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ ที่มีจำนวนแผงที่แตกต่างกันคือ 6, 8 และ 10 แผงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาในการเปิดปั๊มน้ำทำงานและจำนวนแผงที่ใช้ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการชาร์จพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้อย่างเซลล์จำนวน 6 แผงนั้น ไม่สามารถชาร์จพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการของปั๊ม 2.2 kW ทำงานเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อวันได้ ไม่ว่าจะเปิดเครื่องในเวลาใดก็ตาม ต่อมา การใช้เซลล์จำนวน 8 แผง หากมีการเปิดปั๊มน้ำทำงาน 08.00 น. ก็จะสามารถชาร์จพลังงานไฟฟ้าได้พอดีในรอบวัน และการใช้เซลล์ 10 แผง ปรากฏว่าหากมีการเปิดปั๊มน้ำทำงานไม่เกิน 12.00 น. จะสามารถชาร์จพลังงานไฟฟ้าได้ทันเวลาในรอบวัน แต่อาจจะสิ้นเปลืองแผงเกินความจำเป็น

ดังนั้น การทำงานของปั๊มน้ำขนาด 2.2 kW เป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบออปติคัล แผงโซลาร์เซลล์ Polycrystalline ขนาด 330 W จำนวน 8 แผง แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah จำนวน 8 ลูก และควรเปิดเครื่องในเวลา 08.00 น. (ในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง) จะมีความเหมาะสมพอดีกันระหว่างพลังงานขาเข้ากับพลังงานที่ต้องการใช้ในรอบวัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้ทุนสนับสนุน โครงการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ปีงบประมาณ 2563 และมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

เอกสารอ้างอิง

- เจษฎา วรรณศรี, วัชรพันธ์ อินทมาศ และสุรจภูมิ ยะนิล (2558). เครื่องสูบน้ำแผงโซลาร์เซลล์. ใน การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 8. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นภัทร วัจนเทพินทร์ (2554). การติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตัวเอง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์สกายบุ๊ก: ปทุมธานี.
- นรินทร์ รินพล (2558). คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 14. สำนักพิมพ์ไอเค่แพลนเน็ต: กรุงเทพฯ.
- ปรีชญา มุขตา และขวัญ หนาแน่น (2562). เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33. จังหวัดอุดรธานี.
- วัฒนพงษ์ รัชชีวีเชียร, สมชาย สุวราห์วรรณ, สังวาล เพ็งพัด, สุขฤดี นาถกรรณกุล และนิพนธ์ ประทุมศิริ (2536). พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จากสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บ้านเด่นไม้ซุง จังหวัดตาก. รายงานการวิจัย. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.
- สมชาย สุวราห์วรรณ (2537). การวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคและเศรษฐกิจของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเพื่อการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- อริคม อนุจิตรอนันต์ (2559). การจัดทำกลยุทธ์เพื่อการขยายฐานของธุรกิจรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในจังหวัดระยอง กรณีศึกษาบริษัท ยูนิตรอน กรุป จำกัด. งานนิพนธ์การศึกษาตามหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชา บริหารธุรกิจ สำหรับผู้บริหาร วิทยาลัยพาณิชยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- อัครธร ธิเชียว, กล้าณรงค์ วงศ์สุวรรณ และธนาต รัชศิลป์ (2560). การจัดการน้ำเพื่อการเกษตรบนพื้นที่สูงด้วยระบบ สูบน้ำพลังงานทดแทนของโครงการ สวมหมวกใส่รองเท้าให้ภูเขาหัวโล้น จังหวัดน่าน. รายงานการวิจัย. วิทยาลัย ชุมชนน่าน น่าน.

- Biodiversity of medicinal plants in Suwannaphum district, Roi Et Province
Auemporn Junsongduang, Kanyapat Thanaweth, Suwanna Lumyai, Wipaporn Luangthep, Malita Khammanee and Nathaporn Chaitham
- Diversity of tree species and utilization of natural dyeing: A case study of community forest in Surin Province
Somchaya Sritram, Vasa Wongsuksaweang and Pradipha Pansanthia
- Effects of supplementation Ca-salt of palm oil fatty acid in the lactating dairy cow diet on productivity and milk compositions
Noppharat Phakachod and Chayapol Meeprom
- Physico-Chemical Properties and stability of lamduan anthocyanin encapsulation by vacuum drying technique
Karunrat Sakulnarmrat, and Denchai Wongsrikaew
- Photophysical study of cationic dyes confined zeolite LTL for artificial antenna applications
Suriya Doungmanee and Wilaiporn Insuwan
- Scheduling system with drag and drop technique
Jeeranun Tasuntia, Boonlueo Nabumroong, Anyawee Chaiwachiragompol, Tanathip Kunok and Chainarong Sanmee
- Design augmented reality geographic information system to search for government positions in Faculty of Industrial Technology Surindra Rajabhat University
Apinanthichai Jomsati
- The effects of blade number on the efficiency of undershot water wheel
Piyawat Sritram, Pipat Ponlawan, Patana Pannason and Phakorn Keram
- Vapor-compression refrigeration system with ejector
Chayanon Sangmanee and Wuttichai Sittiwong
- The suitable off-grid Solar energy generator system with water pump
Prachya Mukda, Krit Chaiwong, Tadtong Prammanee and Kwanchai Nanan