

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2566
Vol.4 No.1 January – April 2023

- A study of vector analysis in a rotating magnetic field using Scilab
Penpark Sirimark, Wasinee Pradubsri, Phatthanan Boonsaduak and Thawatchai Boontan
- ระบบจอดรดองระยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
เปรม อังคเวชชากุล และกิตติคุณ บุญฤกษ์
- การเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบของน้ำสกัดใบโหระพาที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา
ศศิมา มุ่งหมาย วีระเวทย์ อุกโรธ วัชรพงษ์ วัฒนกุล ทิศา สุนทรวิภาต และอดุลย์ อภินันท์
- การพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที
ธีรพงศ์ เพ็ญเนตร คมทอง โยวะผุย ชุศักดิ์ จาระจับ ภาณุพงศ์ บุญรัมย์ อุดมเดช การะหอม และปิยนุช วรบุตร
- การผสมพันธุ์ข้ามชนิดของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมกับกล้วยไม้หางว้างอ่อน การงอกของเมล็ดลูกผสม
ในสภาพปลอดเชื้อ และการเจริญของต้นกล้วยไม้ลูกผสม
เจน จิน และนิภาวรรณ จิตโสภาคกุล
- การทดสอบสมรรถนะโซล่าเซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์
ณัฐพงษ์ มิ่งพุกษ์ อติศร นวลอ่อน ปรัชญา บำรุงกุล ภักธรักษ์ บุญสะเดก อติเทพ จันทน์ พงษ์พันธ์ บุญสรรค์
และสัฏฐกนก ยอดรักย์
- ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในใบมะลั่นด้วยซิงค์ออกไซด์ผสมสารสกัดจากขิง ข่า และไพล
รัตนกรรณ์ สมฤทธิ์ วรุตม์ คุณสุทธิ์ ธีระวิทย์ พลโคกก่อ่ง อาริรัตน์ เมืองแสน ปิฎพงษ์ เทียมตรี
ชนิตา บุตรรัตน์ นิรันดร์โชชน์ ชาญชาติ และณัฐวิญา สุธา
- การประยุกต์ใช้ฟลิคซ์เซ็นเซอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์สำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ
รุจิพรรณ สัมปณณา เทพทวี ทองเต็มแก้ว ปิ่นทษนิตพิ์ เสงศรีธวัช และเต็มพงษ์ ศรีเทศ
- การศึกษาคุณสมบัติการบดอัด และค่า ซี บี อาร์ ของดินถมลาดคันทางที่ผสมเส้นใยจากกระสอบป่าน
ชลธิชา จีบตะคุ ลาวลย์ ขันเกษตร และสมใจ ยูลขิต
- การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
สุชาติ ดุมนิล

ISSN 2730 - 163X

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) A study of vector analysis in a rotating magnetic field using Scilab 2) ระบบจอตระจัจริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 3) การเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบของน้ำสกัดใบชาที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา 4) การพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที 5) การผสมพันธุ์ข้ามชนิดของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมกับกล้วยไม้เขากวางอ่อน การงอกของเมล็ดลูกผสมในสภาพปลอดเชื้อ และการเจริญของต้นกล้วยไม้ลูกผสม 6) การทดสอบสมรรถนะโซล่าเซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ 7) ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคน้ำค้ำในใบเมลอนด้วยซิงค์ออกไซด์ผสมสารสกัดจากขิง ข่า และไพล 8) การประยุกต์ใช้เฟล็กซ์เซ็นเซอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์สำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ 9) การศึกษาคุณสมบัติการบดอัด และค่า ซี บี อาร์ ของดินถมลาดคันทางที่ผสมเส้นใยจากกระสอบป่าน 10) การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

โดยบทความได้ผ่านการพิจารณา และการกลั่นกรอง จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย 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.สำเนา	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	อ.ทรงยศ	กิตติชนม์ธวัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิวิเศษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวีณา	สาส์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	ดร.อัญวิทย์	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	แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.สุวัจน์	อัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรกฤษ ศรีเกษม		โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.พันธวัช	สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทิง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนิชฐา	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
รศ.ดร.วีรเวทย์	อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อังคณา	บุญยิด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.เอื้อมพร	จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์	อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.ภาณุพล	หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
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	สงศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดิล	ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.ศุภลักษณ์	เกตุดากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิชาน	นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุรียา	อุดด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.วิภาสทธิ์	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.เรวัฒน์	เต็มกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.นิตยา	ภูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ปรัชญา	บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

- พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน
- ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – เมษายน
 - ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม
 - ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน – ธันวาคม

พิมพ์ที่

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนพร พยอมใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภารัตน์ สมบัติศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ชาญ เหลืองมณีโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรลัดดา เจือจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญทัน สนั่นน้ำหนัก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลพร อินสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นราศักดิ์ วงษ์วาสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สอนรินทร์ เรืองปรัชญากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ แก้ววิเชียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาควัฒน์ จันทศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสพิชญ์ ชูใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล นามลักษณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนิดา เมืองโคตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา เลหาศิลป์สมจิตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเดือน รัตนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร หงษ์ทองคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองมูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิเศษพันธุ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรัญญา พิมพ์มงคล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระชัย สาระคร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถศาสน์ นิมิตรพันธ์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมบุญ ปัญญาทิพย์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

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 1 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 6 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TC12)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย ลิทธิวงษ์

บรรณาธิการ



A study of vector analysis in a rotating magnetic field using Scilab <i>Penpark Sirimark, Wasinee Pradubsri, Phatthanan Boonsaduak and Thawatchai Boontan</i>	1
ระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง <i>เปรม อิงคเวชชากุล และกิตติคุณ บุญเกิด</i>	14
การเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบของน้ำสกัดใบชาที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา <i>ศศิมล มุ่งหมาย วีระเวทย์ อุทโธ วัชรพงษ์ วัฒนกุล ทิตา สุนทรวิภาต และอดุลย์ อภินันท์</i>	29
การพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที <i>ธีรพงศ์ เพ็ญเนตร คมทอง โยวะมุข ชุศักดิ์ จาระงับ ภาณุพงศ์ บุญรัมย์ อุดมเดช ทาระหอม และปิยนุช วรบุตร</i>	43
การผสมพันธุ์ข้ามชนิดของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมกับกล้วยไม้เขากวางอ่อน การงอกของเมล็ดลูกผสมในสภาพปลอดเชื้อ และการเจริญของต้นกล้วยไม้ลูกผสม <i>เชน จิน และนิภาวรรณ จิตโสภาคกุล</i>	57

การทดสอบสมรรถนะโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์	69
Solar cell performance for base station sites	
ณัฐพงษ์ มิ่งพฤกษ์ อติศร นวลอ่อน ปรัชญา บำรุงกุล ภัทรนันท์ บุญสะดวก อดิเทพ จันทับ พงษ์พันธ์ บุญสรรค์ และลัทธิพงษ์ ยอตรักษ์	
ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในใบเมลอนด้วยซิงค์ออกไซด์ผสมสารสกัด จากขิง ข่า และไพล	78
Efficiency fungal inhibition of downy mildew in melon leaves by zinc oxide compounding ginger, galangal and phlai	
รัตนาภรณ์ สมฤทธิ์ วรุตม์ คุณสุทธิ วีระวิทย์ พลโคกก่อง อารีรัตน์ เมืองแสน ปัฐพงศ์ เทียมตรี ชนิดา บุตรรัตน์ะ นิรันดร์ไชนันท์ ชาญชาติ และณัฐธิญา สุดชาติ	
การประยุกต์ใช้ฟлексเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์สำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ	90
Application of flex sensors to control devices for helping the elderly	
รุจิพรรณ สัมปณณา เทพทวี ทองเต็มแก้ว ปิ่นทนต์ชีพ เสงศรีวัช และเติมพงษ์ ศรีเทศ	
การศึกษาคุณสมบัติการบดอัด และค่า ซี บี อาร์ ของดินถมลาดคันทางที่ผสมเส้นใย จากกระสอบป่าน	103
A study on compaction characteristics and C.B.R. of embankment fill stabilized by hemp fiber	
ชลธิชา จีบตะคุ ลาววัลย์ ชันเกษตร และสมใจ ยุกบลชิต	
การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things	112
Development of smart agricultural watering system using the Internet of Things	
สุชาติ ดุมนิล	

A study of vector analysis in a rotating magnetic field using Scilab

Penpark Sirimark¹, Wasinee Pradubsri^{1*}, Phatthanan Boonsaduak¹ and
Thawatchai Boontan²

¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

²Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

*Corresponding Author E-mail Address: wasinee.pr@rmuti.ac.th

Abstract

In electromagnetics, a rotating magnetic field in three-phase electrical machines is one of the most complicated topics to describe to the students in our class to understand the process of the stator of an electrical machine generates the rotating magnetic field. These problems focus on transforming these fields into phasors using mathematical ways. However, the mathematical proof is quite complex to conceive and difficult to image the space phasors rotation. In this research, a vector analysis is recommended to solve these problems and applied to study the rotating magnetic field in electrical engineering, which takes the mathematical approach to a Scilab simulation. To demonstrate the methodology, examples of application vector analysis for rotating magnetic field using Scilab under various values of the magnetic fluxes are presented. The results show that the students can comprehend the principles of rotating magnetic field.

Keywords: Electromagnetics, Magnetic field, Vector analysis, Scilab

Introduction

Electrical Machinery as a device can use almost everywhere, whether at home or a hospital and in the general industry, such as lathes, electric cars, etc. The principle of electrical machinery is caused by the interaction between the magnetic field at the copper windings in the stator (Stator) and the magnetic field in the copper windings in the rotor (Rotor), causing the attraction and repulsion of both magnetic fields. And then use the energy obtained from that rotation. In electromagnetic theory, the interaction of a conductor with a rotating magnetic field is an essential topic. It is also frequently encountered in various applications in a variety of branches, such as electric generators, induction regulators, and induction motors

(Kraftmakher, 2001). To gain further insight into the procedure of such systems, the instructor begins by explaining the relationship between steps and processes as clearly as possible because students are thus far introduced to flux plots and the motion of magnetic fields.

Vector analysis plays an important role in explaining the direction of magnetic flux around the conductor. The vector field is particularly identified by the behavior of its components when the coordinate axes are rotated. Mathematics and Statistics have proven to be very efficient in presenting complicated phenomena and allowing for easy visualization and manipulation. Since its inception, the concept of vector has been extensively covered in numerous textbooks (Thidé, 2004; Guru and Hiziroglu, 2009), and its analysis has been widely used in Electromagnetics, Electromagnetic fields and Electromagnetic Waves subjects.

Numerous research studies have investigated the electromagnetic processes using vector analysis (Guru and Hiziroglu, 2009; Khokhlov et al., 2016; Kovivchak, 2017). However, there are always rotational questions of the interaction between the magnetic fields of movement magnet. Nowadays, vector analysis is one of the most popular topics in mathematics and commonly used to explain the movement of a rotating magnetic field. To illustrate this procedure, it can be difficult for students and is not enough to learn this lesson. This is because it is not clear image of rotation. Finding a suitable approach, these problems can be explained by vector analysis combine with the tool for calculation which is Scilab. In this article, vector analysis is applied to study the rotating magnetic field in electrical engineering which takes the mathematical approach to a Scilab simulation. In this article, vector analysis was used to investigate the rotating magnetic field in electrical engineering using a mathematical approach and a Scilab simulation. The paper is organized as follows: a brief physical description of the stator of three phase induction machines and the explanation of a complementary tool for analysis and simulation are given in section 2. The examples of application vector analysis using Scilab are calculated in section 3. Lastly, the conclusion is presented in section 4.

Materials and Methods

Rotating magnetic field

Throughout this section, we first introduce a basic physical description of three phase induction machines' stators. Three phase induction motors have symmetric three phase stator windings that are displaced in time from each other with an angle at 120° in each space (Frede, 2018). In this study, the sequence a'b'c' is denoted as the magnetic axis of three-coils. Therefore, the three-phase machine consists of 3 coils as follows:

a - a'

b - b'

c - c'

We can demonstrate three coils displayed in space around a primitive three-phase machine's stator as in figure 1.

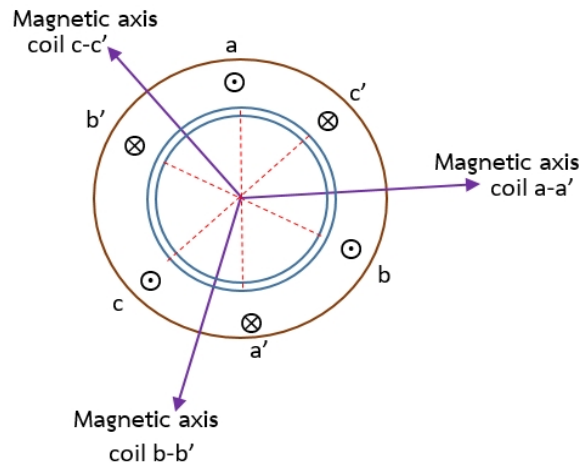


Figure 1 Illustration of Magnetic axis of 3-coils.

We can see that each coil's magnetic axis is perpendicular to its corresponding plane. The three coils placed in the space around the stator are shown in figure 1. A magnetic field is generated when a three-phase winding is energized by a three-phase supply. Besides that, the resultant component will rotate in space around the electric machine's air gap. As a result, it is referred to as a rotating field. Additionally, each winding's conductor is distributed in the pattern of a sinusoidal wave as shown in figure 2. Hence, when current flows into the three-phase windings, it produces the sinusoidal waveform's magneto motive force (MMF).

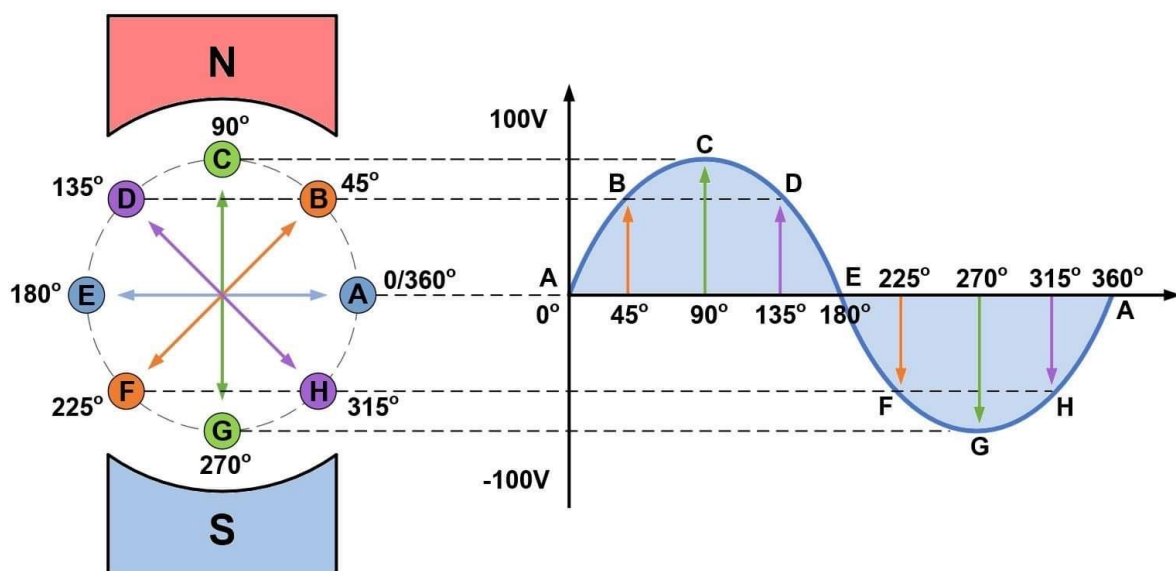


Figure 2 Illustration of a sinusoidal waveform.

Mathematical analysis of rotating magnetic field

In a balanced system, the mathematical equations for the instantaneous values of the three fluxes M_x , M_y and M_z can be written as functions of time as follows:

$$M_x = M_m \sin \omega t \quad (1)$$

$$M_y = M_m \sin (\omega t - 120) \quad (2)$$

$$M_z = M_m \sin (\omega t + 120) \quad (3)$$

where M_m is the magnitude of each flux (or amplitude of the flux), t is time, and ω is an angular velocity. In addition, the instantaneous fluxes M_x , M_y and M_z can be represented as the fluxes wave in the space corresponding green, red and purple phase winding, respectively in the following:

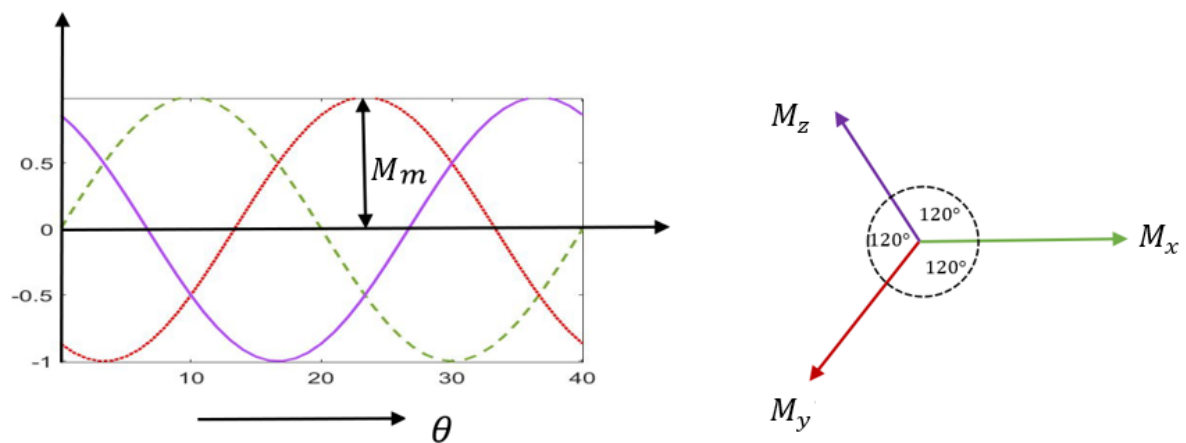


Figure 3 Illustration of three phases voltage sinusoidal waveform.

Next, we consider the magnitude of the resultant flux by using the phasor diagram of the three fluxes as shown in figure 4.

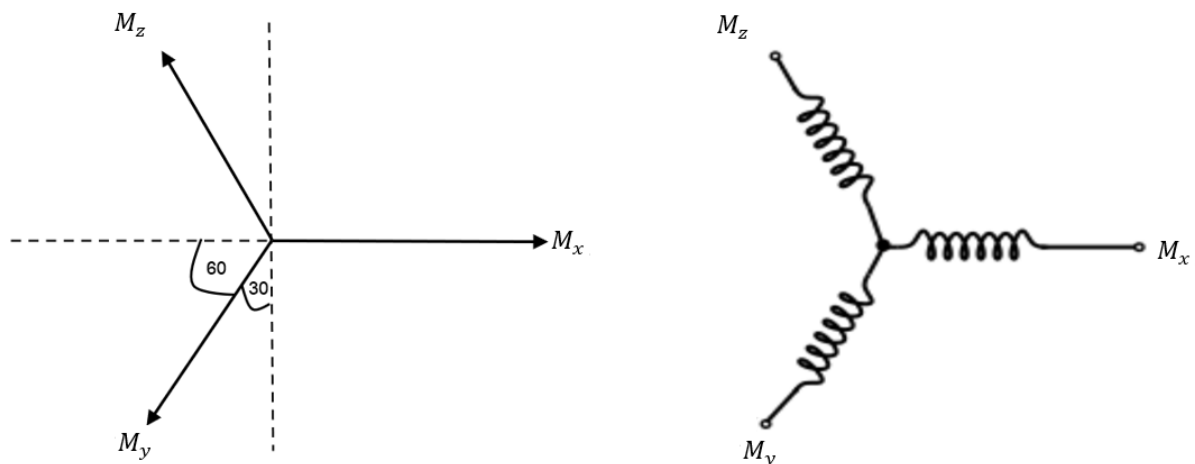


Figure 4 Illustration of the phasor diagram of the three fluxes.

In figure 4, we will obtain the magnitude of the resultant flux by considering phasor sum of horizontal and vertical components flux. Firstly, we can calculate the resulting horizontal flux component in the following equations:

$$\begin{aligned} M_H &= M_x - M_y \cos 60^\circ - M_z \cos 60^\circ \\ &= M_x - (M_y + M_z) \cos 60^\circ \\ &= M_x - (M_y + M_z) \frac{1}{2} \end{aligned}$$

To substitute the equations (1)-(3) into the above equation, M_H can be computed as:

$$\begin{aligned} M_H &= M_m \sin(\omega t) - \frac{1}{2} [M_m \sin(\omega t - 120^\circ) + M_m \sin(\omega t + 120^\circ)] \\ &= M_m \sin(\omega t) - \frac{1}{2} [M_m (\sin(\omega t - 120^\circ) + \sin(\omega t + 120^\circ))] \\ &= M_m \sin(\omega t) - \frac{M_m}{2} [\sin(\omega t) \cos(120^\circ) - \cos(\omega t) \sin(120^\circ) + \sin(\omega t) \cos(120^\circ) + \cos(\omega t) \sin(120^\circ)] \\ &= M_m \sin(\omega t) - \frac{M_m}{2} [2 \sin(\omega t) \cos(120^\circ)] \\ &= M_m \sin(\omega t) - \frac{M_m}{2} [2 \sin(\omega t) \left(-\frac{1}{2}\right)] \\ &= \frac{3}{2} M_m \sin(\omega t). \end{aligned} \tag{4}$$

As same as the procedure above, we can prove that

$$M_V = \frac{3}{2} M_m \cos(\omega t). \tag{5}$$

Consequently, from the equations (4)-(5), the resultant flux is denoted by considering the magnitude of vector in the following equation:

$$\begin{aligned} M_R &= \sqrt{(M_H)^2 + (M_V)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{3}{2} M_m \sin(\omega t)\right)^2 + \left(\frac{3}{2} M_m \cos(\omega t)\right)^2} \\ &= \frac{3}{2} M_m \sqrt{(\sin(\omega t))^2 + (\cos(\omega t))^2} \\ &= \frac{3}{2} M_m \end{aligned} \tag{6}$$

We can see that the resultant of these fluxes at instant M_R is equal to $\frac{3}{2}$ times of the magnitude of each flux (M_m) per phase.

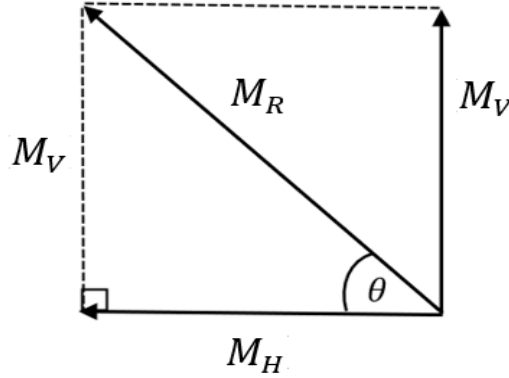


Figure 5 The horizontal (M_H) and vertical (M_V) components of the flux.

The horizontal and vertical components of the flux are obtained and presented in figure 5. It was observed that the relation of the two components can be expressed as follows:

$$\begin{aligned}
 \tan(\theta) &= \frac{M_V}{M_H} = \frac{\frac{3}{2}M_m \cos(\omega t)}{\frac{3}{2}M_m \sin(\omega t)} \\
 &= \frac{\cos(\omega t)}{\sin(\omega t)} \\
 &= \cot(\omega t) \\
 &= \tan(90^\circ - \omega t)
 \end{aligned}$$

Therefore, we obtain θ which is equal to $90^\circ - \omega t$. Obviously, it is the function of time. On the other hand, equations (1) – (3) can be rewritten as a polar form:

$$M_x = M_m \sin \omega t [\cos(0) + i \sin(0)], \quad (7)$$

$$M_y = M_m \sin(\omega t - 120) [\cos(-120) + i \sin(-120)], \quad (8)$$

$$M_z = M_m \sin(\omega t + 120) [\cos(120) + i \sin(120)], \quad (9)$$

respectively. Consequently, we obtain the resultant magnetic flux density by adding the vectors from equations (7)-(9) as follows:

$$\vec{M_r} = \vec{M_x} + \vec{M_y} + \vec{M_z}. \quad (10)$$

Where M_r is the resultant magnetic flux density.

From the previous equations, we can give an example by letting $\omega t = 0$, then we obtain $\vec{M_r}$ as

$$\begin{aligned}
 \vec{M_r} &= M_m \sin \omega t [\cos 0 + i \sin(0)] + M_m \sin(\omega t - 120) [\cos(-120) + i \sin(-120)] \\
 &\quad + M_m \sin(\omega t + 120) [\cos(120) + i \sin(120)] \\
 &= M_m \sin 0 [\cos(0) + i \sin(0)] + M_m \sin(-120) [\cos(-120) + i \sin(-120)] \\
 &\quad + M_m \sin(120) [\cos(120) + i \sin(120)]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0 + M_m \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left[-\frac{1}{2} + i \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right] + M_m \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left[-\frac{1}{2} + i \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right] \\
&= M_m \left[\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left[-\frac{1}{2} + i \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right] + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left[-\frac{1}{2} + i \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right] \right] \\
&= M_m \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\left[\frac{1}{2} + i \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right] + \left[-\frac{1}{2} + i \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right] \right] \\
&= M_m \frac{\sqrt{3}}{2} \left[i \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + i \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \right] \\
&= M_m \frac{3}{2} (i) \\
&= M_m \frac{3}{2} [\cos(90) + i \sin(90)].
\end{aligned}$$

In this example, we obtain a resultant magnetic flux equal to $\frac{3}{2}e^{j(90)^\circ}$ at $\omega t = 0$. Therefore, a polar form of complex number $e^{j(90)^\circ}$ is defined as $M_m[\cos(90) + i \sin(90)]$. The resultant vector and the vector addition at zero degree are shown in figure 6.

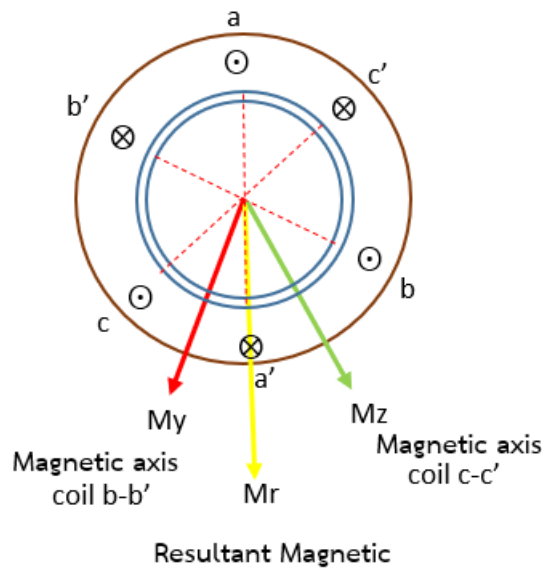


Figure 6 Illustration of the resultant vector and the vector addition at $\omega t = 0^\circ$.

Next example if we replace ωt with 30, we can show that

$$\overrightarrow{M_r} = M_m \frac{3}{2} [\cos(60) + i \sin(60)].$$

Using the same procedure, we also observe that the resultant magnetic flux is equal to $\frac{3}{2}e^{j(60)^\circ}$ at $\omega t = 30$. A polar form of complex number $e^{j(60)^\circ}$ is defined as $M_m[\cos(60) + i \sin(60)]$. The resultant vector and the vector addition at 30 degrees are illustrated in figure 7.

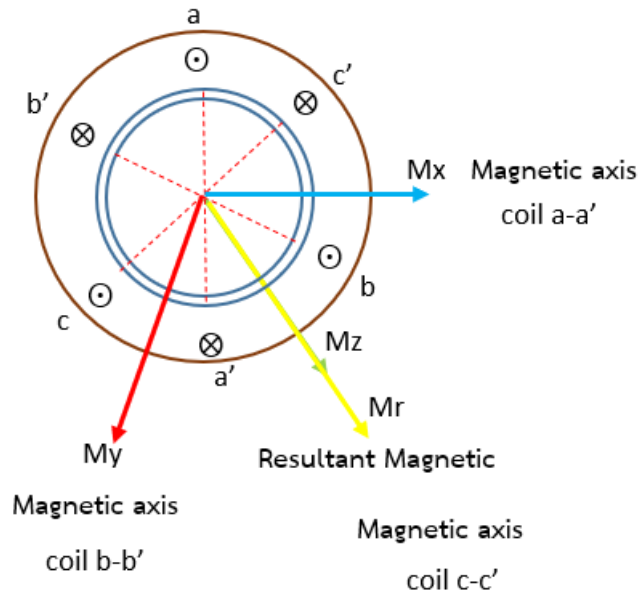


Figure 7 Illustration of the resultant vector and the vector addition at $\omega t = 30^\circ$.

Next example, we use $\omega t = 60$, $\vec{M}_r$ is:

$$\vec{M}_r = M_m \frac{3}{2} [\cos(30) + i \sin(30)].$$

In the following results, the resultant magnetic flux is equal to $\frac{3}{2}e^{j(30)^\circ}$ at $\omega t = 60$. Here, a polar of complex number $e^{j(30)^\circ}$ is defined as $M_m[\cos(30) + i \sin(30)]$. The figure also reveals that the resultant vector and the vector addition are at 60 degrees.

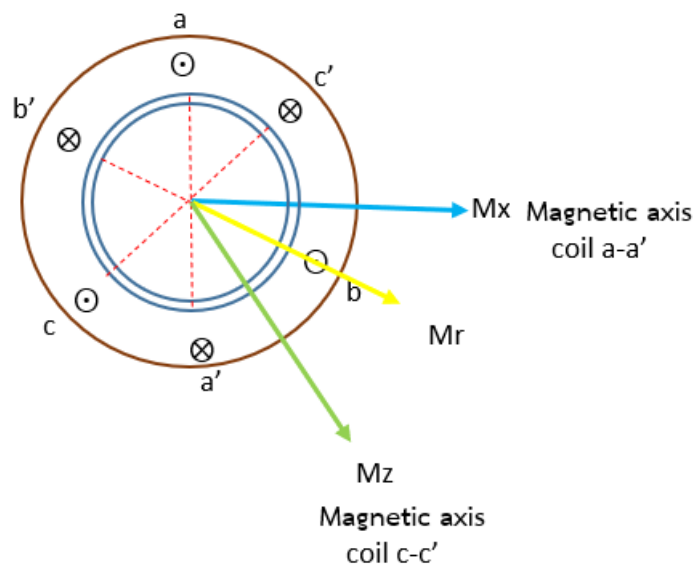


Figure 8 Illustration of the resultant vector and the vector addition at $\omega t = 60^\circ$.

In addition, if ωt is converted into 90, then the resultant magnetic flux density $\vec{M}_r$ is expressed as:

$$\vec{M}_r = M_m \frac{3}{2} [1 + i(0)] .$$

As shown in the above examples, the resultant magnetic flux is equal to $\frac{3}{2}e^{j(0)^\circ}$ at $\omega t = 90^\circ$. Here, a polar form of complex number $e^{j(0)^\circ}$ is defined as $M_m[\cos(0) + i\sin(0)]$. The following figure indicates the resultant vector and the vector addition at 90 degrees.

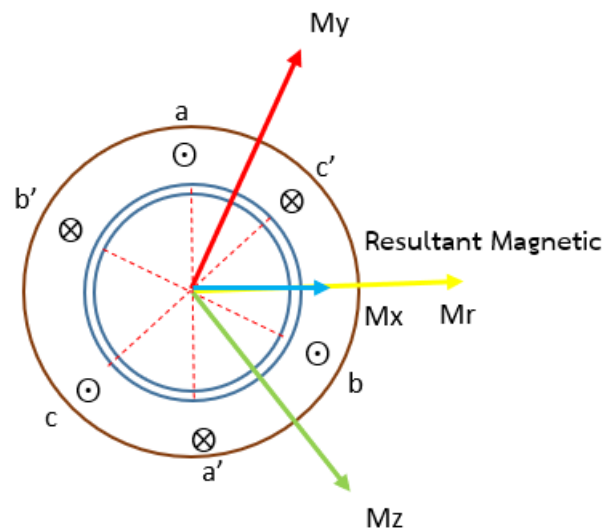


Figure 9 Illustration of the resultant vector and the vector addition at $\omega t = 90^\circ$.

Results and Discussion

Scilab Simulation

Scilab is a freeware tool for explaining the vector rotation in electric magnetic fields topic, which is used in most mathematics and engineering teaching software. In this section, we will briefly introduce the basic code for running Scilab to perform the calculations of M_r at different degrees of ωt . The details are as follows:

```
j = sqrt(-1)
pi = 3.14159
Mx = sin(pi/2)*(cos(0) + j*sin(0))
My = sin(pi/2 + 2*pi/3)*(cos(-2*pi/3) + j*sin(-2*pi/3))
Mz = sin(pi/2 - 2*pi/3)*(cos(2*pi/3) + j*sin(2*pi/3))
Mr = Mx + My + Mz
```

Figure 10 Illustration of the code of Scilab to calculate the value of M_x , M_y , M_z , and M_r . Here Omega is time multiply by angular velocity.

From the above expression, we obtain the plots of M_x , M_y , M_z , and M_r as shown in figure 11.

```
for iii=1:101
```

```
k(1)=Mx(iii)
```

```
k(2)=My(iii)
```

```
k(3)=Mz(iii)
```

```
k(4)=Mr(iii)
```

```
xx=real(k)
```

```
yy=imag(k)
```

```
theta = [0:0.02:2*pi];
```

```
rho = 2;
```

```
polarplot(theta,rho)
```

```
plot([0 xx(1)],[0 yy(1)],'b','LineWidth',4);
```

```
plot([0 xx(2)],[0 yy(2)],'r','LineWidth',4);
```

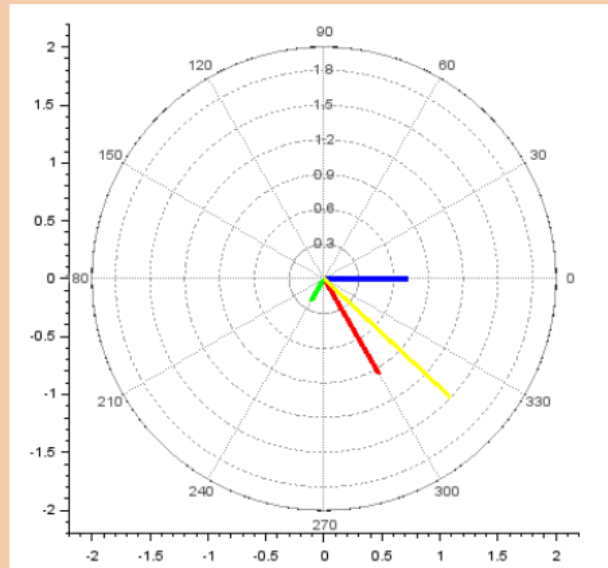
```
plot([0 xx(3)],[0 yy(3)],'g','LineWidth',4);
```

```
plot([0 xx(4)],[0 yy(4)],'y','LineWidth',4);
```

```
aline=get("current_axes")
```

```
delete(aline.children);
```

```
end
```



Scilab Code

Out put

Figure 11 Illustration of the plot of M_x , M_y , M_z , and M_r . Here blue, red, green, and yellow lines represent M_x , M_y , M_z , and M_r , respectively.

Next, we will give an example of output of the vector rotation in electric magnetic fields at various angles of ωt .

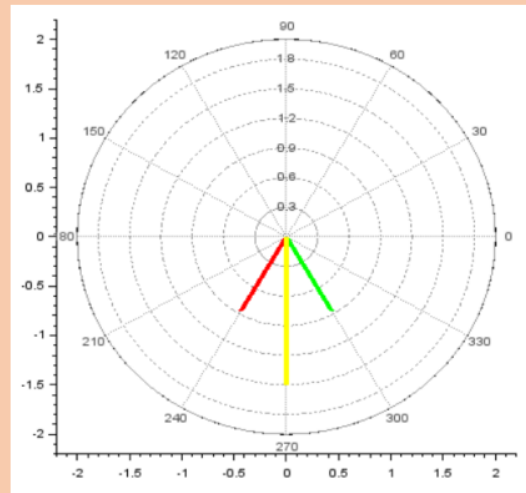
Problem 1: Case $\omega t = 0^\circ$

```

j = sqrt(-1)
pi = 3.14159
Mx = sin(0)*(cos(0) + j*sin(0))
My = sin(0 + 2*pi/3)*(cos(-2*pi/3) + j*sin(-2*pi/3))
Mz = sin(0 - 2*pi/3)*(cos(2*pi/3) + j*sin(2*pi/3))
Mr = Mx + My + Mz
theta = [0:0.02:2*pi];
rho = 2;
polarplot(theta,rho)
plot([0 real(Mx)],[0 imag(Mx)],'b','LineWidth',4);
plot([0 real(My)],[0 imag(My)],'r','LineWidth',4);
plot([0 real(Mz)],[0 imag(Mz)],'g','LineWidth',4);
plot([0 real(Mr)],[0 imag(Mr)],'y','LineWidth',4);

```

Scilab Code



Out put

Figure 12 Illustration of Scilab - codes to calculate M_x , M_y , M_z , and M_r at $\omega t = 0^\circ$. Here red, green and yellow lines represent M_y , M_z , and M_r , respectively.

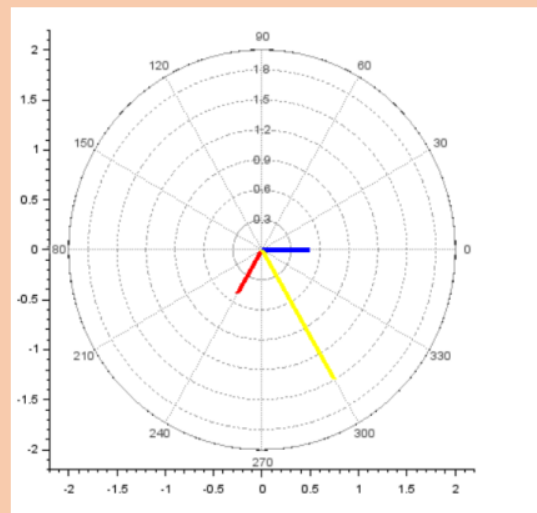
Problem 2: Case $\omega t = 30^\circ$ or $\omega t = \frac{\pi}{6}$

```

j = sqrt(-1)
pi = 3.14159
Mx = sin(pi/6)*(cos(0) + j*sin(0))
My = sin(pi/6 + 2*pi/3)*(cos(-2*pi/3) + j*sin(-2*pi/3))
Mz = sin(pi/6 - 2*pi/3)*(cos(2*pi/3) + j*sin(2*pi/3))
Mr = Mx + My + Mz
theta = [0:0.02:2*pi];
rho = 2;
polarplot(theta,rho)
plot([0 real(Mx)],[0 imag(Mx)],'b','LineWidth',4);
plot([0 real(My)],[0 imag(My)],'r','LineWidth',4);
plot([0 real(Mz)],[0 imag(Mz)],'g','LineWidth',4);
plot([0 real(Mr)],[0 imag(Mr)],'y','LineWidth',4);

```

Scilab Code



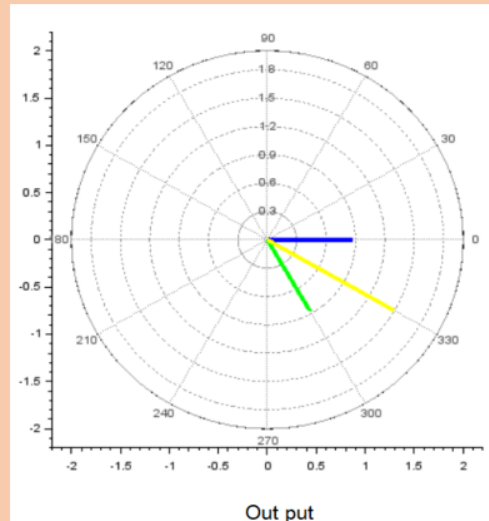
Out put

Figure 13 Illustration of Scilab - codes to calculate M_x , M_y , M_z , and M_r for $\omega t = 30^\circ$. Here blue, red, and yellow lines represent M_x , M_y and M_r , respectively.

Problem 3: Case $\omega t = 60^\circ$ or $\omega t = \frac{\pi}{3}$

```
j = sqrt(-1)
pi = 3.14159
Mx = sin(pi/3)*(cos(0) + j*sin(0))
My = sin(pi/3 + 2*pi/3)*(cos(-2*pi/3) + j*sin(-2*pi/3))
Mz = sin(pi/3 - 2*pi/3)*(cos(2*pi/3) + j*sin(2*pi/3))
Mr = Mx + My + Mz
theta = [0:0.02:2*pi];
rho = 2;
polarplot(theta,rho)
plot([0 real(Mx)],[0 imag(Mx)],'b','LineWidth',4);
plot([0 real(My)],[0 imag(My)],'r','LineWidth',4);
plot([0 real(Mz)],[0 imag(Mz)],'g','LineWidth',4);
plot([0 real(Mr)],[0 imag(Mr)],'y','LineWidth',4);
```

Scilab Code



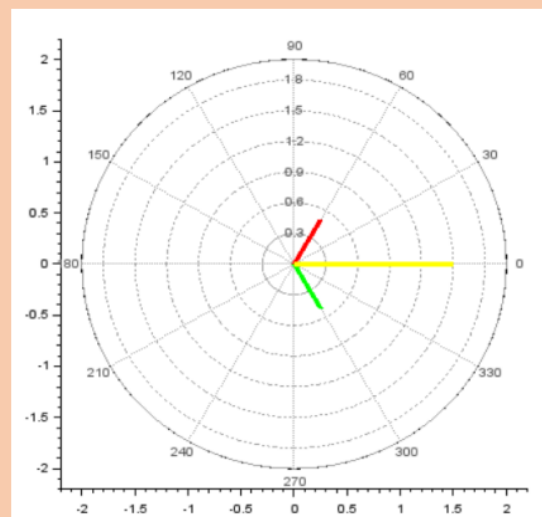
Out put

Figure 14 Illustration of Scilab - codes to calculate M_x, M_y, M_z , and M_r for $\omega t = 60^\circ$. Here blue, green and yellow lines represent M_x, M_z , and M_r , respectively.

Problem 4: Case $\omega t = 90^\circ$ or $\omega t = \frac{\pi}{2}$

```
j = sqrt(-1)
pi = 3.14159
Mx = sin(pi/2)*(cos(0) + j*sin(0))
My = sin(pi/2 + 2*pi/3)*(cos(-2*pi/3) + j*sin(-2*pi/3))
Mz = sin(pi/2 - 2*pi/3)*(cos(2*pi/3) + j*sin(2*pi/3))
Mr = Mx + My + Mz
theta = [0:0.02:2*pi];
rho = 2;
polarplot(theta,rho)
plot([0 real(Mx)],[0 imag(Mx)],'b','LineWidth',4);
plot([0 real(My)],[0 imag(My)],'r','LineWidth',4);
plot([0 real(Mz)],[0 imag(Mz)],'g','LineWidth',4);
plot([0 real(Mr)],[0 imag(Mr)],'y','LineWidth',4);
```

Scilab Code



Out put

Figure 15 Illustration of Scilab - codes to calculate M_x, M_y, M_z , and M_r for $\omega t = 90^\circ$. Here red, green and yellow lines represent M_y, M_z , and M_r , respectively.

Scilab have shown to be the beneficial free software of simulation techniques in the rotating magnetic field for vector analysis. By illustrating the applications of vector rotation in electric magnetic field in several situations, students can gain further insight into the magnitude of the resultant flux and how it can be constructed and summarized in practical studies. We have also found that Scilab is an efficient tool in teaching of vector analysis.

Conclusion

According to the results of our research, Scilab is a powerful simulation package. In this work, we attempted to incorporate this work into our energy conversion curriculum, as can be seen, that the output of the numerical simulation part is quite clear. The students can understand this problem through pictures. Using a vector to analyze this simulation with Scilab motivated learners to continue studying our electric machines and look forward to performing simulations that corresponded to their homework or concepts explained in class. For further studies we will consider research on rotating phasors for synchronous machines operating at various power factors.

Acknowledgements

This study is supported by Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus and Rajabhat Maha Sarakham University.

References

- Frede B. (2018). Control of Power Electronic Converters and Systems. 1th Edition. Academic Press: UK.
- Guru B.S. and Hizirolu H.R. (2009). Electromagnetic field theory fundamentals. 2th Edition. Cambridge university press: UK.
- Khokhlov Y.I., Safonov V.I. and Lonzing P.V. (2016). Electromagnetic processes in power transformers with vector control. Russian Electrical Engineering. 87(3): 145-149.
- Kovivchak Y. (2017). An analysis of electromagnetic processes in a turbogenerator with a real rotor and a stator tooth structure in the no-load mode. Czasopismo Techniczne. 2017(7): 73-94.
- Kraftmakher Y. (2001). Two experiments with rotating magnetic field. European Journal of Physics. 22(5): 477.
- Thidé B. (2004). Electromagnetic field theory. Uppsala: Upsilon books: Sweden.

Received: November 2, 2022; Revised: November 28, 2022; Accepted: December 30, 2022

ระบบจอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง Smart parking system using Internet of Things

เปรม อิงคเวชากุล¹ และกิตติคุณ บุญเกตุ^{1*}Prem Enkvetchakul¹ and Kittikoon Boonkate^{1*}¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์¹Faculty of Sciences, Buriram Rajabhat University, Buriram Province

*Corresponding Author E-mail Address: kittikoon.bk@bru.ac.th

บทคัดย่อ

วิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเรื่อง ระบบจอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบจอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU และเซนเซอร์ Ultrasonic Module HY-SRF05 Distance ตรวจจับสนาทะเลน้ำที่เข้ามาจอดในที่จอดรถ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาสาเหตุในการจอดรถกับระบบงานการจัดการที่จอดรถในปัจจุบัน 2) ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการวิจัย 3) การออกแบบและพัฒนาระบบ โดยระบบสามารถแสดงสถานะช่องจอดรถผ่านหน้าจอแสดงผลเพื่อให้ประหยัดเวลาในการค้นหาที่จอด และช่วยลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงหรือมลพิษที่เพิ่มขึ้น จากการทดสอบพบว่า เมื่อผู้ใช้งานถอยรถเข้าจอดในช่องจอด อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่พัฒนาไว้จะส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันเพื่อเป็นการอัปเดตสถานะของช่องจอดรถ และส่งค่าไปยังฐานข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผล จากนั้นแสดงข้อมูลสถานะช่องจอดรถบนหน้าจอแสดงผล ทั้งยังสามารถนำทางไปยังสถานที่จอดรถในแต่ละอาคารได้ นอกจากนี้ยังได้มีการดำเนินการทดลองใช้ระบบจอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่พัฒนาขึ้น โดยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ในการพิจารณาและประเมินประสิทธิภาพในระบบจอดรถอัจฉริยะ โดยใช้แบบประเมินคุณภาพ พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีคะแนนมากที่สุด 3 อันดับแรก ในด้านการออกแบบมีความเหมาะสม ความปลอดภัยในการใช้งาน และผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำ ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบ พบว่า โดยภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านประโยชน์ของการใช้งาน รองลงมา คือ ด้านความรวดเร็วของการใช้งาน ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน ด้านความถูกต้องของการทำงาน และด้านการออกแบบระบบ

คำสำคัญ: ระบบจอดรถอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

The aims were to 1) develop a smart parking system utilizing Internet of Things technology, and 2) investigate the usage of the NodeMCU microcontroller device and the Ultrasonic Module HY-SRF05 Distance sensor to detect cars that park in the area where the automobile was parked. The procedure consisted of three steps: 1) Study and analyze the causes of parking problems with the current parking management system, 2) Study the equipment and technology used in the research, and 3) System design and development so that the system can be displayed through a display screen to save time finding parking and reduce costs due to increased fuel loss or pollution. The sensor has been used to receive the status of the parking place, which was then shown on the screen. The result demonstrates that the intelligent parking system was designed utilizing Internet of Things technology as a system simulation. When the user reverses into a parking place, the designed signaling device provides the information to the program, which updates the parking spaces' state and sends values to the database for processing. The information would then be displayed on the display screen and can also navigate to the parking space in each structure. It may also be utilized to make parking easier in various locations. In addition to universities, intelligent parking system trials employing established Internet of Things technologies have been carried out in retail malls, hotels, schools, and other areas where there is parking. Using the quality assessment form, three professionals considered and evaluated the efficiency of the intelligent parking system. The overall system quality evaluation was deemed to be at a high level. With the highest amount of top three scores in terms of design appropriateness, user safety, and accurate findings. The findings of system user satisfaction investigating revealed that overall satisfaction was high. Usability received the greatest level of satisfaction, followed by speed of use, safety in operation, accuracy in operation, and system design.

Keywords: Smart parking system, Internet of Things, Microcontroller

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ได้มีการนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการนำอุปกรณ์ หรือระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันมาเชื่อมต่อกันหรือพัฒนาให้สะดวกขึ้นโดยผ่านการควบคุมทางอินเทอร์เน็ต (Aydin et al., 2017) จากการเปลี่ยนแปลงสังคมที่รวดเร็วเนื่องจากวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทำให้การทำงานมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น ทำให้เราสามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานทางการสื่อสารเพื่อการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด รวมทั้งการบริการและเสริมสร้างคุณภาพชีวิตของมนุษย์ เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ กล้องถ่ายภาพ และเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่เชื่อมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งกระบวนการนี้จะนำไปสู่การสร้างสรรคนวัตกรรมให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่าง ๆ กับมนุษย์ สามารถทำได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น (Buyya and Dastjerdi, 2016) ทำให้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามามีอิทธิพลในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น เกิดผลกระทบใน 3 ระดับ คือ 1) ระดับบุคคล โดยจะเปลี่ยนแปลงวิถีการดำเนินชีวิตของทุกคน การสื่อสารอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถทำได้โดยง่าย 2) ระดับรัฐบาล โดยนำไปสู่แผนและกลยุทธ์ในการพัฒนาประเทศของหลาย ๆ ประเทศ โดยนำแนวคิดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ไปสู่การสร้างสมาร์ตซิตี (Smart cities) 3) ระดับโลก เป็นผลจากพฤติกรรมการใช้อินเทอร์เน็ตของคนทั่วโลก ส่งผลให้

การพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทุกคนทั่วโลกสามารถเข้าถึงบริการได้จากเครือข่ายทั่วโลก (Michael, 2015)

จากการพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) อย่างต่อเนื่องในปัจจุบันนี้บางเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพการณ์ต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป เช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ และวิถีชีวิตประจำวัน เช่น สมาร์ทฟาร์ม สมาร์ทโฮม ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อทางอินเทอร์เน็ตมาใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ (Hainalkar et al., 2018) เพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านั้น และยังสามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบการนำทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ได้ เช่น ระบบนำทางไปห้างสรรพสินค้า ระบบนำทางไปโรงพยาบาล และระบบนำทางไปยังสถานที่จอดรถ (Yugopuspito et al., 2016) ซึ่งในปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ใช้รถยนต์เป็นยานพาหนะในการเดินทาง และนับวันจะมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยใช้รถส่วนตัวมากกว่าขนส่งสาธารณะ เนื่องจากต้องการความสะดวกสบายในการเดินทาง จะเห็นได้ว่าปัญหารถจราจรติดขัดที่สร้างความวุ่นวายมากขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากจะทำให้เราเสียสุขภาพจิตแล้วยังส่งผลกระทบต่ออีกหลาย ๆ ด้าน ทั้งมลภาวะทางท่อไอเสีย ปัญหาที่จอดรถในสถานที่ต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยหรือสถานที่ต่าง ๆ ที่คนมักไปใช้บริการหรือสถานที่ที่คนมักเข้าออกเป็นประจำ สถานที่เหล่านี้มีที่จอดรถไว้ให้ผู้มาใช้บริการอยู่แล้วแต่บางช่วงเวลาผู้ที่มาใช้บริการมากเกินไปที่จอดรถไม่เพียงพอต่อผู้มาใช้บริการ มักจะมีปัญหาในการหาที่จอดรถผู้มาใช้บริการขับรถวนหาที่จอดอยู่เป็นประจำ เนื่องจากผู้มาใช้บริการไม่ทราบตำแหน่งที่ว่างของลานจอดรถที่แน่ชัดทำให้ผู้มาใช้บริการเสียเวลาในการทำธุระต่าง ๆ

ดังนั้นผู้พัฒนาจึงได้พัฒนาระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยใช้แนวความคิดที่อธิบายการเชื่อมต่อ (Connecting) กับวัตถุทางกายภาพใด ๆ หรือ สิ่ง (Thing) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อสื่อสารกันได้ โดยนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาฝังไว้ในสิ่งต่าง ๆ เพื่อเก็บรวบรวมและแลกเปลี่ยนข้อมูลต่าง ๆ สามารถเชื่อมโยงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจะไม่ติดต่อกับมนุษย์โดยตรง แต่จะมีอยู่ในสิ่งแวดล้อม อาคาร สถานที่ ต้นไม้ และรถยนต์ ซึ่งอุปกรณ์ทุกอย่างสามารถเชื่อมต่อกันได้ (Padraig and Lueth, 2016) จากแนวคิดนี้ ผู้พัฒนาจึงได้พัฒนาระบบจอดรถอัจฉริยะขึ้นมา โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าเว็บไซต์ หรือดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน BRU Smart Parking มาติดตั้ง ทำให้สามารถทราบถึงรายละเอียดอาคาร ลานจอดรถในสถานที่ที่ผู้ใช้ต้องการไป และยังสามารถทราบจำนวนช่องจอดรถที่ว่างในแต่ละอาคาร โดยแอปพลิเคชันจะแสดงให้เห็นจำนวนที่จอดรถทั้งหมดและแสดงสถานะของที่จอดรถ เมื่อผู้ใช้งานถอยรถเข้าจอดในช่องจอด อุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ในช่องจอดจะส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน เพื่อเป็นการอัปเดตสถานะของช่องจอดรถนั้น ๆ นอกจากสามารถทำการตรวจสอบที่จอดรถได้แล้วนั้นผู้ใช้งานยังสามารถให้ระบบนำทางไปยังอาคารหรือลานจอดรถที่ต้องการเข้าใช้บริการได้ รวมถึงมีบริการที่สามารถจองที่จอดรถได้ สามารถดูการสรุปข้อมูลการเข้าใช้งานอาคาร หรือลานจอดรถ และแสดงข้อมูลข้อเสนอแนะ หรือการแจ้งปัญหาต่าง ๆ จากผู้ให้บริการได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

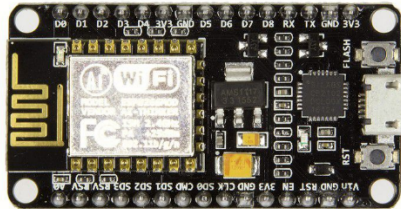
ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความต้องการให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้อย่างง่าย เข้าถึงได้ทุกอุปกรณ์ จึงพัฒนาด้วยเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อความสะดวกสบายในการเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา ในส่วนของอุปกรณ์ ผู้วิจัยเลือกใช้ NodeMCU ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่มีราคาถูก ใช้ไฟฟ้าน้อย และสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ และใช้ NETPIE ใช้เป็นตัวกลางในการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการเช่าเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ มีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาของระบบจอตลอดอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนของซอฟต์แวร์ (Software)

1.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1.1.1 NodeMCU ESP8266 WIFI

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Arduino ทั้งโครงสร้างขา Input/Output และจำนวนขาที่ให้มาเพียงพอต่อการใช้งานทั่วไป ข้อดี คือ สามารถเชื่อมต่อ Wifi และ Bluetooth รองรับ การเขียนโปรแกรมโดยใช้ Arduino IDE และรองรับไลบรารีส่วนใหญ่ของ Arduino ทำให้สามารถใช้งานได้ง่าย (ภาสกร, 2562) แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 บอร์ด NodeMCU ESP8266

1.1.2 เซนเซอร์วัดระยะ HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module

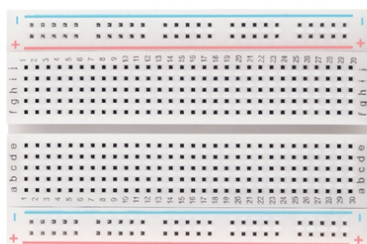
เป็นโมดูลสำหรับวัดระยะทางด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ระยะที่สามารถวัดได้ตั้งแต่ 2 cm ถึง 400 cm รองรับแรงดันไฟ 3.3-5V ใช้งานง่าย ราคาถูก มีไลบรารีสำหรับต่อกับ Arduino ได้โดยตรง เพื่อแสดงระยะทางได้ทันที (ชัชชัย, 2562) แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เซนเซอร์วัดระยะ HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module

1.1.3 บอร์ดทดลอง (Breadboard)

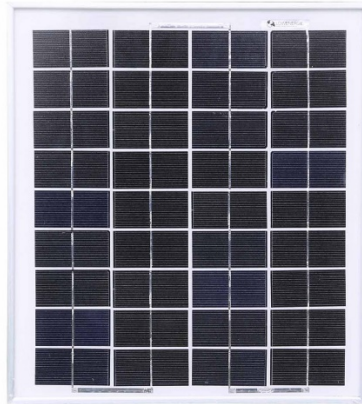
เป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยให้สามารถเชื่อมต่อวงจรเพื่อทดลองง่ายขึ้น ลักษณะของบอร์ดจะเป็นพลาสติกมีรูจำนวนมาก ภายใต้รูเหล่านั้นจะมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างมีรูปแบบ เมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเสียบ จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถไหลจากอุปกรณ์หนึ่ง ไปยังอุปกรณ์หนึ่งได้ มีข้อดี คือ เป็นอุปกรณ์สำคัญที่จะช่วยให้เราออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ง่ายขึ้นเพราะการใช้งาน Breadboard ไม่ต้องใช้การบัดกรีวงจร เพียงแค่ใช้สายไฟเสียบลงไปทีละรูบนบอร์ดก็สามารถเชื่อมต่อจุดในวงจรได้ตามที่เราต้องการ แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 บอร์ดทดลอง (Breadboard)

1.1.4 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Paned)

เป็นการนำเอาโซลาร์เซลล์ จำนวนหลาย ๆ เซลล์ มาต่อวงจรรวมกัน อยู่ในแผงเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น ข้อดี คือ เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ผลิตไฟฟ้าได้ทุกขนาด ไม่ว่าจะใช้ภายในบ้าน การเกษตร หรือโรงงานอุตสาหกรรม สามารถประยุกต์ใช้ทุกงานและเป็นพลังงานที่ไม่จำกัด (ยศพล และคณะ, 2564) แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Paned)

1.1.5 คอนโทรลชาร์จเจอร์

เป็นตัวควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้า หรือโซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ มีข้อดี คือ ช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ได้ ซึ่งอาจมีบางช่วงสูงบางช่วงต่ำ รวมถึงยังสามารถป้องกันแรงดันที่สูงเกินไปเนื่องจากแสงที่มากกระทบแผงโซลาร์เซลล์ที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งวัน (จักรพันธ์, 2556) แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 คอนโทรลชาร์จเจอร์

1.1.6 แบตเตอรี่ 12V

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี 1 เซลล์หรือมากกว่า ที่มีการเชื่อมต่อภายนอกเพื่อให้กำลังงานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Kandasamy et al., 2556) แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบตเตอรี่ 12V

1.1.7 ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบการจอดรถ

ใช้สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบการจอดรถ

1.1.8 โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน

สมาร์ทโฟนที่รองรับการใช้งานแอปพลิเคชันเอาไว้หลากหลาย จำเป็นต้องมีอินเทอร์เน็ตในการเชื่อมต่อเพื่อการทำงานของระบบได้ตลอดเวลา

1.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา

1.2.1 Arduino IDE เป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนโปรแกรมลงบนชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2.2 Microgear เป็น Library สำหรับ NETPIE.io

1.2.3 ภาษา HTML เป็นภาษาที่ใช้สำหรับการสร้างเพจหรือเว็บไซต์

1.2.4 ภาษา PHP เป็นภาษาในลักษณะเซิร์ฟเวอร์ไซด์สคริปต์ และแสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML

1.2.5 MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System)

โดยใช้ภาษา SQL

1.2.6 NETPIE เป็นคลาวด์แพลตฟอร์มสำหรับให้บริการเชื่อมต่อการสื่อสาร IoT

1.2.7 Bootstrap ใช้ในการพัฒนาเว็บไซต์ส่วนการแสดงผล

1.2.8 MIT App Inventor เป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างแอปพลิเคชันที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

1.3 รายละเอียดโปรแกรมที่ได้พัฒนาในเชิงเทคนิค

1.3.1 Input / Output Specification

1.3.1.1 Input

- 1) ข้อมูล รูปภาพ ที่ใช้ในการลงทะเบียน
- 2) ข้อมูล Username และ Password ที่ใช้ในการ login
- 3) ข้อมูลการจอง
- 4) ข้อมูลอาคาร หรือลานจอดรถ
- 5) ข้อมูลสถานะที่จอดรถ

1.3.1.2 Output

- 1) แสดงผลการลงทะเบียน
- 2) แสดงสถานะการเข้าสู่ระบบ
- 3) แสดงผลการจอง
- 4) แสดงข้อมูลสถานะที่จอดรถ

1.3.2 Functional Specification

1.3.2.1 ผู้ใช้บริการ

- 1) สามารถดูข้อมูลอาคาร หรือลานจอดรถได้
- 2) สามารถให้ระบบนำทางไปยังอาคาร หรือลานจอดรถได้
- 3) สามารถทราบจำนวนที่ว่าง ของที่จอดรถได้
- 4) สามารถดูตำแหน่งที่ว่าง ของที่จอดรถได้
- 5) สามารถลงทะเบียนได้
- 6) สามารถลงชื่อเข้าสู่ระบบได้
- 7) สามารถทำการจองที่จอดรถได้
- 8) สามารถยกเลิกการจองที่จอดรถได้
- 9) สามารถแสดงความคิดเห็น ให้คำแนะนำ หรือแจ้งปัญหาได้

1.3.2.2 เจ้าหน้าที่

- 1) สามารถลงชื่อเข้าสู่ระบบได้
- 2) สามารถดูข้อมูลอาคาร หรือลานจอดรถได้
- 3) สามารถดูจำนวนที่ว่าง ของที่จอดรถได้
- 4) สามารถดูตำแหน่งที่ว่าง ของที่จอดรถได้
- 5) สามารถดูข้อมูลการจองที่จอดรถได้
- 6) สามารถดูข้อมูลการแสดงความคิดเห็น การให้คำแนะนำ หรือการแจ้งปัญหาต่าง ๆ ได้

1.3.2.3 ผู้ดูแลระบบ

- 1) สามารถลงชื่อเข้าสู่ระบบได้
- 2) สามารถดูข้อมูลอาคาร หรือลานจอดรถได้
- 3) สามารถดูจำนวนที่ว่าง ของที่จอดรถได้
- 4) สามารถดูตำแหน่งที่ว่าง ของที่จอดรถได้
- 5) สามารถดูข้อมูลการจองที่จอดรถได้
- 6) สามารถดูข้อมูลการแสดงความคิดเห็น การให้คำแนะนำ หรือการแจ้งปัญหาต่าง ๆ ได้
- 7) สามารถดูรายงานการเข้าใช้ที่จอดรถโดยรวมได้
- 8) สามารถดูรายงานการเข้าใช้ที่จอดรถในแต่ละอาคารได้
- 9) สามารถดูรายงานการเป็นกราฟได้
- 10) สามารถค้นรายงานต่าง ๆ ตามช่วงวัน เดือน ปี ได้

2. ขอบเขตและการทำงานของระบบ

หลักการทำงานของระบบจอตลอดอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของชุดอุปกรณ์ตรวจสอบการจอตลอด และแอปพลิเคชัน ITBRU SMART PARK

2.1 ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบการจอตลอด

2.1.1 สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยผ่านแผงโซลาร์เซลล์ มาเก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ 12 โวลต์ได้ และจ่ายไฟให้บอร์ดทดลองด้วยอุปกรณ์คอนโทรลชาร์จเจอร์

2.1.2 สามารถตรวจสอบการเข้าจอตลอด ในช่องจอดได้โดยใช้การวัดระยะจากเซนเซอร์วัดระยะได้

2.1.3 สามารถส่งข้อมูลสถานะการที่จอตลอดไปยัง NETPIE ได้

2.2 ส่วนของแอปพลิเคชัน ITBRU SMART PARK

2.2.1 สามารถแสดงจำนวนที่จอตลอดที่ว่างของแต่ละอาคารได้

2.2.2 สามารถแสดงสถานะช่องจอดของแต่ละอาคารตามสีได้ โดยถ้าที่จอดว่างเกิน 80% ของที่จอตลอดทั้งหมดจะแสดงสถานะสีฟ้า ถ้าต่ำกว่านั้นจะแสดงสีเหลือง และถ้าที่จอตลอดเต็มจะแสดงสีแดง

2.2.3 สามารถแสดงข้อมูล รูปภาพ และตำแหน่งที่จอตลอดที่ว่าง และไม่ว่างของแต่ละอาคารได้

2.2.4 สามารถกดปุ่มนำทางเพื่อแสดงเส้นทางไปยังที่จอตลอดที่ต้องการได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบจอตลอดอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งนี้ เป็นการวิจัยและการพัฒนาระบบการจัดการพื้นที่ในการจอตลอด มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักศึกษา อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษา อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จำนวน 50 คน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

3.2 สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำผลมาเปรียบเทียบเกณฑ์ โดยใช้มาตรการวัดแบบ Rating Scale โดยให้ผู้ตอบคำถามเลือกตอบเพียงคำตอบเดียวมี 5 ระดับ และมีเกณฑ์การแปลความหมายของคะแนน ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.21 – 5.00 หมายความว่า มากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.41 – 4.20 หมายความว่า มาก

คะแนนเฉลี่ย 2.61 – 3.40 หมายความว่า ปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.81 – 2.60 หมายความว่า น้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.80 หมายความว่า น้อยที่สุด

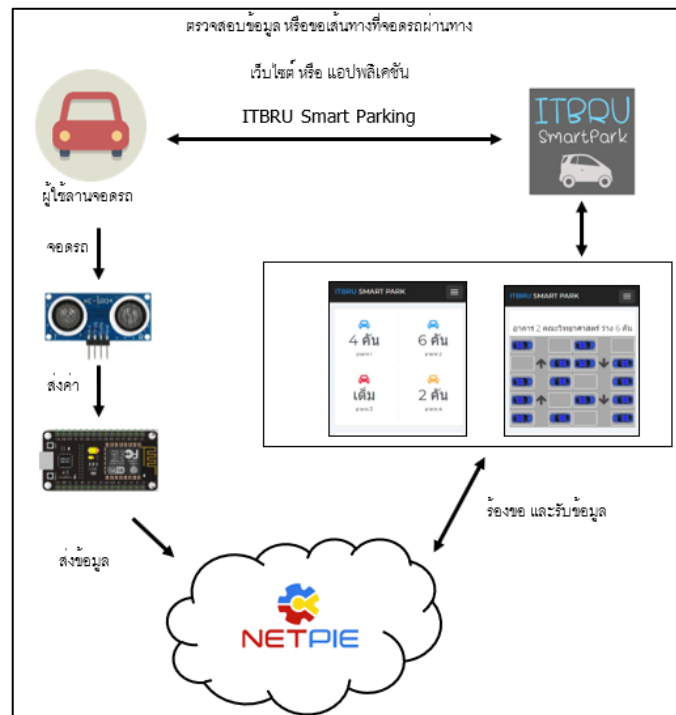
3.3 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาสาเหตุในการจอตลอด กับระบบงานการจัดการที่จอตลอดในปัจจุบัน

3.4 ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการวิจัย

3.5 ออกแบบและพัฒนาระบบ

3.5.1 โครงสร้างของซอฟต์แวร์ (Design)

เมื่อผู้ใช้งานถอยรถเข้าจอดในช่องจอด อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่พัฒนาไว้จะส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันเพื่อเป็นการอัปเดตสถานะของช่องจอดจอตลอดนั้น ๆ เพื่อแสดงที่จอตลอดว่างหรือไม่ว่าง แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการทำงานของระบบโดยภาพรวม

3.5.2 Use Case Diagram

จากการวิเคราะห์ และออกแบบความสัมพันธ์ของระบบได้พบว่าระบบมีขั้นตอนการทำงานที่มีความสัมพันธ์ ซึ่งสามารถอธิบายตามแผนภาพ Use Case Diagram แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 Use Case Diagram

4. เครื่องมือการวิจัย

- 4.1 ระบบจอตรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
- 4.2 แบบประเมินคุณภาพระบบ
- 4.3 แบบประเมินความพึงพอใจระบบ

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการแจกแบบประเมินคุณภาพระบบให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านพิจารณาและประเมินประสิทธิภาพระบบจอตรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

5.2 ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการแจกแบบสอบถามความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบ

5.3 เก็บรวบรวมแบบประเมิน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลและแปลผลในขั้นตอนต่อไป

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินคุณภาพและแบบประเมินความพึงพอใจระบบ เป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) วิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำไปสรุปและอภิปรายผลต่อไป

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงไกร และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบจอตรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาบริบทพื้นที่ที่จอตรถยนต์ และการบริหารจัดการที่จอตรถยนต์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 2) ออกแบบและพัฒนาระบบจอตรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจระบบจอตรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ผลการวิจัยพบว่า ระบบจอตรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพภาพ โดยมีผลการประเมินความพึงพอใจระบบแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการออกแบบระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.12$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.482) ด้านการใช้งานระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.52$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.223) ด้านคุณสมบัติของการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.68$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38 และ 4) ด้านภาพรวมระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.38$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 จากผลการประเมินทั้ง 4 ด้านพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

จิณณพัต และคณะ (2565) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการที่จอตรถแบบสมาร์ตด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอาร์เอฟไอดี วัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการที่จอตรถแบบสมาร์ตด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอาร์เอฟไอดีและ 2) หาประสิทธิภาพของต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการที่จอตรถแบบสมาร์ตด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอาร์เอฟไอดีเครื่องมือในการพัฒนา ประกอบไปด้วย Arduino IDE และ Sublime text เครื่องมือในการทดลอง คือ ต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการที่จอตรถแบบสมาร์ตด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอาร์เอฟไอดีที่พัฒนาด้วยภาษา HTML, CSS, PHP และ C++ วิธีดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย 1) วิเคราะห์ปัญหาและความต้องการ 2) ออกแบบระบบ 3) พัฒนาระบบ 4) ทดสอบระบบ และ 5) ประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 3 คน ผลการวิจัยพบว่า 1) ต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการที่จอตรถแบบสมาร์ตด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอาร์เอฟไอดีสามารถใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้และ 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพรวมทุกด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.64$, S.D.=0.48)

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องระบบจอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจสอบการจอดรถอัจฉริยะ

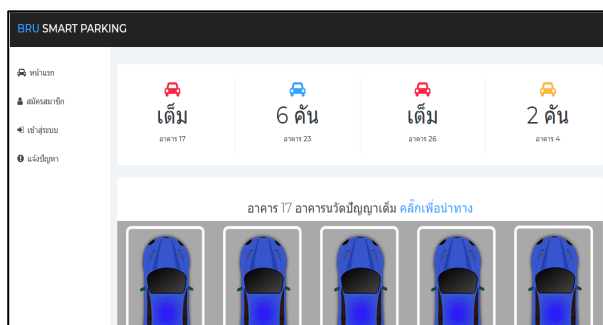
ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบระบบจอดรถอัจฉริยะ เป็นการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามาใช้งาน ทำให้สามารถรายงานสถานะการจอดรถ การส่งค่า ส่งข้อมูล ผ่านเว็บไซต์หรือเว็บแอปพลิเคชัน และได้มีการนำแผงโซลาร์เซลล์มาติดตั้งไว้กับชุดอุปกรณ์เพื่อนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเก็บในแบตเตอรี่ และจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ในการทำงาน แสดงในรูปที่ 10



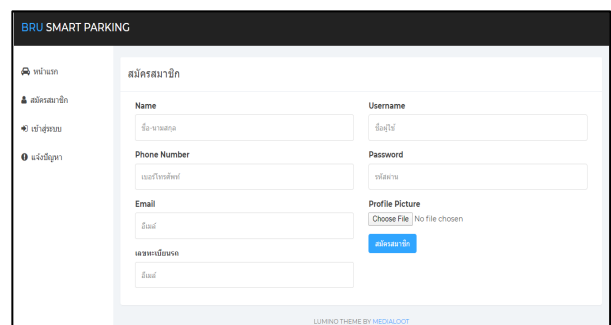
รูปที่ 10 ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบการจอดรถอัจฉริยะ

2. ผลการพัฒนาระบบจอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ระบบจอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเข้ามาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และแสดงผลผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) หรือโมบายแอปพลิเคชัน (Mobile application) โดยผู้ใช้งานสามารถเข้ามาดูรูปภาพสถานที่ให้บริการที่จอดรถ ดูจำนวนที่จอดรถที่ว่างของแต่ละอาคาร ดูตำแหน่งที่จอดรถที่ว่าง รวมไปถึงสามารถแสดงเส้นทางและนำทางเพื่อไปยังสถานที่จอดรถได้ แสดงในรูปที่ 11 – 13



(ก) หน้าจอแสดงผลหน้าหลัก



(ข) หน้าสมัครสมาชิก

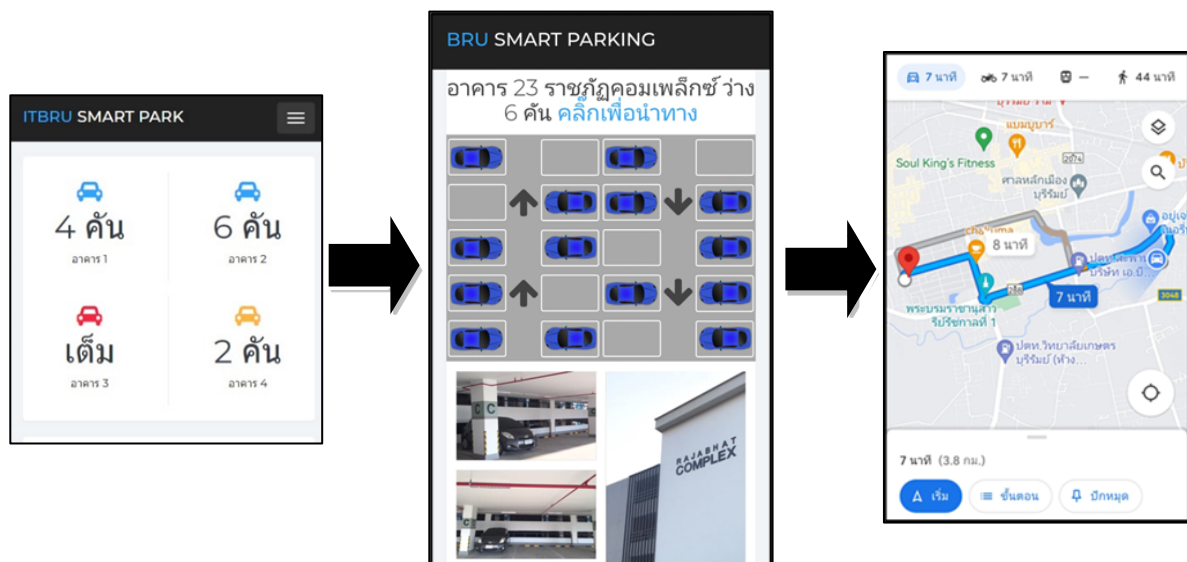
รูปที่ 11 การออกแบบหน้าจอแสดงผลหน้าหลักและหน้าสมัครสมาชิก

(ก) หน้าแสดงขั้นตอนการจอง

รหัสการจอง	อาคาร	ห้องจอด	เลขทะเบียนรถ	หมายเลข	สถานะการจอง
15 มกราคม 2562 15:15 น.	17	1	เลข 8442 ขุขันธ์	จำนวนที่จอดรถในอาคารไม่เพียงพอ	ยกเลิกการจอง
8 มกราคม 2562 20:30 น.	23	A8	เลข 8 ขุขันธ์		-
1 มกราคม 2562 8:00 น.	26	3	เลข 8442 ขุขันธ์		-

(ข) หน้าแสดงตารางข้อมูลการจอง

รูปที่ 12 หน้าแสดงขั้นตอนการจองและข้อมูลการจองรถ



รูปที่ 13 ผลการพัฒนาระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

จากรูปที่ 13 ระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง จะมีส่วนแสดงผลของสถานะที่จอดรถ และจำนวนรถที่ว่างในแต่ละอาคาร โดยเมื่อมีรถเข้าจอดในช่องจอด อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่พัฒนาไว้จะส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน เพื่อเป็นการอัปเดตสถานะของช่องจอดนั้น ๆ เพื่อแสดงที่จอดรถว่างหรือไม่ว่างและแสดงสถานะบนหน้าจอแสดงผล

3. ผลการทดลองใช้ระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

3.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่พัฒนาขึ้น โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาและประเมินประสิทธิภาพในระบบจอดรถอัจฉริยะ โดยใช้แบบประเมินคุณภาพ และนำมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพระบบจอตกรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
1. การทำงานของระบบเซนเซอร์	3.67	0.58	มาก
2. การทำงานของระบบประมวลผล	4.00	0.00	มาก
3. การทำงานของระบบแสดงผลหน้าจอ	4.00	0.00	มาก
4. ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.33	0.58	มากที่สุด
5. ความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้	4.00	1.00	มาก
6. ความสะดวกต่อการใช้งาน	4.00	0.00	มาก
7. สามารถนำไปใช้ได้จริง	4.00	1.00	มาก
8. ความรวดเร็วในการทำงาน	4.00	0.00	มาก
9. ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำ	4.33	0.58	มากที่สุด
10. การออกแบบมีความเหมาะสม	4.67	0.58	มากที่สุด
โดยรวม	4.10	0.43	มาก

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.10 อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในการออกแบบมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 รองลงมาคือด้านความถูกต้องแม่นยำ และความปลอดภัยในการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 และน้อยที่สุดในด้านการทำงานของระบบเซนเซอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67

3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบจอตกรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบจอตกรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สามารถแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจระบบจอตกรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล
1. ด้านการออกแบบระบบ	4.02	0.77	มาก
2. ด้านความเร็วของการใช้งาน	4.46	0.58	มากที่สุด
3. ด้านความถูกต้องของการทำงาน	4.32	0.59	มากที่สุด
4. ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน	4.34	0.69	มากที่สุด
5. ด้านประโยชน์ของการใช้งาน	4.62	0.49	มากที่สุด
โดยรวม	4.35	0.66	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.35 อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุดในด้านประโยชน์ของการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 รองลงมา คือ ด้านความเร็วของการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ด้านความถูกต้องของการทำงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 และด้านการออกแบบระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.02

การอภิปรายผล

1. ระบบจอตลอดอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นการออกแบบจำลองระบบ โดยติดตั้งอุปกรณ์ ได้แก่ บอร์ด NodeMCU ESP8266 เพื่อใช้ในการจ่ายไฟไปยังเซ็นเซอร์วัดระยะ HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module เมื่อผู้ใช้งานถอยรถเข้าจอดในช่องจอด อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่พัฒนาไว้จะส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันเพื่อเป็นการอัปเดตสถานะของช่องจอดรถนั้น ๆ เพื่อแสดงที่จอดรถว่างหรือไม่ว่าง และส่งค่าไปยังฐานข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผล และแสดงสถานะบนหน้าจอแสดงผล และจากอุปกรณ์ที่ใช้ได้มีการให้พลังงานโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ในการให้พลังงาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ เดชวิทย์ และ ธงรบ (2560) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ระบบการจัดการลานจอดรถด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ พบว่า การออกแบบจำลองระบบการจัดการลานจอดรถแสดงผลสถานะของเซ็นเซอร์ผ่านเครือข่ายไร้สาย (WIFI) ไปยังจอแสดงผลซึ่งเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับรถทุกคันที่เข้ามาจอดพร้อมกับแสดงค่าที่จอแสดงผล ซึ่งสีแสดงสถานะไม่ว่างและสีเขียวแสดงสถานะว่าง จากนั้นทำการส่งค่าไปประมวลผลและแสดงสถานะบนหน้าจอแสดงผล และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เกรียงไกร และคณะ (2564) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบจองที่จอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่า การบริหารจัดการที่จอดรถของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร บริเวณพื้นที่ที่จอดรถเป็นลานกว้างพื้นที่ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีการแบ่งเส้นพื้นที่จอดรถเป็นส่วน ๆ จากพื้นที่ที่จอดรถที่ผู้วิจัยได้ไปศึกษาจึงได้จัดทำแบบจำลองที่จอดรถขึ้น โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ ได้แก่ บอร์ด Arduino UNO R3 บอร์ด NodeMCU ESP8266 เพื่อใช้ในการจ่ายไฟไปยังเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยเสียง Ultrasonic และหลอดไฟ LED เมื่อมีรถเข้ามาจอดเซ็นเซอร์จะทำการตรวจจับวัตถุด้านหน้าและแสดงการแจ้งเตือนผ่านหลอดไฟ LED เพื่อแสดงสถานการณ์ว่างหรือไม่ว่างของลานจอดรถ จากอุปกรณ์ที่ใช้ได้มีการให้พลังงานโดยใช้ แผงโซลาร์เซลล์ในการให้พลังงานแก่อุปกรณ์

2. ผลการทดลองใช้ระบบจอตลอดอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ในการพิจารณาและประเมินประสิทธิภาพในระบบจอตลอดอัจฉริยะ โดยใช้แบบประเมินคุณภาพ พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก และผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านที่มีความพึงพอใจมากที่สุด คือ ด้านคุณสมบัติประโยชน์ของการใช้งาน รองลงมา คือ ความรวดเร็วของการใช้งาน และน้อยที่สุดคือด้านการออกแบบระบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ เกรียงไกร และคณะ (2564) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบจองที่จอดรถอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีความพึงพอใจมากที่สุด คือ ด้านคุณสมบัติประโยชน์ของการใช้งาน รองลงมาคือ ด้านการใช้งานระบบ และด้านที่มีความพึงพอใจน้อยที่สุด คือ ด้านการออกแบบระบบ

บทสรุป

จากการทดลองระบบการทำงานของระบบจอตลอดอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง จะเห็นได้ว่าสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ จะมีส่วนแสดงผลของสถานะที่จอดรถ และจำนวนรถที่ว่างในแต่ละอาคาร โดยเมื่อมีรถเข้าจอดในช่องจอด อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่พัฒนาไว้จะส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันเพื่อเป็นการอัปเดตสถานะของช่องจอดรถนั้น ๆ เพื่อแสดงที่จอดรถว่างหรือไม่ว่างและแสดงสถานะบนหน้าจอแสดงผล นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เพื่ออำนวยความสะดวกสบายสำหรับการจอดรถในสถานที่ต่าง ๆ นอกจากในมหาวิทยาลัยทั้งในห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงเรียน และสถานที่อื่น ๆ ที่มีสถานที่จอดรถ โดยกรณีที่ต้องการนำไปใช้งานนอกจากพื้นที่ที่ได้ทำการศึกษา จำเป็นต้องศึกษาพื้นที่

จอตระยานอกโดยรวมและความต้องการใช้บริการตามความต้องการแต่ละพื้นที่ให้ตีก่อนนำไปใช้งาน เพื่อเกิดประสิทธิภาพได้สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- จักรพันธ์ นันทบุตร. (2556). Solar energy harvesting in wireless sensor network. โครงการงานวิศวกรรม. สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา.
- จิณณพัต นิลคำ, อุบลรัตน์ ศิริสุขโกศา และไพศาล สิมะเลาเต่า. (2565). การพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการที่จอดรถแบบสมาร์ทด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอาร์เอฟไอดี. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14. 7 – 8 กรกฎาคม 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. นครปฐม. 720-730.
- เกรียงไกร สว่างวงศ์, พีรภัทร ไสสกุล, วรเทพ ศรีแสงยศ, อนุศิษฐ์ ทิพย์ญนอก และนัฐพงศ์ ส่งเนียม. (2563). การพัฒนาระบบจองที่จอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. 2(1): 57-68.
- ชัยชัย คุณบัว. (2562). IoT สถาปัตยกรรมการสื่อสาร Internet of Things. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- เดชวิทย์ รัชมี และธงรบ อักษร. (2560). ระบบการจัดการลานจอดรถยนต์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ใน การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 2 การวิจัย 4.0 เพื่อการพัฒนาประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน. 26-27 กรกฎาคม 2560. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี. 421-428.
- ภาสกร พาเจริญ. (2562). พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย NodeMCU. กรุงเทพฯ: บริษัท โปรวิชั่น จำกัด.
- ยศพล จุฑะโยธิน, สราวุฒิ เพ็ชรทับทิม, วัชรพล อินเกรา, ทินกร ชุมภักทรกุล, จิตติยา เนตรวงษ์ และสุรสิทธิ์ ทรงม้า. (2564). ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบไฮบริด. วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี. 2(3): 44-56.
- Aydin I., Karakose M. and Karakose E. (2017). A navigation and reservation based smart parking platform using genetic optimization for smart cities. In 2017 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG). Turkey. 120-124.
- Buyya R. and Dastjerdi A.V. (2016). Internet of things: principles and paradigms. Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- Hainalkar G.N. and Vanjale M.S. (2018). Smart parking system with pre & post reservation, billing and traffic app. In 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). India. 500-505.
- Kandasamy R., Raut S., Varma D. and There G. (2013). Design of solar tricycle for handicapped person. Journal of Mechanical and Civil Engineering. 25(2): 11-24.
- Michael S.S. (2015). Protecting privacy in an IoT-connected world. Information Management. 49(6): 36-39.
- Padraig S. and Lueth K.L. (2016). Guide to IoT Solution Development. Accessed 10 Sep 2022. <https://iot-analytics.com/product/guide-to-iot-solution-development>.
- Yugopuspito P., Herwansyah R.A., Krisnadi D., Cahya S. and Panduwina F. (2016). Performance notification in a reservation based parking system. In 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). Indonesia. 429-434.

Received: November 3, 2022; Revised: January 24, 2023; Accepted: February 7, 2023

การเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบของน้ำสกัดใบชาที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา

Changing colors and compositions of aqueous chaya leaf extract in relations to temperatures and storage time

ศศิมล มุ่งหมาย¹ วีรเวทย์ อุทโย¹ วัชรพงษ์ วัฒนกุล² ทिता สุนทรวิภาต^{2*} และอดุลย์ อภินันท์³
Sasimon Mungmai¹, Weerawate Utto¹, Watcharapong Wattanakul²,
Thita Soonthornvipat^{2*} and Adul Apinan³

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

¹Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

²Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai Province

³สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

³Research and Development Institute, Buriram Rajabhat University, Buriram Province

*Corresponding Author E-mail Address: thita_soo@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

น้ำสกัดจากใบชาเป็นสารเติมแต่งส่วนของอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติและสีเขียว ซึ่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบบางประการของน้ำสกัดใบชาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิระหว่าง 5-25°C เป็นเวลา 10 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าสี a* ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิกของน้ำสกัดลดลงจากค่าเริ่มต้นอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บรักษา และเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นเมื่อเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงขึ้น น้ำสกัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C มีอายุการเก็บรักษาเพียง 3 วัน เนื่องจากการเน่าเสียของน้ำสกัด ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและการตกตะกอน ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางคุณภาพข้างต้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาของแต่ละอุณหภูมิเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 และสามารถทำนายได้ดีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ First-order fractional conversion (FOFC) โดยมีค่า R² 0.63-0.99 และค่า Root mean square of error (RMSE) <2 ยกเว้นค่า RMSE ของการเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ที่อุณหภูมิ 10 และ 25°C ซึ่งมีค่าสูงกว่า 2 อัตราเร็วของจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ FOFC มีค่าเพิ่มขึ้นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแบบเอกซ์โปเนนเชียล ความสัมพันธ์ดังกล่าวทำนายได้ดีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์อาร์เรเนียส (Arrhenius) มีค่า R² 0.76-0.99 และ RMSE <2

คำสำคัญ : ใบชา น้ำสกัดใบชา จลนพลศาสตร์ คลอโรฟิลล์ทั้งหมด กรดแอสคอร์บิก

Abstract

Aqueous chaya leaf extract has been used as food additive for improving taste and color of which the latter tends to change during storage. This research aim to study color changes and some components of the chaya extract kept between 5-25°C for 10 days. The results showed that a^* values as well as amounts of the total chlorophyll, and ascorbic acid continuously decreased from their initial values throughout the storage period especially when it storage in the high temperatures. The chaya extract kept at 25°C had only 3 days of self-life. The appearance of spoilage was observed from changing color to dark-brown color and precipitation. The results of kinetic studies on the quality attributed aforementioned found that the kinetic changes of those during the storage in individual temperatures were 1st order kinetic reactions. These were well predicted by the first-order fractional conversion (FOFC) mathematical model given values of R^2 0.63-0.99 and root mean square of error (RMSE) < 2, except the RMSE of a^* values estimated at 10 and 25°C which were higher than 2. Rates of the kinetic changes estimated using the FOFC model exponentially increased in relations with temperatures increased. The relationships were well predicted by the Arrhenius mathematical model of which the values of R^2 and RMSE were 0.76-0.99 and RMSE < 2, respectively.

Keywords: Chaya leaf, Chaya leaf extract, Kinetic, Total chlorophyll, Ascorbic acid

บทนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญของการบริโภคอาหารโดยหลีกเลี่ยงอาหารที่มีส่วนประกอบซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพโดยเฉพาะสารเติมแต่งอาหารสังเคราะห์ที่อาจเป็นสารก่อมะเร็ง (Sezgin and Ayyildiz, 2017) จากความต้องการของผู้บริโภสดังกล่าวประกอบกับแนวความคิดของเศรษฐกิจหมุนเวียนสีเขียว (Bio-circular and Green economy หรือ BCG) ได้ส่งผลให้เกิดการใช้สารเติมแต่งอาหารจากวัตถุดิบทางธรรมชาติมากขึ้น (สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2563) ในการวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจในสีผสมอาหาร (Food colorant) เนื่องจากสีเป็นลักษณะปรากฏที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค (สุรวิทย์ และคณะ, 2559; Martins et al., 2016) สารสกัดจากพืชเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งสีได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากรงควัตถุที่ให้สี เช่น สารประกอบแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ให้สีแดง น้ำเงิน และม่วง ในขณะที่สารประกอบคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ให้สีเขียว (Ghosh et al., 2022) ผักไชยา หรือ ผักชಾಯา หรือ ค่น้าน้ำเม็กชิโก (*Cnidioscolus chayamansa* McVaugh) มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะวิตามินซี (335.50 mg/100 g) และเจริญได้ดีในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ศศิมล และคณะ, 2565) ใบของผักไชยามีสีเขียวนิยมนำมารับประทานในรูปแบบลวกน้ำร้อนร่วมกับน้ำพริก อีกทั้งนำมาเป็นส่วนประกอบอาหารต่าง ๆ เพื่อเพิ่มรสชาติเนื่องจากมีส่วนประกอบของกรดกลูตามิก (Glutamic acid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผงชูรส (Monosodium glutamate) (Ramirez-Rodrigues et al., 2021)

ใบไชยาได้ถูกใช้เป็นสารเติมแต่งสีเขียวของอาหารโดยผ่านการคั้นใบไชยาสดในน้ำสะอาดแล้วทำการกรองและนำไปผสมกับอาหาร ทั้งนี้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสีและองค์ประกอบอื่น ๆ ของน้ำสกัดใบไชยาในระหว่างการเก็บรักษา ยังไม่ได้มีรายงานในเอกสารอ้างอิงหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำสกัดใบไชยาในด้านสีเขียว คลอโรฟิลล์ และกรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ

ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการวางแผนกิจกรรมโลจิสติกส์ของน้ำสกัดใบไผ่ได้ในอนาคต ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างความเข้าใจต่อจลนพลศาสตร์ (Kinetic) ของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่ศึกษาของน้ำสกัดใบไผ่ในระหว่างการเก็บรักษา

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเตรียมน้ำสกัดจากใบไผ่สด

ใบไผ่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ นำมาจากหมู่บ้านหนองแก ตำบลแจระแม อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยควบคุมความสม่ำเสมอของอายุของต้นไผ่และพื้นที่ปลูกของต้นที่ทำกรสุมเก็บใบ ทั้งนี้ใบไผ่ที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นใบที่เก็บจากระดับกลาง (Middle) ของต้น โดยการเลือกดังกล่าวเป็นผลจากการศึกษาเบื้องต้นความสัมพันธ์ของลำดับใบต่อปริมาณสารสำคัญ ซึ่งพบว่า ใบระดับกลางต้น (เป็นใบลำดับที่ 5-8 นับจากยอดของต้น) มีปริมาณวิตามินซีและคลอโรฟิลล์ $335.50 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ และ $4,011.24 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าใบส่วนยอด (ปริมาณวิตามินซี $270.56 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ และปริมาณคลอโรฟิลล์ $2,749.24 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) หรือใบระดับที่ต่ำกว่า (ปริมาณวิตามินซี $267.62 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ และปริมาณคลอโรฟิลล์ $3,721.48 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) เมื่อเก็บใบไผ่มาแล้ว ได้นำใบไผ่ไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Thai Poly Chemicals Co., Ltd., Thailand) ความเข้มข้น 150 mg L^{-1} เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อทำลายจุลินทรีย์เบื้องต้น ทิ้งไว้ให้แห้งบนตะแกรงที่สะอาดเพื่อนำสกัดร่วมกับน้ำ และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำสกัดใบไผ่ต่อไป

วิธีการเตรียมน้ำสกัดจากใบไผ่สดสามารถสรุปโดยสังเขปดังต่อไปนี้ นำใบไผ่มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ $3 \times 6 \text{ cm}$ จากนั้นนำไปแช่ในน้ำเปล่าที่มีส่วนผสมของสารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (ตราแม็กกาแรต ผลิตโดยบริษัท เจอร์ เอฟ แอนด์ บี จำกัด ประเทศไทย) มีอัตราส่วนเท่ากับโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 5 g ต่อน้ำเปล่า 4 L เป็นเวลา 1 นาที (กัลยา และ สุภารัตน์, 2563) เพื่อช่วยรักษาสีให้คงความเขียวสด ภายหลังได้นำไปต้มในน้ำเดือด (อุณหภูมิประมาณ 100°C) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อลดปริมาณไผ่ในดตามวิธีที่ได้รายงานโดย Godínez-Santillán et al. (2019) เมื่อครบเวลาแล้วนำชิ้นใบไผ่ไปแช่ในน้ำเย็น 5 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงที่สะอาด 5 นาที นำใบไผ่ที่ได้มาสกัดด้วยน้ำเปล่าในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำน้ำสกัดที่ได้บรรจุลงในขวดพลาสติกปริมาตร 150 ml เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 25°C เป็นเวลา 10 วัน โดยได้ทำการสุมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ต่าง ๆ ในวันที่ 1, 3, 5, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้การสุมตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิกได้ทำการสุมทุก ๆ 2 ชั่วโมงในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากดัชนีทั้งสองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษา (ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจากการศึกษาเบื้องต้น)

2. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำสกัดใบไผ่

2.1 การเปลี่ยนแปลงสี

การวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างน้ำสกัดใบไผ่ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา ด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color flex 4510, USA) ในหน่วยของ L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* คือ ความสว่างมี ค่าตั้งแต่ 0-100 ซึ่ง 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ในขณะที่ค่า a^* แสดงความเป็นสีเขียว ($-a^*$) สีแดง ($+a^*$) ส่วนค่า b^* แสดงสีน้ำเงิน ($-b^*$) และสีเหลือง ($+b^*$) โดยในการวิจัยนี้ นำเสนอค่าสี a^* เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในความเป็นสีเขียวของน้ำสกัดใบไผ่

2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll) ในน้ำสกัดจากใบชาในชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 วันที่ 1, 3, 5, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา ดำเนินการด้วยการดัดแปลงจากวิธีของ Lichtenthaler and Buschmann (2001) โดยนำน้ำสกัดใบชาปริมาณ 5 ml เติมน้ำสารละลายอะซิโตน (Acetone; Loba Chemie Pvt. Ltd., India) ความเข้มข้น 80% (v/v) ปริมาณ 20 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตนให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 100 ml จากนั้นนำสารละลายที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer รุ่น Evolution 300 PC) โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของตัวเปรียบเทียบ (Blank) ที่เป็นสารละลายอะซิโตนความเข้มข้น 80% (v/v) ในการศึกษาได้วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Total chlorophyll} = \frac{20.9(OD\ 645) + 8.02(OD\ 663)}{1000 \times W} \times V$$

กำหนดให้ V คือ ปริมาตรของสารละลายที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์ (ml); W คือ น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์ (g) และ OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ทั้งนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดรายงานในหน่วยของ mg 100 g⁻¹

2.3 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid content)

วิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) ในน้ำสกัดใบชาในชั่วโมงที่ 0, 2, 4 และ 6 วันที่ 1, 3, 5, 7 และ 10 ของการเก็บรักษา ด้วยกระบวนการไตเตรทโดยใช้สารละลายมาตรฐานอินโดฟีโนล (Indophenols standard solution) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำสกัดโดยคิดเป็นมิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิก ต่อ 100 g ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (1990) นำน้ำสกัดใบชา 1 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมน้ำ 5% Trichloroacetic acid ปริมาตร 9 ml เขย่าให้เข้ากันทันที แล้วทำการไตเตรททันทีกับ Indophenols solution จนถึงจุดยุติ คือ เปลี่ยนเป็นสีชมพูที่คงตัว สำหรับตัวอย่างเปรียบเทียบ (Blank sample) นำ 5% Trichloroacetic acid ปริมาตร 10 ml ไตเตรทเช่นเดียวกับน้ำสกัดใบชา จากนั้นนำค่าที่ได้จากการไตเตรทมาวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Ascorbic acid content} = ((X-B) \times (F/E) \times 100) / (V-Y)$$

กำหนดให้ X คือ ปริมาตร Indophenols solution ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (ml); B คือ ปริมาตร Indophenols solution ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง Blank (ml); F คือ ความเข้มข้นของ Ascorbic acid standard solution (mg ml⁻¹); E คือ ปริมาตรของ Ascorbic acid standard solution (ml); V คือ ปริมาตร Indophenols standard ที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (ml) และ Y คือ ปริมาตร Indophenols standard ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง Blank (ml) ทั้งนี้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกรายงานในหน่วยของ mg 100 g⁻¹

3. การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำสกัดใบชา

ข้อมูลซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 2.1-2.3 ได้นำมาศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ทั้งนี้การศึกษาจลนพลศาสตร์เกี่ยวข้องกับอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลให้เกิดเปลี่ยนแปลงของสารประกอบในอาหาร โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยากับความ

เข้มข้นของสารตั้งต้นในผลิตภัณฑ์มีลำดับ (Order) ตามกฎของอัตรา (Rate law) ของการเกิดปฏิกิริยาในระหว่าง การแปรรูปและการเก็บรักษาอาหาร ซึ่งลำดับส่วนใหญ่เท่ากับ 0 หรือ 1 (Zeroth order หรือ First order reaction ตามลำดับ) (Earle and Earle, 2003) จากการศึกษาเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของวิตามินซี สี หรือสารสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารมักเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ซึ่งอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ กับความเข้มข้นหรือปริมาณของสารตั้งต้นในช่วงเวลาต่าง ๆ (เวียงโขง และคณะ, 2559; Robertson, 2012) ในปัจจุบัน ยังไม่พบการศึกษาจนพลาศาสตร์การเปลี่ยนแปลงน้ำสกัดใบชา ดังนั้นผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ และกรดแอสคอร์บิกเกิดขึ้นในรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 และผู้วิจัยได้ประยุกต์แบบจำลอง คณิตศาสตร์ First-order fractional conversion model (Eq. 1) ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ได้มีการใช้อย่าง แพร่หลายเพื่อทำนายจนพลาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ของผลิตภัณฑ์อาหาร (Van et al., 2014)

$$\frac{A_t^i - A_\infty^i}{A_0^i - A_\infty^i} = \exp(-k_{1st}^i t) \quad \text{Eq. 1}$$

กำหนดให้ A_t^i คือ ค่าสิ่งที่สนใจ i ที่เวลาใด ๆ (t); A_0^i คือ ค่าสิ่งที่สนใจ i ที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$); A_∞^i คือ ค่าสิ่งที่สนใจ i เมื่อเข้าสู่สมดุล ($t \cong \infty$); k_{1st}^i คือ ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ในค่าสิ่งที่สนใจ i (day^{-1}) และ t คือ ระยะเวลาการเก็บรักษา (day) ทั้งนี้ค่าที่สนใจ i ประกอบด้วย ค่าสี a^* (ไม่มีหน่วย) ความเข้มข้นของ กรดแอสคอร์บิก ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) นอกจากนี้ การวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของ อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยากับอุณหภูมิการเก็บรักษาด้วยความสัมพันธ์อาร์เรเนียส (Arrhenius relationship) ซึ่งมี แบบจำลองคณิตศาสตร์แสดงใน Eq. 2

$$k_{1st}^i = k_{1st,ref}^i \exp\left(\frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad \text{Eq. 2}$$

กำหนดให้ $k_{1st,ref}^i$ คือ ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ที่อุณหภูมิอ้างอิง (day^{-1}); Ea คือ พลังงานกระตุ้น หรือ activation energy (J mol^{-1}); T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง ณ ที่นี้ คือ 18°C หรือ 291.15 K การศึกษานี้ ได้ใช้วิธี Non-linear regression เพื่อประมาณค่า k_{1st}^i $k_{1st,ref}^i$ และ Ea ของการเปลี่ยนแปลงสารที่สนใจที่ได้ จากการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel® 2016 (Microsoft Inc.) การประมาณค่าโดยใช้ Non-linear regression นั้นดำเนินการตามวิธีที่ได้นำเสนอโดย Avila and Silva (1999) โดยความแม่นยำของการทำนายค่าที่ได้จากการ ทดลองด้วย Eq. 1 แสดงโดยค่า Root mean square of error (RMSE) และค่า R^2 โดยประยุกต์แนวทางที่รายงานโดย Phungarm et al. (2018)

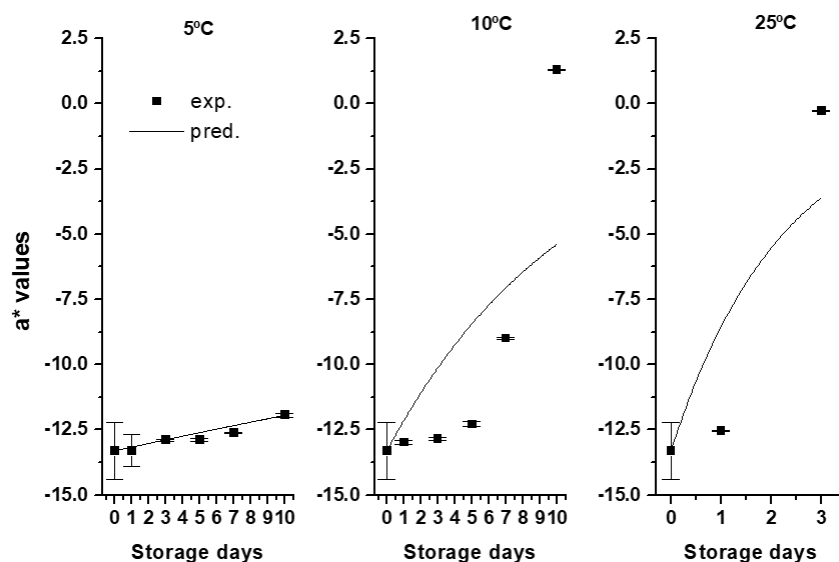
4. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์สถิติ

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ Full factorial in randomized completely block design (RCBD) โดยมีปัจจัย คือ อุณหภูมิการเก็บรักษา (5, 10 และ 25°C) และระยะเวลาการเก็บรักษา (1, 3, 5, 7 และ 10 วัน) ดำเนินการดำเนินการ 3 ซ้ำการทดลอง การวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาระหว่างกุมภาพันธ์-เมษายน 2565

ผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเขียว (a^*)

ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) ของน้ำสกัดใบไผ่มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -13.30) ตามระยะเวลาของการเก็บรักษา (รูปที่ 1) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* เกิดขึ้นได้สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 1 พบว่า ค่าสี a^* เริ่มมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังจากการเก็บรักษา 3 วัน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 10 และ 25°C ซึ่งมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดดหรือเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ของน้ำสกัดใบไผ่ที่อุณหภูมิ 5°C มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้น้อยกว่า (รูปที่ 1) ทั้งนี้ น้ำสกัดจากใบไผ่ซึ่งภายหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 4 วัน มีสีคล้ำและตกตะกอน ตลอดจนมีกลิ่นไม่พึงประสงค์และไม่เหมาะกับการนำมาประกอบอาหาร จึงได้ยุติการวัดค่าสี และองค์ประกอบอื่น ๆ หลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษา



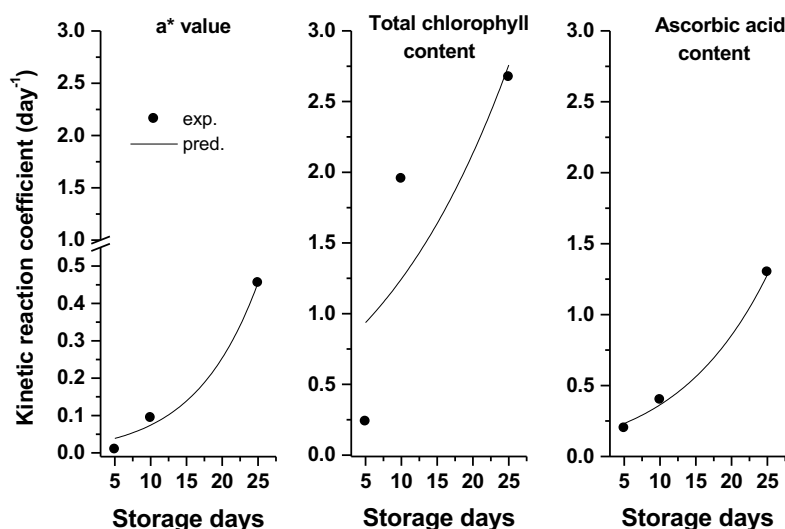
รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ในน้ำสกัดใบไผ่ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 25°C เป็นเวลา 10 วัน ทั้งนี้สัญลักษณ์ ■ และบาร์ (Bars) แทนค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (n=3) (exp.) และเส้นสีดำ คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ Eq. 1 (pred.)

เมื่อทำการศึกษากินพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ของน้ำสกัดใบไผ่ในแต่ละอุณหภูมิ พบว่า สมการ Eq. 1 สามารถทำนายแนวโน้มและค่าสี a^* ได้ดี โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 5°C โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.93 และค่า RMSE เท่ากับ 0.12 (ตารางที่ 1) ในทางตรงกันข้ามค่าที่ทำนายจากสมการ Eq. 1 สำหรับอุณหภูมิ 10 และ 25°C มีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลอง โดยเฉพาะภายหลังจากการเก็บรักษา 3-10 วัน ซึ่งมีค่า R^2 และ RMSE อยู่ในช่วงของ 0.63-0.80 และ 2.13-2.44 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า $k_{1st}^{a^*}$ ที่ได้จากการทำนายของสมการ Eq. 1 พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยค่า $k_{1st}^{a^*}$ ที่อุณหภูมิ 25°C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 5 และ 10°C ประมาณ 46 และ 5 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ในรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $k_{1st}^{a^*}$ และอุณหภูมิการเก็บรักษาเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล และสามารถทำนายโดยสมการ Eq. 2 ได้อย่างดี โดยมีค่า R^2 และ RMSE เท่ากับ 0.99 และ 0.01 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับ 1 (Eq.1) ของการเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ของน้ำสกัดจากใบชาสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 25°C เป็นเวลา 10 วัน

อุณหภูมิ (°C)	$k_{1st}^{a^*}$	R^2	RMSE
5	0.01	0.93	0.09
10	0.09	0.63	2.44
25	0.46	0.80	2.13

หมายเหตุ: $k_{1st}^{a^*}$ = ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ของค่าสี a^* (รายงานในหน่วย day⁻¹)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (First order kinetic reaction coefficients) (ข้อมูลสัญลักษณ์ ◆; exp.) สำหรับค่าสี a^* value ($k_{1st}^{a^*}$) ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll content; k_{1st}^{chl}) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid content; k_{1st}^{asc}) ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการเก็บรักษาและการทำนายด้วยสมการ Eq. 2 (ข้อมูลเส้น; pred.)

ตารางที่ 2 ตัวแปรในความสัมพันธ์อาร์เรย์เนยส (Eq. 2) ระหว่างค่า $k_{1st}^{a^*}$ และอุณหภูมิการเก็บรักษา พร้อมด้วยค่า R^2 และ RMSE

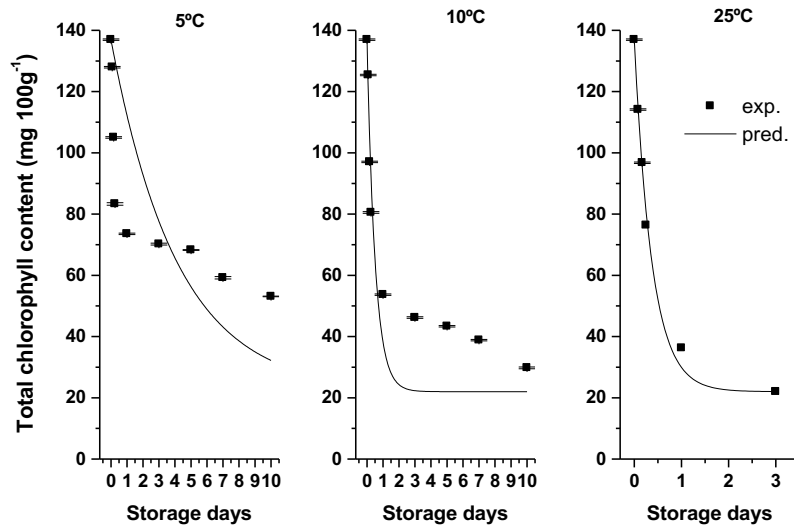
$k_{1st,ref}^{a^*}$	Ea (kJ mol ⁻¹)	R^2	RMSE
0.20	84.91	0.99	0.01

หมายเหตุ: $k_{1st,ref}^{a^*}$ = ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ของค่าสี a^* ในน้ำสกัดใบชาและอุณหภูมิ 18°C (รายงานในหน่วย day⁻¹)

2. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของน้ำสกัดใบชามีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจากค่าวันเริ่มต้น (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 136.95 mg 100 g⁻¹) เมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มเกิดการสูญเสียได้เร็วที่สัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ น้ำสกัดใบชาซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C มีปริมาณคลอโรฟิลล์

ทั้งหมดลดลงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 และลดต่ำลงที่สุดในวันที่ 3 โดยมีค่าต่ำกว่าค่าเริ่มต้นประมาณ 6.23 เท่า นอกจากนี้หลังจากวันที่ 3 ผู้วิจัยไม่ได้วิเคราะห์ เนื่องจากน้ำสกัดใบช่ายามีสี และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ที่ได้นำเสนอก่อนหน้านี้ เมื่อพิจารณาในรูปที่ 3 พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของน้ำสกัดใบช่ายที่อุณหภูมิ 5°C โดยเฉพาะในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา เกิดการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 10 และ 25°C ซึ่งเกิดการลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในน้ำสกัดใบช่ายเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 25°C เป็นเวลา 10 วัน โดย 0.08 คือ การวิเคราะห์ในชั่วโมงที่ 2; 0.17 คือ การวิเคราะห์ในชั่วโมงที่ 4 และ 0.25 คือ การวิเคราะห์ในชั่วโมงที่ 6 ทั้งนี้สัญลักษณ์ ■ และบาร์ (bars) แทนค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากทดลอง (n=3) (exp.) และเส้นสีดำ คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ Eq. 1 (pred.)

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับ 1 (Eq.1) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของน้ำสกัดจากใบช่ายสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 10 และ 25°C เป็นเวลา 10 วัน

อุณหภูมิ (°C)	k_{1st}^{chl}	R^2	RMSE
5	0.24	0.70	1.81
10	1.95	0.96	1.22
25	2.67	0.99	0.26

หมายเหตุ: k_{1st}^{chl} = ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (รายงานในหน่วย day⁻¹)

เมื่อทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในแต่ละอุณหภูมิ พบว่า สมการ Eq. 1 สามารถทำนายภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงได้ดี โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 5 และ 25°C โดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.78-0.99 และค่า $RMSE \leq 1.45$ ทั้งนี้การประมาณค่าของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 5 และ 10°C โดยสมการ Eq. 1 มีค่าคลาดเคลื่อนที่เห็นได้ชัดภายหลังจากวันที่ 5 และ 1 ตามลำดับ (รูปที่ 3) ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า k_{1st}^{chl} และอุณหภูมิการเก็บรักษา (รูปที่ 2 พิจารณา ณ รูปย่อย Total chlorophyll content และตารางที่ 4) พบว่า สมการ Eq. 2

สามารถทำนายแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าของ k_{1st}^{chl} โดยมีค่า R^2 และ RMSE เท่ากับ 0.76 และ 0.41 ตามลำดับ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนของการทำนายสังเกตได้ชัดที่อุณหภูมิ 5 และ 10°C

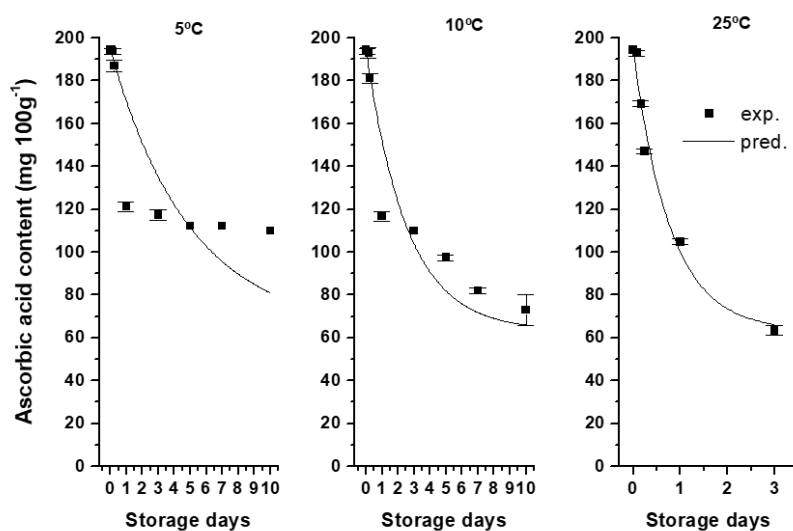
ตารางที่ 4 ตัวแปรในความสัมพันธ์อาร์รีเนียส (Eq. 2) ระหว่างค่า k_{1st}^{chl} และอุณหภูมิการเก็บรักษา พร้อมด้วยค่า R^2 และ

RMSE			
$k_{1st,ref}^{chl}$	Ea (kJ mol^{-1})	R^2	RMSE
1.93	37.03	0.76	0.41

หมายเหตุ: $k_{1st,ref}^{a*}$ = ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในน้ำสกัดใบไผ่และอุณหภูมิ 18°C (รายงานในหน่วย day^{-1})

3. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิก

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของน้ำสกัดใบไผ่มีค่าลดลงจากค่าที่เริ่มต้น (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $194.44 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) ตามระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 4) โดย พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 5°C มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 25°C ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีค่าลดลงมากกว่า 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น ทั้งนี้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของน้ำสกัดใบไผ่ที่ 5 และ 10°C มีปริมาณที่หลงเหลือในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาที่สูงกว่าการเก็บรักษาที่ 25°C โดยลดลงจากค่าเริ่มต้นประมาณ 2 และ 2.67 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำสกัดใบไผ่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 25°C เป็นเวลา 10 วัน โดย 0.08 คือ การวิเคราะห์ในชั่วโมงที่ 2; 0.17 คือ การวิเคราะห์ในชั่วโมงที่ 4 และ 0.25 คือ การวิเคราะห์ในชั่วโมงที่ 6 ทั้งนี้สัญลักษณ์ ■ และบาร์ (bars) แทนค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ($n=3$) (exp.) และเส้นสีดำ คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ Eq. 1 (pred.)

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับ 1 (Eq.1) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของน้ำสกัดจากใบไผ่สด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 25°C เป็นเวลา 10 วัน

อุณหภูมิ (°C)	k_{1st}^{asc}	R^2	RMSE
5	0.20	0.77	1.20
10	0.39	0.93	0.84
25	1.28	0.98	0.41

หมายเหตุ: k_{1st}^{asc} = ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ของปริมาณกรดแอสคอร์บิก (รายงานในหน่วย day⁻¹)

ในรูปที่ 4 แสดงข้อมูลจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของน้ำสกัดใบไผ่สด พบว่า สมการ Eq. 1 สามารถทำนายภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ดี โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 25°C โดยมีค่า R^2 และ RMSE อยู่ในช่วง 0.77-0.98 และ 0.41-1.20 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่า ความคลาดเคลื่อนของการทำนายด้วยสมการ Eq. 1 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 5°C มากกว่าที่อุณหภูมิ 10 และ 25°C จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง k_{1st}^{asc} และอุณหภูมิการเก็บรักษาซึ่งแสดงในรูปที่ 2 (พิจารณา ณ รูปย่อย Ascorbic acid content) และตารางที่ 6 พบว่า สมการ Eq. 2 สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงค่า k_{1st}^{asc} ได้เป็นอย่างดีโดยมีค่า R^2 และ RMSE เท่ากับ 0.99 และ 0.02 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ตัวแปรในความสัมพันธ์อาร์รีเนียส (Eq. 2) ระหว่างค่า k_{1st}^{asc} และอุณหภูมิการเก็บรักษา พร้อมด้วยค่า R^2 และ RMSE

$k_{1st,ref}^{chl}$	Ea (kJ mol ⁻¹)	R^2	RMSE
0.74	58.97	0.99	0.02

หมายเหตุ: $k_{1st,ref}^{a*}$ = ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ของปริมาณกรดแอสคอร์บิก ในน้ำสกัดใบไผ่สดและอุณหภูมิ 18°C (รายงานในหน่วย day⁻¹)

การอภิปรายผล

ใบไผ่สดมีสีเขียวเข้มเมื่อผ่านกระบวนการสกัดที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าสีเขียว (a^*) เริ่มต้นประมาณ -13.30 ที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของสีใบสดที่มีค่าสี a^* ประมาณ -10 ซึ่งรายงานโดย ศศิมล และคณะ (2565) ที่ดำเนินการศึกษาการจืดเก็บใบไผ่สดในบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปร ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากระบวนการการสกัดที่ประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้ให้น้ำสกัดที่มีสีเขียวคล้ายสีใบสดจึงมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อให้สีเขียวแก่อาหาร เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิก ซึ่งเป็นลักษณะคุณภาพ (Quality attributes) ที่สำคัญหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหาร (Hanh et al., 2016; Indrasti et al., 2018) พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา และการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มเกิดขึ้นได้เร็วมากเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของลักษณะคุณภาพเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เอนไซม์สำคัญในการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมสลายของสารประกอบคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวและกรดแอสคอร์บิก คือ คลอโรฟิลล์เลส (Chlorophyllase) และ แอสคอร์เบตออกซิเดส (Ascorbate oxidase) ตามลำดับ (Rasul and Inanc, 2014; Akyildiz et al., 2021) กิจกรรมของเอนไซม์โดยทั่วไปมีความสัมพันธ์

แบบเอกโปเนนเชียลกับอุณหภูมิ ดังแสดงโดยความสัมพันธ์อาร์เรเนียส (Eq. 2) เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ดังกล่าว การเปลี่ยนแปลงของทั้งสารประกอบคลอโรฟิลล์และกรดแอสคอร์บิกในน้ำสกัดใบชาจึงเกิดขึ้นในอัตราเร็วที่สูงเมื่ออุณหภูมิ การเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มทำให้คุณภาพของน้ำสกัดใบชา ลดลงอย่างมาก และเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ต่อการบริโภค ดังผลการทดลองที่แสดงให้ทราบถึงการตกตะกอน หรือการเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีคล้ำน้ำตาล

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพทั้งสามซึ่งแสดงในรูปที่ 1, 3 และ 4 ทำให้ทราบได้ว่า จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 กล่าวคือ อัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับปริมาณของสารตั้งต้น ในแต่ละช่วงเวลา (Earle and Earle, 2003) สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในแต่ละอุณหภูมิซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลง เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรก หรือวันที่ 1-3 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้ข้อมูลจลนพลศาสตร์ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลง ของน้ำสกัดใบชาเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ยังไม่ได้มีการรายงานในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง ความรู้ด้านจลนพลศาสตร์ที่ได้ จากการศึกษานี้จึงสนับสนุนองค์ความรู้ด้านการลดลงของสีเขียว หรือ กรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการแปรรูป หรือการเก็บรักษา ซึ่งมีการรายงานอย่างกว้างขวางว่าเป็นจลนพลศาสตร์แบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ดังตัวอย่างของการวิจัย การเปลี่ยนสีของผลแอปเปิ้ลคอกแท่ง (Deng et al., 2022) เนื้อถั่วพีแคน (Prabhakar et al., 2022) หรือข้าวกล้องและ ข้าวฮางอก (เวียงโขง และคณะ, 2559)

เมื่อพิจารณาข้อมูลจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงจากในงานวิจัยนี้ (รูปที่ 1-4) พบว่า แม้ว่าสมการ Eq. 1 สามารถ ทำนายภาพรวมและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทั้งสามที่ศึกษา แต่ความคลาดเคลื่อนที่ชัดเจนของการทำนาย นั้นอยู่ในกลุ่มข้อมูล (1) ค่า a^* ที่ 25°C (รูปที่ 1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 10°C (รูปที่ 3) และ ปริมาณ กรดแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 5°C (รูปที่ 4) ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสนับสนุนด้วยค่า RMSE ที่มากกว่า 2 โดยค่า RMSE ที่แสดงถึงความแม่นยำในการทำนายโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ควรมีค่าที่ต่ำกว่า 2 (Yang and Chinnan, 1988) ตลอดจนค่า R^2 ที่ต่ำกว่า 0.90 ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอาจเป็นผลจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ส่งผลให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการทำนายโดยสมการ Eq. 1 ดังในกรณีของการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ภายหลังวันที่ 1 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C หรือปริมาณกรดแอสคอร์บิกในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษาที่ 5°C ซึ่งพบว่า ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ทำนายโดยสมการ Eq. 1 (รูปที่ 3 และรูปที่ 4) ทั้งนี้จากการทดลองทำให้ คาดคะเนว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอาจช่วยชะลออัตราเร็วของขั้นตอนย่อยในปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลง คลอโรฟิลล์และกรดแอสคอร์บิกจึงส่งผลให้อัตราเร็วในภาพรวมลดลง อย่างไรก็ตามสมการ Eq. 1 ไม่ได้รวมผลที่เกิดขึ้นใน ขั้นตอนย่อย ๆ ต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยรวม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในประเด็นนี้ต่อไปในอนาคตโดยเฉพาะขั้นตอนที่ กำหนดอัตราเร็ว (Rate-limiting step) ของการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์และกรดแอสคอร์บิก ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า ความคลาดเคลื่อนในการทำนายโดยสมการ Eq. 1 ที่ 25°C เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในกรณีของกรดแอสคอร์บิกและ คลอโรฟิลล์ อาจเป็นผลเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25°C ไม่ส่งผลต่อการชะลอของขั้นตอนย่อยและการเกิดปฏิกิริยา โดยรวม ทั้งนี้กลไกที่ซับซ้อนในการเกิดปฏิกิริยา (Complex reaction mechanism) ส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนาย จลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาดังที่มีการอภิปรายในกรณีของการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (Labuza, 2005) หรือในกระบวนการทางชีวภาพและชีวเคมีอื่น ๆ (Peleg et al., 2004) อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนของการทำนายค่า a^* ที่อุณหภูมิ 25°C (รูปที่ 1) อาจเป็นผลจากการนำเสียของน้ำสกัดใบชาจึงทำให้ ค่า a^* มีค่าที่เปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นได้เร็วและมีค่าที่สูงมากแม้เก็บรักษาเพียง 3 วัน

จากข้อมูลในรูปที่ 2 และตารางที่ 2, 4 และ 6 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาซึ่งเป็นค่า k_{1st}^i และอุณหภูมิการเก็บรักษาเป็นรูปแบบของเอกโปเนนเชียล หรือเป็นรูปแบบของความสัมพันธ์อาร์เรเนียส โดยสามารถทำนาย ได้ดีด้วยสมการ Eq. 2 ความสัมพันธ์อาร์เรเนียสได้รับการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษาจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลง

คุณภาพหรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการเก็บรักษา (Earle and Earle, 2003; Roberston 2012) ผลการศึกษาความสัมพันธ์อาร์เรเนียนีส์ดังกล่าวนี้สนับสนุนการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของน้ำสกัดใบไชยาที่มีแนวโน้มเกิดขึ้นในอัตราเร็วที่สูงเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้สนับสนุนองค์ความรู้ด้านการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ควรเก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำเพื่อชะลอการเสื่อมเสีย ทั้งนี้ค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) ที่ได้จากการประมาณค่าของสมการ Eq. 2 อยู่ในช่วง $37-84 \text{ kJ mol}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกันกับค่า E_a ของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของวิตามินและสี (Vitamin and Color degradation) หรือปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Enzyme reaction) ที่มีช่วงระหว่าง $42-147 \text{ kJ mol}^{-1}$ (Roberston, 2012) ค่าพลังงานกระตุ้นแสดงถึงระดับความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาจากค่า E_a ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำสกัดใบไชยา จึงคาดคะเนได้ว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จึงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมเสียที่เร็วของน้ำสกัดใบไชยาซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C

บทสรุป

จากผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิกของน้ำสกัดใบไชยา มีความสัมพันธ์กับทั้งเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา โดยจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงโดยรวมเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียนีส์กับอุณหภูมิการเก็บรักษา จากข้อมูลการวิจัยนี้จึงนำเสนอในเบื้องต้นว่าควรเก็บรักษาน้ำสกัดใบไชยาที่อุณหภูมิระหว่าง $5-10^\circ\text{C}$ เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพและควรเก็บรักษาไว้ประมาณ 7-10 วัน ภายใต้สภาวะอุณหภูมิเย็นดังกล่าว ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในคุณภาพการเก็บรักษาอื่น ๆ โดยเฉพาะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และ/หรือคุณภาพทางประสาทสัมผัสสำหรับการประเมินอายุการเก็บรักษาที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ในภาพโดยรวมวิธีการศึกษาที่ได้ประยุกต์ในการวิจัยนี้มีประสิทธิภาพและส่งผลให้สามารถทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการอุณหภูมิและระยะเวลาการขนส่ง/เก็บรักษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา นามวงศ์สา และ สุภารัตน์ สดสร้อย. (2563). ผลของสภาวะอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผงใบไชยาในบรรจุภัณฑ์. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี.
- เวียงโขง วันสะหว่าง, วีระเวทย์ อุทโร, เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด, วชิราพรรณ บุญญาพิพิพงศ์ และเมทินี มาเวียง. (2559). ผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกในบรรจุภัณฑ์อุณหภูมิและระยะเวลาต่อคุณภาพของข้าวฮางอก. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 34(3): 73-85.
- ศศิมล มุ่งหมาย, วชรพงษ์ วัฒนกุล, อุดลย์ อภินันท์ และวีระเวทย์ อุทโร. (2565). ผลของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของใบไชยาสด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. 6(2): 33-49.
- สุรวิทย์ นันทการัตน์, ภาณุภัทร ตางาม, อนัญญา ไทยบุญนาคน, บุญชัย ดั่งสวัสดิ์ และสุวรรณา รุ่งเรือง. (2559). การผลิตผงสีจากวัชพรรณชาติเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงานการวิจัย. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพมหานคร.

- สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ. (2563). เอกสาร BCG in Action กลุ่มอาหาร. รายงานการวิจัย. สถาบันทรัพยากรเส้นทางปัญญาแห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.
- Akyildiz A., Mertoglu T. S. and Agcam E. (2021). Kinetic study for ascorbic acid degradation, hydroxy methyl furfural and furfural formations in orange juice. *Journal of Food Composition and Analysis*. 102(1): 11-16.
- AOAC. (1990). Official methods of the association of analytical chemistry international 16th Edition. Gaithersburg: MD.
- Avila I.M.L.B. and Silva C.L.M. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering*. 39(2): 161-166.
- Deng L., Xiong C., Pei Y., Zhu Z., Zheng X., Zhang Y., Yang X., Lui Z. and Xiao Y. (2022). Effects of various storage conditions on total phenolic, carotenoids, antioxidant capacity, and color of dried apricots. *Food Control*. 136(3): 1-10.
- Earle R. L. and Earle M. D. (2003). Fundamentals of food reaction technology. Leatherhead. NY.
- Godínez-Santillan R. S., Chavez-Servin J. L., Garcia-Gasca T. and Guzman-Maldonado S. H. (2019). Phenolic characterization and antioxidant capacity of alcoholic extracts from raw and boiled leaves of *Cnidioscolus aconitifolius* (Euphorbiaceae). *Acta Botanica Mexicana*. 126(1): 1-15.
- Ghosh S., Sarkar T., Das A. and Chakraborty R. (2022). Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry. *LWT-Food Science and Technology*. 153 (112527): 1-12.
- Hanh N.T., Hoang N.V. and Tao P.T.P. (2016). Change of chlorophyll and vitamin c in green peas (*Pisum Sativum*) during thermal processing. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*. 14(7): 1068–1074.
- Indrasti D., Andarwulan N., Eko H.P.E.H. and Wulandari N. (2018). Stability of chlorophyll as natural colorant: a review for suji (*Dracaena angustifolia* Roxb.) leaves case. *Current Research in Nutrition and Food Science*. 6(3): 609-625.
- Labuza T.P. (2005). Interpreting the complexity of the kinetics of the maillard reaction millard reactions in chemistry food and health. Woodhead publishing. Sawston.
- Lichtenthaler H.K. and Buschmann C. (2001). Chlorophylls and carotenoids–measurement and characterisation by UV-VIS. current protocols in food analytical chemistry (CPFA), (supplement 1). John Wiley. NY.
- Martins N., Roriz C.L., Patricia M.P., Barros L. and Ferreira I.C.F.R. (2016). Food colorants: challenges, opportunities and current desires of agroindustry to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science & Technology*. 52(1): 1-15.
- Peleg M., Corradini M.G. and Normand M.D. (2004). Kinetic models of complex biochemical reactions and biological processes. *Chemie Ingenieur Technik*. 76(4): 413-423.
- Phungam N., Utto W. and Pruthikul R. (2018). Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) moench). *International Food Research Journal*. 25(5): 1885-1892.

- Prabhakar H., Bock C., Kerr W. and Kong F. (2022). Pecan color change during storage: kinetics and modeling of the processes. *Current Research in Food Science*. 5(1): 118-128.
- Ramirez R.M.M., Metri O.J.C., Diaz M.G. and Baigts A.D.K. (2021). Use of chaya (*Cnidoscolous chayamansa*) leaves for nutritional compounds production for human consumption. *Journal of Mexican Chemical Society*. 65(1): 261-271.
- Robertson G.L. (2012). *Food packaging: principles and practice*. 3rd Edition. Taylor and Francis Group. NY.
- Rasul H. and Inanç A. (2014). Thermal stability of chlorophyll pigments in virgin olive oil. *KSU Journal of Natural Sciences*. 17(2): 34-40.
- Sezgin A.C. and Ayyildiz S.V. (2017). Science within food: up-to-date advances on research and educational ideas. *Food Additives: Colorants*. Spain: Formatex Research Center. 3(1): 87-94.
- Van L.A., Christiaens S., Colle I., Grauwet T., Lemmens L., Smout C., Van B.S., Vervoort L. and Hendrickx M. (2014). Kinetic data for biochemical and microbiological processes during thermal processing. In Rao M.A., Rizvi S.S.H., Datta A.K. and Ahmed J., Edition. *Engineering properties of foods*. Boca Raton. Springer Singapore. London.
- Yang C.C. and Chinnan M.S. (1988). Modeling the effect of O₂ and CO₂ on respiration and quality of stored tomatoes. *Transactions of the ASAE*. 31(3): 920-925.

Received: December 7, 2022; Revised: February 1, 2023; Accepted: February 9, 2023

การพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที

Develop an environment control system for the Bhutan oyster mushroom
cultivation house by using the IoT embedded system

ธีรพงศ์ เพ็ญเนตร^{1*} คมทอง โยวะผุย¹ ชุศักดิ์ จาระงับ¹ ภาณุพงศ์ บุญรัมย์¹ อุดมเดช ทาระหอม¹
และปิยนุช วรบุตร²

Teerapong Pennate^{1*}, Komthong Yowaphui¹, Choosak Charangab¹, Panupong Boonrom¹,
Udomdet Tarahom¹ and Piyanoot Voraboot²

¹คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

¹Faculty of Education, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province

²คณะบริหารธุรกิจและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

²Faculty of Business Administration and Management, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province

*Corresponding Author E-mail Address: teerapong34342@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที 2) เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตและรายได้จากการเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือน การทำงานของระบบมีการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นจากเซนเซอร์ SHT20 โดยระบบมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ไม่เกิน 33 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิเกินกว่าที่กำหนด พัดลมระบายอากาศและระบบทำความเย็นก็จะทำงานเพื่อรักษาอุณหภูมิให้เหมาะสม ประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ด โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที ใช้วิธีการทดสอบระบบแบบ Black box testing ผลการวิจัย พบว่า 1) โรงเรือนเพาะปลูกเห็ดสามารถตรวจจับอุณหภูมิ ความชื้น อากาศ และแสงสว่าง ทำให้โรงเรือนเพาะปลูกเห็ด มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกตลอดเวลาจากการประเมินหาประสิทธิภาพของระบบ พบว่า ประสิทธิภาพในภาพรวมของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ =4.50, S.D.=0.50) 2) ผลการศึกษาด้านต้นทุนการผลิตและรายได้จากการเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือน พบว่า ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน จะเริ่มมีกำไรจากการเพาะปลูก เมื่อเข้าเดือนที่ 3 และ เดือนที่ 4

คำสำคัญ: เห็ดนางรมภูฐาน โรงเรือนเพาะปลูก ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที

Abstract

This study aims 1) to develop an environment control system for the Bhutan oyster mushroom cultivation house by using the IoT embedded system 2) to study the production cost and income from Bhutan oyster mushroom cultivation that use environment control system by determine the efficiency of the mushroom cultivation house environment control system that use the embedded IoT. The system is checking temperature and humidity from SHT20 sensor, with the system controlling the temperature not exceeding 33 degrees celsius. The ventilator and cooling system will also work to maintain the optimum temperature. Using the black box testing method. The results of the research were as follows: 1) In order to development of mushroom cultivation cloud operation of sensors to detect temperature, humidity, air and light, it makes the mushroom cultivation house had a suitable environment for cultivation at all times. From the evaluation of the efficiency of the system, it was found that the overall efficiency of the system was at the highest level ($\bar{x}$ =4.50, S.D.=0.50). 2) The results of a study on production costs and income from Bhutan oyster mushroom cultivation that use the house environment control system, it was found that the house environment control system for the Bhutan oyster mushroom cultivation will get profit when entering the 3rd and 4th.

Keywords: Bhutan oyster mushroom, Cultivation house, IoT embedded system

บทนำ

ในอดีตเห็ดที่รับประทานกันทั่วไป จะเป็นเห็ดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและเจริญเติบโตเฉพาะช่วงฤดูกาลเท่านั้น เมื่อมีผู้นิยมบริโภคกันมากขึ้น จึงทำให้เกิดการพัฒนาไปสู่การเพาะเห็ดในเชิงการค้า เห็ดที่เพาะในเชิงการค้ามีหลายชนิด เช่น เห็ดฟาง เห็ดหูหนู เห็ดนางฟ้าหรือเห็ดนางรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เห็ดนางรมภูฐาน เป็นเห็ดที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วไปในท้องตลาด เนื่องจากเห็ดนางรมมีประโยชน์และคุณค่าทางอาหารสูง รวมทั้งสามารถนำมาแปรรูปอาหารได้อย่างหลากหลาย เห็ดนางรมเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิระหว่าง 24-33 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์ (นวลศรี, 2561; Mohammed et al., 2018) เห็ดแต่ละชนิดมีวิธีการเพาะที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปผู้เพาะเห็ดจะนำถุงเชื้อที่ผลิตเองหรือซื้อมาไปเปิดดอกในโรงเรือนที่ควบคุมสภาพแวดล้อมได้ ดังนั้น โรงเรือนจึงมีความสำคัญต่อการเพาะเห็ด เพราะจะต้องควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น อากาศ และแสงสว่าง เห็ดจึงจะออกดอกและให้ผลผลิตได้ดี (วีรศักดิ์ และคณะ, 2561) ตลอดจนโรงเรือนจะต้องสามารถป้องกันโรค แมลง และไร หรือศัตรูของเห็ดได้ ดังนั้น การเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานให้มีคุณภาพดีและผลผลิตสูง ควรมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ในการทำโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานของเกษตรกรในปัจจุบัน เกษตรกรจะต้องสูญเสียเวลาในการรดน้ำในช่วงเช้า กลางวัน และเย็น เพื่อรักษาอุณหภูมิความชื้นในโรงเรือนให้มีความเหมาะสมและยังต้องคอยวัดอุณหภูมิและความชื้นอยู่อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of things: IoT) เป็นการเชื่อมโยงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นได้ทุกที่ทุกเวลา เช่น การเปิด-ปิดหลอดไฟ การเปิด-ปิดระบบน้ำ การรับค่าจากอุปกรณ์เซนเซอร์ (อรพรรณ, 2563) โดยผ่านสื่อกลางไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ซึ่งเป็นชิปประมวลผลชนิดหนึ่งที่มีขนาดเล็กเปรียบเสมือนสมองของมนุษย์ สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมขา

Input / Output เพื่อสั่งงานควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ (สรรรค์, 2559) และนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การควบคุมระบบให้น้ำในแปลงผัก การควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือน การฉีดน้ำสัมนวันไม่ในแปลงเกษตร

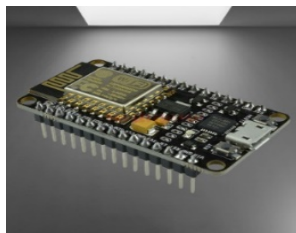
จากที่กล่าวมา จึงได้ทำการศึกษาการพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานแบบระบบปิด เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที และศึกษาต้นทุนการผลิตและรายได้จากการเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือน ซึ่งในการพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานจะมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น อากาศ และแสงสว่าง ที่มีความเหมาะสม เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางรมภูฐาน ทำให้ผู้ใช้งานลดเวลาการดูแลเห็ดและยังได้ผลผลิตจากการเพาะปลูกเห็ดที่มีคุณภาพและปริมาณสูง เป็นผลให้รายได้ของครัวเรือน ที่ทำการเพาะปลูกเห็ดเพิ่มมากขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุอุปกรณ์

1.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 คือ บอร์ด Arduino ที่สามารถเชื่อมต่อกับ Wi-Fi ได้ จึงทำให้เหมาะในการนำมาเขียนโค้ดคำสั่งลงไปในบอร์ด เพื่อทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในโรงเรือนเพาะเห็ด สามารถแสดงผลและใช้งานได้ เพียงมีการเชื่อมต่อกับ Wi-Fi แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 NodeMCU ESP8266

1.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT20

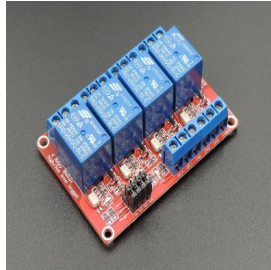
เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT20 วัดอุณหภูมิได้ -40 ถึง 125°C ค่าความแม่นยำ +/- 0.3°C วัดความชื้นได้ 0 ถึง 100% (Relative humidity) ใช้แรงดันไฟฟ้าได้ 3.3V ถึง 5V เชื่อมต่อแบบ I2C แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT20

1.3 รีเลย์ (Relay)

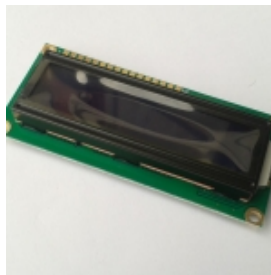
รีเลย์ คือ สวิตช์ตัดต่อวงจรแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำงานเมื่อมีการจ่ายไฟไปตามกำหนดทำให้เกิดวงจรเปิด เมื่อไม่มีการจ่ายไฟเข้าไปถึงจะทำให้เกิดวงจรปิด ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้รีเลย์เป็นสวิตช์นั้นไม่ทำงาน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รีเลย์

1.4 จอแอลซีดี (Liquid Crystal Display: LCD)

จอแอลซีดี ทำหน้าที่แสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนบนกล่องควบคุม แสดงเป็นตัวอักษรตามช่อง เช่น จอ LCD ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 จอแอลซีดี

1.5 แผงรังผึ้ง (Cooling pad)

แผงรังผึ้ง ทำหน้าที่เมื่ออากาศสัมผัสกับน้ำ พลังงานความร้อนในอากาศจะถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงมา แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผงรังผึ้ง

1.6 พัดลมดูดอากาศ

พัดลมดูดอากาศ ทำหน้าที่ในการระบายอากาศภายในโรงเรือนและทำหน้าที่พัดอากาศผ่านแผงรังผึ้ง เพื่อปรับอุณหภูมิในโรงเรือนให้พอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของเห็ด แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 พัดลมดูดอากาศ

1.7 ปั๊มน้ำ (Water pump)

ปั๊มน้ำ กำลังไฟ 60 วัตต์ ทำหน้าที่ในการดูดน้ำจากถังพักน้ำ ขึ้นมาผ่านแผงรังผึ้ง ใช้หลักการทำงานเป็นระบบ น้ำวน ไหลผ่านแผงรังผึ้งและไหลกลับไปยังถังพักน้ำวนเวียนสลับกันไป แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปั๊มน้ำ

1.8 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)

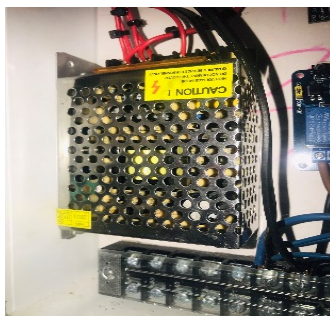
โซลินอยด์วาล์ว 220V AC ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ทำหน้าที่เปิด-ปิดน้ำ ที่ส่งไปยังหัวพ่นหมอกเพื่อลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 โซลินอยด์วาล์ว

1.9 สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย (Switching power supply)

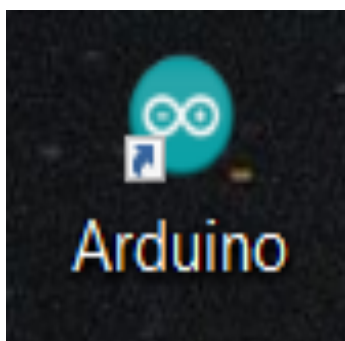
สวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย 12V 5A 60W ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันสูง เช่น 220VAC ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ 12VDC 5A 60W แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1.10 Arduino IDE

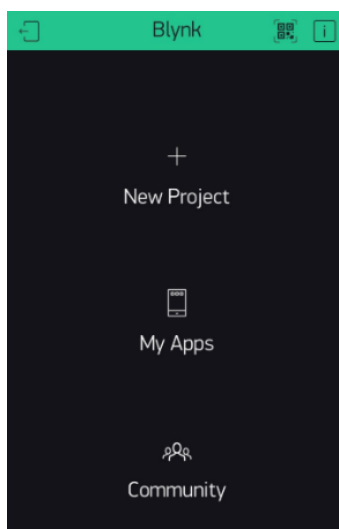
Arduino IDE คือโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนโค้ดคำสั่งลงในบอร์ด NodeMCU ESP8266 เพื่อควบคุมการทำงานอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในกล่องควบคุม แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 Arduino IDE

1.11 Blynk application

Blynk application คือ โปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของระบบด้วยโทรศัพท์มือถือ ได้ทุกที่ทุกเวลา สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้ 2 ระบบคือ 1) ระบบอัตโนมัติ (Auto) 2) ระบบควบคุมโดยผู้ใช้งาน (Manual) แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 Blynk application

2. วิธีการวิจัย

ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที มีวิธีดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ADDIE model (Gagne et al., 2005) 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ (Analysis: A) เป็นขั้นตอนศึกษาความเป็นไปได้จากการลงพื้นที่ศึกษาดูงาน นำมาทำความเข้าใจกับปัญหาที่เกิดขึ้น นำไปสู่วิธีการแก้ไขปัญหา เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ต่อการพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อม และขนาดที่เหมาะสมในการออกแบบโรงเรือนแสดงดังรูปที่ 12



(ก) ฟาร์มเห็ดซอย 9

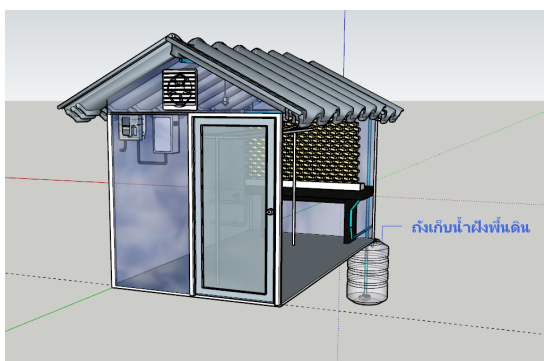


(ข) ฟาร์มเห็ดพ่อเหี่ยว

รูปที่ 12 การศึกษาดูงานกับเกษตรกรเพาะเห็ด

2.2 การออกแบบ (Design: D) เป็นขั้นตอนการออกแบบโรงเรือน เพื่อแก้ปัญหการเพาะปลูกที่เกิดขึ้น มีวิธีการออกแบบขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน ด้วยโปรแกรมสเก็ทช์อัป (Sketchup) แสดงดังรูปที่ 13



(ก) บริเวณด้านหน้าโรงเรือน



(ข) บริเวณด้านหลังโรงเรือน

รูปที่ 13 การออกแบบโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน ด้วยโปรแกรมสเก็ทช์อัป (Sketchup)

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithm) เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนในรูปแบบอัลกอริทึม แสดงดังรูปที่ 14

เริ่มต้น

ตรวจสอบเงื่อนไขว่าเป็นโหมดอัตโนมัติ ใช่หรือไม่

ถ้าใช่ ให้ทำงานโหมดอัตโนมัติ

รับค่าอุณหภูมิใส่ตัวแปร (tempest)

ตรวจสอบเงื่อนไขว่าอุณหภูมิมากกว่ากำหนด ใช่หรือไม่

ถ้าใช่ ให้พัดลมและปั้มน้ำระบบน้ำวน เริ่มทำงาน

ถ้าไม่ใช่ ให้พัดลมและปั้มน้ำระบบน้ำวน หยุดทำงาน

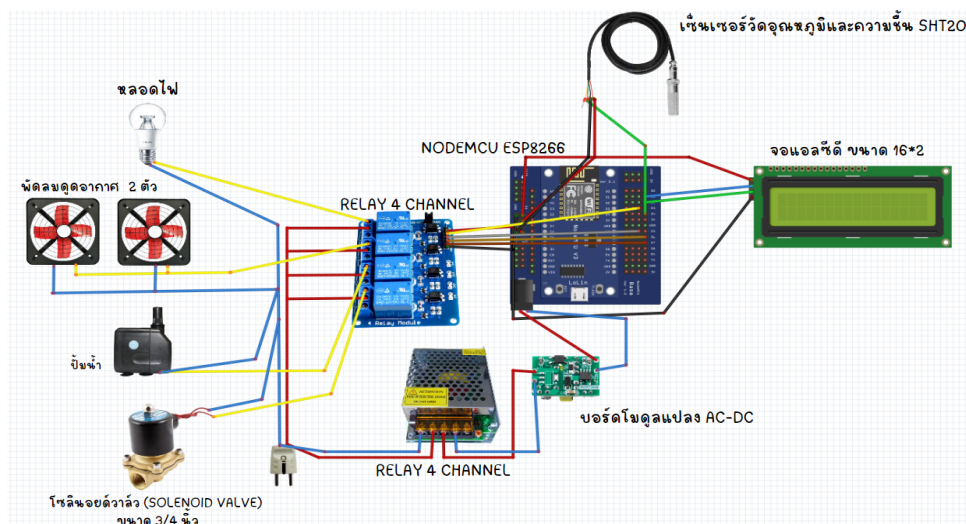
ถ้าไม่ใช่ ให้ทำงานโหมดแมนนวล

แสดงผลโหมด ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น บนหน้าจอแอลซีดี

จบการทำงาน

รูปที่ 14 อัลกอริทึมของระบบโปรแกรมควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางรมภูฐาน

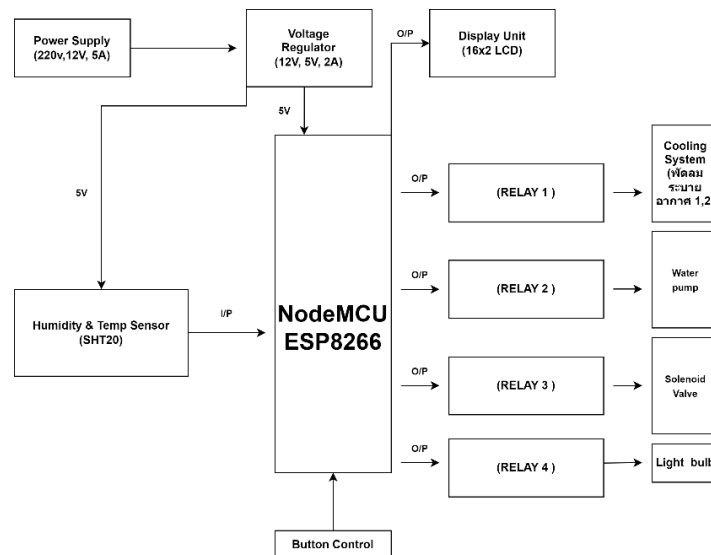
ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ด แสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางรมภูฐาน

ขั้นตอนที่ 4 การหลักการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ด

รูปแบบของ Block diagram แสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 หลักการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางรมภูฐาน

2.3 การพัฒนา (Development: D) เป็นขั้นตอนดำเนินการตามที่ได้ออกแบบ แบ่งวิธีการพัฒนาออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอน 1 การสร้างโรงเรือนตามที่ได้ออกแบบในโปรแกรมสเก็ตช์อัป (Sketchup) โดยโรงเรือนมีขนาดความยาว 4 เมตร กว้าง 2 เมตร สูง 1.8 เมตร ใช้เหล็กขนาด 2 นิ้ว จำนวน 15.2 เมตร และเหล็กขนาด 1 นิ้ว จำนวน 25 เมตร ในการสร้างโรงเรือน แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 คลุมพลาสติกใสและมุ้งลวดกันแมลงจากภายนอกโรงเรือนเห็ด

ขั้นตอนที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์ การเขียนโปรแกรมควบคุมระบบ และการประเมินประสิทธิภาพของระบบ แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การติดตั้งกล่องควบคุม และการทดลองระบบ แสดงดังรูปที่ 18



(ก) ติดตั้งกล่องควบคุม



(ข) ทดลองระบบ

รูปที่ 18 การติดตั้งกล่องควบคุม และการทดลองระบบ

ระยะที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยใช้รูปแบบการประเมิน Black box testing ซึ่งเป็นเครื่องมือการทดสอบโดยที่ไม่ต้องรู้ส่วนของการ Coding, Programming หรือส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ด้านหลังการทำงานของโปรแกรมหรือระบบนั้น ๆ (Mustafa and Khan, 2007)

2.4 การดำเนินการ (Implement: I) ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ เป็นการทดลองโดยใช้เห็ดนางรมภูฐานจำนวน 600 ก้อน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยการศึกษา อุณหภูมิ ความชื้น อากาศ และแสงสว่าง ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดนางรมภูฐาน มีการศึกษาด้านทุนก้อนเห็ดต่อก้อน การพัฒนาโรงเรือนเพาะเห็ด ค่าไฟฟ้า (หน่วย) และการเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อวัน เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปต้นทุนการผลิตและรายได้ของโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานเป็นระยะเวลา 4 เดือน แสดงดังรูปที่ 19

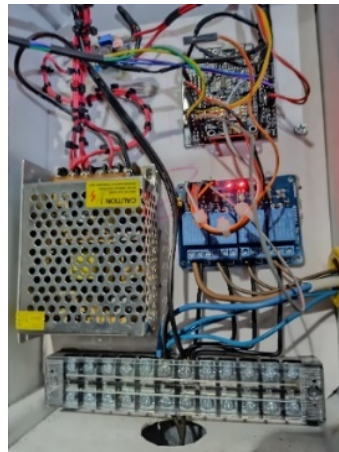


รูปที่ 19 รูปภาพระหว่างทำการเพาะปลูกเห็ดในโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม

2.5 การประเมินผล (Evaluation: E) ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนและรายได้ของเห็ดนางรมภูฐานเป็นระยะเวลา 4 เดือน จากระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอทีที่ได้พัฒนาขึ้น และทำการสรุปต้นทุน/รายได้ต่อเดือน

ผลการวิจัย

การพัฒนาโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที ได้พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวไอโอที และติดตั้งเข้าไปภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางรมภูฐาน ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมภายในระบบมีการทำงานตามคำสั่งที่เขียนลงไป ผ่านโปรแกรม Arduino IDE แสดงดังรูปที่ 20 และสามารถควบคุมการทำงานบน Blynk application ในโหมด Auto/Manual แสดงดังรูปที่ 21

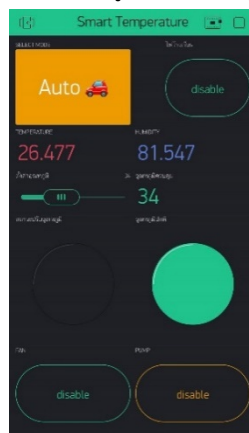


(ก) กล่องควบคุมระบบภายใน

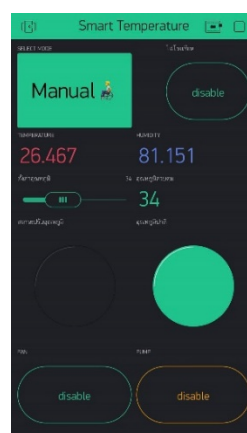


(ข) กล่องควบคุมระบบภายนอก

รูปที่ 20 ระบบควบคุมภายในโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน



(ก) ระบบอัตโนมัติ



(ข) ระบบแมนนวล

รูปที่ 21 แสดงการทำงานบน Blynk application ในโหมด Auto/Manual

ประสิทธิภาพการใช้งานระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที ในภาพรวมคุณภาพของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ =4.50, S.D.=0.50) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$ =4.80, S.D.=0.45) รองลงมา ได้แก่ ด้านความง่ายต่อการใช้ระบบ ($\bar{X}$ =4.60, S.D.=0.55) และด้านรักษาความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า ($\bar{X}$ =4.40, S.D.=0.55) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ด้านรักษาความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าภายในระบบควบคุมสภาพแวดล้อม	4.40	0.55	มาก
2. ด้านตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบควบคุมสภาพแวดล้อม	4.20	0.45	มาก
3. ด้านทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบควบคุมสภาพแวดล้อม	4.80	0.45	มากที่สุด
4. ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบควบคุมสภาพแวดล้อม	4.60	0.55	มากที่สุด
รวม	4.50	0.50	มากที่สุด

การบันทึกการเจริญเติบโตของเห็ดนางรมภูฐานที่เพาะปลูกในโรงเรือนที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนโดยใช้ระบบ
สมองกลฝังตัวไอโอที มีการบันทึกข้อมูลตลอดระยะเวลา 4 เดือน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการบันทึกการเจริญเติบโตของโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที

เดือนที่	อุณหภูมิ เฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (%)	จำนวนดอก เห็ดที่ออก ดอก/เดือน	น้ำหนักรวม ของเห็ด/ เดือน (กิโลกรัม)	ค่าไฟที่ใช้ หน่วย 3 บาท/เดือน (หน่วย)	รายได้รวม กิโลกรัมละ 100 (บาท)/เดือน
1	30.06 - 34.00	77.00 - 80.00	600	60	45	6,000
2	29.78 - 33.41	72.05 - 80.00	620	62	42	6,200
3	29.50 - 34.00	73.10 - 80.00	640	64	42.5	6,400
4	29.20 - 34.00	72.05 - 80.00	660	66	40	6,600
รวม			2,520	252	169.5	25,200
รายได้รวมตลอด 4 เดือน – (ค่าไฟที่ใช้ * 3)					25,200 – (508) = 24,490.50 บาท	

ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตและรายได้ของโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที
ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงต้นทุนการผลิตและรายได้ของการเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที ระยะเวลา
4 เดือน

เดือนที่	สัปดาห์ที่	ต้นทุนโรงเรือน (บาท)	ต้นทุนก้อนเห็ด (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	รายได้ (บาท)
		11,500	-	11,500	-
		-	4,800	4,800	-
1	1	-	-	-	1,500
	2	-	-	-	1,500
	3	-	-	-	1,500
	4	-	-	-	1,500
2	5	-	-	-	1,600
	6	-	-	-	1,600
	7	-	-	-	1,500
	8	-	-	-	1,500
3	9	-	-	-	1,600
	10	-	-	-	1,600
	11	-	-	-	1,600
	12	-	-	-	1,600
	13	-	-	-	1,700

4	14	-	-	-	1,700
	15	-	-	-	1,700
	16	-	-	-	1,500
รวม				16,300	25,200
รวมรายได้หลังหักต้นทุน					8,900

หมายเหตุ : (โรงเรียนมีอายุการใช้งาน 4 ปี ขึ้นไป)

การอภิปรายผล

การพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที โดยดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนของ ADDIE model 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ 2) การออกแบบ 3) การพัฒนา 4) การดำเนินการ และ 5) การประเมินผล ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน ได้มีการประเมินหาประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมิน พบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน ในภาพรวมคุณภาพของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ งานวิจัยของ อรพรรณ และคณะ (2560) และ วีรศักดิ์ และคณะ (2561) ที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ซึ่งพบปัญหาผลผลิตของการปลูกเห็ดที่เจริญออกดอกไม่สม่ำเสมอ มาจากสภาพอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ถ้าโรงเรือนเพาะปลูกสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ เห็ดก็จะออกดอกอย่างสม่ำเสมอ

ในการวิเคราะห์ต้นทุนและรายได้ที่เกิดจากเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน เป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่า ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน ที่ได้พัฒนาขึ้น จะเริ่มมีกำไรจากการเพาะปลูกเมื่อเข้าเดือนที่ 3 และ เดือนที่ 4 ในพื้นที่โรงเรือนขนาดความยาว 4 เมตร กว้าง 2 เมตร สูง 1.8 เมตร

บทสรุป

โครงการวิจัยนี้เป็นการดำเนินการพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวไอโอที ได้ดำเนินการพัฒนาระบบตามขั้นตอนของ ADDIE model 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ 2) การออกแบบ 3) การพัฒนา 4) การดำเนินการ และ 5) การประเมินผล ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ พบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานในภาพรวม คุณภาพของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด และการวิเคราะห์ต้นทุนและรายได้ที่เกิดจากเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน โดยใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐานเป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่า ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมโรงเรือนเพาะปลูกเห็ดนางรมภูฐาน ที่ได้พัฒนาขึ้นเริ่มมีกำไรจากการเพาะปลูกเมื่อเข้าเดือนที่ 3 และ เดือนที่ 4

เอกสารอ้างอิง

- นวลศรี โชตินันท์. (2561). โรงเรือนเพาะเห็ดนางรม ควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติ. ค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2565.
https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_88891.
- วีรศักดิ์ ฟองเงิน, สุรพงษ์ เพ็ชรหาญ และรัฐสิทธิ์ ยะจ่อ. (2561). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม. 5(1): 4-8.
- สรศักดิ์ จีพีซ. (2559). การนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยุค 4.0 มาประยุกต์ใช้กับฟาร์มเกษตรขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรพรรณ คงมั่น. (2563). อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง. ค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2565.
<https://sites.google.com/site/eportorra/home/tdformanagework/unit2>.
- อรพรรณ แซ่ตั้ง, นิสา พุทธนาวงค์ และณัฐพล ธนเขวงสกุล. (2560). การออกแบบโรงเรือนสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า. วารสารการอาชีวศึกษาและเทคโนโลยี. 7(13): 87-97.
- Gagne R.M., Wager W.W., Golas K.C., Keller J.M. and Russell J.D. (2005). Principles of instructional design. Accessed 10 Oct. 2022. <https://research.com/education/the-addie-model>.
- Mohammed M.F., Azmi A. and Zakaria Z. (2018). IoT based monitoring and environment control system for indoor cultivation of oyster mushroom. Journal of Physics. 4-8.
- Mustafa K. and Khan R.A. (2007). Software testing concepts and practices. Alpha Science: UK.

Received: November 7, 2022; Revised: January 18, 2023; Accepted: February 13, 2023

การผสมพันธุ์ข้ามชนิดของกล้วยไม้ฟาแลนนอปปี้สลูกผสมกับกล้วยไม้เขากวางอ่อน
การงอกของเมล็ดลูกผสมในสภาพปลอดเชื้อ และการเจริญของต้นกล้วยไม้ลูกผสม
Interspecific hybridization of *Phalaenopsis* hybrids with
Phalaenopsis cornu-cervi (Breda) Blume & Rchb.f., hybrid seed germination
in vitro and the growth of hybrid plantlets

เชน จิน¹ และนิภาวรรณ จิตโสภาคกุล^{1*}Chhen Chin¹ and Nipawan Jitsopakul^{1*}^{1*}คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

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

บทคัดย่อ

การผสมพันธุ์กล้วยไม้ฟาแลนนอปปี้สลูกผสมดอกสีขาวปากสีเหลือง และปากสีชมพู โดยผสมตัวเอง ผสมข้ามดอก และผสมข้ามชนิดกับกล้วยไม้เขากวางอ่อนที่มีลายบนกลีบดอกแตกต่างกันด้วยมือ ทั้งหมด 7 คู่ผสม สามารถผลิตกล้วยไม้ลูกผสมได้ 5 คู่ผสม คิดเป็นร้อยละ 71.43 โดยเกิดจากการผสมตัวเอง จำนวน 2 คู่ผสม การผสมข้ามดอก จำนวน 1 คู่ และผสมข้ามชนิด จำนวน 2 คู่ผสม อายุฝักแก่ของกล้วยไม้ลูกผสม เฉลี่ย 105 วัน หลังจากผสมพันธุ์ ฝักมีขนาดเฉลี่ยกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 5.7 เซนติเมตร จากการศึกษาการงอกของเมล็ดลูกผสมในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า เมล็ดกล้วยไม้ลูกผสม 5 คู่ผสมสามารถงอกเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร ปรับ pH 5.2 เพาะเลี้ยงในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 13.6 วัน และโปรโตคอร์มสามารถเจริญเป็นต้น เมื่อเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร ผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร และ pH 5.2 เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 120 วัน ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อย้ายต้นกล้วยไม้ลูกผสมทั้ง 5 คู่ผสมปลูกในโรงเรือน มีการรอดชีวิตร้อยละ 100 สีของใบ ขนาดของใบ และความสูงของต้นเพิ่มขึ้น ความสำเร็จของการผสมข้ามชนิดระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาแลนนอปปี้สลูกผสมดอกสีขาวปากสีเหลือง และปากสีชมพูกับก้านเรณูกล้วยไม้เขากวางอ่อนซึ่งเป็นกล้วยไม้ไทยสามารถพัฒนาเป็นกล้วยไม้กระถางขนาดเล็กได้

คำสำคัญ: ปากเหลือง ปากชมพู ก้านเรณู ฝัก โปรโตคอร์ม

Abstract

Pollination of *Phalaenopsis* hybrid white with yellow and pink lips using self-pollination, cross-pollination and interspecific hybridization with *Phalaenopsis cornu-cervi* (Breda) Blume & Rchb.f. using two types of flowers in different colors and pattern on the petals by hand-pollination in total of seven cross combination was investigated. Result showed a total of five orchid hybrids were produced about 71.43% including two orchid hybrids from self-pollination, one orchid hybrid from cross-pollination and two orchid hybrids from interspecific hybridization. The age and size of mature hybrid pods were 105 d with length of 5.7 cm and width of 1 cm. Hybrid seeds of five orchid hybrids were germinated into protocorms on modified Vacin and Went (1949) agar medium supplemented with 150 ml/l coconut water, 20 g/l sucrose and pH 5.2 about 13.6 d after sowing in the dark at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$. Protocorms of orchid hybrids were cultured on modified Vacin and Went (1949) agar medium supplemented with 150 ml/l coconut water, 100 g/l banana, 1 g/l activated charcoal and 20 g/l sucrose at pH 5.2 for 120 d at $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ under light condition for 16 h/d and the protocorms developed into plantlets. Plantlets of five orchid hybrids were then transplanted into the greenhouse for 30 d, 100% survival was found, leaf color, leaf size and plant height increased. The successful interspecific hybridization of *Phalaenopsis* hybrid white with yellow lips and pink lips with *Phalaenopsis cornu-cervi* (Breda) Blume & Rchb.f., Thai orchids can develop into small potted orchids.

Keywords: Yellow lip, Pink lip, Pollinia, Pod, Protocorm

บทนำ

กล้วยไม้เป็นไม้ดอกใบเลี้ยงเดี่ยววงศ์กล้วยไม้ (Orchidaceae) ที่มีการผสมพันธุ์ข้ามชนิด และข้ามสกุลมากที่สุดกลุ่มหนึ่ง ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นแหล่งที่มีกล้วยไม้หลากหลายชนิด พบประมาณ 1,121 ชนิด กระจายอยู่ทั่วประเทศ (Thaithong, 1990) ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิต และส่งออกกล้วยไม้เป็นอันดับต้นของเอเชีย ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์จึงมีบทบาทสำคัญในด้านการพัฒนาสายพันธุ์กล้วยไม้เพื่อผลิตให้มีลักษณะแปลกใหม่ แตกต่างจากเดิม ทั้งในด้านสีสัน รูปทรง การดอกตลอดปี และการดูแลรักษาที่ง่าย เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค (ชฎาพร และคณะ, 2563) วิธีการปรับปรุงพันธุ์กล้วยไม้ที่สามารถทำได้ง่ายด้วยการผสมพันธุ์ระหว่างดอกที่ใช้เป็นต้นแม่พันธุ์ กับก้านเรณูของดอกที่ใช้เป็นต้นพ่อพันธุ์ด้วยมือ โดยความสำเร็จในการผสมพันธุ์กล้วยไม้เพื่อปรับปรุงพันธุ์ คือ การติดฝัก และการงอกของเมล็ดเป็นต้นอ่อน แต่เนื่องจากเมล็ดกล้วยไม้มีขนาดเล็ก คล้ายผงฝุ่น และภายในเมล็ดไม่มีอาหารสะสม (Arditt, 1967) ทำให้โอกาสการงอกในธรรมชาติเป็นไปได้ น้อยมาก หรือไม่สามารถงอกได้ ดังนั้นวิธีการที่ใช้การขยายพันธุ์กล้วยไม้จากปรับปรุงพันธุ์โดยการผสมพันธุ์สามารถทำได้โดยการเพาะเมล็ดบนอาหารเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมในสภาพปลอดเชื้อ สามารถขยายพันธุ์กล้วยไม้ได้ตลอดทั้งปี โดยอาหารเพาะเลี้ยงที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงกล้วยไม้ คือ สูตร Vacin and Went (1962) (Zahara et al., 2017) นอกจากนี้การปรับปรุงพันธุ์กล้วยไม้ยังเป็นการอนุรักษ์พันธุ์กรรมของกล้วยไม้ เพื่อมิให้สูญพันธุ์ อันเนื่องมาจากการนำกล้วยไม้ป่ามาขาย การตัดไม้ทำลายป่า การเกิดน้ำท่วมเฉียบพลัน การเกิดไฟป่า และการเกิดภาวะโลกร้อน

กล้วยไม้สกุลฟาแลนนอปซิส (*Phalaenopsis*) มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก เช่น ประเทศฟิลิปปินส์ บอร์เนียว ซาบาฮู มาเลเซีย ดอกมีขนาดเล็ก หรือใหญ่ขึ้นกับลักษณะของพันธุ์ กล้วยไม้

สกุลฟาแลนนอปซิสเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ ในปัจจุบันที่นิยมปลูกจะเป็นกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมที่ถูกผสมพันธุ์ และปรับปรุงพันธุ์จนทำให้สวยงามทั้งรูปทรงดอก และสีของดอก โดยดอกกลมใหญ่ กลีบหนา มีหลายสี เช่น สีขาว สีชมพู สีเหลือง ก้านช่อยาว เหมาะสำหรับปักแจกัน ต้นหนึ่งออกดอกได้หลายช่อ แต่ละพันธุ์ออกดอกต่างเดือนกัน กล้วยไม้สกุลฟาแลนนอปซิสในประเทศไทยที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ คือ เขากวางอ่อน (*Phalaenopsis cornu-cervi* (Breda) Blume & Rchb.f.) เนื่องจากเป็นกล้วยไม้ที่มีดอกขนาดเล็ก ออกดอกง่าย ออกดอกตลอดทั้งปี (ณัฐา, 2548; ครรชิต, 2550) ดอกมีสีเหลืองลายแดง หรือบางดอกเป็นสีเหลืองไม่มีลาย ในการผสมพันธุ์นิยมใช้กล้วยไม้เขากวางอ่อนเป็นพ่อพันธุ์ แต่ปัจจุบันไม่พบรายงานการนำกล้วยไม้เขากวางอ่อนที่เป็นสายเลือดของพันธุ์กล้วยไม้ป่าไทยมาใช้ในการผสมพันธุ์กับกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสม ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความสามารถในการผสมพันธุ์ การติดฝัก การงอกของเมล็ดลูกผสมบนอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดเชื้อ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้วยไม้ลูกผสมที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวมีปากสีต่างกับกับกล้วยไม้เขากวางอ่อนที่มีลายบนกลีบดอกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา และผลิตกล้วยไม้ลูกผสมกระถางขนาดเล็ก

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

พืชทดลอง

กล้วยไม้ที่ใช้ในการผสมพันธุ์เพื่อผลิตลูกผสม ได้แก่ กล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสม (*Phalaenopsis hybrids*) ดอกสีขาว ที่ปากมีสีแตกต่างกัน 2 สี คือ ปากเหลือง (รูปที่ 1ก) และปากชมพูหรือแดง (รูปที่ 1ข) จากชเรย์อิติตยา ตำบลเทนมีย์ อำเภอเมืองสุรินทร์ และกล้วยไม้เขากวางอ่อน (*Phalaenopsis cornu-cervi* (Breda) Blume & Rchb.f.) ที่ดอกมีสี และลายบนกลีบดอกแตกต่างกัน 2 แบบ คือ เขากวางอ่อนเบอร์ 2 ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนเต็มกลีบดอก (รูปที่ 1ค) และกล้วยไม้เขากวางอ่อน เบอร์ 3 ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง (รูปที่ 1ง) ปลูกในโรงเรือนกล้วยไม้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

การศึกษาความสามารถในการติดฝักในการผสมพันธุ์ระหว่างกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมกับกล้วยไม้เขากวางอ่อน

นำกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง และปากชมพู ทำการผสมตัวเอง ผสมข้าม และผสมข้ามชนิดกับกล้วยไม้เขากวางอ่อน เบอร์ 2 และเบอร์ 3 โดยทำการเก็บกอนเรณูหลังจากดอกบานเต็มที่เป็นเวลา 2 วัน การผสมตัวเอง ทำโดยนำกอนเรณูวางบนแองเกสรตัวเมียในดอกเดียวกัน ส่วนการผสมข้ามต้องนำกอนเรณูออกจากดอกที่ใช้เป็นตัวเมื่อก่อนทำการผสมพันธุ์เพื่อป้องกันการผสมตัวเอง แล้วนำกอนเรณูจากดอกที่ต้องการมาวางบนแองเกสรตัวเมียของดอกที่ต้องการผสมพันธุ์ นำป้ายมาเขียนชื่อแม่พันธุ์ (ดอก) x พ่อพันธุ์ (กอนเรณู) และวันเดือนปีที่ทำการผสมพันธุ์ ทำการผสมทั้งหมด 10 คู่ผสม (ตารางที่ 1) โดยจำนวนดอกที่ใช้ในแต่ละคู่ผสมไม่เท่ากัน เนื่องจากขึ้นอยู่กับจำนวนดอกที่บานในแต่ละแบบ หลังจากผสมพันธุ์เป็นเวลา 90 วัน บันทึกร้อยละการติดฝัก อายุฝักแก่ ขนาดฝัก และจำนวนวันที่งอก

การศึกษาอายุของฝัก ขนาดของฝักของกล้วยไม้ลูกผสม และเมล็ดของกล้วยไม้ลูกผสม

เมื่อฝักกล้วยไม้ลูกผสมเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อน บันทึกอายุของฝัก และขนาดของฝัก (กว้าง x ยาว) และทำการผ่าฝักกล้วยไม้เขากวางอ่อน และฟาแลนนอปซิสปากเหลือง และปากชมพูลูกผสม แล้วนำเมล็ดส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า (เลนส์ใกล้ตา 10 เท่า x เลนส์ใกล้วัตถุ 4 เท่า) เพื่อดูเอ็มบริโอภายในเมล็ดกล้วยไม้ลูกผสม

การศึกษาการงอกของเมล็ดกล้วยไม้ลูกผสม และการเจริญของต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ

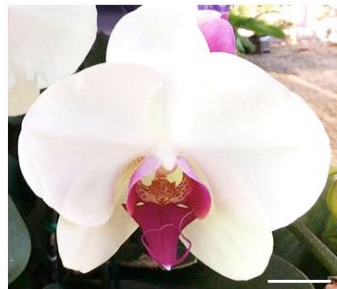
นำฝักกล้วยไม้ลูกผสมมาตัดบริเวณแห้ง สีน้ำตาล และบริเวณที่ติดกลีบดอกออก ล้างด้วยน้ำยาล้างจาน เพื่อกำจัดฝุ่น และสิ่งสกปรกบริเวณผิวของฝักกล้วยไม้ จากนั้นล้างฝักด้วยน้ำประปาไหลผ่าน เพื่อล้างน้ำยาล้างจานออกจากฝักจนกระทั่งฝักสะอาด นำฝักจุ่มในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำไปผ่านไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ เพื่อฆ่าเชื้อที่ผิวฝัก จากนั้นตัดฝักตามยาว นำเมล็ดเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร และ pH 5.2 เพาะเลี้ยงในที่มืด อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส บันทึกจำนวนวันที่เมล็ดลูกผสมงอกเป็นโปรโตคอร์ม จากนั้นย้ายโปรโตคอร์มมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร ผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร และ pH 5.2 เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน เพื่อชักนำให้โปรโตคอร์มพัฒนาเป็นยอด และต้นที่มีรากสมบูรณ์ ทำการคัดเลือกต้นที่สมบูรณ์เพื่อใช้ศึกษาสัณฐานวิทยา และการเจริญของต้นกล้วยไม้ลูกผสมในสภาพธรรมชาติ

การศึกษาสัณฐานวิทยา และการเจริญของต้นกล้วยไม้ลูกผสม

นำต้นกล้วยไม้ลูกผสมที่มียอด และรากสมบูรณ์ สูงประมาณ 1 เซนติเมตร ย้ายลงอาหารใหม่สูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร และ ผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร ปรับ pH 5.2 เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน แล้วย้ายกล้วยไม้ออกจากขวด โดยล้างอาหารเพาะเลี้ยงออกจากรากกล้วยไม้ให้หมด และย้ายออกปลูกในสภาพโรงเรือนภายนอก เป็นเวลา 30 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยสุ่มต้นกล้วยไม้ลูกผสมจำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น บันทึกการย่อยและการรอดชีวิต ความสูงของต้นเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความกว้างใบเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ย จำนวนรากเฉลี่ย และความยาวรากเฉลี่ย



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 1 กล้วยไม้ฟาแลนนอปปซิสลูกผสมดอกขาว (ก) ปากเหลือง (ข) ปากชมพู (ค) กล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 และ (ง) กล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 3 เพื่อใช้ในการผสมพันธุ์ (สเกล = 1 เซนติเมตร)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลหาความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ความสามารถในการติดฝักในการผสมพันธุ์ระหว่างฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง กับกล้วยไม้เขากวางอ่อน

จากการนำกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง และปากชมพูทำการผสมตัวเอง และผสมข้าม จำนวน 4 คู่ผสม และผสมข้ามชนิดกับกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนเต็มกลีบดอก) และเบอร์ 3 (ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง) จำนวน 7 คู่ผสม ผลการทดลองพบว่า สามารถผสมพันธุ์ และติดฝักได้ จำนวน 6 คู่ผสม คิดเป็นร้อยละ 92.06 โดยเกิดจากการผสมตัวเองของกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง (คู่ที่ 1) และปากชมพู (คู่ที่ 5) จำนวน 2 คู่ผสม การผสมข้ามระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพูกับก่อนเรณูของกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง (คู่ที่ 6) จำนวน 1 คู่ผสม และการผสมข้ามชนิดกับก่อนเรณูกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนเต็มกลีบดอก) (คู่ที่ 3 และคู่ที่ 7) และ เบอร์ 3 (ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง) (คู่ที่ 4) จำนวน 3 คู่ผสม คู่ผสมที่มีความสามารถในการติดฝักร้อยละ 100 เกิดจากการผสมตัวเองของดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพู (คู่ที่ 5) การผสมข้ามระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพูกับก่อนเรณูของกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง (คู่ที่ 6) ดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลืองกับก่อนเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 3 (ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง) (คู่ที่ 4) และดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพูกับก่อนเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนเต็มกลีบดอก) (คู่ที่ 7) ส่วนความสามารถในการติดฝักของดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลืองผสมตัวเอง (คู่ที่ 1) และผสมกับก่อนเรณูของดอกกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนเต็มกลีบดอก) (คู่ที่ 3) คิดเป็นร้อยละ 85.71 และ 66.67 ตามลำดับ จากการทดลองไม่พบการติดฝักจากการผสมระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลืองผสมกับก่อนเรณูกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพู (ตารางที่ 1) จากการทดลอง พบว่า ร้อยละการติดฝักต่ำ หรือไม่ติดฝักซึ่งมีปัจจัยที่มีผลต่อการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้ ได้แก่ ระยะเวลาในการบาน คุณภาพ และความสมบูรณ์ของดอก ความมีชีวิต และอายุของดอกตัวเมีย และเกสรตัวผู้ที่ใช้ในการผสมพันธุ์ (Zhang et al., 1993; Proctor, 1998; Parton et al., 2002; Song and Tachibana, 2007; Kishor and Sharma, 2008) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันของยีน (Shiau et al., 2002) โดยอาจเกิดการติดฝักในช่วงแรกหลังจากผสมพันธุ์ แต่ฝักไม่สามารถพัฒนาต่อไปได้ เนื่องจากกล้วยไม้ที่ใช้ผสมพันธุ์กันเป็นคนละชนิด ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสกุลเดียวกัน ในการพัฒนาของฝักจนกระทั่งสมบูรณ์ยังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ สภาพแวดล้อมที่ต้นแม่พันธุ์เจริญ และความแข็งแรงของต้นแม่พันธุ์ที่ใช้ในการผสมพันธุ์ เพราะเป็นแหล่งผลิตอาหารเพื่อส่งไปใช้ในการพัฒนาของเมล็ด

อายุของฝัก และขนาดของฝักของกล้วยไม้ลูกผสม

อายุของฝักของกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง (คู่ที่ 1) และปากชมพูที่ผสมตัวเอง (คู่ที่ 5) และผสมข้ามดอกที่ปากมีสีต่างกัน (คู่ที่ 6) อยู่ระหว่าง 90 - 128 วัน (ตารางที่ 1 รูปที่ 2ก 2ค และ 2ง) เฉลี่ย 105 วัน ฝักมีขนาดกว้างเฉลี่ย 1 เซนติเมตร ยาวเฉลี่ย 5.7 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบอายุฝักที่เกิดจากการผสมตัวเอง และผสมข้ามของดอกกล้วยไม้ฟาลานนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลืองกับก่อนเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนเต็มกลีบดอก) (คู่ที่ 3) และเบอร์ 3 (ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง) (คู่ที่ 4) มีอายุมากกว่าการใช้ดอก

กล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพูในการผสมพันธุ์ (คู่ที่ 7) โดยอายุฝักแก่ที่เกิดจากการผสมตัวเองของดอกกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพู (คู่ที่ 5) และกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง (คู่ที่ 1) เฉลี่ย 97 และ 128 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 2ข และ 2จ) ส่วนอายุฝักแก่จากการผสมพันธุ์ระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสปากชมพูกับก้านเรณูของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสปากเหลือง (คู่ที่ 6) 90 วัน (ตารางที่ 1) เมื่อทำการวัดขนาดฝักแก่ พบว่า ฝักที่เกิดจากการผสมพันธุ์ตัวเอง (คู่ที่ 1) หรือผสมข้ามดอกของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสปากชมพู และปากเหลือง (คู่ที่ 6) จะมีขนาดใหญ่กว่าฝักที่เกิดจากการผสมข้ามชนิดระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสปากเหลือง และปากชมพูกับก้านเรณูกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนมืดกลีบดอก) (คู่ที่ 3 และ คู่ที่ 7) และเบอร์ 3 (ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง) (คู่ที่ 4) โดยฝักจากการผสมข้ามระหว่างดอกฟาแลนนอปซิสปากชมพูกับก้านเรณูของฟาแลนนอปซิสปากเหลือง (คู่ที่ 6) มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ กว้าง 1.4 เซนติเมตร และยาว 9 เซนติเมตร รองลงมา คือ ฝักจากการผสมตัวเองของฟาแลนนอปซิสปากเหลือง (คู่ที่ 1) มีขนาดฝักกว้าง 1.1 เซนติเมตร และยาว 6.0 เซนติเมตร

อายุฝักแก่จากการผสมข้ามชนิดระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลืองกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนมืดกลีบดอก) (คู่ที่ 3) และ เบอร์ 3 (ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง) (คู่ที่ 4) คือ 113 และ 144 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1 รูปที่ 2ข และ 2ค) ขนาดฝักกว้าง 0.9 เซนติเมตร และยาว 4.3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนอายุฝักแก่จากการผสมระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพูกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนมืดกลีบดอก) (คู่ที่ 7) คือ 89 วัน ฝักมีขนาดเล็กที่สุด กว้าง 0.8 เซนติเมตร และยาว 5.0 เซนติเมตร เมื่อนำเมล็ดกล้วยไม้ลูกผสม ทั้งหมด 6 คู่ผสม ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า (เลนส์ใกล้ตา 10 เท่า x เลนส์ใกล้วัตถุ 4 เท่า) พบว่า ภายในเมล็ดกล้วยไม้ทุกคู่ผสมมีเอ็มบริโอ

ตารางที่ 1 ร้อยละการติดฝักของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสในการผสมตัวเอง และผสมข้ามกับกล้วยไม้เขากวางอ่อน อายุฝักแก่ ขนาดฝักแก่ และจำนวนวันที่ ของเมล็ดกล้วยไม้ลูกผสมงอกเมื่อเพาะเลี้ยงบน อาหารแข็งสูตร Vacin and Went (1949) ในที่มีด ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส

คู่ผสม ที่	แม่พันธุ์ (ดอก)	พ่อพันธุ์ (ก้านเรณู)	จำนวน ดอกที่ผสม พันธุ์ (ดอก)	ร้อยละ การติดฝัก	อายุฝักแก่ เฉลี่ย (วัน)	ขนาดฝัก (กว้าง x ยาว: เซนติเมตร)	จำนวน วันที่งอก (วัน)
1	ฟาแลนนอปซิส ปากเหลือง	ฟาแลนนอปซิส ปากเหลือง	7	85.71 ± 0.7^a	128 ± 27.6^a	$1.1 \pm 0.3^a \times 6.0 \pm 2.2^a$	15 ± 0.9^a
2	ฟาแลนนอปซิส ปากเหลือง	ฟาแลนนอปซิส ปากชมพู	1	0	0	0	0
3	ฟาแลนนอปซิส ปากเหลือง	เขากวางอ่อนเบอร์ 2	3	66.66 ± 0.7^b	113 ± 33.9^b	$0.9 \pm 0.2^b \times 4.3 \pm 0.4^b$	12 ± 1.4^a
4	ฟาแลนนอปซิส ปากเหลือง	เขากวางอ่อนเบอร์ 3	1	100	144	0.9×4.0	12
5	ฟาแลนนอปซิส ปากชมพู	ฟาแลนนอปซิส ปากชมพู	1	100	97	0.9×6.0	13
6	ฟาแลนนอปซิส ปากชมพู	ฟาแลนนอปซิส ปากเหลือง	1	100	90	1.4×9.0	13
7	ฟาแลนนอปซิส ปากชมพู	เขากวางอ่อนเบอร์ 2	1	100	89	0.8×5.0	0

หมายเหตุ: คู่ผสมที่ 2 4 5 6 และ 7 มีดอกในการผสมพันธุ์เพียงคู่ละ 1 ดอกเท่านั้น

ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสทมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

วิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี Duncan's Test

การงอกของเมล็ดกล้วยไม้ลูกผสม และการเจริญของต้นอ่อนลูกผสมในสภาพปลอดเชื้อ

เมื่อนำเมล็ดจากฝักกล้วยไม้ลูกผสม จำนวน 6 คู่ผสม เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร และ pH 5.2 เพาะเลี้ยงในที่มืด อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่า เมล็ดของกล้วยไม้ลูกผสมสามารถงอกเป็นโปรโตคอร์มสีเขียว ได้เพียง 5 คู่ผสม ยกเว้นเมล็ดจากฝักกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพูผสมกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อน เบอร์ 2 (คู่ที่ 7) ไม่สามารถงอกได้ (ตารางที่ 1) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการผสมพันธุ์สามารถติดฝัก และพัฒนาจนกระทั่งฝักแก่ แต่ไม่ได้หมายความว่า การผสมพันธุ์จะประสบความสำเร็จ แต่ความสำเร็จที่แท้จริงของการผสมพันธุ์ คือ การที่สามารถผลิตเมล็ด และเมล็ดสามารถงอกเป็นต้นได้ (Wilfret and Kamemoto, 1969) นอกจากนี้อายุของฝักส่งผลต่อการงอกของเมล็ด เมล็ดจากฝักแก่จะงอกเร็วกว่าฝักอ่อน (เอกรัตน์ และคณะ, 2564) จำนวนวันที่เมล็ดกล้วยไม้ลูกผสมงอกเป็นโปรโตคอร์มเฉลี่ย 13.6 วัน ซึ่งงอกได้อย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) มีการเติมน้ำมะพร้าวส่งผลกระตุ้นการงอกของเมล็ดและการเจริญของต้นอ่อนกล้วยไม้ (Kishor and Sharma, 2008; Kim et al., 2015; Kunakhonnuruk et al., 2018) โดยเมล็ดลูกผสมระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลืองกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อน เบอร์ 2 (ดอกมีแถบสีแดงเข้มชัดเจนเต็มกลีบดอก) (คู่ที่ 3) และก้านเรณูของกล้วยไม้ เขากวางอ่อนเบอร์ 3 (ดอกมีแถบสีแดง แต่ขนาดแถบสีแดงเล็ก และจาง) (คู่ที่ 4) มีจำนวนวันที่งอกเท่ากัน คือ 12 วัน ซึ่งเร็วกว่าการผสมพันธุ์ตัวเอง และผสมข้ามดอกของกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิส โดยเมล็ดที่ได้จากฝักที่ผสมตัวเองของดอกกล้วยไม้ ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพู (คู่ที่ 5) และดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพูผสมกับก้านเรณูของดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง (คู่ที่ 6) งอกเป็นโปรโตคอร์มเร็วที่สุดเฉลี่ย 13 วัน รองลงมา คือ เมล็ดที่ได้จากการผสมตัวเองของกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกขาวปากเหลือง (คู่ที่ 1) งอกเป็นโปรโตคอร์มเร็วที่สุด 15 วัน

เมื่อย้ายโปรโตคอร์มของกล้วยไม้ลูกผสมทั้ง 5 คู่ผสม เลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร ผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร น้ำตาล 20 กรัมต่อลิตร และ pH 5.2 เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 120 วัน พบว่า สามารถชักนำให้โปรโตคอร์มของกล้วยไม้เขากวางอ่อนลูกผสมพัฒนาเป็นยอด และเจริญเป็นต้นที่มีรากสมบูรณ์ เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยา และการเจริญของต้นกล้วยไม้ลูกผสมในสภาพธรรมชาติ เนื่องจากในอาหารเพาะเลี้ยงมีการเติมผงถ่านเพื่อดูดซับสารสีน้ำตาลที่ต้นกล้วยไม้ลูกผสมปล่อยออกมาเพื่อยับยั้งการเจริญ (Kim et al., 2019) และผงถ่านยังกระตุ้นให้ยอดเกิดรากอีกด้วย (Prizao et al., 2012)

สัณฐานวิทยาของต้นกล้วยไม้ลูกผสมเมื่อย้ายออกปลูกในโรงเรือน

เมื่อนำต้นกล้วยไม้ลูกผสมที่มียอดและรากสมบูรณ์ จำนวน 5 คู่ผสม ที่มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร ย้ายลงอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin and Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร และผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร ปรับ pH 5.2 เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นเวลา 60 วัน ทำการย้ายกล้วยไม้ออกจากขวด แล้วล้างเอาอาหารเพาะเลี้ยงออกจากรากกล้วยไม้ให้หมด แล้วนำต้นกล้วยไม้ลูกผสมย้ายปลูกในโรงเรือนกล้วยไม้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เขตสุรินทร์ เลี้ยงเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ลูกกล้วยไม้ผสมทั้ง 5 คู่ผสม มีการรอดชีวิตร้อยละ 100 (ตารางที่ 2) ลูกกล้วยไม้จากการผสมพันธุ์ของดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อน (คู่ที่ 2 และคู่ที่ 3) มีแนวโน้มมีความสูงของต้น จำนวนใบ ความกว้างของใบ และจำนวน

รากเฉลี่ย มากกว่าการผสมตัวเอง (คู่ที่ 1) หรือผสมข้ามดอกของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพู และปากเหลือง (คู่ที่ 5) ยกเว้นการผสมตัวเองของกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมดอกขาวปากชมพู (คู่ที่ 4) ที่ใบมีความยาวมากที่สุด เฉลี่ย 2.2 เซนติเมตร (ตารางที่ 2) เมื่อวัดค่าสีของใบของกล้วยไม้ลูกผสมทั้ง 5 ลูกผสม พบว่า เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความกว้าง ความยาวใบ และความสูงของต้นเพิ่มขึ้น มากกว่าการเจริญของราก สันฐานวิทยาของต้นกล้วยไม้ลูกผสมจากการผสมข้ามถูกถ่ายทอดมาจากแม่และพ่อที่ผสมพันธุ์กัน เช่น ลักษณะของลำต้น ความกว้างและความยาวใบ (Devadas et al., 2019; Sinumporn et al., 2020; Punjansing et al., 2021)

ตารางที่ 2 ร้อยละการรอดชีวิต ค่าเฉลี่ยความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ จำนวนราก และความยาวรากของต้นกล้วยไม้ลูกผสมหลังย้ายออกปลูกในโรงเรือนเป็นเวลา 30 วัน

คู่ผสม ที่	แม่พันธุ์ (ดอก)	พ่อพันธุ์ (ก่อนเรณู)	ร้อยละการรอด ชีวิต	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบต่อต้น)	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
1	ฟาแลนนอปซิสปากเหลือง	ฟาแลนนอปซิสปากเหลือง	100	4.3±0.6 ^b	3.7±0.6 ^a	2.7±0.7 ^{ab}	1.4±0.3 ^c	5.1±1.1 ^c	4.8±2.4 ^{ab}
2	ฟาแลนนอปซิสปากเหลือง	เขากวางอ่อนเบอร์ 2	100	4.9±1.1 ^a	4.2±1.0 ^a	3.0±0.7 ^a	1.9±0.4 ^b	7.8±1.1 ^a	5.1±1.4 ^{ab}
3	ฟาแลนนอปซิสปากเหลือง	เขากวางอ่อนเบอร์ 3	100	4.8±0.7 ^a	4.0±0.6 ^a	3.1±0.6 ^a	1.8±0.3 ^b	7.7±1.9 ^a	4.1±1.4 ^b
4	ฟาแลนนอปซิสปากชมพู	ฟาแลนนอปซิสปากชมพู	100	4.6±0.9 ^a	4.0±0.8 ^a	2.6±0.5 ^b	2.2±0.4 ^a	6.6±2.6 ^{ab}	5.3±1.5 ^a
5	ฟาแลนนอปซิสปากชมพู	ฟาแลนนอปซิสปากเหลือง	100	4.4±1.0 ^b	3.8±1.1 ^a	2.7±0.5 ^{ab}	2.1±0.5 ^a	6.0±1.2 ^b	5.4±1.7 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±SD

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสทมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) วิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี Duncan's Test



รูปที่ 2 ฝัก การงอกของเมล็ด และต้นกล้ากล้วยไม้ลูกผสมจากการผสมพันธุ์ของ (ก) ดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสดอกขาวปากเหลืองผสมตัวเอง (ข) ดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสดอกขาวปากเหลืองผสมกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 2 (ค) ดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสดอกขาวปากเหลืองผสมกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนเบอร์ 3 (ง) ดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสดอกขาวปากชมพูผสมตัวเอง และ (จ) ดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสดอกขาวปากชมพูกับก้านเรณูของกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสดอกขาวปากเหลือง เมื่อปลูกในโรงเรือนเป็นเวลา 30 วัน (สเกล = 1 เซนติเมตร)

บทสรุป

การผสมพันธุ์กล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกสีขาวปากสีเหลือง และปากสีชมพู โดยผสมตัวเอง ผสมข้ามดอก และผสมข้ามกับดอกกล้วยไม้เขากวางอ่อน สามารถผลิตกล้วยไม้ลูกผสมได้ 5 คู่ผสม คิดเป็นร้อยละ 71.46 โดยเกิดจากการผสมตัวเองของกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกสีขาวปากสีเหลือง และปากชมพู จำนวน 2 คู่ผสม การผสมข้ามระหว่างดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกสีขาวปากสีชมพูกับก้านเรณูของกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกสีขาวปากสีเหลือง จำนวน 1 คู่ และผสมข้ามชนิดของดอกกล้วยไม้ฟาแลนด์นอปซิสลูกผสมดอกสีขาวปากสีเหลืองกับก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อน จำนวน 2 คู่ผสม เมล็ดกล้วยไม้ลูกผสมสามารถงอก และเจริญเป็นต้นที่มีรากสมบูรณ์ เมื่อย้ายปลูกในโรงเรือน มีการรอดชีวิตร้อยละ 100 สีของใบ ขนาดของใบ และความสูงของต้นเพิ่มขึ้น การวิจัยครั้งนี้ถือเป็นแนวทางในการพัฒนาพันธุ์ เพื่อผลิตกล้วยไม้กระถางขนาดเล็กที่ให้ดอกตลอดปี โดยใช้ก้านเรณูของกล้วยไม้เขากวางอ่อนซึ่งเป็นกล้วยไม้ไทย ผสมกับดอก

กล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสสุกผสม เพื่อให้ได้ดอกที่มีสี และลดตายแตกต่างไปจากเดิม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตกล้วยไม้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณทุนการศึกษาโครงการพระราชทานความช่วยเหลือแก่ราชอาณาจักรกัมพูชาตามพระราชดำริสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สำหรับการศึกษาและการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ครรชิต ธรรมศิริ. (2550). เทคโนโลยีการผลิตกล้วยไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์อัมรินทร์พรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง: กรุงเทพฯ.
- ชฎาพร ทราญคำ, เกวลิน คุณาศักดากุล และณัฐา โพธารมณ์. (2563). ความสามารถในการผสมข้าม และการงอกของเมล็ดในสภาพปลอดเชื้อของกล้วยไม้ดินบางชนิดในสกุล *Habenaria* และ *Pecteilis*. วารสารเกษตร. 38(1): 47-58.
- ณัฐา ควรประเสริฐ. (2548). กล้วยไม้วิทยา 1. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.
- เอกรัตน์ วสุเพ็ญ, ฉันทลักษณ์ ตียานน, และณัฐา โพธารมณ์. (2564). วงจรชีวิต และความสามารถในการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้เหลืองแม่ปิง. วารสารเกษตร. 37(1): 27-37.
- Arditt J. (1967). Factors affecting the germination of orchid seeds. Botanical Review. 33(1): 1-97.
- Devadas R., Pamarthi R.K., Meitei A.L., Pattanayak S.L. and Sherpa R. (2019). Morphological description of novel *Phaius primary* hybrid (Orchidaceae). Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. 7: 138-47.
- Kim D.H., Kang K.W., Enkhtaivan G., Jan U. and Sivanesan I. (2019). Impact of activated charcoal, culture medium strength and thidiazuron on non-symbiotic in vitro seed germination of *Pecteilis radiata* (Thunb.) Raf. S. South African Journal of Botany. 124: 144-50.
- Kishor R. and Sharma G.J. (2008). Intergeneric hybrid in two rare and endangered orchids, *Renanthera imschootiana* Rolfe and *Vanda coerulea* Griff. ex Linn. (Orchidaceae): Synthesis and characterization. Euphytica. 165: 247-56.
- Kunakhonnuruk B., Inthima P. and Kongbangkerd A. (2018). In vitro propagation of *Epipactis flava* Seidenf. an endangered rheophytic orchid: A first study on factors affecting asymbiotic seed germination, seedling development and greenhouse acclimatization. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 135: 419-32.
- Parton E., Vervaeke I., Delen R., Vandenbussche B., Deroose R., and De Proft, M. (2002). Viability and storage of bromeliad pollen. Euphytica. 125: 155-161.
- Prizao E.C., Goncalves L.D.M., Gutierrez M.A.M., Mangolin C.A. and Machado M.D.F.P.D.S. (2012). Activated charcoal and graphite for the micropropagation of *Cattleya bicolor* Lindl. and a orchid double hybrid 'BLC Pastoral Innocence'. Acta Scientiarum. Agronomy. 34: 157-61.
- Proctor H.C. (1998). Effect of pollen age on fruit set, fruit weight and seed set in there orchid species. Canadian Journal of Botany. 76(3): 420-427.

- Punjansing T., Nakkuntod M., Homchan S., Inthima P. and Kongbangkerd A. (2021). Production and molecular identification of interspecific hybrids between *Phaius mishmensis* (Lindl. and Paxton) Rchb. f. and *Phaius tankervilleae* (Banks) Blume. Agriculture. 11: 306.
- Sinumporn P., Narumi-Kawasaki T. and Fukai S. (2020). Development of interspecific hybrids between *Habenaria radiata* and *Habenaria rhodocheila* complex. Advances in Horticultural Science. 34: 3-10.
- Song J. and Tachibana S. (2007). Loss of viability of tomato pollen during long-term dry storage is associated with reduced capacity for translating polyamine biosynthetic enzyme genes after rehydration. Journal of Experimental Botany. 58(15-16): 4235-4244.
- Thaithong O. (1990). Orchids of Thailand. Office of Environmental Policy and Planning, Bangkok.
- Vacin E. and Went F. (1949). Some pH changes in nutrient solution. Botanical Gazette. 110(4): 605-613.
- Wilfret G.J. and Kamemoto H. (1969). Genome and karyotype relationships in the genus *Dendrobium* (Orchidaceae) II. Karotype relationships. Cytologia. 36: 604-13.
- Zahara M., Datta A., Boonkorkaew P. and Mishra A. (2017). The effects of different media, sucrose concentrations and natural additives on plantlet growth of *Phalaenopsis* hybrid 'Pink'. Brazilian Archives of Biology and Technology 60: 1-15.
- Zhang L.X., Chang W.C., Wei Y.J., Liu L. and Wang Y.P. (1993). Cryopreservation of *Ginseng* pollen. HortScience. 28(7): 742-743.

Received: December 14, 2022; Revised: February 13, 2023; Accepted: February 16, 2023

การทดสอบสมรรถนะโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์

Solar cell performance for base station sites

ณัฐพงษ์ มิ่งพฤกษ์^{1*} อติสร นวลอ่อน¹ ปรัชญา บำรุงกุล¹ ภัทรนันท์ บุญสะตวก¹ อติเทพ จันทับ¹พงษ์พันธ์ บุญสรศักดิ์¹ และสัฏฐพงษ์ ยอดรักษ์¹Nattapong Mingpruk^{1*}, Adisorn Nuan-On¹, Prachya Bumrungkun¹,Phatthanan Boonsaduak¹, Aditape Chantab¹, Pongpan Boonsan¹and Suttabongkot Yodruk¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

*Corresponding Author E-mail Address: Nattapong.mi@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทดสอบสมรรถนะโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ โดยการทดสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้า วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า และพลังงานขาออกที่แท้จริงของแผงโซลาร์เซลล์ จากระบบโซลาร์เซลล์ที่ทำการติดตั้งเพิ่มในสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ของรูปแบบการติดตั้ง 2 รูปแบบคือ ติดตั้งแบบ 1 เสา 6 แผง กับ ติดตั้งบนเสาสัญญาณ (On Tower) อ่านค่าจากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสมรรถนะของระบบ (% PR Ratio) เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบของทั้ง 2 รูปแบบ จากผลการวิจัยค่าประสิทธิภาพของระบบ ในรูปแบบติดตั้งบนเสาสัญญาณมีค่าที่ดีกว่าคือ 18.10 กับ 17.90 และค่าเฉลี่ยของค่าสมรรถนะของระบบ คือ 91.60 กับ 90.60

คำสำคัญ: การทดสอบสมรรถนะโซลาร์เซลล์ โซลาร์เซลล์บนเสาสัญญาณ ค่าสมรรถนะของระบบ

Abstract

This paper proposes solar cell performance for base station sites by testing to measure electrical energy measure electrical properties and the actual output power of the solar panel. Solar cell performance for base station sites has 2 type installations are on ground installation and on tower installation. Take the obtained values to calculate % PR Ratio and compared installation type. Form results has Performance of System (%) 18.10 vs. 17.90 and PR Ratio (%) 91.60 vs. 90.60.

Keywords: Solar cell performance, Solar on tower, PR Ratio

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสมัยใหม่นั้นเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลายมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นด้านการคมนาคม ด้านการโทรคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม ด้านกระบวนการผลิต แปรรูป ซ่อมแซม และที่เห็นได้ชัดอย่างยิ่งคือ สิ่งอำนวยความสะดวกที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรานั้นล้วนแล้วแต่มีการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ และแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในบางกรณีที่มีการนำพลังงานไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้องอาจทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ยังคงเหลืออยู่อาจไม่พอสำหรับใช้ในอนาคต และทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย (Suntiti et al., 2019)

เนื่องจากแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น จึงได้นำแผงโซลาร์เซลล์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานธรรมชาติอย่างพลังงานแสงอาทิตย์ให้มาอยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าได้ โดยที่สามารถนำพลังงานไฟฟ้านั้นมาใช้งานได้ทันทีหรือเก็บสะสมไว้ในรูปแบบแบตเตอรี่เพื่อใช้ภายหลังก็ได้เช่นกัน มีความสะดวกสบายต่อการใช้งาน ประหยัดพลังงานและไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศที่อาจเกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้า และช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ ช่วยรักษาสมดุลทางธรรมชาติได้ และที่สำคัญยังเป็นการนำพลังงานที่มาจากธรรมชาติมาใช้ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก โดยสามารถใช้งานระบบโซลาร์เซลล์ได้อย่างยั่งยืน เพราะรับพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งเป็นพลังงานแสงที่ไม่มีวันหมด (สัตถูปภกข และคณะ, 2564) โดยที่งานวิจัยนี้จะทำการวิจัย และทดสอบรูปแบบการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์เพิ่มในสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ของรูปแบบการติดตั้ง 2 รูปแบบคือ ติดตั้งแบบ 1 เสา 6 แผง กับ ติดตั้งบนเสาสัญญาณเพื่อดูค่าประสิทธิภาพของระบบ และค่าสมรรถนะของระบบที่จะนำไปติดตั้งใช้จริงในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ในการทดสอบสมรรถนะโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ได้ทำการศึกษาพื้นฐานระบบโซลาร์เซลล์ เครื่องมือวัดสมรรถนะของระบบ และการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

1. พื้นฐานระบบโซลาร์เซลล์

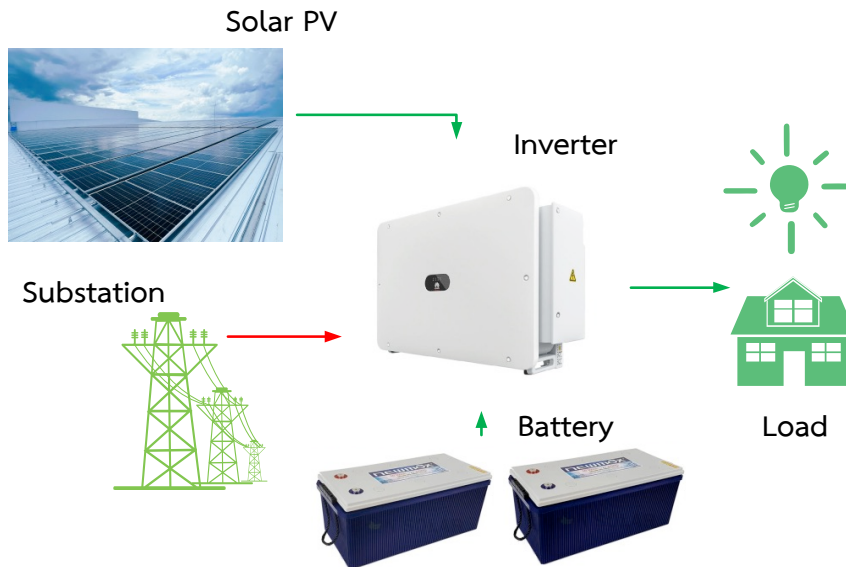
การใช้ระบบโซลาร์เซลล์ คือการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ

ระบบออฟกริด (Off Grid) เป็นระบบปิดที่ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า

ระบบออนกริด (On Grid) หรือแบบเชื่อมต่องับระบบไฟการไฟฟ้า การติดตั้งแบบนี้เพื่อลดค่าไฟฟ้า โดยเมื่อมีการใช้ไฟมากกว่าที่ผลิตเองจากโซลาร์เซลล์ ตัวอุปกรณ์ Grid Tie Inverter ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ก็จะทำให้หน้าตู้กระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้งานโดยอัตโนมัติ ดังนั้นก็จะทำให้ลดค่าไฟฟ้าลงได้และไม่มีข้อจำกัดเรื่องกำลังไฟไม่พอ เพราะดึงจากการไฟฟ้ามาชดเชย แต่การติดตั้งแบบนี้ต้องได้รับการอนุญาตจากการไฟฟ้า ก่อน แต่ข้อเสียของระบบนี้คือช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือเวลากลางคืนก็จะมีไม่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาซึ่งช่วงนี้ก็ต้องดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Energy Next, 2565)

ระบบไฮบริด (Hybrid) เป็นระบบที่นำเอาระบบออนกริดและออฟกริดมารวมกัน คือจะมีระบบแบตเตอรี่มาสำรองพลังงานใช้งานในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์และสำหรับกรณีที่เมื่อมีแสงอาทิตย์แล้วผลิตกระแสไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีมากกว่าที่นำมาใช้งาน ระบบก็นำกระแสไฟฟ้านั้นชาร์จเข้าแบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้งานได้ต่อไปจนถึงเวลากลางคืนที่

ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ไม่ได้รับระบบก็จะไปนำเอากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ก่อน เมื่อไม่เพียงพอระบบจะไปดึงไฟฟ้ามาจากระบบจำหน่าย ซึ่งระบบโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์มือถือใช้รูปแบบนี้ (อิมเม้นส์ คอร์ปอเรชั่น, 2562)



รูปที่ 1 การต่อแผงโซลาร์เซลล์แบบระบบไฮบริดหรือแบบผสม

2. เครื่องมือวัดสมรรถนะของระบบ

เครื่องมือวัดสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ได้แก่ แคลมป์มิเตอร์ (Clamp meter) และเครื่องวัดพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (Solar power meter) ใช้ในการเก็บค่าการทดลอง

แคลมป์มิเตอร์ เพื่อใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า โดยวิธีการใช้งานสามารถใช้งานทั้งวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (วัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ถึงตัว Maximum Power Point Tracking หรือ MPPT และวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (จากตัว MPPT ถึงตัว Power Over Ethernet หรือ POE ตัวควบคุมไฟฟ้าสำหรับเสาสัญญาณโทรศัพท์) รวมถึงแรงดันไฟฟ้า และความต้านทาน (แสงชัยมิเตอร์, 2565) ดังรูปที่ 2 และโครงสร้างของสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 แคลมป์มิเตอร์

เครื่องวัดพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ เป็นเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยจะวัดรังสีรวม (Pyranometer) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการกำหนดประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ของพลังงานแสงอาทิตย์ (พันกร, 2560) อุปกรณ์มีเซ็นเซอร์ในตัวที่ด้านบน วิธีใช้คือการชี้ไปยังแหล่งกำเนิดแสง และการอ่านจะปรากฏขึ้นโดยอัตโนมัติบนหน้าจอ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องวัดพลังงานรังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 4 โครงสร้างของสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์

3. การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

วิธีการประเมินประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นั้นจะต้องอ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission หรือ IEC 61724 (ปฐมธิติ และคณะ, 2557) ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรจำนวนมากที่ใช้ในการคำนวณ แต่จะมีค่าตัวแปรที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วน ระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ PV (Photovoltaic module) ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 (เอกพันธ์ และคณะ, 2561)

$$\eta_{pv} = \frac{P_{dc}}{GA} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ η_{pv} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
 P_{dc} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบ PV (W)
 G คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ (W/m^2)
 A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม (m^2)

ค่าประสิทธิภาพของระบบ (Performance of system)

ค่าประสิทธิภาพของระบบจะบอกถึงประสิทธิภาพของระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกจากตัว MPPT หารด้วยค่าพลังงานรังสีของดวงอาทิตย์จากเครื่องมือวัดความเข้มแสง และขนาดพื้นที่ของแผงโซลาร์เซลล์ (Zainab et al., 2020) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\% \text{Performance of system} = \frac{P_{out \text{ MPPT}}}{I_{rr} \times PV \text{ Area}} \times 100 \quad (2)$$

โดย $\% \text{ Performance of system}$ คือ ค่าประสิทธิภาพของระบบ (%)
 $P_{out \text{ MPPT}}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก MPPT (W)
 I_{rr} คือ ค่าพลังงานรังสีของดวงอาทิตย์ (W/m^2)
 $PV \text{ Area}$ คือ ขนาดพื้นที่ของแผงโซลาร์เซลล์ (m^2) $\approx 10.93 \text{ m}^2$

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio; PR)

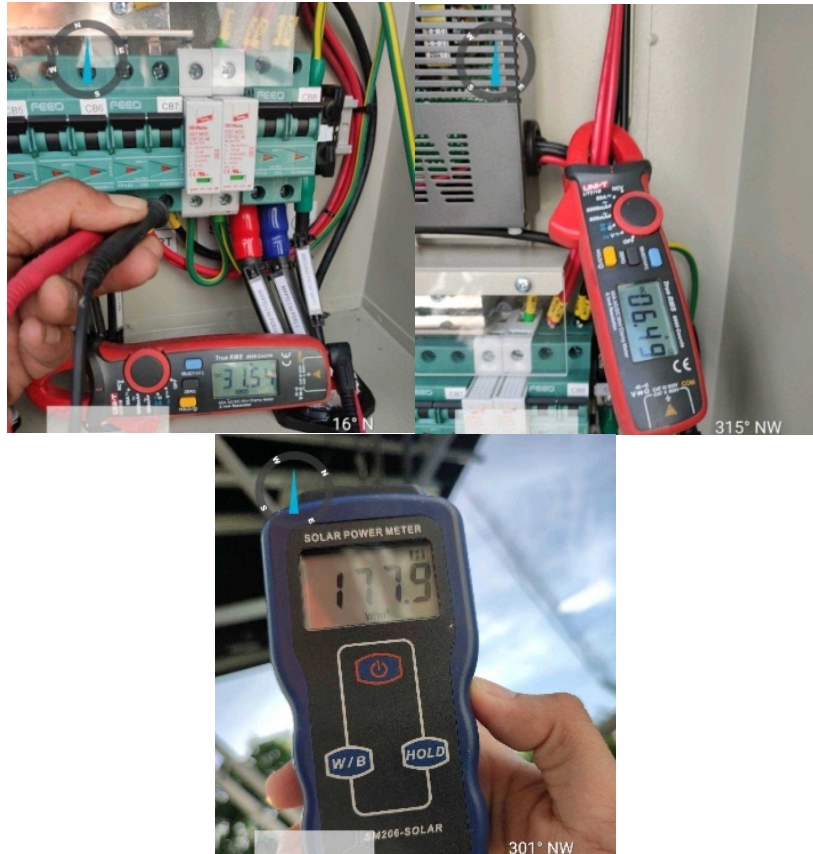
เป็นค่าที่บอกถึงคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Nils et al, 2012) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\%PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ PR คือ สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
 Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบต่อกำลังการติดตั้งสูงสุด (kWh/kWp)
 Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังการติดตั้งสูงสุดตามทฤษฎี (kWh/kWp)

ผลการวิจัย

การทดสอบสมรรถนะโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ได้ทำการวิจัยโดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความเข้มแสง ดังรูปที่ 5 ของระบบโซลาร์เซลล์ที่สถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์เป็นจำนวน 10 สถานี เป็นสถานีรูปแบบการติดตั้ง 2 รูปแบบคือ ติดตั้งแบบ 1 เสา 6 แผง 5 สถานี ดังตารางที่ 1 กับ ติดตั้งบนเสาสัญญาณ 5 สถานี ดังรูปที่ 6 จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ (% Performance of system) และค่าสมรรถนะของระบบ (% PR Ratio) ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 5 ตัวอย่างการวัดค่าสมรรถนะโซลาร์เซลล์

ตารางที่ 1 ตารางผลการทดลอง On ground

On ground	ค่าที่ได้จากการทดลอง	
	Performance of system (%)	PR Ratio (%)
ตำบลสะเดา	17.88	90.47
หนองยาง	17.89	90.55
บ้านศรีตะวัน	17.98	90.98
สำโรง	17.94	90.77
บ้านขบ	17.83	90.22
ค่าเฉลี่ย	17.90	90.60

ตารางที่ 2 ตารางผลการทดลอง On tower

On tower	ค่าที่ได้จากการทดลอง	
	Performance of system (%)	PR Ratio (%)
สะโน - สุรินทร์	18.01	91.11
บ้านกล้วย	18.07	91.42
ตำบลราม	18.00	91.07
ตำบลหนองขาว	18.16	91.90
หัวแรด - ตรีม - ศิขรภูมิ	18.28	92.50
ค่าเฉลี่ย	18.10	91.60



รูปที่ 6 รูปแบบติดตั้งโซล่าเซลล์ที่สถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์

การอภิปรายผล

จากการทดสอบวัดค่าสมรรถนะโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ 10 สถานี เป็นสถานีรูปแบบการติดตั้ง 2 รูปแบบคือ ติดตั้งแบบ 1 เสา 6 แผง 5 สถานี กับ ติดตั้งบนเสาสัญญาณ 5 สถานี ได้ค่าประสิทธิภาพของระบบ และค่าสมรรถนะของระบบดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของระบบ และค่าสมรรถนะของระบบในรูปแบบติดตั้งบนเสาสัญญาณมีค่าที่ดีกว่า สังเกตได้จากค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพของระบบ คือ 18.10 กับ 17.90 และค่าเฉลี่ยของค่าสมรรถนะของระบบ คือ 91.60 กับ 90.60 เนื่องจากรูปแบบการติดตั้งแบบบนเสาสัญญาณมีความสูงกว่าแบบติดตั้งแบบ 1 เสา 6 แผงบนพื้นดิน เพราะมีเงาจากต้นไม้ เงาโครงสร้างที่พักอาศัย หรือเงาโครงสร้างสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์เองมาบังแผงโซลาร์เซลล์ได้น้อยกว่า

บทสรุป

การทดสอบวัดค่าสมรรถนะโซลาร์เซลล์สำหรับสถานีเสาสัญญาณโทรศัพท์ในรูปแบบการติดตั้งแบบบนเสาสัญญาณมีค่าประสิทธิภาพของระบบ และค่าสมรรถนะของระบบที่ดีกว่าแบบติดตั้งแบบ 1 เสา 6 แผงบนพื้นดิน ทำให้มีการรับแสงและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนได้ดีกว่า ดังนั้นการนำโซลาร์เซลล์ไปติดตั้งบนเสาสัญญาณโทรศัพท์ควรเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้ติดตั้งโครงการเพิ่มเติมในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- ปฐมิจิต์ ชัยเศรษฐพงศ์, พัฒนะ รักความสุข, กฤษณพงศ์ กีรติกร และอุสาคห์ บุญบำรุง. (2557). สมรรถนะ IEC 61724 ของ - ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน โซลาร์เซลล์-เครื่องยนต์ดีเซล ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง. ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 8 - 9 สิงหาคม 2557. นครปฐม. 206-212.
- พันกร มนทอง. (2560). การสร้างเครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดศรีสะเกษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- สัตถุภงกช ยอดรักษ์, สุภารัตน์ ชันทอง และบารมี เจาะดี. (2564). การทดสอบสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับโซลาร์เซลล์. วิทยานิพนธ์ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้า คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์.
- แสงชัยมิเตอร์. (2560). ทำความรู้จักแคลมป์มิเตอร์. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2565. <http://www.sangchaimeter.com>.
- อิมเม้นซ์ คอร์ปอเรชั่น. (2562). แผงโซลาร์เซลล์ คืออะไร. ค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2565. <http://www.gump.in.th>.
- เอกพันธ์ ผัดศรี, คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอักรินทร์ อินทนิเวศน์. (2561). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW. ใน การประชุมวิชาการครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา วันที่ 30 สิงหาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา. ชลบุรี. 95-104.
- Energy Next. (2565). ความหมายของ Solar Cell. ค้นเมื่อ 24 พฤษภาคม 2565. <http://www.energynext.co.th>.

- Nils Y.R., Bjoern m., Alfons A., Wilfriend G.S., Klaus K. and Christian R. (2012). Performance ratio revisited: is PR>90% realistic?. Progress in Photovoltaics Research and Applications. 20(6): 717-726.
- Suntiti Y., Theerasak P. and Atthapol N. (2019). Performance and economic evaluation of solar rooftop systems in different regions of Thailand. Sustainability. 11(23): 6647.
- Zainab U., Joseph T., Henry A. and Charles N. (2020). A Critical appraisal of PV-systems' performance. Buildings. 10(11): 192.

Received: December 18, 2022; Revised: February 9, 2023; Accepted: February 16, 2023

ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในใบเมล่อน
ด้วยซิงค์ออกไซด์ผสมสารสกัดจากขิง ข่า และไพล

Efficiency fungal inhibition of downy mildew in melon leaves
by zinc oxide compounding ginger, galangal and phlai

รัตนารณ์ สมฤทธิ์¹ วรุตม์ คุณสุทธิ^{1*} อธิระวิทย์ พลโคกกอง¹ อารีรัตน์ เมืองแสน² ปฐพงศ์ เทียมตรี²
ชนิตา บุตรรัตน์² นรินทรไชนันท์ ขาญชาติ² และณัฐธิญา สุดขารี²

Rattanaporn Somrit¹, Warut Koonasoot^{1*}, Thirawit Phonkhokong¹, Areerat Muangsang²,
Pattapong Tiemtreet², Chanita Butrattana², Nirunchanan Chanchad²
and Natthiya Sudcharee²

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

¹Faculty of Sciences, Buriram Rajabhat University, Buriram Province

²คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

²Faculty of Education, Buriram Rajabhat University, Buriram Province

*Corresponding Author E-mail Address: warut.ks@bru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาด้านประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในใบเมล่อนของซิงค์ออกไซด์ร่วมกับขิง ข่า และไพล โดยเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการโซล-เจล และเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำซิงค์ออกไซด์ที่ได้มาผสมกับสารสกัดจากขิง ข่า และไพล แล้วทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในใบเมล่อน จากการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD) พบว่า มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล โดยมีขนาดผลึก 58.07 นาโนเมตร ส่วนการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อิมิชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM) พบว่าซิงค์ออกไซด์มีลักษณะของอนุภาคเป็นแท่งกลมซ้อนทับกัน และเมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR) ของสารสกัดขิง ข่า และไพล พบว่ามีพันธะ O-H พันธะ C-H พันธะ C=O พันธะ C=C-C=C และพันธะ C-O จากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในใบเมล่อนของซิงค์ออกไซด์และสารสกัดขิง ข่า และไพล กับอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่า ซิงค์ออกไซด์ที่ผสมสารสกัดจากข่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งที่สูงที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 68.40 รองลงมา คือ ไพล และขิง โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 67.29 และ 46.47 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์ กระบวนการโซล-เจล โรคราน้ำค้าง

Abstract

The aim of this research is to evaluate the efficacy of a treatment for downy mildew in melon leaves using a composite of ZnO synthesized via the sol-gel method and calcined at 700°C for 1 hour. The synthesized ZnO was then mixed with the extract of ginger, galangal, and phlai and tested the efficacy of a treatment for downy mildew in melon leaves. The analysis of the samples with an X-ray diffractometer (XRD) revealed a hexagonal crystal structure. Furthermore, the crystal size of ZnO is 58.07 nm. The result of morphological with field emission scanning electron microscope (FE-SEM) is represented that the particles phase of ZnO is rod-shaped and also overlapped. Fourier transform Infrared Spectroscopy (FT-TR) of functional groups of ginger, galangal, and phlai are shown the presence of O-H bonds, C-H bonds, C=O bonds, C=C-C=C bonds, and C-O bonds. The anti-mildew efficacy in melon leaves of zinc oxide and ginger, galangal, and phlai with agar medium at a concentration of 4,000 µg/mL at a ratio of 1:1 by weight is found that ZnO mixed with galangal extract influences The highest percentage of infection was inhibited as 68.40 followed by phlai and ginger with percentage of infection was inhibited as 67.29 and 46.47, respectively.

Keywords: Zinc oxide, Sol-gel method, Downy mildew

บทนำ

เมล่อน (Melon) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo* L. var. *cantalensis* อยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกับแตงไทย มีชื่อเรียกหลากหลายตามท้องถิ่น เช่น แตงเทศ หรือแตงหอม มีลักษณะผลค่อนข้างใหญ่เปลือกหนา ส่วนผิวเปลือกมีทั้งแบบเรียบ และแบบมีร่างแห เนื้อมีสีส้ม หรือสีเหลือง มีรสชาติที่หวานและมีกลิ่นหอม (กนกอร, 2563) จึงเป็นที่ต้องการของตลาด แต่การปลูกเมล่อนให้ได้คุณภาพไม่เป็นเรื่องง่าย เนื่องจากเป็นพืชที่อ่อนแอต่อการเกิดโรค เช่น โรคเหี่ยว (ชาลิสา และคณะ, 2562) โรคราแป้ง โรคใบด่าง โรครากเน่าโคนเน่า (วรารัณ และคณะ, 2565) โรครา น้ำค้าง เป็นต้น โดยเฉพาะโรคราน้ำค้างจะเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M. A. Curtis) Rostovzev ทำให้เกิดเป็นปื้นเหลืองบนใบ จากนั้นปื้นสีเหลืองจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทำให้ใบของเมล่อนแห้งและทำให้ต้นตายในที่สุด (สุริยวัลย์ และคณะ, 2559; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562)

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) นอกจากจะเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ยังใช้เป็นสารเคมีเพื่อป้องกันและกำจัดโรคพืชอีกด้วย มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าการใช้ซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งการเกิดโรคราแป้งของมะม่วงน้ำดอกไม้ ทำให้พบว่าสามารถควบคุมโรคได้ (สุปราณี, 2558) และซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการโซล-เจลสามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum sp.* ได้ร้อยละ 79.39 (สุวนันท์ และเสาวนีย์, 2561)

พืชสมุนไพรเป็นสิ่งที่มนุษย์ได้รู้จักนำมาใช้เป็นอาหารและรักษาโรคมานานนับตั้งแต่โบราณกาล ประเทศไทยเป็นแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติอันอุดมสมบูรณ์ มีพืชต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสมุนไพรได้อย่างมากมายนับหมื่นชนิด ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อนำสมุนไพรมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น การใช้สารสกัดจากใบฝรั่ง ใบสะเดา ใบสาบเสือและโคโตซานเพื่อยับยั้งเชื้อก่อโรคพืชในแตงกวา (สมฤทัย และณรงค์ฤทธิ์, 2562) การใช้สารสกัดหยาบจากสมุนไพรของขิง (*Zingiber officinale*) และโพลความเข้มข้น 10,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ในอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา (สุภัทรา, 2547) กระชาย (*Boesenbergia rotunda*) ขิง และข่า (*Alpinia galanga*) ใช้ยับยั้งโรคเหี่ยวแคนตาลูป

(ชาลิสา และคณะ, 2562) กระเทียม กระชายขาว ข่า ขมิ้น และตะไคร้ ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคหอมเลื้อยในหอมแดง (วิมลศิริ และคณะ, 2565) มีการใช้ขมิ้นชัน กระเทียม และขิงในการยับยั้งโรคราน้ำค้างในเมล่อน (วิริญญา และแสงดาว, 2563) นอกจากนี้มีการใช้ซิงค์ออกไซด์ที่เผาแล้วนำไปผสมกับสารสกัดจากขิงในการยับยั้งการเจริญเติบโตของตัวเชื้อรา *Colletotrichum sp.* พบว่า อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 700 องศาเซลเซียส ผสมกับสารสกัดจากขิงมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรามากที่สุด (ศิริส และอิทธิพล, 2562)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในเมล่อนด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการโซล-เจล ผสมกับสารสกัดจากขิง ข่า และไพล เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD) ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อีมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM) วิเคราะห์องค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีของสารโดยใช้ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR) และศึกษาประสิทธิภาพของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราน้ำค้างในเมล่อน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สารเคมีและอุปกรณ์

Zn(CH₃COO)₂·2H₂O ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (บริษัท QReC® ประเทศนิวซีแลนด์)
 NaOH ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (ยี่ห้อ RCI-Labscan บริษัท QReC® ประเทศนิวซีแลนด์)
 น้ำยา Clorox (บริษัท เอกชัย ดิสทริบิวชั่นซิสเต็ม จำกัด ประเทศไทย)
 เอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ (ห้างหุ้นส่วนจำกัด Science Physics ประเทศไทย)
 ตู้อบลมร้อน รุ่น ED53 ยี่ห้อ BENDER
 เครื่อง Rotary evaporator รุ่น R-3001 ยี่ห้อ Greatwall
 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD) รุ่น D8 Advance บริษัท Bruker ประเทศเยอรมัน
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อีมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM) รุ่น JSM-7800F บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโมโครสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR) รุ่น Spectrum two FT-IR Spectrometer บริษัท PerkinElmer Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

กระบวนการเตรียมผงซิงค์ออกไซด์

ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์จะดำเนินการด้วยวิธีโซล-เจล (Hasnidawani et al., 2016; Sangchay and Ubolchollakhat, 2016) โดยนำ Zn(CH₃COO)₂·2H₂O ปริมาณ 2.1949 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไปอย่างช้า ๆ กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง และใช้น้ำกลั่นล้างจำนวน 3 ครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ผงซิงค์ออกไซด์ออกมา

กระบวนการเตรียมสารสกัดจากสมุนไพรวงศ์ขิง

ในการเตรียมสารสกัดจากขิงจะสกัดด้วยวิธีการสกัดหยาบ (ชาลิสา และคณะ, 2562) โดยนำเหง้าขิงแก่มาล้างให้สะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปบดให้ละเอียด บรรจุใส่

ภาชนะแก้ว เติมน้ำอุณหภูมิความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ให้ท่วมตัวอย่าง ปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเขย่าตัวอย่างทุก ๆ 24 ชั่วโมง จนครบ 168 ชั่วโมง นำสารละลายมากรองด้วยผ้าขาวบาง หลังจากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดของขิงในรูปของเหลวข้นหนืด ในส่วนกระบวนการเตรียมสารสกัดของข่าและไพล ก็ดำเนินการซ้ำเช่นเดียวกับขิง

กระบวนการเพาะเลี้ยงเชื้อราด้วยวิธี Tissue Transplanting

ตัดชิ้นส่วนบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อเยื่อที่ติดกับเนื้อเยื่อที่เป็นโรคออกเป็นชิ้นเล็กขนาด 5x5 มิลลิเมตร ด้วยใบมีดที่ปลอดเชื้อแล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยน้ำยา Clorox เข้มข้นร้อยละ 15 เป็นเวลา 5 นาที ในจานเลี้ยงเชื้อ หลังจากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง และซับด้วยกระดาษฆ่าเชื้อ นำชิ้นส่วนที่เกิดโรควางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มไว้ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ทำการเก็บเชื้อไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (สุวรรณี และคณะ, 2557)

การวิเคราะห์คุณลักษณะของขิงค็อกซ์และสารสกัดสมุนไพร

นำขิงค็อกซ์ที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD) ที่มุม 2 θ ตั้งแต่ 20 ถึง 80 องศา ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM) โดยใช้ศักย์ไฟฟ้าในการเร่งอิเล็กตรอนที่ 10 กิโลโวลต์ และวิเคราะห์องค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีของสารสกัดสมุนไพรโดยใช้ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR)

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา

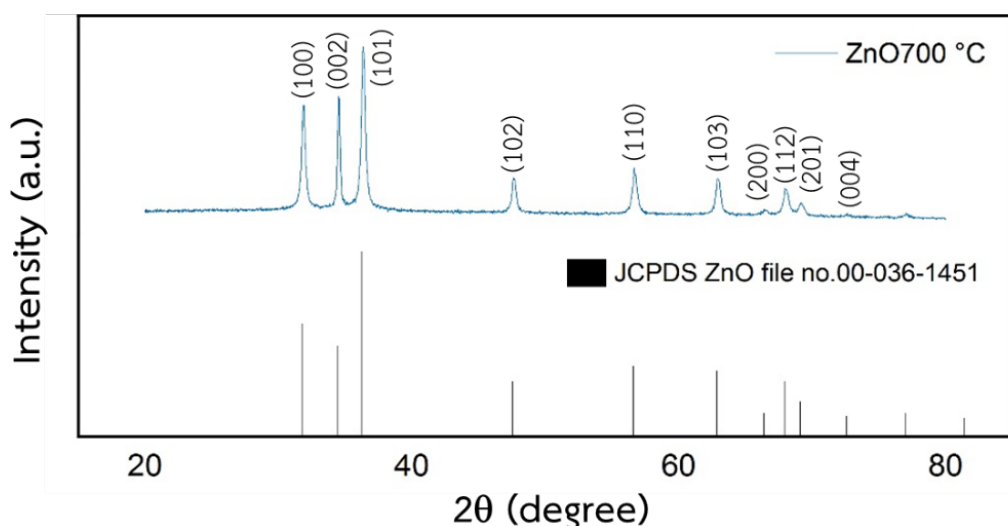
ทดสอบประสิทธิภาพของขิงค็อกซ์ และสารสกัดสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อราที่ก่อโรคน้ำค้ำในใบมะล่อนด้วยวิธี Poisoned food technique (นิสาชล และการะเกด, 2559) โดยนำผงขิงค็อกซ์ที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ให้ได้ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม จากนั้นเทลงในจานเพาะเชื้อปริมาตร 20 มิลลิกรัม ทิ้งไว้จนอาหารแข็ง นำ Cork borer เจาะบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อราที่เลี้ยงไว้ที่มีอายุ 7 วัน ย้ายชิ้นวันมาวางบริเวณกลางจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ผสมขิงค็อกซ์ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราเปรียบเทียบกับจานเลี้ยงเชื้อชุดควบคุม คือ น้ำกลั่น (ไม่ผสมขิงค็อกซ์) และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราด้วยขิงค็อกซ์ผสมสารสกัดจากขิงในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นนำไปบ่มให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เติมน้ำในผงขิงค็อกซ์ที่ผสมสารสกัดจากขิงแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ให้ได้ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราโรคน้ำค้ำในใบมะล่อน ในส่วนของข่าและไพลก็ดำเนินการซ้ำเช่นเดียวกับขิง

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)

ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคขิงค็อกซ์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจล แล้วเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ที่หน่วยบริการวิชาการด้านเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะ

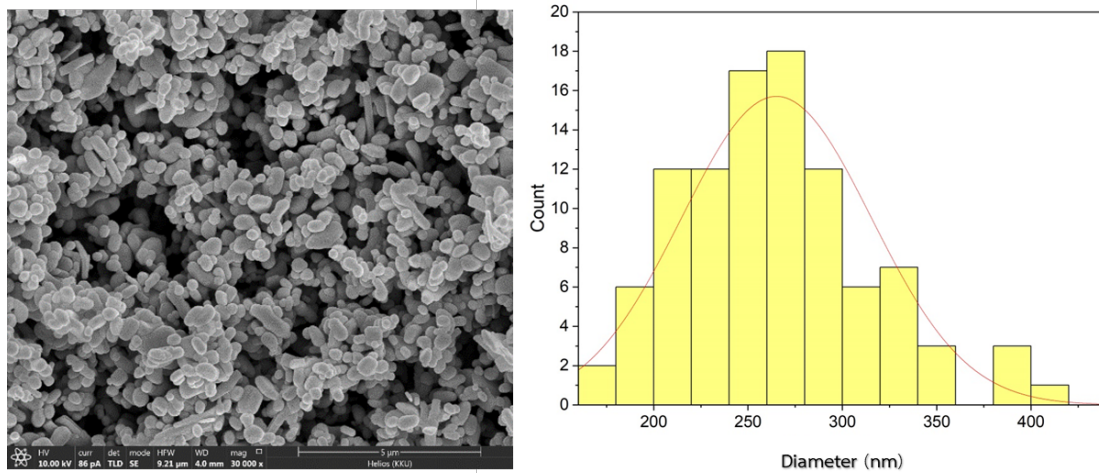
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งใช้แหล่งในการกำเนิดรังสีเอกซ์จากเป้าทองแดง (Cu-K α) ที่มีความยาวของรังสีเอกซ์เท่ากับ 0.15406 นาโนเมตร ทำการกวาดมุม 2θ ตั้งแต่ 20 ถึง 80 องศา แสดงผลดังรูปที่ 1 พบว่าที่มุม 2θ ที่ตำแหน่ง 31.77, 34.42, 36.25, 47.53, 56.59, 62.85, 66.37, 67.94, 69.08 และ 72.56 องศา ตรงกับการเลี้ยวเบนของระนาบ (100) (002) (101) (102) (110) (103) (200) (112) (201) และ (004) ตามลำดับ โดยซึ่งคือออกไซด์มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลเวิร์ทไซด์ (Hexagonal wurtzite) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดย Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS) หมายเลข 36-1451 (Fakharia et al., 2019) และมีตำแหน่งพีคสูงสุดที่ระนาบ (101) แสดงให้เห็นว่าระนาบนี้มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและขนาดของผลึกมีความสม่ำเสมอ ทำให้มีความเป็นผลึกสูง (Bohan et al., 2017) โดยสามารถหาขนาดผลึกโดยใช้สมการเชอร์เรอร์ พบว่าซึ่งคือออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีขนาดผลึก 58.06734 นาโนเมตร



รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ X-ray Diffractometer ของซึ่งคือออกไซด์เฟาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM)

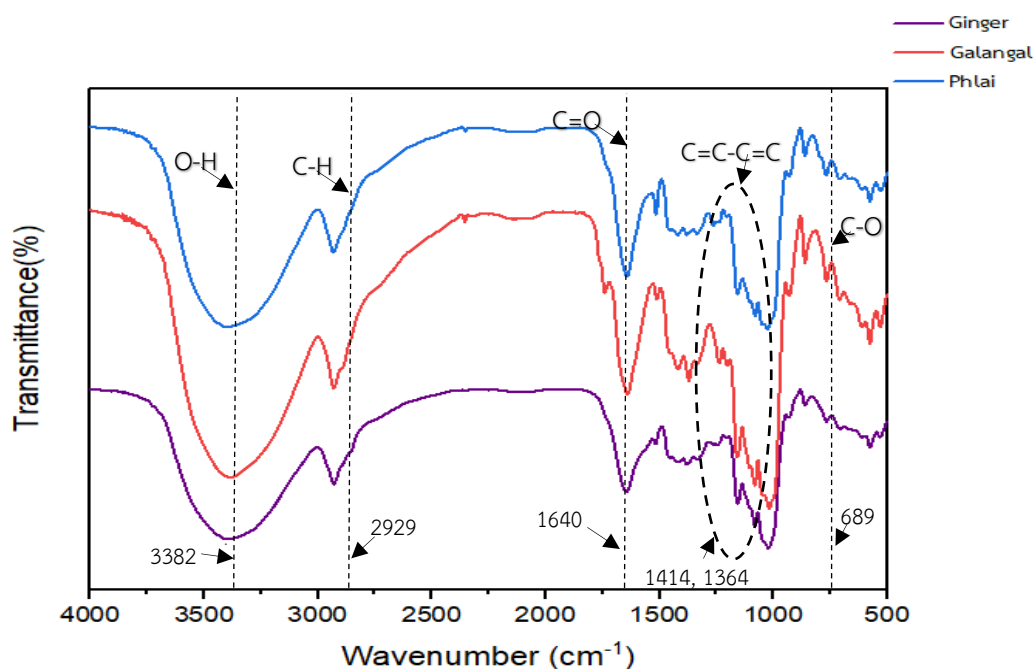
จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและกราฟฮิสโตแกรมการกระจายตัวของอนุภาคซึ่งคือออกไซด์เฟาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ลักษณะทางกายภาพของอนุภาคซึ่งคือออกไซด์มีลักษณะเป็นทรงกลมและวงรีปะปนกัน และจับกลุ่มหนาแน่น ทำให้มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยลง ขอบเขตเกรน (Grain boundary) ของอนุภาคมีลักษณะที่ชัดเจน (Sabeeh and Jassam, 2018) จากการวัดขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม Image J มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 264.81 นาโนเมตร



รูปที่ 2 แสดงภาพ Field Emission Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 30,000 เท่า และฮิสโตแกรมของซิงค์ออกไซด์นาโนพาร์ติเคิลที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์การกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR)

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารสกัดขิง ข่า และไพล ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) ซึ่งการดูดกลืนรังสีอยู่ในช่วงอินฟราเรดที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) 4000–500 ต่อเซนติเมตร ดังรูปที่ 3 พบว่า ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของขิง ข่า และไพล ปรากฏสเปกตรัมที่ตำแหน่งพิก 3382 ต่อเซนติเมตร แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ O-H (Ismail et al., 2022) ตำแหน่งพิก 2929 ต่อเซนติเมตร แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H (Amalraj et al., 2020) ตำแหน่งพิก 1640 ต่อเซนติเมตร แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C=O ตำแหน่งพิก 1414 ต่อเซนติเมตร กับตำแหน่งพิก 1364 ต่อเซนติเมตร แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C=C-C=C (Zhou et al., 2020) และตำแหน่งพิกที่ 689 ต่อเซนติเมตร แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C-O



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ Fourier Transform Infrared Spectroscopy ของสารสกัดขิง ข่า และไพล

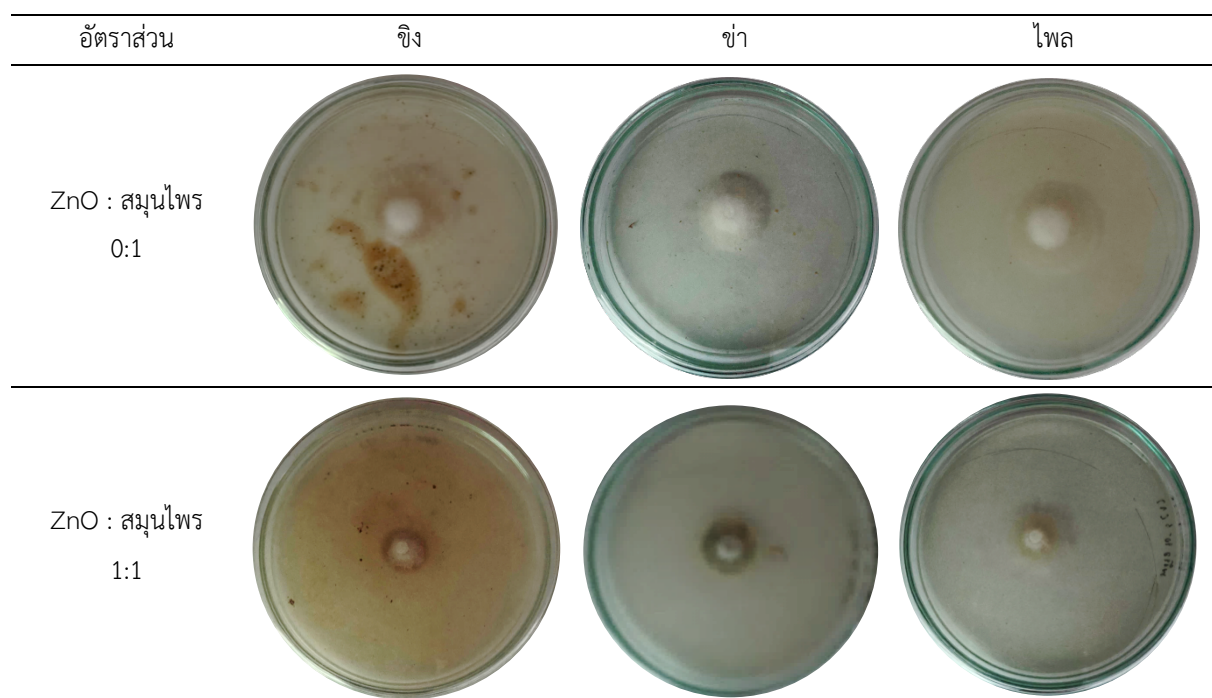
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคน้ำค้ำในใบเมล่อน

จากการทำการทดสอบประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของโคโลนีตัวเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M. A. Curtis) Rostovzev ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคน้ำค้ำในใบเมล่อน ระยะเวลาในการทดลอง 4 วัน ได้ลักษณะทางกายภาพของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ผสมกับซิงค์ออกไซด์ผงแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร เทียบกับชุดควบคุม (ไม่ผสมซิงค์ออกไซด์) ดังตารางที่ 1 และซิงค์ออกไซด์ที่ผงแคลไซน์อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผสมกับสารสกัดจากขิง ข่า และไพล ในอัตราส่วน 0:1 และ 1:1 ให้ได้ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ดังตารางที่ 2 แล้วทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เพื่อหาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราในใบเมล่อนกับเชื้อราในชุดควบคุมและหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง ตามสมการที่ (1) ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของซิงค์ออกไซด์ผงแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคน้ำค้ำของซิงค์ออกไซด์ผงแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผสมกับสารสกัดจาก ขิง ข่า และไพล ที่อัตราส่วน 0:1 และ 1:1



ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างของ สารสกัดจากขิง ข่า และไพล ชิงค์ออกไซด์เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผสมสารสกัดจากขิง ข่า และไพล ที่ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

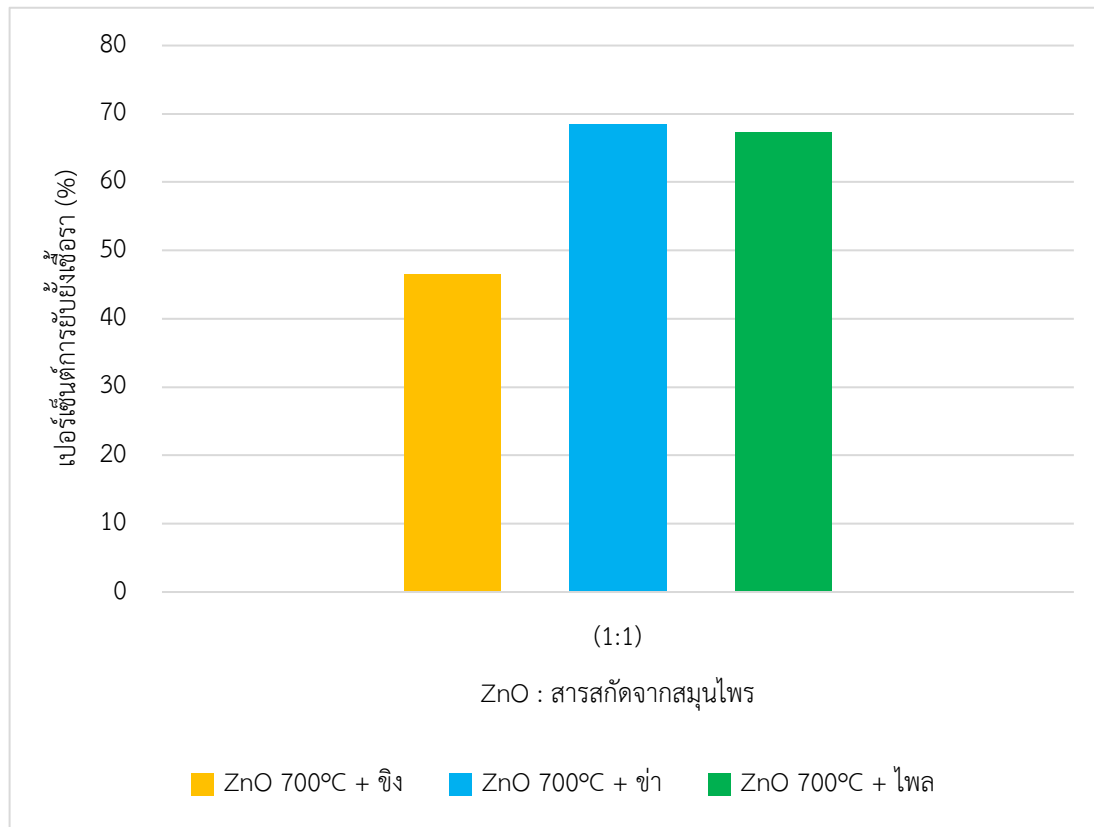
เงื่อนไข	อัตราส่วน (ZnO : สมุนไพร)	ชุดควบคุม (เซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อรา (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์ การยับยั้ง
ZnO 700 °C	1:0	5.38	3.16	41.26
สารสกัดจากขิง	0:1	5.38	3.77	29.93
สารสกัดจากข่า	0:1	5.38	2.39	55.58
สารสกัดจากไพล	0:1	5.38	2.98	44.61
ZnO 700 °C ผสม สารสกัดจากขิง	1:1	5.38	2.88	46.47
ZnO 700 °C ผสม สารสกัดจากข่า	1:1	5.38	1.70	68.40
ZnO 700 °C ผสมสารสกัด จากไพล	1:1	5.38	1.76	67.29

การเจริญของเส้นใยเชื้อราเป็นการเพิ่มความยาว และปริมาณของเส้นใย (Hyphae) การแบ่งนิวเคลียสจะเกิดภายในเส้นใยขณะที่เชื้อราเจริญ ดังนั้นการศึกษาลักษณะการเจริญของเชื้อราจะวัดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยเปรียบเทียบกันระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง (นิสาชล และการะเกด, 2559)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโต} = \frac{C-T}{C} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C คือ ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราบนจานเลี้ยงเชื้อชุดควบคุม (ไม่ได้ผสมชิงค์ออกไซด์) หน่วยเซนติเมตร

T คือ ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราบนจานเลี้ยงเชื้อชุดทดลองที่มีอาหารผสมชิงค์ออกไซด์ หน่วยเซนติเมตร



รูปที่ 4 แสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้าง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา พบว่า ชิงค็อกไซด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา โดยทำให้ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรามีค่าลดลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราเท่ากับ 41.26 แสดงให้เห็นว่าชิงค็อกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราได้ มีรายงานการวิจัยถึงประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคของอนุภาคนาโนชิงค็อกไซด์ เนื่องจากการซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และการดูดซึมซิงค์ไอออนที่เป็นพิษ (ฉัตร, 2560) สามารถสร้างความเสียหายและเป็นอันตรายต่อโคนีเดียของเชื้อรา (Bohan et al., 2017) และยังพบว่า มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของไมซีเลียมของเชื้อรา *Erythricium salmonicolor* (Arciniegas-Grijalba et al., 2017) สำหรับสารสกัดจากเหง้าของสมุนไพร พบว่า ข่ามีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราได้ดีที่สุด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราเท่ากับ 55.58 โดยมีรายงานวิจัยพบว่า สารสกัดจากข่ามีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ คือ 1'-acetoxychavicol acetate และ 1'-acetoxyeugenol acetate สามารถยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคกล้วย (บงกช, 2545) สารสกัดหยาบจากข่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Fusarium sp.* (ชาลีสา และคณะ, 2562) สำหรับประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราในอัตราส่วนของอนุภาคชิงค็อกไซด์ต่อสารสกัดจากสมุนไพร 1:1 พบว่า ประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อจะมากที่สุดเมื่อใช้ชิงค็อกไซด์ผสมกับสารสกัดจากข่า รองลงมาเป็นไพล และชิง โดยมีเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งเชื้อเท่ากับ 68.40, 67.29 และ 46.47 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่า สารสกัดจากข่ามีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราและยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อาร่วมกับชิงค็อกไซด์ได้

บทสรุป

ซึ่งเชื้อออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการโซล-เจล และเมื่อผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จะทำให้เชื้อออกไซด์มีรูปร่างเป็นแท่งกลมและมีขอบเกรนชัดเจนขึ้น และมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M. A. Curtis) Rostovzev ได้ โดยมีเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งเชื้อเท่ากับ 41.26 เมื่อนำเชื้อออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาใช้ร่วมกับสมุนไพรวงศ์ขิง ได้แก่ ขิง ข่า และไพล ในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา พบว่าเชื้อออกไซด์ที่ผสมสารสกัดจากขามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งเชื้อเท่ากับ 68.40 โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคในพืชชนิดอื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่เอื้อเฟื้อทุนวิจัยและสถานที่ทดลองในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

- กนกอร อัมพรายน, อนันต์ พิริยะภัทรกิจ, ปวริศ ตั้งบรรธรรมา และศิริพร เปรมฤทธิ์. (2563). การผลิตเมล่อนแบบให้ปุ๋ยครั้งเดียว. Thai Journal of Science and Technology. 9(2): 211-217.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). เตือนภัย “ระว่างโรคราน้ำค้างพืชตระกูลแตง”. ค้นเมื่อ 8 พฤศจิกายน 2565. <http://www.wdoae.doe.go.th/wp2018>.
- ฉัตร ผลนาค. (2560). อนุภาคนาโนซึ่งออกไซด์กับการต้านเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค. Thai Journal of Physics. 34(3-4): 37-47.
- ชาลีสา ศรีหอม, อรุมา เพี้ยซ้าย, เนตรนภิส เขียวขำ และจำเริญ บัวเรือง. (2562). ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากพืชวงศ์ขิงต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Fusarium sp.* สาเหตุโรคเหี่ยวแค้นตาในท้องปฏิบัติการ. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2562. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 1-8.
- นิสาชล เทศศรี และการะเกด เทศศรี. (2559). ฤทธิ์การต้านเชื้อราก่อโรคพืชของนาโนซึ่งออกไซด์. วารสารพืชศาสตร์ สงขลานครินทร์. 3(3): 7-14.
- วรางคณา จันดา, คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ และอลงกรณ์ อำนวยกาญจนสิน. (2565). ชีวิตทางเลือกของสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในโรงเรือนเมล่อน. วารสารแก่นเกษตร. 5(6): 1683-1700.
- วิมลศิริ สีหะวงษ์, สายันท์ สืบผาง และสุวิจักขณ์ อรุณลักษณ์. (2565). การควบคุมการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* เชื้อสาเหตุของโรคไหม้ด้วยสารสกัดจากสมุนไพร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มธย. 7(2): 35-42.
- วิริญญา สอนมัวมิต และแสงดาว ชัยสุวรรณ. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราน้ำค้างในเมล่อนด้วยนาโนซึ่งออกไซด์ผสมสารสกัดจากกระเทียม ขิง และขมิ้นชัน. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ บุรีรัมย์.

- ศิริส บัวเรียน และอิทธิพล คงบรรทัด. (2562). การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมกับสารสกัดจากขิงที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งโรคใบจุดในใบหม่อน. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ บุรีรัมย์.
- สมฤทัย ตันมา และณรงค์ฤทธิ์ ตี๋คำป้อ. (2562). ผลของสารสกัดหยาบพืชสมุนไพรและโคโคซานต่อการยับยั้งเชื้อก่อโรคแตงกวา. วารสารวิจัยรามคำแหง (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 22(2): 23-34.
- สุปรานี พิสมัย. (2558). ผลของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ในการยับยั้งเชื้อราแป้งของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. ใน การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ “สร้างสรรค์และพัฒนา เพื่อก้าวหน้าสู่ประชาคมอาเซียน” ครั้งที่ 2 18-19 มิถุนายน 2558. วิทยาลัยนครราชสีมา นครราชสีมา. 217-221.
- สุภัทรา จามกระโทก, ชัยณรงค์ รัตนกริชากุล, ชลิตา เล็กสมบุรณ์, นवलวรรณ ฟารุ่งแสง, กวิศร์ วานิชกุล และอุดม ฟารุ่งแสง. (2547). ผลของสารสกัดจาก กระชาย ขมิ้นและขิง ต่อราสาเหตุโรคพืชหลังการเก็บเกี่ยว. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42. 3-6 ก.พ. 2547. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. กรุงเทพฯ. 521-528.
- สุริย์วัลย์ เมฆกมล, กาญจนา วิจิตตระกูลถาวร และเรณู สุวรรณพรสกุล. (2559). ผลของโพแทสเซียมซิลิเกตในการควบคุมโรคราแป้งและราดำของแตงกวาญี่ปุ่นภายใต้สภาพโรงเรือนและแปลงปลูกของเกษตรกร. วารสารเกษตร. 32(1): 51-59.
- สุนันท์ โสมะมี และเสาวนีย์ สายบุตร. (2561). การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราก่อโรคราสนิมในใบหม่อน. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ บุรีรัมย์.
- สุวรรณณี แทนธานี, จารวี สุขประเสริฐ, สายจิต ดาวสุโข และโสธญา รอดประเสริฐ. (2557).การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากผลลิ้นจี่. Bulletin of Applied Sciences. 3(3): 88-101.
- Amalraj A., Haponiuk J.T., Thomas S. and Gopi S. (2021). Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil. International Journal of Biological Macromolecules. 151: 366-375.
- Arciniegas-Grijalba P.A., Patinˆo-Portela M.C., Mosquera-Sa´nchez L.P., Guerrero-Vargas J.A. and Rodr´ıguez-Pa´ez J.E. (2017). ZnO nanoparticles (ZnO-NPs) and their antifungal activity against coffee fungus *Erythricium salmonicolor*. Applied Nanoscience. 7: 225-241.
- Bohan A.J., Alhtheal E.D. and Shaker Kh.S. (2017). Synthesis nano zinc oxide materials and their activity on fungus growth. Engineering & Technology Journal. 35(1): 76-84.
- Fakharia S., Jamzada M. and Kabiri Fard H. (2019). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: a comparison. Green Chemistry Letters and Reviews. 12(1): 19-24.
- Hasnidawani J.N., Azlina H.N., Norita H., Bonnia N.N., Ratim S. and Ali E.S. (2016). Synthesis of ZnO nanostructures using sol-gel method. Procedia Chemistry. 19: 211-216.
- Ismail K.A., Askary A.E., Farea M.O., Awwad N.S., Ibrahim H.A., Moustapha M.E. and Menazea A.A. (2022). Perspectives on composite films of chitosan-based natural products (Ginger, Curcumin, and Cinnamon) as biomaterials for wound dressing. Arabian Journal of Chemistry. 15: 103716.
- Sangchay W. and Ubolchollakhat K. (2016). Photocatalytic and antibacterial activities of ZnO powders prepared via a sol-gel method. KKU Engineering Journal. 43(1): 21-25.

- Sabeeh S.H. and Jassam R.H. (2018). The effect of annealing temperature and Al dopant on characterization of ZnO thin films prepared by sol-gel method. Results in Physics. 10: 212-216.
- Zhou C., Abdel-Samie M.A., Li C., Cui H., and Lin L. (2020). Active packaging based on swim bladder gelatin/galangal root oil nanofibers: Preparation, properties and antibacterial application. Food Packaging and Shelf Life. 26: 100586.

การประยุกต์ใช้เฟล็กซ์เซ็นเซอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์สำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ Application of flex sensors to control devices for helping the elderly

รุจิพรรณ สัมปันนา^{1*}, เทพทวี ทองเต็มแก้ว¹, ปันชนิตต์ เฮงศรีวัช² และเติมพงษ์ ศรีเทศ³
Rujipan Sampanna^{1*}, Thaptawee Thongtemkeaw¹, Panchanit Hengsrirawat²
and Termpong Srited³

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี

¹Faculty of Engineering, Bangkok University, Pathum Thani Province

²โรงเรียนสตรีวิทยา 2 จังหวัดกรุงเทพมหานคร

²Satriwitthaya 2 School, Bangkok Province

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม จังหวัดกรุงเทพมหานคร

³Faculty of Engineering, Sripatum University, Bangkok Province

*Corresponding Author E-mail Address : rujipan.s@bu.ac.th

บทคัดย่อ

สถิติประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทยปี 2564 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งมีลักษณะการอาศัยอยู่คนเดียวตามลำพังในครัวเรือนเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน พบว่ามีผู้สูงอายุที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ รวมถึงผู้สูงอายุที่สามารถดูแลและช่วยเหลือตนเองได้บ้าง คิดเป็นร้อยละ 1.3 และ 1.8 ตามลำดับ ดังนั้น เพื่อช่วยเหลือผู้สูงอายุให้สามารถพึ่งพาตนเองภายในที่พักอาศัยได้ บทความนี้จะนำเสนอการนำสิ่งประดิษฐ์โดยประยุกต์ใช้เฟล็กซ์เซ็นเซอร์ซึ่งติดตั้งที่บริเวณนิ้วมือ ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ สำหรับควบคุมรถเข็น หุ่นยนต์ขนาดเล็ก และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการประมวลผลสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino R3 ผลทดสอบการควบคุมอุปกรณ์ด้วยนิ้วมือทั้ง 5 นิ้ว แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การควบคุมโดยการขยับที่ละนิ้วและการควบคุมด้วยการขยับเป็นชุดรหัสนิ้วมือ การควบคุมรถเข็นจากทุกเหตุการณ์ แสดงให้เห็นความถูกต้องแม่นยำโดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 89.07% และ 87.47% ภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และภายนอกอาคาร ตามลำดับ ความแม่นยำของการควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็ก รวมถึงการควบคุมเปิดปิดหลอดไฟ คิดเป็น 83.20% และ 87.81% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์ เฟล็กซ์เซ็นเซอร์ อุปกรณ์ช่วยเหลือผู้สูงอายุ

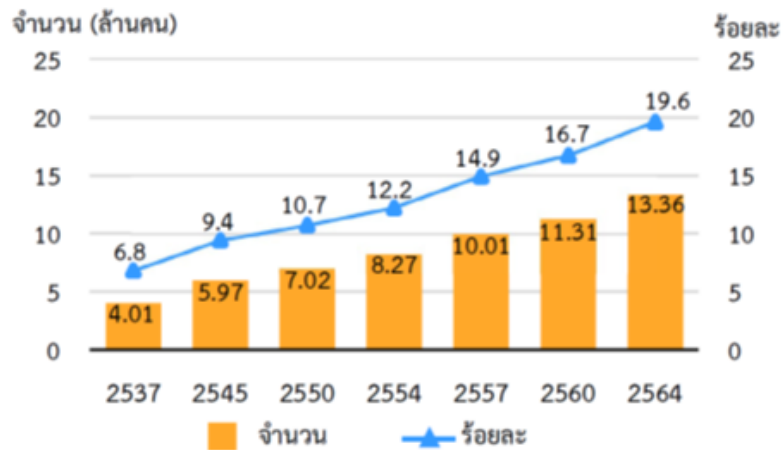
Abstract

Statistics of the elderly population in Thailand in 2021 are likely to increase rapidly and continuously, which has an increase in the characteristics of living alone in the household. Considering the ability to carry out daily activities, it was found that there were elderly people who were unable to help themselves. Including the elderly who can help and take care of themselves accounted for 1.3% and 1.8%, respectively. Therefore, to help the elderly to be self-reliant within the residence. This article focuses on implementing the invention by applying a flex sensors mounted on a finger to detect finger movements for controlling wheelchair, small robot and electrical equipment. By processing the signal with the Arduino R3 microcontroller from the flex sensor mounted on the finger. The test results for controlling the device with all 5 fingers are divided into 2 forms, which are control by moving one finger or moving a set of finger codes. Controlling a wheelchair from any event, this demonstrated accuracy with an average of 89.07% and 87.47% under different environment both indoor and outdoor, by order. Accuracy of controlling a small robot along with the control of turning on and off the lamp, accounting for 83.20% and 87.81%, respectively.

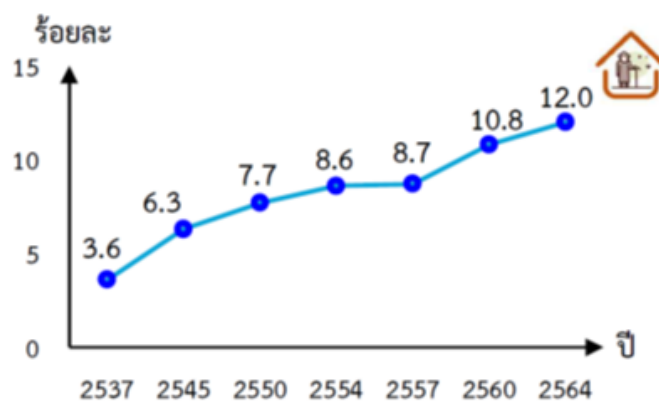
Keywords: Microcontroller, Flex sensor, Elderly assistance devices

บทนำ

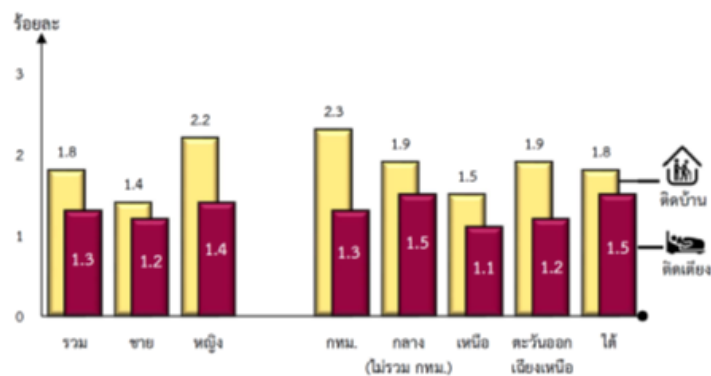
จากการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2564 โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2564) พบว่า ประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยเพิ่มจากร้อยละ 6.8 ในปี 2537 เป็นร้อยละ 19.6 ในปี 2564 ดังรูปที่ 1 สามารถแบ่งกลุ่มผู้สูงอายุตามช่วงวัยได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มผู้สูงอายุวัยต้น ช่วงอายุ 60 – 69 ปี กลุ่มผู้สูงอายุวัยกลาง ช่วงอายุ 70 – 79 ปี และกลุ่มผู้สูงอายุวัยปลาย อายุตั้งแต่ 80 ปี ขึ้นไป โดยการพิจารณาจากลักษณะการอยู่อาศัยของผู้สูงอายุที่อาศัยร่วมกับสมาชิกอื่น ๆ ในครัวเรือน พบว่า ผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่คนเดียวตามลำพัง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มจากร้อยละ 3.6 ในปี 2537 เป็นร้อยละ 12 ในปี 2564 ดังรูปที่ 2 ซึ่งเมื่อพิจารณาความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน ผลจากการสำรวจปี 2564 พบว่า มีผู้สูงอายุกลุ่มติดเตียงที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้พิการ หรือทุพพลภาพ รวมถึงผู้สูงอายุกลุ่มติดบ้านที่สามารถดูแลและช่วยเหลือตนเองได้บ้าง คิดเป็นร้อยละ 1.3 และ 1.8 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 จำนวนและร้อยละของผู้สูงอายุ พ.ศ. 2537 – 2564



รูปที่ 2 ร้อยละของผู้สูงอายุที่อยู่คนเดียวตามลำพังในครัวเรือน พ.ศ. 2537 – 2564



รูปที่ 3 ร้อยละของผู้สูงอายุติดเตียงและติดบ้าน จำแนกตามเพศ และภาค พ.ศ. 2564

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ช่วงหลายปีที่ผ่านมามีความพยายามสร้างเครื่องมืออุปกรณ์ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกในรูปแบบต่าง ๆ (เทพทวี และคณะ, 2564; Andrés et al., 2019; Saifuddin et al., 2019; Kollu et al., 2020; Zainab et al., 2020; Shuo et al., 2021; Krishnakumar et al., 2022; Niranjana et al., 2022; Xu et al., 2022) ตามลักษณะของการใช้งาน โดยเฉพาะอุปกรณ์สำหรับเคลื่อนย้ายร่างกาย อุปกรณ์สำหรับช่วยอำนวยความสะดวกโดยไม่ต้องเคลื่อนไหว

ร่างกาย เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถช่วยเหลือตัวเองได้บ้างโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาคนอื่น และสามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายในหรือภายนอกที่พักอาศัยได้ตามลำพัง

บทความนี้นำเสนอรูปแบบหนึ่งของการประยุกต์ใช้เฟล็กซ์เซ็นเซอร์ (Flex sensor) หรือเซ็นเซอร์โค้งงอ ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งที่ใช้วัดปริมาณการหักงอของวัสดุจำพวกคาร์บอน ทำให้ความต้านทานมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของการโค้งงอ ดังนั้น หากนำเฟล็กซ์เซ็นเซอร์มาติดตั้งและออกแบบเป็นถุงมือ ก็สามารถใช้ตำแหน่งของการขยับนิ้วมือที่แตกต่างกัน โดยจะทำให้ความต้านทานของเฟล็กซ์เซ็นเซอร์มีค่าเปลี่ยนไป และสามารถนำการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานนี้ไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำไปใช้สำหรับการควบคุมรถเข็น หุ่นยนต์ขนาดเล็ก รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้ เพื่อช่วยเหลือบุคคลที่ไม่สามารถขยับร่างกายได้สะดวก (เทพทวี และคณะ, 2564; Andrés et al., 2019; Saifuddin et al., 2019; Kollu et al., 2020; Zainab et al., 2020; Shuo et al., 2021; Krishnakumar et al., 2022; Niranjana et al., 2022; Xu et al., 2022) จุดมุ่งเน้นในการพัฒนาของงานวิจัยนี้ คือการออกแบบอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้สูงอายุให้มีฟังก์ชันในการควบคุมที่หลากหลาย และมีความปลอดภัยมากขึ้น ประกอบด้วย รถเข็น หุ่นยนต์ขนาดเล็ก และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยขนาดของรถเข็นถูกออกแบบไว้ภายใต้เงื่อนไขของน้ำหนักบุคคลไม่เกิน 80 กิโลกรัม สูงไม่เกิน 170 เซนติเมตร ความเร็วรถไม่เกิน 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รวมถึงสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถได้ทั้ง 4 ทิศทาง คือ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และมีระบบเบรก สำหรับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ถูกออกแบบให้เป็นตัวแทนของหุ่นยนต์สำหรับช่วยเคลื่อนย้ายสิ่งของภายในบ้านที่สามารถสั่งการและควบคุมด้วยถุงมือเฟล็กซ์เซ็นเซอร์เช่นกัน โดยประยุกต์จากชุดรถหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบ 2 ล้อ ซึ่งมีชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านที่ถูกควบคุมการเปิด-ปิดด้วยถุงมือเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ จะใช้หลอดไฟ LED จำนวน 6 หลอด เพื่อแสดงให้เห็นการทำงานของหลอดไฟจากการควบคุมด้วยการขยับนิ้วมือของถุงมือเฟล็กซ์เซ็นเซอร์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

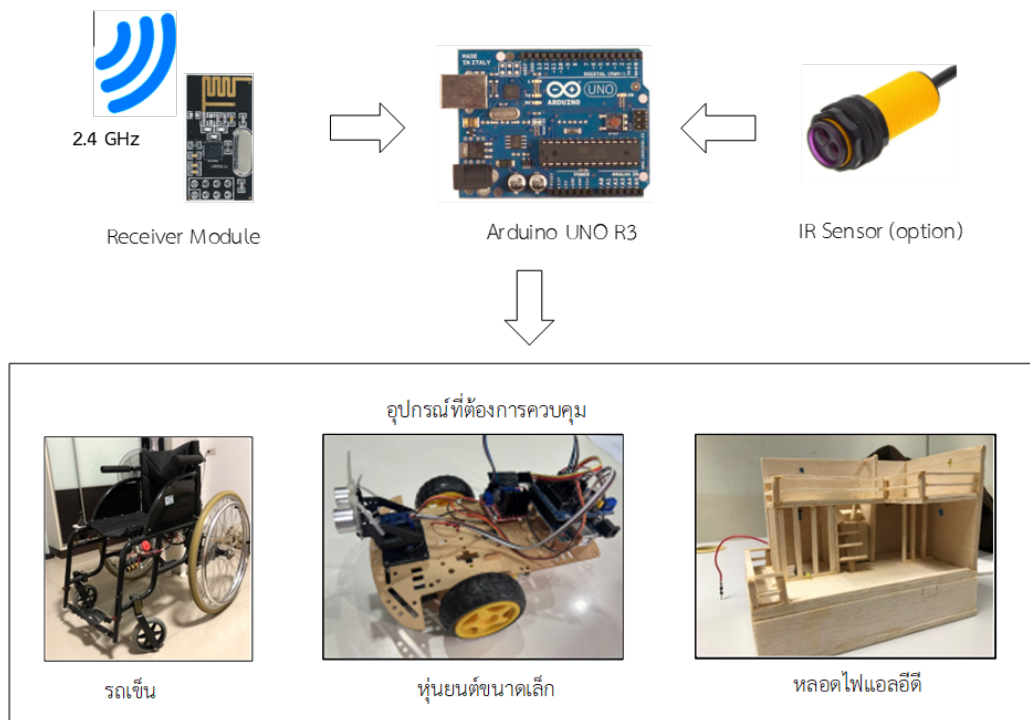
วิธีการวิจัย (Methodology)

1. โครงสร้างการทำงานของระบบ

การทำงานจะแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแรกคือภาคส่ง โดยใช้ถุงมือซึ่งออกแบบด้วยการติดตั้งเฟล็กซ์เซ็นเซอร์จำนวน 5 ชิ้น ขนาดความยาว 2.2 นิ้ว และ 4.5 นิ้ว บริเวณนิ้วมือทั้งห้า เพื่อให้ผู้ใช้งานสวมใส่ได้สะดวกและง่ายต่อการควบคุม รวมถึงสามารถพกพาติดตัวได้ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ในภาคส่งจะทำหน้าที่ตรวจการเปลี่ยนแปลงการขยับข้อต่อนิ้วมือทั้งห้านิ้ว แล้วส่งข้อมูล ผ่านโมดูลไร้สาย 2.4 GHz (Transmitter module) ไปยังภาครับ ส่วนที่สองคือภาครับ ดังที่แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีโมดูลไร้สาย 2.4 GHz รับข้อมูลจากภาคส่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของนิ้วมือทั้งห้านิ้วมาแปลเป็นคำสั่ง เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ อันได้แก่รถเข็น หุ่นยนต์ขนาดเล็ก หรือหลอดไฟแอลอีดี



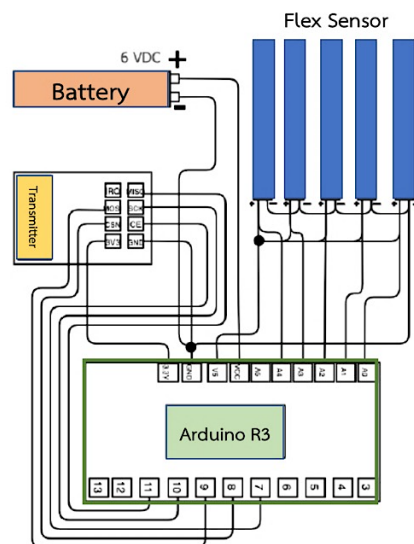
รูปที่ 4 ภาคส่งของระบบควบคุม



รูปที่ 5 ภาครับของระบบควบคุม

2. ชุดการทำงานภาคส่ง

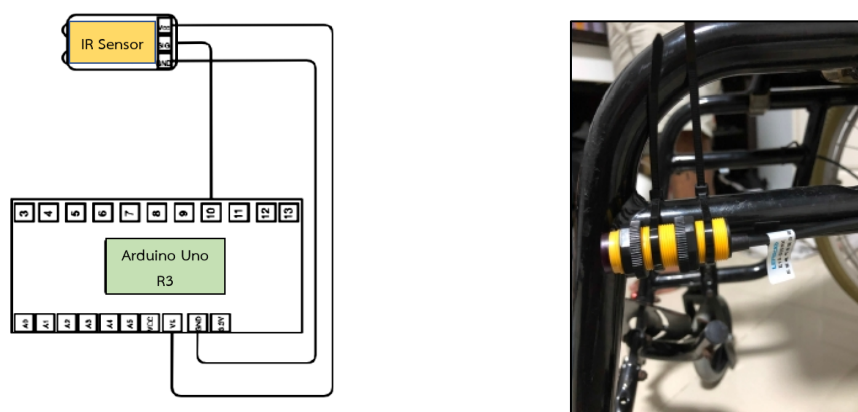
เมื่อผู้ใช้งานมีการขยับนิ้วมือที่มีการใส่ถุงมือเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ จะเกิดการโค้งงอของเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ ส่งผลให้เกิดค่าความต้านทานของเฟล็กซ์เซ็นเซอร์มีเปลี่ยนแปลงไป โดยความต้านทานจะมีค่าต่ำเมื่อเฟล็กซ์เซ็นเซอร์อยู่ในระนาบเส้นตรงและมีค่าสูงขึ้นเมื่อเฟล็กซ์เซ็นเซอร์มีการโค้งงอ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงจะถูกเปลี่ยนอยู่ในรูปแบบแรงดันไฟฟ้าโดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน หากความต้านทานของเฟล็กซ์เซ็นเซอร์สูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามไปด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ของแต่ละนิ้ว จะถูกส่งเข้าไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ทางพอร์ตแอนาล็อก 10 บิต ดังรูปที่ 6 แล้วทำการส่งไปที่ภาครับผ่านโมดูลไร้สาย 2.4 GHz (Receiver module)



รูปที่ 6 การต่อเฟล็กซ์เซ็นเซอร์กับบอร์ด Arduino UNO R3

3. ชุดการทำงานภาครับ

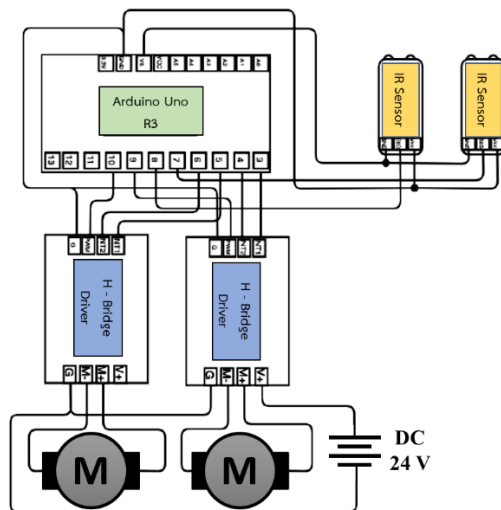
ในส่วนของการทำงานของภาครับ จะรับข้อมูลจากโมดูลไร้สาย 2.4 GHz เข้าไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ในรูปแบบตัวเลขฐานสิบที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1023 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบการขยับข้อต่อนิ้วมือทั้งห้านิ้ว เพื่อแปลเป็นคำสั่งต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ที่จะถูกควบคุม ตามตารางที่ 1 สำหรับการควบคุมรถเข็นและหุ่นยนต์ และตามตารางที่ 2 สำหรับการควบคุมการเปิด-ปิดของหลอดไฟ เฉพาะกรณีการควบคุมรถเข็น เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน จะมีเพิ่มตัวตรวจจับวัตถุด้วยเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor) เพื่อตัดระบบการทำงานของมอเตอร์เมื่อเจอวัตถุติดหน้าหรือสิ่งกีดขวาง โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีตำแหน่งติดตั้งบริเวณด้านหน้าของรถเข็น ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งติดตั้งและการต่อ IR Sensor กับบอร์ด Arduino UNO R3

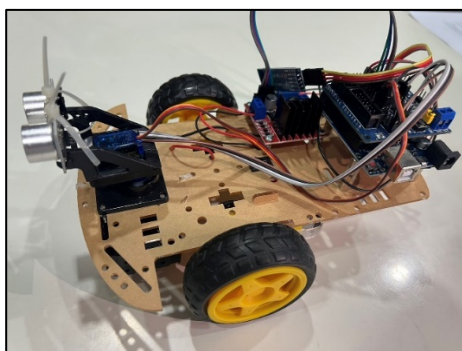
4. การออกแบบอุปกรณ์สำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ

ระบบขับเคลื่อนรถเข็น ออกแบบโดยใช้มอเตอร์เกียร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดกำลัง 250W แรงดัน 24V จำนวน 2 ตัว สำหรับการรับน้ำหนักคนไม่เกิน 80 กิโลกรัม ส่วนสูงไม่เกิน 170 เซนติเมตร และวิ่งด้วยความเร็ว 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ H-Bridge PWM ดังรูปที่ 8 ทั้งนี้ เพื่อหาความแม่นยำในการบังคับรถเข็นไปในทิศทางที่กำหนด ด้วยถูงมือเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ รวมถึงความสามารถในการหยุดรถได้โดยอัตโนมัติเมื่อเจอสิ่งกีดขวางโดยการทำงานของเซ็นเซอร์อินฟราเรด การทดสอบความแม่นยำจะกระทำภายใต้สภาพแวดล้อมภายในอาคาร 50 ครั้ง และภายนอกอาคาร 50 ครั้ง จากผู้ทดสอบเพศชาย 3 คน ซึ่งถูกสมมติเป็นผู้สูงอายุที่ยังคงสามารถขยับข้อนิ้วมือทั้งห้านิ้วได้ตามปกติ

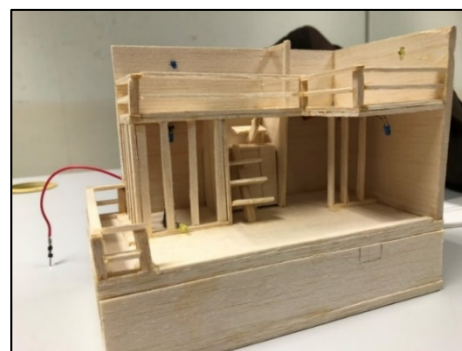


รูปที่ 8 ลักษณะโครงสร้างรถเข็นและการเชื่อมต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กับบอร์ด Arduino UNO R3

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของหุ่นยนต์สำหรับช่วยเคลื่อนย้ายสิ่งของภายในบ้าน จะประยุกต์จากชุดรถหุ่นยนต์แบบ 2 ล้อ ที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic sensor) และมีชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 โดยรับสัญญาณจากชุดภาคส่งสำหรับการควบคุมทิศทางของมอเตอร์เซอร์โว ดังรูปที่ 9 (ก) สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านถูกออกแบบให้เป็นบ้านจำลองเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ โดยภายในจะติดตั้งหลอดไฟ LED ทั้งหมด 6 ดวง เป็นเสมือนตัวแทนของอุปกรณ์ไฟฟ้า 6 ประเภท ดังรูปที่ 9 (ข)



(ก) โครงสร้างส่วนประกอบหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

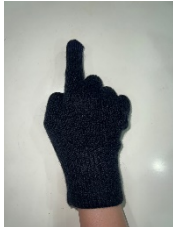
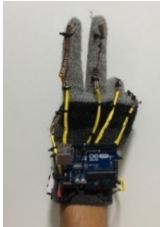


(ข) แบบบ้านจำลองติดตั้งหลอดไฟ LED 6 ดวง

รูปที่ 9 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ

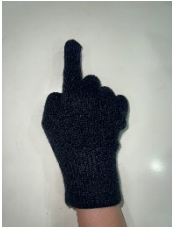
ลักษณะการขยับนิ้วมือ เพื่อใช้สำหรับการควบคุมรถเข็นและหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ถูกออกแบบไว้เป็น 2 รูปแบบเพื่อความแม่นยำ คือ การขยับนิ้วมือโดยใช้รหัสนิ้วมือสื่อสารและการขยับนิ้วมือครั้งละหนึ่งนิ้ว รวมถึงลักษณะการติดตั้งเฟล็กซ์เซ็นเซอร์และการขยับนิ้วมือ ตามตารางที่ 1 โดยการทดสอบซึ่งกำหนดให้ผู้ใช้งานสวมถุงมือด้านขวา จากนั้นควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่รถเข็นและหุ่นยนต์โดยการขยับนิ้วมือตามเงื่อนไขซึ่งแบ่งการควบคุมจากนิ้วทั้งห้าเป็น 5 สถานะ คือ สถานะหยุด เดินหน้า เดินไปทางด้านขวา เดินไปทางด้านซ้าย และเดินถอยหลัง

ตารางที่ 1 สถานะการควบคุมรถเข็นและหุ่นยนต์ด้วยการขยับนิ้วมือ

สถานะการควบคุม	การขยับนิ้วมือครั้ง ละหนึ่งนิ้ว	ลักษณะขยับนิ้วมือ	การใช้รหัสนิ้วมือ	ลักษณะขยับนิ้วมือ
หยุด	กำมือหรือนิ้ว ทั้งหมดงอ		กำมือหรือนิ้วทั้งหมดงอ	
เดินหน้า	นิ้วชี้กางออก		นิ้วชี้กับนิ้วกลาง กางออก	
เดินไปทางด้านขวา	นิ้วก้อยกางออก		นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนางและ นิ้วก้อย กางออก	
เดินไปทางด้านซ้าย	นิ้วโป้งกางออก		นิ้วชี้ นิ้วกลาง และนิ้วโป้ง กางออก	
เดินถอยหลัง	กางนิ้วมือทั้งหมด		กางนิ้วมือทั้งหมด	

สำหรับสถานะการควบคุมการเปิด-ปิดของหลอดไฟด้วยเฟลิกซ์เซ็นเซอร์ สามารถทำได้ด้วยการขยับนิ้วมือแต่ละนิ้วตามเงื่อนไขเพื่อควบคุมหลอดไฟ 6 ดวง โดยแบ่งเป็น 7 สถานะ โดยเริ่มจากการกำมือหรืองอนิ้วทั้ง 5 นิ้วค้างไว้เกิน 5 วินาที จะหมายถึงการสั่งให้หลอดไฟทุกดวงดับ หลังจากนั้นการควบคุมให้หลอดไฟทำงาน จะใช้การขยับนิ้วมือโดยมีลักษณะดังตารางที่ 2 ทั้งนี้ การควบคุมหลอดไฟจะต้องเริ่มต้นที่สถานะการควบคุมที่ 1 คือการทำให้หลอดไฟทั้งหมดดับก่อนเสมอ

ตารางที่ 2 สถานะการควบคุมการเปิด-ปิดของหลอดไฟและการขยับนิ้วมือ

สถานะการควบคุม	การขยับของนิ้วมือ	ลักษณะขยับนิ้วมือ	จำนวนหลอดไฟที่ติด
1	การกำมือหรือนิ้วทั้งหมดงอ		0
2	นิ้วชี้กางออกเพียงหนึ่งนิ้ว		1
3	นิ้วชี้กับนิ้วกลางกางออกสองนิ้ว		2
4	นิ้วชี้ นิ้วกลางและนิ้วนางกางออกสามนิ้ว		3
5	กางนิ้วสี่นิ้วยกเว้นนิ้วโป้ง		4
6	กางนิ้วมือทั้งหมด		5

7

งอนิ้วชี้กับนิ้วโป้ง



6

ผลการวิจัย

1. การทดสอบเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ควบคุมรถเข็นภายในอาคาร

ผลการทดสอบจากการขยับนิ้วมือทีละนิ้วและการขยับเป็นชุดรหัสนิ้วในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการควบคุมรถเข็นภายในอาคารตามเงื่อนไขการควบคุมจากนิ้วทั้งห้าเป็น 5 สถานะ คือ สถานะหยุด เดินหน้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และถอยหลัง จำนวน 50 ครั้งต่อ 1 สถานะ จากผู้ทดสอบเพศชาย 3 คน (อายุเฉลี่ย 20 ปี) โดยชุดรหัสนิ้วมือมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 89.07% ซึ่งสูงกว่าการควบคุมโดยการขยับทีละนิ้วที่มีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 79.07%

2. การทดสอบหาระยะทำงานของเซ็นเซอร์อินฟราเรด

ผลการทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์อินฟราเรดเพื่อหาระยะปลอดภัยในการหยุดรถเข็นเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง ในช่วงระยะห่างจากวัตถุ 10-100 เซนติเมตร ทำการทดสอบจำนวน 15 ครั้งต่อเหตุการณ์ แสดงให้เห็นระยะที่เหมาะสมสำหรับกำหนดให้เซ็นเซอร์ทำงานอยู่ที่ระยะ 50 เซนติเมตร โดยค่าความผิดพลาดในการตรวจจับวัตถุเกิดจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 3 ผลทดสอบการควบคุมรถเข็นภายในอาคาร

สถานะการควบคุม	ความแม่นยำเฉลี่ย (%)	
	การขยับนิ้วมือทีละนิ้ว	การขยับเป็นชุดรหัสนิ้ว
หยุด	92.67	97.33
เดินหน้า	77.33	86.00
เลี้ยวซ้าย	58.67	79.33
เลี้ยวขวา	72.67	86.67
ถอยหลัง	94.00	95.33
ค่าเฉลี่ย	79.07	89.07

3. การทดสอบเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ควบคุมรถเข็นภายนอกอาคาร

ผลการทดสอบจากการขยับนิ้วมือทีละนิ้วและการขยับเป็นชุดรหัสนิ้วในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการควบคุมรถเข็นภายนอกอาคารตามเงื่อนไขการควบคุมจากนิ้วทั้งห้าเป็น 5 สถานะ คือ สถานะหยุด เดินหน้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และถอยหลัง จำนวน 50 ครั้งต่อ 1 สถานะ จากผู้ทดสอบเพศชาย 3 คน โดยชุดรหัสนิ้วมือมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 87.47% ซึ่งสูงกว่าการควบคุมโดยการขยับทีละนิ้วที่มีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 67.73%

ตารางที่ 4 ผลทดสอบการควบคุมรถเข็นภายนอกอาคาร

สถานะการควบคุม	ความแม่นยำเฉลี่ย (%)	
	การขยับนิ้วมือทีละนิ้ว	การขยับเป็นชุดรหัสนิ้ว
หยุด	93.67	94.67
เดินหน้า	75.00	82.67
เลี้ยวซ้าย	59.00	76.00
เลี้ยวขวา	64.67	88.67
ถอยหลัง	92.33	95.33
ค่าเฉลี่ย	67.73	87.47

4. การทดสอบเฟล็กซ์เซ็นเซอร์ควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

ผลการทดสอบควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็กแสดงดังตารางที่ 5 โดยทำการทดสอบสถานะตามตารางที่ 1 สถานะละ 25 ครั้ง จากผู้ทดสอบ 3 คน แสดงให้เห็นว่าการควบคุมโดยชุดรหัสนิ้วมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 83.20% ซึ่งสูงกว่าการควบคุมโดยการขยับทีละนิ้วที่มีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 71.47%

ตารางที่ 5 ผลทดสอบการควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

สถานะการควบคุม	ความแม่นยำเฉลี่ย (%)	
	การขยับนิ้วมือทีละนิ้ว	การขยับเป็นชุดรหัสนิ้ว
หยุด	84.00	86.67
เดินหน้า	80.00	81.33
เลี้ยวซ้าย	69.33	80.00
เลี้ยวขวา	44.00	81.33
ถอยหลัง	80.00	86.67
ค่าเฉลี่ย	71.47	83.20

5. การทดสอบเฟล็กซ์เซ็นเซอร์สำหรับควบคุมแบบจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้า

ผลการทดสอบควบคุมหลอดไฟ 6 ดวง แสดงดังตารางที่ 6 โดยทำการทดสอบสถานะตามตารางที่ 2 สถานะละ 25 ครั้ง จากผู้ทดสอบ 3 คน มีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 87.81%

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบควบคุมแบบจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้า

สถานะการควบคุม	ความแม่นยำเฉลี่ย (%)
1	88.00
2	88.00
3	77.33
4	93.33
5	90.67
6	89.33
7	88.00
ค่าเฉลี่ย	87.81

บทสรุป

จากการนำเทคโนโลยีเฟล็กซ์เซ็นเซอร์มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบถุงมือสำหรับการควบคุมรถเข็น หุ่นยนต์ และแบบจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาให้มีฟังก์ชันในการควบคุมที่หลากหลายและมีความปลอดภัย ด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ช่วยประมวลผลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยมีรูปแบบของการควบคุมจากการขยับนิ้วมือซึ่งสะดวกและปลอดภัยต่อการใช้งานของผู้สูงอายุ ผลการทดสอบพบว่ามีความเฉลี่ยความถูกต้องของการควบคุมรถเข็นภายในอาคาร การควบคุมรถเข็นภายนอกอาคาร การควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็ก และการควบคุมเปิดปิดหลอดไฟ คิดเป็นร้อยละ 89.07, 87.47, 83.20 และ 87.81 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำอยู่ในระดับดี โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการควบคุมด้วยการขยับเป็นขูตรหัสนิ้ว จะมีความถูกต้องแม่นยำกว่าการขยับนิ้วมือที่ละนิ้วในทุกกรณี อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบทางเทคนิคบางประการ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในการทดสอบ คือ โมดูลภาคส่งและภาครับแบบไร้สายจะมีช่วงเวลาในการส่งข้อมูลเกิน 5 วินาที ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดด้านการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ ประกอบกับถุงมือเฟล็กซ์เซ็นเซอร์จะมีค่าความผิดพลาดของการอ่านนิ้วมือในแต่ละบุคคลที่ไม่เท่ากัน เป็นต้น ทั้งนี้แนวทางการดำเนินงานต่อยอดของงานวิจัยนี้ สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับสัญญาณชีวการแพทย์อื่น ๆ อาทิ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง สัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ สัญญาณจากการกระพริบตา และสัญญาณไฟฟ้าจากการเคลื่อนไหวดวงตา เป็นต้น และต่อยอดการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ให้เหมาะสมกับผู้สูงอายุแต่ละบุคคลมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2564). การสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2564. ค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2565.

http://www.nso.go.th/sites/2014en/Survey/social/domographic/OlderPersons/2021/fullreport_64.pdf

เทพทวี ทองเต็มแก้ว, รุจิพรรณ สัมปันณา และวิชชากร เฮงศรีธวัช. (2564). การควบคุมรถเข็นผู้พิการด้วยการเคลื่อนไหวนิ้วมือร่วมกับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 44. 17-19 พฤศจิกายน 2564. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. นาน. 736-739.

J. Andrés S.B., Mónica C.L., Miguel A.E., Olivia J.L.M., M. Andrea S.C. and José J.H.A. (2019). Design of a multifunctional electronic module adaptable to a motorized wheelchair for people with motor disabilities. In International Conference on Inclusive Technologies and Education. 30 October 2019 - 01 November 2019. San Jose del Cabo. Mexico. 201-2013.

Kollu J.L., Akshada M., A Venkata R. and Prakash K. (2020). Patient assistance using flex sensor. In International Conference on Communication and Signal Processing. 28-30 July 2020. Chennai. India. 00181-00185.

Krishnakumar S., Bethanney J.J., Sindu D., Aishwarya M.K., Sheryl R., Poojashri S. and Prakash W.G. (2022). Designing of controlled wearable robot for the treatment of ankle injuries using flex sensors. In 5th International Conference on Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies. 26-27 November 2022. Aligarh. India. 1-5.

- R. Niranjana, M.A. Ibrahim, R. Ajay, V.B. Arunnachalam, R.S. Krishnan and K.L. Narayanan. (2022). Effectual gesture controlled smart wheelchair for the incapacitated. In 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication. 20-22 October 2022. Trichy. India. 82-87.
- Saifuddin M., Xiangxu L., Jong H.K., Hasib I., MD R.U.Z., Sakib R. and M Asifur R. (2019). A Multi-Modal human machine interface for controlling a smart wheelchair. In 7th Conference on Systems, Process and Control. 13-14 December 2019. Melaka. Malaysia. 10-13.
- Shuo Z., Angus S. F., Ashraf F., Chunxu L. and Johann S. (2021). Development of a low-cost data glove using flex sensors for the robot hand teleoperation. In 3rd International Symposium on Robotics & Intelligent Manufacturing Technology. 24-26 September 2021. Changzhou. China. 47-51.
- Xu C.Z., Yu Q.L., Ying Y. and Wen F.L. (2022). Motion control of a dexterous manipulator using data glove. In 8th International Conference on Mechanical Engineering and Automation Science. 14-16 October 2022. Wuhan. China. 138-142.
- Zainab A., Taylor B., Matthew S., Ishfaq A., Manfred H. and Addison C. (2020). A Human-Computer interface for smart wheelchair control using forearm EMG signals. In 3rd International Conference on Data Intelligence and Security. 24-26 June 2020. South Padre Island. TX. USA. 34-39.

Received: December 8, 2022; Revised: February 6, 2023; Accepted: February 17, 2023

การศึกษาคุณสมบัติการบดอัด และค่า ซี บี อาร์ ของดินถมลาดคันทางที่ผสมเส้นใย
จากกระสอบป่าน

A study on compaction characteristics and C.B.R. of embankment fill
stabilized by hemp fiber

ชลธิชา จีบตะคุ^{1*} ลาวัลย์ ชันเกษตร¹ และสมใจ ยুবลชิต²

Cholticha Jeebtaku^{1*}, Lawan Kankaset¹ and Somjai Yubonchit²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดนนทบุรี

¹Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi Province

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

²Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima Province

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติการบดอัด และค่า ซี บี อาร์ ของดินถมลาดคันทางที่ผสมเส้นใยกระสอบป่านในห้องปฏิบัติการ โดยแต่ละตัวอย่างได้เพิ่มปริมาณเส้นใยกระสอบป่านที่ 0, 25, 50 และ 75 กรัม ต่อดิน 7,000 กรัม นำไปทดสอบการบดอัดเพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม และทดสอบแคลิฟอร์เนียแบร์ริงเรโซ จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยกระสอบป่านค่าความหนาแน่นแห้งจะมีค่าลดลงเป็น 2.100, 2.052, 2.029 และ 2.015 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการบวมตัวของดินมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 0.4, 0.9, 1.8 และ 2.3 ตามลำดับ และผลของค่า ซี บี อาร์ เท่ากับร้อยละ 14.2, 19.2, 20.9 และ 13.9 การเพิ่มปริมาณเส้นใยกระสอบป่านส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งลดลง และค่าการบวมตัวของดินเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินลดลง ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมคือการเพิ่มปริมาณของเส้นใยกระสอบป่านที่ร้อยละ 0.71 ของน้ำหนักดิน โดยจะได้ค่า ซี บี อาร์ สูงสุดที่ร้อยละ 20.9 ค่าการบวมตัวร้อยละ 1.8 และค่าความหนาแน่นแห้ง 2.029 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

คำสำคัญ: เส้นใยกระสอบป่าน ลาดดินถมคันทาง การทดสอบซีบีอาร์

Abstract

This research aimed to study compaction properties and California Bearing Ratio (C.B.R.) of road embankment soils stabilized by hemp sack fibers. The hemp sack fibers of 0, 25, 50 and 75 g. were mixed into 7,000 g of soil. The mixed soils were compacted in the laboratory to determine an optimal water content (OWC) subjected to a modified proctor energy. The compacted samples at the OWC were then used to conduct the C.B.R. test. The tested results showed that an increasing of the hemp sack fiber resulted in dry density reduction of 2.100, 2.052, 2.029 and 2.015 g/cm³. The soil swelling values increased to 0.4%, 0.9%, 1.8%, and 2.3%, and the C.B.R. effect is 14.2%, 19.2%, 20.9%, and 13.9%, respectively. Increasing the amount of hemp sack fiber results in a decrease in dry density and an increase in soil swelling, which reduces the soil's load capacity. Therefore, the optimal ratio is the amount of 50 g. of hemp sack fiber per 7,000 g. of soil, with the highest C.B.R. value of 20.9%, swelling value of 1.8%, and dry density of 2.029 g/cm³.

Keywords: Hemp fiber, Embankment, C.B.R.

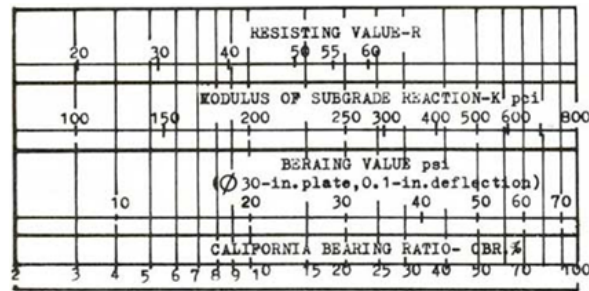
บทนำ

ปัญหาการชำรุดเสียหายของถนนในชนบท ที่อยู่ในบริเวณที่มีการเพาะปลูกข้าวของเกษตรกร เนื่องจากดินในบริเวณนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นบ่อย ทำให้กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลดลง และเมื่อน้ำหนักมากระทำจากรถที่วิ่งสัญจรบนถนน จึงอาจทำให้ดินถล่มลาดคันทางเกิดการทรุดตัว ปัจจุบันมีการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางถนนหลายวิธี เช่น การปลูกหญ้าคลุมลาดคันทาง การคาดคอนกรีตลาดคันทาง หรือการใช้วัสดุสังเคราะห์ เป็นต้น

การทดสอบ California Bearing Ratio: CBR ตามมาตรฐาน ASTM 1883 – 67 เป็นวิธีการทดสอบวัดแรงเฉือน (Shearing resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum moisture content) โดยการใช้ท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่า Unit load มาตรฐานที่ได้จากการทดลองกด Piston ขนาดเดียวกันนั้นบนหินที่ Compact แน่นที่ความลึกของ Penetration เท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า “เปอร์เซ็นต์ CBR” เทียบอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Standard unit load เขียนเป็นสมการของอัตราส่วนได้ดังนี้

$$CBR = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} \times 100\% \quad (1)$$

ค่า CBR นำมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (Flexible pavement) โดยการกำหนดความหนาจาก Design charts หรืออาจใช้ช่วยในการกำหนดค่า Subgrade modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบเพื่อช่วยในการออกแบบถนนคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง C.B.R., K, R และ Bearing value

จากค่า C.B.R. ของดินแต่ละชนิดยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าว ๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนนในชั้นดินถม ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) หรือชั้นพื้นทาง (Base) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ C.B.R. และการใช้งาน

เปอร์เซ็นต์ C.B.R.	คุณสมบัติเหมาะสมทางวิศวกรรม	การใช้งาน
3 - 0	very poor	excellent
3 - 7	poor to fair	subgrade
7 - 20	fair	subbase
20 - 50	good	subbase, base
50 - 80	very	good base
>80	excellent	base

การศึกษาคุณสมบัติการบดอัดและค่า C.B.R. ในห้องปฏิบัติการดำเนินการโดยการรวบรวมผลทดสอบจากศูนย์สร้างทางขอนแก่น กรมทางหลวง การทดสอบในสนามดำเนินการที่โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 2038 บ้านเมืองใหม่ อำเภอกุเวียง จังหวัดขอนแก่น (สถิต, 2556) ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็น ว่าความหนาแน่นแห้งและ C.B.R. สามารถประมาณได้จากคุณสมบัติพื้นฐาน อันได้แก่ ร้อยละของเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 และขีดจำกัดเหลว ผลการบดอัดดินเม็ดละเอียดด้วยรถบดอัดใน สนามที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นแห้งและ C.B.R. ในสนามมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และ C.B.R. กับจำนวนเที่ยววิ่งสามารถประมาณได้ด้วยฟังก์ชันล็อกการิทึมจนถึงหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ผลการศึกษาทั้งหมดนำมาซึ่งวิธีการบดอัดและควบคุมการบดอัดในสนามที่มีประสิทธิภาพ และจากงานวิจัยผลกระทบของความชื้นในการบดอัดต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (สยาม, 2559) จากผลการทดสอบกำลังรับแรงของดินจากการทดสอบ C.B.R. สามารถสรุปได้ว่าหากความหนาแน่นของดินมีการเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลให้กำลังรับแรงของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไป โดยหากดินมีความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงของดินมีค่ามากขึ้นตามความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

จากงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวกับเวลาของคันดินเสริมกำลังด้วยวัสดุ Geotextile ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาตั้งอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มตะกอนน้ำพาบริเวณเขตภาคกลางของประเทศไทย (ยิ่งยศ, 2556) ดินในบริเวณนี้เป็นดินเหนียวอ่อนที่มีความเป็นพลาสติกสูง (CH) ดังนั้นจึงมักเกิดการทรุดตัว และการเสียรูปด้านข้างอย่างมาก ถนนตามแนวตลิ่งมักจะเกิดการวิบัติของทางลาด ปัจจัยที่ควบคุมการวิบัติขึ้นอยู่กับความสูงของดินถม คุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินฐานรากใต้ดินถม และการลดลงของระดับน้ำตามฤดูกาล งานวิจัยดังกล่าวจึงได้เสริมกำลังคันดินด้วยวัสดุ Geotextile รุ่น

Polyfelt PEC 150 เปรียบเทียบกับคันดินที่ไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ พบว่าการทรุดตัวของคันดินที่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์เกิดขึ้นน้อยมากหลังการก่อสร้างแล้ว 14 วัน ขณะที่การทรุดตัวยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับคันดินที่ไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ผลการตรวจวัดแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในการปรับปรุงเสถียรภาพของคันดิน แต่เนื่องด้วยวัสดุ Geotextile นั้นมีราคาแพงผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวัสดุอื่นเพื่อมาทดแทน และจากงานวิจัยที่มีการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์ (*Agave sisalana*) ลักษณะใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยวเส้นใยาว (วิมลลักษณ์, 2558) มีปริมาณของเส้นใยระหว่าง ร้อยละ 3.5-5 เส้นใยมีลักษณะแข็ง เป็นเยื่อชั้นในของเปลือกไม้ ความยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ประมาณ 1.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร เส้นใยป่านศรนารายณ์มีความแข็งแรงเชิงกลโดยมีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) 511-635 MPa มีค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) 9.4-22.0 GPa และสามารถยืดได้ก่อนขาด (Elongation at break) 2.0-2.5% ผลผลิตเส้นใยป่านศรนารายณ์ประมาณครึ่งหนึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชือก เนื่องจากมีสมบัติพิเศษคือ ไม่ลื่น มีการยึดหดตัวน้อย และทนทานมากเมื่อกู้้นอกจากนั้นนำไปใช้ในการทำหัตถกรรม หรือนำไปผสมในวัสดุก่อสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแต่มิฉะนั้นักเบา เช่น ฝา เพดาน ฝาผนัง และกระสอบป่าน มักจะพบว่ากระสอบป่านที่มีการชำรุดเสียหายแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้น้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำมาเป็นส่วนผสมของดินคันทาง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติด้านการรับน้ำหนักบรรทุกของดินบดอัด โดยการนำกระสอบป่านมาเป็นวัสดุผสมกับวัสดุดินถมคันทาง เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่านที่มีผลต่อค่า C.B.R. และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดินถมคันทางและเส้นใยกระสอบป่าน โดยทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R. แบบแช่น้ำ (Soaked) ในห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นการหาค่าเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับน้ำหนักกับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน หินคลุก หรือวัสดุอื่นใด เมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบเมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (Optimum moisture content) หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและเพื่อใช้ควบคุมงาน เมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ โดยค่ามาตรฐานของค่า C.B.R. สำหรับชั้นดินถมคันทางต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 8 และมีค่าการบวมตัวไม่เกินร้อยละ 3 (กรมทางหลวงชนบท, 2545)

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ขั้นตอนการทดสอบการบดอัดดินในห้องทดลอง ด้วยวิธี Modified proctor ตามมาตรฐาน Standard Test Method for Laboratory Compaction of soil using Modified Effort. (2014). (ASTM D1557-07.)

1. นำตัวอย่างดินร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 และ เบอร์ 4 น้ำหนักดิน = 7,000 กรัม ที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2 ถึง ร้อยละ 3
2. นำเส้นใยกระสอบป่าน ที่ชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้มาผสมกับตัวอย่างดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.(ก)
3. เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นปริมาณความชื้นที่ประมาณร้อยละ 4 ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความหนาแน่นสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.(ข)
4. คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี แบ่งตัวอย่างดินใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดแล้วมีความสูงประมาณ 1/5 ของแบบ
5. การบดโดยค้อนด้วยวิธี Modified proctor จำนวน 56 ครั้ง ดำเนินการบดจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดแล้วเป็นชั้นจำนวน 5 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.(ค)
6. ดำเนินการถอดปลอกเหล็กแล้วใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบเท่าระดับตอนบนของแบบ กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมดินแล้วใช้ค้อนยางทุบให้แน่นพอควร

7. นำไปซึ่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก หลังจากนั้นให้แบ่งตัวอย่างใส่ภาชนะแล้วนำไปอบในตู้อบเพื่อหาค่าร้อยละของปริมาณความชื้นของดิน



(ก) ชั่งน้ำหนักเส้นใยกระสอบป่านตามอัตราส่วน



(ข) เติมน้ำเพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม



(ค) บดโดยค้อนด้วยวิธี Modified proctor

รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการบดอัดดินในห้องทดลอง

ขั้นตอนการทดสอบหาค่า C.B.R ตามมาตรฐาน Standard Test Method for C.B.R. (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils. (2016). (ASTM D1883-14)

1. นำตัวอย่างดินและเส้นใยกระสอบป่านที่เตรียมไว้ และทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าร้อยละของความชื้นที่เหมาะสมด้วยวิธี Modified proctor นำค่าที่ได้มาใช้ในการทดลองสำหรับการทดสอบ California Bearing Ratio, C.B.R.
2. ทำการเตรียมตัวอย่างดินอีก 3 ตัวอย่าง โดยทำการบดแต่ละชั้นด้วยค้อน ตัวอย่างที่ 1 จำนวน 12 ครั้ง ตัวอย่างที่ 2 จำนวน 25 ครั้ง และ ตัวอย่างที่ 3 จำนวน 56 ครั้ง ต่อชั้นทั้งหมด 5 ชั้น
3. นำตัวอย่างพร้อมแบบที่เตรียมไว้ ไปซึ่งจะได้มวลของตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของตัวอย่างเปียก ในขณะเดียวกันให้นำดินใส่ตัวอย่างภาชนะนำไปอบเพื่อหาค่าปริมาณร้อยละของความชื้น
4. นำแผ่นวัดการขยายตัว (Swell plate) พร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักวางบนตัวอย่างที่เตรียมให้แนบสนิทกับตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.(ก) แล้วนำไปแช่น้ำให้ท่วมตัวอย่างให้หมดดังแสดงในรูปที่ 3.(ข) วางก้าน 3 ขา (Tripod) ลงบนปลอกของแบบวัด แล้วอ่านค่า Dial gauge ทุกวันจำนวน 4 วัน พร้อมจดบันทึกค่าบวมตัวของดิน
5. เมื่อครบ 4 วัน แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดขึ้นจากน้ำแล้วทิ้งไว้ 10-15 นาที ให้น้ำที่ค้างอยู่ในโมลทดสอบไหลออกให้หมด แล้วจึงนำตัวอย่างไปทดสอบหาค่า C.B.R ดังแสดงในรูปที่ 3.(ค)

6. นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงกลางพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก ทำการหมุนเครื่องจนท่อนกดสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่างตั้งหน้า (Dial gauge) ที่วัด (Penetration) ให้เป็นศูนย์ เพิ่มแรงกดบนท่อนกด ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอ แล้วทำการบันทึกค่าที่อ่านได้

7. เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกดยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกดลงไปเป็นรูปไปหาปริมาณร้อยละของความชื้นดังแสดงในรูปที่ 3.(ง)



(ก) ติดตั้ง Dial gauge เพื่อวัดการบวมตัวของดิน



(ข) นำตัวอย่างดินไปแช่น้ำ 4 วัน



(ค) นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำเพื่อนำไปกดวัดค่า Penetration



(ง) นำตัวอย่างไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

รูปที่ 3 แสดงวิธีการดำเนินการทดสอบ C.B.R.

ผลการวิจัย

จากการทดสอบการบดอัดเพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมพบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของแต่ละตัวอย่างทดสอบมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่านจนถึง 50 กรัม และมีปริมาณน้ำลดลงเมื่อน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่านเท่ากับ 75 กรัม และความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มน้ำหนักเส้นใยกระสอบป่าน แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่านพบว่า ค่าความหนาแน่นสูงสุดลดลงเป็น 2.100, 2.052, 2.029 และ 2.015 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อดินมีความหนาแน่นลดลงจะส่งผลทำให้ความสามารถในรับน้ำหนักของดินลดลงด้วย ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองค่าความหนาแน่นสูงสุด และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม

น้ำหนักเส้นใยกระสอบป่าน (กรัม)	ไม่ผสม	25	50	75
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (กรัม/ ลบ.ซม.)	2.100	2.052	2.029	2.015
ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (ร้อยละ)	8.7	11.0	12.8	9.0

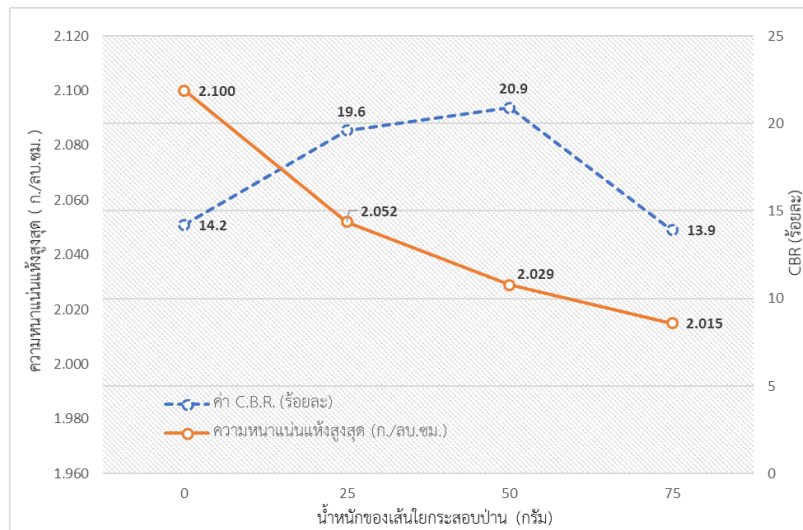
จากการทดสอบหาค่า California Bearing Ratio, C.B.R. ของตัวอย่างดินที่ผสมเส้นใยกระสอบป่านพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักเส้นใยกระสอบป่านค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. จะมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 14.2, 19.6 จนมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 20.9 ที่น้ำหนักเส้นใยกระสอบป่าน 50 กรัม และมีค่า C.B.R. ลดลงเท่ากับร้อยละ 9.0 เมื่อน้ำหนักเส้นใยกระสอบป่านเท่ากับ 75 กรัม การเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่านทำให้ค่าการบวมตัวของดินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.4, 0.9, 1.8 และ 2.3 การบวมตัวของดินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังและความสารถของดินลดลงด้วย ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลอง California Bearing Ratio, C.B.R. ของดินที่ผสมเส้นใยกระสอบป่านของแต่ละอัตราส่วน

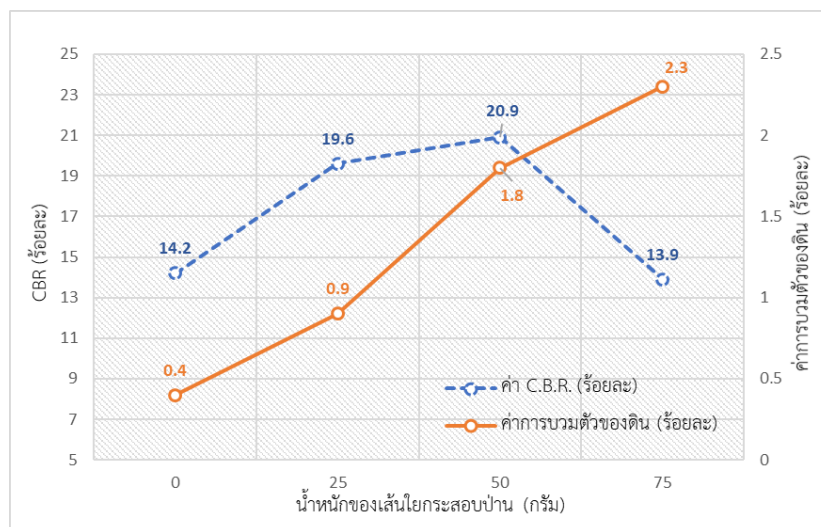
น้ำหนักเส้นใยกระสอบป่าน (กรัม)	ไม่ผสม	25	50	75
ค่าความหนาแน่นแห้ง ที่ร้อยละ 95 (กรัม/ ลบ.ซม.)	1.995	1.949	1.927	1.914
ค่า C.B.R. (ร้อยละ)	14.2	19.6	20.9	13.9
ค่าการบวมตัวของดิน (Swell) (ร้อยละ)	0.4	0.9	1.8	2.3

การอภิปรายผล

จากผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. ต่อการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่าน เมื่อนำผลการทดสอบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดต่อการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่านพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่าน แต่ค่าของความหนาแน่นแห้งมีค่าลดลง การลดลงของความหนาแน่นแห้งจะส่งผลให้กำลังและความสามารถในการรับน้ำหนักของดินลดลง เมื่อพิจารณาจากกราฟ จะเห็นว่าค่า C.B.R. มีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. สูงที่สุดเท่ากับ 20.9 เมื่อน้ำหนักเส้นใยกระสอบป่านเท่ากับ 50 กรัม หลังจากนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. ลดลงเท่ากับ 13.9 ที่ความหนาแน่นแห้งต่ำที่สุดเท่ากับ 2.015 กรัม/ลบ.ซม. เมื่อเพิ่มน้ำหนักเส้นใยกระสอบป่านที่ 75 กรัม



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลการทดสอบค่า C.B.R. และความหนาแน่นแห้งสูงสุดต่อการเพิ่มปริมาณเส้นใยทดสอบปาน



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการทดสอบค่า C.B.R. และค่าการบวมตัวของดิน ต่อการเพิ่มปริมาณเส้นใยทดสอบปาน

เมื่อนำผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. และค่าการบวมตัวของดิน ต่อการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยทดสอบปานมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักเส้นใยทดสอบจะส่งผลให้ค่าการบวมตัวของดินเพิ่มสูงขึ้น การบวมตัวของดินที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้กำลังและความสามารถในการรับน้ำหนักของดินลดลง จากกราฟจะเห็นว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 20.9 เช่นเดียวกับค่าการบวมตัวที่เพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งเมื่อน้ำหนักของเส้นใยทดสอบปานเท่ากับ 75 กรัมต่อดิน 7,000 กรัม ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของดินมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.3 กรัม และผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. เท่ากับ 13.9 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด แต่ค่าการบวมตัวของดินของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดยังถือว่าผ่านค่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานกรมทางหลวง 220 (2542) ดินถมคันทางต้องมีการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R. ไม่ต่ำกว่า 8 และค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของดินต้องไม่เกิน 3

บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลการทดสอบหาค่าร้อยละของ C.B.R. ที่เกิดจากการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยกระสอบป่านต่อดินถมคันทางเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมให้ได้ค่า C.B.R. สูงที่สุด จากตัวอย่างทดสอบดินถมคันทางที่ไม่ผสมเส้นใยกระสอบป่าน เมื่อเพิ่มน้ำหนักเส้นใยกระสอบป่าน 25, 50, และ 75 กรัม ค่าร้อยละของ C.B.R. จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14.2, 19.6, 20.9 และร้อยละ 13.9 ตามลำดับ จะเห็นว่าที่น้ำหนักเส้นใยที่ 75 กรัม จะทำให้ค่าร้อยละของ C.B.R. มีค่าลดลง ค่าความหนาแน่นแห้งต่ำที่สุด ส่วนค่าการบวมตัวของดินจะมีค่าสูงที่สุด ซึ่งหากดินมีค่าความหนาแน่นต่ำและมีค่าการบวมตัวสูงจะทำให้กำลังและความสามารถในการรับน้ำหนักของดินลดลง ดังนั้นการเพิ่มน้ำหนักขึ้นของเส้นใยกระสอบป่านที่มากเกินไปจะส่งผลให้ค่า C.B.R. ของดินลดลง หากพิจารณาจากค่า C.B.R. จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนระหว่างดินถมคันทาง 7,000 กรัมต่อเส้นใยกระสอบป่าน 50 กรัมเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากได้ค่าร้อยละของ C.B.R. สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 20.9 ซึ่งค่ามาตรฐานสำหรับดินถมคันทางต้องมีค่า C.B.R. มากกว่าร้อยละ 8 และได้ค่าการบวมตัวของดินเท่ากับร้อยละ 1.8 ซึ่งค่ามาตรฐานสำหรับการบวมตัวของดินต้องไม่เกินร้อยละ 3

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- สถิต ชินอ่อน (2556). คุณสมบัติการบดอัดและค่า ซี บี อาร์ (C.B.R.) ของดินถมคันทาง. หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค. สาขาวิศวกรรมโยธา. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สยาม ยิ้มศิริ (2558). ผลกระทบของความชื้นในการบดอัดต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินในสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ. รายงานการวิจัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.
- ยิ่งยศ บุญยานันต์ (2556). การประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางถนนในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค. สาขาวิศวกรรมโยธา. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์. (2558). การศึกษาผลการดัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใยป่านสรนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา. รายงานการวิจัย. สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- กรมทางหลวงชนบท. (2545). มทข. 220-2545. มาตรฐานงานถมคันทาง (Embankment: Construction).
- Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. (2002). ASTM D 422 – 63.
- Standard Test Method for Laboratory Compaction of soil using Modified Effort. (2014). ASTM D1557-07.
- Standard Test Method for C.B.R. (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils. (2016). ASTM D1883-14.

Received: December 16, 2022; Revised: February 19, 2023; Accepted: February 28, 2023

การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things Development of smart agricultural watering system using the Internet of Things

สุชาติ ดุมนิล^{1*}
Suchat Dumnil^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Faculty of Industrial Technology, Surin Rajabhat University, Surin Province

* Corresponding Author E-mail Address: Linesky0007@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพ และประเมินคุณภาพของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things และความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อพัฒนาระบบ กระบวนการวิจัยได้ดำเนินการผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน จากนั้นนำไปพัฒนาพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things นั้น สามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกษตรกรพบเจอในปัจจุบัน คือ สามารถช่วยสั่งการรดน้ำได้สะดวก และรวดเร็วขึ้น สามารถช่วยควบคุมความชื้นในดินได้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และสามารถช่วยกำหนดการตั้งเวลาในการทำงานของระบบน้ำเพื่อให้พืชได้น้ำที่ตรงเวลาและสม่ำเสมอตามที่พืชต้องการ จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม มีระดับการทดสอบประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งหมด ซึ่งเกินสมมติฐานที่ตั้งไว้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยประหยัดเวลา และแรงงาน สร้างความสะดวกสบายและแบ่งเบาภาระของเกษตรกรในการควบคุมสั่งการเปิด-ปิดการให้น้ำในการปลูกพืชผ่านทางสมาร์ทโฟนจากทุกที่ทุกเวลา และยังสามารถช่วยควบคุมความชื้นในดิน และเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีคุณภาพ

คำสำคัญ: ระบบรดน้ำ เกษตรอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง

Abstract

The purpose of this research was to develop and determine the efficacy, and assessing the quality of smart agricultural watering systems using the Internet of Things and investigating the satisfaction of users towards the system. The research process has been evaluated by 5 experts for developing an intelligent agricultural watering system using the Internet of Things. The results showed that the intelligent agricultural watering system using the Internet of Things can solve problems of farmers such as being able to help order watering conveniently for faster, control the moisture in the soil suitable for plants and determine the working time of the water system for the plants to get water consistently. The results of the overall system performance test found that 100 percent of all test performance levels. It was effectively exceeding the assumptions set. Therefore, it can be concluded that the developing an intelligent agricultural watering system using the developed Internet of Things can save the time and labor, creates convenience, and eases the burden on farmers to control the on-off of watering their crops via smartphones from anywhere, anytime, anywhere and can help control the soil moisture and increase agricultural productivity with quality.

Keywords: Watering system, Smart agriculture, Internet of Things

บทนำ

ปัจจุบันภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยประสบปัญหาหลายด้าน กล่าวคือ เกษตรกรกว่าร้อยละ 40 ไม่มีกรรมสิทธิ์ในที่ดินทำกินเป็นของตนเอง ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่ราคาตกต่ำแต่ต้นทุนการผลิตมีราคาสูง สภาพดิน ฟ้า และอากาศไม่มีความแน่นอน โครงสร้างตลาดที่มีลักษณะห่วงโซ่อุปทานที่ยาวและการแข่งขันไม่สมบูรณ์ กังวลขาด เกษตรกรจึงมักถูกเอารัดเอาเปรียบอยู่เสมอ การขาดแคลนแรงงานและแรงงานเข้าสู่ผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญ การเข้าถึงแหล่งเงินทุน และเทคโนโลยีด้านการเกษตร รวมทั้งนโยบายและมาตรการของภาครัฐขาดความต่อเนื่อง และดำเนินการโดยเน้นผลประโยชน์ผ่านวิธีการแทรกแซงราคาปัจจัยภายนอกที่มีผลกดดันให้ภาคเกษตรกรรมหันมาใช้เทคโนโลยีมากขึ้น เช่น ภาคการเมืองและนโยบายเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี เป็นต้น ส่งผลให้ระบบอัตโนมัติถูกนำมาใช้ทดแทนแรงงานคน ซึ่งประกอบกับความต้องการอาหารของประชากรโลกที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงต้องเร่งปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ให้เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต ดังนั้นการนำระบบการทำเกษตรอัจฉริยะหรือเกษตรแม่นยำ ซึ่งเป็นระบบเกษตรขั้นสูงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรให้สอดคล้องกับสภาพของพื้นที่มากที่สุด รวมถึงการดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำระบบ AI และ Internet of Things มาช่วยสนับสนุนการวางแผนและการตัดสินใจบนฐานข้อมูลสารสนเทศที่ถูกต้อง ทำให้สามารถคาดการณ์ผลผลิตได้อย่างแม่นยำ ช่วยลดความสูญเสีย ต้นทุนปริมาณการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี น้ำ และลดการใช้แรงงานคน จึงถือเป็นโอกาสของเกษตรกรและโอกาสของประเทศที่จะทำให้เกษตรกรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น และประเทศได้ก้าวพ้นจากกับดักรายได้ปานกลางไปสู่ประเทศพัฒนาแล้วในอนาคตต่อไป (ณัฐกิตติ์, 2563)

ในปัจจุบันไม่ใช่เพียงสภาพการณ์ทางสังคม วัฒนธรรมหรือการเมืองเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อการจัดการศึกษา แต่ยังมีความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่มีเป็นอิทธิพลสำคัญต่อการศึกษา ที่จะต้องเตรียมความพร้อมผู้เรียนด้วยการกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถร่วมกันถ่ายโอนความรู้สามารถปฏิบัติ เพิ่มพูนความรู้และทักษะที่จำเป็นในการแข่งขันกับผู้อื่น โดยมีเทคโนโลยีเป็นตัวเร่งสำคัญที่จะทำให้เกิดสังคมแห่งการเรียนรู้ ที่ไม่ถูกจำกัดในเรื่องของขนาดและสถานที่ตั้ง มุ่งให้ความสำคัญ

กับการจัดการเรียนรู้เป็นหลัก มีการริเริ่มและการเปลี่ยนแปลงไปสู่สิ่งใหม่อยู่ตลอดเวลาเพื่อการพัฒนาและพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ การเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญที่เห็นได้ชัดเด่นในสังคมแห่งการเรียนรู้ก็คือ การพัฒนาเครือข่ายความรู้และโครงสร้างในเครือข่ายความรู้ที่เชื่อมต่อได้ตลอดเวลา ทุกสถานที่ได้อย่างแท้จริง ผ่านเทคโนโลยีสารสนเทศระบบเครือข่ายความรู้ สามารถเกิดขึ้นได้กับทุกคน ทุกวัยและได้ตลอดเวลา (วิวัฒน์, 2558) แม้ว่าอินเทอร์เน็ตไม่ได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือในการศึกษาโดยตรง แต่อินเทอร์เน็ตได้กลายเป็นส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงการเรียนการสอนและเป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนการสอนที่สำคัญในปัจจุบันไปแล้วผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 หรือผู้เรียนในยุคดิจิทัลเป็นผู้เรียนที่ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เต็มไปด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศสามารถเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และไร้พรมแดนด้วยเครื่องมือทางเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างต่อเนื่อง (สุกัญญา, 2558) ยิ่งไปกว่านั้นวิวัฒนาการของอินเทอร์เน็ตที่ได้ปรับเปลี่ยนไปเป็น อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่งเป็นแนวคิดที่มีการขยายขอบเขตการใช้อินเทอร์เน็ตออกไปกว้างขึ้นกว่าเดิม ที่ไม่ใช่เพียงการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ (Human user interface) เท่านั้นแต่อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่งยังเป็นพัฒนาการที่ให้ความสำคัญกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร (Human-machine interface) และเครื่องจักรกับเครื่องจักร (Machine to machine) อีกด้วย เช่นภายในบ้านพักอาศัยที่มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ (Sensors) ภายในบ้านคอยตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในบ้านหรือควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้านและสามารถส่งข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งาน หรือภายในที่ทำงานมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่สามารถส่งสัญญาณไปยังเครื่องปรับอากาศตามห้องต่าง ๆ เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม สิ่งเหล่านี้ได้เกิดขึ้นจากตามแนวคิดที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) ได้ทั้งสิ้น

งานวิจัยนี้จึงเป็นการใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things หรือ IoT) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาประเทศไปสู่การเป็น Thailand Industry 4.0 โดยอาศัยการเชื่อมต่อการสื่อสารและการทำงานร่วมกันของเครื่องจักร มนุษย์ และข้อมูล เพื่อเพิ่มอำนาจในการตัดสินใจที่รวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำสูง (ชัชชัย, 2562) มาควบคุมการทำงานและแสดงข้อมูลสภาพแวดล้อม โดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือบอร์ด MCU (ESP32) มาช่วยในการควบคุมดูแลแบบอัตโนมัติ หรือเป็นระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart farming) โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของระบบเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ระบบการให้น้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว และระบบการตั้งเวลาอัตโนมัติ ที่ทำงานสอดคล้องกันเพื่อสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด (ฉิรพิรุฬห์, 2559) โดยมีอุปกรณ์ในการควบคุมความชื้นในดิน และสามารถสั่งงานควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ตามความต้องการได้ตลอดเวลาผ่านทางสมาร์ทโฟน (Smart phone) ที่มีการเชื่อมต่อกับสัญญาณอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลา

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things โดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความสะดวกสบายในการให้น้ำแก่พืช โดยใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์แบบฝัง MCU (ESP32) ในการควบคุมการสั่งการเปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์ว การให้น้ำสำหรับการเกษตรผ่านทางสมาร์ทโฟนได้ทุกพื้นที่และต้องมีสัญญาณ Wi-Fi ในการเชื่อมต่อการทำงานของระบบ และยังช่วยให้กลุ่มเกษตรกรมีโอกาสในการเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น เนื่องจากระบบสามารถทำงานได้ตลอดเวลาซึ่งแตกต่างจากแรงงานคนที่ต้องการเวลาพักผ่อน อีกทั้งยังเป็นผลดีกับผู้ที่มีอาชีพอื่นที่สามารถทำอาชีพเกษตรกรรม เป็นอาชีพเสริมที่สามารถสร้างรายได้ให้เกิดความเข้มแข็งสู่ฐานราก อย่างมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย เพื่อพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ทดสอบหาประสิทธิภาพและประเมินหาคุณภาพของระบบ และ ถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อประเมินหาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะ ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานในการวิจัย ในการหาประสิทธิภาพของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ให้อยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป การประเมินหาคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะให้อยู่ในระดับมากขึ้นไป แล้วจึงนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อประเมินหาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะต่อไป ส่วนทางด้านขอบเขตของการวิจัยนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยเป็น 5 อย่างคือ

ขอบเขตด้านการพัฒนา ขอบเขตด้านประสิทธิภาพ ขอบเขตด้านคุณภาพ ขอบเขตด้านการถ่ายทอด และ ขอบเขตด้านตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
2. แบบบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
3. แบบประเมินคุณภาพของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
4. แบบประเมินหาความพึงพอใจของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ผู้วิจัยได้นำแนวคิดกระบวนการเทคโนโลยี (สาขาออกแบบและเทคโนโลยี. 2554) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ดังนี้

1.1 กำหนดปัญหาหรือความต้องการ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร หนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะ และนำปัญหาการทำระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะ มาดำเนินการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น และความต้องการของเกษตรกร ที่มีความสำคัญต่อการทำเกษตร จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสรุปและดำเนินการออกแบบระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ที่เหมาะสม ที่สามารถแก้ปัญหาการทำเกษตรได้

1.2 รวบรวมข้อมูล จากการศึกษาปัญหาและความต้องการ ผู้วิจัยได้นำมารวบรวม และแบ่งความสำคัญของปัญหาและความต้องการของเกษตรกรออกเป็นอะไรที่มีความสำคัญมาก ก็ควรจะดำเนินการปรับปรุงแก้ไขก่อน เช่น ปัญหาปริมาณน้ำที่เกินความจำเป็นของพืช ความชื้นในดินที่ไม่ตอบสนองต่อความต้องการของพืช ทำให้พืชไม่เจริญเติบโตตามเท่าที่ควร ปัญหาการรดน้ำที่ไม่ตรงต่อเวลาตามที่พืชต้องการซึ่งทำให้พืชเกิดการเหี่ยวเฉาและได้รับความเสียหาย

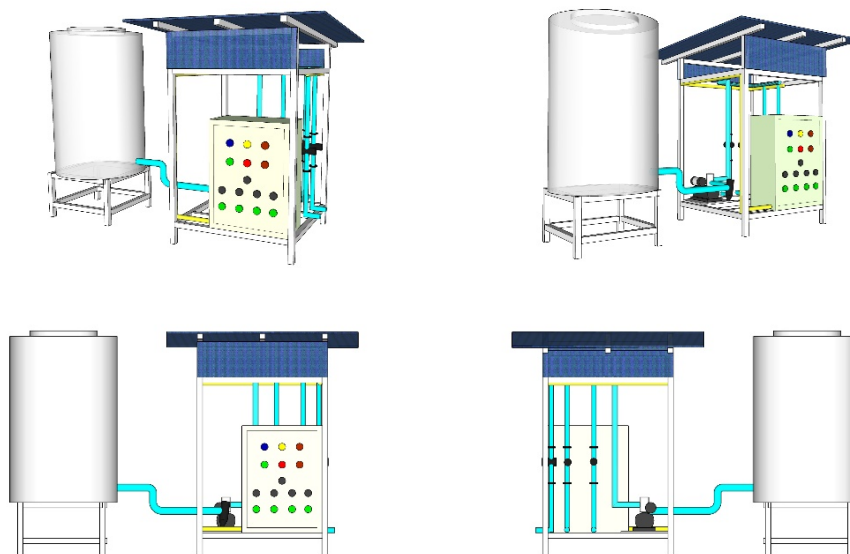
1.3 เลือกวิธีการ ผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ซึ่งเป็นระบบปิดที่ง่ายต่อการควบคุมปัจจัยภายนอก เช่น ปัญหาปริมาณน้ำที่เกินความจำเป็นต่อพืช ความชื้นในดินที่ไม่ตอบสนองต่อความต้องการของพืช และนำระบบเทคโนโลยีอัจฉริยะ มาผสมผสานกับเทคโนโลยี Internet of Things เข้ามาช่วยในการทำงาน โดยการนำเทคโนโลยี Internet of Things ที่เป็นนวัตกรรมดิจิทัลไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถส่งการทำงานและแสดงผลการทำงานผ่านโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน ในการสั่งรดน้ำ ตั้งเวลาสั่งทำงาน และสามารถตั้งค่าความชื้นในดินให้มีความเหมาะสมกับการปลูกพืช เพื่อให้เกษตรกรสามารถปลูกพืชได้ตามความต้องการ

1.4 ออกแบบและปฏิบัติการพัฒนา ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและการพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.4.1 ขั้นตอนการร่างแบบ (Sketch) ผู้วิจัยได้ดำเนินการร่างแบบตัวควบคุม และส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things โดยกำหนดรายละเอียดคร่าวๆ ถึงโครงสร้างและส่วนประกอบของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

1.4.2 ขั้นตอนการออกแบบ (Design) ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบจากการร่างแบบและกำหนดสัดส่วนโครงสร้างส่วนประกอบของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเขียนแบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

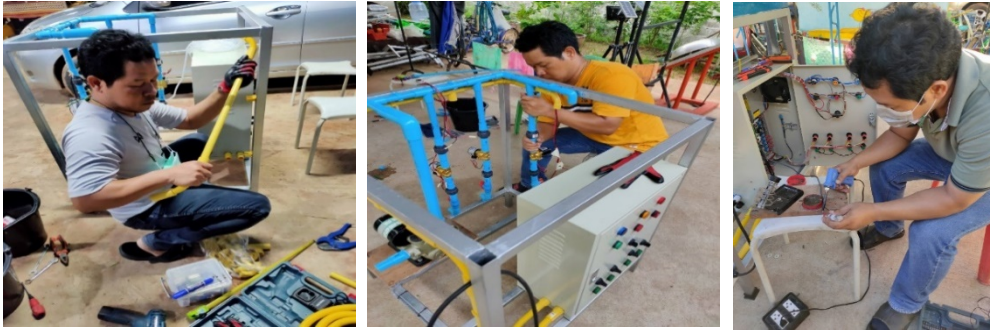
(1) การออกแบบตู้ควบคุม ก) รวบรวมข้อมูล และออกแบบตู้ควบคุม เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของอุปกรณ์ในแต่ละรูปแบบ ข) คัดเลือกรูปแบบตู้ควบคุมที่ออกแบบจากลักษณะที่มีข้อดีข้อเสีย และความยากง่ายของการหาอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุง การติดตั้ง และการเคลื่อนย้าย ค) รวบรวมข้อมูล เช่น คุณสมบัติ, ราคา ของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในตู้ควบคุม



รูปที่ 1 ออกแบบตู้ควบคุมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเขียนแบบ

(2) การออกแบบการทำงานของระบบอัจฉริยะ ก) ในการออกแบบระบบอัจฉริยะ จะแบ่งเป็นระบบรดน้ำพืช ระบบตั้งเวลาสั่งการทำงาน และระบบควบคุมความชื้นในดิน ข) เลือกอุปกรณ์สำหรับ ระบบรดน้ำ ระบบตั้งเวลาสั่งการทำงาน และระบบควบคุมความชื้นในดิน ค) ออกแบบวงจร และประกอบวงจร ระบบรดน้ำ ระบบตั้งเวลาสั่งการทำงาน และระบบควบคุมความชื้นในดิน ง) ทดสอบการทำงานของวงจรระบบรดน้ำ ระบบตั้งเวลาสั่งการทำงาน และระบบควบคุมความชื้นในดิน จ) เขียนโปรแกรมควบคุมทั้ง 3 ระบบ คือระบบรดน้ำ ระบบตั้งเวลาสั่งการทำงาน และระบบควบคุมความชื้นในดิน โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้ เงื่อนไข ข้อ 1) ระบบรดน้ำ โดยตั้งค่า ปุ่มสวิตซ์ในแอปพลิเคชันควบคุม ในการส่งคำสั่งไปยังรีเลย์เพื่อไปสั่ง เปิด-ปิด โซลินอยด์วาล์ว ในการรดน้ำ 2) ระบบควบคุมความชื้นในดิน โดยตั้งค่าความชื้นในดิน มีค่าเท่ากับค่าของตัวแปรที่เราตั้งไว้ ถ้าความชื้นในดิน ที่ตัวเซนเซอร์ตรวจจับความชื้น (Soil moisture sensor) มีค่าน้อยกว่าค่า ของตัวแปรที่ตั้งไว้ ปิมน้ำจะหยุดทำงาน และตรงกันข้าม เมื่อตัวเซนเซอร์ตรวจจับความชื้น (Soil moisture sensor) มีค่ามากกว่าค่าของตัวแปรที่ตั้งไว้ ปิมน้ำจะเริ่มทำงาน โปรแกรมจะทำการวนลูป (Loop) การทำงานโดยอิงจากตัวแปรที่ตั้งไว้ 3) ระบบตั้งเวลาสั่งการ โดยตั้งค่าฟังก์ชันโปรแกรมในแอปพลิเคชัน สำหรับการกำหนดเวลาในการสั่งการ เปิด-ปิด ปุ่มสวิตซ์ระบบรดน้ำในข้อที่ 1) โดยตรวจสอบตามเวลาที่เราได้ทำการกำหนดไว้ จนสิ้นสุดการทำงาน

1.4.3 ขั้นตอนการสร้าง (Making) ผู้วิจัยได้นำแบบจาก การออกแบบระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things มาทำการสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากการสร้างตู้ควบคุม และประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามแบบ



รูปที่ 2 การออกแบบและสร้างตู้ควบคุม



รูปที่ 3 ภาพรวมระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

1.5 ทดสอบ (Action)

1.5.1 ตรวจสอบตู้ควบคุม ให้เป็นไปตามแบบที่ได้ ออกแบบไว้ข้างต้น

1.5.2 ทดสอบการทำงานเซ็นเซอร์ความชื้นของดิน และทดสอบการทำงานแอปพลิเคชันควบคุมเซ็นเซอร์, สั่งการรดน้ำ และระบบตั้งเวลา

1.6 ปรับปรุงแก้ไข ผู้วิจัยได้นำผลของการทดสอบในกรณีที่มี ข้อผิดพลาดเพื่อดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ให้ระบบ มีความสมบูรณ์ ดังนี้

1.6.1 ปรับปรุงแก้ไขตู้ควบคุม ในส่วนของการทำกันสาดที่มีขนาดกว้างมากขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่ในตู้ควบคุมเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในช่วงเวลาที่ฝนตก อาจทำให้น้ำเข้าไปในตู้ควบคุมได้ จึงเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์สูง

1.6.2 ปรับปรุงแก้ไขเซ็นเซอร์วัดความชื้นของดิน ในส่วนของอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดความชื้นของดิน ให้มีความเสถียรและทนทานมากขึ้น ในการติดตั้งครั้งแรก ใช้ตัวเซ็นเซอร์ที่มีความทนทานต่ำ และส่งค่าได้ล่าช้า เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ต้องสัมผัสกับดินและความชื้น ปัญหาที่เกิดขึ้น คือสนิมจับที่ตัวอุปกรณ์ ทำให้การทำงานของอุปกรณ์ผิดพลาด เมื่อเปลี่ยน อุปกรณ์ให้มีความเสถียรและทนทานมากขึ้น ทำให้ทนต่อสภาวะการทำงานดีขึ้น และค่าที่ได้ตรงตามที่ต้องการ

1.6.3 ปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการส่งงานทาง โทรศัพท์มือถือ ในส่วนหน้าจอสไลด์ให้มีความละเอียดที่โดดเด่น เพื่อต่อการสังเกต และใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

1.7 ประเมินผล ผู้วิจัยได้นำระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things มาดำเนินประเมินผล โดยการประเมินคุณภาพ ดังแสดงในวิธีการดำเนินการวิจัยดังแสดงในขั้นตอนต่อไป

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ซึ่งมีรายละเอียดของการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับขั้นตอน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดลองประสิทธิภาพของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things มีขั้นตอนดังนี้
 - 1.1 คณะผู้วิจัยได้จัดเตรียมชุดระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
 - 1.2 ขั้นตอนที่ 1 เสียบปลั๊กไฟเข้ากับระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things และเปิดเบรกเกอร์
 - 1.3 ขั้นตอนที่ 2 เปิดสวิตช์หน้าตู้ ทำการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตเข้ากับบอร์ด ESP32 ให้เรียบร้อย
 - 1.4 ขั้นตอนที่ 3 ทดลองประสิทธิภาพของระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว และบันทึกผลการทดลอง
 - 1.5 ขั้นตอนที่ 4 ทดลองประสิทธิภาพระบบเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน และบันทึกผลการทดลอง
 - 1.6 ขั้นตอนที่ 5 ทดลองประสิทธิภาพระบบตั้งเวลาในการทำงาน และบันทึกผลการทดลอง
2. คณะผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 - 2.1 ดำเนินการติดต่อประสานงานผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ ความสามารถ ที่เป็นอาจารย์สอนหรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยมีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 5 ปี ในการประเมินคุณภาพ ระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
 - 2.2 คณะผู้วิจัยนัดวัน เวลา และสถานที่ในการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
 - 2.3 คณะผู้วิจัยเริ่มจากการแนะนำตนเอง ชี้แจงถึงวัตถุประสงค์จุดมุ่งหมายของการวิจัยในครั้งนี้ และแนะนำการใช้งานระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
 - 2.4 คณะผู้วิจัยให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
 - 2.5 คณะผู้วิจัยแจกแบบประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ให้ผู้เชี่ยวชาญ
 - 2.6 ผู้เชี่ยวชาญดำเนินการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things
3. คณะผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล จากศึกษาประสิทธิภาพ และจากการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปการวิจัยต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ค่าร้อยละ (Percentage) (ธานินทร์, 2560)
2. การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Arithmetic mean) (มนตรี, 2557)
3. การวิเคราะห์หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) (มนตรี, 2557)
4. การวิเคราะห์คุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) แบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ คือ (สุมาลี, 2542)
 - คะแนนเท่ากับ 5 คือ คุณภาพดีมาก
 - คะแนนเท่ากับ 4 คือ คุณภาพดี
 - คะแนนเท่ากับ 3 คือ คุณภาพปานกลาง

คะแนนเท่ากับ 2 คือ คุณภาพน้อย

คะแนนเท่ากับ 1 คือ คุณภาพน้อยที่สุด

และเกณฑ์การประเมินคุณภาพระบบร่น้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things จัดระดับค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับ คือ (สุมาลี, 2542)

คะแนนเท่ากับ 4.50-5.00 มีคุณภาพดีมาก

คะแนนเท่ากับ 3.50-4.49 มีคุณภาพดี

คะแนนเท่ากับ 2.50-3.49 มีคุณภาพปานกลาง

คะแนนเท่ากับ 1.50-2.49 มีคุณภาพน้อย

คะแนนเท่ากับ 1.00-1.49 มีคุณภาพน้อยที่สุด

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินคุณภาพระบบร่น้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ค่าร้อยละ (Percentage)

ค่าร้อยละ หมายถึง การคำนวณหาสัดส่วนของข้อมูลในแต่ละตัวเทียบกับข้อมูลรวมทั้งหมด โดยให้ข้อมูลรวมทั้งหมดมีค่าเป็นร้อย (ธานินทร์, 2560)

สูตร

$$\text{ร้อยละ (\%)} = \frac{X \times 100}{n}$$

เมื่อ X แทน จำนวนข้อมูล (ความถี่) ที่ต้องการนำมาหาค่าร้อยละ
N แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) หมายถึง การหารผลรวมของข้อมูลทั้งหมดด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด (มนตรี, 2557) ดังนี้

สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของเลขคณิต
 $\sum x$ แทน ผลรวมของข้อมูลทุกค่า
n แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) เป็นค่าวัดการกระจายที่สำคัญทางสถิติ เพราะเป็นค่าที่ใช้บอกถึงการกระจายของข้อมูลได้ดีกว่าค่าพิสัย (มนตรี, 2557) ดังนี้

สูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ	S.D.	แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	X	แทน ข้อมูล (ตัวที่ 1,2,3...,n)
	$\bar{X}$	แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
	n	แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะที่ใช้ Internet of Things

การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะที่ใช้ Internet of Things คณะผู้วิจัยได้นำตารางการบันทึกผลจากการทดสอบประสิทธิภาพ โดยมีผลของการทดสอบหาประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว

จำนวนครั้ง	ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว (เปอร์เซ็นต์)			
	วาล์ว1	วาล์ว2	วาล์ว3	วาล์ว4
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	1	1	1	1
9	1	1	1	1
10	1	1	1	1
คิดเป็นร้อยละ 100				

หมายเหตุ: 1 ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ทำงาน
0 ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ไม่ทำงาน

สรุปผลจากตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ในภาพรวมพบว่า ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว สามารถทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 ของประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน

จำนวนครั้ง	ระบบเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์)			
	77	78	79	80
1	1	1	1	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	1	1	1	1
9	1	1	1	1
10	1	1	1	1
คิดเป็นร้อยละ 100				

หมายเหตุ: 1 ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ทำงาน

0 ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ไม่ทำงาน

สรุปผลจากตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน ในภาพรวมพบว่าระบบเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน สามารถทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 ของประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตั้งเวลาในการทำงาน

จำนวนครั้ง	ระบบตั้งเวลาในการทำงาน (เปอร์เซ็นต์)		
	06.00	12.00	18.00
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
คิดเป็นร้อยละ 100			

หมายเหตุ: 1 ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ทำงาน

0 ระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ไม่ทำงาน

สรุปผลจากตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบตั้งเวลาในการทำงาน ในภาพรวมพบว่า ระบบตั้งเวลาในการทำงานสามารถทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 ของประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ในภาพรวม

ลำดับ	รายการ	ร้อยละ
1	ผลการทดลองหาประสิทธิภาพระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว	100
2	ผลการทดลองหาประสิทธิภาพระบบเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน	100
3	ผลการทดลองหาประสิทธิภาพระบบตั้งเวลาในการทำงาน	100
ค่าเฉลี่ยรวม		100

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ในภาพรวม มีระดับการทดสอบประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งหมด ซึ่งเกินสมมติฐานที่ตั้งไว้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผลการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

ผลการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ผู้วิจัยได้ดำเนินการหาประสิทธิภาพ โดยมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในด้านการออกแบบ ด้านวัสดุอุปกรณ์ ด้านการใช้งาน ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษาและความปลอดภัย ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ในภาพรวม

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ด้านการออกแบบ	4.60	0.51	ดีมาก
2. ด้านวัสดุอุปกรณ์	4.73	0.48	ดีมาก
3. ด้านการใช้งาน	4.84	0.28	ดีมาก
4. ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษา และความปลอดภัย	4.46	0.49	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.66	0.44	ดีมาก

จากตารางที่ 5 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ในภาพรวมมีระดับความคิดเห็นในภาพรวม อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.66 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.44

3. ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้ระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

ผลการประเมินความพึงพอใจสำหรับแสดงความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

ตารางที่ 6 แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	ความพึงพอใจ
1. ด้านความสำคัญของเทคโนโลยี IoT			
1.1 เทคโนโลยี IoT มีความจำเป็นและสำคัญในยุคปัจจุบันทำให้มีความสะดวกสบายยิ่งขึ้น	4.83	0.38	ดีมาก
1.2 การนำเทคโนโลยี IoT มาใช้ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมดูแลสั่งงาน การทำงานของระบบต่าง ๆ ได้ จากทุกที่ทุกเวลา ทันต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้	4.93	0.25	ดีมาก
1.3 Internet of Things มีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนในยุคปัจจุบัน	4.67	0.48	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.81	0.37	ดีมาก
2. ด้านความสามารถของระบบ			
2.1 สามารถสั่งการรดน้ำได้	4.90	0.31	ดีมาก
2.2 สามารถวัดค่าความชื้นในดินได้	4.40	0.50	ดี
2.3 สามารถตั้งเวลาในการทำงานได้	4.73	0.45	ดีมาก
2.4 สามารถใช้งานระบบหรือสั่งการผ่านสมาร์ตโฟนได้จากทุกที่ทุกเวลาที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้	4.83	0.38	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.72	0.41	ดีมาก
3. ด้านประโยชน์และการใช้งาน			
3.1 ผู้ควบคุมระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะ เป็นการนำเทคโนโลยี IoT ใช้สั่งการเปิด-ปิดวาล์วน้ำ ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น	4.67	0.48	ดีมาก
3.2 ช่วยให้เกษตรกรมีการจัดการที่ดีขึ้น ประหยัดเวลา และแรงงานในการดูแลสวนผ่านสมาร์ตโฟนได้	4.90	0.31	ดีมาก
3.3 ระบบช่วยควบคุมปริมาณการใช้น้ำได้อย่างมีคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพการดูแลรักษาผลผลิต	4.47	0.51	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.68	0.43	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	4.74	0.40	ดีมาก

จากตารางที่ 6 พบว่า แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things มีโดยรวมพบว่า มีความพึงพอใจในระดับดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40

การอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถ อภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things พบว่า ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบ ระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things อย่างเป็นระบบเพราะได้นำเอาแนวคิดกระบวนการ เทคโนโลยี มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things เนื่องมาจากกระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนที่ชัดเจน ที่เริ่มตั้งแต่ ขั้นตอน ในการศึกษาปัญหาและความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย จากนั้นได้รวบรวมข้อมูล เลือกรูปแบบ ออกแบบและสร้าง ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข และประเมินผล ทำให้สิ่งที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาและตอบสนองความต้องการในการปลูกพืช ของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า ในยุค 4.0 ได้มีการพัฒนาไปถึงจุดที่จะมีการควบคุมระหว่างอุปกรณ์จักรกล อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์เข้าด้วยกัน จนเกิดเป็นนิยาม อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) ไม่เพียงเพื่อ ให้ง่ายในงานเกษตรกรรมเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงอุตสาหกรรม และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ อีกด้วย (จตุรภัทร และคณะ, 2561)

2. ผลการทดลองประสิทธิภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ในภาพรวม มีระดับความคิดเห็นใน ภาพรวม ของการทดลองระบบรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว ระบบเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน และระบบตั้งเวลาทำงาน คิด เป็นร้อยละ 100 ดังนั้น ระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ ทำงานได้จริงตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุปรียา และไพสิฐ (2553) ที่ว่า การทำงานของเครื่องรดน้ำต้นไม้ อัตโนมัติจะรับค่าความชื้นและอุณหภูมิผ่านตัวเซ็นเซอร์เข้ามาประมวลผลโดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตัดสินใจว่าจะทำ การรดน้ำต้นไม้หรือไม่ และยังสามารถทำงานได้ในโหมดการตั้งเวลาทำการรดน้ำต้นไม้ตามเวลาที่ตั้งไว้โดยการเปิด-ปิดน้ำซึ่งจะ ควบคุมผ่านโซลินอยด์วาล์ว สามารถทำงานได้จริงตามที่ออกแบบไว้ทุกประการ (สุปรียา และไพสิฐ, 2553)

3. ผลการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things จากผู้เชี่ยวชาญ ในภาพรวม มีระดับ ความคิดเห็น อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก โดยที่ความคิดเห็นต่อการใช้งาน อยู่ในระดับที่มีคุณภาพมากที่สุด ซึ่งสอดคล้อง กับงานวิจัยของ ปวันนพัสตร์ และคณะ (2563) ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือน ปลูกพืช โดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังที่มีผล การประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก (ปวันนพัสตร์ และ คณะ, 2563)

4. ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things จากการที่ผู้วิจัยได้ ทำการสาธิต และถ่ายทอดการใช้ระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ให้กับเกษตรกรที่สนใจนั้น โดยรวม พบว่า มีความพึงพอใจในระดับดีมาก

บทสรุป

ผลการพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things นั้น สามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกษตรกรพบเจอใน ปัจจุบัน คือ สามารถช่วยสั่งการรดน้ำได้สะดวก และรวดเร็วขึ้น สามารถช่วยควบคุมความชื้นในดินได้เหมาะสมต่อการ เจริญเติบโตของพืช และสามารถช่วยกำหนดการตั้งเวลาในการทำงานของระบบน้ำเพื่อให้พืชได้น้ำที่ตรงเวลา และสม่ำเสมอ ตามที่พืชต้องการ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการลดต้นทุน และแรงงาน ที่มีความสิ้นเปลือง ของรายจ่ายในการจ้างงาน จึงเป็นแนวทางของการพัฒนานำไปสู่เกษตรอัจฉริยะที่ใช้ Internet of Things

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ในภาพรวม มีระดับการทดสอบประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งหมด ซึ่งเกินสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่ามีประสิทธิภาพ

ผลการประเมินคุณภาพระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things ในภาพรวม มีระดับความคิดเห็นในภาพรวม อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.66 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.44 แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things มีโดยรวมพบว่า มีความพึงพอใจในระดับดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40

ดังนั้น ในการออกแบบและพัฒนาระบบรดน้ำเกษตรอัจฉริยะโดยใช้ Internet of Things สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาให้กับเกษตรกร ที่ยังมีการใช้รูปแบบการเกษตรที่ดั้งเดิมให้มีการพัฒนาสู่รูปแบบใหม่ของเกษตรอัจฉริยะมากขึ้น จึงถือเป็นโอกาสของเกษตรกรที่สามารถพัฒนาให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและให้ข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำงานวิจัยเป็นอย่างดีและขอขอบคุณเจ้าของบทความ เอกสาร ตำราและหนังสือ ที่คณะผู้วิจัยใช้ในการสืบค้นในบรรณานุกรมท้ายเล่มทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

- จตุรภัทร วาฤทธิ์, โชติพงษ์ กาญจนประโชติ, ทัดพงษ์ อวิโรธนานนท์, อุกฤษณ์ มารังค์, สมนึก สีนุปวน, อลงกต กองมณี และ นนท ปิ่นเงิน. (2561). องค์ความรู้ระบบ MJU Smart Farm and Solutions. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ หก.วนิดา การพิมพ์:เชียงใหม่.
- ซัชชัย คุณบัว. (2562). IoT: สถาปัตยกรรมและการสื่อสาร Internet of Things. โรงพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ.
- ณัฐฤติรัตน์ ปัทมะ. (2563). การพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะของประเทศไทย. กลุ่มงานวิจัยและข้อมูลสำนักวิชาการ. สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา: กรุงเทพฯ.
- ถิรพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์. (2559). เทคโนโลยี Internet of Things และข้อเสนอแนะในการบริหารคลื่นความถี่ในประเทศไทย. วารสารกสทช: 167-194.
- ธานินทร์ ศิลปจารุ. (2560). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS. พิมพ์ครั้งที่ 17. โรงพิมพ์ปิส ชินเสอาร์ แอนด์ดี: กรุงเทพฯ.
- ปวันนพัสตร์ ศรีทรงเมือง, ชาญณรงค์ ศรีทรงเมือง, สุนา บุชบก, ชุตติกานต์ หอมทรัพย์ และศุภกาญจน์ คงสมแสง. (2563). การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง. ค้นเมื่อ 11 กรกฎาคม 2565. <https://shorturl.asia/uPnrt>.
- มนตรี สังข์ทอง. (2557). หลักสถิติ. โรงพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ.
- วิวัฒน์ มีสุวรรณ. (2558). อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา Internet of Things on Education. ค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2565. <https://shorturl.asia/P1kNu>.
- สุกัญญา แซ่มซ้อย. (2558). การนำเทคโนโลยีสู่ห้องเรียนและโรงเรียนในศตวรรษที่ 21. ค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2565. https://so06.tci-thaijo.org/index.php/edujournal_nu/article/view/43757.

สาขาออกแบบและเทคโนโลยี. (2554). กระบวนการเทคโนโลยี. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

จังหวัดกรุงเทพมหานคร. 3-5.

สุมาลี จันทร์ชลอ. (2542). การวัดและประเมินผล. โรงพิมพ์ หจก.สุเมตรฟิล์ม:กรุงเทพฯ.

สุปรียา มะโนมัน และไพสิฐ มูลเพิ่ม. (2553). เครื่องร่อนน้ำต้นไม้อัตโนมัติ. ค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2565.

<http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/7303>.

- A study of vector analysis in a rotating magnetic field using Scilab
Penpark Sirimark, Wasinee Pradubsri, Phatthanan Boonsaduak and Thawatchai Boontan
- Smart parking system using Internet of Things
Prem Enkvetchakul and Kittikoon Boonkate
- Changing colors and compositions of aqueous chaya leaf extract in relations to temperatures and storage time
Sasimon Mungmai, Weerawate Utto, Watcharapong Wattanakul, Thita Soonthornvipat and Adul Apinan
- Develop an environment control system for the Bhutan oyster mushroom cultivation house by using the IoT embedded system
Teerapong Pennate, Komthong Yowaphui, Choosak Charangab, Panupong Boonrom, Udomdet Tarahom and Piyanoot Voraboot
- Interspecific hybridization of *Phalaenopsis* hybrids with *Phalaenopsis cornu-cervi* (Breda) Blume & Rchb.f., hybrid seed germination in vitro and the growth of hybrid plantlets
Chhen Chin and Nipawan Jitsopakul
- Solar cell performance for base station sites
Nattapong Mingpruk, Adisorn Nuan-On, Prachya Bumrungkun, Phatthanan Boonsaduak, Aditape Chantab, Pongpan Boonsan and Suttabongkot Yodruk
- Efficiency fungal inhibition of downy mildew in melon leaves by zinc oxide compounding ginger, galangal and phlai
Rattanaporn Somrit, Warut Koonnasoot, Thirawit Phonkhokkong, Areerat Muangsan, Patta pong Tiemtreet, Chanita Butrattana, Nirunchanan Chanchad and Natthiya Sudcharee
- Application of flex sensors to control devices for helping the elderly
Rujipan Sampanna, Thaptawee Thongtemkeaw, Panchanit Hengsrirawat and Termpong Srited
- A study on compaction characteristics and C.B.R. of embankment fill stabilized by hemp fiber
Cholticha Jeebtaku, Lawan Kankaset and Somjai Yubonchit
- Development of smart agricultural watering system using the Internet of Things
Suchat Dumnit