

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
Conference Proceedings



Faculty of Industrial Technology
Ubon Ratchathani Rajabhat University



การประชุมวิชาการระดับชาติ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
และวิศวกรรม **ครั้งที่ 6**

The 6th National Conference on Industrial
Technology and Engineering (NCITE 2021)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

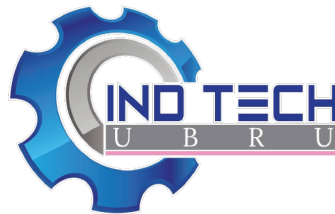
“Happyness Technology”

เทคโนโลยีแห่งความสุข

8-9 มีนาคม 2564

ณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
Conference Proceedings



การประชุมวิชาการระดับชาติ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
และวิศวกรรม **ครั้งที่ 6**

The 6th National Conference on Industrial
Technology and Engineering (NCITE 2021)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

“Happyⁿess Technology”

เทคโนโลยีแห่งความสุข

8-9 มีนาคม 2564

ณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

สารจากคณบดี



ในนามของผู้บริหาร คณาจารย์ และนักศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ขอต้อนรับคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ และนักศึกษาทุกท่านจากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศที่มีร่วมงานประชุมวิชาการระดับชาติ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ซึ่งจัดต่อเนื่องมาโดยตลอด โดยในครั้งนี้นี้จัดขึ้นเป็นครั้งที่ 6 และตรงกับครบรอบ 25 ปี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีด้วย

ในการจัดประชุมวิชาการระดับชาติในครั้งนี้ทางคณะผู้จัดงานได้วางธีมงานว่า “HappyNess Technology” ซึ่ง ทางคณะผู้จัดงานได้ตั้งใจในการใช้คำตามที่ปรากฏเพราะเราต้องการสื่อให้เห็นถึงความสุขที่เราได้รับนั้นมีความสำคัญจากการที่ทุกท่าน ($y \Rightarrow you$) ให้ความสนใจในการประชุมวิชาการวิชาการระดับชาติในครั้งนี้ เราจึงมุ่งเป้าไปที่ทำอย่างไรให้ทุกท่านมีความสุขในการเข้าร่วมประชุมวิชาการระดับชาติในครั้งนี้อย่างเต็มกำลัง

กระผมใคร่ขอเรียนให้ท่านทราบว่า การจัดการประชุมวิชาการระดับชาติในครั้งนี้ เป็นไปตามนิยมของการประชุมวิชาการระดับชาติที่ระบุไว้ในคู่มือการประการคุณภาพการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา พ.ศ. 2557 โดยบทความฉบับสมบูรณ์ (Full paper) ได้รับการตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Proceedings) ในรูปแบบ Online มีผู้ประเมินบทความที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องบทความ และมีบทความที่มาจากหน่วยงานภายนอกสถาบันอย่างน้อย 3 หน่วยงาน และรวมกันแล้วไม่น้อยกว่าร้อยละ 25

ในโอกาสนี้ขอให้ทุกท่านประสบความสำเร็จในการนำเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 6 นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม



Keynote Speaker

ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกขมาลิน

เกียรติประวัติและผลงานสร้างชื่อเสียง

- พ.ศ. 2557 * ได้รับพิจารณาจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ให้ได้รับรางวัลทุนเมธีวิจัยอาวุโส ซึ่งเป็นทุนที่ไม่มีการเปิดให้สมัคร แต่พิจารณาคัดเลือกโดยผู้ทรงคุณวุฒิและมอบให้กับผู้ที่ทำวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง มีผลงานโดดเด่น และเป็นที่ยอมรับในสาขาวิชา โดยจะเข้ารับพระราชทานโล่เกียรตินิยม จากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ในวันศุกร์ที่ 10 เมษายน 2558
- พ.ศ. 2557 * ได้รับการสรรหาให้ดำรงตำแหน่งนายกสมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และเทคโนโลยีสารสนเทศ (สมาคม ECTI)
- พ.ศ. 2556 * ได้รับรางวัลผู้ปฏิบัติงานดีเด่น สายวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2555 * ได้รับการสรรหาให้ดำรงตำแหน่งอุปนายกสมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และเทคโนโลยีสารสนเทศ (สมาคม ECTI)
- พ.ศ. 2553 * ได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวโปรดเกล้าฯ ให้ดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
- พ.ศ. 2553 * ได้รับการสรรหาให้ดำรงตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตรนานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน (TGGS)

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2525 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาไฟฟ้า
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2529 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2533 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2540 PhD. In Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Delaware, USA.

ประวัติการทำงาน

- พ.ศ. 2529 วิศวกรวิจัยและพัฒนา บริษัท ไมโครเทค จำกัด
- พ.ศ. 2531 อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2543 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2546 รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พ.ศ. 2553 ศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ตำแหน่งปัจจุบัน

- * ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- * กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- * กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- * กรรมการสภาวิชาการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- * นายกสมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และเทคโนโลยีสารสนเทศ (สมาคม ECTI)
- * กรรมการสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (สมาคม EEAAT)
- * กรรมการสภาวิชาการในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (EECON)
- * อนุกรรมการเพื่อศึกษาและปรับปรุงตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ กสทช.

สถานที่ทำงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลขที่ 1518 ถ.ประชากรศาสตร์ สาย 1
แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 8518 E-mail : prayoot@kmutnb.ac.th

สถานที่ติดต่อ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลขที่ 1518 ถ.ประชากรศาสตร์ สาย 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 8518 มือถือ 08-6007-0202

สารบัญ			
รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน้า
EE-01	ชุดถ่ายโอนประจุแบบเตอรีสำหรับรถไฟฟ้าโดยใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์สองทิศทาง	สมนึก เครือสอน ทัศน์ะ ถมทอง บุญฤทธิ์ คงรักษา ชนัญญา ปัญญาดี ปรียาภรณ์ ปัญโญ	1
EE-02	การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุมชน กรณีศึกษา: บำบัดน้ำเสียในการเลี้ยงกุ้ง	สุรพงษ์ แก่นมณี	11
EE-03	การมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์สำหรับเมตริกคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส	พรชัย พรหุทัย ประจักษ์ บุญภักดี นฎกร สิริมงคลกาล	21
EE-04	ชุดประจุแบบเตอรีจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องตีเส้นสนามฟุตบอล	ก่อเกียรติ อืดทรัพย์ ก้องภพ มาเครือ ยุทธพิชัย สายเสื่อ	31
IT-01	การพัฒนาระบบควบคุมและติดตามสถานะของคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตาม	เอกรินทร์ วาโย กุลยุทธ บุญแข็ง	41
IT-02	ระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และการให้แสงในโรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อย	เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล อนิรุทธิ์ จันภิรมย์ ธรรมศาสตร์ มาพันธ์ดุง นพชัย คงเจริญ	55
IT-03	เครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย	สิทธิพงษ์ เพ็งประเดิม สมนึก เครือสอน นุวัต เดชตระการ ศศิประภา ยาดี อัครเดช ธรรมชัย	65
IT-04	ระบบจัดการโรงเพาะเห็ดด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง	นมีนตรา วงศ์หาบุศย์ พันธกร วังทะพันธ์	73
CE-01	กรณีศึกษาการนำโครงสร้างเหล็กถูกไฟไหม้กลับมาใช้งานใหม่	ปรัชญา ก้านบัว ชลธิชา จีบตะคุ ณัฐวุฒิ อินทบุตร	83

สารบัญ

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน้า
CE-02	การวิเคราะห์ความเค้นรอยบากของรอยต่อเชื่อมระหว่างสันกับพื้นบริเวณรอยต่อสันในพื้นที่สะพานออร์โทโทรปิก	ทองสร้อย ศรีสวาท ปิยะ โชติกไกร	91
CE-03	กำลังรับแรงอัดของเสาอิฐบล็อกประสาน	ฐิตินันท์ ชันธเกษ อิสระ เหล่าเกา สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา	101
CE-04	พฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานบล็อกประสาน	ชัยศักดิ์ สิงห์ทองทัศน์ วัฒนา วงสามารถ เจษฎา ต่านสร้อย สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา	111
IN-01	การพัฒนาชุดลำเลียงในเครื่องสับย่อยมะพร้าว น้ำหอมในชุมชน	วัชร หอมหวาน สมศักดิ์ คำมา ชัชวาล นิยมโรธรรม นรินทร์ กุลนภาดล	121
IN-02	การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจังหวะร่วมกับอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ การอบแห้งและคุณภาพสีของดอกบัว	วรวิมล มานะงาน ณัฐหทัย แซ่ย่าง ศรีมา แจ้คำ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	131
IN-03	การอบแห้งแป้งทำยายม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	จินดา วิเศษ กมลวรรณ จิตจักร กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	141
IN-04	ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนพัลส์ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดไกล	วีระพันธุ์ มานันตพงศ์ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	153
EE-05	การพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง	สุวายุพัฒน์ สุวรรณภษิต จุฑามณี มานพ สุรพงษ์ แก่นมณี ประยูทธ อินแบน	163

สารบัญ			
รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน้า
EE-06	ผลกระทบของหม้อแปลงขนาด 500 kVA เมื่อตั้งสถานีและชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงมีโหลดใช้งานสูงสุด	ศิลาปชัย กลิ่นไกล ภุมรินทร์ ทวีขศรี วีระพงษ์ ทองสา	173
EE-07	การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดอันดับฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรซีโอร์สโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ของคาร์ดาโน	ธีรนนท์ ไชยคุณ พิสิษฐ์ ลี้ธนกกุล	183
EE-08	เทคนิคการทบทวนการกำหนดค่าเซตตั้งการทำงาน ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงดันตกในตู้จ่ายไฟหลักของอาคาร	ธงชัย คล้ายคลึง ประจวบ อินระวงศ์ วุฒิชัย สง่างาม กิตติวงศ์ สุธรรมโน	193
IT-05	จักรยานธรรมะ นวัตกรรมที่เหมาะสมกับพระสงฆ์และชุมชนภาคเหนือประเทศไทย	พนิดา จงสุขสมสกุล พนมขวัญ ธิยะมงคล สุเมธ เหมะวัฒนะชัย ปิยะรัชต์ ธรรมวัฒน์กุล	207
IT-06	ระบบจำแนกตัวงานอัจฉริยะด้วยเทคนิควิเคราะห์ข้อความไทย-อังกฤษ และการเรียนรู้ของเครื่อง	นายเฉลิมชัย พิเศษ ศุภชัย ไทยเจริญ	223
CE-01	คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่มีถุงพลาสติกเป็นส่วนผสมเพื่อลดต้นทุนการผลิต	ลาวัลย์ ชื่นเกษตร	231
CE-02	อิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ ตามมาตรฐาน มผช.	ยอดชาย สิงห์ทอง ชนะรบ วิชาลัย	241
CE-03	การวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการของถนนอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี	อรรวรรณ จันทสุโท สุภัทรา สีแดง อนุสรธา ธานี	249
CE-04	คุณสมบัติเชิงกลอิฐบล็อกผสมเถ้าฝักตบขวา	ณัฐวุฒิ อินทบุตร สุนนต์ สวนดอกไม้ เกริกพล ชุ่มมา	263
CE-05	อิทธิพลของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและขนาดของมวลรวมต่อการขยายตัวจากปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกา	รัฐนัย หนูกุล ปิยะ โชติโกกร สุวิมล สัจจาณิษฐ์	271

สารบัญ

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน้า
IM-01	การวิเคราะห์แผนภูมิวงรอบเหตุและผลสำหรับแบบจำลองพลวัตของระบบห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัย	ชีวาพร ไชยพันธ์ เมธาวิณ สามสี กสิณ รังสิกรรพุม	281
IM-02	การเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยระหว่างสภาพที่คาดหวังกับสภาพที่รับรู้จริงด้านคุณภาพของการบริการซ่อมแซมห้องชุดของผู้พักอาศัย	เทวกุล จันทร์ขามป้อม	291
IM-03	การศึกษาหาความต้องการด้านความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมในมุมมองของผู้ใช้บัณฑิต	ณัฐธิดา มินิลดี จุฬาลักษณ์ โสภา กุลศล พิมาพันธุ์ศรี	301
IM-04	การศึกษาหาทักษะที่สำคัญและปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการ	จุฬาลักษณ์ โสภา ณัฐธิดา มินิลดี กุลศล พิมาพันธุ์ศรี	311
IM-05	การลดของเสียในกระบวนการประกอบไดร์เวอร์หูฟัง โดยใช้แนวทางของคิวซีสตอรี	ปานจิต ศรีสวัสดิ์ เชษฐ ตรีเมตรี ศรัณย์ เหล่าอยู่คง ญาณวรุฒม์ สมสวย วชิระ มุ่งหมาย วุฒิจิกร์ ขานเกตู	319
EE-09	ปั้มน้ำใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต้นกำลังเป็นมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์	ทัศนะ ถมทอง สมนึก เครือสอน พัชรรัตน์ บางโปร่ง อานูวัฒน์ อินทะจันทร์	331
EE-10	การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก โดยใช้ตัวควบคุมแบบอัตราการปรับตัวคงที่	ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์	339

ชุดถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าโดยใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์สองทิศทาง Bidirectional Converter Battery Charger for EV

สมนึก เครือสอน^{1*} ทศนะ ถมทอง² บุญฤทธิ์ คงรักษา³ ชนัญญุ ปัญญาดี⁴ และ ปรียาภรณ์ ปัญโญ⁵
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก^{1*,2,3,4,5}

Somnuk Khruesorn^{1*} Tatsana Thomthong² Boonyarit Khongraksa³ Chananyu Punyadee⁴
and Preeyaporn Panyo⁵

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology-Lanna Tak^{1*,2,3,4,5}

E-mail : naynuk2013@gmail.com^{1*}, tatsana1971@gmail.com²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างสรรค์ชุดถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าโดยใช้วงจรแปลงผันแรงดันสองทิศทางแบบเชิงซ้อน เครื่องต้นแบบประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าสองทิศทางแบบเชิงซ้อน ส่วนที่สองแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 120 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 2 ลูก ส่วนสุดท้ายตัวควบคุมการทำงานใช้ Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่เลือกโหมดการทำงานและสร้างสัญญาณควบคุมวงจรแปลงผันแรงดัน การทดสอบชุดต้นแบบจะทำการทดสอบ 4 แบบ คือ ถ่ายโอนจากแหล่งจ่ายภายนอกมาเครื่องต้นแบบ ถ่ายโอนจากเครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ 12, 24 และ 36 โวลต์ ทำการทดสอบ 2 ลักษณะ ลักษณะแรกการทดสอบสมรรถนะ โดยใช้การควบคุมแบบฟีดแบ็คปัสซีฟ พบว่าสามารถถ่ายโอนกระแสไฟฟ้าได้ 10 แอมแปร์ ทั้ง 4 แบบ ลักษณะที่สองการถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่ โดยมีการควบคุมช่วงแรกแบบกระแสคงที่และช่วงท้ายแบบแรงดันคงที่ พบว่าช่วงแรกกระแสไฟฟ้าในการประจุได้เพิ่มขึ้นไปที่ 6, 5, 9 และ 10 แอมแปร์ ในขณะที่แรงดันประจุแบตเตอรี่เป็น 27.6, 13.8, 27.6 และ 41.4 โวลต์ตามลำดับ และหยุดประจุเมื่อกระแสสุดท้ายต่ำกว่า 1 แอมแปร์

คำสำคัญ วงจรแปลงผันแรงดันสองทิศทางแบบเชิงซ้อน ชุดถ่ายโอนประจุระหว่างแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

Abstract

This paper presents the construction of the battery charger for EV using the bidirectional DC to DC converter. The prototype consists of 3 parts. The first part is the bidirectional DC to DC converter. The second part is two 12 V 120 Ah batteries. The final is the controller, which uses Arduino Mega 2560, to select the operating mode and generate the signal for controlling the bidirectional DC to DC converter. The prototype testing will perform four types, which is transferring from an external source to the prototype and transferring from the prototype to 12, 24 and 36 V batteries by testing two cases with fixed step size control. First, the performance testing found that it was able to transfer 10 A current for four testing types. Finally, battery power transfer testing, which uses constant current control in first stage and constant voltage control in final stage, found that initially, the charging current climbed to 6, 5, 9 and 10 A while the battery

voltage was 27.6, 13.8, 27.6 and 41.4 V respectively and stopped charging when the final current was below 1 A.

Keywords: Complex bidirectional converter, Battery charger for electric vehicle

1. บทนำ

ในอนาคตอันใกล้รถไฟฟ้าคือยานยนต์ที่ได้รับการยอมรับว่าจะมาแทนที่รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน เนื่องจากรถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง [1] นอกจากนั้นพลังงานไฟฟ้ายังผลิตได้จากหลากหลายเทคโนโลยีและทุกประเทศทั่วโลกผลิตได้ ส่วนรถยนต์เครื่องสันดาปภายในจะใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดขึ้นเรื่อย ๆ อีกทั้งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำลายชั้นบรรยากาศ และทำให้เกิดมลพิษในอากาศอีกด้วย สำหรับรถไฟฟ้าในอนาคตจะเป็นรถไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้า 100 เปอร์เซ็นต์ โดยพลังงานทั้งหมดจะประจุไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งในประเด็นนี้กลุ่มผู้วิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาบางครั้งบางคราวที่ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประจุอยู่ในแบตเตอรี่มีไม่เพียงพอที่จะนำรถไฟฟ้าไปสู่จุดหมายปลายทางได้ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ลืมประจุแบตเตอรี่ ประจุแบตเตอรี่ไม่เต็ม ประสิทธิภาพการระเหยทางผิด แบตเตอรี่เสื่อม เป็นต้น คณะผู้วิจัยคาดการณ์ว่าเหตุลักษณะนี้จะเกิดขึ้นอย่างแน่นอนสิ่งที่เกิดขึ้นตามมาคือจะมีรถไฟฟ้าจอดรอการแก้ไขสถานการณ์บนถนนในแต่ละวันจำนวนมาก เพื่อแก้ปัญหานี้กลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะสร้างชุดถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่ จากแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าคันอื่น หรือจากแบตเตอรี่สำรองที่สร้างมาเพื่อแก้ปัญหาโดยเฉพาะ สำหรับการถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่นี้จะสามารถช่วยแก้ปัญหาที่แบตเตอรี่หมดระหว่างทางจากกรณีที่กล่าวมาข้างต้นให้มีพลังงานไฟฟ้าประจุให้กับแบตเตอรี่ได้สัก 20-30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาไม่นาน เพื่อให้รถไฟฟ้าสามารถวิ่งต่อไปยังสถานีชาร์จประจุไฟฟ้าหลักได้

2. วิธีวิจัย

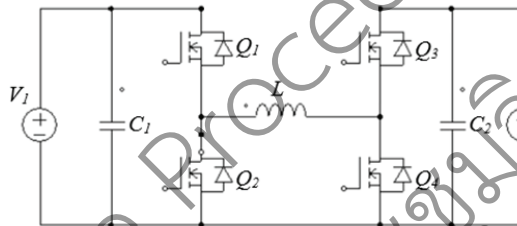
2.1 ชุดถ่ายโอนแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้านำเสนอ

สำหรับการออกแบบชุดถ่ายโอนแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้านี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบชุดถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่จากจากแบตเตอรี่สำรองมายังแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ส่วนการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากรถไฟฟ้าสู่รถไฟฟ้าจะเป็นงานวิจัยลำดับต่อไป โดยชุดต้นแบบนี้จะใช้แบตเตอรี่สำรองที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์โดยใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2 ลูก ในการออกแบบชุดต้นแบบนี้สามารถถ่ายโอนพลังงานหรือคายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำรองไปแบตเตอรี่รถไฟฟ้าที่ระดับแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ ต่ำกว่า ระดับเดียวกันและสูงกว่าคือที่ 12, 24 และ 36 โวลต์ ได้แล้ว ทางกลุ่มผู้วิจัยยังต้องการออกแบบให้ชุดต้นแบบนี้สามารถประจุพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งอื่นเพื่อนำมาเก็บในแบตเตอรี่สำรองนี้ได้ด้วย จากการศึกษาชุดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าในปัจจุบันจะแบ่งออกได้ 2 แบบ [2] แบบแรกการประจุแบบปกติ (Normal charge) ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับประจุผ่านวงจรประจุที่ติดตั้งมากับตัวรถไฟฟ้าซึ่งจะประจุด้วยกำลังไฟฟ้าต่ำและใช้เวลาในการประจุมาก แบบที่สองการประจุแบบเร็ว (Quick charge) ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงประจุเข้าแบตเตอรี่โดยตรงโดยใช้วงจรประจุหรือวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าภายนอก สำหรับการประจุแบบนี้จะประจุด้วยกำลังไฟฟ้าสูงและใช้เวลาน้อย จากการศึกษาวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่สามารถควบคุมให้พลังงานไฟฟ้าไหลได้สองทิศทางมีด้วยกันหลายตัว [3] เช่น วงจรซีพิกและเซต้าคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง วงจรสลับตัวเก็บประจุแบบสองทิศทาง วงจรชุกคอนเวอร์เตอร์

แบบสองทิศทาง วงจรทบทและทอนระดับแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทางเชิงซ้อน วงจรทบทและทอนระดับแรงดันไฟฟ้าแบบสองทิศทาง สำหรับในงานวิจัยนี้กลุ่มวิจัยเลือกใช้ คือ วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าสองทิศทางแบบเชิงซ้อน เนื่องจากสามารถถ่ายโอนพลังงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกันได้ทั้งการประจุและคายประจุ

2.2 วงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้าสองทิศทางแบบเชิงซ้อน

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าสองทิศทางแบบเชิงซ้อน ดังวงจรในรูปที่ 1 เป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าที่สามารถทำงานในโหมดทบทแรงดันไฟฟ้าและทอนระดับแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งสองทิศทาง โดยการควบคุมสวิตช์ Q1-Q4



รูปที่ 1 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าสองทิศทางแบบเชิงซ้อน

จากวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าสองทิศทางแบบเชิงซ้อนในรูปที่ 1 กำหนดให้ V_1 เป็นแหล่งจ่ายภายใน และ V_2 เป็นแหล่งจ่ายภายนอก สามารถควบคุมสวิตช์ Q1-Q4 ให้ทำงานได้ 4 โหมด ดังนี้

2.2.1 โหมดถ่ายโอนพลังงานออกแบบทบทแรงดันไฟฟ้า

สำหรับการทำงานในโหมดนี้จะเป็นการถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งจ่ายภายใน V_1 ไปยังแหล่งจ่ายภายนอก V_2 โดยระดับแรงดัน V_1 ต่ำกว่าระดับแรงดัน V_2 ดังนั้นต้องควบคุมสวิตช์ Q1-Q4 ให้ทำงานในโหมดทบทแรงดันไฟฟ้างดังแสดงในรูปที่ 2 (ก)

2.2.2 โหมดถ่ายโอนพลังงานออกแบบทอนแรงดันไฟฟ้า

สำหรับการทำงานในโหมดนี้จะเป็นการถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งจ่ายภายใน V_1 ไปยังแหล่งจ่ายภายนอก V_2 โดยระดับแรงดัน V_1 สูงกว่าระดับแรงดัน V_2 ดังนั้นต้องควบคุมสวิตช์ Q1-Q4 ให้ทำงานในโหมดทอนแรงดันไฟฟ้างดังแสดงในรูปที่ 2 (ข)

2.2.3 โหมดถ่ายโอนพลังงานเข้าแบบทบทแรงดันไฟฟ้า

สำหรับการทำงานในโหมดนี้จะเป็นการถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งจ่ายภายนอก V_2 มายังแหล่งจ่ายภายใน V_1 โดยระดับแรงดัน V_2 ต่ำกว่าระดับแรงดัน V_1 ดังนั้นต้องควบคุมสวิตช์ Q1-Q4 ให้ทำงานในโหมดทบทแรงดันไฟฟ้างดังแสดงในรูปที่ 2 (ค)

2.2.4 โหมดถ่ายโอนพลังงานเข้าแบบทอนแรงดันไฟฟ้า

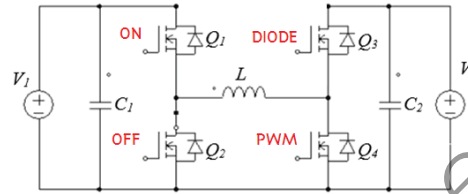
สำหรับการทำงานในโหมดนี้จะเป็นการถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งจ่ายภายนอก V_2 มายังแหล่งจ่ายภายใน V_1 โดยระดับแรงดัน V_2 สูงกว่าระดับแรงดัน V_1 ดังนั้นต้องควบคุมสวิตช์ Q1-Q4 ให้ทำงานในโหมดทอนแรงดันไฟฟ้างดังแสดงในรูปที่ 2 (ง)

โดยสัญลักษณ์การควบคุมการทำงานสวิตช์ Q1-Q4 มีดังนี้

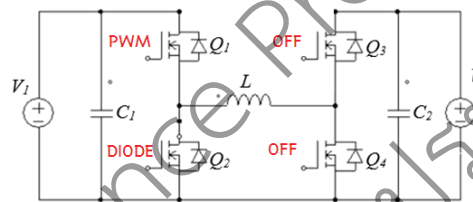
PWM คือ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (Switching) สัญญาณควบคุม PWM

DIODE คือ ทำหน้าที่เป็นไดโอด สัญญาณควบคุม หยุดทำงาน (OFF)

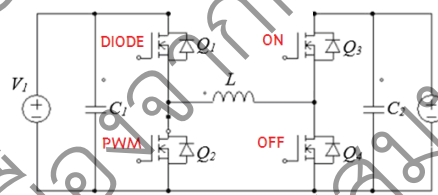
- OFF คือ ทำหน้าที่ เปิดวงจร สัญญาณควบคุม หยุดทำงาน (OFF)
ON คือ ทำหน้าที่ เชื่อมวงจร สัญญาณควบคุม ทำงาน (ON)



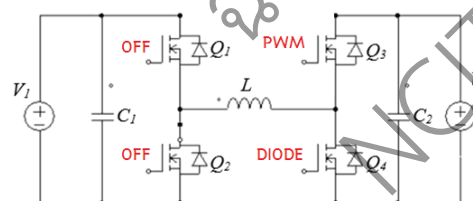
(ก)



(ข)



(ค)

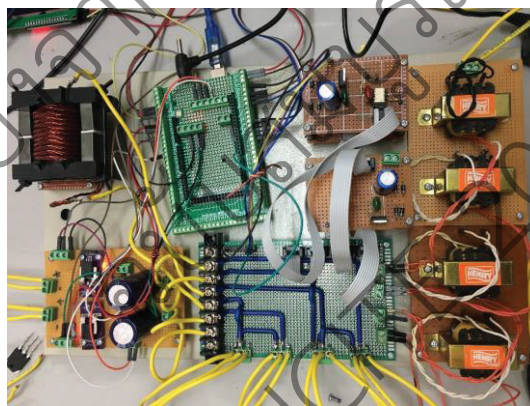
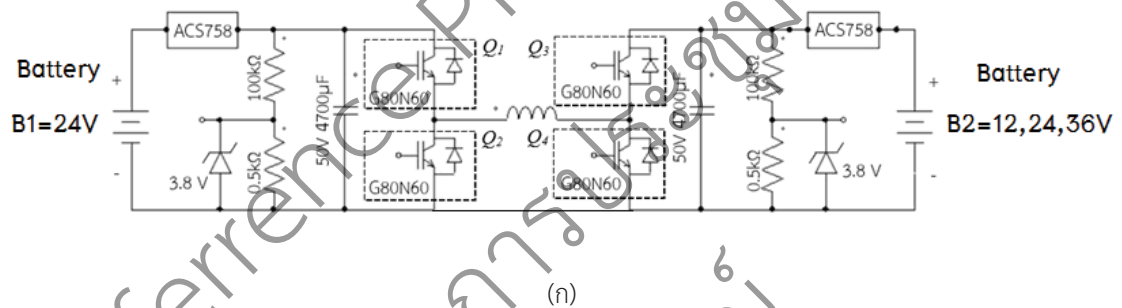


(ง)

รูปที่ 2 การควบคุมวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าสองทิศทางทำงานในโหมดต่าง ๆ (ก) โหมดถ่ายโอนพลังงานออกแบบ
ทบทวนแรงดันไฟฟ้า (ข) โหมดถ่ายโอนพลังงานออกแบบทอนแรงดันไฟฟ้า (ค) โหมดถ่ายโอนพลังงานเข้าแบบ
ทบทวนแรงดันไฟฟ้า และ (ง) โหมดถ่ายโอนพลังงานเข้าแบบทอนแรงดันไฟฟ้า

2.3 ชุดถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่สองทิศทางแบบเชิงซ้อน เครื่องต้นแบบ

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ชุดถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่ต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) ประกอบด้วย แบตเตอรี่สำรองในเครื่องต้นแบบ (แบตเตอรี่ B1) มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์สร้างจากแบตเตอรี่ ชนิดเจล (GEL type) แบบ Deep cycle 120 แอมแปร์-ชั่วโมง 12 โวลต์ 2 ลูก ส่วนแบตเตอรี่รีถัไฟฟ้า (แบตเตอรี่ B2) มีด้วยกัน 3 ระดับ คือ 12, 24 และ 36 โวลต์ โดยใช้แบตเตอรี่ชนิดเจล แบบ Deep cycle 35 แอมแปร์-ชั่วโมง 12 โวลต์ 3 ลูก กำหนดให้วงจรถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องที่ 10 แอมแปร์ ขดลวด 20 μH ความถี่ สวิตซ์ที่ 31 kHz สวิตซ์ใช้ IGBT เบอร์ G80N60 ขับด้วยวงจรถัก TLP250 ตัวตรวจจับกระแสเป็นโมดูล ACS758 ตัวตรวจจับแรงดันใช้วงจรแบ่งแรงดันต่อร่วมกับซีเนอร์ไดโอด 3.8 โวลต์ โดยทั้งหมดจะถูกควบคุมโดย อาคิโน MEGA 2560 เมื่อประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกันจะได้ชุดถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่สองทิศทาง เครื่องต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข)



รูปที่ 3 ชุดถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่สองทิศทาง (ก) วงจรถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่สองทิศทางเครื่องต้นแบบ และ (ข) ชุดถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่สองทิศทางเครื่องต้นแบบ

2.4 การควบคุมแบบฟิกสตีปไซส์

สำหรับการควบคุมแบบฟิกสตีปไซส์ (Fixed step size) [4] เป็นการควบคุมแบบลูปิด โดยใช้ค่าเป้าหมาย (Set point) กับค่าเอาต์พุต (Output) มาคำนวณหาค่าสัญญาณขับเคลื่อน ดังสมการที่ (1)

$$D_{n+1} = D_n + s \left(\frac{err}{|err|} \right) \quad (1)$$

$$err = x_0 - y_n \quad (2)$$

เมื่อ

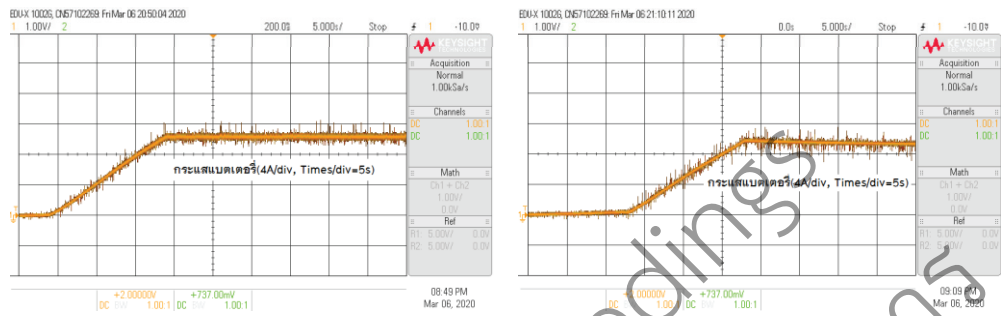
D_n	คือ สัญญาณขับเคลื่อนปัจจุบัน
D_{n+1}	คือ สัญญาณขับเคลื่อนครั้งต่อไป
s	คือ ตัวคูณคงที่ (Fixed step size)
x_0	คือ ค่าเป้าหมาย (Set point)
y_n	คือ ค่าเอาต์พุตปัจจุบัน (Output)

3. ผลการวิจัย

ในการทดสอบชุดต้นแบบจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ การทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบ และการทดสอบการถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่จากชุดต้นแบบ

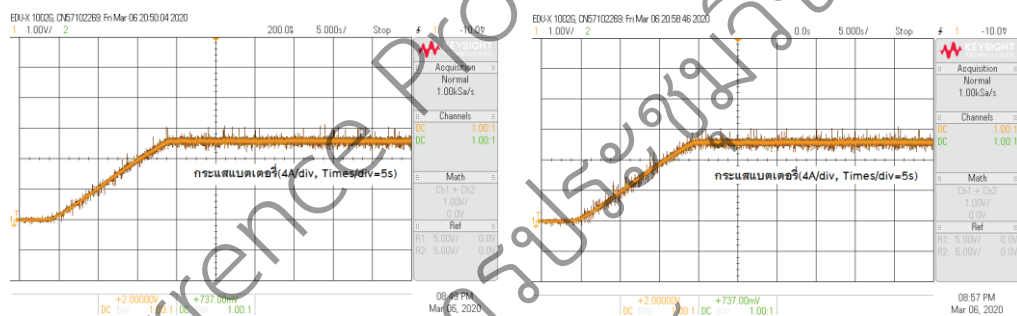
3.1 การทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่เครื่องต้นแบบว่าได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ที่ 10 แอมแปร์ หรือไม่ โดยทำการทดสอบการถ่ายโอนการประจุแบตเตอรี่ 4 กรณี กรณีแรกจะเป็นการประจุแบตเตอรี่เครื่องต้นแบบด้วยแหล่งจ่ายภายนอกที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ โดยใช้โหมตถ่ายโอนพลังงานเข้าแบบทบแรงดันไฟฟ้า ให้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) กรณีที่สองการถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่เครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ภายนอกที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ โดยใช้โหมตการถ่ายโอนพลังงานออกแบบทอนแรงดันไฟฟ้า ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) กรณีที่สามการถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่เครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ภายนอกที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ โดยใช้โหมตการถ่ายโอนพลังงานออกแบบทบแรงดันไฟฟ้า ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 (ค) กรณีสุดท้าย การถ่ายโอนประจุแบตเตอรี่เครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ภายนอกที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 36 โวลต์ โดยใช้โหมตการถ่ายโอนพลังงานออกแบบทบแรงดันไฟฟ้า ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 (ง) ในการทดสอบจะควบคุมตัวใช้เคลงจอร์ขับเคลื่อนสวิตซ์แบบฟิกสตีปไซส์



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

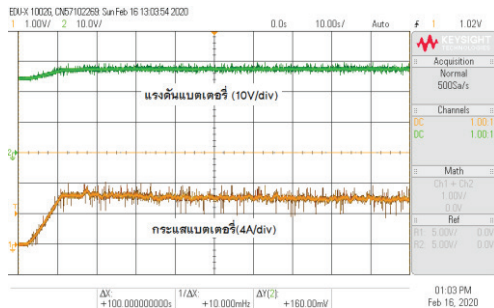
รูปที่ 4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบ (ก) กระแสการถ่ายโอนจากแหล่งจ่าย 24 โวลต์มาชุดต้นแบบ (ข) กระแสการถ่ายโอนจากชุดต้นแบบไปแบตเตอรี่ 12 โวลต์ (ค) กระแสการถ่ายโอนจากชุดต้นแบบไปแบตเตอรี่ 24 โวลต์ และ (ง) กระแสการถ่ายโอนจากชุดต้นแบบไปแบตเตอรี่ 36 โวลต์

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบทั้ง 4 กรณี พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกมาในเครื่องต้นแบบ และถ่ายโอนพลังงานจากเครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ภายนอก ได้ทั้งแบบพบแรงดันไฟฟ้าและทอนแรงดันไฟฟ้า ที่กระแสอยู่ที่ 10 แอมแปร์ได้ทุกกรณี โดยเวลาประมาณ 14 วินาที

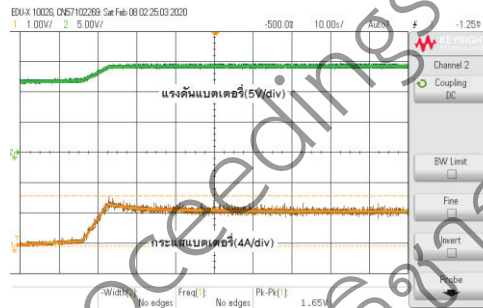
3.2 การทดสอบการถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่จากชุดต้นแบบ

สำหรับการถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่จากชุดเครื่องต้นแบบไปยังแบตเตอรี่รถไฟฟ้าจะใช้การควบคุมช่วงแรกเป็นแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ และเมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ถึงระดับแรงดันประจุของแบตเตอรี่จะเปลี่ยนเป็นการควบคุมแบบแรงดันคงที่ โดยทำการทดสอบ 4 กรณี ดังนี้ กรณีแรกถ่ายโอนจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ ภายนอกมายังเครื่องต้นแบบ โดยใช้พิกัดกระแสอยู่ที่ 10 แอมแปร์ และแรงดันคงที่ที่ 27.6 โวลต์ (แรงดันประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดเจล 24 โวลต์) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5 (ก) กรณีที่สองถ่ายโอนจากเครื่องต้นแบบไปยังแบตเตอรี่ภายนอก 12 โวลต์ 35 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยใช้พิกัดกระแสอยู่ที่ 10 แอมแปร์ และแรงดันคงที่ที่ 13.8 โวลต์ (แรงดันประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดเจล 12 โวลต์) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5 (ข) กรณีที่สามถ่ายโอนจากเครื่องต้นแบบไปยังแบตเตอรี่ 24 โวลต์ โดยใช้พิกัดกระแสอยู่ที่ 10 แอมแปร์ และแรงดันคงที่ที่ 27.6 โวลต์ (แรงดันประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดเจล 24 โวลต์) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5 (ค) และกรณีสุดท้ายถ่ายโอนจาก

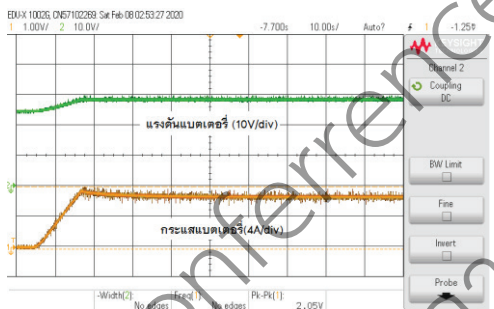
แบตเตอรี่เครื่องต้นแบบไปยังแบตเตอรี่ 36 โวลต์ โดยใช้พิกัดกระแสคงที่ที่ 10 แอมแปร์ และแรงดันคงที่ 41.4 โวลต์ (แรงดันประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิดเจล 36 โวลต์) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5 (ง)



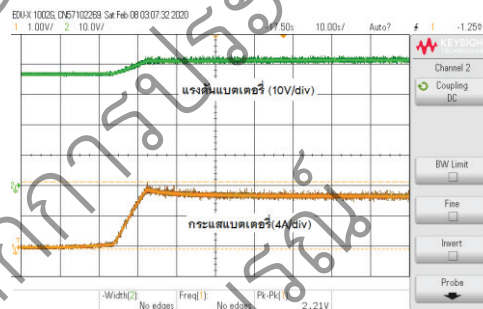
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 5 ผลการทดสอบการถ่ายโอนพลังงานแบตเตอรี่จากชุดต้นแบบ (ก) ถ่ายโอนจากแหล่งจ่ายภายนอกมาเครื่องต้นแบบ (ข) ถ่ายโอนจากเครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ 12 โวลต์ (ค) ถ่ายโอนจากเครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ 24 โวลต์ และ (ง) ถ่ายโอนจากเครื่องต้นแบบไปแบตเตอรี่ 36 โวลต์

จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 3.2 ในกรณีแรกถึงกรณีที่สี่พบว่ากระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ได้เพิ่มขึ้นไปที่ 6, 5, 9 และ 10 แอมแปร์ ในขณะที่แรงดันประจุแบตเตอรี่เป็น 27.6, 13.8, 27.6 และ 41.4 โวลต์ ตามลำดับ ตัวควบคุมจึงเปลี่ยนเป็นการประจุแบบแรงดันคงที่ จากนั้นจะทำการประจุแบบนี้ไปจนกว่ากระแสไฟฟ้าที่ประจุน้อยกว่า 1 แอมแปร์ จึงหยุดการประจุแบตเตอรี่ สำหรับค่ากระแสต่ำสุดหรือกระแสสุดท้ายนี้จะกำหนดจาก 3 เปอร์เซ็นต์ของความจุของแบตเตอรี่

4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ 3.1 พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถควบคุมขนาดกระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ได้ตามที่ออกแบบไว้ที่ 10 แอมแปร์ ทั้งการถ่ายโอนพลังงานเข้าและการถ่ายโอนพลังงานออก โดยครอบคลุมระดับแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่าหรือที่แรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลต์ สูงกว่าหรือที่แรงดันแบตเตอรี่ 36 โวลต์ และเท่ากับแรงดัน

แบตเตอรี่ที่ถ่ายโอนที่ 24 โวลต์ โดยการควบคุมลักษณะนี้จะเป็นการควบคุมแบบเร็ว ซึ่งสามารถตั้งขนาดกระแสการประจุได้ทำให้สามารถประจุแบตเตอรี่เต็มได้เร็ว แต่มีข้อควรระวัง คือ ระดับแรงดันของแบตเตอรี่จะไต่ขึ้นไปสูงกว่าระดับประจุมากหากแบตเตอรี่ที่ทำการประจุอยู่ต่อพ่วงอยู่กับวงจรหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูงนี้อาจจะทำให้วงจรหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงกับแบตเตอรี่นี้เสียหายได้ นอกจากนี้การประจุแบตเตอรี่ที่กระแสไฟฟ้าสูง ๆ จะทำให้แบตเตอรี่ร้อนกว่าการประจุแบบปกติมากทำให้แบตเตอรี่เสื่อมไว ดังนั้นการประจุลักษณะนี้จึงไม่ควรทำบ่อย ๆ สำหรับการทดสอบในหัวข้อที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบที่ถูกควบคุมการประจุแบบช่วงต้นเป็นแบบกระแสคงที่ที่ 10 แอมแปร์ ส่วนช่วงท้ายเป็นแบบแรงดันคงที่ที่ระดับแรงดันประจุของแบตเตอรี่ 13.8, 27.6 และ 41.4 โวลต์ เครื่องต้นแบบสามารถถ่ายโอนพลังงานไปยังแบตเตอรี่ไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 12, 24 และ 36 โวลต์ ได้ และสามารถถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งจ่ายภายนอกมาเก็บไว้ในเครื่องต้นแบบได้ จากการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ช่วงแรกจะเป็นแบบกระแสคงที่ที่ 10 แอมแปร์ พบว่ากระแสที่ทดสอบได้จะต่ำกว่า 10 แอมแปร์ แต่แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะไต่ขึ้นไปที่ระดับแรงดันประจุแบตเตอรี่แล้ว จึงทำให้ตัวควบคุมเปลี่ยนมาเป็นการควบคุมแบบแรงดันคงที่ โดยการควบคุมลักษณะนี้จะเป็นการควบคุมแบบปกติ สำหรับการประจุแบตเตอรี่ลักษณะนี้จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไม่เกินแรงดันประจุ กระแสในการประจุจะต่ำ ดังนั้นจึงใช้เวลาประจุหลายชั่วโมง แต่มีข้อดี คือ ความร้อนที่เกิดจากการประจุต่ำทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกพจน์ ดันตราภิวัดน์. โครงการทดลองสาธิตการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้ในชีวิตประจำวัน เปรียบเทียบกับรถจักรยานยนต์ใช้พลังงานจากฟอสซิล. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.); 2556.
- [2] สถานีชาร์จรถไฟฟ้า. [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.pmk.co.th/shop/ev-charger>
- [3] Deepak Ravi, Bandi Mallikarjuna Reddy, Shimi S.L. and Paulson Samuel. Bidirectional dc to dc Converters: An Overview of Various Topologies Switching Schemes and Control Techniques. International Journal of Engineering & Techniques, 2018; 7(4.5): p: 360-365.
- [4] สมนึก เครือสอน กฤษฎา แสนใจกล้า คณาพจน์ คัมภีรานนท์ และ อภิลักษณ์ ชุมภู. อุโมงค์ลมสำหรับทดสอบกังหันลมขนาดเล็ก. การประชุมระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 3 และการประชุมระดับชาติ เครือข่ายวิจัยประชาชื่น ครั้งที่ 4; จังหวัดพระนครศรีอยุธยา; 27 เมษายน 2561; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ; 2561. หน้า 814-823.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุมชน

กรณีศึกษา : บำบัดน้ำเสียในการเลี้ยงกุ้ง

Application of solar cells as a power source for communities

Case study : wastewater treatment in shrimp farming

สุรพงษ์ แก่นมณี

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

Surapong Keanmanee

Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

E-mail : surapong2516rru@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) จากการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุมชนเป็นกระบวนการที่ใช้บำบัดน้ำเสียได้หลากหลายลักษณะ เช่น น้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรือแม้แต่เชื้อจุลินทรีย์ การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าอาศัยปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารแขวนลอยหรือสารละลายที่ปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งวิจัยนี้กล่าวถึง เทคนิคการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 300 W จ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 12 Vdc 16 A ประมาณวันละ 5 ชั่วโมง และการใช้เทคนิคดังกล่าวกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำในรูปแบบต่าง ๆ และทำการออกแบบอิเล็กโทรดสำหรับใช้ในส่วนที่เติมอิเล็กตรอนให้กับน้ำ คือ อิเล็กโทรดแบบขานาน ที่เป็นการทำให้เกิดกระบวนการจับตะกอน หรือการเกิดฟองด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นการใช้หลักของกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส ที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่เป็นการเกิดการแลกเปลี่ยนคู่ของอิเล็กตรอนที่ขั้วอิเล็กโทรด โดยที่ขั้วแอโนดจะเกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน และแผ่นขั้วแคโทดจะเกิดเป็นปฏิกิริยารีดักชัน จะพบว่าค่า pH ของที่บ่อถึงคุณภาพของน้ำเสียก่อนการบำบัดนั้น ซึ่งภายหลังการบำบัดจะอยู่ที่ 8.8 และ 8.2 ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานของน้ำก่อน และหลังการบำบัดอยู่ที่ 78.8 กิโลโห์ม และเป็น 53.3 กิโลโห์ม ตามลำดับจากผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นทราบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายในการลดค่ากระแสไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยวันละ 6 ชั่วโมงต่อวัน ประมาณ 314 W หรือประมาณ 15 % ต่อเดือน เป็นการส่งเสริมให้ชุมชนได้ใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ และเป็น การบำบัดน้ำเสียเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ หรือการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยระบายทิ้งสู่พื้นที่ สาธารณะ โดยใช้พลังงานจากการประยุกต์พลังงานจากแสงอาทิตย์

คำสำคัญ : บำบัดน้ำเสีย กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This research aims to study and design of wastewater treatment from shrimp with electrolytic precipitation process Electrocoagulation from the application of solar cells as the power source

for the community, a process that uses a variety of features such as water treatment, wastewater contaminated with organic substances, inorganic or even microorganisms. Settling with power relies on electrochemical reactions to remove suspended solids, solvent-contaminated water. Which this research discussed techniques for settling electricity from the D.C. voltage from the 300 W solar power, pay the voltage at 12 Vdc 16 A for about 5 hours a day, and the use of such techniques to eliminate contaminants in water in various forms. And design an electrode for use to add electrons to water, which is a parallel electrode, which causes the process of sediment capture or foaming with direct current. Which is the main use of the electrolysis process which is a redox reaction which is the exchange of pairs of electrons at the electrode in which the anode is an oxidation reaction. And the cathode plate will produce a reduct reaction. The pH of the wastewater quality before treatment. Which after treatment is at 8.8 and 8.2 respectively. The water resistance first and after treatment at 78.8 kilohms and 53.3 kilohms. From the test results show that the cost of electricity can be reduced by an average of 6 hours per day, approximately 314 W or about 15 percent per month. This encourages the community to use natural energy to benefit. And as a waste water treatment so that it can be used in other areas or the removal of wastewater before releasing to public areas By using energy from the application of solar energy.

Keywords : Treatment Wastewater, Electrocoagulation, Solar energy

1. บทนำ

พลังงานมีความสำคัญต่อสรรพสิ่งในโลก เป็นรากฐานสำคัญที่ทำให้ชีวิตเจริญเติบโตเคลื่อนไหวทำงานได้ ไม่มีอะไรในโลกที่ไม่เกี่ยวข้องกับพลังงาน ดังนั้นหากขาดพลังงานมนุษย์ก็คงต้องเผชิญกับสถานการณ์ที่เลวร้ายอย่างใหญ่หลวง ก่อการปฏิวัติอุตสาหกรรม พลังงานจากดวงอาทิตย์ พลังงานจากน้ำและพลังงานจากลมเป็นแหล่งพลังงานที่มนุษย์ชาติรู้จักนำมาใช้ แสงอาทิตย์ช่วยสร้างอาหารสำหรับพืชแสงอาทิตย์มีประโยชน์ต่อมวลมนุษย์อย่างมากมาย ตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ 5,000 ปีที่ผ่านมามนุษย์รู้จักใช้เรือที่แล่นโดยใช้พลังงานลม ต่อมาอีก 2,000 ปี รู้จักการใช้กังหันลม กังหันน้ำ หลังจากนั้นก็ถ่านหินมาใช้เมื่อไม่กี่ร้อยปีที่ผ่านมา ส่วนน้ำมันและก๊าซเป็นพลังงานที่ใช้กันมาเมื่อ 100 กว่าปีมานี้ นับได้ว่าพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นของมนุษย์ในโลกปัจจุบันและทวีความสำคัญขึ้น เมื่อโลกยิ่งพัฒนามากขึ้นแหล่งพลังงานเริ่มค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตมากยิ่งขึ้น จากน้ำมันปิโตรเลียมไปเป็นพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นต้น ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกันแต่อาจจะไม่มีในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับหลายประเทศ ซึ่งบางครั้งวิกฤตการณ์ของโลกทำให้ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รัฐบาลได้มีการกำหนดนโยบายพลังงานทดแทน (ชีวมวล) เพื่อความมั่นคง ของชาติ สถานการณ์ในปัจจุบัน พลังงานถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ทั้งในด้านสาธารณสุขบริโภคต่าง ๆ ไฟฟ้า น้ำ มั่นเชื้อเพลิง ยานพาหนะ การผลิตอาหาร อุตสาหกรรมต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่ต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น เรียกได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิต และภายในไม่กี่สิบปีข้างหน้าน้ำมันจะหมดไปจากโลก ซึ่งต้องมีการใช้พลังงานอย่างอื่นมาใช้ทดแทนน้ำมันในอนาคต จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาพลังงานชนิดอื่นมาทดแทนน้ำมัน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ตลอดจนพลังงานชีวมวล จากเหตุผลดังกล่าวประเทศไทยจึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนใน

การพัฒนาพลังงานต่าง ๆ นำมาใช้แทนน้ำมัน รัฐบาลจึงจำเป็นต้องมียุทธศาสตร์ด้านการพลังงานมาใช้เพื่อกำหนดเป็นมาตรการต่าง ๆ ออกมาให้เป็นรูปธรรม (นโยบายพลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงของชาติ : 2560) พลังงานหลักที่มนุษย์ใช้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน คือ พลังงานปิโตรเลียม โดยเฉพาะพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการใช้น้ำมันเป็นจำนวนมากแต่ปริมาณน้ำมันมีจำนวนจำกัดทำให้ราคาน้ำมันดิบสูงขึ้นมาก จึงจำเป็นต้องมีการกระตุ้นการคิดค้น พัฒนารูปแบบของพลังงานเชื้อเพลิงต่าง ๆ ขึ้นมาทดแทน โดยเฉพาะเชื้อเพลิงทดแทนซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีการนำมาทดแทนใช้เป็นเชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ (Bioglass Fuel) น้ำมันแก๊สโซฮอล์ น้ำมันไบโอดีเซล

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการบริหาร และการจัดการในทุกภาคกิจกรรมไม่ว่าจะอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน หากใช้พลังงานอย่างไม่เหมาะสมจะส่งผลทำให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานสูงกว่าที่ควรจะเป็นค่าพลังงานที่จะต้องใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้สินค้าหรือบริการต่างๆ มีราคาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อให้กิจการดำเนินต่อไปได้ และยังสามารถแสวงหาหนทางในการลดต้นทุนโดยแนวทางที่ดีทางหนึ่งคือการจัดการด้านพลังงานตามที่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้จัดให้มีการเรียนการสอนรายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน ซึ่งในส่วนของรายละเอียดในรายวิชานำพลังงานต่าง ๆ จากธรรมชาติมาใช้ให้เป็นพลังงานทดแทนในการใช้น้ำมันซึ่งเป็นพลังงานหลัก และได้มีได้บริการทางวิชาการเป็นเวลาต่อเนื่อง พบว่า ปัญหาของชุมชนท้องถิ่นอำเภอราชสาส์น ในการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานทดแทนยังขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุและการสูญเสียด้านพลังงานโดยใช่เหตุ เป็นผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องจัดซื้อจัดหาแหล่งพลังงานต่าง ๆ ซึ่งทำให้เป็นภาระสิ้นเปลืองแก่ประชาชน ดังนั้น ทีมงานผู้วิจัยจึง “มีการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนให้กับชุมชนท้องถิ่น” ให้แก่ชุมชนท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็งและมีคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น สิ่งสำคัญจะต้องมีความรู้ทางด้านการพัฒนาเทคโนโลยีด้านไฟฟ้าและพลังงานทดแทน สร้างความร่วมมือระหว่างหน่วยงานภายนอกกับชุมชนเพื่อเสริมสร้างภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีอยู่ด้านเทคโนโลยีไฟฟ้า และพลังงานทดแทนให้อยู่คู่ชุมชนและยั่งยืนโดยการศึกษาสภาพการใช้พลังงานของชุมชนและนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการนำความรู้ทางเทคโนโลยีมาสร้างชุดประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุมชนต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

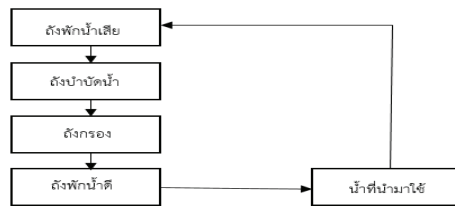
เพื่อศึกษาและประยุกต์การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาแปรรูปใช้ในระดับชุมชน

3. ขอบเขตของการวิจัย

โดยทำการทดลองตามสถานที่ตั้งนี้ คณะผู้วิจัยจะศึกษาเพื่อหาแนวทางในการนำพลังงานที่มีอยู่ในชุมชนซึ่งเป็นพลังงานทดแทนมาผ่านกระบวนการในการแปรรูปพลังงานมาใช้กับวิถีชีวิต ดังนี้

1. ถังบรรจุน้ำ 2 ถัง ขนาดความจุ 300 ลิตร ขนาดสินค้า กว้าง 255 มิลลิเมตร ลึก 310 มิลลิเมตร และสูง 384 มิลลิเมตร
2. สามารถเพิ่มคุณภาพน้ำให้เป็นกลางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
3. สามารถวัดคุณภาพน้ำตามมาตรฐานของค่า PH และ EC

4. กรอบแนวคิด



รูปที่ 1 กรอบแนวคิด

จากรูปที่ 1 เป็นส่วนของโครงสร้างเครื่องจะมีทั้งหมด 4 ชั้น ประกอบด้วย

ชั้นที่ 1 เป็นชั้นพักน้ำเสีย โดยการทำงานจะใช้ปั๊มสูบน้ำขึ้นมาจากชั้นล่างสุด คือ ถังน้ำเสีย จนครบ 200 ลิตร ใช้เวลาในการพักน้ำ 20 นาที ก่อนปล่อยลงสู่ถังบำบัด

ชั้นที่ 2 เป็นชั้นบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 1 ในชั้นนี้จะใช้แผ่นเหล็กขนาด 6.5X25 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น โดยจ่ายกระแสไฟจากกล่องจ่ายไฟในการบำบัด

ชั้นที่ 3 เป็นชั้นบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 2 ซึ่งผ่านกระบวนการถังกรอง

ชั้นที่ 4 เป็นชั้นของถังน้ำดี น้ำจะปล่อยลงถังเพื่อใช้และกล่องวัดค่าจะทำหน้าที่ตรวจสอบค่าของน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในขั้นตอนถัดไป

5. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

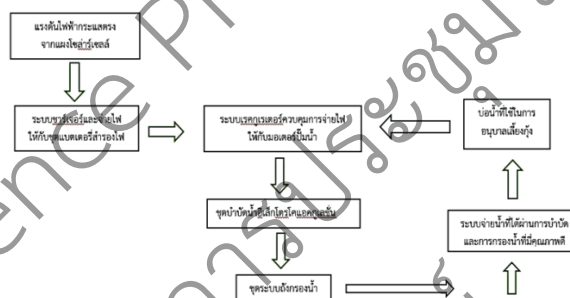
การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า [1] เป็นกระบวนการที่ใช้บำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสารเคมีทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำโดยอาศัยการทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอย (หรืออิมัลชัน) หรือสารปนเปื้อนที่มีตัวกลางเป็นน้ำหลักการเบื้องต้นคือการให้กระแสไฟฟ้าตกคร่อมบนขั้วไฟฟ้า ทำให้ขั้วไฟฟ้าชนิดแอโนดละลายออกมาเป็นไอออน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค หรือไอออนที่อยู่ในน้ำ กล่าวคือทำให้สารปนเปื้อนต่าง ๆ มีการหักล้างประจุจนมีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า เกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และแยกออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการปล่อยให้ตกตะกอนหรือการลอยตะกอนเซลล์ที่ใช้ตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบง่ายที่ประกอบด้วยขั้วแอโนด และขั้วแคโทด ขั้วทั้งสองอาจเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยส่วนมากจะใช้อะลูมิเนียม (Al) หรือเหล็ก (Fe) เมื่อจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกจะเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี และเกิดไอออนของอะลูมิเนียม (Al³⁺) หรือไอออนของเหล็ก (Fe²⁺) ชั้นที่ขั้วแอโนด ไอออนเหล่านี้จะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำกระบวนการนี้สอดคล้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีแบบดั้งเดิมซึ่งใช้สารเร่งตะกอน (Coagulant) ส่วนใหญ่เป็นเกลือของอะลูมิเนียม หรือเหล็ก นั่นเอง

6. วิธีการดำเนินการวิจัย

6.1 การออกแบบเครื่องบำบัดน้ำด้วยหลักการอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน

อาศัยหลักการบำบัดน้ำด้วยหลักการอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน หรือการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) เป็นกระบวนการที่ใช้บำบัดน้ำเสียได้หลากหลาย โดยประยุกต์ใช้กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

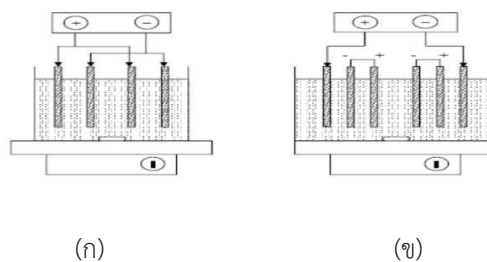
พลังงานแสงอาทิตย์ โดยผ่านแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อเป็นนำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของชุมชน [2] วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน ซึ่งเป็นแนวเทคโนโลยีที่มีนวัตกรรมใหม่ในวงการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสียที่มีรูปแบบในการทำงานของระบบที่ไม่ต้องใช้สารเคมีมาช่วยบำบัดและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งตามธรรมชาติสารคอลลอยด์และสิ่งที่เป็นอนุภาคอยู่ในน้ำจะมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับไฟฟ้า เช่น น้ำมันเครื่อง ดินโคลน ทราย ฟอสเฟต ผง ถ่าน นิกเกิล ตะกั่ว สีส และไอออนของแร่ธาตุต่าง ๆ ใน การบำบัดน้ำเสียวิธีนี้มีผลดี คือ ต้นทุนต่ำ มีขนาดเล็กใช้พื้นที่น้อยและสามารถบำบัดน้ำเสียได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ในการบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน นั้นสามารถบำบัดน้ำเสียได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบอื่น โดยมีเทคนิคการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าและการใช้เทคนิคดังกล่าวกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำในรูปแบบต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการสร้างชุดบำบัดน้ำด้วยหลักการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน

6.2 การออกแบบขั้วอิเล็กโทรดสำหรับการทดลอง

ระบบของการจับกับด้วยไฟฟ้า (EC) [3], [4] ที่เป็นเซลล์เคมีไฟฟ้าด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) โดยมีขั้วบวกและขั้วลบต่อเข้ากับแหล่งพลังงานภายนอกที่มีกระแสสูง ซึ่งมีปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (Anode) จะทำให้เกิดการสีกกร่อนของอิเล็กโทรดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขณะที่อิเล็กโทรดที่ขั้วลบ (Cathode) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งจะไม่เกิดการสีกกร่อนสำหรับการใช้ระบบ EC ในการบำบัดน้ำเสียจะต้องใช้ปริมาณไอออนโลหะที่ละลายออกจากแผ่นอิเล็กโทรดจำนวนมากเพียงพอต่อปริมาณมลสารที่ต้องการกำจัด ดังนั้นจึงต้องใช้แผ่นอิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการออกแบบใช้อิเล็กโทรดขั้วเดียว (Monopolar Electrodes)



รูปที่ 3 ขั้วอิเล็กโทรด (ก) อิเล็กโทรดขั้วเดียวต่อแบบขนาน และ (ข) อิเล็กโทรดขั้วเดียวต่อแบบอนุกรม

6.3 การเก็บข้อมูลการวิจัย

6.3.1 ขั้นตอนการทดลองใช้เครื่องมือ

ในการวิจัยนี้ทำการทดลองในการปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่จะในการเลี้ยงอนุบาลกุ้งด้วยกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์โคแอคทูเลชั่น และเลือกสภาวะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดความกระด้างของน้ำและโมเลกุลสารแขวนลอย เพื่อนำมาออกแบบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเลี้ยงอนุบาลกุ้งด้วยกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์โคแอคทูเลชั่น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาความต่างศักย์และระยะเวลาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการออกแบบขนาดถังปฏิกรณ์ ถังตกตะกอนรวมทั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยอิเล็กทรอนิกส์โคแอคทูเลชั่น สำหรับใช้ในการประมงเลี้ยงกุ้ง

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายต่าง ๆ รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ และวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาไฟฟ้า น้ำประปา และอลูมิเนียมแผ่นโดยนำผลการศึกษาที่ได้เปรียบเทียบกับระบบรูปแบบเดิมที่เกษตรกรใช้อยู่



(ก)

(ข)

รูปที่ 4 (ก) การเชื่อมต่อและเตรียมอุปกรณ์ทดลอง และ (ข) การดำเนินการทดลองโดยจ่ายกระแสไฟฟ้า

โดยในการทดสอบนี้จะทำการบันทึกค่า pH และวัดค่าความต้านทานของน้ำด้วย Ohm Meter ด้วยระบบการวัดที่เป็นการวัดความต้านทานน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด จากนั้นทำการบันทึกผลจลจรทดสอบลงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ที่เป็นการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โคแอคทูเลชั่น ต่อจากนั้นทำการวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด - ด่าง กับเวลา และค่าความต้านทาน - เวลา เพื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า



รูปที่ 5 บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และวัดทดสอบค่าคุณภาพของน้ำ

ตารางที่ 1 ตารางที่ใช้บันทึกผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรด

เวลา (นาที)	pH	I (A)	V (V)	R (Ω)
0				
5				
10				
15				
20				
25				
30				

การวัดค่า pH โดยวัดที่ค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลองและในระยะเวลาที่กำหนด คือ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที เพื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสีของน้ำ และฟองที่เกิดขึ้นของตะกอนและสารแขวนลอย และทำการวัดผลของความต้านทานของน้ำเปรียบเทียบก่อนการบำบัดและภายหลังการบำบัดจากตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งเพื่อเปรียบเทียบความเป็นกรดต่างด้วยการวัดค่า pH และค่าความเค็มของน้ำ

- บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเป็น กรด-ด่าง ด้วย pH Meter ของน้ำที่สภาวะก่อน และหลังการบำบัดด้วยกระแสไฟฟ้าโซลาร์เซลล์
- ทำการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โซลาร์เซลล์ เข้าสู่แผ่นขั้วอิเล็กโทรดแบบขนานที่ได้ออกแบบไว้ เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที ซึ่งใช้น้ำในการทดลองจำนวน 300 ลิตร
- บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของน้ำหรือการนำไฟฟ้าของน้ำภายหลังการบำบัด

ตารางที่ 2 เพื่อใช้บันทึกผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากการทดลอง ระยะเวลา 30 นาที

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำก่อนบำบัด	คุณภาพน้ำหลังบำบัด	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (%)
pH			
I (A)			
V (V)			
R (Ω)			

7. ผลการวิจัย

การเก็บผลทดลอง จากการทดสอบวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH Meter ของน้ำตัวอย่าง โดยมีค่า pH ของน้ำกลั่นเป็นค่าเปรียบเทียบ แล้วทำการบันทึกผลการทดลองในระยะเวลาที่กำหนด คือ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ด้วยอิเล็กโทรดแบบขนาน ดังแสดงในรูปที่ 3 จะพบว่าที่เวลาเริ่มต้นด้วยแรงดัน 12 โวลต์ กระแส 6.50 แอมป์นั้น จนถึงเวลาเวลา 30 นาที นั้นจะพบว่าแต่ละช่วงเวลาที่ทำการทดลองนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ

ปฏิกิริยาการรีด็อกซ์ โดยมีฟองของสารแขวนลอย หรือสลัดจ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกิดการแยกชั้นของสารแขวนลอยอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยอิเล็กโทรด

เวลา (นาที)	pH	I (A)	V (V)	R (Ω)
0	8.8	6.4	12	78.8 K
5	8.6	6.51	12	78.6 K
10	8.4	6.19	12	77.5 K
15	8.4	6.21	12	76.1 K
20	8.4	4.41	12	74.7 K
25	8.2	2.87	12	74.2 K
30	8.2	2.83	12	55.3 K



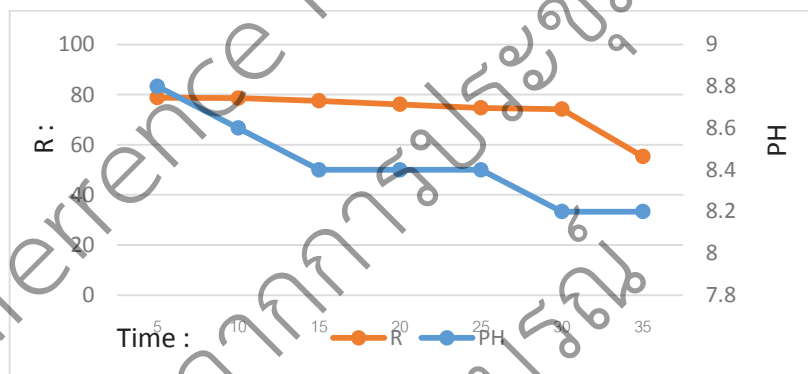
รูปที่ 6 เปรียบเทียบก่อนและหลังการบำบัดของอิเล็กโทรด

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากการทดลอง ระยะเวลา 30 นาที

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำก่อนบำบัด	คุณภาพน้ำหลังบำบัด	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (%)
pH	8.8	8.2	-
I (A)	6.67	2.83	-
V (V)	12	12	-
R (Ω)	78.8 K	55.3 K	-

8. สรุปผลการทดลอง

โดยในการทดสอบนี้ทำการบันทึกค่า pH และวัดค่าความต้านทานของน้ำด้วย Ohm Meter ด้วยระบบการวัดค่าความต้านทานน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4 ที่เป็นการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยแผ่นอิเล็กโทรด ต่อจากนั้นทำการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด - ด่าง กับเวลา และค่าความต้านทาน - เวลา เพื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะพบว่าค่า pH ของที่บอกถึงคุณภาพของน้ำเสียก่อนการบำบัดนั้น ซึ่งภายหลังการบำบัดจะอยู่ที่ 8.8 และ 8.2 ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานของน้ำก่อนและหลังการบำบัดอยู่ที่ 78.8 กิโลโอห์ม และเป็น 53.3 กิโลโอห์ม จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้กระแสไฟฟ้าที่ปริมาณสูงเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียกระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่น้ำ และทำให้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าลดลง ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า หรือปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทำวิจัยของโครงการมีการลดต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH , R ด้วยอิเล็กโทรด

ในงานวิจัยนี้ได้จัดสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับ บำบัดน้ำเสียและกลั่นด้วยการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการเติมอิเล็กตรอนในน้ำเสียเพื่อให้ประจุ ไฟฟ้าช่วยในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเสีย และการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงและจากการทดสอบ โดยทำการปรับค่าแรงดันทางด้านอินพุตที่ 0 – 12 Vdc. 16 A ทั้งนี้จะได้มีศึกษาและพัฒนาการนำเอาเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้กับภาคเกษตรกรรม คราวเรือน ชุมชนและอื่น ๆ ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อเป็นน้ำทิ้ง ต่อไป ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการลดค่ากระแสไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยวันละ 6 ชั่วโมงต่อวัน ประมาณ 314 W หรือประมาณ 15 % ต่อเดือน เป็นการส่งเสริมให้ชุมชนได้ใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีพ

9. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

9.1 ในการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีอิเล็กโทรโครแอกกูเลชันแต่ละครั้ง ใช้ปริมาณน้ำเพียง 300 ลิตร ควรเพิ่มปริมาณน้ำเสียที่ใช้ในการบำบัดให้มากขึ้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองเดิมและขยายระบบให้บำบัดน้ำเสียได้มากขึ้นกว่าเดิม

9.2 ควรเพิ่มขั้วอิเล็กโทรดหรือเพิ่มขนาดขั้วอิเล็กโทรด และทดลองเปลี่ยนชนิดขั้วอิเล็กโทรด เพื่อหาว่าขั้วชนิดไหนได้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีกว่า เพราะแต่ละขั้วมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เท่ากัน ค่าการนำไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดมีผลต่อเวลาในการบำบัดน้ำเสีย

9.3 ทดลองหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันโดยอาจใช้แรงดันไฟฟ้าหลายระดับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันเพราะการควบคุมแรงดันไฟฟ้ามีผลต่อเวลาในการทดลองยิ่งแรงดันมากขึ้นก็จะใช้เวลาบำบัดน้ำเสียน้อยลง และยังแรงดันเพิ่มขึ้นจะได้ขั้วอิเล็กโทรดมากขึ้นด้วย

9.4 การทดลองครั้งต่อไปควรวัดค่า COD เพิ่ม เพราะค่า COD ก็มีผลในการวัดคุณภาพน้ำ เพื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 120 mg/L แหล่งจ่ายในการปรับค่าแรงดันชำระ ควรจัดซื้อหรือซ่อมบำรุง เพราะการทดลองสามารถปรับค่าได้สูงสุด ซึ่งยังไม่พอสำหรับความต้องการในการบำบัดน้ำในเกณฑ์มาตรฐาน [5] ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าใช้ขั้วเหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ค่าพีเอชในระบบพบว่า เมื่อเดินระบบที่ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 5-9 ค่าพีเอชของระบบจะเพิ่มขึ้นและคงที่ในช่วง 10-11 เมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลาานเพียงพอจะมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน [6] ผลการศึกษาพบว่า การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า การเดินระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (EC) ด้วยแผ่นเหล็กที่กระแสไฟฟ้าระยะเวลา 30 นาที เป็นสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับในเชิงคุณลักษณะของน้ำที่บำบัดทำให้ค่า COD ในตัวอย่างน้ำเพิ่มสูงขึ้นและตัวอุปกรณ์ขั้วอิเล็กโทรด ต้องมีการปรับปรุงเทคนิคการควบคุมการไหลของระบบน้ำวนและมาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้วัดค่าต่างๆ เพื่อให้เกิดค่าผิดพลาดจากค่าความเป็นจริงในน้อยที่สุด

10. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภมาส ด้านวิทยกุล. การตกตะกอนด้วยไฟฟ้ากับการบำบัดน้ำเสีย. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2557
- [2] ณัฐ จันทร์รบ และ พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี. การศึกษาประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนสำหรับชุดบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน, SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, 2561. หน้า 36
- [3] นกตล เจริญวัฒน์ชัย และคณะ. การปรับปรุงการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR. งานวิจัยปริญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2540
- [4] สุภาพร พงศ์ธรพฤษ. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีและปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งสีย้อมผ้าโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์. 2547
- [5] อนุธิดา ศรีภิรมย์ และคณะ. ผลของชนิดสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแอสิตโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 14. 6 กันยายน 2561
- [6] ทิพย์สุรีย์ กรบุญรักษา. การบำบัดน้ำเสียสีแอกทีฟสังเคราะห์โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าร่วมกับกระบวนการเฟ้นต้น. รายงานโครงการวิจัย. มหาวิทยาลัยบูรพา. 2560

การมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์สำหรับเมตริกคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส Space Vector PWM Modulation of Three Phase Matrix Converter

พรชัย พรหุทัย¹ ประจักษ์ บุญภักดี^{2*} นฤกร สิริมงคลกาล³
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา^{1,2*,3}

Pornchai Pornharuthai¹ Prajak Bunpakdee^{2*} and Natakron Sirimongkolgal³
Faculty Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya RajabhatUniversity^{1,2*,3}
E-mail : lava_pp10@hotmail.com¹, Prajak.bu.bsru.ac.th^{2*}, natkon.si@bsru.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์สำหรับเมตริกคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส การมอดูเลตจะแบ่งออกเป็นสองวงจร คือวงจรเรียงกระแสด้านเข้าและวงจรอินเวอร์เตอร์ด้านออก โดยวงจรเรียงกระแสจะใช้ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับหนึ่ง และวงจรอินเวอร์เตอร์ใช้ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 86.6% การจำลองการทำงานใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSIM โดยสัญญาณสเปซเวกเตอร์มอดูเลตสร้างจากภาษาซี (C-Block) คำนวณคาบเวลาของแต่ละคู่ลำดับเวกเตอร์นำค่าเวลาดังกล่าวมาสร้างสัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลตตามลำดับคู่เวกเตอร์ที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาพัฒนาเป็น Dynamic Link Library (DLL) เพื่อสามารถนำมาใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์โปรแกรม PSIM การจัดลำดับการสับเปลี่ยนสวิตช์สร้างจากวงจรถลอจิก D-Flip-Flop ความถี่การสวิตช์ใช้ 50kHz ผลการจำลองยืนยันความถูกต้องที่นำเสนอ

คำสำคัญ : เมตริกคอนเวอร์เตอร์ สเปซเวกเตอร์มอดูเลชัน วิธีอ้อม

Abstract

In this paper presents space vector PWM of three phase matrix converter. The modulation is divided into two circuits, the first is the input rectifier and the output inverter circuit. The input rectifier uses a modulation index equal to one. And the inverter circuit uses a modulation index of 86.6%. The simulation using a PSIM computer program by a space vector modulation signal generated from C (C-Block), calculating the time period of each vector sequence pair. Using the aforementioned time values to generate a pulse width modulation signal in order of the appropriate vector pair. The program was then developed into a Dynamic Link Library (DLL) to be used in connection with the PSIM computer program. Switching sequencing is based on a D-Flip-Flop logic circuit, 50kHz of switching frequency. The simulation results confirm effectiveness of the proposed method.

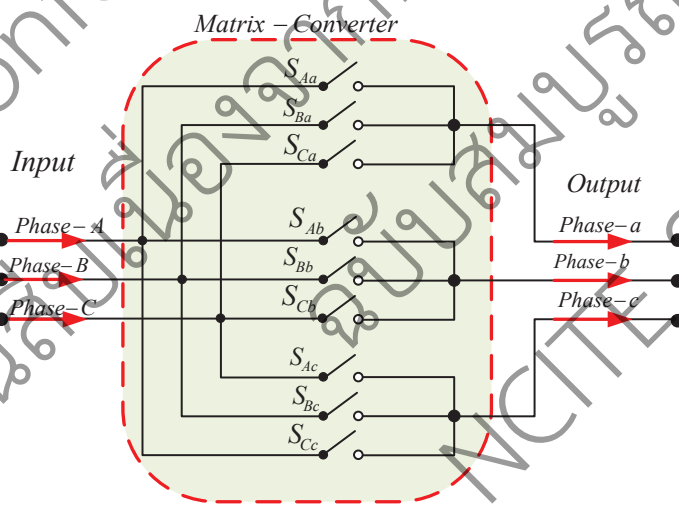
Keywords : Matrix Converter, Space Vector Pulse Width Modulation, Indirect Method

1. บทนำ

เมตริกคอนเวอร์เตอร์ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่สามารถควบคุมความถี่ จำนวนเฟส และขนาดของแรงดันได้ตามต้องการ เมตริกคอนเวอร์เตอร์มีข้อดีต่าง ๆ ดังนี้ 1. รูปคลื่นกระแสด้านเข้าเป็นรูปไซน์ 2. รูปคลื่นแรงดันด้านออกเป็นรูปไซน์ 3. ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าสามารถควบคุมได้ 4. สามารถทำงานในโหมดคืนพลังงาน 5. มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีชุดคาปาซิเตอร์เชื่อมโยง จึงมีขนาดเล็กและไม่ซับซ้อนเรื่องอายุการใช้

งานวิจัย [1] นำเสนอการผันพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นกระแสสลับที่สามารถควบคุมแรงดัน ความถี่ ด้านออกได้เรียกว่า วงจรไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (Cycloconverter) งานวิจัยที่ [2] ได้พัฒนาสร้างไทรสเตอร์เป็นผลสำเร็จนำไปควบคุมแต่ทำให้เกิดข้อเสียเกิดฮาร์โมนิกส์ลำดับต่ำ ๆ ขึ้นทั้งด้านเข้าและด้านออกส่งผลให้ครรกรองทั้งได้ยาก งานวิจัยที่ [3] ได้นำเสนอวงจรต้นแบบเมตริกคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้การมอดูเลตทางตรงที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์กำลัง

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอรูปแบบการมอดูเลตเมตริกคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ทางอ้อม โดยอาศัยหลักการของสเปซเวกเตอร์พัลส์วิดมอดูเลชัน ซึ่งรูปแบบการมอดูเลตจะอาศัยมุมมองวงจรเมตริกคอนเวอร์เตอร์แบ่งออกเป็นสองวงจร ส่วนแรกจะเปรียบเสมือนวงจรเรียงกระแสด้านเข้า และส่วนที่สองจะเปรียบเสมือนวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมแรงดันด้านออกทั้งสองวงจรจะถูกต่อผ่านจุดเชื่อมโยงไฟตรงเสมือน โดยไม่มีคาปาซิเตอร์ต่อเชื่อมโยง วงจรเมตริกคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของเมตริกคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

ส่วนวงจรที่สองจะเปรียบเสมือนวงจรอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายแรงแรงดันด้านออก โดยที่ทั้งสองวงจรจะถูกต่อผ่านจุดเชื่อมโยงไฟตรงเสมือน แต่ไม่มีตัวเก็บประจุวงจรต่อเชื่อมโยงทั้งสองวงจร ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านออกและแรงดันด้านเข้า [4]

$$V_o = SV_i \quad (1)$$

กระแสด้านเข้าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_i = S^T I_o \quad (2)$$

โดยที่ความสัมพันธ์แรงดันด้านเข้ากับแรงดันด้านออกอธิบายด้วย

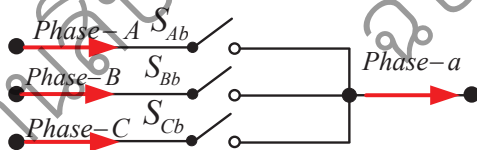
$$\begin{bmatrix} V_{A(t)} \\ V_{B(t)} \\ V_{C(t)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{Aa} & S_{Ba} & S_{Ca} \\ S_{Ab} & S_{Bb} & S_{Cb} \\ S_{Ac} & S_{Bc} & S_{Cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a(t)} \\ V_{b(t)} \\ V_{c(t)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

โดยที่สวิตช์ซึ่งฟังก์ชันในรูปเมตริกซ์จะได้

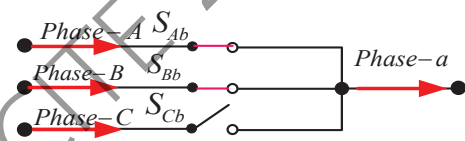
$$S = \begin{bmatrix} S_{Aa} & S_{Ba} & S_{Ca} \\ S_{Ab} & S_{Bb} & S_{Cb} \\ S_{Ac} & S_{Bc} & S_{Cc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

โดยที่ $S_{ij} = \begin{cases} 0 & i \in (A, B, C) \\ 1 & j \in (a, b, c) \end{cases}$ 1=ปิด, 0=เปิด

การมอดูเลตของวงจรต้องไม่ทำให้สวิตช์เกิดการเปิดวงจรด้านออก ดังรูปที่ 2 และการมอดูเลตต้องไม่ทำให้สวิตช์ปิดพร้อมกันจะส่งผลให้เกิดการลัดวงจรทันที ดังรูปที่ 3 [5]



รูปที่ 2 สวิตช์เปิดวงจร



รูปที่ 3 เกิดการลัดวงจร

ในงานวิจัยนี้จะสนใจรูปแบบการมอดูเลตวิธีที่สอง ซึ่งรูปแบบการมอดูเลตจะอาศัยมุมมองวงจรเมตริกคอนเวอร์เตอร์ แบ่งออกเป็นสองสอง ส่วนแรกจะเปรียบเสมือนวงจรเรียงกระแส และส่วนที่สองจะเปรียบเสมือนวงจรอินเวอร์เตอร์ ทั้งสองวงจรจะถูกต่อผ่านจุดเชื่อมต่อโยงไฟตรงเสมือน โดยไม่มีคาปาซิเตอร์ (DC-Link) ต่อเชื่อมต่อโยง

2. การมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์สำหรับวงจรเรียงกระแสด้านเข้า

วงจรเรียงกระแสประกอบด้วยสวิตช์สองทางจำนวน 6 สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 4 วงจรนี้ทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้าและด้านออกจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมทั้งสามารถควบคุมกระแสด้านเข้าให้เป็นรูปไซน์ และโดยทั่วไปจะกำหนดให้ค่าดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 1 เพื่อที่จะให้ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่ามากที่สุด [4] - [6] การคำนวณค่า duty cycle เพื่อสร้างแรงดันด้านออกตามที่ต้องการ เริ่มจากการแปลงแรงดัน

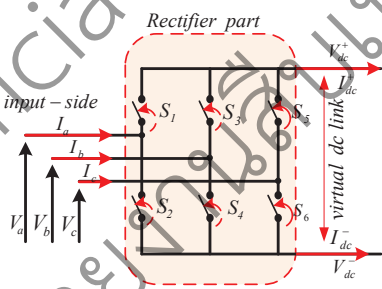
$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \\ S_5 & S_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dc+} \\ I_{dc-} \end{bmatrix} \quad (5)$$

โดยที่สเปซเวกเตอร์กระแสด้านเข้าอ้างอิงหาได้จาก ดังรูปที่ 5

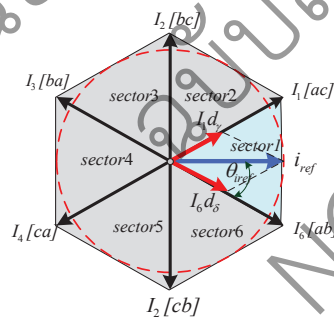
$$I_{ref} = \frac{2}{3} \left(I_A + I_A e^{j\frac{2\pi}{3}} + I_C e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) \quad (6)$$

พิจารณาในกรณีเวกเตอร์กระแสอ้างอิงอยู่ในเซกเตอร์ที่ 1 จากรูปที่ 6 ผลรวมแอมพลิจูดเวกเตอร์จะได้

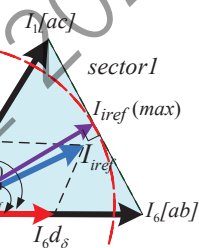
$$I_{ref} = d_\gamma I_\gamma + d_\delta I_\delta \quad (7)$$



รูปที่ 4 วงจรเรียงกระแสด้านเข้า



รูปที่ 5 สเปซเวกเตอร์วงจรเรียงกระแส



รูปที่ 6 เวกเตอร์กระแสอ้างอิงอยู่ในเซกเตอร์ที่ 1

การคำนวณค่า duty cycle ของวงจรนี้

$$d_\gamma = \frac{T_\gamma}{T_s} = m_i \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_i\right) \quad (8)$$

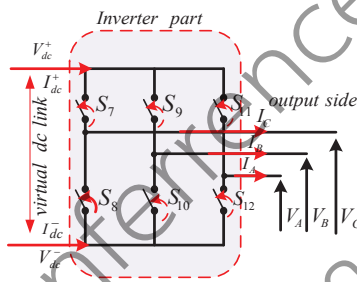
$$d_\gamma = \frac{T_\gamma}{T_s} = m_i \sin(\theta_i) \quad (9)$$

ซีโรเวกเตอร์

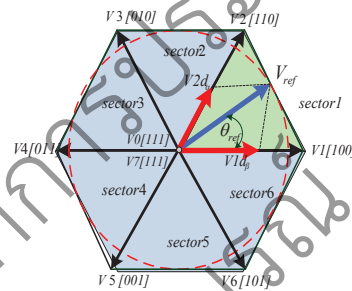
$$d_o = \frac{T_o}{T_s} = 1 - d_\gamma - d_\delta \quad (10)$$

3. การมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ด้านออก

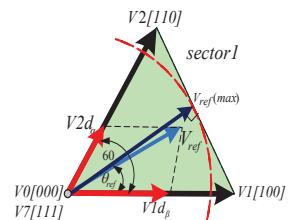
ส่วนที่สองคือวงจรบริดอินเวอร์เตอร์ซึ่งจะประกอบไปด้วยจำนวนสวิตช์ 6 สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ด้านเข้ารับไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรบริดเรกติไฟเออร์แล้วทำการแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้านออกและสามารถควบคุมให้มีระดับแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสตามต้องการ [4] - [6]



รูปที่ 7 วงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 8 สเปซเวกเตอร์วงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 9 กรณีสเปซเวกเตอร์แรงดันอ้างอิงอยู่ในเซกเตอร์ที่ 1

การคำนวณค่าตัวตัดไซเคิลเพื่อสร้างแรงดันด้านออกตามที่ต้องการ เริ่มจากการแปลงแรงดันคำสั่งให้อยู่ในสเปซเวกเตอร์

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_7 & S_8 \\ S_9 & S_{10} \\ S_{11} & S_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{dc+} \\ V_{dc-} \end{bmatrix} \quad (11)$$

โดยที่สเปซเวกเตอร์แรงดันอ้างอิงหาได้จาก ดังรูปที่ 8

$$V_{ref} = \frac{2}{3} \left(V_a + V_b e^{j\frac{2\pi}{3}} + V_c e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) \quad (12)$$

พิจารณาในกรณีเวกเตอร์แรงดันอ้างอิงอยู่ในเซกเตอร์ที่ 1 แสดงได้ในรูปที่ 9 จากรูปที่ 9 ผลรวมแอมพลิจูดของเวกเตอร์จะได้

$$V_{ref} = d_{\delta} I_{\delta} + d_{\beta} I_{\beta} \quad (13)$$

การคำนวณค่าตัวชี้เคลิลของวงจรนี้

$$d_{\alpha} = \frac{T_{\alpha}}{T_s} = m_V \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta_V\right) \quad (14)$$

$$d_{\beta} = \frac{T_{\beta}}{T_s} = m_V \sin(\theta_V) \quad (15)$$

ซีโรเวกเตอร์

$$d_o = \frac{T_o}{T_s} = 1 - d_{\alpha} - d_{\beta} \quad (16)$$

4. การมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์สำหรับเมตริกคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

จากหลักการสเปซเวกเตอร์ของทั้งสองวงจร คือวงจรเรียงกระแสด้านเข้าและวงจรอินเวอร์เตอร์ที่กล่าวมาแล้ว สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเมตริกคอนเวอร์เตอร์จะได้คูเวกเตอร์ตั้งรายระเอียด เมื่อพิจารณาแรงดันด้านเข้าและแรงดันด้านออก [4] – [6] ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

$$[V_o] = [d_{\alpha} V_{\alpha} + d_{\beta} V_{\beta}] [d_{\gamma} i_{\gamma} + d_{\delta} i_{\delta}]^T [V_i] \quad (17)$$

หรือแรงดันด้านออกของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{\alpha} d_{\gamma} d V_{\alpha} i_{\gamma}^T + d_{\beta} d_{\gamma} V_{\beta} i_{\gamma}^T + d_{\alpha} d_{\delta} V_{\alpha} i_{\delta}^T + d_{\beta} d_{\delta} V_{\beta} i_{\delta}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (18)$$

หรือกระแสด้านเข้าของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

$$[I_i] = [d_\gamma V_\gamma + d_\delta V_\delta] [d_\alpha I_\alpha + d_\beta I_\beta]^T [I_o] \quad (19)$$

หรือกระแสด้านเข้าของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = [d_\gamma d_\alpha d_\gamma V_\alpha^T + d_\delta d_\alpha I_\delta V_\alpha^T + d_\gamma d_\beta I_\gamma V_\beta^T + d_\delta d_\beta I_\delta V_\beta^T] \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (20)$$

ดังนั้นการคำนวณค่าตัวใช้เคลของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

$$d_{\alpha\gamma} = d_\alpha d_\gamma = m_i m_v \sin(60 - \theta_{v_ref}) \sin(60 - \theta_{i_ref}) \quad (21)$$

$$d_{\delta\alpha} = d_\delta d_\alpha = m_i m_v \sin(60 - \theta_{v_ref}) \sin(\theta_{i_ref}) \quad (22)$$

$$d_{\gamma\beta} = d_\gamma d_\beta = m_i m_v \sin(\theta_{v_ref}) \sin(60 - \theta_{i_ref}) \quad (23)$$

$$d_{\delta\beta} = d_\delta d_\beta = m_i m_v \sin(\theta_{v_ref}) \sin(\theta_{i_ref}) \quad (24)$$

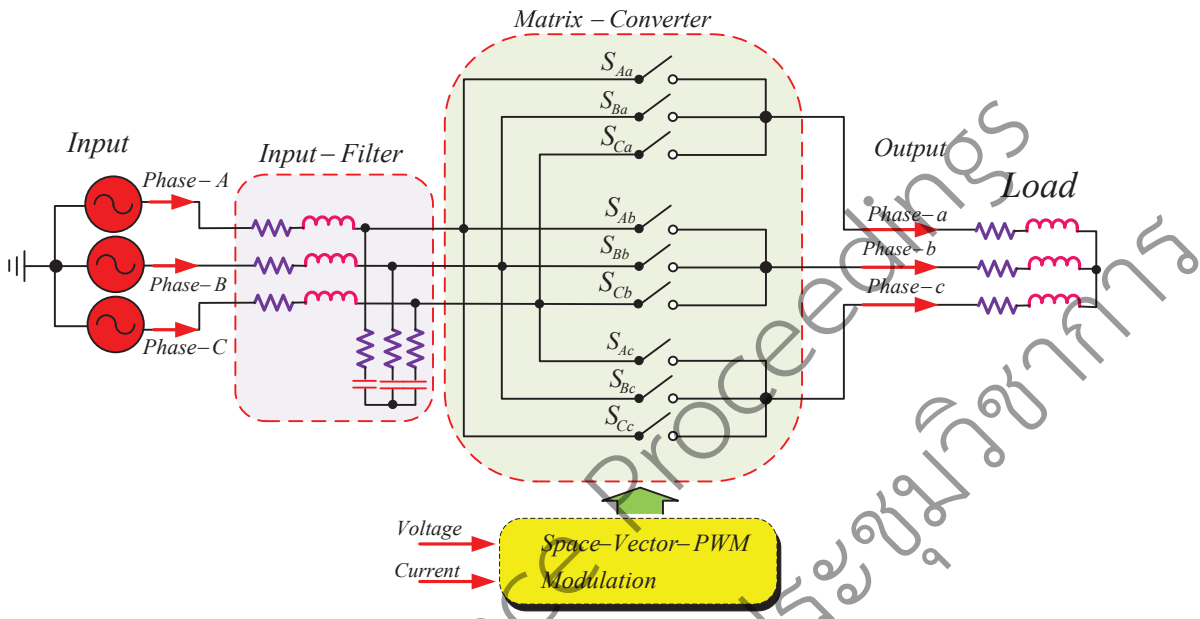
โดยที่ซีโรเวกเตอร์หาได้จาก

$$d_o = 1 - d_{\alpha\gamma} - d_{\delta\alpha} - d_{\beta\gamma} - d_{\delta\beta} = \frac{T_o}{T_s} \quad (25)$$

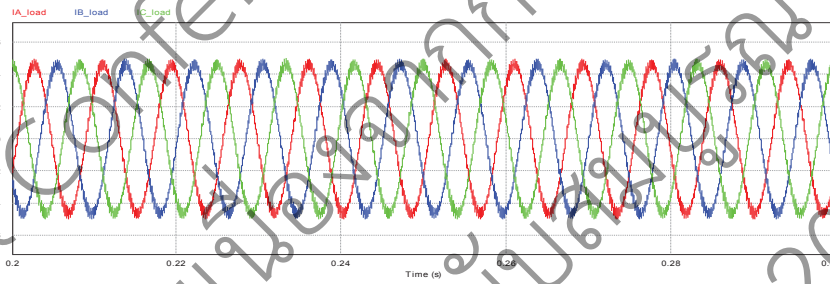
โดยที่คาบเวลาสวิตช์มีค่าเท่ากับ T_s วินาที

5. การจำลองการทำงานของเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์

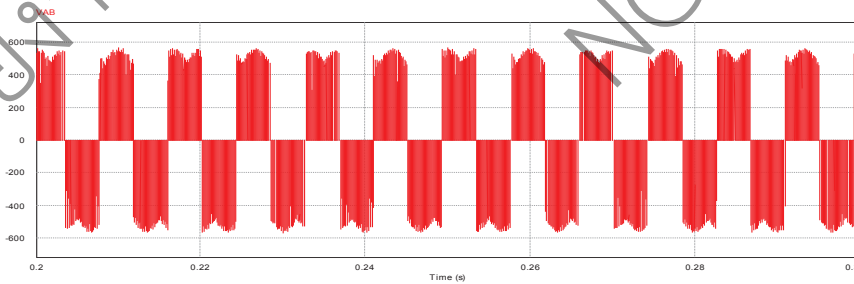
การจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่มีการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์ สามารถจำลองการทำงานในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSIM ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแสดงได้ในภาคผนวก รูปที่ 11 แสดงกระแสด้านโหลด รูปที่ 12 แสดงแรงดันด้านโหลดเนื่องจากการมอดูเลตที่มีความถี่สูงเข้ากับแรงดันส่งผลให้เกิดแรงดันมีลักษณะเป็นรูปแท่งสี่เหลี่ยมมีความกว้างเท่ากับช่วงเวลาปิดเปิดสวิตช์ รูปที่ 13 แสดงฮาร์มอนิกส์กระแสด้านออกที่มีความถี่มูลฐาน 120Hz ฮาร์มอนิกส์สูง ๆ จะถูกกรองออกจากวงจรกรองด้านออก รูปที่ 14 กระแสด้านเข้าก่อนผ่านวงจรกรองเฟสเอ I_a รูปที่ 15 แสดงกระแสด้านเข้าหลังผ่านวงจรกรองจะมีรูปคลื่นไซน์ รูปที่ 16 แสดงฮาร์มอนิกส์กระแสด้านเข้าที่มีความถี่มูลฐาน 50Hz



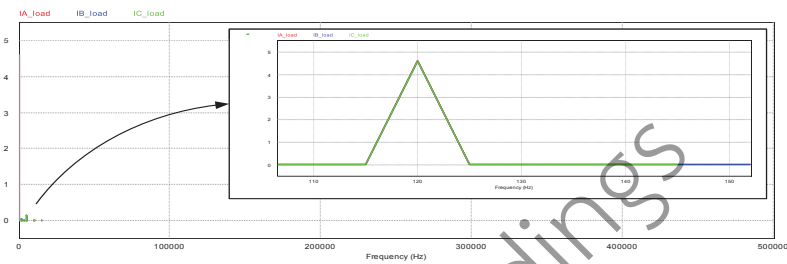
รูปที่ 10 โครงสร้างของเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้ในการจำลองในงานวิจัยนี้



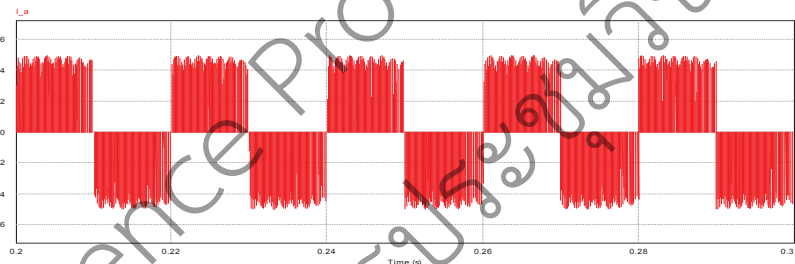
รูปที่ 11 กระแสไฟฟ้าด้านโหลด (I_a I_b I_c)



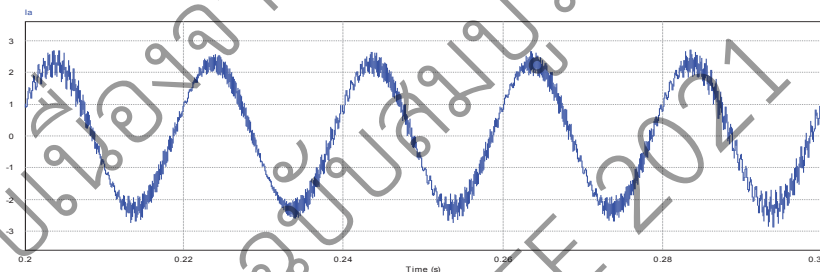
รูปที่ 12 แรงดันระหว่างเฟสด้านโหลด (V_{AB})



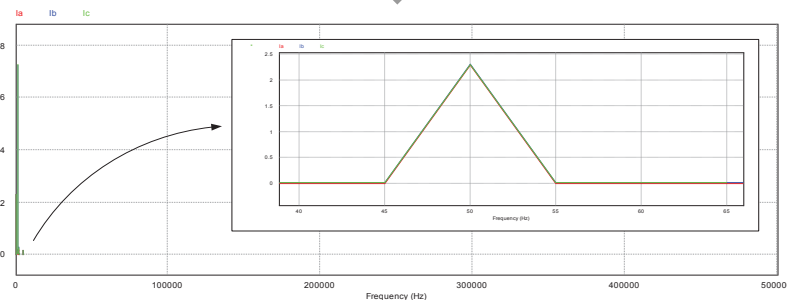
รูปที่ 13 ฮาร์โมนิกส์กระแสด้านออก (ด้านโหลด)



รูปที่ 14 กระแสด้านเข้าก่อนผ่านวงจรกรอง (I_a)



รูปที่ 15 กระแสด้านเข้าหลังผ่านวงจรกรอง (I_a)



รูปที่ 16 ฮาร์โมนิกส์กระแสด้านเข้าหลังผ่านวงจรกรอง

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์สำหรับเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส การมอดูเลตจะแบ่งออกเป็นสองวงจร วงจรแรก คือวงจรเรียงกระแสด้านเข้าและวงจรอินเวอร์เตอร์ด้านออก โดยวงจรเรียงกระแสจะใช้ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับหนึ่ง และวงจรอินเวอร์เตอร์ใช้ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 86.6% การจำลองการทำงานใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSIM โดยสัญญาณสเปซเวกเตอร์มอดูเลตสร้างจากภาษาซี (C-Block) คำนวณคาบเวลาของแต่ละค่าดับเวกเตอร์นำค่าเวลาดังกล่าว มาสร้างสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลตตามลำดับคู่เวกเตอร์ที่เหมาะสม โดยผลการจำลองการทำงานยืนยันความถูกต้องที่นำเสนอ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่สนับสนุนงบวิจัยในครั้งนี้

ขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชัชวาลย์ เจริญบุตร แห่งมหาวิทยาลัยมหิดล ผู้ประสิทธิประสาทวิชา

8. ภาคผนวก

Input source voltage (line-line-rms) 230V, Source frequency 50Hz, Simulation sampling period 2us, Input displacement angle 0, Input filter capacitor 10uF, Input filter inductor 1mH, Input filter damping resistor 0.01 Ohm, Load inductor 20mH, Load resistor 30 Ohm.

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rissik, H., Mercury-Arc Current Converters, Pitman. 1941
- [2] L Gyugyi, B P Pelly. Static Power Frequency Changers: Theory, Performance and Application. New York: John Wiley & Sons Inc, 1976.
- [3] M. Venturini, "A new sine wave in sine wave out conversion technique which eliminates reactive elements," in Proc. POWERCON 7, 1980, pp. E3_1-E3_15.
- [4] ชัชวาลย์ เจริญบุตร เกษฏา อธิระนนท์ และประจักษ์ บุญภักดี "การพัฒนาและควบคุมเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์บ่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียน" วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ครั้งที่ 26 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2558.
- [5] H. W. Broeck, H-C Skudelny, and G. V. Stanke, "Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vector," IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 24, pp. 142-150, Jan./Feb. 1988.
- [6] H. Ca, and P. N. Enjeti, "An approach to reduce common-mode voltage in matrix converter," IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 39, pp. 1151-1159, July/August 2003.

ชุดประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องตีเส้นสนามฟุตบอล
Battery Charger Set from Photovoltaic System for Field Laser Machine of
Football Field

ก่อเกียรติ อ้อดทรัพย์^{1*} ก้องภพ มาเครือ² และ ยุทธพิชัย สายเสื่อ³
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก^{1*,2,3}

Kokiat Aodsap^{1*} Kongpop Makrue² and Yuttapichai Saisua³

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak^{1*,2,3}

E-mail : kokiataodsap@gmail.com^{1*}

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอชุดประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องตีเส้นสนามฟุตบอล ซึ่งนำวงจรทอนระดับแรงดันมาใช้ เพื่อควบคุมการประจุแบตเตอรี่ด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ปรุบัติตัวที่ไซเคิลเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสำหรับการประจุแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ 9 แอมแปร์-ชั่วโมง ผลการทดสอบเครื่องตีเส้นสนามฟุตบอลกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และมีแบตเตอรี่เต็มที่มีปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์สูงกว่า 400 วัตต์ ต่อตารางเมตร สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 28 - 29 โวลต์ สำหรับประจุแบตเตอรี่ได้ โดยที่สนามฟุตบอลได้ระยะทางรวม 789.58 เมตร เทียบกับระยะของเส้นสนามฟุตบอลที่มีความยาวประมาณ 788.8 เมตร พบว่าสนามฟุตบอลได้ครบ 1 รอบ และมีแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่คงเหลือ 33.31 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบประจุแบตเตอรี่ วงจรทอนระดับแรงดัน

Abstract

This article describes a battery charger set from the photovoltaic system for the field laser machine of the football field. A buck converter to reduce the voltage from the solar panel and control the battery charger. The Arduino mega 2560 microcontroller use adjust duty cycle value to control the voltage to be suitable for charging a 24 Volt 9 Ampere-hour battery. The experiment is a field laser machine with photovoltaic systems and a full battery. The sunlight intensity of over 400 W/m² can control the voltage to be in the range of 28 - 29 volts for a battery charge. The result distance was 789.58 m. Comparing to the length of the football field border of 788.80 m. The field laser machine can mark the field for one round and still has 33.31% voltage remaining.

Keywords : Photovoltaic System, Battery Charger System, Buck Converter.

1. บทนำ

กีฬาฟุตบอลมีการแข่งขันอย่างแพร่หลาย และนิยมแข่งขันได้ในทุก ๆ ฤดูกาล ซึ่งบนสนามจะมีเส้นสีขาวแสดงถึงขอบเขตของสนาม ในการตีเส้นสนามฟุตบอลล้วนมีหลากหลายวิธี แต่ถ้าเป็นสนามหญ้าเป็นการยากที่จะให้เป็นเส้นสนามมีความสม่ำเสมอ ก่อเกียรติยศ อืดทรีพธ์ ธนทัต บุญจันทร์ และศรายุทธ ยะวงศ์ [1] ได้ออกแบบรถตีเส้นสนามฟุตบอลที่ใช้หลักการพ่นสี ซึ่งจะใช้หลักการให้ความร้อนแก่สีโดยการให้ความร้อนแบบเหนียวมาเป็นตัวอุ้งสี เพื่อให้สีมีความเหนียว และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่พื้นสนามหญ้า ทำให้เส้นสนามที่ตีออกมานั้นมีขนาดและความเข้มของสีเท่ากัน และไม่ทำให้พื้นหญ้าเสียหาย แต่กระบวนการเหล่านี้ล้วนใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ซึ่งวงจรการทำงานจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ 9 แอมแปร์-ชั่วโมง เป็นแหล่งจ่าย ไฟฟ้าเมื่อทดสอบโดยประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง แล้วทำการเดินตีเส้นสนามฟุตบอลได้ระยะ 488.7 เมตร ไม่สามารถตีเส้นสนามฟุตบอลได้รอบสนามที่มีระยะ 788.8 เมตร จึงจำเป็นต้องถอดแบตเตอรี่ออกไปประจุกอีกหนึ่งครั้ง เพื่อที่จะสามารถตีเส้นสนามฟุตบอลได้ทั้งสนาม

จากปัญหาดังกล่าวจึงค้นหาข้อมูลสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถตีเส้นสนามฟุตบอลทั้งสนาม ซึ่งปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีที่นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จะเป็นส่วนสำคัญในการนำระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มาใช้ งาน เกษม ตรีภาค และคณะ [2] ได้ออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากโซลาร์เซลล์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับ ประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าในสภาวะที่ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำในช่วงเวลาเช้าและเย็น ประสพโชค โท้ทองคำ และคณะ [3] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอัดประจุที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่จากโซลาร์เซลล์ให้สามารถทำการประจุแบตเตอรี่ โดยมีการรักษาระดับแรงดันให้คงที่และเหมาะสมกับขนาดของแบตเตอรี่ โดยที่ระบบจะตรวจสอบว่าแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุเต็มหรือยัง ถ้าเต็มแล้วจะทำการตัดระบบการอัดประจุกออกไปซึ่งจะเป็นการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จากแนวคิดข้างต้นสามารถนำมาสร้างชุดประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับรถตีเส้นสนามฟุตบอล ซึ่งเป็นการประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในขณะที่ทำการตีเส้นสนามฟุตบอล โดยที่ไม่ต้องถอดแบตเตอรี่ออกไปประจุก ก็สามารถทำให้รถตีเส้นสนามฟุตบอลสามารถตีเส้นได้รอบสนาม

2. ขั้นตอนการดำเนินการ

การดำเนินการออกแบบชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะเริ่มจากการออกแบบแผงโซลาร์เซลล์ และตำแหน่งติดตั้ง จากนั้นได้จึงออกแบบวงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้าและวงจรควบคุมแรงดันสำหรับประจุแบตเตอรี่

2.1 การออกแบบแผงโซลาร์เซลล์และโครงสร้างสำหรับการติดตั้ง

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จำเป็นต้องทราบพิกัด ขนาด และน้ำหนักของตัวแผงโซลาร์เซลล์ จึงต้องมาคำนวณหาขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ โดยคำนวณจากพลังงานรวมของโหลดในแต่ละส่วนของรถตีเส้นสนามฟุตบอล ได้แก่ ชุดปั่นสี ชุดบีบฉีดสี และชุดขดลวดอุ้งสี ซึ่งหาได้จาก งานวิจัยที่ผ่านมา [1]

$$\text{พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า} = 217.00 \text{ วัตต์-ชั่วโมง}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดเผื่อค่าสูญเสียระบบ} &= 217.00 \text{ วัตต์-ชั่วโมง} \times 1.3 \text{ (ค่าสูญเสียของระบบ)} \\ &= 282.1 \text{ วัตต์-ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{พลังงานที่ต้องการจากแผงโซลาร์เซลล์} = "282.1 \text{ วัตต์-ชั่วโมง} " / "1 \text{ ชั่วโมง} " = 282.1 \text{ วัตต์สูงสุด}$$

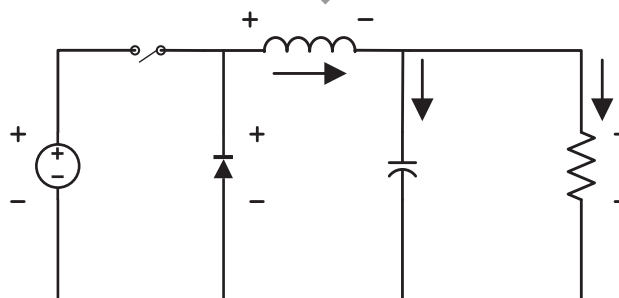
เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 280 วัตต์ เพราะแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 280 วัตต์นี้ มีความยาว 165 เซนติเมตร ความกว้าง 100 เซนติเมตร และมีน้ำหนักประมาณ 19 กิโลกรัม เมื่อทราบข้อมูลดังกล่าว จึงนำมออกแบบการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้โปรแกรม Sketch up ดังรูปที่ 1 เมื่อคำนึง ถึงขนาดและน้ำหนักของแผงโซลาร์เซลล์ จึงออกแบบให้แผงโซลาร์เซลล์เป็นหลังคาบังแสงอาทิตย์ เนื่องจากแผงโซลาร์เซลล์มีน้ำหนักมาก ดังนั้นจึงต้องมีคานเพื่อรองรับน้ำหนักของแผงโซลาร์เซลล์ด้วย นอกจากนี้ยังออกแบบให้แผงโซลาร์เซลล์ทำมุมเอียง 15-20 องศา ซึ่งเป็นมุมที่จะทำให้แสงอาทิตย์ตกกระทบที่แผงโซลาร์เซลล์ได้ทั่วถึงมากที่สุด



รูปที่ 1 การออกแบบการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้โปรแกรม Sketch up

2.2 การออกแบบวงจรทอนระดับแรงดัน

วงจรทอนระดับแรงดัน คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า และเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสตรง นิยมใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน โดยส่วนใหญ่จะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการผสมกับกำลังสองของความถี่ [4]



รูปที่ 2 วงจรทอนระดับแรงดัน

การออกแบบวงจรจรรยาจรทอนระดับแรงดันนั้น เริ่มต้นจากการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า ด้านไฟเข้าจากแผงโซลาร์เซลล์กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 36 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจร เพื่อใช้สำหรับประจุ แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ ให้มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 28 โวลต์ ความถี่ในการสวิตซ์กำหนดให้เท่ากับ 31 kHz แรงดัน ริปเปิ้ลเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ และกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดของวงจรเท่ากับ 280 วัตต์ จากนั้นคำนวณค่าความต้านทาน โหลดจากสมการ (1)

$$P_s = P_o \quad (1)$$

$$P_s = \frac{V_o^2}{R} \quad (2)$$

จากสมการ (1) เมื่อคำนวณหาค่าความต้านทานโหลดตามสมการ จะได้ค่าความต้านทานโหลดเท่ากับ 2.8 โอห์ม จากนั้นคำนวณหาค่าอัตราการขยายแรงดัน D จากสมการ (3)

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (3)$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (3) จะได้ค่าอัตราการขยายแรงดันเท่ากับ 0.78 จากนั้นนำค่าความต้านทานโหลด และอัตราการขยายแรงดันที่คำนวณได้ เป็นตัวแปรเพื่อคำนวณหาตัวเหนี่ยวนำจากสมการ (4)

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (4)$$

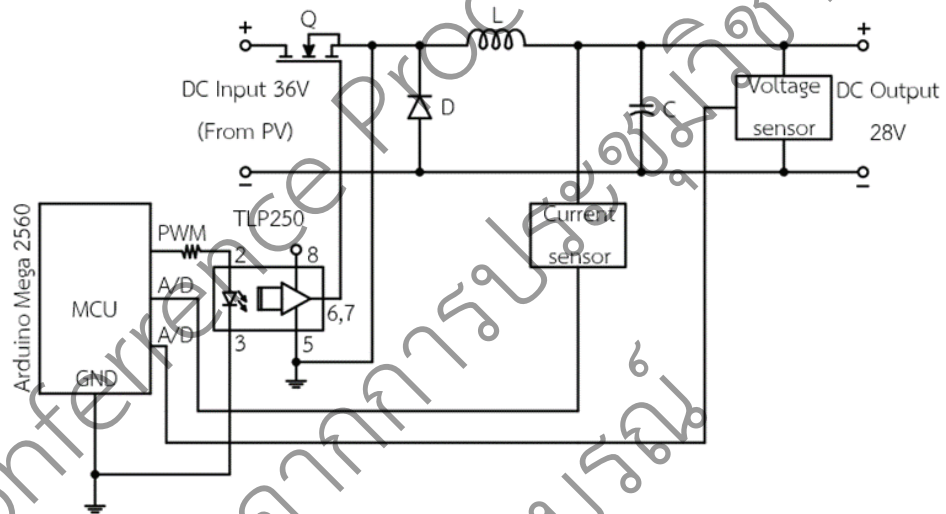
โดย $\Delta i_{L,on}$ มีค่าเท่ากับ $0.01 I_L$ เมื่อค่าริปเปิ้ลเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ I_L หาได้จาก $I_o = V_o / R$ จะได้ I_L เท่ากับ 10 แอมแปร์ ดังนั้น $\Delta i_{L,on}$ เท่ากับ 0.1 แอมแปร์ ส่วน T คือคาบเวลาหาได้จากสมการ $T = 1 / f$ ดังนั้น T เท่ากับ 32×10^{-6} วินาที ดังนั้นค่าตัวเหนี่ยวนำเมื่อคำนวณตามสมการ (4) จะมีค่าเท่ากับ 2.00 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งเป็นค่าตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดน้อยที่สุดที่สามารถนำมาใช้งานได้ จากนั้นคำนวณหาตัวเก็บประจุ ในวงจรทอนระดับแรงดันจากสมการ (5)

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_{L,on}}{8C} \quad (5)$$

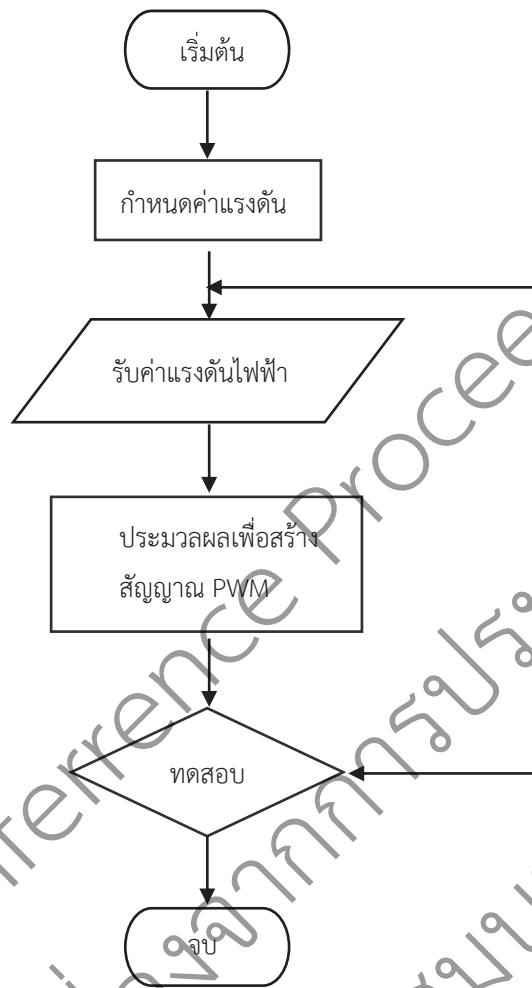
โดย ΔV_o เท่ากับ $0.01 \Delta V_o$ เมื่อค่าริปเปิ้ลเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ΔV_o จึงเท่ากับ 0.28 โวลต์ ดังนั้นเมื่อนำค่าตัวแปรต่าง ๆ แทนลงในสมการ (5) จะได้ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 1.43 ไมโครฟารัด โดยค่าตัวเก็บ ประจุที่คำนวณได้นั้นเป็นค่าน้อยที่สุดที่สามารถเลือกนำมาใช้งานซึ่งจะทำให้เกิดค่าริปเปิ้ลไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้ ขนาดของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

2.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมระดับแรงดัน

วงจรควบคุมของชุดประจุแบตเตอรี่ ด้วยการใช้วงจรทอนระดับแรงดันโดยการทำงานจะเริ่มจากส่วนที่สร้างสัญญาณ PWM จากนั้นสัญญาณ PWM จะผ่านไปท่วงจรชั้บเกตซึ่งจะทำการขยายสัญญาณส่งผ่านไปท่วงจรกำลังไฟฟ้า โดยจะมีเซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เพื่อวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับประจุแบตเตอรี่ โดยที่ค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านี้จะถูกส่งเข้าไปที่ชุดประมวลผล และตัดสินใจของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เพื่อประมวลผลสัญญาณแล้วสร้างสัญญาณ PWM ดังรูปที่ 3 การออกแบบลำดับในการควบคุมการสร้างสัญญาณ PWM ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แผนภาพการควบคุมวงจรถอนระดับแรงดันสำหรับชาร์จประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4 แผนผังโปรแกรมการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้า

3. ผลการทดสอบ

การทดสอบชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่สำหรับเครื่องตีเส้นสนามฟุตบอล แบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน คือ การทดสอบวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และการทดสอบตีเส้นสนามฟุตบอล ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

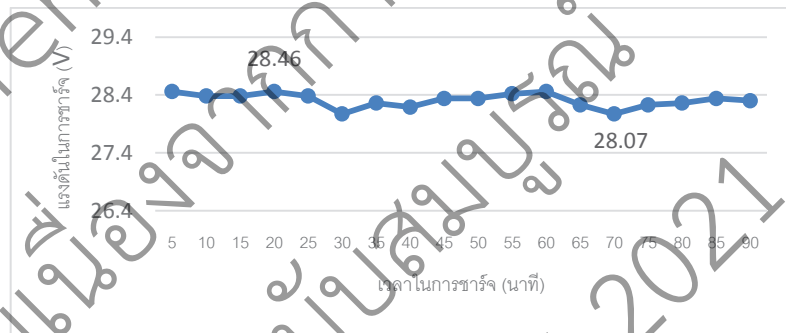
3.1 การทดสอบวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การควบคุมการประจุแบตเตอรี่จะใช้วงจรทอนระดับแรงดันเพื่อลดทอนแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสำหรับการประจุแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ 9 แอมแปร์-ชั่วโมง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการประจุแบตเตอรี่ต่ำสุดคือ 26.40 โวลต์ และสูงสุดคือ 29.40 โวลต์ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับประจุไฟฟ้าให้คงที่ จึงกำหนดแรงดันไฟฟ้าสำหรับประจุไว้ที่ 28 โวลต์ โดยการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมค่าดิวิตีไซเคิล เพื่อให้สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกแบบอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 การทดสอบด้วยการประจุแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ เพื่อบันทึกผลการประจุแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และนำผลที่ได้ จากการทดลองบันทึกผลลงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบวงจรทอนระดับแรงดันสำหรับการประจุแบตเตอรี่

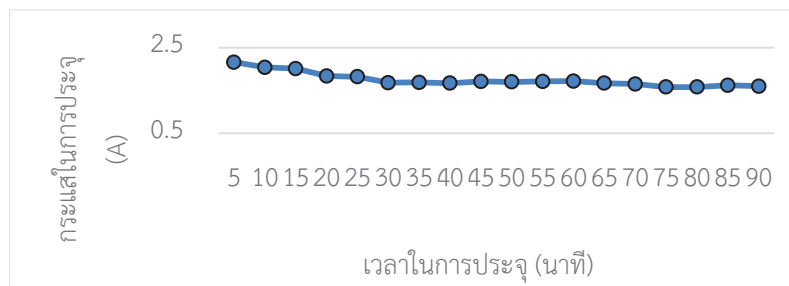
เวลาในการประจุ (นาที)	แรงดันจากโวลต์มิเตอร์ (V)	กระแสในการประจุ (A)	แรงดันในการประจุ (V)
10	32.52	2.04	28.38
20	33.73	1.84	28.46
30	31.90	1.68	28.07
40	32.04	1.67	28.19
50	33.06	1.70	28.34
60	33.41	1.72	28.46
70	32.70	1.65	28.07
80	33.00	1.58	28.26
90	33.23	1.60	28.30

การประจุแบตเตอรี่ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมจะค่อย ๆ ปรับค่า ดิวตี้ไซเคิลเพื่อควบคุมระดับแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ให้เหมาะสำหรับการประจุแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ 9 แอมแปร์-ชั่วโมง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะประจุแบตเตอรี่ให้อยู่ในช่วง 26.40 ถึง 29.40 โวลต์

สำหรับการประจุแบบแรงดันคงที่กระแสขณะเริ่มประจุจะสูง และเมื่อเวลาผ่านไปกระแสจะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กระแสไฟฟ้าขณะประจุแบตเตอรี่

3.2 การทดสอบตีเส้นสนามฟุตบอล

การทดสอบการเดินตีเส้นสนามฟุตบอลด้วยการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง และประจุแบตเตอรี่ไปด้วยโดยใช้ชุดประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์สูงกว่า 400 วัตต์ ต่อตารางเมตร ทำการเดินตีเส้นสนามฟุตบอลไปกลับในระยะทางที่กำหนด 30 เมตร แล้วทำการวัดระยะทาง เมื่อสีหมดถึงทำการเติมสีที่ผสมแล้วอีกรอบ และทำการเดินตีเส้นสนามฟุตบอลอีกครั้งเหมือนการทดลองครั้งที่ 1 ทำการทดลองซ้ำเรื่อย ๆ จนระยะทางรวมที่ได้มีค่ามากกว่า 1 รอบสนามฟุตบอล ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะทางในการตีเส้นสนามฟุตบอลต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

ครั้งที่	ความเข้มของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	ระยะทาง (m)	กระแสในการประจุ (A)	แรงดันในการประจุ (V)
1	994.84	137.67	1.09	28.38
2	886.38	136.41	1.88	28.38
3	908.50	134.66	2.21	28.38
4	701.52	133.05	2.67	28.07
5	797.90	130.92	3.29	29.05
6	777.36	116.87	3.39	28.85

การวัดระยะทางในการตีเส้นสนามฟุตบอลต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง และประจุแบตเตอรี่ไปด้วยการใช้โซลาร์เซลล์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับวงจรการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งใช้แบตเตอรี่ 24 โวลต์ที่มีความจุ 9 แอมป์-ชั่วโมง พบว่าสามารถตีเส้นสนามฟุตบอลได้จำนวน 6 ถึง ได้ระยะทางรวม 789.58 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะของเส้นสนามฟุตบอลที่มีความยาวสูงสุดทั้งหมดประมาณ 788.8 เมตร ซึ่งสรุปได้ว่าการเพิ่มชุดแหล่งจ่ายพลังงานผสมผสานระหว่างโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ ทำให้สามารถตีเส้นสนามฟุตบอลได้ทั้งรอบสนามและเมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ ปรากฏว่ายังมีแรงดันไฟฟ้าเหลืออยู่อีก 25.58 โวลต์



รูปที่ 7 รถดีเส้นสนามฟุตบอลที่ติดตั้งชุดประจุแบตเตอรี่จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบดีเส้นสนามฟุตบอลโดยประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง ที่ปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์สูงกว่า 400 วัตต์ ต่อตารางเมตร สามารถควบคุมตัวดีไซเคิลเพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ระดับแรงดันให้มีค่าใกล้เคียง 28 โวลต์ เพื่อความเหมาะสมสำหรับประจุแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ 9 แอมแปร์ ชั่วโมงได้ โดยที่สามารถดีเส้นสนามฟุตบอลได้ ระยะทางรวม 789.58 เมตร เทียบกับระยะของเส้นสนามฟุตบอลที่มีความยาวสูงสุดทั้งหมดประมาณ 788.8 เมตร แสดงให้เห็นว่าสามารถดีเส้นสนามฟุตบอลได้รอบสนาม โดยที่ไม่ต้องถอดแบตเตอรี่ออกมาเพื่อประจุอีก และมีแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เหลืออยู่ 25.58 โวลต์ คิดเป็น 33.31 เปอร์เซ็นต์จากความจุของแบตเตอรี่ เนื่องจากการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทำให้เครื่องดีเส้นสนามมีน้ำหนักมาก จึงจะต้องเพิ่มเติมระบบขับเคลื่อนในการพัฒนาต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ก่อเกียรติ อัดทรัพย์ ธนทัต บุญจันทร์ และ ศรายุทธ ยะวงศ์. ชุดควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นสีของเครื่องดีเส้นสำหรับสนามฟุตบอล. งานประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 12; 26-28 มิถุนายน พ.ศ.2562; โรงแรมชลจันทร์พัทยารีสอร์ท จ.ชลบุรี; 2562. หน้า 1091-1095.
- [2] เกษม ตรีภาค และคณะ. วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับชาร์จประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ นครสวรรค์ ครั้งที่ 12; 21-22 กรกฎาคม พ.ศ.2559; มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก; 2559. หน้า 531-543.
- [3] ประสพโชค ไททองคำ และคณะ. เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. 2552; 10(19) : 60-69.
- [4] วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง; 2548.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การพัฒนาระบบควบคุมและติดตามสถานะของคอมพิวเตอร์

ด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตาม

The Development of Control System and Monitor the Status of the Computer
by Publish and Subscribe Techniques

เอกรินทร์ วาโย^{1*} และ กุลยธร บุญแข็ง²
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา^{1*,2}

Ekkarin Wayo^{1*} and Kulyuth Boonseng²
Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University^{1*,2}
E-mail : ekkarin.wa@skru.ac.th^{1*}, kulyuth.bo@skru.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมและติดตามสถานะคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตาม โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบและพัฒนาระบบขึ้นในรูปแบบของโปรแกรมโดยใช้ภาษาไพธอน สำหรับโปรแกรมที่ติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์จะใช้ภาษาวิซวลเบสิก 2019 ในการเขียนคำสั่งโปรแกรมและอุปกรณ์ทั้งหมดจะรับส่งข้อมูลโดยใช้เทคนิคการเผยแพร่และการติดตามกับบอร์ดราสเบอร์รี่พายซึ่งทำหน้าที่เป็น MQTT Broker 2) เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ โดยให้ผู้ดูแลระบบคอมพิวเตอร์ได้ทดลองใช้งานโดยระบบทำงานได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ 3) ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมากที่สุด ($\bar{X} = 4.72$) จึงสรุปได้ว่าระบบนี้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้จริงและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้

คำสำคัญ : ควบคุม สถานะ คอมพิวเตอร์ เผยแพร่ ติดตาม

Abstract

The objectives of this research were 1) Design and develop computer control and monitoring systems with publish and Subscribe techniques. The researcher has designed and developed a system in the form of a program using Python. For programs that are installed on computers use the Visual Basic 2019 language, Programs and devices transmit and receive data using a publish and subscribe with the Raspberry Pie board acting as an MQTT Broker. 2) To test the operation of the system By allowing computer administrators to try using the system to work 100 percent correctly. 3) System performance evaluation by 5 experts, The evaluation results showed that the developed system performed at the best level. So it can be concluded that This system can be deployed and implemented and improves the efficiency of the system administrator

Keywords : Control, Status ,Computer, Publish, Subscribe

1. บทนำ

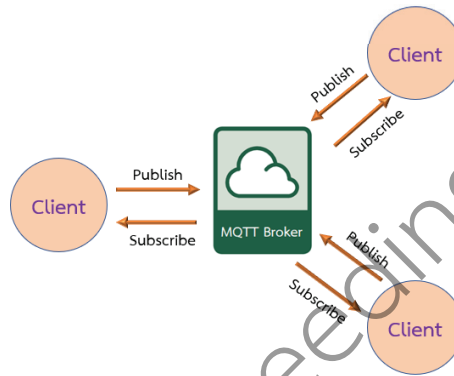
ปัจจุบันองค์กรต่าง ๆ ได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาระบบสารสนเทศขึ้นมาใช้งาน เพราะระบบสารสนเทศจะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพและประสิทธิภาพในการบริหารงานขององค์กร โดยเฉพาะกับสถาบันการศึกษาได้พัฒนาระบบสารสนเทศขึ้นมาใช้งาน จึงช่วยเพิ่มโอกาสให้กับนักเรียน นักศึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้องได้เข้าถึงสารสนเทศได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว สอดคล้องกับกรอบแนวคิดและนโยบายด้านการพัฒนาและนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพเพื่อเพิ่มโอกาสทางการศึกษา ตามแผนการศึกษาแห่งชาติ ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2 [1] สำหรับระบบสารสนเทศของสถานศึกษาที่ใช้บริการและสนับสนุนการเรียนรู้ของผู้เรียนจะประกอบด้วยหลายส่วน เช่น ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ต่อพ่วง และระบบเครือข่ายเพื่อให้บริการอินเทอร์เน็ต ส่วนต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะมีการชำรุดเสียหายไปตามลักษณะการใช้งาน โดยเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานร่วมกันและมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมากจะต้องเอาใจใส่ดูแลบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลาและยืดอายุการใช้งานให้ยาวนาน

เครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการเป็นเครื่องสาธารณะมีผู้ใช้งานหลายคนและหลากหลาย บางคนใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ถูกวิธีแต่บางคนใช้งานไม่ถูกต้องและบ่อยครั้งหลังจากใช้งานเสร็จผู้ใช้งานมักจะเปิดคอมพิวเตอร์ทิ้งไว้ จึงส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของสถานศึกษาและมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ชำรุดเสียหาย อีกทั้งในการตรวจสอบและซ่อมบำรุงเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่มีปริมาณเครื่องใช้งานเป็นจำนวนมากจะต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานผู้ดูแลจะต้องทดลองเปิดใช้งานและตรวจสอบการทำงานที่ละเอียด ซึ่งการตรวจสอบและติดตามการทำงานของคอมพิวเตอร์เป็นหน้าที่สำคัญของผู้ดูแลระบบที่จะต้องติดตามการทำงานอยู่ตลอดเวลา และผู้ดูแลระบบมีภาระหน้าที่อื่น ๆ หลายด้านทำให้การดูแลไม่ทั่วถึงเป็นสาเหตุให้การดำเนินงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ขัดข้อง ทำงานผิดปกติไม่สามารถแก้ไขได้อย่างทัน่วงที่ จึงส่งผลกระทบต่อการใช้งานแก่ผู้ใช้งานทำให้เกิดความเสียหายต่อการทำงานขององค์กร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบควบคุมและติดตามสถานะคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการเผยแพร่และติดตามขึ้น เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับช่วยเหลือผู้ดูแลระบบในการควบคุม ติดตาม บริหารจัดการเครื่องคอมพิวเตอร์และห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาต่าง ๆ ทำให้การทำงานรวดเร็ว สามารถแก้ปัญหาได้ทัน่วงที่ มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์ต่อการให้บริการแก่ผู้ใช้งาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โพรโตคอลเอ็มคิวทีที

MQTT ย่อมาจาก Message Queuing Telemetry Transport เป็นโพรโตคอลสำหรับใช้ในสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องกับเครื่อง (Machine to Machine: M2M) โดยทำงานในรูปแบบของการเผยแพร่และติดตาม (Publish/Subscribe) โดยผู้ส่งจะทำการส่งหรือเผยแพร่ข้อมูลออกไป ส่วนผู้รับหรือผู้ติดตามสนใจรับข้อมูลเฉพาะที่ตนเองสนใจเพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้งานต่อไป [2] ซึ่ง MQTT เป็นโพรโตคอลที่นิยมใช้กับงาน IoT เนื่องจากข้อมูลที่มีการรับส่งมีขนาดเล็ก ลดการใช้ Bandwidth ของระบบเครือข่าย โดยหลักการทำงานมีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทำงานของ MQTT

2.2 ภาษาไพธอน

ไพธอน เป็นภาษาระดับสูง (High-Level Language) ที่พัฒนาจากการผสมผสานความหลากหลายของภาษาอื่น ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งได้รับการเผยแพร่ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 ด้วยเวอร์ชัน 0.9.0 มาถึงปัจจุบันในเวอร์ชัน 3.8.5 ภาษาไพธอนมีความสามารถและประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีชุมชน (Community) ที่มีนักพัฒนา (Developer) เข้าร่วมพัฒนาและมีไลบรารี (Library) ให้ใช้งานเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีผู้สนับสนุนหลักรายใหญ่ เช่น Google eBay เป็นต้น [3] และที่สำคัญผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดซอฟต์แวร์ภาษาไพธอนไปใช้งานได้ฟรี (Open Source) จึงทำให้อาณาเขตของภาษามีแนวโน้มได้รับความนิยมมากขึ้น ทำให้ในปัจจุบันมีนักวิเคราะห์และโปรแกรมเมอร์หันมาใช้ภาษาไพธอนในการพัฒนาระบบงานมากขึ้น

2.3 บอร์ดราสเบอร์รี่พาย

ราสเบอร์รี่พาย เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงาน Spreadsheet Word Processing ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกมส์ อีกทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้ รองรับระบบปฏิบัติการ ลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ดราสเบอร์รี่พาย นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี [4] นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ต GPIO USB และ LAN เพื่อรับข้อมูลหรือแสดงผลสำหรับการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า งานวิจัยในอดีตที่ได้ศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมและติดตามสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย มีดังนี้

จักรินทร์ [5] เสนอวิทยานิพนธ์เรื่องระบบตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายและเครื่องแม่ข่ายกรณีศึกษา บริษัท แอมเซล จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและเฝ้าสังเกตข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับระบบเครือข่ายและเครื่องแม่ข่าย และแจ้งเตือนไปยัง Line ของผู้ดูแลระบบทันทีหากระบบมีปัญหาหรือใช้งานไม่ได้เพื่อให้

ผู้ดูแลระบบทราบปัญหาและแก้ไขได้ในเวลาอันรวดเร็วขึ้นและจัดเก็บไว้เพื่อทำการวิเคราะห์ในภายหลังเพื่อพัฒนาให้ระบบดีขึ้น

ประพันธ์ [6] เสนอวิทยานิพนธ์เรื่องระบบตรวจสอบการทำงานของระบบเครือข่ายและแจ้งเตือนผ่านโปรแกรม LINE โดยศึกษาระบบตรวจสอบการทำงานของระบบเครือข่ายให้มีการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านโปรแกรม LINE และผลการศึกษานำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือสำหรับผู้ดูแลระบบเครือข่ายในการบริหารจัดการระบบ ช่วยในการแจ้งเตือนสถานะของอุปกรณ์ Switch และปริมาณ Traffic ของระบบเครือข่าย ด้วยการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านโปรแกรม LINE ให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้ระบบเครือข่ายใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้เป็นแบบ Free and Open Source ซึ่งจะเป็นการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายให้กับองค์กรได้อีกด้วย

สาธิต [7] เสนองานวิจัยเรื่องระบบตรวจจับและแจ้งเหตุผิดปกติของหม้อต้มของเครื่องแม่ข่ายผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งได้ศึกษาและพัฒนาระบบตรวจจับและแจ้งเหตุผิดปกติของหม้อต้มของเครื่องแม่ข่ายผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์และนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นระบบตรวจจับและแจ้งเหตุผิดปกติของหม้อต้มของเครื่องแม่ข่ายผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยระบบที่พัฒนาสามารถตรวจจับค่าอุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดแล้วรายงานไปยังผู้ดูแลระบบโดยผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยอัตโนมัติ ผลจากการทดสอบ พบว่าระบบที่พัฒนาสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์กล่าวคือ ระบบสามารถแจ้งเหตุผิดปกติของหม้อต้มของเครื่องแม่ข่ายไปยังผู้ดูแลระบบได้ทันที จึงทำให้เครื่องแม่ข่ายไม่เกิดความเสียหาย และยังสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบต่อไปในอนาคต

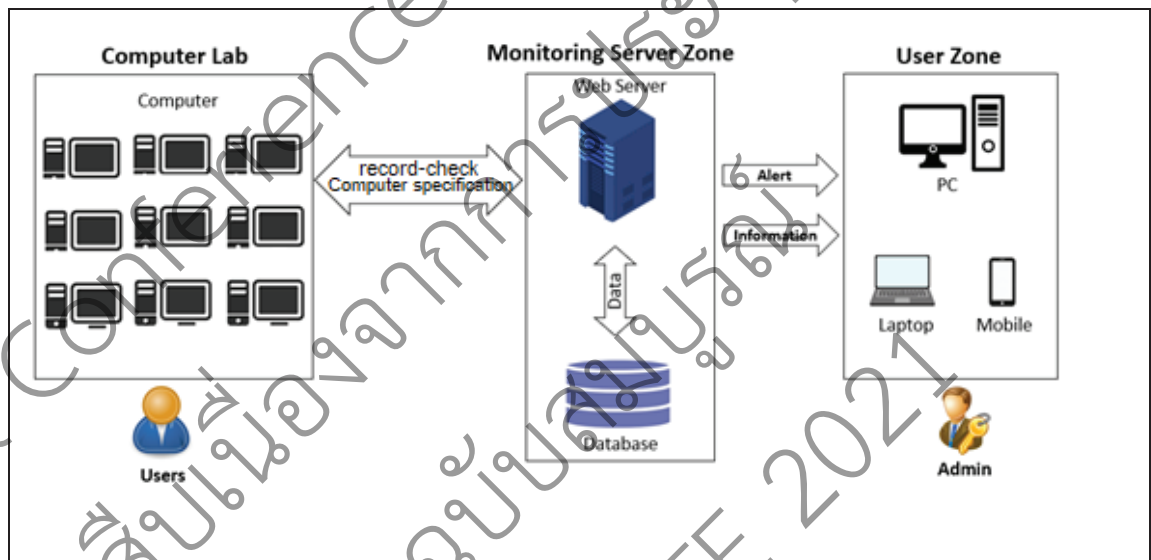
เอกรินทร์ [8] เสนองานวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับตรวจสอบสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตาม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของการซ่อมบำรุงระบบคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาระบบสารสนเทศที่มีความสามารถในการตรวจสอบสถานะการใช้งานคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งจะสนับสนุนการตัดสินใจที่ช่วยลดระยะเวลาในการตรวจสอบหาเครื่องที่ชำรุดและไม่พร้อมใช้งาน โดยทดลองใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์จำนวน 72 เครื่อง ใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พายทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่าย พบว่า ระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นสามารถแจ้งบอกเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ควรเข้าตรวจสอบบำรุงได้อย่างถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 86.45

ณอม [9] ได้เสนองานวิจัยเรื่องการพัฒนาตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบเครือข่ายและอุณหภูมิห้องแม่ข่าย โดยการประยุกต์ใช้งานซอฟต์แวร์ตรวจสอบสถานะการทำงานที่ได้รับการพัฒนาด้วยภาษา PHP และระบบวัดอุณหภูมิด้วยเซนเซอร์ DS1820 ที่สามารถส่งผ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล SNMP งานวิจัยนี้ได้ทดสอบใช้งานกับระบบเครือข่ายของภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องแม่ข่าย 12 เครื่อง อุปกรณ์เครือข่าย 6 เครื่อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจสอบและแสดงผลสถานะการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดและอุณหภูมิภายในห้องแม่ข่ายผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ หากอุณหภูมิสูงเกินจุดวิกฤติที่ได้กำหนดไว้ หรืออุปกรณ์เครือข่ายเกิดการขัดข้อง ระบบจะทำการแจ้งเตือนอัตโนมัติไปยังผู้ดูแลระบบเครือข่ายผ่านทางอีเมลเพื่อเข้าไปทำการแก้ไขได้ทันทีที่ ช่วยลดงบประมาณของหน่วยงานในการจัดซื้อโปรแกรมเข้ามาใช้งาน อีกทั้งข้อมูลที่บันทึกไว้สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อวางแผนการใช้งานระบบเครือข่ายต่อไปได้

ดิเรก [10] เสนอวิทยานิพนธ์เรื่องระบบมอนิเตอร์การทำงานของเครือข่าย กรณีศึกษาบริษัทพร้อม เทคนิคคอล เซอร์วิสเชส จำกัด โดยจะเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครือข่ายบนตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ผู้จัดทำดูแลอยู่โดยจะแสดงข้อมูลที่จำเป็นของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังและใช้ในการวิเคราะห์ป้องกันกับสิ่งที่จะเกิดขึ้นในระบบเครือข่ายของบริษัท โดยรายละเอียดข้อมูลที่จะแสดงจะมีการทำงานของซีพียู หน่วยความจำ พัดลม ทราฟฟิกขาเข้าและออกของอินเทอร์เน็ต และจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปประเมินว่าเกินกว่าค่าของ Threshold ที่ตั้งไว้หรือไม่ถ้าเกินระบบก็จะทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลต่อไป

3. กรอบแนวคิดของการวิจัย

เครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการจะส่งข้อมูลแจ้งสถานะการทำงานและข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญด้วยโปรแกรมขนาดเล็กเพื่อยืนยันตัวตนผ่านระบบเครือข่ายไปยังเครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลไว้ใช้งานและแจ้งเตือนให้กับผู้ดูแลระบบ



รูปที่ 2 โครงสร้างการทำงานของระบบ

โปรแกรมขนาดเล็กจะถูกติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการทุกเครื่องและจะทำงานแบบเบื้องหลัง (Background running) โดยจะไม่รบกวนการทำงานของผู้ใช้งาน โปรแกรมจะส่งข้อมูลและสถานะการทำงานของเครื่องไปยังเครื่องแม่ข่าย (Web Server) ที่ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลทั้งหมดไว้ในฐานข้อมูล โดยจะเก็บข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็น เช่น ข้อมูลการใช้งานของหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ ฮาร์ดดิสก์ หมายเลขไอพี วันที่และเวลา และข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น ข้อมูลทั้งหมดที่จัดเก็บในฐานข้อมูลจะถูกนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อรายงานไปยังผู้ดูแลระบบในรูปแบบของการแจ้งเตือนและรายงานผ่านโปรแกรมที่ติดตั้งไว้บนเครื่องแม่ข่ายโดยจะแสดงผลสถานะและรายงานการทำงานของคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องให้ผู้ดูแลระบบได้รับทราบข้อมูลตลอดเวลา

4. วิธีการวิจัย

4.1 วิเคราะห์ความต้องการของผู้ดูแลระบบ

จากการศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการใช้งานของผู้ดูแลระบบ พบว่ามีความต้องการใช้งานระบบดังนี้

4.1.1 สามารถบันทึกข้อมูลรายละเอียดของเครื่องคอมพิวเตอร์ในฐานข้อมูลได้

4.1.2 สามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการโดยแสดงผลข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ เช่น การใช้งาน CPU, Ram, Hard disk เป็นต้น มีความสะดวกและรวดเร็วในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์

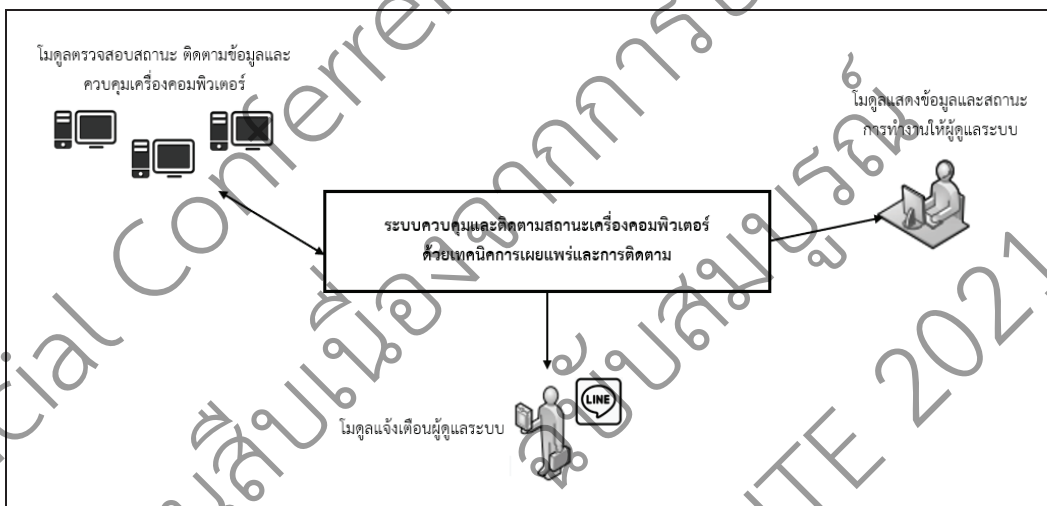
4.1.3 สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยการสั่ง Shutdown และ Restart การทำงานได้

4.1.4 ระบบจะบันทึกสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้

4.1.5 สามารถเข้าใช้งานระบบผ่านทางอินเทอร์เน็ตด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์มือถือ

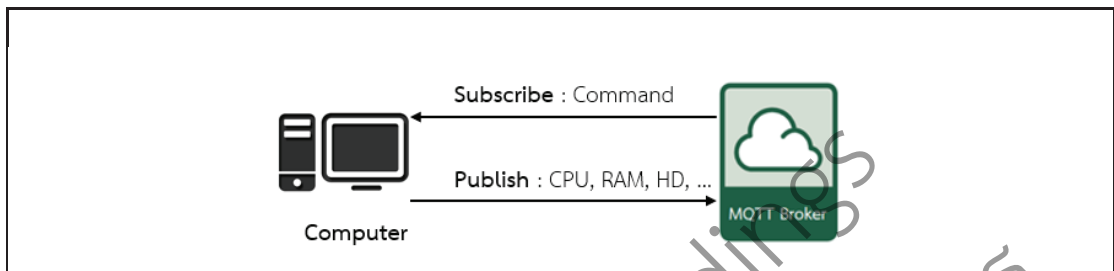
4.2 ออกแบบระบบการทำงาน

ระบบควบคุมและติดตามสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตามประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้



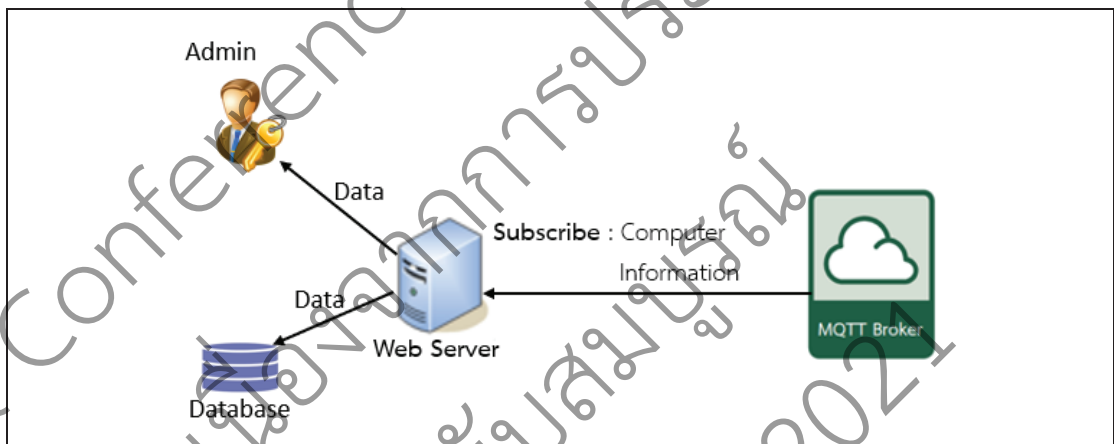
รูปที่ 3 โมดูลการทำงานของระบบ

4.2.1 โมดูลตรวจสอบสถานะ ติดตามข้อมูลและควบคุมเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นโปรแกรมขนาดเล็กพัฒนาด้วยภาษาซีพลัส 2019 ซึ่งจะติดตั้งไว้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง โดยโปรแกรมนี้นมีหน้าที่เผยแพร่ (Publish) ส่งข้อมูลการใช้งาน CPU, RAM, Hard disk และข้อมูลอื่น ๆ ให้กับ MQTT Broker และโปรแกรมจะทำหน้าที่ติดตาม (Subscribe) เพื่อรับข้อมูลการสั่งควบคุมการทำงานจาก MQTT Broker เช่นการสั่ง Shutdown และ Restart เครื่องคอมพิวเตอร์



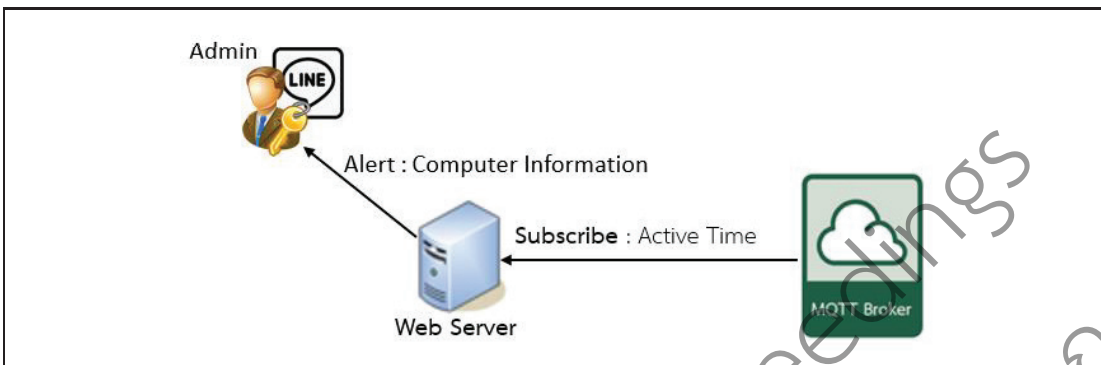
รูปที่ 4 การทำงานของโมดูลตรวจสอบสถานะ

4.2.2 โมดูลแสดงข้อมูลและสถานะการทำงานให้ผู้ดูแลระบบ พัฒนาด้วยภาษาไพธอนโดยติดตั้งไว้บนเครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งโมดูลนี้มีหน้าที่ติดตามเพื่อรับข้อมูลการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นั้นที่กลุ่ฐานข้อมูลและแสดงผลสถานะการทำงานให้แก่ผู้ดูแลระบบ



รูปที่ 5 การทำงานของโมดูลแสดงข้อมูลและสถานะ

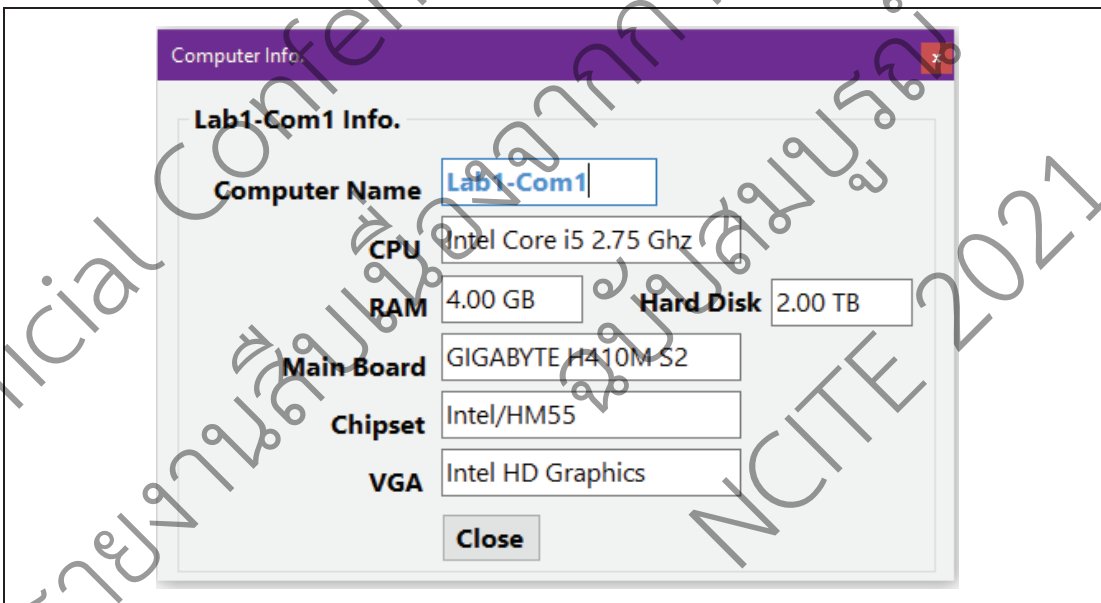
4.2.3 โมดูลแจ้งเตือนผู้ดูแลระบบ พัฒนาด้วยภาษาไพธอนซึ่งเป็นโปรแกรมขนาดเล็กโดยติดตั้งไว้บนเครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ โมดูลนี้มีหน้าที่ติดตามเพื่อรับข้อมูลการเปิดใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ จาก MQTT Broker จากนั้นจะนำข้อมูลมาตรวจสอบว่าหากมีการเปิดใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน และอยู่ในช่วงที่ไม่มี การเรียนการสอน จะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบผ่านทางโปรแกรม Line



รูปที่ 6 การทำงานของโมดูลแจ้งเตือนผู้ดูแลระบบ

4.3 พัฒนาโปรแกรมสำหรับติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์

โปรแกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์พัฒนาขึ้นด้วยภาษาวิซวลเบสิก 2019 โดยใช้เทคนิคการส่งข้อมูลแบบเผยแพร่เพื่อแจ้งข้อมูลและสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น การใช้งาน CPU, RAM, Hard disk ไปยัง MQTT Broker



รูปที่ 7 หน้าจอโปรแกรมที่ติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปติดตั้งได้ทั้งระบบ Windows 7 และ Windows 10 และโปรแกรมจะแสดงรายละเอียดข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยถูกกำหนดให้ทำงานแบบเบื้องหลัง (Background Running) ซึ่งจะไม่รบกวนการทำงานของระบบและผู้ใช้งาน อีกทั้งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีขนาดเล็ก 20.25 MB ทำให้ไม่สิ้นเปลืองต่อการใช้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์

4.4 ติดตั้งเครื่องให้บริการ MQTT Broker

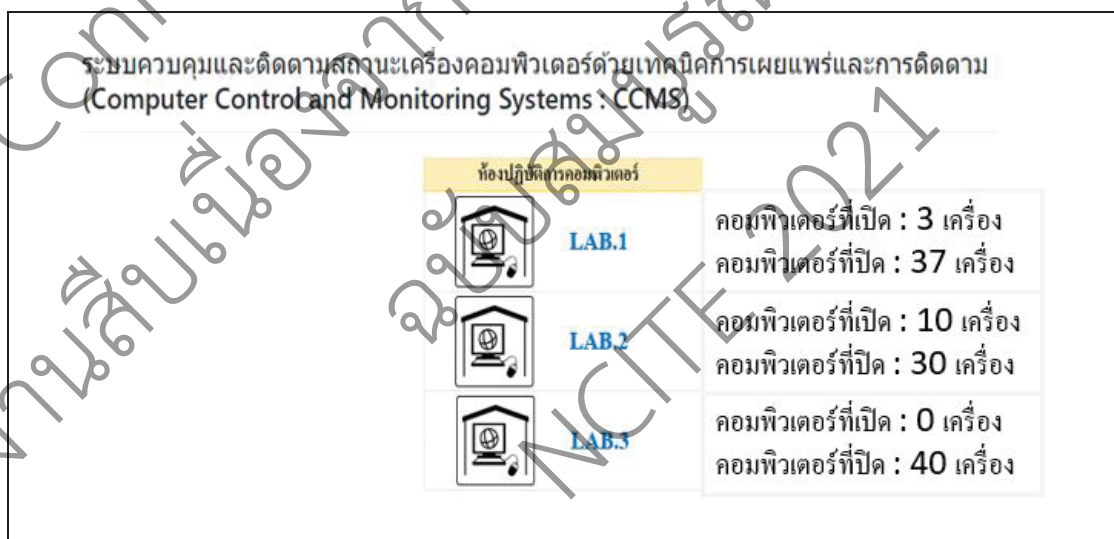
การให้บริการ MQTT Broker นั้นจะเลือกใช้บอร์ด Raspberry Pi 3 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นคอมพิวเตอร์ในบอร์ดเดียว มีหน่วยประมวลผลแบบ Quad-Core ความเร็ว 900 MHz และหน่วยความจำชั่วคราวขนาด 1 GB [11] โดยจะติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspbian รุ่น Jessie with PIXEL และติดตั้งซอฟต์แวร์ Eclipse Mosquitto Version 2.0 เพื่อทำหน้าที่เป็น Broker สำหรับเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลของระบบ

4.5 ติดตั้งเครื่องแม่ข่ายให้บริการ Web Server

เนื่องจากระบบควบคุมและติดตามสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปแบบของโปรแกรมที่ทำงานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พาย 3 โดยติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspbian รุ่น Jessie with PIXEL ตัวแปลภาษา Python version 3 รวมทั้งโปรแกรมและ Library ต่าง ๆ ที่จำเป็น ได้แก่ paho-mqtt psutil, netifaces, mysql-connector และ songline เพื่อทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์

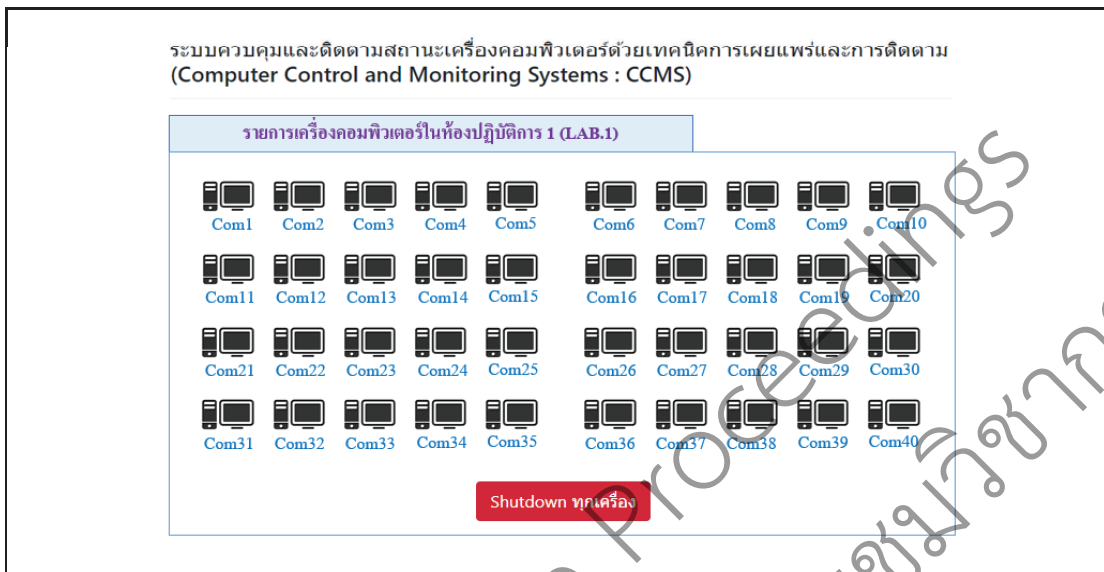
4.6 พัฒนาระบบสารสนเทศควบคุมติดตามสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์

ระบบสารสนเทศควบคุมติดตามสถานะของเครื่องคอมพิวเตอร์พัฒนาขึ้นด้วย Django framework version 1.11.5 ซึ่งใช้ในการสร้างโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา Python version 3 จะมีส่วนประกอบทุกอย่างที่จำเป็นตั้งแต่การเชื่อมต่อฐานข้อมูล ไปจนถึงการ render ข้อมูลออกมาให้ฝั่ง Front End แสดงผลข้อมูลเหล่านั้นในรูปแบบ model-view-controller [12] และใช้ Bootstrap Framework version 4 สำหรับตกแต่งความสวยงามให้กับหน้าเว็บ สำหรับการจัดเก็บข้อมูลจะใช้ Mysql version 8.0 เพื่อจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด



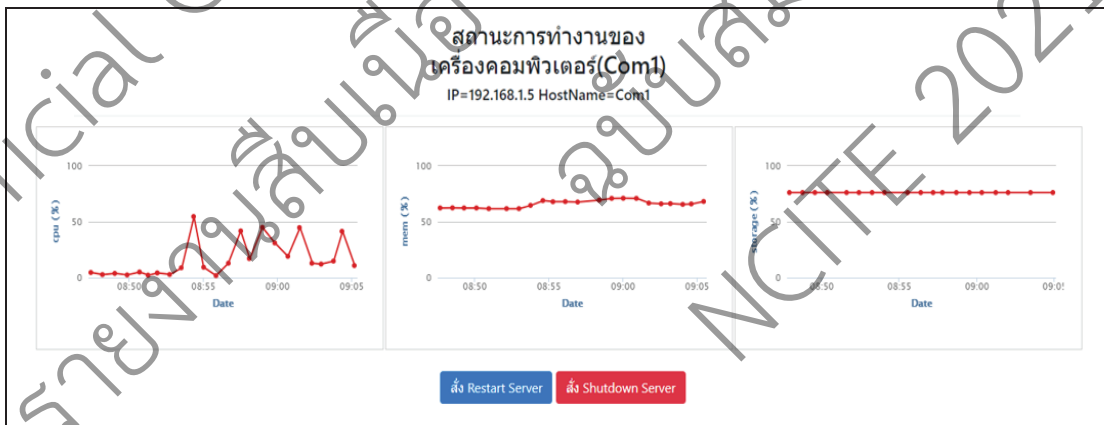
รูปที่ 8 หน้าหลักของระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ

หน้าหลักของระบบจะแสดงรายการห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 3 ห้อง จะแสดงจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดและปิดใช้งานภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถ Click เพื่อดูข้อมูลและสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการได้



รูปที่ 9 รายชื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการ 1 (LAB.1)

ระบบจะแสดงผลรายชื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการที่ได้เลือก และแสดงสถานะของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ว่ากำลังเปิดหรือปิดการใช้งาน ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถสั่ง Shutdown คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่เปิดใช้งานอยู่ นอกจากนี้สามารถ Click เลือกดูรายละเอียดข้อมูลและสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่กำลังเปิดใช้งานในแต่ละเครื่องได้



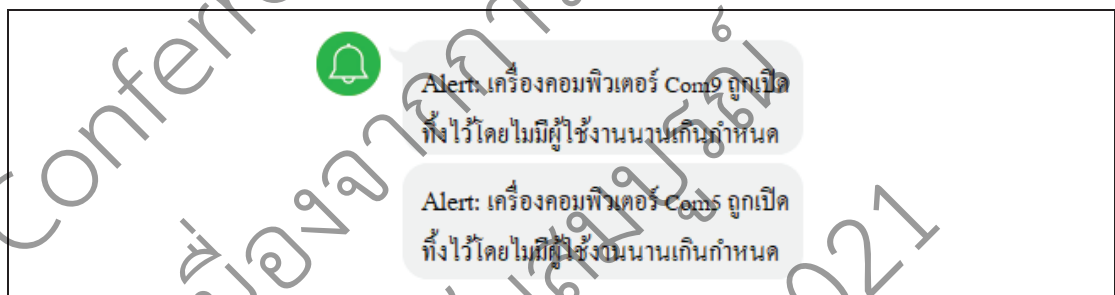
รูปที่ 10 รายละเอียดสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Com1) ในห้องปฏิบัติการ 1

ระบบจะแสดงรายละเอียดสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่กำลังเปิดใช้งาน และผู้ดูแลระบบสามารถควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ได้โดยการสั่ง Restart หรือ Shutdown

5. ผลการทดลอง

จากที่ดำเนินการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบควบคุมและติดตามสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตาม เพื่อสนับสนุนและบริหารจัดการให้เกิดประสิทธิภาพ โดยภาพรวมระบบที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนนายหน้า ส่วนผู้เผยแพร่ข้อมูล และส่วนผู้ติดตามข้อมูล โดยส่วนผู้เผยแพร่ข้อมูล คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการจะส่งข้อมูลเพื่อแจ้งให้ทราบถึงสถานะการทำงานของเครื่องไปยังส่วนนายหน้า คือ บอร์ดตราสเบอร์รี่พาย เพื่อเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลต่อไป สำหรับส่วนผู้ติดตามข้อมูล ได้แก่ เครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็น Web Server ซึ่งจะใช้บอร์ดตราสเบอร์รี่พาย และติดตั้งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำหน้าที่รับข้อมูลจากส่วนนายหน้ามาบันทึกลงฐานข้อมูลและแสดงผลสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ผู้ดูแลระบบได้รับทราบการทำงาน โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ 120 เครื่องที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โดยมีผลการทดลอง ดังนี้

จากการทดลองใช้งานระบบเพื่อเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 3 เดือน ในช่วงการเปิดภาคเรียนที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2563 โดยระบบจะบันทึกข้อมูลร้อยละการใช้งาน CPU, RAM, Hard disk ของเครื่องคอมพิวเตอร์ทุก ๆ 5 นาที และในกรณีที่เครื่องคอมพิวเตอร์ถูกเปิดทิ้งไว้โดยไม่มีผู้ใช้งานนานเกินที่กำหนดระบบจะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโปรแกรม Line เพื่อให้ผู้ดูแลระบบได้รับทราบข้อมูล



รูปที่ 11 การส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านโปรแกรม Line

การส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านโปรแกรม Line จะช่วยให้ผู้ดูแลระบบได้รับทราบข้อมูลการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ และระบบได้บันทึกข้อมูลการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้งานได้ในอนาคต

ในช่วงการทดลองใช้งานนั้นผู้วิจัยได้ให้ผู้ดูแลระบบเครือข่ายและคอมพิวเตอร์ทดสอบการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นโดยทดสอบฟังก์ชันการทำงาน 3 ด้าน คือ ด้านการสั่ง Shutdown เครื่อง ด้านการสั่ง Restart เครื่อง และด้านการแจ้งเตือนข้อความผ่านโปรแกรม Line โดยทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 8 เครื่อง ๆ ละ 10 ครั้ง และสรุปข้อมูลได้ดังนี้

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลการทำสอบการทำงานของระบบ

ชื่อเครื่อง	หัวข้อการทดสอบ					
	Shutdown	%	Restart	%	Send Line	%
Com1	10	100.00	10	100.00	10	100.00
Com2	10	100.00	10	100.00	10	100.00
Com3	10	100.00	10	100.00	10	100.00
Com4	10	100.00	10	100.00	10	100.00
Com5	10	100.00	10	100.00	10	100.00
Com6	10	100.00	10	100.00	10	100.00
Com7	10	100.00	10	100.00	10	100.00
Com8	10	100.00	10	100.00	10	100.00
ค่าเฉลี่ย		100.00		100.00		100.00
ภาพรวม	100.00%					

จากข้อมูลในตารางที่ 1 เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งของการทดสอบเท่านั้น โดยผลการทดสอบการทำงานของระบบทั้ง 3 ด้าน พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทุกด้านอยู่ในระดับ 100 เปอร์เซ็นต์

หลังจากได้ทดสอบการทำงานของระบบตลอดระยะเวลา 3 เดือน ผู้วิจัยได้ประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย 5 ท่าน ทำแบบประเมินผลการทำงานของระบบ โดยโครงสร้างแบบสอบถามเป็นมาตราส่วนการประเมินค่า (Likert Scale) เพื่อให้ผู้ตอบสามารถแสดงระดับประสิทธิภาพที่ได้ 5 ระดับ ซึ่งสามารถสรุปผลการประเมินได้ดังนี้

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อการประเมินผล	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ผลการประเมิน
1. ความถูกต้องในการทำงาน	5.00	0.00	ดีมากที่สุด
2. ความรวดเร็วในการทำงาน	4.80	0.45	ดีมากที่สุด
3. ตรงต่อความต้องการใช้งาน	5.00	0.00	ดีมากที่สุด
4. ความง่ายในการติดตั้งและการใช้งาน	4.40	0.55	ดีมาก
5. ความสวยงามของแอปพลิเคชัน	4.40	0.55	ดีมาก
ภาพรวมทั้งหมด	4.72	0.46	ดีมากที่สุด

จากข้อมูลในตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินการทำงานของระบบโดยภาพรวมระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในระดับดีมากที่สุด (= 4.72) จึงสรุปว่าสามารถนำระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ไปติดตั้งใช้งานได้จริง

6. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบควบคุมติดตามสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตาม ได้ใช้หลักวิชาการของระบบสารสนเทศ (Management Information System) และเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้งานในการออกแบบและพัฒนาระบบมาสนับสนุนการทำงานของตู้ดูแลระบบคอมพิวเตอร์โดยนำมาติดตั้งใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ตู้ดูแลระบบสามารถติดตามการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว ผลการทดสอบการทำงานของระบบในภาพรวมระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง 100% และผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.72) ตู้ดูแลระบบสามารถนำระบบที่พัฒนาไปใช้งานเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมและติดตามการทำงานทำได้สะดวก เพราะใช้เทคนิคการสื่อสารเพื่อรับส่งข้อมูลแบบการเผยแพร่และการติดตาม ซึ่งจะช่วยลดการคับคั่งของระบบเครือข่าย อีกทั้งโปรแกรมที่ติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะทำงานอยู่เบื้องหลังของระบบปฏิบัติการจึงไม่รบกวนต่อการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์และผู้ใช้งาน และระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปเผยแพร่ใช้งานในหน่วยงานอื่นที่ต้องการควบคุมและติดตามสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการทำงานของตู้ดูแลระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถดูแล ควบคุมและการบริหารจัดการคอมพิวเตอร์ในหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. กรอบนโยบายเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารปี 2554-2563. กรุงเทพมหานคร, 2554.
- [2] กอบเกียรติ สระอุบล. การพัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi. กรุงเทพฯ : ซีอีดูเคชั่น; 2561.
- [3] ณัฐวัตร คำภักดี. คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอน. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น; 2561.
- [4] มาโนชญ์ แสงศิริ. Raspberry Pi คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กสำหรับด้านการศึกษา [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 2563 สิงหาคม 1]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.scimath.org/article-technology/item/9104-raspberry-pi>
- [5] จักรินทร์ พิมพที. ระบบตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายและเครื่องแม่ข่าย กรณีศึกษา บริษัท แอมเซล จำกัด [ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร; 2560.
- [6] ประพันธ์ ไชยชนะ. ระบบตรวจสอบการทำงานของระบบเครือข่ายและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE [ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร; 2561.
- [7] สาธิต พวงนิล. ระบบตรวจจับและแจ้งเหตุผิดปกติของเครื่องแม่ข่ายผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่.วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2557; 8(1): 148-154.
- [8] เอกรินทร์ วัฏญูเลิศสกุล. การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับตรวจสอบสถานะเครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายด้วยเทคนิคการเผยแพร่และการติดตาม. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2559; 12(1): 64-73.
- [9] ถนอม กองใจ. “การพัฒนาระบบตรวจสอบสถานะการทำงานระบบเครือข่ายและอุณหภูมิห้องแม่ข่าย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยนเรศวร ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2560; 25(4): 149-159.

- [10] ดิเรก พูลมาศ. ระบบมอนิเตอร์การทำงานของเครือข่าย กรณีศึกษาบริษัท พร้อม เทคโนโลยี เซอร์วิส เซส จำกัด [ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร; 2560.
- [11] A. K. Denis. Raspberry Pi Home Automation with Arduino. Pack Publishing Limited, 2013.
- [12] T. Cox. Raspberry Pi Cookbook for Python Programmers. Pack Publishing Limited, 2014.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

ระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และการให้แสงในโรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อย
A Temperature, Humidity and Lighting Control System in an Inky Cap Mushroom
(Coprinus fimetarius) Greenhouse

เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล^{1*} อนิรุทธิ์ จันภิรมย์² ธรรมศาสตร์ มาพันธุ์ดุง³ และ นพชัย คงเจริญ⁴
หน่วยวิจัยการออกแบบกระบวนการและควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม^{1* 2 3 4}

Kiattisin Kanjanawanishkul^{1*} Anirut Chanphirom² Thammasart Maphandung³ and
Noppachai Khongcharern⁴

Research Unit of Process Design and Automation, Faculty of Engineering, Mahasarakham
University^{1* 2 3 4}

E-mail : kiattisin.k@msu.ac.th^{1*}, kardhaha2016@gmail.com², hibari_toshiro@hotmail.com³
noppachai101@hotmail.com⁴

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการเพาะเห็ดได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพาะเห็ดให้ผลผลิตเร็วและลงทุนไม่สูงมากนัก เกษตรกรสามารถทำรายได้ได้ตลอดปี หนึ่งในเห็ดที่กำลังเป็นที่นิยมในการบริโภคคือเห็ดโคนน้อย แต่เนื่องด้วยเห็ดโคนน้อยต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิ และแสงที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ (1) เพื่อออกแบบและสร้างระบบโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัจฉริยะ ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ และ (2) เพื่อศึกษาการให้แสงสีน้ำเงินและแสงจากธรรมชาติที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดโคนน้อย ระบบโรงเรือนที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ หัวพ่นหมอก พัฒลมระบายอากาศ ตัวทำความร้อนและหลอดไฟแสงสีน้ำเงิน สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนและการเจริญเติบโตของเห็ดสามารถถูกติดตามได้จากสมาร์ตโฟน ผลการทดลอง พบว่าระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และ ระบบควบคุมอุณหภูมิ ทำงานได้อย่างถูกต้องในส่วนของการให้แสง พบว่าการให้แสงสีน้ำเงินความสว่าง 200 ลักซ์ และความสว่าง 300 ลักซ์ ทำให้ได้น้ำหนักเห็ดเพิ่มขึ้น 52.3% และ 47.3% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกรให้แสงตามธรรมชาติ

คำสำคัญ : เห็ดโคนน้อย โรงเรือนเพาะ การให้แสง ฟาร์มอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

At present, mushroom cultivation is increasingly popular because it is rapid productivity and less investment. Farmer can earn money throughout the year. One of the most popular mushroom consumption is inky cap mushrooms (Coprinus fimetarius). But inky cap mushrooms need proper relative humidity, temperature and lighting for growing. Therefore, the objectives of this research project are (1) to design and build a smart inky cap mushroom greenhouse that can control temperature, relative humidity and (2) to study blue-light and natural-light treatments affecting

mushroom growing. The developed greenhouse includes a water pump, a mist sprayer, a ventilation fan, heater and a blue lamp. Environmental conditions inside the greenhouse and mushroom growth can be monitored via a smartphone. Experimental results showed that relative humidity and temperature control systems can operate properly. For lighting treatment control, the results showed that 200-lux blue light and 300-lux blue light made 52.3% and 47.3% increase in mushroom weight, respectively, compared with natural light treatment.

Keywords : Inky Cap Mushroom, Greenhouse, Lighting Treatment, Smart Farm, Internet of Things

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเพาะเห็ดเพื่อการค้าได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพาะเห็ดให้ผลผลิตเร็ว การลงทุนไม่สูงมากนักและการดำเนินงานไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังเป็นอาชีพที่สามารถทำรายได้ได้ตลอดปี แต่เนื่องจากเห็ดมีหลายชนิด การเพาะเลี้ยงเห็ดแต่ละชนิดจะเป็นไปตามความต้องการทางการตลาด หนึ่งในเห็ดที่กำลังเป็นที่นิยมในการบริโภค คือ เห็ดโคนน้อย เห็ดชนิดนี้ นอกจากจะมีรสชาติอร่อยและคุณค่าทางอาหารสูงแล้วยัง พบว่ามีสรรพคุณทางสมุนไพร ช่วยในการย่อยอาหารและลดเสมหะ [1], [2] ถ้าทำให้ละเอียดใช้พอกภายนอกจะช่วยบรรเทาอาการปวดต่าง ๆ ได้ [3] แต่เนื่องด้วยเห็ดโคนน้อยมีความต้องการทั้งอาหารและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างไปจากเห็ดชนิดอื่น ๆ นั่นคือ เห็ดโคนน้อยต้องการน้ำและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศรวมถึงแสงและอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต [4] ถ้าหากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้ได้ผลผลิตน้อย เกษตรกรมีรายได้ที่ลดลง ดังนั้นการเพาะเลี้ยงเห็ดโคนน้อยให้มีคุณภาพดีและผลผลิตสูง จึงนำมาสู่การทำระบบโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัจฉริยะ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm)

การทำระบบโรงเรือนเพาะเห็ดแบบอัจฉริยะนั้นจะช่วยในการควบคุมอุณหภูมิ แสงและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อยได้อย่างเหมาะสมและอัตโนมัติ ลดปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดโคนน้อย นอกจากนี้ ในบทความวิจัยนี้ ยังได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับสรรพสิ่ง (Internet of Things) เพื่อช่วยเกษตรกรในการเฝ้าติดตามการเจริญเติบโตของเห็ดโคนน้อย โดยที่เกษตรกรไม่จำเป็นต้องเข้าไปในโรงเรือน ซึ่งจะเป็นการลดการนำสิ่งแปลกปลอมเข้าไปในโรงเรือนและลดเวลาในการทำงานของเกษตรกร ไม่ว่าเกษตรกรอยู่ที่ใดก็ตาม ก็สามารถเฝ้าดูแลการเพาะเห็ดได้ นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้ศึกษาการให้แสง เนื่องจากแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดโคนน้อย [4] โดยมีการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการให้แสงสีน้ำเงินกับการให้แสงตามธรรมชาติ การศึกษานี้ จะช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรได้

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เห็ดโคนน้อย

เห็ดโคนน้อยจัดอยู่ในจีนัส Coprinus [3] มีชื่อสามัญว่า inky cap ในประเทศไทยมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เนื่องจากมีการกระจายพันธุ์ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เช่น ภาคเหนือ มีชื่อเรียก เห็ดโคนน้อย เห็ดโคนบ้าน หรือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีชื่อเรียก เห็ดคราม เห็ดปลวกน้อย หรือ ภาคกลาง มีชื่อเรียก เห็ดโคนเพาะ เห็ดโคนน้อย เห็ดหมึก เป็นต้น หรือ อาจจะเรียกชื่อตามวัสดุที่ใช้เพาะเห็ดชนิดนี้ เช่น ถ้าเพาะโดยใช้เปลือกกล้วยก็อาจจะเรียกว่า เห็ดกล้วย [3] เห็ดโคนน้อยเป็นเห็ดที่ขึ้นง่าย ลักษณะคล้ายเห็ดโคน แต่ตรงหมวกของเห็ดโคนน้อยมีเกล็ดสีเทา

เมื่อดอกเห็ดเจริญเต็มที่ ดอกเห็ดจะมีลักษณะคล้ายร่มพับ ปลายแหลมมน ผิวของหมวกมีสีน้ำตาลอ่อนไปจนกระทั่งขาวตรงปลายหมวกดอก ดังรูปที่ 1 เห็ดชนิดนี้ใช้เวลาเจริญเติบโตนับจากดอกตูมจนถึงบานเต็มที่เพียง 1 วันเท่านั้น [5] เมื่อดอกเห็ดแก่เต็มที่ หมวกดอกจะบาง สร้างสปอร์สีเทาเข้มจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีดำและสลายตัวเป็นหยดคล้ายหมึกสีดำ ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของเห็ดชนิดนี้



รูปที่ 1 เห็ดโคนน้อย

ในการเพาะเห็ดให้ได้ผลผลิตที่ดี ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ซึ่งได้แก่

- 1) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเส้นใย การสร้างตุ่มดอก คือ 24-38 องศาเซลเซียส [6] และ นิถุมล ลิมปิโชติพงษ์ [4] พบว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเกิดตุ่มเห็ด
- 2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เห็ดโคนน้อยต้องการ คือ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศไม่มากพอ จะทำให้น้ำจากวัสดุเพาะระเหยออกไปไม่เพียงพอต่อการเกิดดอกเห็ดหรือดอกเห็ดอาจแคระแกร็น แต่ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินไป จะทำให้เส้นใยพุงมาก ดอกเห็ดจะฉ่ำน้ำเน่าง่าย [6]
- 3) อากาศภายในโรงเรือนควรถ่ายเทได้ดี หากโรงเรือนมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในช่วงระยะที่เส้นใยรวมตัวเพื่อเกิดดอกเห็ด จะทำให้การเกิดดอกเห็ดน้อยลง หมวกดอกเห็ดเล็กหรือไม่มีหมวกดอกเห็ดขึ้น [3]
- 4) แสงช่วยกระตุ้นให้เส้นใยรวมตัวกันเพื่อเกิดเป็นดอกเห็ด การสร้างตุ่มเห็ด และ ความสมบูรณ์ของดอกเห็ด [6] นิถุมล ลิมปิโชติพงษ์ [4] ได้ทดสอบผลของแสงต่อการเจริญเติบโตและการสลายตัวของดอกเห็ด โดยเฉพาะเชื้อเห็ดโคนน้อยบนฟางข้าวผสมอาหารเสริม แล้วนำไว้ในที่มืดตลอดเวลา ที่มีแสงตลอดเวลา กับที่มีแสงสลับกับที่มีมืดอย่างละ 12 ชั่วโมงต่อวันที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าเส้นใยเจริญได้ดีที่สุดเมื่ออยู่ในที่มืด แต่จะไม่มีการสร้างดอกเห็ดเลย ในที่มีแสงสลับกับที่มีมืดเชื้อเห็ดโคนน้อยมีการสร้างเอนไซม์เห็ดและเกิดการสลายตัวได้เร็วกว่าการให้แสงตลอดเวลา เมื่อทดสอบคุณภาพของแสงสีต่าง ๆ ได้แก่ สีน้ำเงิน แสงสีแดง และแสงสีขาว พบว่า แสงสีน้ำเงินมีความสามารถในการกระตุ้นให้เกิดตุ่มเห็ดได้เร็วกว่าแสงอื่น คือ ภายใน 4 วันหลังการเพาะเชื้อ
- 5) สารอาหารที่เห็ดโคนน้อยต้องการมีมากมายหลายอย่าง แต่ละชนิดมีความสำคัญเท่าเทียมกัน แต่ใช้ในปริมาณที่ต่างกันเท่านั้น [3]
- 6) ความเป็นกรด-เบส การเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดควรอยู่ในสภาพอาหารที่เป็นกรด-เบส ตั้งแต่ 4.5 – 8.5 แต่ระดับความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมต่อการออกของสปอร์เห็ดโคนน้อย คือ 7.5 และระดับที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดโคนน้อย คือ 7.0 [3]

2.2 โรงเรือนเพาะเห็ด

ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน ได้มีคณะผู้วิจัยได้พัฒนาโรงเรือนเพาะเห็ดจำนวนมาก แต่ก็มีลักษณะที่แตกต่างกันในรายละเอียด เช่น บัญยง สิงห์เจริญ และสันติ สาแก้ว [7] พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า แต่ไม่ได้มีการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตสำหรับสรรพสิ่งมาใช้เฝ้าติดตามการเจริญเติบโตของเห็ด

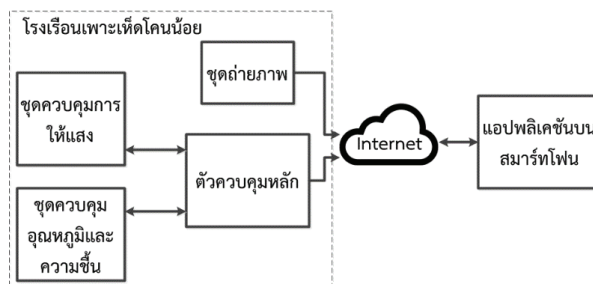
วีรศักดิ์ พองเงิน และคณะ [8] พัฒนาโรงเรือนร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า โดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน สุวลี ชูวานิชย์ และเกริกชัย ทองหนู [9] พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ธีรช อารีราษฎร์ และวรภา อารีราษฎร์ [10] พัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการตรวจสอบความชื้นและอุณหภูมิเพื่อเพาะเลี้ยงเห็ดในโรงเรือน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในอดีตไม่มีการใช้กล้องในการเฝ้าติดตามการเจริญเติบโตและไม่มี การควบคุมการให้แสง

3. วิธีการวิจัย

จากทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา คณะผู้วิจัย ได้ออกแบบระบบการเพาะเลี้ยงเห็ดโคนน้อยให้มี ประสิทธิภาพสูงซึ่งร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อจะเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรให้สามารถเพาะ เห็ดโคนน้อยได้ผลผลิตที่สูง และลดความเสี่ยงในการเพาะเห็ดโคนน้อย อีกทั้งยังช่วยลดภาระการดูแลอีกด้วย ในการ ออกแบบระบบ คณะผู้วิจัยได้คำนึงถึงความต้องการดังต่อไปนี้

- 1) สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ พร้อมทั้งบันทึกค่าและส่งค่าไปแสดง บนสมาร์ตโฟนได้
- 2) สามารถเฝ้าติดตามการเจริญเติบโตของเห็ดโคนน้อยในโรงเรือนได้ด้วยการถ่ายรูปและแสดงบนสมาร์ตโฟนได้
- 3) สามารถควบคุมการให้แสงสีน้ำเงิน พร้อมทั้งบันทึกค่าและส่งค่าไปแสดงบนสมาร์ตโฟนได้

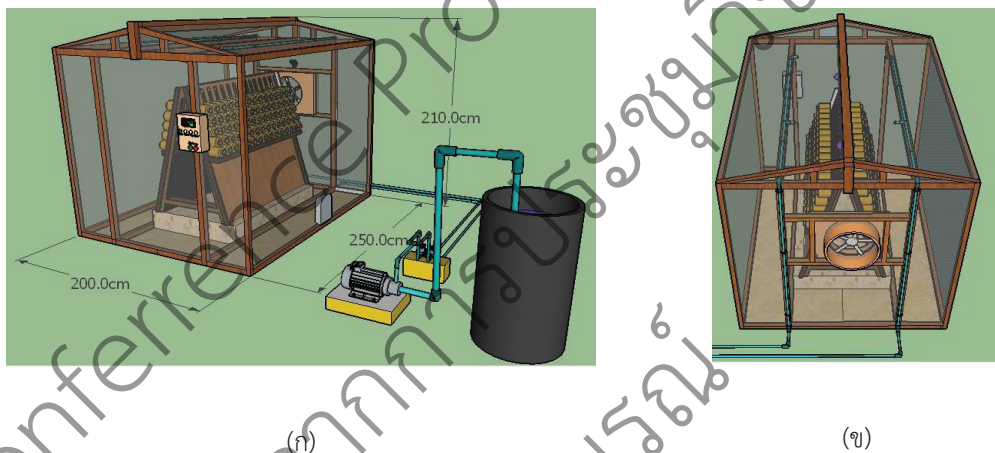
จากความต้องการข้างต้น คณะผู้วิจัยได้ออกแบบระบบการเพาะเห็ดโคนน้อยเป็นดังรูปที่ 2 ซึ่ง ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์และตัวกระตุ้น เพื่อให้สภาพแวดล้อมภายใน โรงเพาะเห็ดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ชุดควบคุมนี้จะทำงานอัตโนมัติและแสดงผลทางแอปพลิเคชันของสมาร์ตโฟน เพื่อให้เกษตรกรได้ทราบสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน ส่วนที่ 2 คือ ชุดควบคุมการให้แสง เนื่องจากเห็ดโคนน้อย ต้องการแสงช่วยกระตุ้นให้เส้นใยรวมตัวเป็นดอกเห็ดและแสงที่ดี คือ แสงสีน้ำเงิน [4] นอกจากนี้ เกษตรกรยังสามารถ ตรวจสอบการเจริญเติบโตของดอกเห็ดได้จากชุดถ่ายภาพ ซึ่งจะส่งภาพไปยัง Line Notify บนสมาร์ตโฟน หรือ เกษตรกรสามารถกดปุ่มสั่งจากแอปพลิเคชันเพื่อให้ถ่ายภาพ ณ เวลานั้นก็ได้ ตัวควบคุมหลักของทั้งระบบ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกทำหน้าที่ควบคุมชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและการให้แสง จะใช้ Arduino MEGA 2560 ส่วนที่ 2 คือ NodeMCU ทำหน้าที่รับค่าจาก Arduino MEGA 2560 บันทึกลง SD Card และส่งค่าไปยัง NETPIE (<http://netpie.io>) จากรูปที่ 2 ดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้ออกแบบระบบนี้เป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างของโรงเรือน และ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 แผนภาพรวมของระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และการให้แสงในโรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อย

3.1 การออกแบบโรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อย

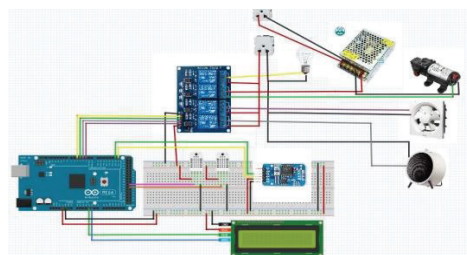
โครงสร้างของโรงเรือนมีขนาดความกว้าง 2.0 เมตร ความยาว 2.5 เมตร และความสูง 2.1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มความชื้น นั่นคือ หัวพ่นหมอกจำนวน 5 หัว ดังภาพที่ 3 (ข) โดยจะเชื่อมต่อกับเครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำทำงาน เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และหยุดทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ลดความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิ คือ ตัวทำความร้อนขนาด 800 วัตต์ จำนวน 2 ชุด อุปกรณ์ที่ใช้ลดอุณหภูมิ คือ พัดลมระบายอากาศ ดังรูปที่ 3 (ข) สำหรับการให้แสงแก่เห็ดโคนน้อยจะมีการติดตั้งหลอดไฟแสงสีน้ำเงินภายในโรงเรือนจำนวน 2 ดวง เพื่อให้เห็ดได้รับแสงอย่างทั่วถึง นอกจากนี้ ยังได้ติดตั้งกล้องเพื่อถ่ายภาพการเจริญเติบโตของเห็ด



รูปที่ 3 โรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อย (ก) ขนาดโครงสร้างภายนอก (ข) การจัดวางอุปกรณ์ภายใน

3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

วงจรถูกออกแบบมาเพื่อการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งเซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และวัดอุณหภูมิ คือ DHT22 โดยถูกติดตั้ง 3 จุด และมีชุดโมดูลรีเลย์ ทำหน้าที่เปิดปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำที่ต่อกับหัวพ่นหมอก ตัวทำความร้อน และ พัดลมระบายอากาศ พร้อมทั้งใช้ชุดโมดูลรีเลย์ดังกล่าวสำหรับเปิดปิดการให้แสงสีน้ำเงิน นอกจากนี้ ยังมีหน้าจอ I2C LCD สำหรับแสดงผลและโมดูลนาฬิกาแบบเวลาจริง DS3231 สำหรับบอกเวลาปัจจุบัน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของโรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อย

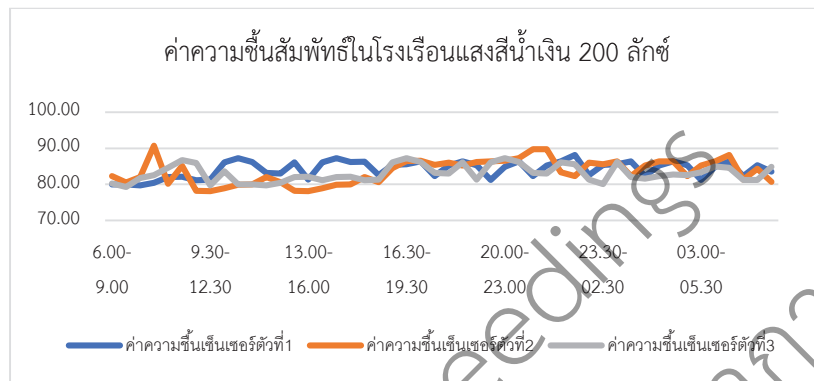
4. ผลการวิจัย

โรงเรือนเพาะเห็ด เมื่อได้จัดสร้างเสร็จแล้วเป็นดังรูปที่ 5 เนื่องจากพื้นที่ในโรงเรือนมีขนาดจำกัด คณะผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด คือ ชุดการทดลองที่ 1 สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการให้แสงตามธรรมชาติเช่นเดียวกับโรงเรือนเพาะเห็ดทั่วไป และการให้แสงสีน้ำเงิน ความสว่าง 200 ลักซ์ 12 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 06.00 - 18.00 นาฬิกา และ ชุดการทดลองที่ 2 สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการให้แสงตามธรรมชาติและการให้แสงสีน้ำเงิน ความสว่าง 300 ลักซ์ 12 ชั่วโมงต่อวัน ทั้งสองชุดการทดลอง เริ่มจากนำก้อนเชื้อเห็ดที่ผ่านการบ่มมาไว้ที่โรงเรือนจำนวน 50 ก้อน เมื่อเปิดระบบให้ทำงาน ระบบได้ทำงานตามที่ออกแบบไว้ นั่นคือ มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้อยู่ระหว่าง 80% - 90% และอุณหภูมิภายในโรงเรือนอยู่ระหว่าง 32 - 37 องศาเซลเซียส ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และค่าความสว่างของแสงสีน้ำเงินภายในโรงเรือน ถูกบันทึกทุก ๆ 1 นาทีและส่งไปยัง NETPIE เพื่อให้ผู้ดูแลสามารถเฝ้าติดตามสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้ตลอดเวลาและผู้ดูแลสามารถเฝ้าติดตามการออกดอกผ่านทางสมาร์ตโฟน เมื่อเห็ดเริ่มมีการออกดอกก็จะทำการเก็บและนำมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดความยาว โดยจะทยอยเก็บไปเรื่อย ๆ ทุกวันจนหมด

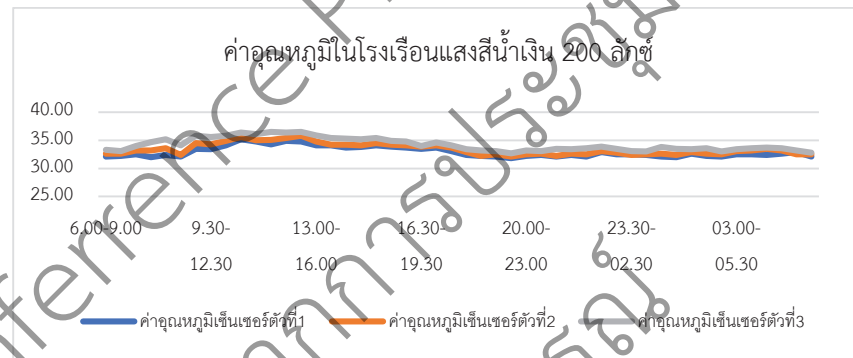


รูปที่ 5 โรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อย

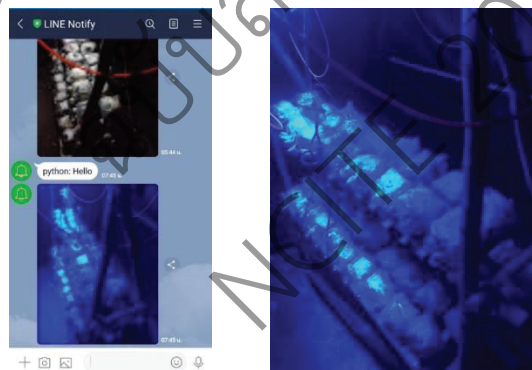
รูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายในโรงเรือนของชุดการทดลองที่ 1 แบบให้แสงสีน้ำเงินความสว่าง 200 ลักซ์ ใน 1 วัน ซึ่งพบว่าค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่กำหนด ในการเก็บเกี่ยวผลผลิต คณะผู้วิจัยได้ตรวจสอบการเจริญเติบโตผ่านทางกล้องดังรูปที่ 8 และจะเริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อพบว่าเริ่มมีดอกเห็ดเกิดขึ้น ตัวอย่างผลผลิตที่ได้เป็นดังรูปที่ 9 (ก) สำหรับชุดการทดลองที่ 1 ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต ระหว่างวันที่ 26 - 31 มีนาคม 2563 และชุดการทดลองที่ 2 ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต ระหว่างวันที่ 6 - 11 เมษายน 2563 โดยเปรียบเทียบน้ำหนักและความยาวของเห็ดโคนน้อยระหว่างแบบที่เพาะโดยใช้แสงตามธรรมชาติกับแสงสีน้ำเงิน ได้ผลดังตารางที่ 1 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากก้านเห็ดมีการโค้งงอทำให้ความยาวที่วัดสั้นกว่าขนาดความยาวจริงดังแสดงในรูปที่ 9 (ข) สำหรับชุดการทดลองที่ 2 น้ำหนักและความยาวของเห็ดโคนน้อยเปรียบเทียบระหว่างการให้แสงตามธรรมชาติและแสงสีน้ำเงิน 300 ลักซ์ เป็นดังตารางที่ 2 จากชุดการทดลองทั้งสองสรุปได้ว่า การให้แสงสีน้ำเงิน ความสว่าง 200 ลักซ์ และ 300 ลักซ์ ทำให้ได้น้ำหนักเฉลี่ยของเห็ดมากกว่าการให้แสงจากธรรมชาติ 52.3% และ 47.3% ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนชุดการทดลองที่ 1 แบบให้แสงสีน้ำเงิน



รูปที่ 7 อุณหภูมิของโรงเรือนชุดการทดลองที่ 1 แบบให้แสงสีน้ำเงิน



รูปที่ 8 ตัวอย่างรูปที่ได้จากการถ่ายภาพ



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 (ก) ตัวอย่างผลผลิตที่ได้ (ข) การวัดความยาวของเห็ดโคนน้อย

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบสำหรับชุดการทดลองที่ 1

วันที่	การให้แสงตามธรรมชาติ		การให้แสงสีน้ำเงิน 200 ลักซ์	
	น้ำหนัก (g)	ความยาว (cm)	น้ำหนัก (g)	ความยาว (cm)
1	39	8.2	28	8.0
2	97	8.7	278	8.6
3	291	8.9	415	9.0
4	224	9.1	385	8.6
5	235	8.8	249	8.6
6	154	8.9	229	8.5
รวม	1040	-	1584	-

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบสำหรับชุดการทดลองที่ 2

วันที่	การให้แสงตามธรรมชาติ		การให้แสงสีน้ำเงิน 300 ลักซ์	
	น้ำหนัก (g)	ความยาว (cm)	น้ำหนัก (g)	ความยาว (cm)
1	23	8.9	79	8.6
2	211	9.1	287	8.4
3	307	8.9	391	9.0
4	151	9.3	374	8.8
5	238	9.1	262	9.0
6	204	8.5	298	8.7
รวม	1144	-	1685	-

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

โรงเรือนเพาะเห็ดโคนน้อยอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และการให้แสงในโรงเรือนได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยเกษตรกรลดภาระในการดูแล เกษตรกรสามารถเฝ้าติดตามการเจริญเติบโตของเห็ดและสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ จากผลการทดลองพบว่า การให้แสงสีน้ำเงินทำให้ได้น้ำหนักเห็ดเพิ่มมากกว่าการให้แสงตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม สำหรับงานวิจัยในอนาคต คณะผู้วิจัยจะทดสอบความสว่างของแสงสีน้ำเงินเพิ่มเติมพร้อมทั้งช่วงเวลาในการให้แสงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระยศ แข็งขัน ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการสนับสนุนในการจัดซื้อวัสดุเพื่อประกอบการศึกษาค้นคว้า ประจำปีงบประมาณ 2563

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Badalyan S, Gasparyan A, Garibyan N. Investigation of the antioxidant activity of some basidial macromycetes. Mikologiya I Fitopatologiya. 2003; 37(5): 63-68.
- [2] Gu Y, Leonard J. In vitro effects on proliferation, apoptosis and colony inhibition in ER-dependent and ER-independent human breast cancer cells by selected mushroom species. Oncology Reports. 2006; 15(2): 417-423.
- [3] อานนท์ เอื้อตระกูล. การเพาะเห็ดโคนน้อย (เห็ดถั่ว). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คมชัด, 2541.
- [4] นิถุมล ลิมปิโชติพงษ์. ผลของอุณหภูมิและแสงต่อการเจริญเติบโตและการสลายตัวของเห็ดโคนน้อย [วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต]. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2543.
- [5] สุตสาขชล หอมทอง. เห็ดโคนน้อย [อินเทอร์เน็ต]. 2551 [เข้าถึงเมื่อ 2563 ตุลาคม 30]. เข้าถึงได้จาก http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=2176
- [6] วรพล สุรพัฒน์. ผลของแสงต่อการผลิตเห็ดโคนน้อย [วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต]. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2545.
- [7] บุญยัง สิงห์เจริญ และ สันติ สาแก้ว. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ด. ใน รศ.นภัทร วัจนเทพินทร, บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1; 22 มิถุนายน พ.ศ. 2559; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา. พระนครศรีอยุธยา : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ; 2559. หน้า 176 – 183.
- [8] วีรศักดิ์ ฟองเงิน สุรพงษ์ เพ็ชรหาญ และรัฐสิทธิ์ ยะจ่อ. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม. 2561; 5(1): 172-182.

- [9] สุวลี ชูวานิชย์ และ เกริกชัย ทองหนู. การประยุกต์ใช้ไอโอทีสำหรับระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดแครง. ใน อนุมติ เดชชนะ, บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการระดับชาติ ดานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 4; 7-8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562; คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. สงขลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา; 2562. หน้า 493 – 503.
- [10] ธรัช อารีราษฎร์ และวรภา อารีราษฎร์. ระบบไอโอทีสำหรับการตรวจสอบความชื้นและอุณหภูมิเพื่อส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเห็ดในโรงเรือนให้มีผลผลิตที่สมบูรณ์. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ. 2563; 6(1): 7-17.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

เครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย

Data Logger 4 Channel by Raspberry Pi

สิทธิพงษ์ เพ็งประเดิม^{1*} สมนึก เครือสอน² นูวัต เดชตระการ³ ศศิประภา ยวดี⁴ และ อัครเดช ธรรมชัย⁵
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก^{1*,2,3,4,5}

Sittipong Pengpradern^{1*} Somnuk khrueson² Nuwaat detrakarn³ Sasiprapa yadee⁴
and Akkaradeth Thammachai⁵

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak^{1*,2,3,4,5}

E-mail : sittpongpa@rmutl.ac.th^{1*}

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ที่สามารถรับข้อมูลแรงดันกระแสตรง 0-10 โวลต์ได้ สามารถตั้งเวลาการสุ่มเก็บตัวอย่างได้ตั้งแต่ 2 วินาที ถึง 12 ชั่วโมง สามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟและโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลได้ จากการทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีตัวรับข้อมูล 4 ช่อง ด้วยการวัดสัญญาณขาเข้าด้วยแรงดันไฟฟ้า 0, 2.5, 5, 7.5, 10 โวลต์ ที่เวลาสุ่มเก็บตัวอย่างต่าง ๆ พบว่าในช่องที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนของการบันทึกค่าเฉลี่ยอยู่ไม่เกิน 0.44 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องบันทึกข้อมูลนี้มีพื้นที่ว่างสำหรับเก็บค่าประมาณ 14 จิกะไบต์ หากต้องการเก็บข้อมูลในเครื่องบันทึกข้อมูลนี้จะเก็บค่าได้ประมาณ 578,168,674 ชุด

คำสำคัญ : เครื่องบันทึกข้อมูล บอร์ดราสเบอร์รี่พาย เวลาสุ่มเก็บตัวอย่าง

Abstract

This paper presents the design and construction of a 4-channel data logger with a raspberry pie board. The prototype can receive 0-10V DC voltage, set sampling time from 2 seconds to 12 hours and display data in graphs and Microsoft Excel program. From testing a data logger with four receivers by measuring the input signal with voltages of 0, 2.5, 5, 7.5, 10 volts at different sampling times, it was found that in channels 1, 2, 3 and 4 have a mean recording error of not more than 0.44 percent. Testing of a data logger with four receivers has 0.44 percent. This data logger has approximately 14 gigabytes of free space to store the data. This data logger can store approximately 578,168,674 sets.

Keywords : Data Logger, Raspberry Pi, Sampling Time

1. บทนำ

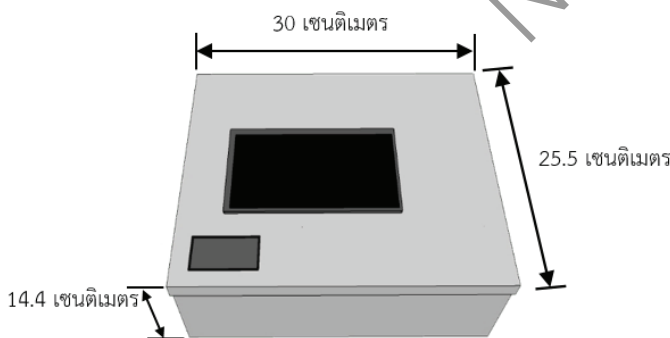
ในปัจจุบันการเก็บข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลามีความจำเป็นอย่างมากในทั้งงานวิจัยและงานอุตสาหกรรม [1] เช่น การเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ การบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์ การเก็บข้อมูลการทำงานต่าง ๆ ภายในเครื่องบิน ความชื้น และอุณหภูมิ เป็นต้น เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลในช่วงระยะเวลาหนึ่ง [2] โดยประกอบด้วยเครื่องตรวจจับ (Sensor) จะทำงานอยู่บนพื้นฐานของดิจิทัลโปรเซสเซอร์ โดยทั่วไปแล้วจะมีขนาดเล็ก ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน พกพาได้สะดวก และประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หน่วยเก็บข้อมูลภายใน สำหรับจัดเก็บข้อมูลเพื่อนำมาแสดงผลบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ การนำเสนอข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลมี 3 รูปแบบ คือ รูปแบบตาราง กราฟ และใช้โปรแกรมในการนำเสนอ [3] ข้อดีของเครื่องบันทึกข้อมูลคือ ช่วยลดเวลาการทำงานที่ต้องให้พนักงานจดบันทึกค่าตามเวลาที่เรากำหนดไว้ ช่วยลดความผิดพลาดในการจดบันทึก (ลด Human error) ช่วยจัดเก็บข้อมูลให้เป็นหมวดหมู่ และแสดงผลได้อย่างเป็นระเบียบ หากต้องการหาเพื่อใช้งานทางเลือกของการซื้อแบบสำเร็จรูปนั้นจะสะดวกมาก แต่เครื่องบันทึกข้อมูลในท้องตลาดนั้นมีความค่อนข้างสูง

ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีราคาถูก สามารถศึกษาการทำงานพร้อมทั้งเขียนโปรแกรมง่าย ๆ ได้ทันที ราสเบอร์รี่พายเป็นบอร์ด Embedded Linux ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM สามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการได้คือระบบปฏิบัติการราสเบียน (Raspbian) ข้อดีของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย คือ มีความเล็กกะทัดรัด เคลื่อนย้ายสะดวก ประหยัดพลังงาน เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เหมาะสมกับการเริ่มต้นเขียนโปรแกรม มี GPIO สามารถเชื่อมต่อกัน เช่น เซอร์ต่าง ๆ หรือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ ได้อย่างอิสระ [4] ราคาประหยัด และสามารถหาอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ได้ง่าย จากประโยชน์ที่มีมากของบอร์ดราสเบอร์รี่พายจึงมีแนวคิดสร้างเครื่องบันทึกข้อมูลโดยใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พายให้เป็นไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล และสามารถเปิดดูข้อมูลได้บนเครื่องบันทึกข้อมูลเอง นอกจากนั้นยังมีราคาถูกกว่าท้องตลาดอีกด้วย

2. วิธีการวิจัย

2.1 โครงสร้างภายนอกของเครื่องบันทึกข้อมูล

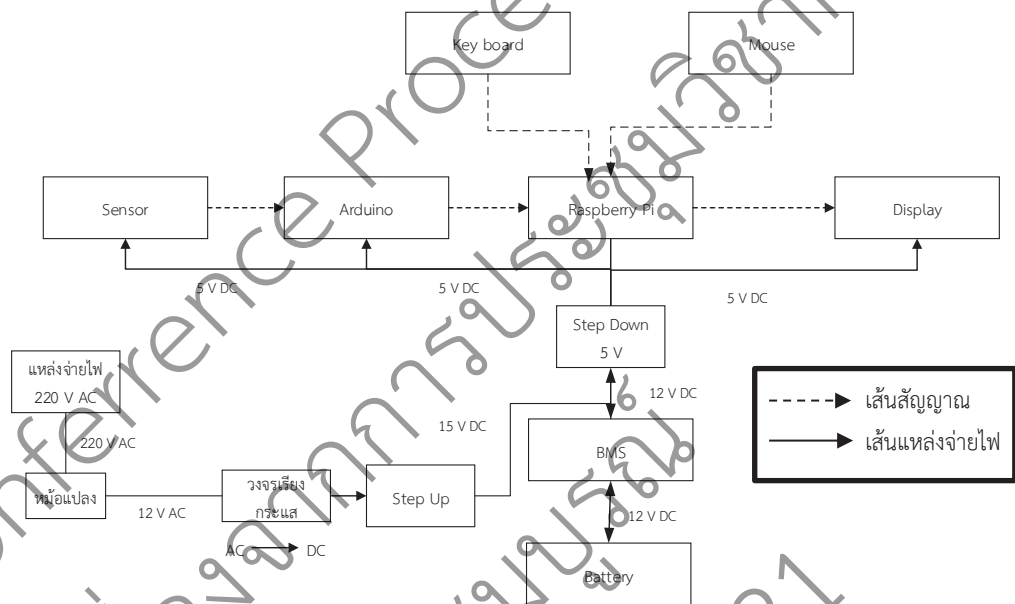
โครงสร้างของเครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พายถูกออกแบบให้มีขนาดความกว้าง 25.5 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร และความสูง 14.4 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อรองรับการจัดวางอุปกรณ์ภายในเครื่องได้อย่างเพียงพอ



รูปที่ 1 โครงสร้างเครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย

2.2 ส่วนประกอบภายในของเครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยทรานสเบอร์รี่พาย มีการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยบอร์ดอาตดูยโน้ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแอนะล็อกจากเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 4 ตัว เพื่อส่งต่อไปยังบอร์ดทรานสเบอร์รี่พายที่จะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดีขนาด 7 นิ้ว อีกทั้งยังมีอุปกรณ์สำหรับสั่งการบอร์ดทรานสเบอร์รี่พายในขณะที่ทำการเก็บข้อมูลคือแป้นพิมพ์และเมาส์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับเครื่องบันทึกข้อมูลสามารถใช้ได้จากสองแหล่งจ่าย คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ และแหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ ซึ่งแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่นั้นจะมีอุปกรณ์สำหรับชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่คือระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS)

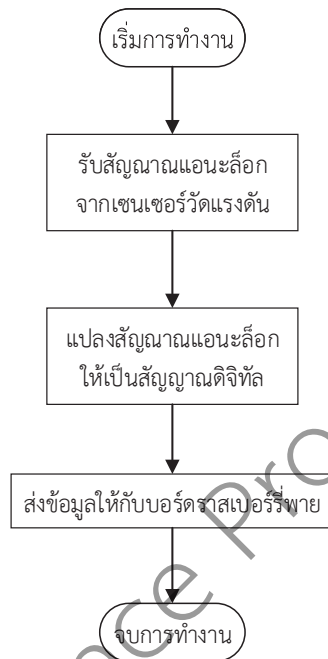


รูปที่ 2 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งหมด

2.3 การทำงานของโปรแกรม

2.3.1 โปรแกรมการทำงานของบอร์ดอาตดูยโน้

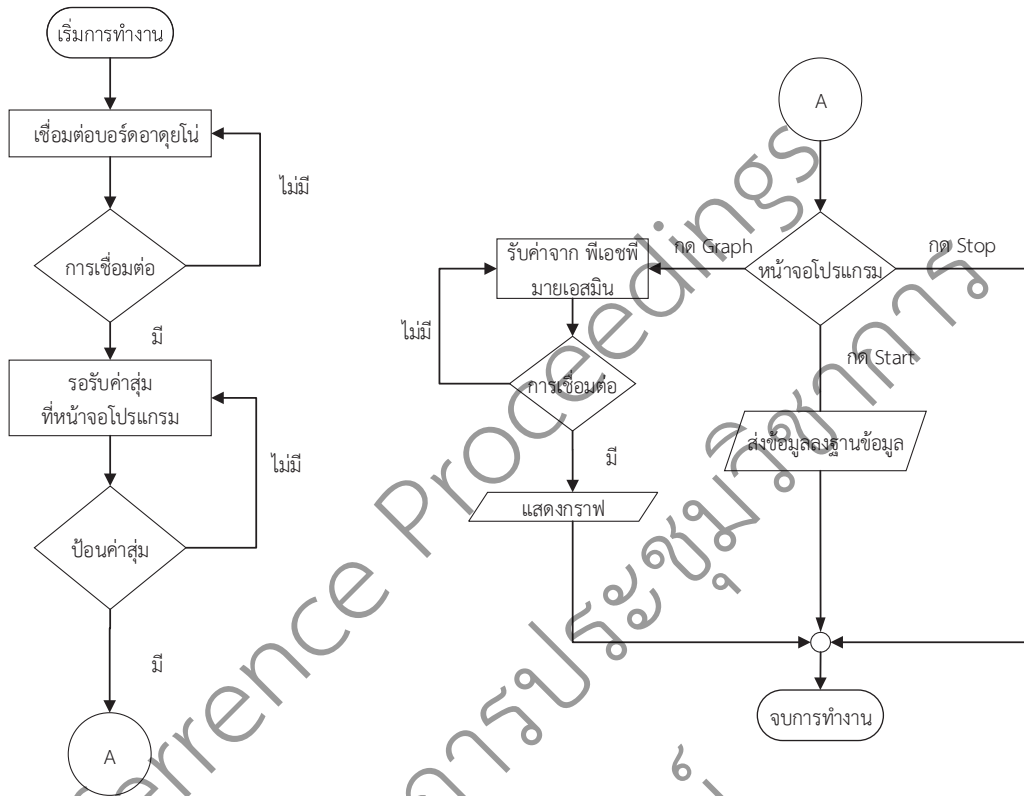
บอร์ดอาตดูยโน้จะทำการรับค่าแรงดันที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกจากเซนเซอร์แรงดันไฟฟ้าและแปลงค่าสัญญาณจากแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งข้อมูลให้กับบอร์ดทรานสเบอร์รี่พายต่อไป สามารถแสดงแผนผังโปรแกรมการทำงานของบอร์ดอาตดูยโน้ได้ดังรูปที่ 3



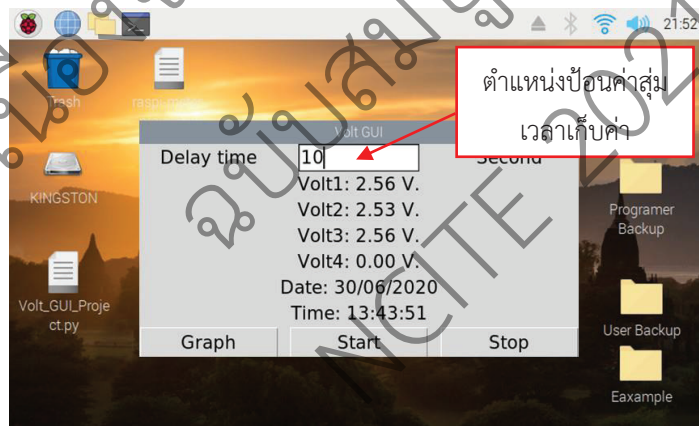
รูปที่ 3 แผนผังโปรแกรมการทำงานของบอร์ดอาดุยโน้

2.3.2 โปรแกรมการทำงานของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย

แผนผังโปรแกรมการทำงานของบอร์ดราสเบอร์รี่พายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 เมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรมบนบอร์ดราสเบอร์รี่พายจะต้องทำการตรวจสอบเช็คการเชื่อมต่อกับบอร์ดอาดุยโน้ก่อนที่จะทำการเริ่มเก็บข้อมูลได้ เมื่อบอร์ดราสเบอร์รี่พายมีการเชื่อมต่อกับบอร์ดอาดุยโน้แล้วบอร์ดราสเบอร์รี่พายจะรอรับการป้อนค่าเวลาสุ่มเก็บข้อมูลบนหน้าต่างของโปรแกรม ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5 เมื่อป้อนค่าสุ่มเวลาเก็บข้อมูลเสร็จแล้วต้องทำการกดปุ่ม Start บอร์ดราสเบอร์รี่พายจะทำการอ่านค่าที่ได้รับมาจากบอร์ดอาดุยโน้และทำการบันทึกค่าลงในโปรแกรมที่เอชพีมายเอสมิน (PHP MyAdmin) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลที่สามารถเปิดในเว็บเบราว์เซอร์ของระบบปฏิบัติการในบอร์ดราสเบอร์รี่พายและสามารถแปลงข้อมูลที่เก็บไว้ในโปรแกรมเป็นไฟล์นามสกุล .CSV โดยคอลัมน์ที่ 1 แสดงลำดับที่ทำการเก็บค่า คอลัมน์ที่ 2 แสดง วัน/เดือน/ปี ที่เก็บค่า คอลัมน์ที่ 3 แสดงเวลาในการเก็บค่า คอลัมน์ที่ 4 แสดงค่าที่รับมาจากบอร์ดอาดุยโน้ของเซนเซอร์ตัวที่ 1 คอลัมน์ที่ 5 แสดงค่าที่รับมาจากบอร์ดอาดุยโน้ของเซนเซอร์ตัวที่ 2 คอลัมน์ที่ 6 แสดงค่าที่รับมาจากบอร์ดอาดุยโน้ของเซนเซอร์ตัวที่ 3 คอลัมน์ที่ 7 แสดงค่าที่รับมาจากบอร์ดอาดุยโน้ของเซนเซอร์ตัวที่ 4 เมื่อกดปุ่ม Graph บอร์ดราสเบอร์รี่พายจะอ่านข้อมูลที่บันทึกไว้ที่ฐานข้อมูลและทำการแสดงกราฟออกมาโดยที่ แกน x แสดงเวลา ณ ปัจจุบันที่เก็บ แกน y แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ หากกดปุ่ม Stop จะเป็นการหยุดการทำงานในทันที



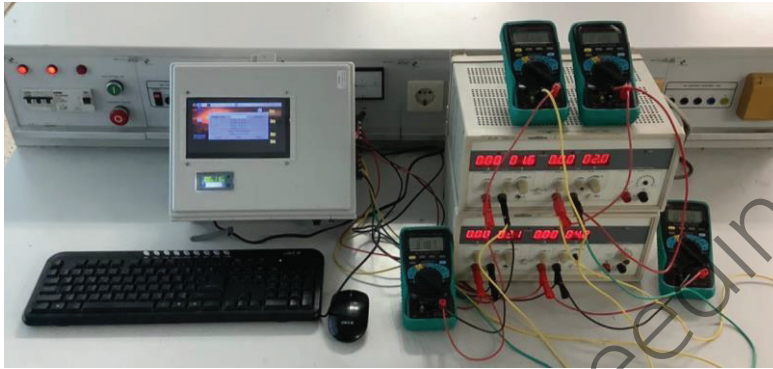
รูปที่ 4 แผนผังโปรแกรมการทำงานของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย



รูปที่ 5 หน้าต่างโปรแกรมของเครื่องบันทึกข้อมูลขณะทำงาน

3. ผลการวิจัย

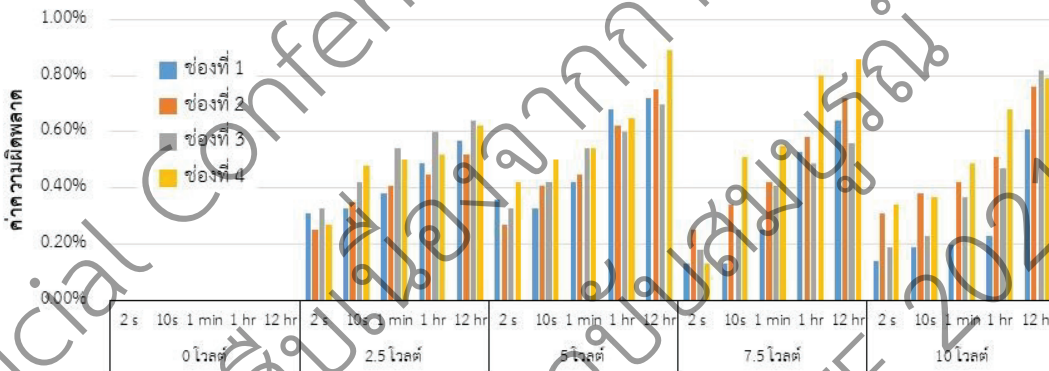
เครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ถูกทดสอบด้วยการวัดสัญญาณทาง
ขาเข้าที่แรงดัน 0, 2.5, 5, 7.5, 10 โวลต์ ที่เวลาสุ่มการเก็บตัวอย่างเป็น 2 วินาที 10 วินาที 1 นาที 1 ชั่วโมง และ
12 ชั่วโมง โดยแสดงผลการทดสอบเป็นค่าความผิดพลาดในการเก็บข้อมูล การแสดงผลของข้อมูลในรูปแบบของ
กราฟและไฟล์ไมโครซอฟท์เอ็กเซล และการทดสอบปริมาณการเก็บค่าของเครื่องบันทึกข้อมูล



รูปที่ 6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูล

3.1 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณขาเข้าแรงดัน 0, 2.5, 5, 7.5, 10 โวลต์ ที่เวลาการสุ่มตัวอย่างต่าง ๆ

การทดสอบวัดสัญญาณขาเข้าแรงดันไฟฟ้า 0, 2.5, 5, 7.5, 10 โวลต์ ที่เวลาสุ่มตัวอย่างเป็น 2 วินาที 10 วินาที 1 นาที 1 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดสัญญาณขาเข้าแรงดันไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ที่ช่องทางการเก็บข้อมูลทั้ง 4 ช่อง ดังรูปที่ 7

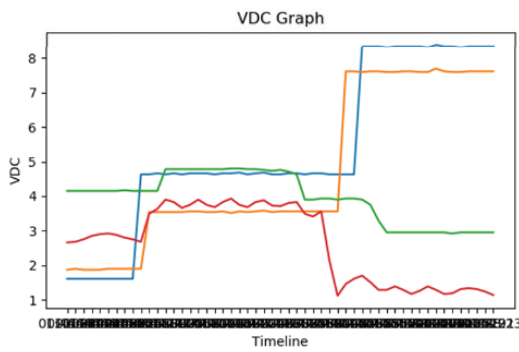


รูปที่ 7 ค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดแรงดันแต่ละช่องที่เวลาสุ่มตัวอย่างต่าง ๆ

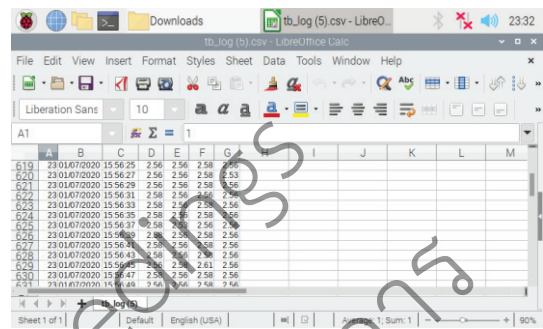
จากรูปที่ 7 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่พบในระยะเวลารวมที่มีค่าน้อยจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในระยะเวลารวมเก็บค่าตัวอย่างที่มีค่ามาก นั้นเกิดจากจำนวนข้อมูลของการเก็บข้อมูลจริงที่นำมาใช้ในการหาค่าความผิดพลาดไม่เท่ากัน

3.2 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของกราฟและไฟล์ไมโครซอฟท์เอ็กเซล

การแสดงผลเป็นกราฟจะสามารถเข้าดูได้ขณะเปิดหน้าจอโปรแกรมแล้วกดปุ่ม Graph เพื่อทำการดูกราฟดังรูปที่ 8 (ก) โดยที่สัญญาณช่อง 1, 2, 3 และ 4 แสดงด้วยเส้นสีฟ้า สีเหลือง สีเขียว และสีแดง ตามลำดับ การเข้าถึงข้อมูลที่เก็บไว้สามารถเปิดโปรแกรมพีเอชพีมายแอตมินที่ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการในบอร์ดราสเบอร์รี่พายเพื่อทำการ Export ไฟล์ นามสกุล CSV. หลังจากนั้นจะสามารถเปิดเป็นไฟล์ไมโครซอฟท์เอ็กเซลได้ดังรูปที่ 8 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของกราฟและไฟล์ไมโครซอฟท์เอ็กเซล (ก) การแสดงผลด้วยกราฟ และ (ข) การแสดงผลด้วยไฟล์ไมโครซอฟท์เอ็กเซล

3.3 การทดสอบปริมาณการเก็บข้อมูล

การทดสอบปริมาณการเก็บข้อมูลจะเก็บค่าทั้งหมดเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยเก็บค่าที่ระยะเวลาสุ่มเก็บค่าตัวอย่างต่างกัน จากนั้นนำค่ามาคำนวณหาปริมาณที่จะเก็บได้ในหน่วยความจำที่เหลือ โดยข้อมูล 1 ชุด จะประกอบไปด้วย ลำดับข้อมูล วัน-เวลาที่เก็บข้อมูลและค่าที่เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจจับทั้ง 4 ช่อง ผลของการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบปริมาณการเก็บค่า

เวลาสุ่มตัวอย่าง	จำนวนค่าที่เก็บได้	หน่วยความจำที่ใช้ (ไบต์)
2 s	1,801 ชุด	46826
10 s	361 ชุด	9386
1 min	61 ชุด	1586
30 min	3 ชุด	78
1 hr	2 ชุด	52

4. สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกเครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย จากการทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูลที่มีตัวรับข้อมูล 4 ช่อง วัดสัญญาณขาเข้าด้วยแรงดันไฟฟ้า 0, 2.5, 5, 7.5, 10 โวลต์ ที่เวลาสุ่มเก็บตัวอย่างต่าง ๆ พบว่าในช่องที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนของการบันทึกค่าของเครื่องบันทึกเครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง เฉลี่ยอยู่ไม่เกิน 0.44 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่อง ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย มีหน่วยความจำที่สามารถใช้ได้ประมาณ 14 จิกะไบต์ หากต้องการเก็บข้อมูลในเครื่องบันทึกข้อมูลนี้จะเก็บค่าได้ประมาณ 578,168,674 ชุด อย่างไรก็ตามเครื่องบันทึกข้อมูล 4 ช่องที่ได้ออกแบบและสร้าง

ขึ้นมาั้นควรได้รับการพัฒนาต่อไปในด้านการกำหนดค่าเวลาสุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลของแต่ละช่องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแยกกันได้ และการแยกการแสดงผลรูปแบบของกราฟเพื่อแสดงเฉพาะบางช่องได้เพราะบางครั้งการเก็บผลอาจใช้ช่องสำหรับเก็บข้อมูลแค่บางช่องเท่านั้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Venkatlakshmi S, Vivekanandhan S, Revathi S, Arul EMS, Paramasivam C. Industrial process management using LabVIEW. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering. 2013; 5(6) : 46-56.
- [2] Hadiatna F, Hindersah H, Yolanda D, Triawan MA. Design and implementation of data logger using lossless data compression method for Internet of Things. In Prihatmanto S, Damakusuma R, Sari C, Wijaya R, editors. International Conference on System Engineering and Technology; 2016 October 3-4; Bandung, Indonesia : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2017. P. 105-8.
- [3] Mahendra O, Syamsi D. Design of a dual-microcontroller scheme to overcome the freeze problem for a smart data logger. In Kusumo D, Redityamurti Y, Susanto E, Suwawi D, Wibowo T, editors. International Conference on Information and Communication Technology; 2014 May 28-30; Bandung, Indonesia : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2014. P. 314-9.
- [4] Yamanoor S, Yamanoor S. High quality, low cost education with the Raspberry Pi. In Mortezaie M, editors. IEEE Global Humanitarian Technology Conference; 2017 October 19-22; San Jose, CA, USA : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2017. P. 1-5.

ระบบจัดการโรงเพาะเห็ดด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

A Mushroom Cultivation Management System via Internet of Things

นมีนตรา วงศ์หาบุศย์¹ และ พันธกร วังทะพันธ์^{2*}

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น^{1,2*}

Nameentra Wonghabud¹ and Pantakorn Wangtapan^{2*}

Faculty of Science, Khon Kaen University^{1,2*}

E-mail : nameentra@kkumail.com¹, pantakornptk@kkumail.com^{2*}

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำเพื่อศึกษา ออกแบบระบบจัดการโรงเพาะเห็ดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาใช้วัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด โดยระบบสามารถควบคุมการทำงานปั้มน้ำ แสงไฟ พัฒลระบายอากาศ สามารถดูสถานะต่าง ๆ ที่ได้จากเซ็นเซอร์ และยังสามารถตั้งค่าผ่านหน้าจอโดยการกำหนดค่าขั้นต่ำ - สูง ของอุณหภูมิ ความชื้น เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำและ พัฒลระบายอากาศ จากนั้นจึงส่งค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มาแสดงออกมาเป็นกราฟ ไปยังเน็ตพายเพื่อใช้แสดงผลสรุปสถิติ ความชื้น อุณหภูมิ ที่ถูกส่งมาจากบอร์ดอาดูโน่ โดยมีการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเห็ด การออกแบบ โรงเรือนจำลองที่เหมาะสม ในการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบในส่วนระบบควบคุม และการทดสอบในส่วน ของผลผลิต โดยนำก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าที่มีการควบคุมด้วยระบบจัดการโรงเพาะเห็ดที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการทำงาน

คำสำคัญ : โรงเรือนเพาะเห็ด เน็ตพาย สมาร์ทฟาร์ม ออद्यุโน้

Abstract

This project is for study the design of mushroom house management system using a microcontroller to control temperature, humidity, carbon dioxide and oxygen. These are factors that affect the growth of mushrooms. The system can control the operation of water pumps, lights, ventilation fans. It can view different status from the sensor and it can also be set through the screen by setting the low - high temperature, humidity to control the operation of the water pump and ventilation fan. Then send the measured parameters to be displayed as a graph to the NETPIE to display the summary statistics of humidity, temperature that delivered from the Aduino board. With studies and research related to mushroom cultivation and designing a suitable model house. The test was divided into 2

parts: control system test and productivity test. By using a piece of oyster mushroom that controlled by the mushroom house management system created to compare the performance.

Keywords : Mushroom house, NETPIE, Smart farm, Arduino

1. บทนำ

การนำเทคโนโลยีระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เข้ามาใช้กับภาคการเกษตรเพื่อช่วยลดปัญหาแรงงาน ไม่ว่าจะเป็นการนำระบบมาช่วยควบคุมผลผลิตให้ได้คุณภาพที่สามารถประเมินผลและควบคุมได้ด้วยตัวเอง อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนการผลิตรวมถึงช่วยเพิ่มความสะดวกและง่ายต่อการควบคุมการใช้งาน

ปัจจุบันการเกษตรแบบโรงเรือนได้พัฒนามาเพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตพืชให้ได้ทั้งปริมาณ คุณภาพ และความปลอดภัยได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี ภายใต้การควบคุมเจริญเติบโตของพืชและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งผลผลิตนั้นมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ แต่เนื่องจากการเพาะปลูกในโรงเรือนจำเป็นต้องใช้เวลาและแรงงานในการผลิต ส่งผลทำให้ยากต่อการควบคุมผลผลิตให้มีคุณภาพ อีกทั้งการเพาะปลูกในรูปแบบดังกล่าว ยังมีต้นทุนในการสร้างสูง และต้องลงทุนสำหรับการดูแลผลผลิตในระยะยาว

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อพัฒนาระบบจัดการโรงเพาะเห็ด ขึ้นเพื่อช่วยลดระยะเวลาและแรงงาน และสามารถควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิต เช่น แสง ความชื้น อุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน เป็นต้น ช่วยลดต้นทุนในการควบคุมและดูแลผลผลิตในระยะยาว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนาระบบจัดการโรงเพาะเห็ด ให้มีความสะดวกในการควบคุมคุณภาพของผลผลิต
2. เพื่อออกแบบระบบให้สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเห็ดให้อยู่ภายในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

1.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลงานวิจัยของ Jirapond et al. [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนาระบบอย่างเหมาะสมสำหรับการรดน้ำพืชผลทางการเกษตรบนพื้นฐานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างพืชผัก มะนาว พริก คื่นช่าย ผักบุ้ง โดยใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่ายและวิเคราะห์ผลผลิตของข้อมูลอุณหภูมิความชื้นในดิน และค่าเฉลี่ยรายวัน ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถแจ้งสถานะการทำงานและเวลาผ่านแอป Line สามารถดูและควบคุม และวิเคราะห์ผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เห็นการเจริญเติบโตของพืชผักสูงขึ้นและมีคุณภาพ

ผลงานวิจัยของ Hanggoro et al. [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนาการตรวจสอบและควบคุมเรือนกระจกที่มีการส่งสัญญาณให้ตัวควบคุมทำงานภายในโรงเพาะปลูก โดยใช้วิธีการแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิทัลส่งค่าผ่านตัวควบคุม เพื่อให้ประมวลผลส่งเครื่องรดน้ำ การสื่อสารไร้สายโดยจะเก็บข้อมูลเป็นระยะเพื่อใช้ในการตรวจสอบผ่านแอปพลิเคชัน ผลการวิจัยพบว่า ระบบทดสอบเซ็นเซอร์ลักษณะดังกล่าว มีการใช้ความร้อนจาก GPU ของคอมพิวเตอร์ระบายอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในสภาพแวดล้อมทดสอบ ในอุณหภูมิ 30 ถึง 70 องศาเซลเซียส ความชื้นยังคงอยู่ในพื้นที่ช่วงปกติ หากอุณหภูมิที่ได้รับสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าทั้งระบบซึ่งเป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สามารถทำงานได้ดีเหมาะสม และทำงานได้ถูกต้อง

ผลงานวิจัยของ Chieochan et al. [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ ระบบการเพาะเห็ดบนพื้นฐานของอินเทอร์เน็ตที่ได้รับการออกแบบโดยใช้อาดุยโน้ และ ESP12E devkit โดยใช้วิธีการตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเซ็นเซอร์เหล่านี้ บันทึกข้อมูลและสั่งการควบคุมพัดลมปรับอากาศ ป้อนน้ำ หลอดไฟ และความเข้มของแสงภายในห้องพักเห็ด ผลการวิจัยพบว่า ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเห็ด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุม ดูแล ระยะเวลา และยังสามารถลดต้นทุน แรงงาน เพื่อเพิ่มผลผลิต

ผลงานวิจัยของ Danita et al. [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การจัดการพืชในเรือนกระจกและการป้องกันและควบคุมพืชจากปัจจัยภายนอก โดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่าง ผักขม ซึ่งใช้วิธีการ ตรวจสอบอุณหภูมิ พารามิเตอร์ความชื้นและปริมาณความชื้นของดินโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้น บนพื้นที่ทั้งหมดภายในโรงเรือนกระจกที่แบ่งออกเป็น ส่วน ๆ และ ส่งข้อมูลเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้นเหล่านี้ไปที่ Raspberry Pi และเอาต์พุตจาก Pi จะถูกกำหนดให้กับไมโครเวอร์ IC เพื่อสั่งการทำงานเปิดหรือปิดมอเตอร์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าโรงเรือนกระจกสามารถให้การเพาะปลูกพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและแม่นยำ

ผลงานวิจัยของ Shakir et al. [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนาระบบเครือข่ายสำหรับใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของเห็ดโดย ศึกษาจากกลุ่มตัวอย่าง เห็ดหลินจือ โดยใช้วิธีการวัดและตรวจสอบความชื้นในเห็ดเพื่อนำข้อมูลจากพารามิเตอร์ที่ได้มาใช้ในการสั่งงานควบคุมอุปกรณ์ ผลการวิจัยพบว่าระบบที่ได้ออกมาขึ้น ให้ข้อมูลความชื้นที่เสถียร แม่นยำและถูกต้องเมื่อเทียบกับการทำงานด้วยแรงงานคน

จากผลงานการวิจัยทั้งหมดนั้น ทำให้ผู้พัฒนาสนใจที่จะพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อพัฒนาระบบจัดการโรงเพาะเห็ด ที่มีอยู่หลากหลายให้ดียิ่งขึ้น ด้วยความคาดหวังว่าจะช่วยสร้างแรงกระตุ้น และความสนใจให้แก่ผู้ที่มีความสนใจต้องการที่จะศึกษา ผลงานต่าง ๆ ของภาควิชาการคอมพิวเตอร์ เกิดความสนใจที่จะศึกษา ค้นคว้าผลงานวิจัยดังกล่าวเพิ่มขึ้น

เห็ดนางฟ้า [6] จะเจริญเติบโตได้ดีในที่มีความชื้นในโรงเรือนไม่ควรต่ำกว่า 80 % ดังนั้น ไม่ควรที่จะปล่อยให้ ความชื้นหรือแห้งจนเกินไป อีกทั้ง อุณหภูมิ อากาศ แสง ยังเป็นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของดอกเห็ด โรงเรือนที่ดีต้องสามารถให้อากาศถ่ายเทได้ดี โดยเฉพาะโรงเรือนขนาดใหญ่

Internet of Things (ไอโอที) [7] คือ การที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการเชื่อมต่อสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทำให้เราสามารถควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ได้ โดยใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นตัวกลาง เช่น การสั่งเปิดพัดลม การสั่งเปิดไฟด้วยการใช้ การเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อควบคุม เช่น โทรศัพท์ อินเทอร์เน็ต รถยนต์ ยานพาหนะ ของใช้ต่าง ๆ ผ่านการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น การสั่งการควบคุมด้วยอุปกรณ์ไอโอที เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Machine to Machine คือ การที่อุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมต่อกันกับเครือข่ายเข้าไว้กับอุปกรณ์ IoT มีความจำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อาร์เอฟไอดี และเซ็นเซอร์ ซึ่งเหล่านี้เสมือนการเดิมมองให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เพื่อให้อุปกรณ์ที่ติดตั้งรับข้อมูลถึงกันได้

NETPIE คือ Cloud platform [8] ที่ถูกพัฒนาขึ้นจากทีมวิจัย เป็นรูปแบบ Web portal ที่ต้องลงทะเบียนเข้าใช้งานและจัดการตัวตน หรือสิทธิ์ต่าง ๆ ของแอปพลิเคชัน ในโครงสร้างของ NETPIE เป็นแบบสามารถขยายตัวได้อย่างอัตโนมัติ ดูแลและซ่อมแซมระบบตัวเองได้ตลอดเวลา โดยที่ไม่ต้องพึ่งผู้ดูแลระบบ (Administrator) และ NETPIE

มี Microgear เป็น Library ของ NETPIE ที่ติดตั้งในอุปกรณ์ต้องการเชื่อมต่อผ่าน Cloud NETPIE เป็นตัวกลาง ผู้ช่วยสร้างการเชื่อมต่อสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ โดยหน้าที่สามารถแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้ ด้านการสื่อสารไป Cloud NETPIE ด้านการยืนยันตัวตน ด้านการขอใช้สิทธิ์ ด้านการติดต่อระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1.1 คิดหัวข้อโครงการที่สนใจ และนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา

2.1.2 ศึกษาค้นคว้า หาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ เช่น การใช้อุปกรณ์ไอโอที การเพาะเห็ดในโรงเรือน การใช้ NETPIE เป็นต้น

2.1.3 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับโครงการ

2.1.4 กำหนดขอบเขตและจุดเด่นที่แตกต่างกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษามา

2.1.5 วิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างของระบบ

2.1.6 ทดสอบและบันทึกผลการดำเนินโครงการ

2.1.7 นำเสนอโครงการต่ออาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการ

2.2 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตสำหรับระบบจัดการโรงเพาะเห็ดด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน โดยมีขอบเขตดังต่อไปนี้

2.2.1 กลุ่มตัวอย่าง

บุคคลที่มีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการเกษตรแบบโรงเรือน และ ผู้วิจัยได้ใช้เห็ดนางฟ้าในการศึกษาและบันทึกผลข้อมูล

2.2.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1) วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลสรุปสถิติอุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาวิเคราะห์

2) ระบบควบคุมพัดลมดูดอากาศ ป้อนน้ำ แสงไฟ ปรังลดอุณหภูมิ ความชื้นให้กับเห็ด

3) ประเมินความพารามิเตอร์จากเซ็นเซอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์

4) ควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 75-90 RH และ อุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 25-30 องศา

5) พัฒนาระบบให้ใช้งานภายในโรงเรือนเท่านั้น

2.3 ความต้องการของระบบ

2.3.1 สามารถตั้งค่าอุปกรณ์ตามความเหมาะสมของเห็ด

2.3.2 สามารถใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรือนได้

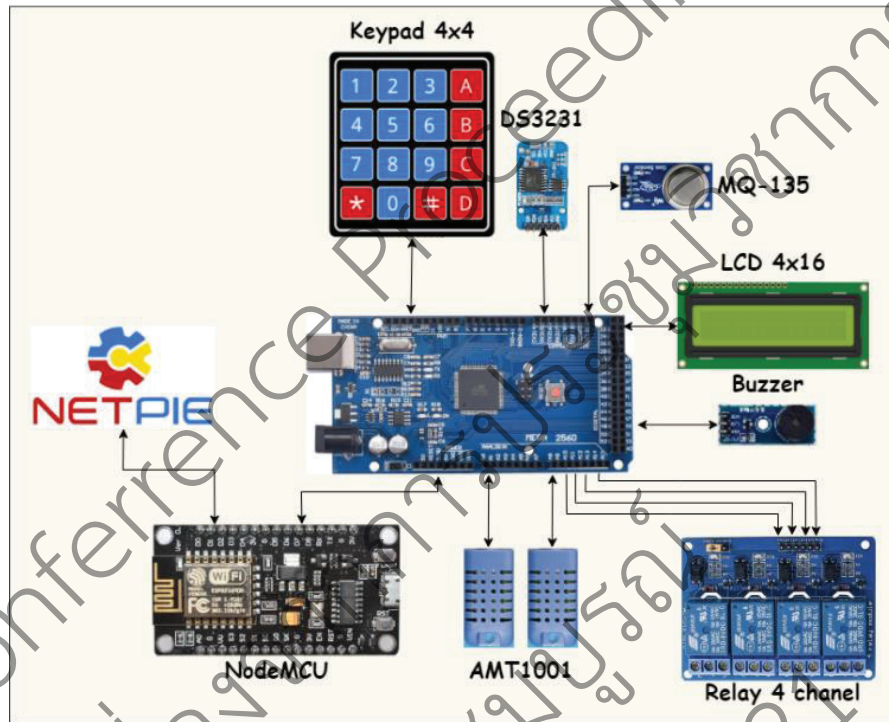
2.3.3 สามารถควบคุมปริมาณน้ำ แสง และระบายอากาศได้ตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม

2.3.4 สามารถแสดงผลผ่านจอ LCD สำหรับสถานะภายในโรงเรือนจำลอง

2.3.5 เชื่อมต่ออุปกรณ์กับ NETPIE สำหรับจัดการและแสดงผลของข้อมูลต่าง ๆ

2.4 การวิเคราะห์และออกแบบ

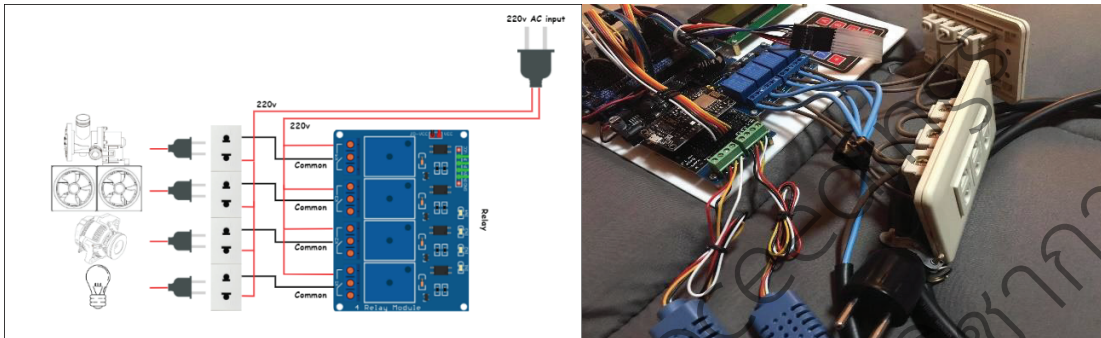
ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบไอโอที ที่ใช้เซ็นเซอร์วัดประกอบด้วย วัดอุณหภูมิ ความชื้น สัมผัสในโรงเรือน จำลอง และควบคุมการเปิดปิดปั้มน้ำให้สปริงเกอร์ทำงานแบบอัตโนมัติ และส่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปแสดงผลสถานะ อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ แบบเรียลไทม์ผ่านหน้าจอ LCD และ NETPIE



รูปที่ 1 โครงสร้างวงจรในการควบคุมระบบ

จากรูปที่ 1 เป็นการออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบซึ่งจะประกอบไปด้วยชุดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ วัดค่าโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน่ เป็นตัวควบคุมการทำงานและประมวลผลค่าที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ เพื่อไปควบคุมการทำงานของชุดรีเลย์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทซ์ ปิด - เปิด ปั้มน้ำ พัดลมระบายอากาศ ให้ทำงาน ในการตรวจสอบค่าความชื้น อุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน สามารถดูได้จากหน้าจอของอุปกรณ์และ NETPIE

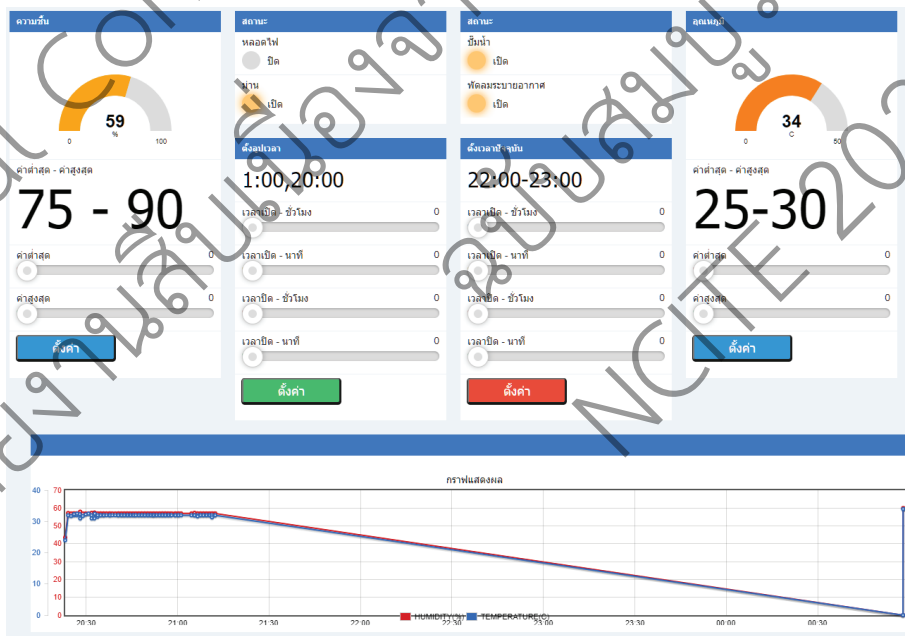
2.5 ออกแบบการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับอุปกรณ์ควบคุม



รูปที่ 2 การเชื่อมต่อตัวรับเข้ากับรีเลย์

จากรูปที่ 2 เป็นการเชื่อมต่อตัวรับเข้ากับรีเลย์สำหรับการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยมี อาตุยโนเป็นตัวประมวลผลคำสั่งไปยังรีเลย์เพื่อทำหน้าที่สั่งการทำงานของวงจรไฟฟ้า เนื่องจากอาตุยโนสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ไม่เกิน 5 โวลต์ จึงได้มีการแปลงให้สามารถทำงานได้โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เข้าช่วยเพื่อให้อุปกรณ์สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ

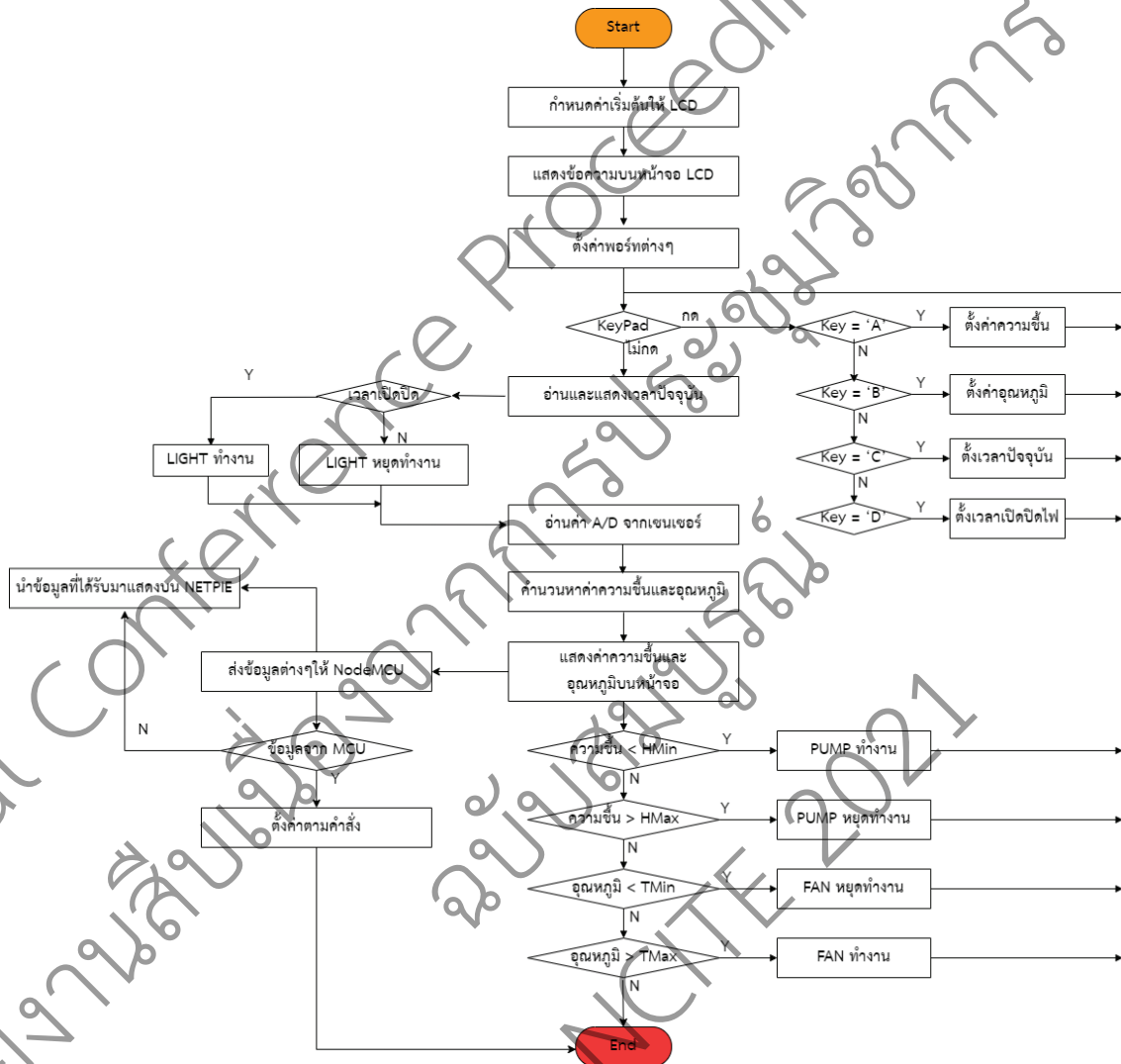
2.6 หน้าการจัดการของ Freeboard ระบบโดยรวมบน Netpie



รูปที่ 3 ตัวอย่างหน้าการจัดการของ Freeboard ระบบโดยรวมบน Netpie

จากรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างหน้าการจัดการของ Freeboard ระบบโดยรวมบน Netpie ทำหน้าที่สำหรับดูสถานะ ตั้งค่าการทำงานของ เซ็นเซอร์ เวลา ลูบเวลา เวลาเปิด - ปิด และมีมอเตอร์ ในการสรุปค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จาก เซ็นเซอร์ตามช่วงเวลา

2.7 ฝั่งงานของระบบโดยรวม



รูปที่ 4 แผนผังระบบโดยรวม

2.8 ออกแบบโรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง

สร้างแบบจำลองโรงเรือนเพาะเห็ด โดยขนาดของโรงเรือนที่ทำการสร้างมีขนาด 100x80x160 เซนติเมตร และแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.8.1 ฮาร์ดแวร์ สำหรับควบคุมอุปกรณ์และใช้งานตามฟังก์ชันที่ได้กำหนดขึ้นได้

2.8.2 เน็ตพาย สำหรับดูสถานะ ตั้งค่าการทำงานของ เซ็นเซอร์ เวลา ลูบเวลา เวลาเปิด - ปิด และมีมอนิเตอร์ในการสรุปค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตามช่วงเวลา



รูปที่ 5 อุปกรณ์ควบคุมโรงเรือนเพาะเห็ดจำลอง

3. สรุปผลและอภิปรายผล

ระบบจัดการโรงเพาะเห็ดด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (A Mushroom Cultivation Management System via Internet of Things) ในการพัฒนาระบบนั้นผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบฮาร์ดแวร์ และ Netpie โดยได้พัฒนาระบบ ออกแบบโรงเพาะเห็ดจำลอง เขียนโปรแกรมที่จะใช้ในการประมวลผลควบคุมเปิด - ปิดอุปกรณ์ ป้อนน้ำ หลอดไฟ พัฒลมนโยบายอากาศ และทำการเชื่อมต่อวงจรของระบบให้สามารถประมวลผลคำสั่งและควบคุมอุปกรณ์ได้ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาในส่วนของเน็ตพาย โดยเขียนด้วย C++ ลง NodeMCU ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอาดุยโน้และ Netpie สำหรับรับ - ส่งข้อมูลไปยัง Netpie โดยสามารถตั้งค่าการเชื่อมต่อไวไฟได้ เพื่อให้ฟังก์ชันสามารถทำตามได้อย่างถูกต้องตามที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ โดยการทำงานที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้มีดังนี้ วัดอุณหภูมิ ความชื้น ควบคุมการทำงานผ่านรีเลย์ แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับมาจากเซนเซอร์ผ่านจอ LCD หน้า Interface สำหรับใช้งานตั้งค่าการทำงานของ เซ็นเซอร์ เวลา ลูบเวลา เวลาเปิด - ปิด ซึ่งในขั้นตอนต่อไป จะดำเนินการพัฒนาและออกแบบ Freeboard ให้ใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น และอื่น ๆ อีกทั้งจะดำเนินการให้ระบบโรงเพาะเห็ด มีความเหมาะสม และสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

3.1 ข้อจำกัดของระบบ

1. ระบบไม่สามารถทำงานได้หากขาดการจ่ายไฟฟ้า
2. ระบบไม่สามารถวัดอุณหภูมิที่เกินกว่า 60 องศาเซลเซียส และความชื้นที่เกินกว่า 90 pH ได้
3. ระบบไม่สามารถลดอุณหภูมิภายนอกที่จะเข้ามาภายในโรงเพาะเห็ดได้
4. ระบบไม่รองรับจำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับระบบจำนวนมาก

3.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

การเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ดอาคิโน จำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษา วิธีการเขียน และโครงสร้าง เนื่องจาก ระบบที่พัฒนาขึ้นมีหลายโมดูล ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการจัดการ วางแผนให้ครอบคลุม เพื่อให้ฟังก์ชันการทำงาน ทำงานได้อย่างไม่ติดขัด

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jirapond, M., Nathaphon, B., Siriwan, K., Narongsak, L., Aprat, W., & Pichetwut, N. (2018,December). IoT and agriculture data analysis for smart farm. Retrieved July 1, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918308913>
- [2] Hanggoro, A., Putra, M, Adhitya., Reynaldo, R., Sari, R, Fitri. (2013,October). Green house monitoring and controlling using Android mobile application. Retrieved July 1, 2019, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/6632541/authors#authors>
- [3] Chieochan, O., Anukit, S., Ekkarat, B. (2017,September). IoT for Smart Farm: A case study of the Lingzhi Mushroom Farm at Maejo University. Retrieved July 1,2019, from <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8025904>
- [4] Danita. M., Mathew, B., Shereen, N., Sharon, N., J. John Paul. (2019, March). IoT Based Automated Greenhouse Monitor System. Retrieved July 1, 2019, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/8662911/authors#authors>
- [5] Shakir, A, Alim., Hakim, F., Rasheduzzaman, M., Chakaborty, S., Ahmed, T, Uddin., Hossain, S. (2019,February). Design and Implementation of SENSEPACK: An IoT Based Mushroom Cultivation Monitoring System. Retrieved July 1, 2019, from <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8679183>
- [6] ศูนย์การเรียนรู้ฟาร์มหมู่บ้านเห็ด. (ม.ป.ป.). การเพาะเห็ด. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2562. จาก <https://www.moobanhed.com/14955671/การเพาะเห็ดนางฟ้า>
- [7] Devbun. (2560). Internet Of Things (IoT) คืออะไร. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2562. จาก <https://blog.sogoodweb.com/Article/Detail/59554>
- [8] พนิดา พงษ์ไพบูลย์ และคณะ. (2560). คู่มือการใช้งาน NETPIE An Official Guide to NETPIE. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2563. จาก http://203.159.154.241/innogoth/wp-content/uploads/2017/09/NETPIEWS_v23.pdf

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

กรณีศึกษาการนำโครงสร้างเหล็กถูกไฟไหม้กลับมาใช้งานใหม่

Case Study of the Reuse Burned Steel Structures

ปรีชญา ก้านบัว^{1*} ชลธิชา จีบตะคุ² และ ณัฐวุฒิ อินทบุตร³

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี^{1*, 2, 3}

Prachya Kanbua^{1*} Cholticha Jeebtaku² and Nuttawut Intaboot³

Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi^{1*, 2, 3}

E-mail : prachya_m@hotmail.com^{1*}, jeebtaku@gmail.com², nuttawut_took@hotmail.com³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการนำเหล็กโครงสร้างที่ถูกไฟไหม้กลับมาใช้งานใหม่อีกครั้ง ทั้งนี้การพิจารณาชิ้นส่วนของโครงสร้างซึ่งถูกไฟไหม้เพื่อกลับมาใช้ใหม่จะต้องพิจารณาทั้งกายภาพและคุณสมบัติทางกลของวัสดุ โดยโครงสร้างนี้เป็นสายพานลำเลียงที่มีลักษณะเป็นโครงถักซึ่งจะมีทั้งชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด เมื่อเหล็กถูกไฟไหม้จะทำให้กำลังของเหล็กลดลงอย่างมากโดยจะแปรผันตามระยะเวลาที่ถูกไฟไหม้และอุณหภูมิที่สูงขึ้น การพิจารณาชิ้นส่วนของโครงสร้างซึ่งได้แก่ การโก่งเดาะ ลักษณะผิวของเหล็ก และ ความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม จะเป็นปัจจัยทางกายภาพสำหรับการพิจารณาในเบื้องต้น ส่วนการพิจารณาในขั้นถัดไปจะเป็นคุณสมบัติทางกลของวัสดุซึ่งได้แก่ กำลังรับแรงดึงที่จุดครากและร้อยละการยืดตัวของเหล็ก เพื่อใช้ประกอบการพิจารณา

คำสำคัญ : เหล็ก เหล็กโครงสร้าง ไฟไหม้ นำกลับมาใช้งาน

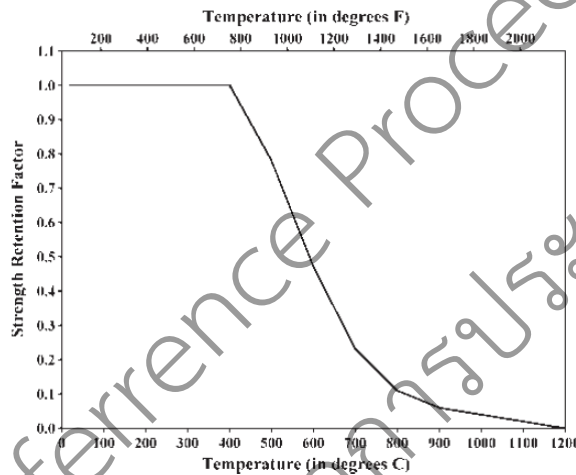
Abstract

This article presents a case study of the reuse of burned structural steel. Considering the parts of the burned structure for reuse, both the physical and mechanical properties of the material must be considered. This structure is a conveyor belt with a braided frame, which has both tensile and compressive members. When the steel is burned, the strength of the steel decreases significantly, varying according to the burn duration and the higher temperature. Determining parts of the structure, including buckling, surface characteristics of steel, and weld integrity, are physical factors for preliminary consideration. The next stage of consideration is the mechanical properties of the material, which include the yield strength and percent elongation of the steel for consideration.

Keywords : Steel, Structural steel, Fire, Reuse

1. บทนำ

วัสดุประเภทเหล็กโครงสร้าง (Structural Steel) เป็นวัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างต่าง ๆ มากมายเช่น อาคาร สะพาน หอคอย เพราะเหล็กโครงสร้างมีคุณสมบัติที่ดีในเรื่องของอัตรากำลังต่อน้ำหนักที่สูงและมีความเหนียวหรือการยืดหยุ่นที่ดีกว่าคอนกรีต แต่เหล็กจะมีข้อด้อยในเรื่องของการเป็นสนิมและการทนไฟที่ไม่ค่อยดี ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้หากโครงสร้างเหล็กถูกไฟไหม้เป็นเวลานานหรืออุณหภูมิสูงมาก เหล็กโครงสร้างจะมีกำลัง (Strength) ลดลง [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อัตราส่วนกำลังต่ออุณหภูมิของเหล็ก

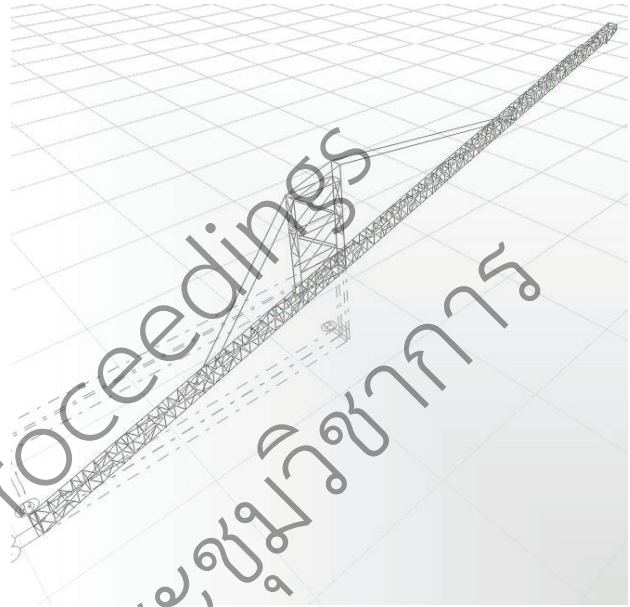
ในกรณีศึกษาได้นำตัวอย่างโครงสร้างสายพานลำเลียง (Conveyor) ซึ่งถูกไฟไหม้เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถวัดอุณหภูมิขณะเกิดไฟไหม้ได้ เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดและเกิดขึ้นในเวลาากลางคืน โดยเมื่อระดับเพลิงทำการดับไฟที่ไหม้แล้วโครงสร้างมีลักษณะ ดังรูปที่ 2 – 3 และสายพานลำเลียงจะมีลักษณะเป็นโครงถัก (Truss) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 โครงสร้างสายพานลำเลียงที่ถูกไฟไหม้



รูปที่ 3 ตัวอย่างชิ้นส่วนที่ถูกไฟไหม้



รูปที่ 4 ลักษณะโครงสร้างสายพานลำเลียง

เนื่องจากระยะเวลาที่ถูกไฟไหม้ของแต่ละชิ้นส่วนมีไม่เท่ากันและไม่สามารถวัดอุณหภูมิขณะเกิดไฟไหม้ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาชิ้นส่วนของโครงสร้างเพื่อนำกลับมาใช้งาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนและคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

1) ลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ลักษณะผิวของเหล็กและความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม

2) คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ต้องพิจารณาได้แก่ กำลังรับแรงดึงที่จุดครากและร้อยละการยืดตัวของเหล็ก

ในบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะในส่วนของการทดสอบแรงดึงเพื่อพิจารณากำลังรับแรงดึงที่จุดครากและร้อยละการยืดตัวของเหล็ก โดยค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) จะไม่ถูกนำมาพิจารณา เนื่องจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่จะกลับมามีค่าเท่าเดิมเมื่ออุณหภูมิลบมาเป็นปกติ [2] ในส่วนของรอยเชื่อมจะพิจารณาแค่ความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมเท่านั้น เนื่องจากรอยเชื่อมจะทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าเหล็กจึงทดสอบคุณสมบัติทางกลเฉพาะเหล็กและไม่มีการทดสอบคุณสมบัติทางกลของรอยเชื่อม

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.1.1 เพื่อเป็นกรณีศึกษาในการนำโครงสร้างเหล็กที่ถูกไฟไหม้กลับมาใช้งานใหม่

1.1.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของเหล็กได้แก่ กำลังรับแรงดึงที่จุดครากและร้อยละการยืดตัวหลังจากถูกไฟไหม้

1.1.3 เพื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมของโครงสร้างเหล็กหลังจากถูกไฟไหม้

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาจะทำการสุ่มตัดตัวอย่างทดสอบเพื่อนำมาทดสอบแรงดึงจำนวน 9 ตัวอย่างทดสอบ และทำการสุ่มทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมจำนวน 155 จุด เพื่อทำการรายงานผลการทดสอบแรงดึงที่จุดคราก ร้อยละการยึดตัวของเหล็ก และความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมเท่านั้น

2.2 การเก็บตัวอย่างและการทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงของบทความนี้จะตัดจากโครงสร้างที่ถูกไฟไหม้ในตำแหน่งต่าง ๆ ของสายพานลำเลียง โดยการตัดชิ้นส่วนของโครงสร้างยาวประมาณ 1 เมตร แล้วใช้เครื่องกลึงกัดขึ้นทอนเป็นรูปตามมาตรฐาน ASTM E8M [3] ดังรูปที่ 5 และขนาดตามตารางที่ 1 จำนวน 9 ตัวอย่าง จากนั้นนำเข้าเครื่องทดสอบ UTM เพื่อทำการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 5 ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน

ตารางที่ 1 ขนาดมาตรฐานของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8M

Nominal Width	Dimensions, mm		
	Standard Specimens		Subsize
	Plate-Type	Sheet-Type	
	40 mm	12.5 mm	6 mm
G-Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W-Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T-Thickness (Note 5)	thickness of material		
R-Radius of fillet, min (Note 6)	25	12.5	6
L-Overall length, min (Note 2 and Note 7)	450	200	100
A-Length of reduced section, min	225	57	32
B-Length of grip section, min (Note 8)	75	50	30
C-Width of Grip section approximate (Note 4 and Note 8)	50	20	10

ในส่วนของการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมนั้นจะทำการสุ่มทดสอบจำนวน 155 จุด โดยใช้วิธีการทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing Method) ตามมาตรฐาน ASTM E165 [4] ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมโดยวิธีการทดสอบด้วยสารแทรกซึม

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงจำนวน 9 ตัวอย่าง ได้ค่ารับแรงดึงที่จุดครากและร้อยละการยืดตัวของเหล็ก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงดึงของเหล็ก

ตัวอย่างทดสอบ	ขนาดก่อนกลึง (มม.)	กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก F_y (กก./ตร.ซม.)	กำลังรับแรงดึงสูงสุด F_u (กก./ตร.ซม.)	การยืดตัว (ร้อยละ)
1	L 65x65x9	2,715	4,007	22.90
2	L 65x65x9	2,796	4,211	28.00
3	L 65x65x6	3,158	4,798	25.40
4	L 65x65x6	3,302	4,993	25.25
5	L 65x65x6	3,383	4,883	24.25
6	L 65x65x6	2,912	4,625	26.35
7	L 65x65x6	3,274	4,859	24.60
8	L 65x65x6	2,968	4,455	25.00
9	L 65x65x6	2,832	4,317	23.85

3.2 ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม

จากการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมด้วยสารแทรกซึม จำนวน 155 จุด เนื่องจากจำนวนจุดทดสอบมีจำนวนมาก จึงนำมารายงานผลเป็นตัวอย่างเพียง 10 จุด ดังตารางที่ 3 และ รูปที่ 7 ถึง 8

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม

ตัวอย่างทดสอบ	ขนาด (มม.)	ความยาวของรอยเชื่อม (มม.)	ผลการตรวจสอบ ความสมบูรณ์
1	L 65x65x6	100	สมบูรณ์
2	L 65x65x6	65	สมบูรณ์
3	L 65x65x6	65	สมบูรณ์
4	L 65x65x6	65	สมบูรณ์
5	L 65x65x6	65	สมบูรณ์
6	L 65x65x6	65	สมบูรณ์
7	L 65x65x6	65	สมบูรณ์
8	L 65x65x6	100	สมบูรณ์
9	L 65x65x6	100	สมบูรณ์
10	L 65x65x6	65	สมบูรณ์



รูปที่ 7 ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม



รูปที่ 8 ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม

3.3 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบแรงดึงของเหล็กจำนวน 9 ตัวอย่าง และการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมจำนวน 155 จุด ได้ข้อสรุปดังนี้

3.3.1 กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กทั้ง 9 ตัวอย่าง มีค่ามากกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเทียบเท่ากับมาตรฐานเหล็กโครงสร้างทั่วไป ซึ่งมีกำลังรับแรงดึงที่จุดครากอยู่ที่ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3.3.2 ร้อยละการยึดตัวของเหล็กทั้ง 9 ตัวอย่างยังคงมีค่ามากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งถือว่ายังคงอยู่ในเกณฑ์ปกติเทียบเท่าเหล็กโครงสร้างทั่วไป

3.3.3 ความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมทั้งหมด 155 จุดยังอยู่ในเกณฑ์ปกติไม่มีความเสียหายหรือรอยฉีกขาดหลังจากโครงสร้างถูกไฟไหม้

ผลการทดสอบเหล็กและรอยเชื่อมหลังจากโครงสร้างถูกไฟไหม้เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงและเย็นตัวลงพบว่า คุณสมบัติทางกลคือกำลังรับแรงดึงที่จุดครากและร้อยละการยึดตัวของเหล็กโครงสร้างยังคงกลับมาเป็นปกติ และรอยเชื่อมไม่ได้รับความเสียหาย แต่ในขณะที่โครงสร้างเหล็กถูกไฟไหม้นั้นกำลังรับแรงดึงและแรงอัดของเหล็กจะลดลงดังที่แสดงในรูปที่ 1 แรงที่เกิดขึ้นในโครงถักไม่จำเป็นจะต้องถึงกำลังครากของเหล็กก็สามารถส่งผลให้องค์อาคารที่รับแรงอัดเกิดการโก่งเดาะได้ดังรูปที่ 9 และทำให้โครงถักมีการแอ่นตัวดังรูปที่ 10 โดยขณะที่เกิดไฟไหม้นั้น แรงภายในที่เกิดขึ้นในโครงสร้างมีค่าไม่เกินกำลังรับแรงดึงและแรงอัดที่จุดครากของเหล็ก สังเกตได้จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงที่จุดครากและร้อยละการยึดตัวของเหล็กยังคงเป็นปกติ เพราะถ้าหากเหล็กโครงสร้างเกิดแรงภายในเกินกำลังรับแรงดึงและแรงอัดที่จุดครากเหล็กจะสูญเสียความสามารถในการยึดตัวและกำลังรับแรงดึงที่จุดครากจะเปลี่ยนไป [5] ดังนั้นในกรณีนี้จึงสามารถที่จะนำโครงสร้างกลับมาใช้งานใหม่ได้อีกครั้ง โดยทำการตัดเปลี่ยนชิ้นส่วนโครงสร้างที่เกิดการโก่งเดาะและแก้ไขโครงสร้างให้กลับมาใกล้เคียงเดิม



รูปที่ 9 ตัวอย่างโครงถักที่เกิดความเสียหายจากการโก่งเดาะ



รูปที่ 10 โครงถัดที่เกิดการแอ่นตัว

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท สยาม เรมิตี จำกัด ที่สนับสนุนทุนและให้ความช่วยเหลือในด้านการตรวจสอบโครงสร้าง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Richard G. Gwain, Nestor R. Iwankiw and Farid Alfawakhiri. Facts of Steel Buildings – Fire. United States of America : American Institute of Steel Construction; 2003.
- [2] ปกรณ์ แดงละม้าย และวีรัตน์ โคอมขวา. อิทธิพลของอุณหภูมิกับการแปรเปลี่ยนค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18; 18-20 ตุลาคม พ.ศ. 2547; ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น : สมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย; 2547. หน้า 388-394.
- [3] American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, ASTM E8M, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]. West Conshohocken : ASTM; 2000.
- [4] American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, ASTM E165, Standard Test Methods for Liquid Penetrant Examination. West Conshohocken : ASTM; 1995.
- [5] R. C. Hibbeler. Mechanics of Materials. 8th Edition. United States of America : Pearson; 2011.

การวิเคราะห์ความเค้นรอยบากของรอยต่อเชื่อมระหว่างสันกับพื้นบริเวณรอยต่อสันในพื้นที่สะพาน
ออร์โธโทรปิก

Notch Stress Analysis of Rib-to-Deck Weld Connection at Rib Splice in
Orthotropic Steel Deck

ทองสร้อย ศรีสวาท^{1*} และ ปิยะ โชติกไกร²
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์^{1*,2}

Thongsoi Srisawat^{1*} and Piya Chotickai²
Faculty of Engineering, Kasetsart University^{1*,2}

E-mail : Thongsoi_Srisawat@hotmail.com^{1*} fengspyc@ku.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลของตำแหน่งล้อตามขวางและรูปแบบเรขาคณิตของรอยต่อสันที่มีต่อความเค้นรอยบากวิกฤติของพื้นที่สะพานออร์โธโทรปิก ตำแหน่งของการเกิดรอยร้าวความล้า และทิศทางการเติบโตของรอยร้าวความล้า โดยการวิเคราะห์ความเค้นรอยบากด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ขอบรอยเชื่อมสันที่จุดวกกลับเป็นตำแหน่งวิกฤติสำหรับการเกิดรอยร้าวความล้า โดยรอยร้าวความล้าเริ่มเกิดที่ด้านในหรือด้านนอกของสันขึ้นอยู่กับตำแหน่งล้อตามขวาง ความเค้นรอยบากวิกฤติลดลงเมื่อมีการลดความหนาและความสูงแผ่นเหล็กประกบ ลดขนาดช่องเปิดเฉพาะที่ หรือการเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นสะพาน โดยทิศทางการเติบโตของรอยร้าวความล้าวิกฤติอยู่ภายใต้ตำแหน่งล้อตามขวางเป็นหลัก

คำสำคัญ : ความเค้นรอยบาก ความล้า พื้นออร์โธโทรปิก รอยต่อสัน เหล็ก รอยเชื่อม

Abstract

This paper presents the effects of transverse wheel load locations and configurations of rib splice on the critical notch stress of rib-to-deck weld connection in an orthotropic steel deck. The finite element models were developed to evaluate the location of fatigue crack initiation and crack growth direction. The analytical results indicated that fatigue crack could be initiated at inside or outside corner of toe-rib weld, depending on the transverse wheel load location. The critical notch stress decreased with the decreases in thickness and height of steel plates at the rib splice, a decrease in the size of local opening, and an increase in deck thickness. The direction for fatigue crack propagation was influenced mainly by transverse wheel load location.

Keywords : Notch stress, Fatigue, Orthotropic deck, Rib splice, Steel, Weld connection

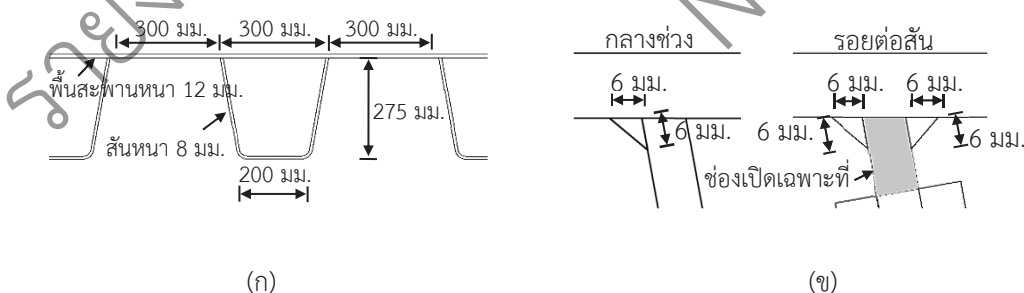
1. บทนำ

พื้นออร์โธโทรปิกมักประสบปัญหารอยร้าวความล้าที่รอยเชื่อมภายใต้น้ำหนักกระทำซ้ำซ้อนจากยานพาหนะ เช่น รอยแตกร้าวที่รอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้น และที่รอยเชื่อมบริเวณรอยต่อสัน [1] – [3] เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีความไม่ต่อเนื่องของเรขาคณิตสูง โดยรอยต่อสันมี 2 ชนิด คือ การต่อแบบเชื่อมชนและการต่อชนด้วยสลักเกลียว [4], [5] ซึ่งการต่อของรอยต่อสันจะทำในภาคสนาม และรอยต่อมักอยู่ห่างจากคานขวางประมาณ $1/3$ ของความยาวช่วงระหว่างคานขวาง [6] รอยต่อสันชนิดต่อชนด้วยสลักเกลียวจำเป็นต้องมีช่องเปิดในสันเพื่อการเข้าถึงสำหรับการทำงาน และมีช่องเปิดเฉพาะที่ที่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้น เพื่อเว้นระยะสำหรับรอยเชื่อมตามขวางของรอยต่อแผ่นพื้น ซึ่งผลของช่องเปิดเฉพาะที่ทำให้เกิดความเค้นสูงขึ้นจากการเสียรูปเฉพาะที่และสามารถทำให้เกิดรอยร้าวบริเวณรอยเชื่อมได้ [7], [8] หลายการศึกษาชี้ให้เห็นว่าตำแหน่งล้อยเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อช่วงความเค้นเข้มข้นที่รอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้น [9] – [12] โดยพฤติกรรมความล้าที่รอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นอยู่ภายใต้ความเค้นดัดเป็นหลัก [13] อย่างไรก็ตามการศึกษาคความต้านทานความล้าของรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นบริเวณที่มีช่องเปิดยังมีอยู่อย่างจำกัด และเรขาคณิตที่จุดต่อควรมีรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มกำลังความล้าให้กับจุดต่อ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบเรขาคณิตของรอยต่อสัน การเสริมกำลังรอยต่อสันด้วยแผ่นเหล็ก และตำแหน่งล้อยที่มีต่อความเค้นในรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นในบริเวณรอยต่อสัน ด้วยการใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ตำแหน่งล้อยวิกฤติสำหรับการเกิดรอยร้าวความล้าและตำแหน่งของรอยร้าวความล้าบริเวณรอยต่อสันตามหลักการความเค้นรอยบาก (Notch stress approach)

2. วิธีการวิจัย

2.1 รายละเอียดของพื้นสะพานออร์โธโทรปิกและรอยต่อสัน

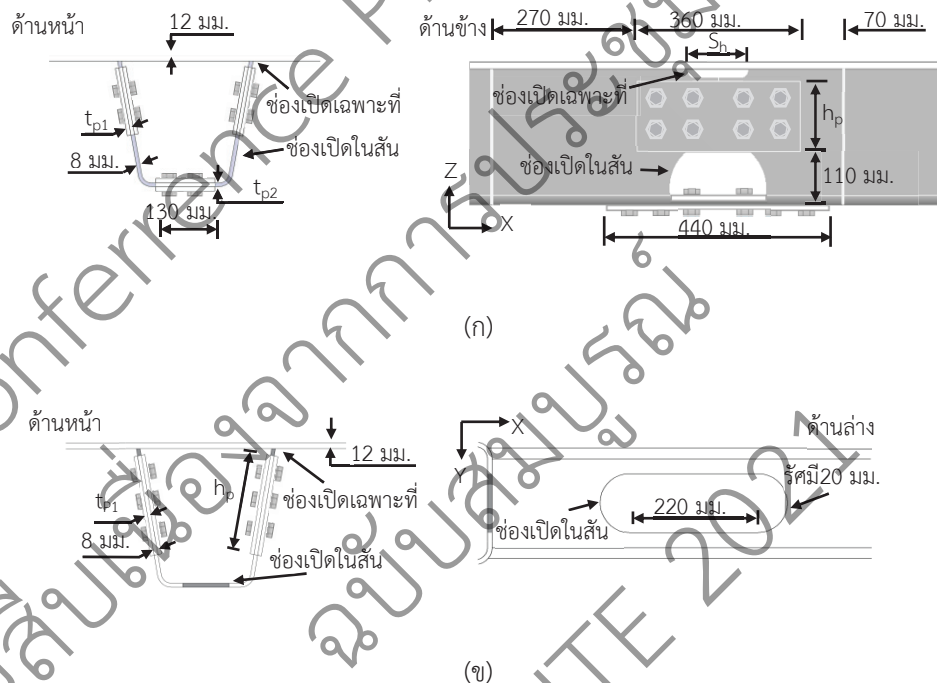
พื้นสะพานออร์โธโทรปิกประกอบด้วยแผ่นพื้นเหล็กหนา 12 เมตร และสันหนา 8 มิลลิเมตร รูปที่ 1 (ก) พื้นสะพานรองรับด้วยคานขวางทุกระยะ 3.6 เมตร รอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพานบริเวณช่วงกลางสะพานเป็นรอยเชื่อมแบบพอกด้านเดียวขนาด 6 เมตร รูปที่ 1 (ข) พื้นสะพานมีรอยต่อสันทุกระยะ 7.2 เมตร โดยรอยต่อสันอยู่ห่างจากคานขวางเป็นระยะ 1 เมตร การต่อสันใช้รอยต่อสลักเกลียวร่วมกับแผ่นเหล็กประกบในการยึดต่อสันเข้าด้วยกัน บริเวณรอยต่อสันมีรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพานเป็นรอยเชื่อมแบบพอกสองด้านด้วยขนาดรอยเชื่อม 6 เมตร รูปที่ 1 (ข) และมีช่องเปิดเฉพาะที่ลึก 15 เมตร



รูปที่ 1 รายละเอียดพื้นออร์โธโทรปิกและรอยต่อระหว่างสันและพื้นสะพาน (ก) รายละเอียดพื้นสะพานและสัน (ข) รอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพาน

ตารางที่ 1 ชื่อแบบจำลองและรายละเอียดรอยต่อสัน (หน่วย มิลลิเมตร)

ชื่อแบบจำลอง	RR_B	RR_A	RR_A_tp	RR_A_hp	RR_A_sh	RR_A_sp
ตำแหน่งรอยต่อสลักเกลียวและช่องเปิด	B	A	A	A	A	A
ความหนาแผ่นเหล็กประกบ (t_{p1})	8	8	12	8	8	8
ความหนาแผ่นเหล็กประกบ (t_{p2})	10	10	14	10	10	10
ความกว้างช่องเปิดเฉพาะที่ (S_n)	120	120	120	120	100	120
ความสูงแผ่นเหล็กประกบข้าง (h_p)	200	150	150	120	150	150
เสริมแผ่นเหล็ก	-	-	-	-	-	X



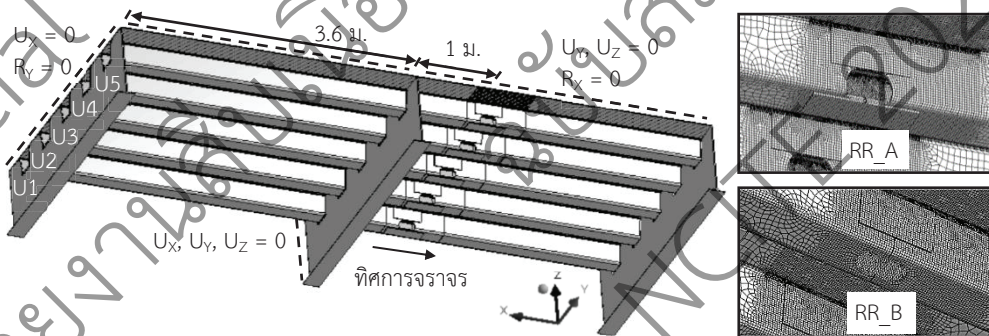
รูปที่ 2 รายละเอียดรอยต่อสัน (ก) รอยต่อสันแบบมีรอยต่อสลักเกลียวที่ด้านข้างและด้านล่างของสัน (รูปแบบ A)
(ข) รอยต่อสันแบบมีรอยต่อสลักเกลียวที่ด้านข้างของสัน (รูปแบบ B)

การศึกษาได้วิเคราะห์ความเค้นรอยบากที่รอยเชื่อมระหว่างสันกันพื้นภายใต้อิทธิพลของรูปแบบเรขาคณิต รอยต่อสันและการเสริมกำลังรอยต่อสันด้วยแผ่นเหล็ก โดยได้มีการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์รอยต่อสัน 6 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 2 ซึ่งเรขาคณิตรอยต่อทั้ง 6 รูปแบบมีความแตกต่างกันในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) ตำแหน่งรอยต่อสลักเกลียวและช่องเปิด 2) รูปแบบ คือ รูปแบบ A มีรอยต่อสลักเกลียวด้านข้างและด้านล่างของสันโดยช่องเปิดอยู่ที่ด้านข้างสันส่วนล่าง และรูปแบบ B มีรอยต่อสลักเกลียวด้านข้างสันและมีช่องเปิดที่ด้านล่างสัน ซึ่งรอยต่อรูปแบบ B เป็นรอยต่อที่มีการใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา [6] ส่วนรอยต่อรูปแบบ A มีการยึดรั้งบริเวณรอยต่อมากกว่ารูปแบบ B ซึ่งอาจส่งผลในการลดความเค้นรอยบากบริเวณจุดต่อ 2) ความหนาของแผ่น

เหล็กประกบ (t_p) จำนวน 2 ความหนา คือ $t_{p1} = 8$ มิลลิเมตร, $t_{p2} = 10$ มิลลิเมตร และ $t_{p1} = 12$ มิลลิเมตร, $t_{p2} = 14$ มิลลิเมตร 3) ความกว้างช่องเปิดเฉพาะที่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้น (S_p) จำนวน 2 ขนาด คือ 120 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร 4) ความสูงของแผ่นเหล็กประกบ (h_p) จำนวน 3 ขนาด คือ 120 มิลลิเมตร 150 มิลลิเมตร และ 200 มิลลิเมตร 5) การเสริมกำลังรอยต่อสันด้วยแผ่นเหล็ก โดยกำหนดให้มีแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 700 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร และหนา 4 มิลลิเมตร เสริมที่ด้านบนแผ่นพื้นบริเวณรอยต่อสันรูปแบบ A และกำหนดให้แนวกึ่งกลางตามขวางของแผ่นเหล็กและกึ่งกลางสันตรงกัน โดยแบบจำลอง RR_A และ RR_B ใช้ศึกษาผลของตำแหน่งช่องเปิดของรอยต่อสัน แบบจำลอง RR_A_tp, RR_A_hp และ RR_A_sh ใช้ศึกษาผลของความหนาแผ่นประกบ ความสูงของแผ่นเหล็กประกบ และความกว้างช่องเปิดเฉพาะที่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นตามลำดับ และแบบจำลอง RR_A_sp ใช้ศึกษาผลของการเสริมกำลังรอยต่อสันด้วยการเสริมแผ่นเหล็ก

2.2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของพื้นออโรโทรปิกได้รับการพัฒนาโดยใช้โปรแกรม ANSYS Workbench [14] องค์ประกอบพื้นสะพานและรอยเชื่อมจำลองด้วยเอลิเมนต์ SOLID186 ซึ่งกำหนดคุณสมบัติวัสดุให้มีความอดุลีของยัง (Young's modulus) เท่ากับ 200 กิโลพาสคัล แบบจำลองแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ แบบจำลองโกลบอล (Global Model) ของพื้นออโรโทรปิก และแบบจำลองย่อย (Sub Model) รอยต่อสัน ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์ความเค้นรอยบาก รวมถึงคาดการณ์ตำแหน่งและทิศทางรอยแตกจากความถี่บริเวณรอยต่อสัน โดยการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นพิจารณาการเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพานที่บริเวณรอยต่อสันเป็นหลัก ดังนั้น แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จึงจำลองรอยต่อระหว่างแผ่นเหล็กประกบและผนังของสันเป็นแบบยึดแน่น (Perfect Bond) และไม่ได้มีการจำลองสลักเกลียว



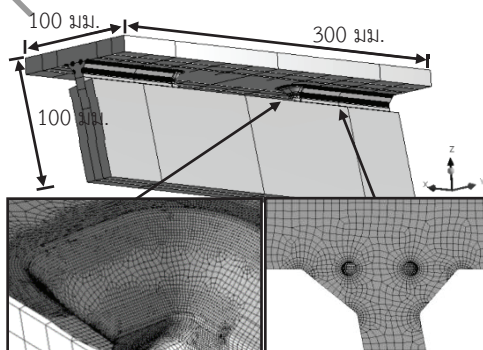
รูปที่ 3 แบบจำลองโกลบอลพื้นออโรโทรปิก

แบบจำลองโกลบอลมีขนาดกว้าง 3 เมตร ประกอบด้วยสันจำนวน 5 สัน และ ยาว 7.2 เมตร ประกอบด้วย 2 ช่วงคานขวาง มีรอยต่อสันที่ตำแหน่งห่างจากคานขวางตัวกลาง 1 เมตร (รูปที่ 3) และมีการจำลองรอยเชื่อมลงในแบบจำลองเพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวที่รอยเชื่อมซึ่งใช้สำหรับกำหนดเงื่อนไขความต่อเนื่องบริเวณรอยเชื่อมในแบบจำลองย่อย โดยเงื่อนไขความต่อเนื่องของแบบจำลองโกลบอลได้รับการจำลองตามพฤติกรรมรับแรงของโครงสร้างพื้นออโรโทรปิก [15] ด้วยการกำหนดการเคลื่อนตัวในหน้าตัด (Remote

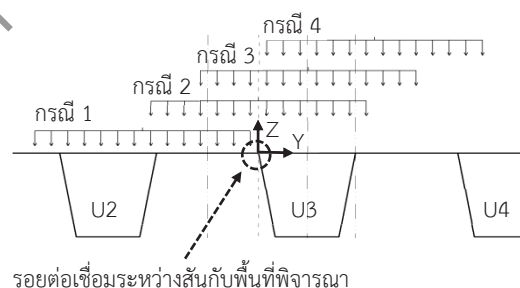
Displacement) ของขอบแบบจำลอง [14] ดังแสดงตามรูปที่ 3 แบบจำลองโกลบอลมีขนาดเอลิเมนต์ 10 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร ในบริเวณทั่วไป เอลิเมนต์ขนาด 15 มิลลิเมตร ถึง 25 มิลลิเมตร บริเวณรอยต่อสัน และเอลิเมนต์ขนาด 3 มิลลิเมตร ถึง 15 มิลลิเมตร บริเวณรอยต่อเชื่อมระหว่างสันและพื้นสะพาน

แบบจำลองย่อยรอยต่อสันมีความกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร มีการจำลองรอยบากรัศมี 1 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งขอบ (Toe) และฐาน (Root) รอยเชื่อม และกำหนดระยะช่องว่างระหว่างสันกับแผ่นพื้น 0.01 มิลลิเมตร แบบจำลองย่อยมีการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 3 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ที่บริเวณทั่วไปและบริเวณรอยต่อสันตามลำดับ บริเวณรอยบากมีการแบ่งเอลิเมนต์ละเอียดขนาด 0.25 มิลลิเมตร ตามคำแนะนำของ International Welding Institute [16] และบริเวณส่วนโค้งของรอยเชื่อมกลับมีการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 เงื่อนไขความต่อเนื่องแบบจำลองย่อยได้รับการยึดรั้งตามการเคลื่อนตัวของแบบจำลองโกลบอลด้วยเทคนิค Cut Boundary Condition ในโปรแกรม ANSYS [17] ด้วยการกำหนดให้โหนดที่หน้าตัดของขอบแบบจำลองย่อยมีการเคลื่อนตัว (Ux, Uy, Uz) ตามโหนดตำแหน่งเดียวกันในแบบจำลองโกลบอล โดยสำหรับโหนดของขอบแบบจำลองย่อยที่มีตำแหน่งไม่ตรงกับโหนดในแบบจำลองโกลบอลจะได้รับการอนุมานการเคลื่อนตัวจากโหนดที่อยู่ใกล้เคียง

แรงกระทำจากน้ำหนักยานพาหนะได้รับการจำลองด้วยน้ำหนักของล้อแบบล้อคู่ (Double Wheel Load) ของรถบรรทุกทุกความถี่ (Fatigue Truck) ตามมาตรฐาน AASHTO [18] ซึ่งมีน้ำหนักล้อ 35.58 กิโลนิวตัน และมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างล้อและพื้นสะพานขนาด 500×200 มิลลิเมตร น้ำหนักล้อคู่ได้รับการสมมติให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอผ่านวัสดุคูดุมผิวสะพานหนา 70 มิลลิเมตร เป็นมุม 45 องศา [18] ดังนั้น แรงกระทำจากน้ำหนักล้อคู่จึงมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอขนาด 0.156 เมกะพาสคัล บนพื้นที่ขนาด 650×350 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อศึกษาผลของตำแหน่งล้อตามขวางที่มีต่อความเค้นและทิศทางของรอยร้าวความถี่ที่บริเวณรอยต่อสัน จึงได้มีการวางตำแหน่งน้ำหนักล้อคู่แบบสถิติที่ตำแหน่งตามขวางแตกต่างกัน 4 กรณี (รูปที่ 5) คือ 1) ศูนย์กลางล้ออยู่บนแนวรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพานของสันที่อยู่ข้างเคียง (Y = -350 มิลลิเมตร) 2) ศูนย์กลางล้ออยู่บนแนวรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพานของรอยต่อเชื่อมที่พิจารณา (Y = 0 มิลลิเมตร) 3) ศูนย์กลางล้ออยู่บนช่องว่างด้านในของสัน (Y = 150 มิลลิเมตร) และ 4) ศูนย์กลางของล้ออยู่บนแนวรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นที่อยู่ข้างเคียง (Y = 350 มิลลิเมตร)



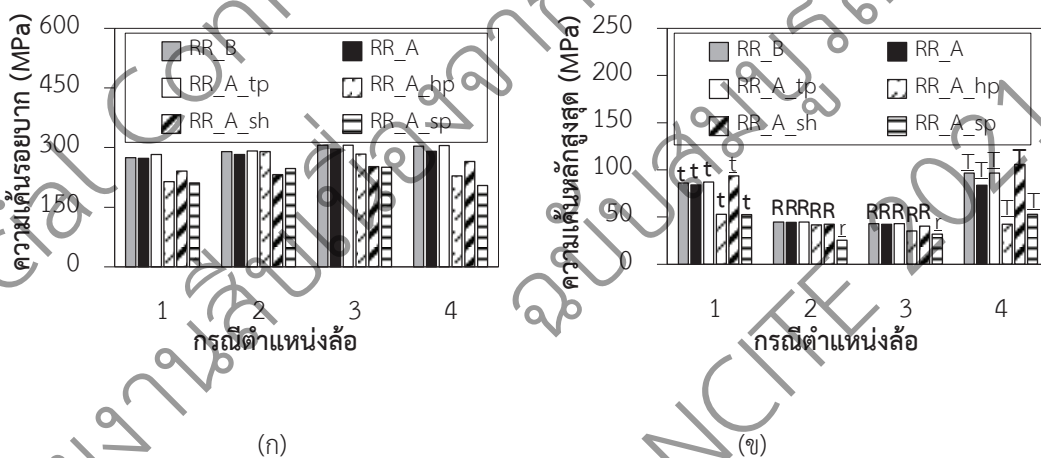
รูปที่ 4 แบบจำลองย่อยบริเวณรอยต่อสัน



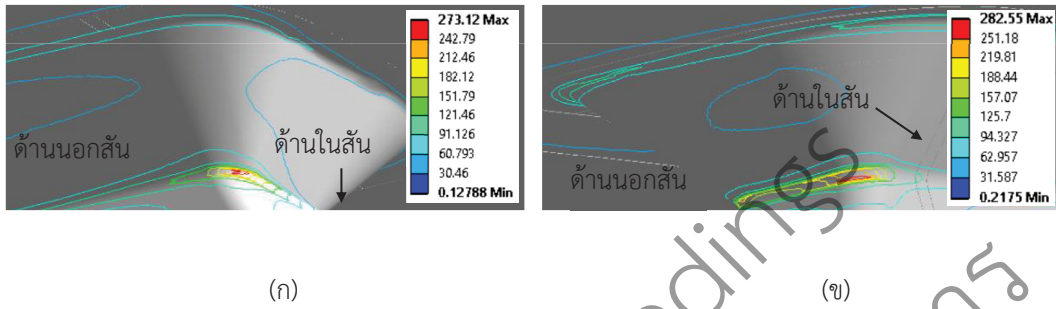
รูปที่ 5 ตำแหน่งตามขวางของล้อ

3. ผลการวิจัย

ความเค้นรอยบากที่รอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพานบริเวณรอยต่อสันได้รับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองย่อย โดยความเค้นรอยบากแสดงด้วยความเค้นเทียบเท่า (Von-Misses Stress) บริเวณรอยบาก [16], [19] ตำแหน่งเริ่มต้นของการเกิดรอยร้าวความล้าสามารถพิจารณาได้จากตำแหน่งที่มีความเค้นเทียบเท่าสูงสุด รูปที่ 6 (ก) แสดงความเค้นรอยบากภายใต้อิทธิพลของรูปแบบเรขาคณิตของรอยต่อสัน การเสริมกำลังรอยต่อสัน และตำแหน่งล้อยตามขวาง สำหรับภายใต้ตำแหน่งล้อยตามขวางทุกกรณี มีตำแหน่งวิกฤติของการเกิดรอยร้าวความล้าที่รอยเชื่อมวงกลับบริเวณตำแหน่งขอบรอยเชื่อมสัน (Toe-rib) โดยตำแหน่งล้อยกรณี 1 จะทำให้เกิดรอยร้าวความล้าที่รอยเชื่อมวงกลับด้านนอก และตำแหน่งล้อยกรณี 2, 3 และ 4 ทำให้เกิดรอยร้าวความล้าที่รอยเชื่อมวงกลับด้านใน ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) และรูปที่ 7 (ข) ตามลำดับ จากรูปที่ 6 (ก) ความเค้นรอยบากที่ตำแหน่งวิกฤติมีค่าใกล้เคียงกันภายใต้ปัจจัยตำแหน่งล้อยตามขวาง และความเค้นรอยบากภายใต้รอยต่อสันแบบ A (แบบจำลอง RR_A) มีค่าน้อยกว่ารอยต่อสันแบบ B (แบบจำลอง RR_B) เล็กน้อย ในขณะที่เมื่อพิจารณาการเสริมกำลังรอยต่อสันแบบ A (แบบจำลอง RR_A) ความเค้นรอยบากมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความหนาแผ่นประกบ (แบบจำลอง RR_A_tp) และมีค่าลดลงเมื่อลดความสูงแผ่นเหล็กประกบ (แบบจำลอง RR_A_hp) การลดความกว้างของช่องเปิดเฉพาะที่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้น (แบบจำลอง RR_A_sh) สามารถลดความเค้นรอยบากได้มากโดยเฉพาะภายใต้ตำแหน่งล้อยกรณี 2 สำหรับการเสริมกำลังรอยต่อสันด้วยแผ่นเหล็ก (แบบจำลอง RR_A_sp) สามารถช่วยลดความเค้นรอยบากที่ตำแหน่งวิกฤติของการเกิดรอยร้าวความล้าบริเวณรอยเชื่อมวงกลับได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน

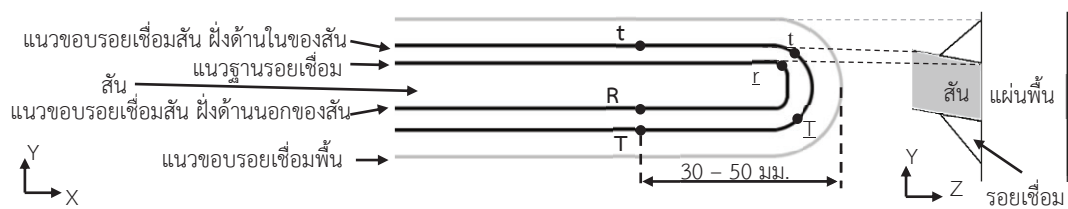


รูปที่ 6 ความเค้นที่รอยต่อเชื่อมระหว่างสันกับพื้นสะพานบริเวณรอยต่อสัน (ก) ความเค้นรอยบากที่รอยเชื่อมวงกลับ (ข) ความเค้นหลักสูงสุดที่รอยเชื่อมระหว่างสัน



รูปที่ 7 การกระจายความเค้นรอยบากที่รอยเชื่อมวงกลับ (ก) ความเค้นภายใต้ตำแหน่งล้อกรณี 1 (ข) ความเค้นภายใต้ตำแหน่งล้อกรณี 2

เนื่องจากความเค้นเทียบเท่าคำนวณจากความเค้นหลัก (Principle Stress) ดึงและอัด ดังนั้นการพิจารณาตำแหน่งรอยแตกจากความล้าเริ่มต้นซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของช่วงความเค้นและความเค้นคงค้าง [20] จึงได้รับพิจารณาจากความเค้นเทียบเท่าเป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อรอยร้าวความล้าเกิดขึ้นแล้วอิทธิพลของความเค้นคงค้างในรอยเชื่อมจะลดลง ดังนั้นการเติบโตของรอยแตกจึงอยู่ภายใต้ความเค้นหลักสูงสุด (Maximum Principle Stress) ซึ่งเป็นแรงดึง ทิศทางการเติบโตของรอยแตกจึงได้รับการพิจารณาคาดการณ์จากตำแหน่งวิกฤติของความเค้นหลักสูงสุด [21] โดยรูปที่ 6 (ข) แสดงความเค้นหลักสูงสุดที่รอยเชื่อมระหว่างเส้นกับพื้นสะพานบริเวณรอยต่อสัน ทิศทางการเติบโตรอยร้าวความล้ามี 6 รูปแบบ ดังแสดงตำแหน่งความเค้นหลักสูงสุดในรูปที่ 8 คือ 1) รอยร้าวเติบโตเข้าสู่ฐานรอยเชื่อมฝั่งด้านในของรอยเชื่อมวงกลับ (t) 2) รอยร้าวเติบโตเข้าสู่ขอบรอยเชื่อมสันฝั่งด้านในของรอยเชื่อมวงกลับ (t) 3) รอยร้าวเติบโตเข้าสู่ขอบรอยเชื่อมสันฝั่งด้านนอกของรอยเชื่อมวงกลับ (I) 4) รอยร้าวเติบโตเข้าสู่ฐานรอยเชื่อมฝั่งด้านนอกของรอยเชื่อมระหว่างเส้นกับพื้น (R) 5) รอยร้าวเติบโตเข้าสู่ขอบรอยเชื่อมสันฝั่งด้านในของรอยเชื่อมระหว่างเส้นกับพื้น (t) 6) รอยร้าวเติบโตเข้าสู่ขอบรอยเชื่อมสันฝั่งด้านนอกของรอยเชื่อมระหว่างเส้นกับพื้น (T) โดยตำแหน่งความเค้นหลักสูงสุดบริเวณรอยเชื่อมระหว่างเส้นกับพื้น (R, t, T) มีขนาดสูงสุดเมื่ออยู่ห่างจากขอบรอยเชื่อมวงกลับประมาณ 30 ถึง 50 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับปัจจัยร่วมกันของตำแหน่งล้อและเรขาคณิตจุดต่อสัน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ารอยแตกร้าวสามารถเติบโตจากจุดรอยเชื่อมวงกลับเข้าสู่แนวรอยเชื่อมระหว่างเส้นกับพื้นได้ โดยขนาดของความเค้นหลักสูงสุดและทิศทางการเติบโตของรอยแตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของตำแหน่งล้อเป็นหลัก อย่างไรก็ตามอิทธิพลของการลดความกว้างของช่องเปิดเฉพาะที่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างเส้นกับพื้น (แบบจำลอง RR_A_sh) และการเสริมกำลังรอยต่อสันด้วยแผ่นเหล็ก (แบบจำลอง RR_A_sp) ยังคงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเติบโตรอยแตกร้าวภายใต้ตำแหน่งล้อบางกรณี



รูปที่ 8 ตำแหน่งวิกฤติของความเค้นหลักสูงสุด (Maximum Principle Stress)

4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

การศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งล้อตามขวางและรูปแบบเรขาคณิตของรอยต่อสันที่มีต่อความเค้นที่บริเวณรอยต่อในพื้นที่สะพานออร์โธโทรปิกด้วยวิธีการวิเคราะห์ความเค้นรอยบากสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

4.1 รอยร้าวความล้าภายใต้ปัจจัยเรขาคณิตจุดต่อสัน

รอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้นบริเวณรอยต่อสันที่มีช่องเปิดเฉพาะที่มีตำแหน่งการเกิดรอยร้าวความล้าเกิดขึ้นที่ส่วนโค้งของรอยเชื่อมวกกลับบริเวณขอบรอยเชื่อมสัน ซึ่งขนาดความเค้นรอยบากวิกฤตอยู่ภายใต้อิทธิพลของเรขาคณิตและความหนาของแผ่นพื้นสะพานเป็นหลัก การยึดแผ่นเหล็กประกบทั้งด้านข้างและด้านล่างของรอยต่อสันช่วยลดความเค้นรอยบากลงได้เล็กน้อย ความเค้นรอยบากมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อลดความหนาหรือความสูงของแผ่นเหล็กประกบ ลดระยะช่องเปิด หรือมีการเสริมความหนาของแผ่นพื้นสะพาน

4.2 ตำแหน่งเริ่มต้นและการเติบโตของรอยร้าวความล้า

ตำแหน่งเริ่มต้นของรอยร้าวความล้าสามารถเกิดได้ทั้งบริเวณรอยเชื่อมวกกลับด้านในหรือด้านนอกของสัน ทั้งนี้ ตำแหน่งเริ่มต้นของรอยร้าวความล้าและทิศทางการเติบโตรอยร้าวขึ้นอยู่กับตำแหน่งล้อตามขวาง ในขณะที่การลดความกว้างของช่องเปิดเฉพาะที่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างสันกับพื้น และการเสริมแผ่นเหล็กมีอิทธิพลต่อทิศทางการเติบโตของรอยร้าวความล้าภายใต้ตำแหน่งล้อบางกรณี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการสนับสนุนสถานที่สำหรับใช้ในการศึกษานี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] de Jong, F. B. P. (2007). Renovation Techniques for Fatigue Cracked Orthotropic Steel Bridge Decks. (doctoral dissertation), Delft University of Technology, The Netherlands.
- [2] Fisher JW, Barsom JM. Evaluation of Cracking in the Rib-to-Deck Welds of the Bronx-Whitestone Bridge. Journal of Bridge Engineering. 2015; 21(3) : 04015065.
- [3] Xiao Z-G, Yamada K, Inoue J, Yamaguchi K. Fatigue cracks in longitudinal ribs of steel orthotropic deck. International Journal of Fatigue. 2006; 28(4) : 409-16.
- [4] Chen S, Huang Y, Zhou C, Gu P. Experimental and numerical study on fatigue performance of U-rib connections. Journal of Constructional Steel Research. 2019; 163 : 105796.
- [5] Tsakopoulos PA, Fisher JW. Full-scale fatigue tests of steel orthotropic deck panel for the Bronx – Whitestone Bridge rehabilitation. Bridge Structures. 2005; 1 : 55-66.
- [6] Connor R, Fisher J, Gatti W, Gopalaratnam V, Kozy B, Leshko B, et al. Manual for Design, Construction, and Maintenance of Orthotropic Steel Deck Bridges. Washington, D.C.: US Department of Transportation Federal Highway Administration; 2012. Report No.: FHWA-IF-12-027.
- [7] Choi S-M, Tateishi K, Hanji T. Fatigue strength improvement of weld joints with cope hole. International Journal of Steel Structures. 2013; 13(4) : 683-90.

- [8] Wei X, Xiao L, Pei S. Fatigue assessment and stress analysis of cope-hole details in welded joints of steel truss bridge. *International Journal of Fatigue*. 2017; 100 : 136-47.
- [9] de Freitas ST, Kolstein H, Bijlaard F. Structural monitoring of a strengthened orthotropic steel bridge deck using strain data. *Structural Health Monitoring*. 2012; 11(5) : 558-76.
- [10] Liu R, Wang B, Liu Y. Distortion induced fatigue of deck plate at rib intersection with diaphragm in orthotropic steel deck. *International Journal of Steel Structures*. 2015; 15(3) : 623-32.
- [11] Sim H-B, Uang C-M. Stress Analyses and Parametric Study on Full-Scale Fatigue Tests of Rib-to-Deck Welded Joints in Steel Orthotropic Decks. *Journal of Bridge Engineering*. 2012. ;17(5):765-73.
- [12] Xiao Z-G, Yamada K, Ya S, Zhao X-L. Stress analyses and fatigue evaluation of rib-to-deck joints in steel orthotropic decks. *International Journal of Fatigue*. 2008; 30(8) : 1387-97.
- [13] Ya S, Yamada K. Fatigue Durbility Evauation of Trough to Deck Plate Welded Joint of Orthotropic Steel Deck. *Doboku Gakkai Ronbunshuu A*. 2008; 64(3) : 603-16.
- [14] Lawrence KL. ANSYS workbench tutorial release 14. University of Texas at Arlington: SDC Publications, 2012.
- [15] Ji B, Liu R, Chen C, Maeno H, Chen X. Evaluation on Root-Deck Fatigue of Orthotropic Steel Bridge Deck. *Journal of Constructional Steel Research*. 2013; 90 : 174-83.
- [16] Fricke W. IIW Recommendations for the Fatigue Assessment of Welded Structures by Notch Stress Analysis: IIW-2006-09. In: Fricke W, editor. IIW Recommendations for the Fatigue Assessment of Welded Structures by Notch Stress.
- [17] Liu R, Ji B, Wang M, Chen C, Maeno H. Numerical Evaluation of Toe-Deck Fatigue in Orthotropic Steel Bridge Deck. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2015;29(6):04014180.
- [18] AASHTO. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Washington, D.C., U.S.A.: American Association of State Highway and Transportation Officials; 2012.
- [19] Dung C, Sasaki E, Tajima K, Suzuki T. Investigations on the effect of weld penetration on fatigue strength of rib-to-deck welded joints in orthotropic steel decks. *International Journal of Steel Structures*. 2014;15.
- [20] Kainuma S, Yang M, Jeong Y-S, Inokuchi S, Kawabata A, Uchida D. Experiment on fatigue behavior of rib-to-deck weld root in orthotropic steel decks. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016; 119 : 113-22.
- [21] Wang Q, Ji B, Fu Z, Ye Z. Evaluation of crack propagation and fatigue strength of rib-to-deck welds based on effective notch stress method. *Construction and Building Materials*. 2019;201:51-61.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

กำลังรับแรงอัดของเสาอิฐบล็อกประสาน

Compressive strength of interlocking brick column

ฐิตินันท์ ชันธเกษ¹ อิศระ เหล่าเภา² และ สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา^{3*}
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี^{1, 2, 3*}

Titinun Kanthaket¹ Issara Laopao² and Surasak Niyompanitpattana^{3*}
Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University^{1, 2, 3*}
E-mail: std.61122020105@ubru.ac.th¹ std.61122020122@ubru.ac.th²
and surasak.n@ubru.ac.th^{3*}

บทคัดย่อ

บทความนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาอิฐบล็อกประสาน โดยเสาที่ทำการทดสอบมีความสูง 1 เมตร ขนาดหน้าตัด 0.25x0.25 เมตร และแบ่งออกเป็นสองกลุ่มด้วยกัน คือ 1) เสาบล็อกประสานที่ไม่มีการเสริมเหล็ก และ 2) เสาบล็อกประสานที่มีการเสริมเหล็ก จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาที่ได้จะทำการเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดที่คำนวณโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยผ. 1351-55 ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้จะทำให้เข้าใจพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา ลักษณะการวิบัติ ตลอดจนข้อเสนอแนะในการก่อสร้างองค์อาคารดังกล่าวได้

คำสำคัญ : กำลังอัดประลัย, อิฐบล็อกประสาน, กำลังรับแรงอัด, การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

Abstract

This technical paper presents an experimental investigation on compressive strength of interlocking brick column. The tested column has a height of 1 meter with a cross section of 0.25x0.25 meters, and are divided into two groups: 1 interlocking block columns without reinforcement and 2 interlocking block columns with reinforcements. From the test results, the column compressive strength will be compared with the column compressive strength calculated by the Allowable Stress Design method in accordance with the Design and Construction Standard for Masonry Materials, DPT standard 1351-55. From the test results, it will be led to an improved understanding of the column behavior under axial load, failure characteristics, as well as the recommendations to construct for this type of member.

Keywords : Compressive strength, Interlocking brick, Compressive strength, Allowable stress design

1. บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการก่อสร้างที่พักอาศัยภายในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างสูง ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เทคโนโลยีก่อสร้างที่พักอาศัยในอดีตนั้นมีตั้งแต่ บ้านพักอาศัยที่ทำด้วยไม้ จนพัฒนามาเป็น บ้านพักอาศัยที่ทำจากโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหรือทำจากโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่ประกอบ ติดตั้งและก่อสร้าง ที่หน้างาน ซึ่งในปัจจุบันเทคนิคการก่อสร้างดังกล่าวได้พัฒนามาเป็นแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ผลิตจากโรงงาน เช่น ผนัง เสา คาน และผนังสำเร็จรูป เป็นต้น เมื่อหล่อในโรงงานเสร็จแล้วจึงนำไปประกอบที่หน้างานก่อสร้าง เพื่อความสะดวก รวดเร็ว ตลอดจนเป็นการควบคุมและเพิ่มคุณภาพในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น ต้องอาศัยงบประมาณในการก่อสร้างที่ค่อนข้างสูง อาศัยแรงงานและฝีมือของช่างที่มีความชำนาญในการก่อสร้าง นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวดังกล่าว เช่น เหล็ก คอนกรีต ยังต้องอาศัยการแปรรูป วัสดุที่ได้มาจากการทำลายสิ่งแวดล้อมและธรรมชาติเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการคิดพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่มีราคาที่ไม่สูง วัสดุที่ผลิตขึ้นในท้องถิ่น เช่น ดิน เป็นองค์ประกอบหลักสำหรับวัสดุ ในการก่อสร้าง อาศัยแรงงานหรือช่างฝีมือทำ ๆ ไปที่ไม่ต้องมีความชำนาญ จนนำมาสู่การคิดค้นพัฒนาบล็อกประสาน สำหรับประเทศไทยนั้น บล็อกประสานดังกล่าวถือว่าเป็นผลมาจากการวิจัยและพัฒนาของสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ตั้งแต่ปี 2510

ในอดีตจนถึงปัจจุบัน มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับบล็อกประสานพอสมควร โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ คุณสมบัติของบล็อกประสาน และการหาส่วนผสมที่เหมาะสมหรือเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำบล็อกประสาน [1] - [8] ในขณะที่การใช้งานนั้น บล็อกประสานสามารถนำไปใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น ทำบ่อน้ำ บ่อเลี้ยงปลา ผนัง หรือแนวรั้วตมบ้านพักอาศัย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานตกแต่งทางสถาปัตยกรรม อย่างไรก็ตามการนำบล็อกประสานไป ใช้ในเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารในการรับน้ำหนักบรรทุก เช่น ผนัง เสา หรือคาน ยังมีความจำกัดทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การขาดข้อมูลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการรับแรงขององค์อาคารที่ทำจากบล็อกประสาน

ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาบล็อกประสาน และทำการ เปรียบเทียบกับคาน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress design) ตามมาตรฐาน การออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 [9] ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการรับแรง เข้าใจขั้นตอนการก่อสร้าง และเป็นแนวทางในการออกแบบของอาคารที่ทำจากบล็อกประสานในอนาคตได้

2. ขอบเขตของการศึกษา การเตรียมตัวอย่าง และลักษณะการทดสอบตัวอย่าง

เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ อุปกรณ์ และโครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบการรับน้ำหนักของเสา ในการศึกษา ในครั้งนี้จึงกำหนดให้ความสูงของเสาที่ทดสอบเท่ากับ 1 เมตร และมีขนาดหน้าตัด 0.25 x 0.25 เมตร ทั้งนี้ได้ แบ่งกลุ่มเสาที่ทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เสาบล็อกประสานไม่มีการเสริมเหล็ก กลุ่มที่ 2 เสาบล็อก ประสานมีการเสริมเหล็ก โดยใช้เหล็กกลม SR24 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ทำเป็นเหล็กยื่นที่มุมทั้งสอง ของเสา และเหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรทำเป็นเหล็กปลอกทุก ๆ ระยะ 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1 ทั้งนี้

ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าการเสียรูป การให้น้ำหนักบรรทุกทุกแสดงดังรูปที่ 2 สำหรับข้อมูลพื้นฐานตลอดจนคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุที่ใช้ในการทำเสาบล็อกประสาน แสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุที่ใช้ในการทำเสาบล็อกประสาน

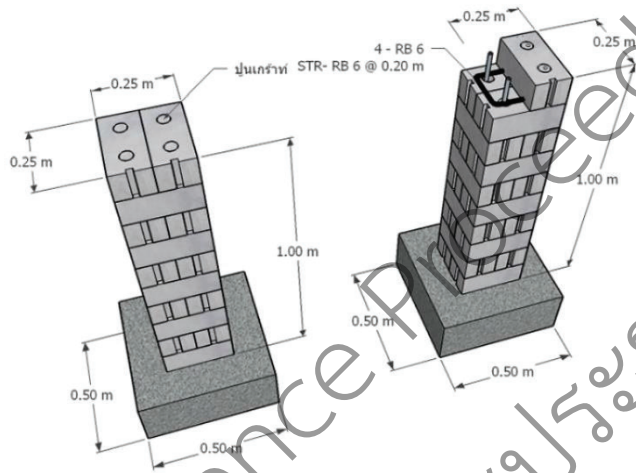
คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ
กำลังรับแรงอัดของก้อนบล็อกประสาน	5.67 เมกะพาสคัล
น้ำหนักบล็อกประสานหลังอบแห้ง 24 ชั่วโมง	5.18 กิโลกรัม
การดูดกลืนน้ำของบล็อกประสาน	211 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ขนาดและมิติบล็อกประสาน	125 มิลลิเมตร × 250 มิลลิเมตร × 102 มิลลิเมตร
กำลังรับแรงอัดของปริซึมจากบล็อกประสาน	4.75 เมกะพาสคัล
เหล็กเสริม RB6 แรงดึงที่จุดคราก	334 เมกะพาสคัล
เหล็กเสริม RB6 แรงดึงที่จุดประลัย	464 เมกะพาสคัล
เหล็กเสริม RB6 ร้อยละการยึดตัว	26

จากตารางที่ 1 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนบล็อกประสานมีค่าเท่ากับ 5.67 เมกะพาสคัล ซึ่งผลทดสอบที่ได้มีค่าต่ำกว่าผลทดสอบจาก [2] ซึ่งสูงกว่า 7 เมกะพาสคัล ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชนิดของดิน และอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตบล็อกประสานที่แตกต่างกันในแต่ละโรงงาน ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานเป็นไปตามข้อกำหนดตาม มยพ.1351-55 ซึ่งกำหนดไว้ว่า มวลอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง 1680 กิโลกรัมและน้อยกว่า ต้องมีค่าดูดกลืนน้ำสูงสุดเฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อนไม่เกิน 288 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 211 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ขนาดและมิติของอิฐบล็อกประสาน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับขนาดระบุ คือ กว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร และหนา 100 มิลลิเมตร ค่ากำลังอัดประลัยของปริซึมจะถูกปรับแก้โดยค่าปรับแก้ตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุก่อ มยพ.1261 [11] อันเนื่องจากผลของค่าความสูงต่อความกว้าง (h_p/t_p) เท่ากับ 1.086 และค่ากำลังอัดประลัยของวัสดุก่อ f'_m ที่ปรับแก้เรียบร้อยแล้ว 4.75 เมกะพาสคัล จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณกำลังรับแรงอัดของเสาบล็อกประสาน ซึ่งสามารถรายละเอียดการคำนวณตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 [10] ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ความต้านทานแรงดึงประลัย และร้อยละการยึดตัวผ่านเกณฑ์ มอก.20-2543 [12] ซึ่งกำหนดไว้ว่าความต้านทานแรงดึงที่จุดครากต้องไม่น้อยกว่า 235 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดึงประลัยต้องไม่น้อยกว่า 385 เมกะพาสคัล และการร้อยละการยึดตัวต้องมากกว่า 21

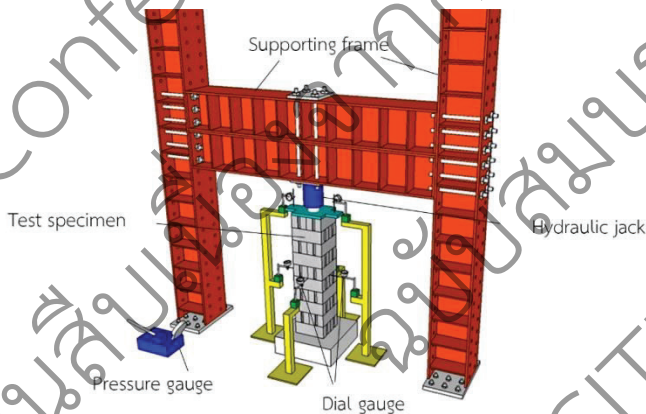
3. ผลการทดสอบ

ในการศึกษาในครั้งนี้ผลการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่ 1 เสาบล็อกประสานไม่มีการเสริมเหล็ก ซึ่งมี 3 ตัวอย่าง คือ CM1 CM2 CM3 และกลุ่มที่ 2 เสาบล็อกประสานมีการเสริมเหล็ก ซึ่งมี 3 ตัวอย่าง คือ CS1 CS2 CS3 โดยแต่ละกลุ่มจะทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับค่าน้ำหนัก

บรรทุกที่คำนวณได้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวรวมทั้งภาพร่างรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นบนตัวอย่างทดสอบ ณ ตำแหน่งที่รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 8



รูปที่ 1 ขนาด มิติ และลักษณะทางกายภาพของเสาบล็อกประสาน



รูปที่ 2 ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือและทดสอบตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาที่ไม่มีการเสริมเหล็ก

ตัวอย่างที่	P (kN)	P_D (kN)	P/P_D	Δ_a (mm)	ϵ_a
CM1	340	57.0	6.0	19.4	0.0194
CM2	340	57.0	6.0	29.5	0.0295
CM3	420	57.0	7.4	24.3	0.0243
ค่าเฉลี่ย	366.7	57.0	6.4	24.4	0.0244

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเสาที่มีการเสริมเหล็ก

ตัวอย่างที่	P (kN)	P_D (kN)	P/P_D	Δ_a (mm)	ϵ_a
CS1	490	79.6	6.2	32.7	0.0372
CS2	230	79.6	2.9	36.2	0.0362
CS3	530	79.6	6.7	30.2	0.0302
ค่าเฉลี่ย	416.7	79.6	5.0	33.0	0.0345

โดยที่

P คือ กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ

P_D คือ กำลังรับแรงอัดที่คำนวณได้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 ซึ่งคำนวณ

โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้ คือ

1) กรณีที่เสาไม่มีการเสริมเหล็ก

$$P_D = \text{minimum} (A_g F_{o1}, A_g F_{o2}, 0.25P_e) \quad (1)$$

$$F_{o1} = 0.20 f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{r} \right)^2 \right] \quad \text{เมื่อ } h/r \leq 99 \quad (2)$$

$$F_{o1} = 0.20 f'_m \left(\frac{h}{r} \right)^2 \quad \text{เมื่อ } h/r > 99 \quad (3)$$

$$F_{o2} = \frac{1}{3} f'_m \quad (4)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 E_m I_n}{h^2} \left[1 - 0.577 \frac{e}{r} \right]^3 \quad (5)$$

2) กรณีที่เสามีการเสริมเหล็ก

$$P_D = \left(0.25 f'_m A_n + 0.65 A_{st} F_s \right) \left[1 - \left(\frac{h}{140r} \right)^2 \right] \quad \text{เมื่อ } h/r \leq 99 \quad (6)$$

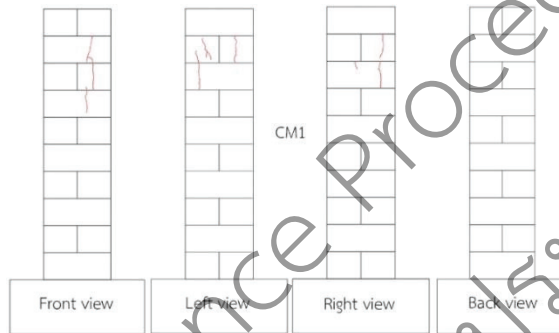
$$P_D = \left(0.25 f'_m A_n + 0.65 A_{st} F_s \right) \left(\frac{70r}{h} \right)^2 \quad \text{เมื่อ } h/r > 99 \quad (7)$$

P/P_D คือ อัตราส่วนกำลังรับแรงอัดสูงสุดต่อกำลังรับแรงอัดที่คำนวณตามมาตรฐาน

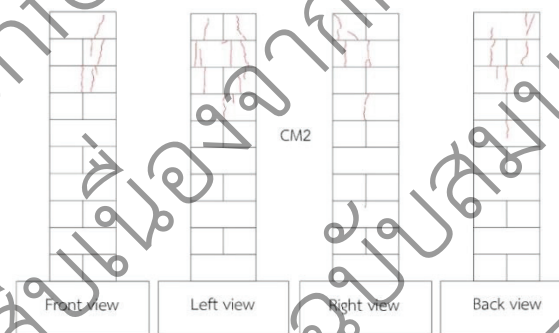
Δ_a คือ ค่าการยุบตัวตามแนวแกนเสา

ε_a คือ ค่าความเครียดตามแนวแกนเสา โดยพิจารณาได้จากค่าการยุบตัวตามแนวแกนเสาหารด้วยความสูงเสา 1 เมตร

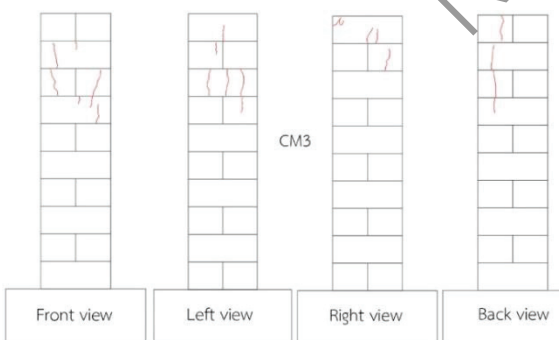
หมายเหตุ เนื่องจากข้อจำกัดของบทความ คำอธิบายตัวแปรในสมการบางตัว สามารถอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55



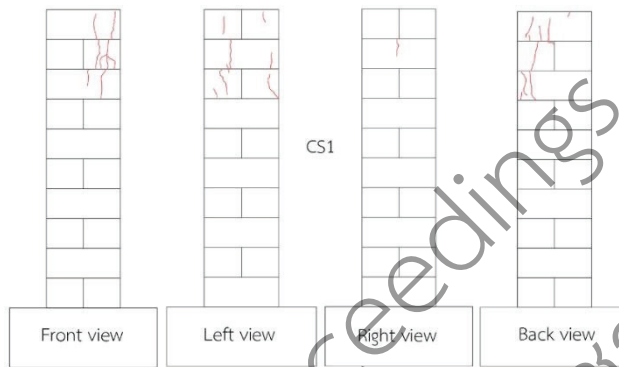
รูปที่ 3 ลักษณะรอยร้าวของเสา CM1 ที่น้ำหนักบรรทุกทุก 340 กิโลนิวตัน



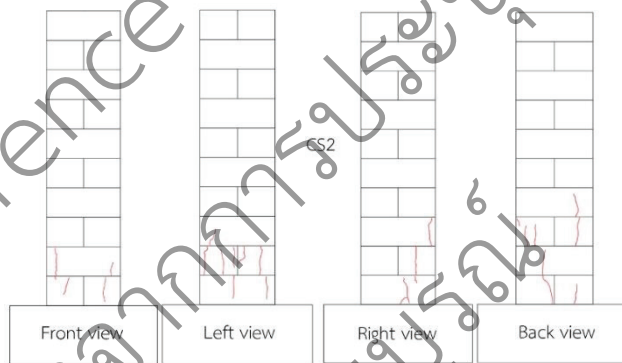
รูปที่ 4 ลักษณะรอยร้าวของเสา CM2 ที่น้ำหนักบรรทุกทุก 340 กิโลนิวตัน



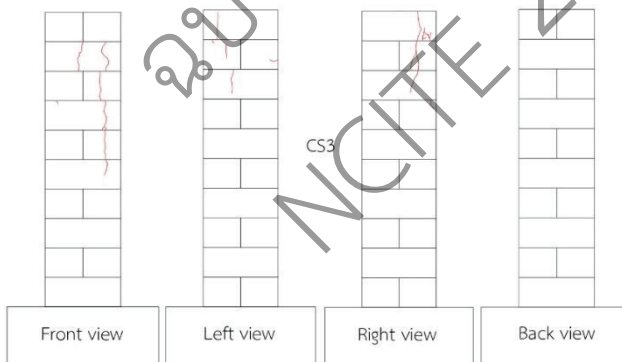
รูปที่ 5 ลักษณะรอยร้าวของเสา CM3 ที่น้ำหนักบรรทุกทุก 420 กิโลนิวตัน



รูปที่ 6 ลักษณะรอยร้าวของเสา CS1 ที่น้ำหนักบรรทุก 490 กิโลนิวตัน



รูปที่ 7 ลักษณะรอยร้าวของเสา CS2 ที่น้ำหนักบรรทุก 230 กิโลนิวตัน



รูปที่ 8 ลักษณะรอยร้าวของเสา CS3 ที่น้ำหนักบรรทุก 530 กิโลนิวตัน

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการทดสอบในตารางที่ 2 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด P ของเสาในกรณีที่ไม่มีการเสริมเหล็กมีค่าอยู่ในช่วง 340-420 กิโลนิวตัน โดยมีค่าเฉลี่ย 366.7 กิโลนิวตัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า P_D ที่ได้จากการ

คำนวณตาม มยผ. 1351-55 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 57.0 กิโลนิวตัน พบว่าค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยมีอัตราส่วน P/P_D อยู่ระหว่าง 6.0 – 7.4 เท่า ค่าการยุบตัวตามแนวแกนเสาที่วัดได้จากการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 19.4 – 29.5 มิลลิเมตร หรือเทียบเป็นค่าความเครียดตามแนวแกนมีค่าเท่ากับ 0.0194 - 0.0295 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาลักษณะการแตกร้าวที่เกิดขึ้น พบว่าจะเกิดขึ้นบริเวณเสาส่วนบนดังรูปที่ 3 - รูปที่ 5

จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด P ของเสาในกรณีที่มีการเสริมเหล็กมีค่าอยู่ในช่วง 230 - 530 กิโลนิวตัน โดยมีค่าเฉลี่ย 416.7 กิโลนิวตัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า P_D ที่ได้จากการคำนวณตาม มยผ. 1351-55 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 79.6 กิโลนิวตัน พบว่าค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยมีอัตราส่วน P/P_D อยู่ระหว่าง 2.9 – 6.7 เท่า ค่าการยุบตัวตามแนวแกนเสาที่วัดได้จากการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 30.2 – 36.2 มม. หรือเทียบเป็นค่าความเครียดตามแนวแกนมีค่าเท่ากับ 0.0302-0.0362 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาลักษณะการแตกร้าวที่เกิดขึ้นในเสา CS1 CS3 จะเกิดขึ้นบริเวณหัวเสาส่วนบน ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 8 ในขณะที่เสา CS2 จะเกิดขึ้นบริเวณส่วนล่างของเสา ดังรูปที่ 7 ทั้งนี้สาเหตุที่เสา CS2 มีลักษณะการวิบัติ การแตกร้าว รวมทั้งน้ำหนักบรรทุกสูงสุดแตกต่างจากเสาต้นอื่นในกรณีที่มีการเสริมเหล็ก อาจเนื่องมาจากที่บริเวณฐานเสาเมื่อทำการสังเกตหลังจากการทดสอบพบว่าปูนเกร้าท์ที่เทลงเข้าไปในรูของก้อนบล็อกประสานไม่เต็ม เนื่องจากรูดังกล่าวมีขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร) ดังนั้นเมื่อเสริมเหล็กยื่นเข้าไป การเทปูนเกร้าท์จึงทำด้วยความลำบาก และทำให้บริเวณดังกล่าวมีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าส่วนบนและ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้มีพฤติกรรมการรับน้ำหนักแตกต่างจากต้นอื่น

ทั้งนี้สำหรับงานวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า ในกรณีเสาบล็อกประสานที่ต้องมีการเสริมเหล็ก อาจเปลี่ยนไปใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 มิลลิเมตร และควรขยายขนาดของรูในก้อนบล็อกประสานอย่างต่ำให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 5-6 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกในการเทเกร้าท์เมื่อมีการเสริมเหล็ก นอกจากนี้ควรศึกษาพฤติกรรมของเสาบล็อกประสานในกรณีที่มีการรับแรงเฉียงศูนย์ และหรือการรับแรงด้านข้างเช่น แรงลมหรือแรงแผ่นดินไหว

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสาน. การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคล สุรินทร์ ครั้งที่ 10; 19-20 กันยายน 2562; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์; 2562. หน้า B121-B130.
- [2] ณัฐพงศ์ จันทร์เพชร และ วุฒินัย กกก้าแหง. การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของบล็อกประสานประเทศไทย. วารสารวิชาการ มทร.สุพรรณภูมิ. 2559; 4(2): หน้า 196-206.
- [3] วายุ สมพงษ์ จตุพล วงศ์ดี และสุทธิพงษ์ สุอารัมย์. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของบล็อกประสานที่อัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกและเครื่องอัดแบบมือโยก [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2558.
- [4] อนุชิต ศรีนิวล เบญจวรรณ ศรีดารา และอภิรักษ์ ปลัดศรีช่วย. การศึกษาคูณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสาน [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2558.
- [5] ชลธิ์ ผังคี ประภาสิต พรหมดี และจินดาพร พรหมศรี. กำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานที่มีปริมาณความชื้นต่างกัน [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2558.

- [6] ไกรเลิศ วงศ์ละคร และวชิรวิทย์ แก้วประดับ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกประสานด้วยทราย [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2559.
- [7] พัชรี เล็บขาว และอานิสงส์ บุญล้อม. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกประสานด้วยเศษกระดาษ [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2561.
- [8] ธนพล มิ่งไชย วรยุทธ์ บุญพันธ์ และศักดิ์ดา ทาริตวัน. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกประสานด้วยซีเมนต์ [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2561.
- [9] กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. มยผ.1351 มาตรฐานการออกแบบ และก่อสร้างวัสดุก่อ. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย; 2555.
- [10] กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. มยผ.1262 มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุอิฐและบล็อกประสาน. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย; 2555.
- [11] กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. มยผ.1261 มาตรฐานการทดสอบปริซึมของวัสดุก่อ. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย; 2555.
- [12] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2543. กรุงเทพฯ. กระทรวงอุตสาหกรรม; 2543.

Official Conference Proceeding
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

พฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานบล็อกจากประสาน
Load-Carrying Behavior of Interlocking Brick Beam

ชัยศักดิ์ สิงห์ทองทัศนีย์¹ วัฒนา วงสามารถ² เจษฎา ด่านสร้อย³ และ สุรัสวดี นิยมพานิชพัฒนา^{4*}
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี^{1, 2, 3, 4*}

Chaisak Singthongthat¹ Watthana Wongsamat² Jetsada Dansroi³
and Surasak Niyompanitpattana^{4*}

Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University^{1, 2, 3, 4*}

E-mail: std.61122020104@ubru.ac.th¹ std.60122020115@ubru.ac.th²

std.61122020103@ubru.ac.th³ and surasak.n@ubru.ac.th^{4*}

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานบล็อกจากประสาน โดยคานที่ใช้ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้ คือ 1) คานบล็อกจากประสานที่ไม่มีการเสริมเหล็ก 2) คานบล็อกจากประสานที่มีการเสริมเหล็กรับแรงดัด และ 3) คานบล็อกจากประสานที่มีการเสริมเหล็กรับแรงดัดและแรงเฉือน จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของคานที่ได้จะทำการเปรียบเทียบกับค่ากำลังที่คำนวณโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้จะทำให้เข้าใจพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของคานบล็อกจากประสาน ลักษณะการวิบัติ ตลอดจนข้อเสนอนำไปใช้ในการก่อสร้างองค์อาคารดังกล่าวได้

คำสำคัญ : พฤติกรรมการรับน้ำหนัก คานบล็อกจากประสาน การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้

Abstract

The objective of this research was to study the load-carrying behavior of interlocking brick beams. The test sample was divided into three groups: 1 interlocking brick beams without reinforcements, 2 interlocking brick beams with flexural reinforcements, and 3 interlocking brick beams with flexural and shear reinforcements. From the test results, the load-carrying capacity of interlocking brick beams will be compared with that one calculated by the Allowable Stress Design method in accordance with the Design and Construction Standard for Masonry Materials, DPT standard 1351-55. From the test results, it will be led to an improved understanding the load-carrying behavior of interlocking brick beams, failure characteristics, as well as the recommendations to construct for this type of member.

Keywords : Load-carrying behaviour, Interlocking brick beam, Allowable stress design

1. บทนำ

บล็อกประสาน (Interlocking block) เป็นวัสดุซึ่งประกอบไปด้วยดินลูกรัง ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และวัสดุผสมอื่น ๆ เช่น หินฝุ่น หรือเถ้าแกลบ เป็นต้น โดยที่ตัวบล็อกประสานเองมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ดังนั้นบล็อกประสานจึงอาจใช้เป็นวัสดุก่อที่ใช้สร้างเป็นองค์อาคารเช่น เสา ผนัง หรือคานของอาคารบ้านเรือน ซึ่งนอกเหนือจากความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกแล้ว พื้นผิวและลวดลายภายนอกของบล็อกประสานยังมีความสวยงามเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ทั้งนี้ในอดีตจนถึงปัจจุบัน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้ศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตบล็อกประสาน ทั้งการพัฒนาารูปแบบวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตการใช้งาน และความสามารถในการรับน้ำหนัก รวมทั้งการเผยแพร่เทคโนโลยีบล็อกประสานสู่ทุกภาคส่วนของประเทศ

ในอดีตจนถึงปัจจุบัน มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับบล็อกประสานพอสมควร โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของบล็อกประสาน และการหาส่วนผสมที่เหมาะสมหรือเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการทำบล็อกประสาน อย่างไรก็ตามการนำบล็อกประสานไปใช้ในเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารในการรับน้ำหนักบรรทุก เช่น ผนัง เสา หรือคาน ยังมีอย่างจำกัดทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การขาดข้อมูลการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการรับแรงขององค์อาคารที่ทำจากบล็อกประสาน [1] - [9]

ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานบล็อกประสาน และทำการเปรียบเทียบกับคานน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress design) ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 [10] ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการรับแรงเข้าใจขั้นตอนการก่อสร้าง และเป็นแนวทางในการออกแบบคานบล็อกประสานในอนาคตได้

2. ขอบเขตของการศึกษา การเตรียมตัวอย่าง และลักษณะการทดสอบตัวอย่าง

ในการศึกษาในครั้งนี้ บล็อกประสานที่ใช้ในการสร้างคานจะมีลักษณะดังรูปที่ 1 โดยบล็อกประสานที่ใช้มีลักษณะที่สำคัญคือมีร่องลึกตามแนวยาวของก้อนบล็อกประสานเพื่อใช้ในการเสริมเหล็กรับแรงดัด ในขณะที่รูในแนวตั้งจะใช้ในการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน โดยตัวอย่างคานบล็อกประสานมีทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ตัวอย่างโดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบไปด้วยคาน BR1 BR2 BR3 เป็นคานบล็อกประสานที่ไม่มีการเสริมเหล็กใด ๆ มีเฉพาะปูนเกร้าท์เทลงในร่องและรูของก้อนบล็อกประสานเพื่อเชื่อมก้อนบล็อกประสานให้ติดกันเป็นคาน กลุ่มที่ 2 ประกอบไปด้วยคาน BRC1 BRC2 BRC3 เป็นคานบล็อกประสานที่มีการเสริมเหล็กรับแรงดัด DB12 (SD40) และกลุ่มที่ 3 ประกอบไปด้วยคาน BRC4 BRC5 BRC6 เป็นคานบล็อกประสานที่มีการเสริมเหล็กรับแรงดัด DB12 (SD40) และเหล็กรับแรงเฉือน RB6 (SR24) โดยความยาวและความลึกของคานบล็อกประสานทั้งสามกลุ่มมีค่าเท่ากัน คือ มีความยาว 2.25 เมตร (โดยที่ความยาวหลังจากหักระยะของฐานรองรับเท่ากับ 2 เมตร) และความลึกหน้าตัดเท่ากับ 0.30 เมตร ดังรูปที่ 2

โดยสถานที่ดำเนินงานคือ โรงฝึกงาน 50F ภายในสาขาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี สำหรับลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าการเสียรูป การให้น้ำหนักบรรทุกบนตัวอย่างคาน และโครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 สำหรับข้อมูลพื้นฐานตลอดจนคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุที่ใช้ในการทำคานบล็อกประสาน แสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุที่ใช้ในการทำคานบล็อกประสาน

คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ
กำลังรับแรงอัดของก้อนบล็อกประสาน	2.80 เมกะพาสคัล
น้ำหนักบล็อกประสานหลังอบแห้ง 24 ชั่วโมง	4.40 กิโลกรัม
การดูดกลืนน้ำของบล็อกประสาน	211 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ขนาดและมิติบล็อกประสาน	125 มิลลิเมตร × 250 มิลลิเมตร × 102 มิลลิเมตร
กำลังรับแรงอัดของปริซึมจากบล็อกประสาน	3.71 เมกะพาสคัล
กำลังรับแรงอัดของปูนเกร้าท์	26.18 เมกะพาสคัล
แรงดึงที่จุดคราก เหล็กเสริม RB6	384 เมกะพาสคัล
แรงดึงที่จุดประลัย เหล็กเสริม RB6	508 เมกะพาสคัล
ร้อยละการยืดตัว เหล็กเสริม RB6	23
แรงดึงที่จุดคราก เหล็กเสริม DB12	621 เมกะพาสคัล
แรงดึงที่จุดประลัย เหล็กเสริม DB12	683 เมกะพาสคัล
ร้อยละการยืดตัว เหล็กเสริม DB12	20

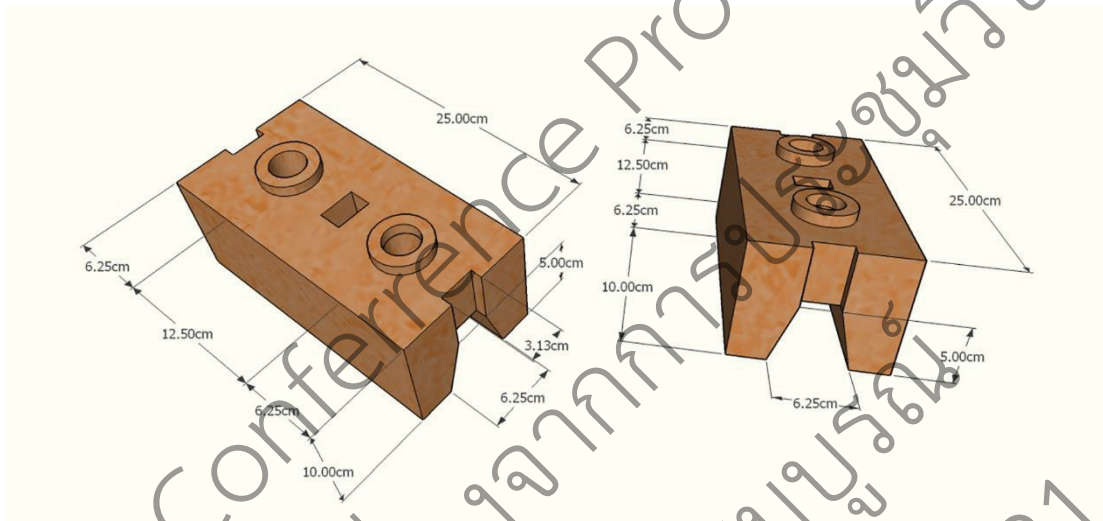
จากตารางที่ 1 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนบล็อกประสานมีค่าเท่ากับ 2.80 เมกะพาสคัล ซึ่งผลทดสอบที่ได้มีค่าต่ำกว่าและแตกต่างจากผลทดสอบในอดีต ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากช่องว่างด้านล่างของก้อนบล็อกประสาน ซึ่งแตกต่างจากก้อนบล็อกประสานที่ใช้ในการศึกษาในอดีต [1] – [4] ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานเป็นไปตามข้อกำหนดตาม มยพ.1351-55 ซึ่งกำหนดไว้ว่า มวลอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง 1680 กิโลกรัมและน้อยกว่า ต้องมีค่าดูดกลืนน้ำสูงสุดเฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน 5 ก้อนไม่เกิน 288 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 211 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ขนาดและมิติของอิฐบล็อกประสาน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับขนาดระบุคือ กว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร และหนา 100 มิลลิเมตร ค่ากำลังอัดประลัยของปริซึมจะถูกปรับแก้โดยค่าปรับแก้ตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุก่อ มยพ.1261 [12] อันเนื่องจากผลของค่าความสูงต่อความกว้าง (h_p/t_p) เท่ากับ 1.086 และค่ากำลังอัดประลัยของวัสดุก่อ f'_m ที่ปรับแก้เรียบร้อยแล้ว 3.71 MPa จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกของคานบล็อกประสาน ซึ่งสามารถดูรายละเอียดการคำนวณตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 [10] ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ความต้านทานแรงดึงประลัย และร้อยละการยืดตัวผ่านเกณฑ์ ของเหล็กเสริม RB6 และ DB 12 ผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนดของ มอก.20-2543 [13]

3. ผลการทดสอบ

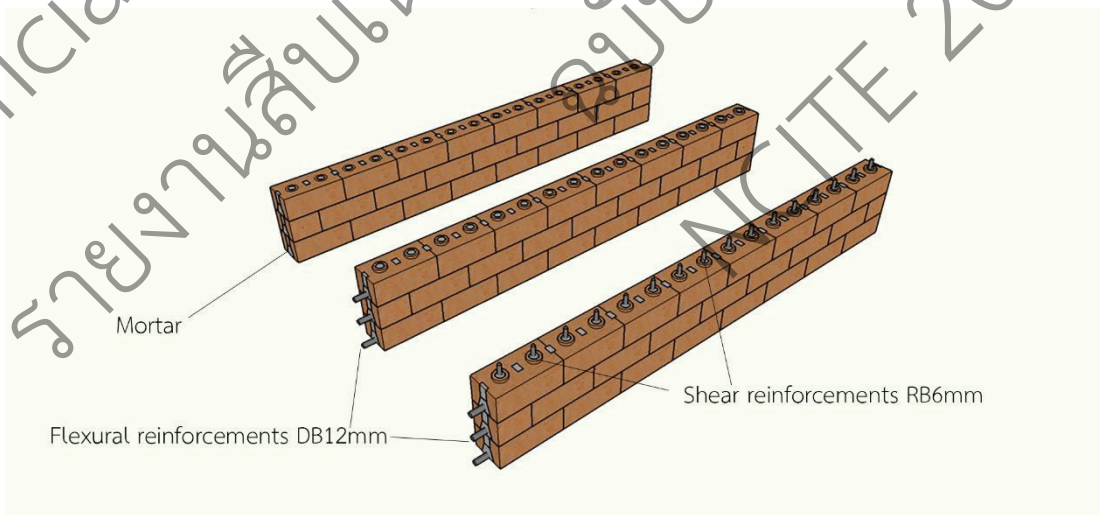
ในการศึกษาในครั้งนี้ คานบล็อกประสานในกลุ่มที่ 1 ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ทั้ง 3 ตัวอย่าง และเกิดการวิบัติทันทีเมื่อทำการยกตัวอย่างคานวางบนฐานรองรับ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากคานบล็อกประสานที่ใช้ในการทดสอบนี้ไม่มีเหล็กเสริมตามแนวยาว ดังนั้นเมื่อเกิดหน่วยแรงดึงบนหน้าตัดบริเวณผิวล่างของคานจึงเกิดการวิบัติทันทีเนื่องจากไม่

มีเหล็กเสริมรับแรงดึง ทั้งนี้ลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นจะพบบริเวณกึ่งกลางคานของทั้งสามตัวอย่าง ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดหน่วยแรงดึงสูงสุดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของตัวคานบล็อกประสานเอง ดังนั้นข้อมูลการทดสอบต่าง ๆ ของคานในกลุ่มนี้จึงไม่แสดงในตารางที่ 2

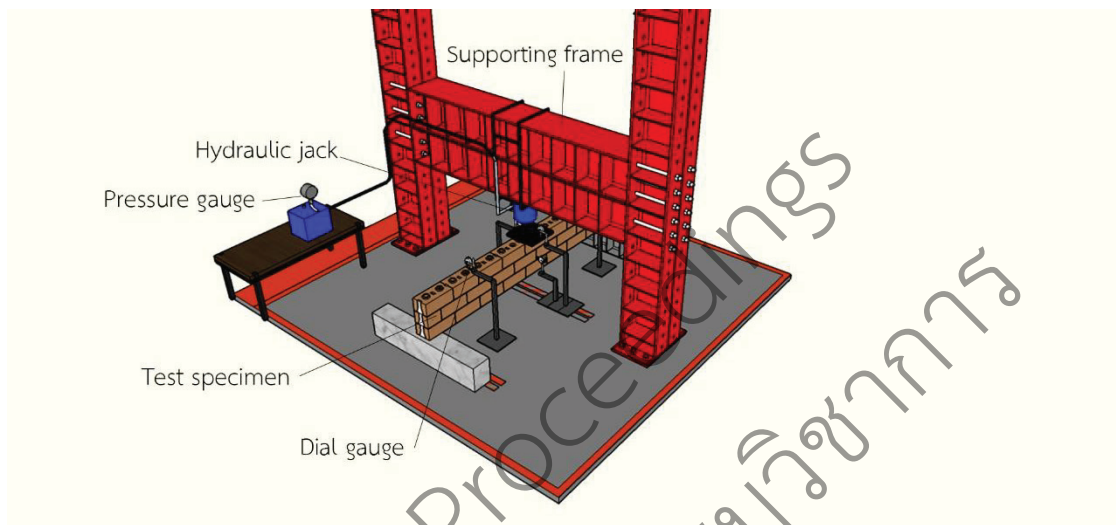
สำหรับผลทดสอบของคานบล็อกประสานในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 แสดงในตารางที่ 2 โดยค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ จะถูกทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กับค่าน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณได้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยผ.1351-55 นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานบล็อกประสาน ลักษณะการวิบัติของคานบล็อกประสาน ภาพร่างรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นบนคานบล็อกประสาน จะแสดงในรูปที่ 4 รูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 1 ขนาด มิติ และลักษณะทางกายภาพของก้อนบล็อกประสานที่ใช้ในการทำคาน



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของคานบล็อกประสานทั้ง 3 กลุ่ม



รูปที่ 3 ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือและทดสอบตัวอย่างคานบล็อกระसान

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของคานบล็อกระसान

Sample No.	P_u (kN)	P_{DPT} (kN)	P_u/P_{DPT}
BRC1	14	1.44 (shear)	9.7
BRC2	15	1.44 (shear)	10.4
BRC3	14	1.44 (shear)	9.7
BRC4	39	6.72 (flexural)	5.8
BRC5	39	6.72 (flexural)	5.8
BRC6	32	6.72 (flexural)	4.8

โดยที่

P_u คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ

P_{DPT} คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน มยผ. 1351-55 ซึ่งคำนวณโดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้คือ

$$P_{DPT} = \text{minimum} \left\{ \begin{array}{l} \frac{4}{L} \left[M - \frac{wL^2}{8} \right] \\ 2 \left[V - \frac{wL}{2} \right] \end{array} \right\} \quad (1)$$

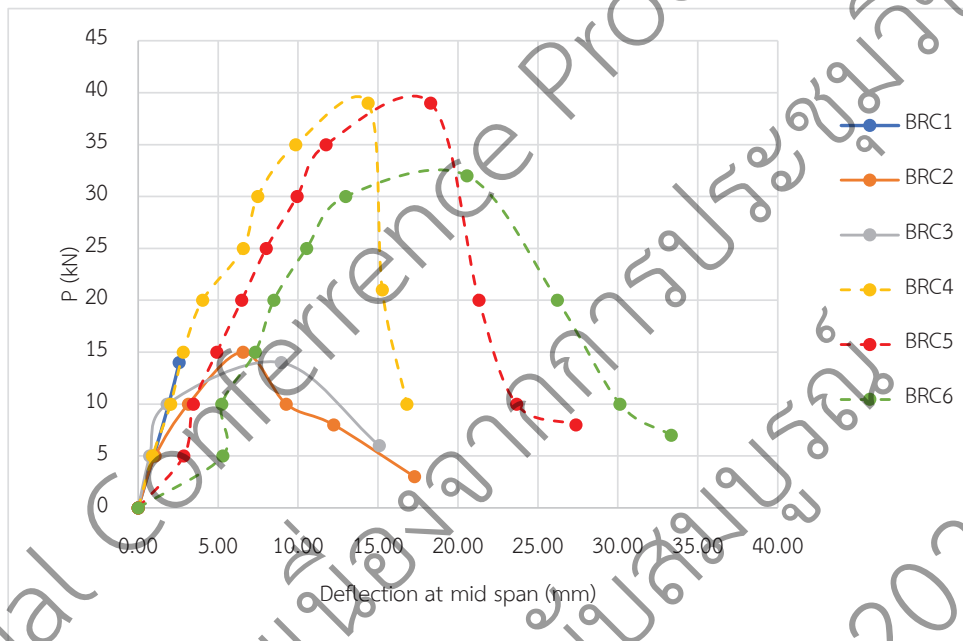
M คือ โมเมนต์ต้านทานของหน้าตัดคานตามมาตรฐาน มยพ.1351-55 โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

V คือ แรงเฉือนต้านทานของหน้าตัดคานตามมาตรฐาน มยพ.1351-55 โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี คือ แรงเฉือนต้านทานของหน้าตัดคานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน และแรงเฉือนต้านทานของหน้าตัดคานที่มีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

w คือ น้ำหนักบรรทุกต่อความยาว ซึ่งในกรณีนี้คือน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากตัวคานเอง

L คือ ช่วงความยาวที่ทำการพิจารณา

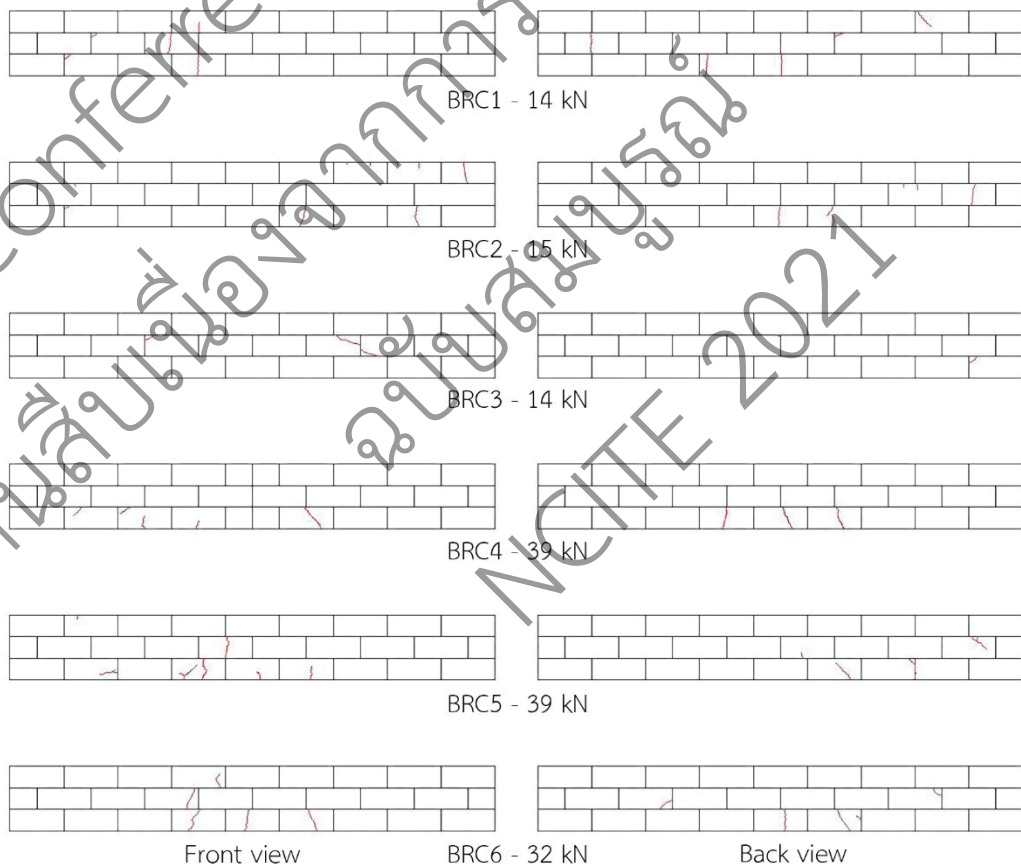
P_u/P_{DPT} คือ อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่อน้ำหนักบรรทุกที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน มยพ.1351-55



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและระยะการโก่งตัวที่ถึงกลางคาน



รูปที่ 5 ลักษณะการวิบัติของคานปลีอกประสาน



รูปที่ 6 ลักษณะรอยร้าวของคานปลีอกประสานที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการทดสอบในตารางที่ 2 พบว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของคานบล็อกระสานในกลุ่มที่ 2 BRC1 BRC2 BRC3 มีค่าอยู่ระหว่าง 14 – 15 กิโลนิวตัน โดยค่าน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณได้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 มีค่าเท่ากับ 1.44 กิโลนิวตัน ซึ่งวิบัติโดยแรงเฉือน โดยมีอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่คำนวณได้ตาม มยพ. มีค่าอยู่ระหว่าง 9.7 – 10.4 เท่า ซึ่งถือว่ามีค่าความปลอดภัยค่อนข้างสูงมากเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณตามมาตรฐาน เมื่อพิจารณาลักษณะการวิบัติและรอยร้าวที่เกิดขึ้นของคานในกลุ่มที่ 2 พบว่า มีลักษณะสอดคล้องกับผลการคำนวณตาม มยพ. ที่เป็นรอยร้าวที่เกิดจากแรงเฉือนโดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้กับฐานรองรับซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่าแรงเฉือนสูงสุด จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานพบว่า ค่าการโก่งตัว ณ ตำแหน่งที่เกิดน้ำหนักบรรทุกสูงสุดมีค่า 3 – 8 มิลลิเมตร

สำหรับคานบล็อกระสานในกลุ่มที่ 3 BRC4 BRC5 BRC6 น้ำหนักบรรทุกสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 32 – 39 กิโลนิวตัน โดยค่าน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณได้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างวัสดุก่อ มยพ.1351-55 มีค่าเท่ากับ 6.72 กิโลนิวตัน ซึ่งวิบัติโดยแรงดัด โดยมีอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่คำนวณได้ตาม มยพ. มีค่าอยู่ระหว่าง 4.8 – 5.8 เท่า ซึ่งถือว่ามีค่าความปลอดภัยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณตามมาตรฐาน เมื่อพิจารณาลักษณะการวิบัติและรอยร้าวที่เกิดขึ้นของคานในกลุ่มที่ 3 พบว่ามีลักษณะสอดคล้องกับผลการคำนวณตาม มยพ. ที่เป็นรอยร้าวที่เกิดจากแรงดัด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคานซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่าแรงโมเมนต์ดัดสูงสุด จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานพบว่า ค่าการโก่งตัว ณ ตำแหน่งที่เกิดน้ำหนักบรรทุกสูงสุดมีค่า 15 – 20 มิลลิเมตร

จากการพิจารณาลักษณะของการวิบัติและลักษณะของรอยแตกร้าวของคานพบว่า ความกว้างและขนาดของรอยร้าวที่เกิดขึ้นของคานในกลุ่มที่ 3 มีค่าน้อยกว่ารอยแตกร้าวของคานในกลุ่มที่ 2 นอกจากนี้สำหรับคานในกลุ่มที่ 2 ยังพบรอยร้าวและเส้นใยระหว่างชั้นของคานบล็อกระสานซึ่งเกิดจากแรงเฉือนในแนวราบซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่มีในคานในกลุ่มที่ 3 เนื่องจากมีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนคอดังทวนลักษณะการวิบัติดังกล่าว ทั้งนี้สำหรับงานวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่าในกรณีของคานบล็อกระสานที่ต้องการเสริมเหล็กควรขยายขนาดของรูในคานบล็อกระสานอย่างต่ำให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 5 – 6 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกในการเทราท์เมื่อมีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน นอกจากนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมพฤติกรรมของคานบล็อกระสานในกรณีที่มีการรับแรงบิดรวมกับแรงดัด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรศักดิ์ นิยมพานิชพัฒนา. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกระสาน. การประชุมวิชาการระดับชาติราชชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 10; 19-20 กันยายน 2562; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์; 2562. หน้า B121-B130.
- [2] ณัฐพงศ์ จันท์เพชร และ วุฒินัย กกก้าแหง. การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของบล็อกระสานประเทศไทย. วารสารวิชาการ มทร.สุพรรณภูมิ. 2559; 4(2): หน้า 196-206.

- [3] วายุ สมพงษ์ จตุพล วงศ์ดี และสุทธิพงษ์ สุยารัมย์. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของบล็อกประสานที่อัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกและเครื่องอัดแบบมือโยก [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2558.
- [4] อนุชิต ศรีนวล เบญจวรรณ ศรีดารา และอภิรักษ์ ปลัดศรีช่วย. การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสาน [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2558.
- [5] ชลธิ์ ผังคี ประภาสิต พรหมดี และจินดาพร พรหมศรี. กำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานที่มีปริมาณความชื้นต่างกัน [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2558.
- [6] ไกรเลิศ วงศ์ละคร และวชิรวิทย์ แก้วประดับ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกประสานด้วยทราย [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2559.
- [7] พัชรี เล็บขาว และอานิสงส์ บุญล้อม. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกประสานด้วยเศษกระดาษ [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2561.
- [8] ธนพล มิ่งไชย วรายุทธ์ บุญพันธ์ และศักดิ์ดา ทหารัดวัน. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตบล็อกประสานด้วยซีเมนต์ [ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2561.
- [9] วิวัฒน์พงศ์ หิรัญมาลัย. พฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานบล็อกประสาน : Full Scale Testing. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13, 14-16 พฤษภาคม 2551 ณ โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช พัทยา; 2551 หน้า STR280-STR287.
- [10] กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. มยผ.1351 มาตรฐานการออกแบบ และก่อสร้างวัสดุก่อ. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย; 2555.
- [11] กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. มยผ.1262 มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุอิฐและบล็อกประสาน. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย; 2555.
- [12] กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย. มยผ.1261 มาตรฐานการทดสอบปริซึมของวัสดุก่อ. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการ และผังเมืองกระทรวงมหาดไทย; 2555.
- [13] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2543. กรุงเทพฯ. กระทรวงอุตสาหกรรม: 2543.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การพัฒนาชุดป้อนลำเลียงในเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าวน้ำหอมในชุมชน: ใบมีดป้อนลำเลียง
ชนิดวงกลม

Development of the Conveying Unit for the Aromatic Coconut Cutter in
the Community: Circular Conveyor Feed Blade

วัชร หอมหวอน¹ สมศักดิ์ คำมา² ชัชวาล นิมิตรธรรม^{3*} และ นรินทร์ กุลนพาด⁴
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์^{1, 2, 3*, 4}

Wadchara Homhuon¹ Somsak Kamma² Chatchawal Nimrotham^{3*} and Narin Koolnapadol⁴
Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University^{1, 2, 3*, 4}

E-mail : Chatchawal.nim@rru.ac.th^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดป้อนลำเลียงในเครื่องสับย่อยเปลือกมะพร้าวน้ำหอม และประเมินสมรรถนะในการย่อยเปลือกมะพร้าวให้เหมาะสมเพื่อเป็นส่วนผสมของดินปลูกต้นไม้ โดยแบ่งการดำเนินงานเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการดำเนินการพัฒนาชุดป้อนลำเลียงโดยเปลี่ยนจากแบบเฟืองหนามเป็นชุดใบมีดกรีดและกดชนิดวงกลม 8 ใบ สวมอยู่บนเพลากลมพร้อมใบมีดตัดย่อย ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า เพื่อทำการกดและดันเข้าชุดย่อยเปลือกมะพร้าว ส่วนที่สองประเมินสมรรถนะการตัดย่อยเปลือกมะพร้าวที่ตากแดด 1 วัน (ความชื้นลดลงร้อยละ 16) และตากแดด 2 วัน (ความชื้นลดลงร้อยละ 17.5) ผลการทดลองในส่วนแรกของชุดป้อนลำเลียงเปลือกมะพร้าวพบว่าใบมีดกรีดและกดชนิดวงกลม 8 ใบ สามารถดันเปลือกมะพร้าวได้ดีกว่าแบบเฟืองหนามที่ไม่สามารถดันเปลือกมะพร้าวขึ้นเล็กได้และมีเปลือกมะพร้าวติดที่เฟือง เป็นอุปสรรคในการป้อนลำเลียง ส่วนที่สองได้ตัดย่อยเปลือกมะพร้าวเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก 0 - 2 ซม. ขนาด กลาง 2 - 3 ซม. และขนาดใหญ่ 3 ซม. ขึ้นไป ผลทดลองพบว่าการตัดเปลือกมะพร้าวที่มีการลดความชื้นร้อยละ 16 เครื่องสามารถตัดได้ 116 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีการหักย่อยเป็นขนาดเล็ก กลางและใหญ่ เฉลี่ยที่ 42.00%, 45.60% และ 12.30% ตามลำดับ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย 1.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง สำหรับการตัดเปลือกมะพร้าวที่มีการลดความชื้นร้อยละ 17.5 เครื่องสามารถตัดเฉลี่ย 112.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีผลการตัดย่อยที่ 20%, 69.6% และ 10.3% ตามลำดับ และใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

คำสำคัญ : เครื่องสับย่อย มะพร้าว เปลือกมะพร้าว

Abstract

This research aimed to develop a feeding unit in the aromatic coconut cutting machine and evaluating the efficiency of chopping for mixture for planting. This research divide into 2 parts. The first part is the development of the feeder, replacing the worm gear to a set of 8 circular tapping and tapping blades mounted on a round shaft with sub-cutter blades. The power of the machine using a 2 HP motor for press and push into the coconut shell sub unit. The second part evaluated

the digestion performance of fragrant coconut shells that were exposed to the sun for 1 day (16% moisture reduction) and 2 days of exposure to the sun (17.5% decrease in humidity). The circular cutting and pressing blades can push the coconut shell better than the worm gear that cannot push the small coconut shell and have the coconut shell attached to the gear. As a barrier to feed the conveyor. In the experiment the machine was cut the 3 sizes of coconut shell: small size (0 - 2 cm.), medium size (2 - 3 cm.) and large size (more than 3 cm.). The result shown the machines can cut 116 kg/hr for coconut shell with 16% dehumidification. The result of the cutting shown the small size, medium size and large size at 42.00%, 45.60% and 12.30%, respectively and the average power consumption of 1.5 kWh. For cutting coconut shell with 17.5% dehumidification the machine could cut an average of 112.5 kg / h. The cut-off results were 20%, 69.6% and 10.3% respectively, and the average power consumption was 1.6 kWh.

Keywords : Cutting Machine, Coconut, Cutting Coconut Shell

1. บทนำ

มะพร้าวอยู่ในพืชตระกูล Palm โดยทั่วไปสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทต้นสูงและต้นเตี้ย การปลูกมะพร้าวในประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 1.2 ล้านไร่ และมีผลผลิตประมาณ 1 ล้านตัน ผลผลิตส่วนหนึ่งใช้สำหรับบริโภคภายในประเทศเป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานกะทิและอีกส่วนหนึ่งส่งออกภายนอกประเทศ ซึ่งเป็นอาชีพที่นิยมและสามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรเป็นอย่างมาก

ในจังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ปลูกมะพร้าว 22,098 ไร่ และมีผลผลิตมะพร้าว 16,228 ตัน [1] การเพาะปลูก มะพร้าว ในอำเภอเมือง อำเภอบ้านโพธิ์ อำเภอบางคล้า อำเภอบางละมุง อำเภอบางน้ำเปรี้ยว อำเภอบางปะกงและบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง เกษตรกรส่วนใหญ่ในชุมชนมักจะขายผลมะพร้าวและนำมาแปรรูปเป็นมะพร้าวเผา วุ้นมะพร้าว ไอศกรีมมะพร้าว โดยกลุ่มแม่บ้านชมหวานเป็นต้น โดยเลือกมะพร้าวที่เหลือจากการแปรรูปดั่งรูปที่ 1 ชาวบ้านจะนำไปทิ้งเป็นขยะและเผาทำลายทำให้เกิดมลพิษทางอากาศส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน และเกิดกลิ่นเน่าเสียรวมถึงเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคในชุมชน คณะวิจัยจึงมีแนวคิดนำเศษเปลือกมะพร้าวเหลือใช้มาใช้ประโยชน์โดยนำเป็นส่วนผสมของดินปลูกพืชหรือปลูกต้นไม้ เพราะว่าเปลือกมะพร้าวช่วยให้เกิดช่องว่างในดินและอุ้มน้ำจึงเป็นคุณสมบัติที่ดี ทำให้ต้นไม้เกิดการเจริญเติบโตที่ดีแต่ต้องมีการทำให้เปลือกมะพร้าวมีขนาดเล็กที่เหมาะสม โดยขนาดที่เหมาะสมอยู่ที่ขนาด 1x1 เซนติเมตร สำหรับพืชกระถางเล็กและพืชกระถางใหญ่วางรอบประมาณ 15 นิ้ว โดยจะย่อยเปลือกมะพร้าวลงเหลือ 2.5 x 2.5 เซนติเมตร [2]



รูปที่ 1 ตัวอย่างลูกมะพร้าวและเปลือกมะพร้าวน้ำหอม

จากปัจจัยดังกล่าวที่ทีมงานวิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาเครื่องตัดกิ่งไม้และวัสดุเหลือใช้ โดยพัฒนาในส่วนชุดป้อนลำเรียง เพื่อที่จะสามารถย่อยเปลือกมะพร้าวให้เหมาะสมกับการนำไปผสมดินเตรียมปลูกต้นไม้ โดยใช้เครื่องเก่าที่มีอยู่เดิม ที่ใช้สำหรับตัดเศษกิ่งไม้ เศษเปลือกไม้ โดยชุดป้อนดังกล่าวจะมีลักษณะเพื่องานดังแสดงในรูปที่ 2 (ของเก่า) เมื่อย่อยเปลือกมะพร้าวบางครั้งชุดพ่นจะกดเปลือกมะพร้าวไม่สลัดออก จึงต้องมีการดึงออกด้วยมือหรือบางครั้งก็ไม่ดันเปลือกมะพร้าวเข้าไปเมิด เนื่องจากเปลือกมะพร้าวที่ป้อนนั้นมีขนาดเล็กซึ่งเป็นปัญหาในการย่อยเปลือกมะพร้าว



รูปที่ 2 ชุดป้อนแบบเพื่องาน

จากปัญหาดังกล่าวที่ทีมงานวิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาชุดป้อนลำเรียงในเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าวน้ำหอมในชุมชนโดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย คือ เพื่อพัฒนาระบบป้อนลำเรียงเครื่องสับย่อยเปลือกมะพร้าวน้ำหอม และประเมินสมรรถนะในการย่อยเปลือกมะพร้าวให้เหมาะสมเพื่อเป็นส่วนผสมของดินปลูกต้นไม้

2. วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการสร้างพัฒนาชุดป้อนลำเรียงของเครื่องสับย่อยเศษเปลือกมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้ง โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยในเรื่องการสร้างเครื่องตัดเปลือกมะพร้าวอ่อน [2] เรื่องเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าวแห้ง [3] เรื่องพัฒนาเครื่องย่อยเศษพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ [4] และเรื่องเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าว [5] เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาชุดป้อนลำเรียงเปลือกมะพร้าว ชุดส่งกำลัง เป็นต้น และ ส่วนที่สองเป็นการประเมินสมรรถนะการตัดเปลือกมะพร้าว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การสร้างพัฒนาชุดป้อนลำเรียงและใบมีดย่อยเปลือกมะพร้าวน้ำหอม

ส่วนแรกเป็นการดำเนินการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น จากเครื่องต้นแบบซึ่งเป็นเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้ เป็นตัวอย่างและใช้วัสดุอุปกรณ์ในท้องถิ่นเพื่อเป็นการง่ายต่อการบำรุงรักษา ในการย่อยเปลือกมะพร้าวที่เป็นเศษวัสดุนั้น ให้มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับผสมกับดินปลูกพืชรวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ยหรือการเพาะปลูกกล้าชำไม้ต่าง ๆ ในการพัฒนาเครื่องสับใช้หลักการสับด้วยวัสดุคมมีดเคลื่อนที่ในแนวรัศมีให้เกิดแรงเฉือนตัดวัสดุให้ขาดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ไหลออกด้านล่างด้วยแรงเหวี่ยงของใบพัดหมุนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 2 แรงม้า 220 โวลต์ 50 Hz เป็นต้นกำลัง ใช้งานง่ายและปลอดภัย

การออกแบบชุดป้อนลำเรียงและชุดใบมีด ได้ออกแบบโดยใช้หลักการของแรงเฉือนตัดวัสดุให้ขาดแยกออกจากกันด้วยคมมีดเคลื่อนที่ในแนวรัศมีพร้อมกับใบมีดวงกลมที่รีดกดเปลือกมะพร้าว กล่าวคือ เมื่อป้อนเปลือกมะพร้าวเข้าตัวป้อนด้านหน้าด้วยมือ เปลือกมะพร้าวจะถูกกด บีบ ขบ ด้วยชุดกลไกของใบมีดป้อนลำเรียงแบบ วงกลมที่มีลักษณะขบกัน เพื่อให้เกิดการกด ตัดขาด และรีดเปลือกมะพร้าวให้เคลื่อนที่สัมพันธ์กับรอบหมุนของใบมีด ตัดเมื่อใบมีดหมุนใบมีดจะทำการตัดวัสดุให้ขาดแยกจากกัน ซึ่งในการดำเนินการพัฒนาชุดใบมีดป้อนจะมีการ พิจารณาถึงขนาดใบมีด การขบของใบมีด ความเร็วรอบของใบมีด และความเร็วชุดป้อน จะต้องสัมพันธ์กับกำลังของมอเตอร์

และออกแบบให้เครื่องนี้มีขนาดเหมาะสมและปลอดภัยใช้งานสะดวก โดยโครงสร้างทำจากโครงเหล็กเพล่าใช้สำหรับติดตั้งชิ้นส่วนอุปกรณ์ชุดป้อนลำเลียงเปลือกมะพร้าวและชุดต้นกำลัง ในการออกแบบได้ใช้สมการในการหาค่าแรงตัดเฉือน อัตราทดสายพาน คำนวณหาความเร็วโดยมีสมการมีดังนี้

กำลัง (Power)

$$P = \left(\frac{2 \times \pi \times N \times r}{60} \right)^2 \times m \text{ วัตต์} \quad (1)$$

$m = 13.2$ กิโลกรัม $N = 1,440$ รอบต่อนาที $r = 0.008$ เมตร $P = 1.45$ วัตต์

เลือกใช้ขนาดของมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า เพื่อให้การทำงานของเครื่องได้เต็มประสิทธิภาพ

แรงเฉือน (SSSF)

$$SSSF = \frac{FOCMX}{(LWC * LTC)} \quad (2)$$

$FOCM = 13.2 \text{ kg} * 9.81 = 129.492$ นิวตันเมตร

$LWC = \text{ความหนา} = 3.00$ มิลลิเมตร

$LTC = \text{ความยาวใบมีด} = 160$ มิลลิเมตร

เมื่อ $FOCM = \text{แรงตัด (นิวตัน)}$ $LWC = \text{ความหนาคมมีด (มม.)}$ $LTC = \text{ความยาวใบมีด (มม.)}$

การคำนวณหาอัตราทดของสายพาน

$$I = \frac{ND}{Nd} \quad (3)$$

เมื่อ $I = \text{อัตราทดของสายพาน}$, $ND = \text{ความเร็วของล้อสายพานขับมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที}$

$Nd = \text{ความเร็วของล้อสายพานตามมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที}$

คำนวณความเร็วรอบ

$$N_2 = \frac{N_1 \times D_1}{D_2} \quad (4)$$

วัสดุที่ใช้ได้เลือกเปลือกมะพร้าว น้ำหอมที่ปลูกเปลือกทิ้งไว้ 1 - 2 วัน (ความชื้นลดลงร้อยละ 16 - 17.5) ในการทดลองชุดป้อนลำเลียงของเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าว น้ำหอม [2]

2.2 การประเมินสมรรถนะของชุดลำเรียงและการตัดย่อยของเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าว น้ำหอม

ส่วนที่สองเป็นการทดสอบการทำงานและสมรรถนะของชุดป้อนลำเลียงของเครื่องตัดย่อยเปลือกมะพร้าว น้ำหอม โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

2.2.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องตัดแต่งแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง (ก) เปลือกมะพร้าวตากแห้ง 1- 2 วัน (ข) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล

(ค) นาฬิกาจับเวลา (ง) เครื่องวัดรอบ รุ่น CEM DT-6236B (จ) ไม้บรรทัดเหล็ก และ (ฉ) Digital Multimeter C.A 8820

2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบการป้อนลำเรียงและการตัดย่อยของเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าว น้ำหอม

1) ทดสอบการทำงานของเครื่อง โดยการทดสอบและตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การส่งกำลัง การหมุนของใบมีด กลไกของชุดป้อนลำเลียงเปลือก สวิตช์เปิด - ปิด มอเตอร์ส่งกำลัง

2) เตรียมชิ้นงานเปลือกมะพร้าวตากแห้งลดความชื้นที่ 1 วัน (ความชื้นลดลงร้อยละ 16) และ 2 วัน (ความชื้นลดลงร้อยละ 17.5) มีขนาดชิ้นงานเฉลี่ย กว้าง*ยาว*หนา 5.2*2.1*2.5 มม. จำนวน 2 กิโลกรัม

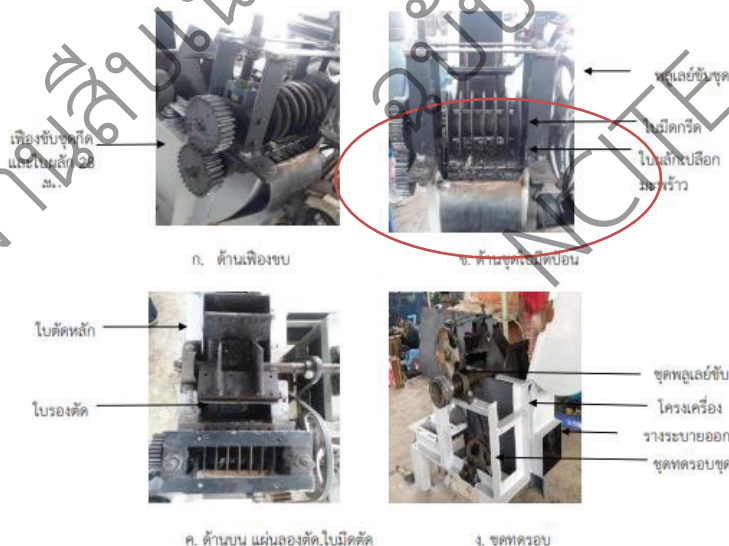
- 3) เปิดเครื่องทดสอบความเร็วตัด 935 รอบต่อนาที ความเร็วป้อน 95 รอบต่อนาที
- 4) นำเศษเปลือกมะพร้าวเข้าเครื่องย่อย เข้าที่ทางเข้าพร้อมจับเวลาและนำตะกร้ารองเปลือกที่ทางออก
- 5) ทำการวัดขนาดของชิ้นมะพร้าว ชั่งน้ำหนักและทำการบันทึกผลการทดลองจนครบ 3 ขนาด พร้อมบันทึกเวลา ความเร็วรอบ และพลังงานที่ใช้
- 6) นำข้อมูลวิเคราะห์ผล

3. ผลการทดลอง

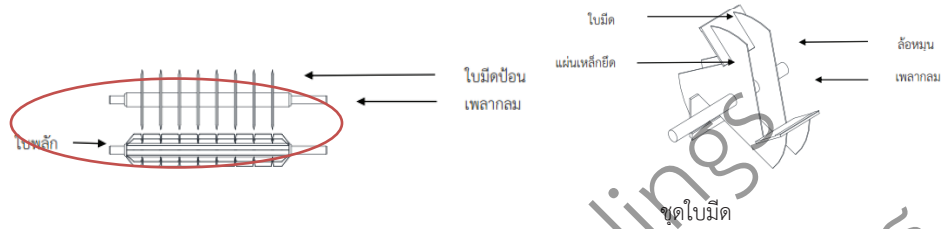
3.1 การสร้างและพัฒนาชุดป้อนลำเลียงในเครื่องสับย่อยเปลือกมะพร้าวน้ำหอม

เครื่องสับย่อยเปลือกมะพร้าวน้ำหอมมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 430 x 810 x 380 มิลลิเมตร มีรางระบายเปลือกมะพร้าวมีขนาดกว้าง 160 มิลลิเมตร สูง 160 มิลลิเมตร สำหรับให้เปลือกมะพร้าวระบายออกเป็นโครงเหล็ก ส่วนชุดตัดประกอบด้วยใบมีดที่ทำมาจากเหล็กกล้าผสมคาร์ไบด์ จำนวน 3 ใบ กว้าง 48.60 มิลลิเมตร ยาว 160 มิลลิเมตร ยึดติดบนล้อหมุนเหวี่ยงรัศมีเท่ากับ 290 มิลลิเมตร ระยะห่างใบมีดห่างกันเฉลี่ย 120 องศา สวมบนเพลาลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4 ชุดใบมีดป้อนลำเลียงด้านหน้าทำจากเหล็กเหนียว 7 ใบ ใช้ในการกด กรีด ป้อนลำเลียง ตัดเปลือกมะพร้าวให้เป็นร่อง ก่อนที่จะเข้าสู่ชุดใบมีดหลัก

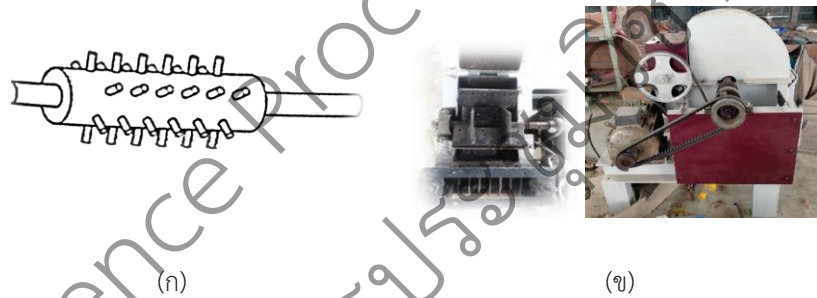
ชุดป้อนเป็นชุดกรีดและกดให้เปลือกมะพร้าวดันเข้าใบมีดหลัก ใบมีดป้อนมีลักษณะแผ่นจานกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตร จำนวน 7 ใบ วางเรียงและสวมติดกันบนเพลานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ระยะห่างกัน 20 มิลลิเมตร และชุดป้อนประกอบด้วยโครงด้านล่างเป็นเหล็กแผ่นหนา 4 มิลลิเมตร ตัดร่องฟันปลา 7 ร่อง จำนวน 8 ใบ เชื่อมติดกับเพลานขนาด 24.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 - 6 ล้อสายพานของมอเตอร์ถึงล้อสายพานชุดใบมีดตัดมีความยาว 43 นิ้ว ชนิดของสายพานตัววีชนิดเอและขนาดของมอเตอร์ 2 แรงม้า พร้อมชุดเกียร์ครอบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่อง



รูปที่ 5 ชุดป้อนลำเรียงและชุดใบมีดตัดชิ้นงาน



รูปที่ 6 ลักษณะเปรียบเทียบชุดป้อนเดิมเทียบกับชุดป้อนแบบล้อใบมีด (ก) ก่อนการพัฒนา และ (ข) หลังการพัฒนา

จากรูปที่ 5 และ 6 แสดงลักษณะของชุดใบมีดป้อนลำเรียงและการทำงานของเครื่อง เมื่อป้อนเปลือกมะพร้าว ด้วยมือเข้าไปในช่องด้านหน้าเปลือกมะพร้าวจะถูก กัด กรีด ด้วยคมมีดของชุดลำเรียงด้านหน้าและเปลือกมะพร้าว จะ เคลื่อนไปที่แท่นรองตัด สู่ใบมีดหมุนจะสับเปลือกมะพร้าวขาดด้วยแรงเฉือนจากคมมีดทำให้ชิ้นเปลือกมะพร้าว ขาด แยกออกเป็นชิ้นไหลออกช่องระบายทางออกของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 7 จากการทดลองกรณีแบบเฟือง หนามไม้ สามารถดันเปลือกมะพร้าวชิ้นเล็กได้ และตัวหนามยังกดทะลุเปลือกมะพร้าวไม่สามารถดันเปลือกมะพร้าว เข้าเครื่องตัดข่อยได้ เมื่อเทียบกับชุดล้อใบมีดที่สามารถกดและดันเปลือกมะพร้าวเข้าชุดตัดได้ดี

3.2 การประเมินสมรรถนะของชุดป้อนลำเรียงและการย่อยเปลือกมะพร้าว

การประเมินสมรรถนะของชุดป้อนลำเรียงและใบมีดของเครื่องย่อยเปลือกมะพร้าว โดยจะประเมินจากเวลา การตัดและขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตัดนั้น มีขนาดที่เหมาะสมกับการนำไปเป็นส่วนผสมดินปลูกต้นไม้ในกระถาง (เทียบโดยน้ำหนักที่ตัด) รวมถึงพลังงานที่ใช้ในการย่อยสับเปลือกมะพร้าว โดยแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 8



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 7 ผลการย่อยเปลือกมะพร้าวด้วยชุดบ่อนแบบในเม็ด (ก) > 3.00 ซม. (ใหญ่) (ข) 0.00 - 2.00 ซม. (เล็ก) และ (ค) 2 - 3 ซม. (กลาง)



รูปที่ 8 ร้อยละการตัดที่มีผลกับขนาดของชิ้นงาน

จากรูปที่ 7 แสดงถึงการตัดย่อยเปลือกมะพร้าว โดยใช้เปลือกที่มีการผึ่งแดด 1 วัน ย่อยเปลือกออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (0 - 2 ซม.) ขนาดกลาง (2 - 3 ซม.) และขนาดใหญ่ (> 3.00 ซม.) มีผลการตัดเฉลี่ยเท่ากับ 42%, 45.6% และ 12.3% ตามลำดับ และพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 1.5 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง และเปลือกมะพร้าว ผึ่งแดด 2 วัน นำมาย่อยเปลือกออกเป็นสามขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ผลการตัดเฉลี่ยเท่ากับ 20%, 69.6% และ 10.3% ตามลำดับ พลังไฟฟ้าที่ใช้ 1.6 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง เครื่องย่อยสามารถตัดได้ 116 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สำหรับเปลือกที่มีการตากแดด 1 วัน ความชื้นลดลงร้อยละ 16 และตากแดด 2 วัน ความชื้นลดลงร้อยละ 17.5 เครื่องสามารถตัดได้ 112.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

ในการพัฒนาปรับปรุงระบบป้อนของเดิมที่เป็นป้อนมาเป็นระบบชุดป้อนแบบล้อใบมีดวงกลม พบว่าการป้อนของเปลือกสามารถป้อนเข้าเครื่องได้ดี ทำให้ระบบใบมีดชุดที่ 2 (ใบมีดตัดด้วยแรงเหวี่ยง) ทำงานได้สัมพันธ์สามารถตัดเปลือกมะพร้าวขนาดเล็กได้ดีและมีปริมาณการตัดที่สูงกว่าระบบป้อนแบบป้อนมาที่เมื่อป้อนเปลือกมะพร้าวหลายขนาดผสมกัน ซึ่งขนาดชิ้นเล็กจะไม่ไหลผ่านใบมีดตัด [2], [3] โดยชุดป้อนที่สร้างขึ้นจะทำการกดเปลือกมะพร้าวอ่อนทุกขนาด กด ตัดเป็นเส้น และส่งเข้าสู่ชุดตัดหลักทำให้สามารถย่อยเปลือกมะพร้าวได้ทุกขนาดตามที่กำหนดไว้ที่เครื่องรวมถึงมีอัตราการผลิตรวมต่อกิโลกรัม/ชั่วโมง สูงกว่าเครื่องเก่า [5] ร้อยละ 48

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ เจ้าหน้าที่อาจารย์ในสาขาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ ที่ให้การช่วยเหลืออุปกรณ์ เครื่องมือ ทุนวิจัย และความช่วยเหลือจนกระทั่งงานประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเกษตรจังหวัดฉะเชิงเทรา. ข้อมูลด้านการเกษตร ข้อมูลพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ 2561/62 [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 2563 ตุลาคม 30]. เข้าถึงได้จาก http://www.chachoengsao.doae.go.th/?page_id=55.
- [2] สมศักดิ์ คำมา. การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดเปลือกมะพร้าวน้ำหอม. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี 2561; 8(2): 142-152.
- [3] โกศล มุสโสภาศ. เครื่องย่อยเปลือกมะพร้าวแห้ง. วิทยุสัทยเกษตรและเทคโนโลยีในราชีวาส มหาวิทยาลัยราชชนครินทร์ 2556; 5 (2): 48-50.
- [4] Hammed O, Abdulkareem S, Qluwadare O, Teslim A. Delopment of Polythenechipping machine for Recycling purposes. International Journal of Scientific & Engineering Reseach. 2015;6 (7): 556-561.
- [5] กฤตศักดิ์ สุขจิต คมกฤษณ์ ดั่งสา และอริวัฒน์ คำคุณ. เครื่องย่อยเปลือกมะพร้าว สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ; 2552. หน้า 33-40.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจิ้งหะร่วมกับอินฟราเรด:
จลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพสีของดอกบัว
Drying of Water Lily Using Pulsed Vacuum-Infrared Techniques:
Drying Kinetics and Color Quality of Water Lily

วรวุฒิ มานะงาน^{1*} ณัฐหทัย แซ่ย่าง² ศรีมา แจ้คำ³ และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์⁴
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก^{1*,3,4}
สถาบันบัวราชชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก²

Worawut Manangan^{1*} Nathathai Saeyang² Srima Jaekhom³ and Kittisak Witinantakit⁴
School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok^{1*,3,4}
Waterlily Institute of Rajamangala University of Technology Tawan-ok²
E-mail : worawut.mana@gmail.com^{1*}, mon.nathathai@gmail.com², srima_j@hotmail.com³
and k_yong28@hotmail.com⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัวอบลชาติยีนต้น (พื้ง บิวตี้) ด้วยเทคนิคสุญญากาศและสุญญากาศแบบจิ้งหะร่วมกับอินฟราเรดและการฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa ที่อัตราส่วนคาบเวลา 12:2 และ 15:4 และอุณหภูมิอบแห้ง 40 และ 60 °C จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 40 เป็น 60 °C ทำให้ความชื้นลดลงได้เร็วขึ้นและลดระยะเวลาการอบแห้ง และการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจิ้งหะร่วมกับอินฟราเรดที่อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 มีแนวโน้มทำให้ความแตกต่างโดยรวมของสีดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะน้อยสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ดังนั้นการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจิ้งหะร่วมกับอินฟราเรดที่อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 และอุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาอบแห้ง 7 ชั่วโมง มีความแตกต่างโดยรวมของสีดอกบัวน้อยที่สุด 3.40 และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 0.90 MJ/g_{water evap.}

คำสำคัญ : การอบแห้ง ดอกบัวพื้งค์ บิวตี้ สุญญากาศแบบจิ้งหะ อินฟราเรด

Abstract

The objectives of this research were to study of drying kinetics of water lily, Pink Beauty, by vacuum and pulsed vacuum techniques and infrared combined with embed in silica sand. Absolute pressure of vacuum drying was 15 kPa, pulsed ratio at 12:2 and 15:4 and drying temperature at 40 and 60 °C. The result shown that moisture reduction rate was increased and drying time was decreased by increasing drying temperature from 40°C by 60°C. Specific energy consumption and total color difference of water lily would be decreased by pulsed vacuum-infrared drying technique at pulse ratio of 15:4 to compared vacuum-infrared drying technique.

Therefore, drying of water lily using pulsed vacuum-infrared technique at pulse ratio of 15:4 and drying temperature at 60°C would be done by drying time of 7 hours, minimal total color difference at 3.40 and lowest specific energy consumption at 0.90 MJ/g_{water evap.}

Keywords: Drying, Pink Beauty Water Lily, Pulsed Vacuum, Infrared

1. บทนำ

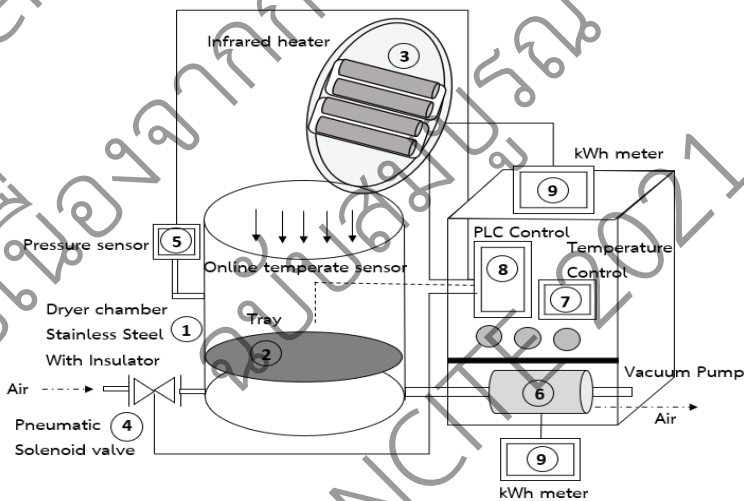
ปัจจุบันตลาดภายในประเทศไทยและต่างประเทศยังมีความต้องการดอกบัวที่มีสีสวยงามเป็นสินค้าเพื่อการส่งออกที่ยังมีความต้องการในตลาดสูงขึ้น ซึ่งดอกบัว พิงค์ บิวตี้ (Pink Beauty) เป็นบัวฝรั่งหรืออุบลชาติยืนต้น (Hardy Waterlily) จัดอยู่ในวงศ์ Nymphaeaceae สกุล Nymphaea และสกุลย่อย Nymphaea เป็นสายพันธุ์หนึ่งที่มีความงามมีดอกสีชมพูอมขาว ใบรูปร่างแบบใบกลมและมีก้านใบสีเขียวมีขน ทรงดอกเป็นรูปทรงถ้วย มีกลีบดอกซ้อน 32 กลีบ [1] นิยมเก็บดอกบัวนำมาแช่น้ำจัดประดับตกแต่งในแจกันแต่หลังจากวันที่ 3 จะเกิดการเหี่ยวเฉา สีของกลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและก้านที่นุ่มอ่อนแล้วหักงอไม่สามารถคงรูปทรงได้ ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาวิธีเก็บรักษาและรูปทรงของดอกบัว พิงค์ บิวตี้ สดได้นานขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์การเกษตรนิยมใช้การอบแห้งเพื่อลดความชื้นเป็นวิธีหนึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ และการทำแห้งด้วยตัวสารดูดความชื้น เช่น ซิลิกาทราย สามารถกำจัดความชื้นออกจากดอกบัวและทำแห้งใช้ระยะเวลา 7 วัน โดยสีและรูปทรงของดอกบัวมีความคล้ายกับดอกบัวสดมาก [2] เนื่องจากสารประกอบทางเคมีในซิลิกาทรายมีประสิทธิภาพในการกำจัดความชื้นออกจากดอกบัว แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นนานจึงจะทำให้ดอกบัวแห้งถึงระดับความชื้นที่ต้องการ [2], [3] ดังนั้นการนำวิธีการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศ (Vacuum Drying: VD) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งทำให้ลดระยะเวลาอบแห้งได้ เนื่องจากผลของสภาวะความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศมีผลต่อความดันไอน้ำในอากาศต่ำทำให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศและภายในวัสดุมากขึ้นส่งผลให้เกิดการถ่ายเทน้ำจากภายในมายังผิวของวัสดุที่เพิ่มขึ้น [2]

การอบแห้งวัสดุด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นแหล่งที่ให้ความร้อนกับวัสดุได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงการกระจายรังสีได้อย่างสม่ำเสมอทำให้ลดระยะเวลาในการอบแห้ง เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุผ่านเข้าสู่ภายในของผลิตภัณฑ์ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนมากขึ้น และทำให้น้ำซึ่งเป็นของเหลวอยู่ภายในวัสดุกลายเป็นไอน้ำเกิดการแพร่ออกไปยังผิวของผลิตภัณฑ์ [4], [5] และระเหยสู่ตัวกลางการอบแห้ง นอกจากนี้การนำเทคนิคสุญญากาศมาใช้ในการอบแห้ง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจังหวะ (Pulsed Vacuum Drying: PVD) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะความดันในห้องอบแห้งให้เกิดเป็นจังหวะระหว่างความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure, P_a) ลดลงต่ำลงเป็นความดันสุญญากาศ (Vacuum Pressure, P_v) มีผลให้ช่องว่างหรือรูพรุนขนาดเล็กเกิดการขยายกว้างขึ้นทำให้น้ำในวัสดุสามารถแพร่ออกมายังผิวได้ง่ายขึ้นและเพิ่มอัตราการอบแห้ง [6] ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของการอบแห้งดอกบัว พิงค์ บิวตี้ ด้วยเทคนิคสุญญากาศและสุญญากาศแบบจังหวะร่วมกับอินฟราเรดและการฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งเวลาในการอบแห้ง คุณภาพสีของดอกบัว และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบจิ้งหะ

เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบจิ้งหะร่วมกับอินฟราเรดตั้งรูปที่ 1 มีรายละเอียดต่าง ๆ คือ 1) ห้องอบแห้งทรงกระบอก วัสดุทำด้วย Stainless Steel เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm สูง 60 cm หุ้มด้วยฉนวนหนา 2 cm 2) ถาดวางผลิตภัณฑ์ขนาด กว้าง 30 cm x ยาว 30 cm x สูง 10 cm 3) หลอดอินฟราเรด Infrapara รุ่น A-1-220 ขนาด 250 W จำนวน 4 หลอด มีระยะห่างจากวัสดุอบแห้งประมาณ 20 cm 4) วาล์วปรับความดัน Pneumatic pressure รุ่น ADK11-15A-02C-AC200V ช่วงความดันที่ 0.02-1.0 MPa 5) มาตรวัดความดันแบบดิจิตอล (Panasonic รุ่น DP-100) อ่านค่าความดันช่วง -100 ถึง 100 kPa 6) ปั๊มสุญญากาศ (Busch-PB 0008 B) ขนาดมอเตอร์ 0.35 kW สร้างความดันสุญญากาศได้ถึง 0.2 kPa และเชื่อมต่อกับชุดควบคุม PLC Controller เพื่อสร้างความดันสุญญากาศแบบจิ้งหะ 7) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (PID temperature controller, Omron รุ่น E5CC) ทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งร่วมกับชุดควบคุม PLC โดยรับส่งสัญญาณด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K 8) ชุดควบคุมหลัก PLC (Mitsubishi รุ่น FX1s-20MT) รองรับค่าความละเอียดของอุณหภูมิ ± 0.01 °C สามารถโปรแกรมการทำงานด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นชุดควบคุมการสร้างความดันแบบจิ้งหะและอุณหภูมิในห้องอบแห้ง 9) Kilowatt hour meter วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากปั๊มสุญญากาศและอินฟราเรด ความละเอียด 0.01 kWh



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบจิ้งหะร่วมกับอินฟราเรด

2.2 วิธีการทดลอง

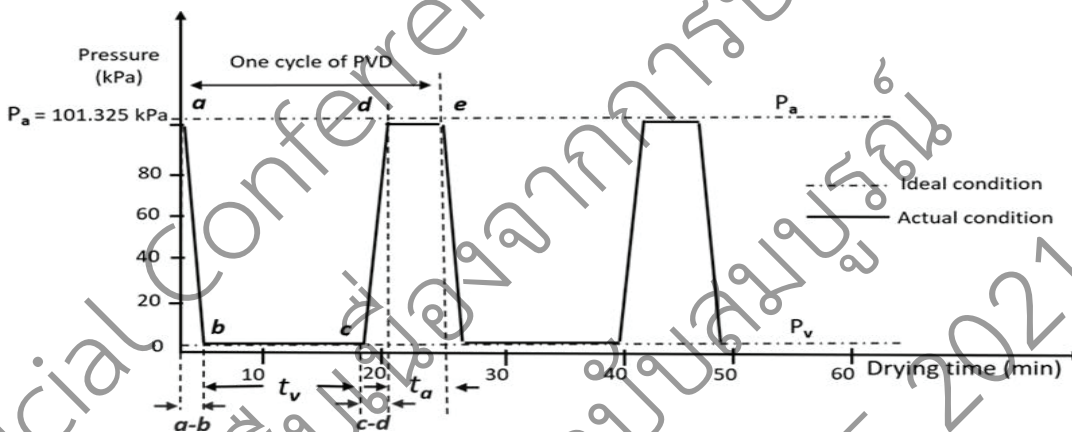
นำซิลิกาทรายไปอบแห้งไล่ความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 °C ระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อนำออกจากตู้อบลมร้อนทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของซิลิกาทรายเป็นปกติลดลงเหลือประมาณ 30 °C จากนั้นเตรียมดอกบัวที่จะนำมาอบแห้งโดยเลือกดอกบัวที่บ้านวันแรกเก็บในช่วงเวลา 9:00 น. และเลือกดอกบัวที่มีความกว้างของดอกประมาณ 8-10 cm แล้วตัดก้านดอกบัวตามแนวระนาบให้ก้านมีความยาวประมาณ 2.5 cm นำดอกบัวไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอล (ความละเอียด 0.01 g) เตรียมการฝัดกลบดอกบัวใช้ซิลิกาทรายประมาณ 1 kg เทใส่ภาชนะขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 20 cm ให้สูงประมาณ 2 cm นำดอกบัวมาวางหงายแล้วค่อย ๆ เทซิลิกาทรายกลบดอกบัวให้มิด โดยมี การอบแห้ง 2 วิธี ดังนี้

2.1.1 การอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศ (VD) และอินฟาเรดร่วมกับการฝึกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย นำภาชนะ ที่ฝึกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายวางลงในห้องอบแห้งโดยเปิดฝาภาชนะ ตั้งค่าอุณหภูมิใช้ในการอบแห้งที่ 40 และ 60 °C และตั้งค่าระบบการทำงานเป็นแบบสุญญากาศที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa บันทึกน้ำหนักของดอกบัวทุก 1 ชั่วโมง โดยนำดอกบัวออกจากซิลิกาทรายแล้วใช้ฟู่กันขนอ่อนค่อย ๆ ปัดซิลิกาทรายบริเวณก้นดอกออกให้หมด แล้วนำ ดอกบัวไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้น บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งด้วย Killowatt hour meter และ ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

2.1.2 การอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจังหวะ (PVD) และอินฟาเรดร่วมกับการฝึกลบซิลิกาทราย ขึ้นตอนเตรียมการอบแห้งทำเช่นเดียวกับข้อที่ 1 แต่เปลี่ยนการตั้งค่าการควบคุมความดันในห้องอบแห้งให้เป็นแบบ จังหวะด้วยอัตราส่วนคาบเวลา ที่เป็นช่วงความดันสุญญากาศต่อความดันบรรยากาศ ($t_v:t_a$) 12:2 นาที และ 15:4 นาที [6] แล้วทำการทดลองและบันทึกค่าน้ำหนักของดอกบัวและบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเหมือนกับข้อที่ 2.1.1

2.3 การทำงานของระบบสุญญากาศแบบจังหวะ



จุด a-b และ c-d คือ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนความดันจาก P_a เป็น P_v และ P_v เป็น P_a ตามลำดับ

รูปที่ 2 คาบเวลาแบบจังหวะของความดันสุญญากาศและบรรยากาศจากจุด a ถึง e

การทำงานของสุญญากาศแบบจังหวะ (PVD) แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2 คือ 1) เริ่มต้นการปรับ วาล์วความดันอยู่สถานะปิด การทำงานเริ่มจากจุด a-b ช่วงลดลงของความดันในห้องอบแห้งจากความดัน บรรยากาศ P_a (101.325 kPa) เปลี่ยนเป็นความดันสุญญากาศที่ต้องการ (P_v) 2) จุด b-c เป็นการรักษาความดัน สุญญากาศในห้องอบแห้งให้คงที่ ที่ความดัน P_v ตามระยะเวลา t_v 3) จุด c-d เป็นการเพิ่มความดันสุญญากาศจาก P_v เป็น P_a (101.325 kPa) อย่างรวดเร็วโดยการเปิดวาล์วความดัน ในขณะที่ปั๊มสุญญากาศหยุดการทำงาน 4) จุด d-e เป็นการรักษาความดันบรรยากาศคงที่ ที่ P_a ตามระยะเวลา t_a ซึ่งระบบ PVD จะทำงานจากจุด a-e ซ้ำหลาย รอบจนกว่าความชื้นของดอกบัวจะลดลงถึงความชื้นที่ต้องการ [6] โดย t_v คือ คาบเวลาความดันสุญญากาศเริ่มจาก จุด b-c และ t_a คือ คาบเวลาที่เป็นความดันบรรยากาศเริ่มจากจุด d-e (min)

2.4 การหาความชื้นของดอกบัว

นำดอกบัวสดไปชั่งน้ำหนัก (w) แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและที่อุณหภูมิ $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [7] เพื่อหาน้ำหนักแห้ง (d) แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง ดังสมการที่ (1)

$$MC = \frac{w - d}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.) w คือ น้ำหนักวัสดุสด (g) และ d คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง (g)

ในการศึกษานี้จะตั้งสมมุติฐานว่าความชื้นสมดุล (M_{eq}) มีค่าที่ต่ำมาก (ที่ความดันบรรยากาศ น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำ) เมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นเริ่มต้น (M_i) สามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio: MR) ของดอกบัวได้ ดังสมการที่ 2 [5]

$$MR = \frac{M_i}{M_m} \quad (2)$$

เมื่อ M_i คือ ความชื้นที่เวลาใดๆของดอกบัว (%d.b.) M_m คือ ความชื้นเริ่มต้นของดอกบัว (%d.b.)

2.5 การทดสอบคุณภาพสีของดอกบัว

การทดสอบคุณภาพสีของดอกบัว ด้วยการนำกลีบของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง ใช้กลีบดอกของชั้นในชั้นกลางและชั้นนอก แต่ละการทดลองใช้กลีบดอก 3 ตัวอย่าง ทำการวัดค่าสีโดยกำหนดจุดของการวัดเป็น 3 ตำแหน่ง คือ โคน กลาง และปลายกลีบ ด้วยเครื่อง 3HN รุ่น Portable colorimeter NH310 ระบบสีที่วัดได้ คือ CIE $L^*a^*b^*$ ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสีน้อยกว่า 0.04 (ΔE^*ab) ค่าความแม่นยำในการวัดซ้ำน้อยกว่า 0.07 (ΔE^*ab) ของค่าเฉลี่ย 30 ครั้งของการวัด ช่วงอุณหภูมิการวัด -10 ถึง $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 85% นำค่าสีที่วัดได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติและคำนวณหาความแตกต่างระหว่างสีของดอกบัวก่อนและหลังการอบแห้ง (ΔE) ดังสมการที่ (3) [8] เพื่อพิจารณาว่าสภาวะการอบแห้งใดจะมีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุด

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3)$$

เมื่อ ΔE คือ ความแตกต่างสี โดย L^* , a^* และ b^* คือ ค่าของสีของดอกบัวหลังอบแห้ง และ L_0^* , a_0^* และ b_0^* คือ ค่าของสีของดอกบัวสด

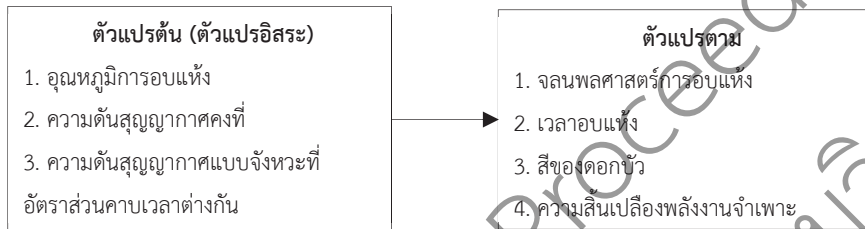
2.6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ของปั๊มสุญญากาศและอินฟราเรดต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากการอบแห้งดอกบัว [5] สามารถหาได้โดยใช้ค่าน้ำหนักก่อนและหลังอบแห้ง และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมมาคำนวณดังสมการที่ 4

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in} - m_f} \quad (4)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ($MJ/g_{\text{water evap.}}$) E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้อบแห้ง (kWh)
 m_{in} คือ น้ำหนักของวัสดุก่อนอบแห้ง (g) และ m_f คือ น้ำหนักของวัสดุหลังอบแห้ง (g) [2]

2.7 กรอบแนวคิดของการวิจัย

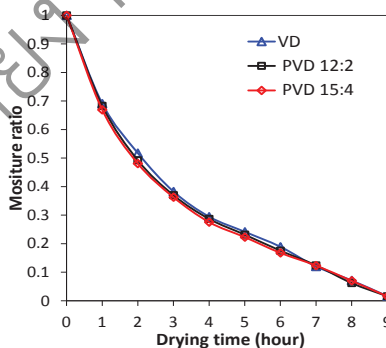


รูปที่ 3 กรอบแนวคิดของการวิจัย

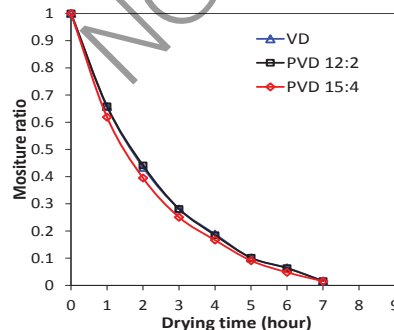
จากรูปที่ 3 กรอบแนวคิดของการวิจัยการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศและเทคนิคสุญญากาศแบบจังหวะร่วมกับอินฟราเรดและการฟุ้งกลีบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย ภายใต้ความดันสุญญากาศคงที่และความดันสุญญากาศแบบจังหวะที่อัตราส่วนคาบเวลาต่างกัน โดยมีสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องอบแห้งอย่างรวดเร็วระหว่างความดันสัมบูรณ์ 15 kPa กับความดันบรรยากาศ ตามช่วงเวลาที่เป้นความดันสุญญากาศ (t_v) กับความดันบรรยากาศ (t_a) ที่ 12:2 และ 15:4 นาที อาจมีผลต่อช่องว่างหรือรูพรุนขนาดเล็กภายในวัสดุเกิดการขยายตัวทำให้น้ำในวัสดุสามารถแพร่ออกมาได้ง่ายขึ้น ส่งผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งทำให้เวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง และการใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 และ 60 °C ซึ่งไม่สูงมาก จะทำให้ดอกบัวหลังการอบแห้งมีสีใกล้เคียงกับดอกบัวสด

3. ผลการวิจัย

3.1 การอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจังหวะร่วมกับอินฟราเรดต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัว



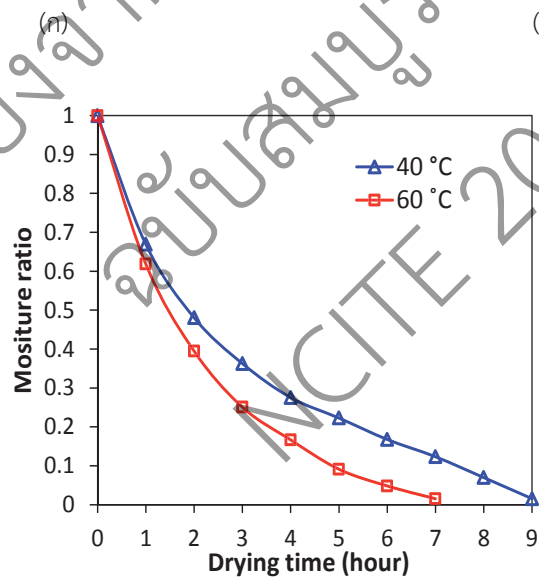
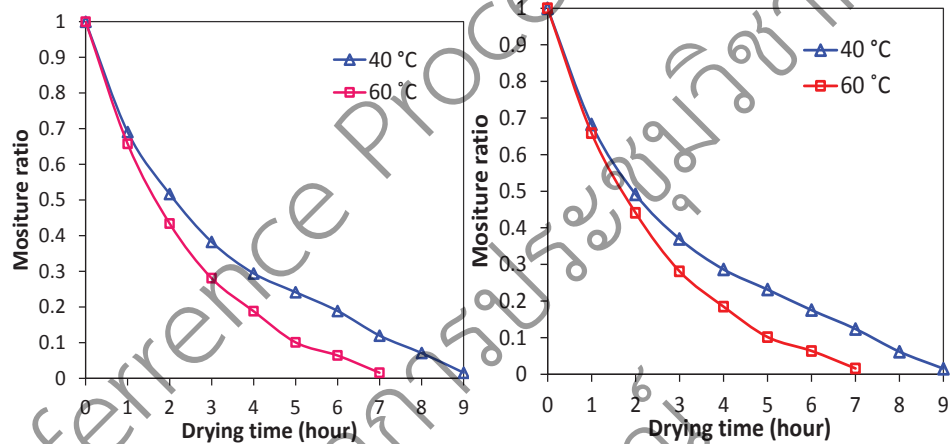
(ก) อุณหภูมิอบแห้ง 40 °C



(ข) อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C

รูปที่ 4 อัตราส่วนความชื้นของดอกบัว ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 และ 60 °C

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดอกบัว ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa อุณหภูมิอบแห้ง 40 และ 60 °C ดังรูปที่ 4 (ก) และ 4 (ข) ตามลำดับ พบว่าที่อบแห้งแบบ VD และ แบบ PVD อัตราส่วนคาบเวลา 12:2 และ 15:4 มีลักษณะการลดลงของอัตราส่วนความชื้นใกล้เคียงกัน โดยในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง อัตราส่วนความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วคิดเป็นร้อยละ 30.92-33.07 และ 34.16-38.15 ตามลำดับ อุณหภูมิอบแห้งจาก 40 และ 60 °C ตามลำดับ หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงความชื้นสุดท้ายประมาณ 13.36-13.90 %d.b. แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C แบบ PVD อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 อัตราส่วนความชื้นจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งแบบ VD และ PVD อัตราส่วนคาบเวลา 12:2 เล็กน้อย ดังรูปที่ 4 (ข)



รูปที่ 5 อัตราส่วนความชื้นของดอกบัวภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa (ก) แบบ VD (ข) แบบ PVD ที่อัตราส่วนคาบเวลา 12:2 และ (ค) แบบ PVD อัตราส่วนคาบเวลา 15:4

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดอกบัว ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa การอบแห้งแบบ VD และ PVD อัตราส่วนคาบเวลา 12:2 และ 15:4 ดังรูปที่ 5 พบว่าแนวโน้มของอัตราความชื้นลดลงเช่นเดียวกับ รูปที่ 4 และของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้ง 40 เป็น 60 °C ทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น สามารถลดเวลาอบแห้งได้ ประมาณ 2 ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 22.22

3.2 คุณภาพด้านสีของดอกบัว

ตารางที่ 1 คุณภาพสีของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง

วิธีการอบแห้ง		ความชื้น สุดท้าย (%d.b.)	L	a	b	ΔE
ดอกบัวสด		874.07	79.59±1.90 ^d	14.07±1.14 ^c	-6.47±0.40 ^a	N/A
อุณหภูมิอบแห้ง 40 °C	VD	13.97	75.17±3.27 ^a	14.56±5.22 ^c	-4.79±0.80 ^c	4.75
	PVD 12:2	13.52	76.19±1.67 ^{ab}	11.63±1.32 ^{ab}	-5.52±0.62 ^b	4.28
	PVD 15:4	13.71	78.61±1.44 ^c	11.58±1.06 ^{ab}	-3.64±0.13 ^{def}	3.89
อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C	VD	13.97	77.10±1.26 ^{ab}	12.03±1.33 ^{ab}	-4.23±0.58 ^d	3.92
	PVD 12:2	13.67	76.66±1.44 ^a	12.10±0.58 ^{ab}	-4.74±0.68 ^c	3.93
	PVD 15:4	13.36	77.93±1.48 ^{bc}	12.81±1.97 ^b	-3.79±1.04 ^d	3.40

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

สีของดอกบัวหลังอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa แบบ VD และ PVD อัตราส่วนคาบเวลา 12:2 และ 15:4 อุณหภูมิอบแห้ง 40 และ 60 °C ค่าความสว่าง (L) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วง 75.17-78.61 และ 76.66-77.93 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกับค่าความสว่างของดอกบัวสด (L=79.59) ซึ่งมีความสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าสีแดง (a) และสีน้ำเงิน (-b) มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะสีน้ำเงิน (-b) มีความแตกต่างกับดอกบัวสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งแบบ PVD อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 อุณหภูมิอบแห้ง 40 และ 60 °C มีค่าความแตกต่างโดยรวมของสีดอกบัวต่ำที่สุดโดยมีค่า 3.89 และ 3.40 ตามลำดับ

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จากตารางที่ 2 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ของการอบแห้งดอกบัวที่อุณหภูมิ 40 และ 60 °C ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa (VD) และความดันสัมบูรณ์แบบจิ้งหะ (PVD) พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 °C ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งเป็น 60 °C การอบแห้งแบบจิ้งหะ (PVD) อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด คือ 0.90 MJ/g_{Water evap.}

ตารางที่ 2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งดอกบัวที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

อุณหภูมิอบแห้ง	วิธีการอบแห้ง	SEC (MJ/g _{water-evap.})
40 °C	VD	1.34
	PVD 12:2	1.12
	PVD 15:4	1.34
60 °C	VD	1.53
	PVD 12:2	1.11
	PVD 15:4	0.90

4. การวิจารณ์และสรุป

การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศและอินฟราเรดรวมกับการฝังกลบซิลิกาทราย พบว่า ช่วงแรกของการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa ทั้งสุญญากาศแบบจิ้งหะ (PVD) และแบบสุญญากาศ (VD) อัตราส่วนความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 3 และ 4 เนื่องจากดอกบัวมีความชื้นสูงและซิลิกาทรายมีความชื้นต่ำ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอที่ผิวของดอกบัวและซิลิกาทรายมาก ความชื้นจึงถ่ายเทออกจากผิวดอกบัวได้ง่ายและถูกดูดซับด้วยซิลิกาทราย [2] และการเพิ่มอุณหภูมิในห้องอบแห้งจาก 40 เป็น 60 °C ทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นมีความลาดชันของเส้นกราฟมากขึ้น ความชื้นลดลงได้เร็วกว่าและใช้ระยะเวลาการอบแห้งดอกบัวที่สั้นกว่าดังรูปที่ 4 เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น และทำให้ความชื้นถ่ายเทออกจากผิวดอกบัวได้เร็วขึ้น นอกจากนี้การอบแห้งแบบ PVD ที่อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 มีความลาดชันของเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้นมากกว่าแบบ VD และแบบ PVD ที่อัตราส่วนคาบเวลา 12:2 ดังรูปที่ 3 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องอบแห้งจากความดันสุญญากาศ (P_v) เป็นความดันบรรยากาศ (P_a) และการเพิ่มระยะเวลาของอัตราส่วนคาบเวลา (t_d, t_a) ส่งผลต่อการขยายช่องว่างหรือรูพรุนระดับโมเลกุลภายในเนื้อวัสดุอบแห้งมีมากขึ้น ทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกสู่อากาศได้ง่ายขึ้นและมีผลต่ออัตราการขจัดความชื้นออกจากดอกบัวมากขึ้น [6], [8]

เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและคุณภาพด้านสีดังตารางที่ 1 และ 2 พบว่า การอบแห้งดอกบัวแบบ PVD ที่อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด คือ 0.90 MJ/g_{water evap.} และมีค่าความแตกต่างโดยรวมของสีดอกบัว (ΔE) ต่ำสุด คือ 3.40 เนื่องจากความชื้นของดอกบัวลดลงได้รวดเร็วและใช้เวลาอบแห้งที่สั้นลง [2], [6], [8] โดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 7 ชั่วโมง ซึ่งสามารถอบแห้งดอกบัวได้เร็วขึ้นคิดเป็นร้อยละ 95.83 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งดอกบัวแบบเดิม คือ การฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายเพียงอย่างเดียวต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 7 วัน (168 ชั่วโมง) จึงจะได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ [2], [3]

ดังนั้นการอบแห้งดอกบัว พัง บัวดี ด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจิ้งหะร่วมกับอินฟราเรด และการฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa อัตราส่วนคาบเวลา 15:4 อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกบัว โดยมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและค่าความแตกต่างโดยรวมของสีดอกบัวต่ำที่สุด

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 ควรศึกษาการอบแห้งดอกบัวสายพันธุ์อื่นที่มีสีและขนาดแตกต่างจากดอกบัว พิงค์ บิวตี้

5.2 ควรศึกษารอบอบแห้งของดอกบัวหลังการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบจังหวะร่วมกับอินฟราเรดและการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันบัวราชมงคล ตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] รัตนากร กฤษณชาญติ. การเปรียบเทียบบัวฝรั่งพันธุ์การค้าและพันธุ์ลูกผสมใหม่ใน 3 ฤดูการ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 2559; 47(2) : 321-4.
- [2] เกรียงศักดิ์ จันทะแสง จิรวัดน์ สิตรานนท์ ศรีมา แจ้คำ ญัฐหทัย แซ่ย่าง และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. จลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสารดูดความชื้น. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย ครั้งที่ 8; 1 มีนาคม พ.ศ. 2563; อาคารศูนย์ภาษาและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง. ราชบุรี; 2563. หน้า 1800-9.
- [3] มานะบุตร ศรียศค์ มั่นชานา บัวหนอง ณ นพชัย ชาญศิลป์ ภูรินทร์อัครกุลธร และเฉลิมชัย มงษ์อารี. คุณภาพของกลีบดอกบัวมั่งคลอเคลียที่ทำแห้งด้วยวิธีการอบไมโครเวฟพร้อมกับการฝักรอบในซิลิกาเจล. ในงานสัมมนาวิชาการการพัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจ ครั้งที่ 9; 21-23 ธันวาคม พ.ศ. 2554; โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน. เชียงใหม่; 2554. หน้า 28-33.
- [4] ญัฐธรัตน์ กิรติธาดาธนภัทร และประทีป ตุ่มทอง การอบแห้งองุ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศกับอินฟราเรด. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ นวัตกรรมและเทคโนโลยีวิชาการ ครั้งที่ 1; 25-26 ธันวาคม พ.ศ. 2560; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์. สุรินทร์; 2560. หน้า 983-986.
- [5] บรรจง ศักดิ์วีนิชฌ กมลวรรณ จิตจักร และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ อบแห้งปลาหมึกด้วยเทคนิคสุญญากาศกับรังสีอินฟราเรด. ในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11; 17-19 มิถุนายน พ.ศ. 2558; โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ. ชลบุรี; 2558 หน้า 686-695.
- [6] Zhang W, Pan Z, Xiao H, Zheng Z, Chen C, Gao Z. Pulsed vacuum drying (PVD) technology improves drying efficiency and quality of *Poria* cubes. Drying Technology Journal. 2018; 36(8): 908-21.
- [7] Association of Official Analytical Chemists (AOAC) Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Maryland: Gaithersburg; 2000.
- [8] Xie Y, Gao Z, Liu Y, Xiao. Pulsed Vacuum Drying of Rhizome *Dioscoreae* Slices. LWT-Food Science and Technology Journal. 2017; 80: 237-49.

การอบแห้งแป้งท้าวยายม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

Drying Arrow Root Starch by Solar Greenhouse

จินดา วิเศษ^{1*} กมลวรรณ จิตจักร² และ กิตติศักดิ์ วิธินันทิกิต³

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก^{1*,2,3}

Jinda Vises^{1*} Kamonwan Jitjack² and Kittisak Witinantakit³

School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok^{1*,2,3}

E-mail : visesda@gmail.com^{1*}, kamonwan_ji@rmutto.ac.th², k_yong28@hotmail.com³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแป้งท้าวยายม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการเปรียบเทียบระบบการอบแห้ง 3 ระบบ คือ ระบบที่ 1 เป็นการอบแห้งแบบปิดพัดลมระบบบายอากาศ ระบบที่ 2 เปิดพัดลมระบบบายอากาศ 1 ตัว และระบบที่ 3 เปิดพัดลมระบบบายอากาศ 2 ตัวโดยใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ามาจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งกับตัวโรงเรือน จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแป้งท้าวยายม่อม ด้วยโรงเรือนอบแห้งระบบที่ 2 และระบบที่ 3 ใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่า มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) น้อยกว่า คือ 0.563 และ 0.511 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ คุณภาพด้านสีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ : การอบแห้ง โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แป้งท้าวยายม่อม

Abstract

This research was aimed to compare the drying efficiency of three drying systems for arrowroot starch in a solar greenhouse including System 1(a closed drying or natural convection) System 2 (one ventilation fan on), and System 3 (two ventilation fans on). All ventilating fans were powered by solar cells installed on the roof of the solar greenhouse. The results revealed that arrowroot starch drying in System 2 and System 3 obviously took less time with the free water content (a_w) under the criteria at 0.563 and 0.511 respectively. As a result, microorganisms were not able to grow. There were no significant differences in color quality ($p < 0.05$).

Keywords : Drying, Greenhouses Drying, Arrow-root

1. บทนำ

เท้ายายม่อม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tacca Leontopeta Loides (L.) Kuntze* ชื่อสามัญ คือ Thahiti Arrowroot เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุหลายปี จัดเป็นพืชในวงศ์เดียวกับต้นกลอย มีเขตกระจายพันธุ์ อยู่ในแถบแอฟริกา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หมู่เกาะแปซิฟิก และออสเตรเลีย มักเจริญเติบโตอยู่ใต้ร่มไม้ในป่าดิบแล้ง ป่าผลัดใบ หรือตามป่า ปัจจุบันมีต้นเท้ายายม่อมเหลืออยู่น้อยมาก เนื่องจากมีการใช้แป้งที่ได้จากมันสำปะหลังมาใช้ทดแทนได้ แต่ทั้งนี้แป้งที่ได้จากหัวเท้ายายม่อมมีคุณสมบัติดีกว่า เช่น ทำให้อาหารมีความเหนียวและใสเป็นมันวาวดีกว่าแป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง จึงนิยมนำมาผสมลงไปแป้งชนิดต่าง ๆ เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งถั่วเขียว แป้งเผือก แป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น [1]

การผลิตแป้งจากหัวเท้ายายม่อม ชาวบ้านมีกรรมวิธีในการผลิตแป้ง ซึ่งมีหลายขั้นตอน กว่าจะได้มาเป็นแป้งนำมาประกอบเป็นอาหารนั้นจะต้องผ่านกระบวนการสุดท้ายคือตากแดดตามธรรมชาติ หลังจากตากแดด ประมาณ 2-3 วัน จนมีความชื้นเหลือประมาณ 20 % d.b. ก็จะได้แป้งเท้ายายม่อม หากแสงแดดมีความเข้มข้นจะทำให้แป้งเหม็นเปรี้ยว ถ้าตัวแป้งยังมีน้ำแฉะอาจจะทำให้เกิดเชื้อราภายหลังได้ อีกทั้งกระบวนการตากแดดซึ่งถือเป็นกระบวนการดั้งเดิมของเกษตรกร อาจจะมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก เชื้อโรคต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละอองแมลงต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายได้ การนำเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ ในการอบแห้งวัสดุทางการเกษตร นับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ นอกจากจะช่วยป้องกันแมลง และฝุ่นละอองแล้วยังสามารถอบแห้งวัสดุได้เร็วกว่าการตากแดดอีกด้วย [2], [3] ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพของแป้งเท้ายายม่อม งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพของโรงเรือนอบแห้งและคุณภาพของแป้งหลักการอบแห้ง คือ สี ปริมาณน้ำอิสระ ของแป้งเท้ายายม่อมหลังอบแห้ง

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

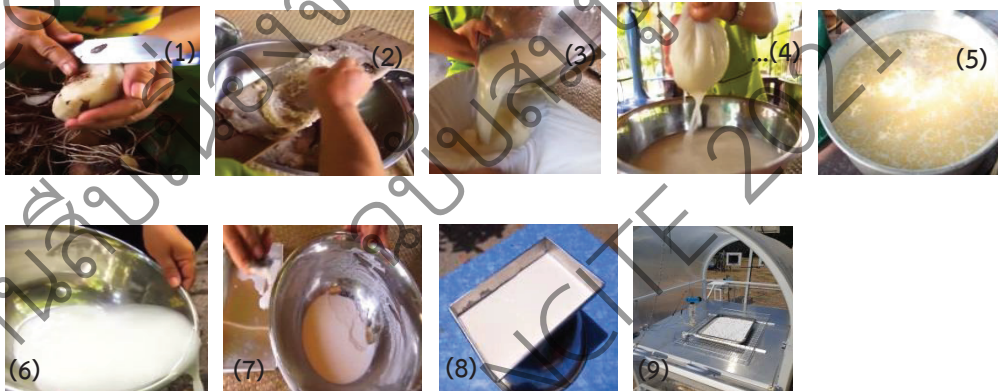
โรงเรือนอบแห้งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมหลังคาโค้ง ดังรูปที่ 1 ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) $1.04 \times 1.25 \times 0.83$ เมตร ปกคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตชนิดใส ประตูทางเข้าทำจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 0.5 มิลลิเมตร พื้นโรงเรือนทำจากแผ่นอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร ภายใต้พื้นปูด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการนำความร้อนจากภายในโรงเรือนสู่บรรยากาศภายนอก มีช่องอากาศเข้าด้านหน้า จำนวน 2 ช่อง โดยมีแผ่นฟิลเตอร์กรองฝุ่นละอองจากด้านบน ส่วนด้านหลังมีพัดลมระบายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 3 วัตต์ จำนวน 2 ตัว โดยเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 1 แผง พร้อมชุดควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งในระบบใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ใช้สำรองไฟฟ้าในกรณีที่โซลาร์เซลล์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในวันที่แสงแดดมีความเข้มข้นต่ำ



รูปที่ 1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 วิธีการทดลอง

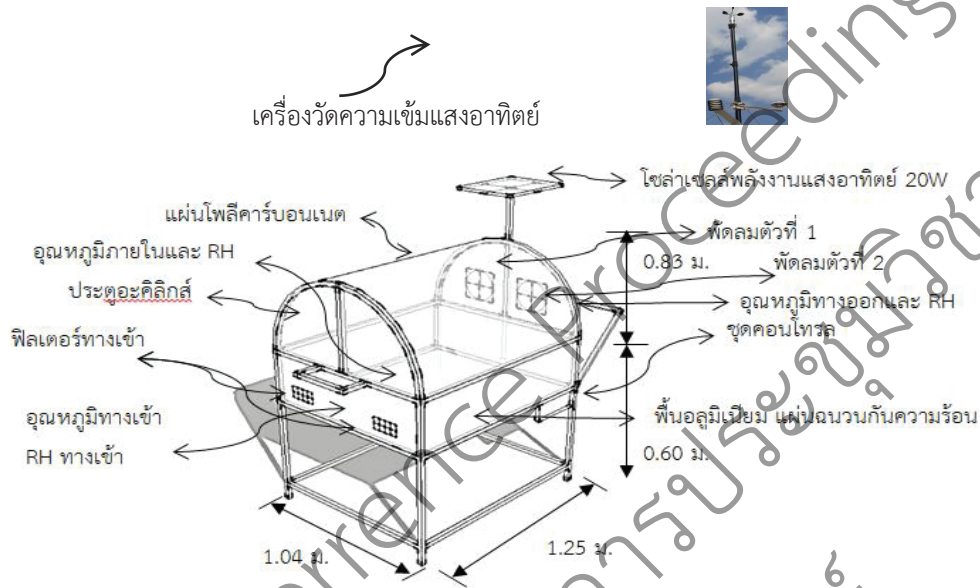
2.1 เตรียมน้ำแป้งเท้ายายม่อม เริ่มจากการนำหัวมาล้างน้ำสะอาดแล้วมาปอกเปลือกออก (1) ล้างน้ำให้สะอาดแล้วแช่น้ำทิ้งไว้ และนำมาปั่นหรือขูด ในขณะที่ขูดจะใช้ไม้ขูดน้ำแป้งลงในอ่าง (2, 3) มีทั้งน้ำและเนื้อของเท้ายายม่อมอยู่ในนั้น แล้วเทใส่ฟักรองเอาน้ำออก ทำ 2 - 3 รอบ ใช้มือขยี้จนแป้งแยกออกจากกาก (4, 5, 6) นำน้ำแป้งที่แยกได้วางทิ้งไว้ 1 คืน ให้น้ำแป้งตกตะกอนแล้วเทน้ำสีเหลือง ๆ ที่ลอยอยู่ข้างบนทิ้ง โดยให้ทำเช่นนี้ประมาณ 3 - 4 ครั้ง จนน้ำที่สอยอยู่ด้านบนแป้งเป็นสีใส โดยทำการเตรียมน้ำแป้งเหมือนกันทุกครั้งให้น้ำแป้งหรือแป้งเปียกที่พร้อมจะทำการอบแห้งหรือตากแดด



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำน้ำแป้งเท้ายายม่อมและการทดลอง (1) การปอกหัวแป้ง (2) การขูดหัวแป้งเท้ายายม่อม (3-4) การล้างกรองน้ำแป้งเท้ายายม่อม (5) การตกตะกอน (6) รินน้ำออกที่เหลืองเป็นแป้ง (7) แป้งชั้นใส (8) ตากแดดให้แห้ง (9) แป้งอบแห้งในโรงเรือน

2.2 ทำการทดลองอบแห้งในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบที่ 1 คือ โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการพาความร้อนธรรมชาติ โดยไม่มีการเปิดพัดลมระบายอากาศระหว่างการอบแห้ง ระบบที่ 2 คือ โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการพาความร้อนแบบบังคับ โดยการเปิดพัดลมระบายอากาศ 1 ตัว มีความเร็วลม 1.8 m/s และระบบที่ 3 โดยการเปิดพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว ความเร็วลม 1.8 และ 2.2 m/s

ซึ่งติดตั้งพัดลมไว้ด้านหลังของโรงเรือน ทั้งนี้ ทั้ง 3 ระบบได้ทำการเปรียบเทียบกับ การตากแดด โดยนำแป้งที่ได้จากการเตรียมแป้งแล้ว ดังรูปที่ 2 (7) ใส่ถาดตากแดด ดังรูปที่ 2 (8) และนำอีกถาดนำเข้าโรงเรือนดังรูปที่ 2 (9) การทดลองเหมือนกันทุกระบบ คือ การนำแป้งเปียกใส่ถาดครั้งละ 1 กิโลกรัม จำนวน 2 ถาด วางภายในโรงเรือนและนอกโรงเรือนหรือตากกลางแจ้ง



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความเข้มรังสีอาทิตย์

2.3 ทำการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มต้นทำการทดลองตั้งแต่เวลา 08:00 - 18:00 น. หรือจนกว่าน้ำหนักแป้งจะไม่ลดลง พร้อมเก็บค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือน อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิตำแหน่งทางเข้าและทางออกของโรงเรือน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในและนอกโรงเรือน ความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งตำแหน่งการวัดต่าง ๆ แสดงดังในรูปที่ 3 หาค่าความชื้นก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง โดยการนำตัวอย่างแป้งเข้ามายอบอบแห้งภายในตู้อบลมร้อนโดยตั้งอุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [4] แล้วนำน้ำหนักแห้งไปคำนวณหาปริมาณความชื้น (Moisture content) ดังสมการที่ (1) [5]

$$MC = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.) w คือ น้ำหนักของแป้งที่เข้ามายอบที่เวลาใด ๆ (g) d คือ น้ำหนักแห้งของแป้งที่เข้ามายอบ (g)

2.4 ทำการเก็บตัวอย่างแป้งที่เข้ามายอบหลังการอบแห้ง มาหาทำการหาค่าปริมาณน้ำอิสระ และวัดค่าสี

2.3 ประสิทธิภาพทางความร้อนระบบอบแห้ง

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง เป็นอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานที่ให้กับระบบอบแห้ง คำนวณได้ดังสมการที่ (2) [6]

$$\eta_{th} = \frac{(m_i - m_f) \cdot h_{fg}}{(A_c \cdot I_t + W_f) \cdot t} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบโรงเรือนอบแห้ง (%) m_i คือ มวลของแป้งเท้ายายม่อมก่อนการอบแห้ง (kg) m_f คือ มวลของแป้งเท้ายายม่อมหลังการอบแห้ง (kg) h_{fg} คือ พลังความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอของ (Wh/kg) เท่ากับ 671.83 Wh/kg (2,418.60 kJ/kg) ที่อุณหภูมิทางออกของเครื่องอบแห้ง 35 °C ซึ่ง 1 kWh = 3.6 MJ) A_c คือ พื้นที่โรงเรือนที่รับรังสีอาทิตย์ (m^2) I_t คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือน (W/m^2) และ t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h) W_f คือ พลังงานไฟฟ้าของพัดลมระบายอากาศ (W)

2.4 การวัดคุณภาพด้านสี

ทดสอบคุณภาพสีของแป้งเท้ายายม่อมด้วยเครื่อง Portable Colorimeter 3NH รุ่น NH310 มาตรฐานชนิดแหล่งกำเนิดแสง D65 เป็นการทดสอบสีแบบ C.I.E. โดยมีผลการวัดแสดงเป็น L a b เมื่อ L คือ ค่าความสว่าง a คือ ค่าสีแดง-สีเขียว และ b คือ ค่าสีเหลือง - สีนํ้าเงิน โดยจะทำการวัดสีแป้งเท้ายายม่อม ก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ และเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ แล้วนำค่าสีที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ และคำนวณหาค่าความแตกต่างกันของสีโดยรวมตั้งสมการที่ (3) [7]

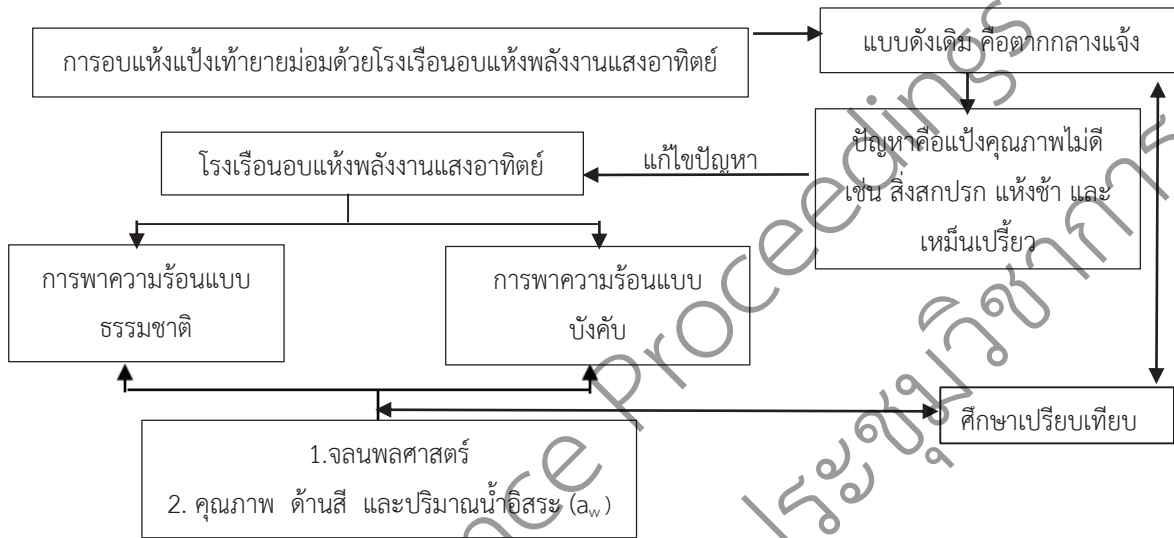
$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (3)$$

โดยที่ ΔE คือ ความแตกต่างกันของสีโดยรวม ΔL คือ ความแตกต่างของความสว่างก่อนและหลังอบแห้ง Δa คือ ความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงสีเขียว Δb คือ ความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน

2.5 การหาปริมาณน้ำอิสระ

วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, a_w) เป็นดัชนีที่ใช้ชี้วัดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยนำตัวอย่างของแป้งเท้ายายม่อมหลังจากการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ใส่ลงในถ้วยพลาสติก และใส่ตัวอย่างลงในเครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระรุ่น AQUALAB PRE ความแม่นยำ ± 0.001 อ่านค่าปริมาณน้ำอิสระที่วัดได้ แล้วทำการบันทึกผล

2.6 กรอบแนวคิดของการวิจัย



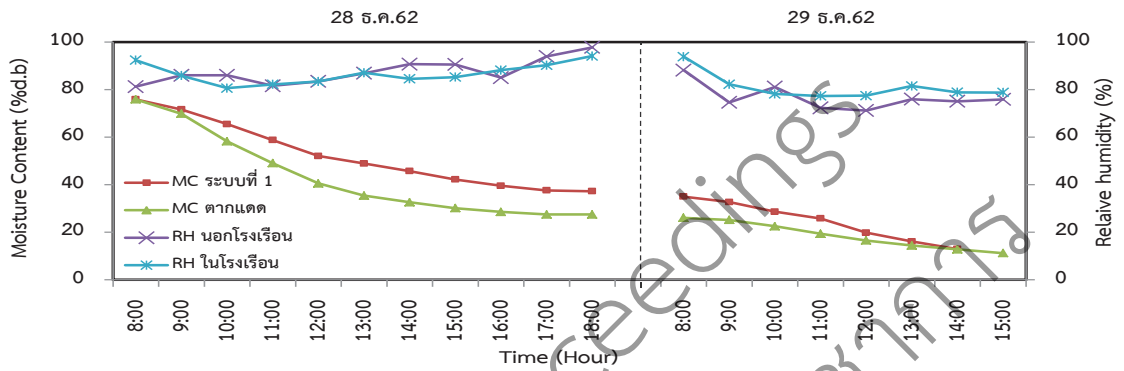
รูปที่ 4 กรอบแนวความคิดในการทำวิจัย

โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแนวทางการแก้ปัญหาเรื่องของการตากแห้งแบ่งเท้าชาย่อมของชาวบ้าน ซึ่งเกิดปัญหาด้านคุณภาพและระยะเวลาการอบแห้ง ดังนั้นจึงได้ทำการสร้างโรงเรือนขึ้นมาเฉพาะให้มีขนาดพอเหมาะกับการใช้งาน เคลื่อนย้ายได้สะดวก และทำการศึกษารูปแบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติคือไม่เปิดพัดลม กับการพาความร้อนแบบบังคับคือเปิดพัดลม แบบ 1 ตัวและ 2 ตัว โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทั้งสองระบบกับการตากแดดแบบเก่าของชาวบ้าน เพื่อให้ได้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับการอบแห้งแบ่งเท้าชาย่อมต่อไป

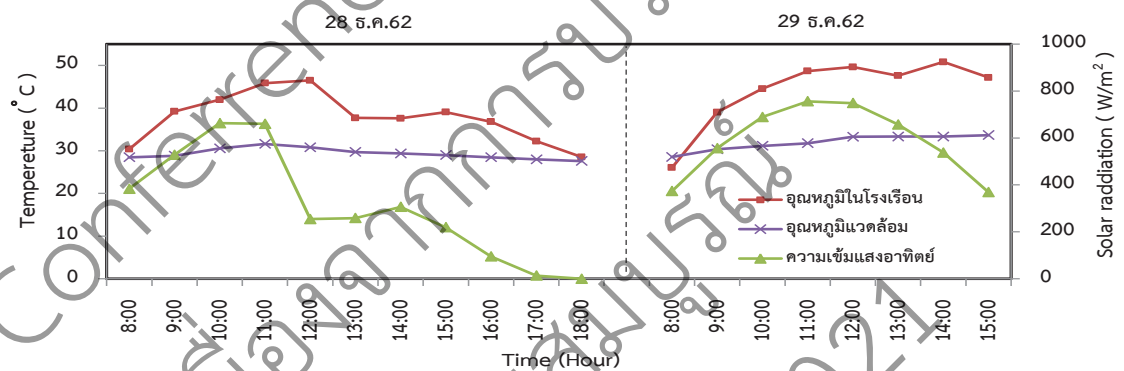
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดลองอบแห้งแบ่งเท้าชาย่อมระบบที่ 1

จากการผลการทดลอง วันที่ 28-29 ธันวาคม พ.ศ. 2562 ในการอบแห้งแบ่งเท้าชาย่อมระบบที่ 1 แบบไม่เปิดพัดลม พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 436.90 W/m^2 อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 32.08°C อุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าเฉลี่ย 40.99°C สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในต่ำที่สุดอยู่ที่ 69.07% แสดงดังรูปที่ 5-6 สามารถลดความชื้นแบ่งเท้าชาย่อมจาก $75.90\% \text{ d.b.}$ จนเหลือความชื้น $28.77\% \text{ d.b.}$ เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบ่งเท้าชาย่อมภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตากแดดใช้เวลา 2 วัน เท่ากัน ซึ่งเหลือความชื้นสุดท้ายของแบ่งเท้าชาย่อมที่ตากแดดภายนอกโรงเรือนเฉลี่ย $10.33\% \text{ d.b.}$ ดังรูปที่ 5 แสดงว่าการตากแดดภายนอกโรงเรือนสามารถอบแห้งแบ่งเท้าชาย่อมได้เร็วกว่าการอบแห้งภายในโรงเรือน โดยที่ไม่มีเปิดพัดลมระบายอากาศ



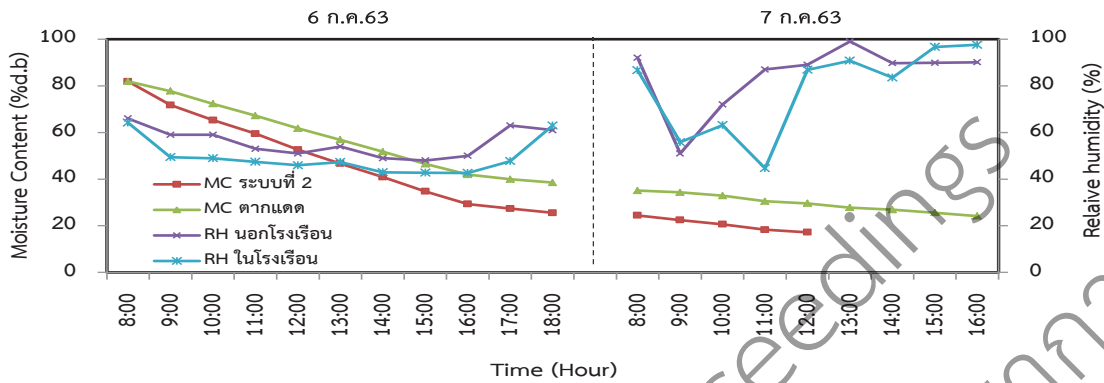
รูปที่ 5 ความชื้นที่ลดลงตามเวลาของแป้งเท้ายายม่อม ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่เปิดพัดลมเปรียบเทียบกับตากแดด



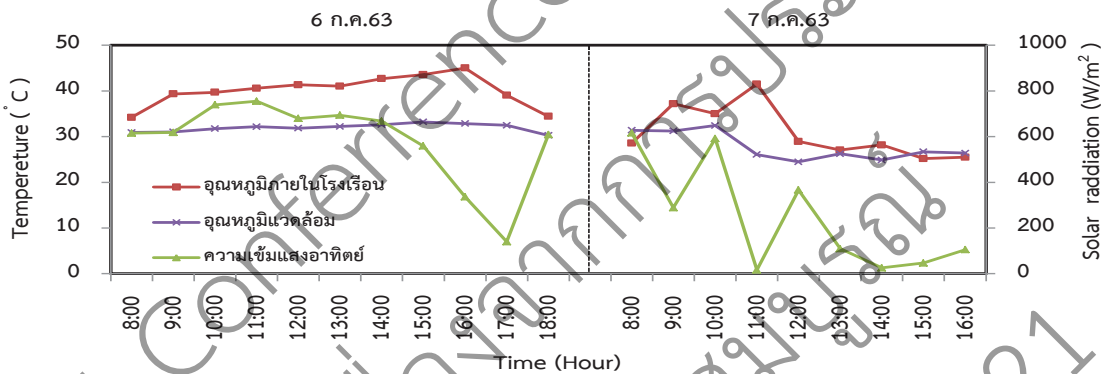
รูปที่ 6 อุณหภูมิภายในโรงเรือน อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของระบบที่ 1

3.2 ผลการทดลองอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมระบบที่ 2 โดยการเปิดพัดลมระบายอากาศเพียง 1 ตัว

ระบบที่ 2 เปิดพัดลม 1 ตัว มีความเร็วลมเฉลี่ย 1.8 m/s ทดลอง ในช่วงวันที่ 6-7 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งในวันที่ 7 กรกฎาคม มีฝนตกเล็กน้อยช่วงเวลา 11:00-13:30 น. หลังจากนั้นท้องฟ้าแจ่มใส โดยมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 441.25 W/m² อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 30.14 °C อุณหภูมิภายในเฉลี่ย 36.34 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในต่ำที่สุดอยู่ที่ 39.79% แสดงดังรูปที่ 7-8 สามารถลดความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยจาก 81.89% d.b. จนเหลือความชื้นเฉลี่ย 19.92% d.b. ได้ภายในระยะเวลา 2 วัน สามารถอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตากแดด ซึ่งเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 24.87% d.b.



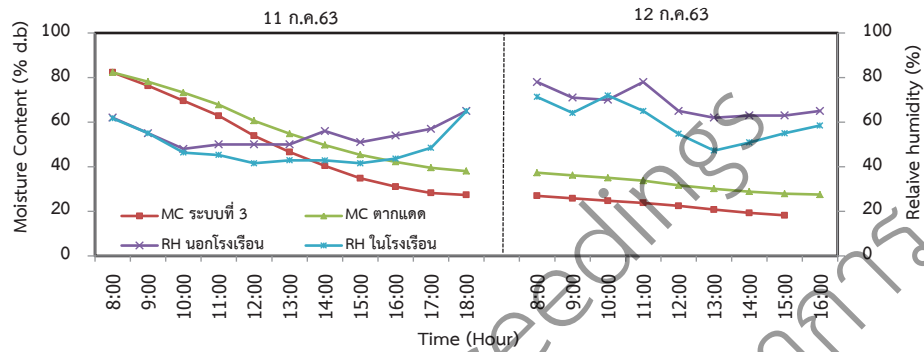
รูปที่ 7 ความชื้นที่ลดลงตามเวลาของแป้งเท้ายายม่อม ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบที่ 2 เปรียบเทียบกับการตากแดด



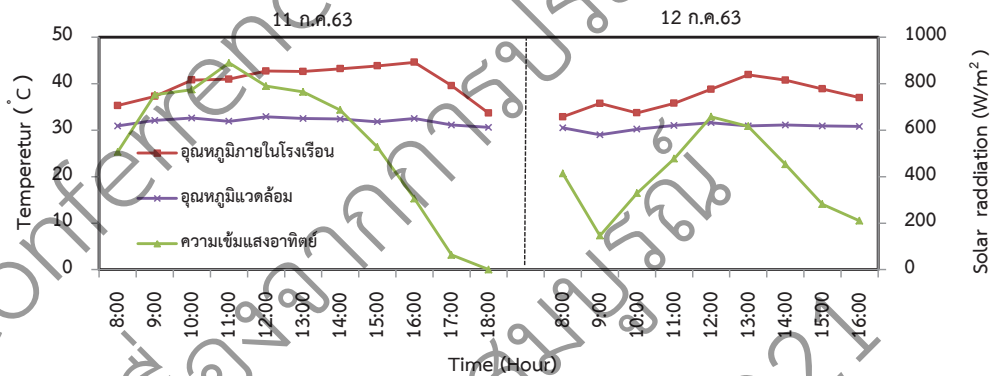
รูปที่ 8 อุณหภูมิภายในโรงเรือน อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของระบบที่ 2

3.3 ผลการทดลองอบแห้งระบบที่ 3 โดยการเปิดพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว

ระบบที่ 3 เปิดพัดลม 2 ตัว มีความเร็วลมเฉลี่ย 1.8 และ 2.2 m/s ผลการทดลองวันที่ 11-12 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 ท้องฟ้าแจ่มใส มีแสงแดดตลอดทั้งวัน โดยมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 488.76 W/m² อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 31.39°C อุณหภูมิภายในเฉลี่ย 39.13°C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในต่ำที่สุดอยู่ที่ 41% แสดงดังรูปที่ 9-10 สามารถลดความชื้นแป้งเท้ายายม่อมจาก 82% d.b. จนเหลือความชื้นเฉลี่ย 12.47% d.b. ได้ภายในระยะเวลา 2 วัน ซึ่งสามารถอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมได้เร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การตากแดดในช่วงเวลาการทดลองเดียวกัน ซึ่งเหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 23.26% d.b.



รูปที่ 9 ความชื้นที่ลดลงตามเวลาของแป้งเท้ายายม่อม ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบที่ 3 เปรียบเทียบกับการตากแดด



รูปที่ 10 อุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของระบบที่ 3

3.4 ปริมาณน้ำอิสระ

จากผลการทดสอบค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, a_w) ของแป้งเท้ายายม่อมหลังการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบที่ 1 มีค่าสูงกว่าระบบที่ 2 และระบบที่ 3 คือมีค่า 0.813 0.563 และ 0.511 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำอิสระในระบบที่ 2 และ ระบบที่ 3 มีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [8] โดยส่งผลให้อายุการเก็บรักษายาวนานยิ่งขึ้น การอบแห้งในโรงเรือนอบแห้งที่ใช้ระบบเปิดพัดลมช่วย ทำให้การคายความชื้นได้ดีกว่าการตากแดดและระบบที่ไม่เปิดพัดลมช่วย

3.5 ประสิทธิภาพทางความร้อน

จากการอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 3 ระบบ ได้ค่าอุณหภูมิอบแห้ง ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมด้วยโรงเรือนทั้ง 3 ระบบ ซึ่งมีค่าอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงกว่าสิ่งแวดล้อม ทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยลง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบที่ 1, 2 และ 3 คิดเป็นร้อยละ 2.76 และ 3.04 และ 2.11 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ตัวแปร	โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์		
	ระบบที่ 1 ไม่เปิดพัดลม	ระบบที่ 2 เปิดพัดลม 1 ตัว	ระบบที่ 3 เปิดพัดลม 2 ตัว
Average T_{in} ($^{\circ}C$)	40.99	36.34	39.13
Average RH_{in} (%)	83.07	60.77	56.40
Average I_t (W/m^2)	436.90	441.25	488.76
Air Velocity (m/s)	-	1.8	1.8, 2.2
MC (%d.b) สุดท้าย	28.77	19.92	12.47
Water activity (a_w)	0.813	0.563	0.511
Drying time (hr)	17	14	17
η_{th} (%)	2.76	3.04	2.11

3.6 คุณภาพด้านสี

ผลการวัดค่าสีของแป้งเท้ายายม่อมหลังจากการอบแห้ง ภายในโรงเรือนทั้ง 3 ระบบกับการตากแดด ดังตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่า แป้งเท้ายายม่อมที่อบแห้งด้วยระบบโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบที่ 3 เปิดพัดลม 2 ตัว มีค่าความสว่าง ($L = 91.22$) ใกล้เคียงกับค่าสีแป้งเท้ายายม่อมก่อนการอบแห้ง ($L = 91.12$) มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบที่ 1 และระบบที่ 2 เปิดพัดลม 1 ตัว และค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) มีค่าลดลง ใกล้เคียงกันทุก ๆ วิธีการทดลองโดยไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า การอบแห้งในโรงเรือนแสงอาทิตย์ระบบที่ 3 มีความแตกต่างของสีโดยรวมต่ำที่สุด คือ 2.06

ตารางที่ 2 คุณภาพด้านสีของแป้งเท้ายายม่อมก่อนและหลังการอบแห้ง

วิธีการ	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	ΔE
ก่อนการอบแห้ง	91.12	0.55	3.77	N/A	N/A	N/A	N/A
ตากแดด	94.56 \pm 1.54 ^a	0.02 \pm 0.07 ^a	1.74 \pm 0.26 ^a	3.44	0.53	2.03	4.03
ระบบที่ 1 ไม่เปิดพัดลม	92.77 \pm 1.71 ^b	0.00 \pm 0.08 ^a	1.71 \pm 0.26 ^a	1.65	0.55	2.05	2.69
ระบบที่ 2 เปิดพัดลม 1 ตัว	96.00 \pm 1.81 ^b	0.07 \pm 0.09 ^a	1.81 \pm 0.30 ^a	4.88	0.48	1.96	5.28
ระบบที่ 3 เปิดพัดลม 2 ตัว	91.22 \pm 1.76 ^b	0.08 \pm 0.12 ^a	1.76 \pm 0.34 ^a	0.10	0.47	2.01	2.06

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษร a และ b ที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4. การวิจารณ์และสรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทดลอง การอบแห้งแป้งเท้าขยำม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์รูปทรงหลังคาโค้ง เพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความชื้นที่ลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหลังการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าวิธีการไหลเวียนของอากาศแบบบังคับ โดยการเปิดพัดลมระบายอากาศ สามารถลดความชื้นของแป้งเท้าขยำม่อมได้ดีและเร็วกว่าวิธีการไหลเวียนของอากาศแบบธรรมชาติ ซึ่งระบบที่ 2 และ 3 ค่าความชื้นสุดท้ายมีค่า 19.92 และ 12.47 % d.b. ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าเหลือเพียง 0.563 และ 0.511 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ [9]

5. ข้อเสนอแนะ

การเพิ่มระบบควบคุมอัตโนมัติควบคุมการทำงานของพัดลม ระบายอากาศทำงาน เมื่อความชื้นในโรงเรือนมีความชื้นสูง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิติพร ฤทธิเรืองเดช ธงชัย สุวรรณลิขิต ณ วิชัย หฤทัยธนาสินธุ์ และกล้าณรงค์ ศรีรอด. พฤติกรรมด้านความชื้นและคุณสมบัติทางกลของแป้งเท้าขยำม่อม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41; 3-7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 2546. หน้า 53-60.
- [2] พิมพ์พรรณ ปรี่องาม ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และวัชรพล ชยประเสริฐ. การประยุกต์ใช้โรงเรือนปลูกพืชสำหรับอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2562; 21(3): 25-33.
- [3] สราวุฒิ แนบเนียร เพ็ญพร นิ่มนวล และอรอนงค์ เสนาะจิต. การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน. วารสารบริการวิชาการสถาบันอุดมศึกษาไทยรับใช้สังคม. 2563; 1(1): 19-35.
- [4] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official's Analytical Chemists. Virginia; 2000.
- [5] ศรีมา แจ้คำ และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. จลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยเทคนิคไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต. 2562; 9(3): 201-17
- [6] วสันต์ จินธาดา บัญญัติ นิยมवास และอนเนก ไทยกุล. การทดลองศึกษาสภาวะการอบแห้งปลาของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการเปิด-ปิดช่องระบายอากาศ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2561; 28 (3): 525-36.

- [7] ณัฐดนัย กาญจนาต อภิชาติ เครือแก้ว พิสุทธิ์ แซ่ซัง และภูมิใจ สอาดโอม. ผลของระดับความเร็วอากาศร้อนต่อการอบแห้งมะเขือเทศเชื่อมด้วยระบบสายพานลำเลียงร่วมกับอากาศร้อน. วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร. 2561; 12(1): 1-13.
- [8] ณัฐวัฒน์ วิสัยพรม ณัฐ กาศยปนนท์ และวสันต์ พลาคัย. การศึกษาการเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งกึ่งด้วยการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและการอบแห้งแบบอากาศร้อน. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์. 2562; 11(1): 83-94.
- [9] Erickson L.E. Recent developments in intermediate moisture foods. *Journal of Food protection*; 45(5): 484-91.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนพัลส์ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศ
ร่วมกับอินฟราเรดไกล

Effect of Temperature and Pulsed Ratio on Ginger Drying Using Pulsed Vacuum
Techniques-Combined with Far-Infrared

วีระพันธ์ มานันตพงษ์^{1*} และ กิตติศักดิ์ วิธินันทakit²

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก^{1*, 2}

Weeraphan Manantaphong¹ and Kittisak Witinantakit²

School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok^{1*, 2}

E-mail: qatar@hotmail.co.th^{1*}, k_yong28@hotmail.com²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกล โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C 60°C และ 70 °C ความดันสัมบูรณ์คงที่ 10 kPa และความดันสัมบูรณ์ 10 kPa ที่อัตราส่วนพัลส์ 10:4 และ 15:4 จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งและอัตราส่วนพัลส์สูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว สดระยะเวลาการอบแห้ง และทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงด้วย ดังนั้นการอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกลที่อัตราส่วนพัลส์ 15:4 และอุณหภูมิอบแห้ง 70 °C สามารถอบแห้งซึ่งได้เร็วที่สุดโดยใช้เวลา 210 นาที ให้ความชื้นสุดท้าย 10.71 %d.b. และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด 21.20 MJ/kg_{water-evap.}

คำสำคัญ : จลนศาสตร์การอบแห้ง ซึ่ง สุญญากาศแบบพัลส์ อินฟราเรด

Abstract

This research aimed to study of drying kinetic of slice ginger by pulsed vacuum combined with far infrared technique. Ginger were dried at absolute pressure at 10 kPa, pulsed ratios were 10:4 and 15:4 and drying temperature at 40, 50 and 60°C. The result shown that increasing of drying temperature and pulse ratio affected to moisture content was decreased sharply, drying time and specific energy consumption were decreased. Therefore, the drying of ginger using pulsed vacuum combined far-infrared technique at a pulse ratio of 15:4 and drying temperature of 70°C was achieved the fastest, with a drying time of 210 minutes, final moisture content at 10.71 %d.b. and the lowest specific energy consumption at 21.20 MJ/kg_{water evap.}

Keywords : Drying Kinetic, Ginger, Pulsed Vacuum, Infrared

1. บทนำ

สมุนไพรเป็นพืชที่ตลาดโลกมีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี นับเป็นโอกาสสำคัญในการสร้างรายได้และผลตอบแทนที่มั่นคงให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการ รัฐบาลให้ความสำคัญกับการปลูกและการผลิตสินค้าสมุนไพรให้มีคุณภาพระดับสากล เพราะเล็งเห็นศักยภาพในการเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้ประเทศ ทุกวันนี้สมุนไพรถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม อาทิ อาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง และยารักษาโรค ดังนั้นตลาดสมุนไพรจึงเป็นตลาดที่มีการเติบโตสูงอย่างต่อเนื่องและยังมีคู่แข่งน้อยราย โดยสมุนไพรที่ได้รับความนิยมระดับ Product Champion ได้แก่ ขมิ้นชัน ไพล กระชายดำ และใบบัวบก นอกจากนี้พืชสมุนไพรที่กำลังได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว หนึ่งในนั้นก็คือ ขิง (Ginger) [1] ในขณะที่ขิงที่นิยมใช้บริโภคหรือเมื่อแก่จัดแล้วนำมาตากแห้งที่เรียกว่า “ขิงแห้ง” นั้น ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber officinale* Rosco ขิงเป็นไม้ล้มลุก มีเหง้าใต้ดิน สีสน้ำตาลแกมเหลืองเนื้อในสีเหลืองหรือเหลืองอ่อนสรรพคุณทางยาตามภูมิปัญญาไทยใช้ส่วนรากและเหง้าเป็นยา จะมีรสหวาน เผ็ด และขม สรรพคุณโบราณของขิงใช้แก้ไข้ แก้ไอ ขับเสมหะ ขับเหงื่อ แก้หอบ แก้กลม แก้กูกเสียด แก้เสมหะ บำรุงธาตุ แก้กลิ้นเหียน อวเจียน [2] ซึ่งการอบแห้งขิงนอกจากเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาแล้วยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกด้วย

การอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล เป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิวของวัสดุ แล้วรังสีทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุ ทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีถูกดูดซับโดยเนื้อวัสดุ และทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในโมเลกุลก็จะได้รับความร้อนและเกิดการแพร่ไปยังบริเวณผิวของวัสดุ ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี [3] และการอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Drying: VD) เป็นการอบแห้งที่อาศัยหลักการลดความดันอากาศเพื่อลดจุดเดือดของน้ำ ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดปกติ ซึ่งการลดลงของจุดเดือดน้ำจะแปรผกผันกับระดับความดันสุญญากาศ สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งรวมถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยความร้อนและตากแดด [4] นอกจากนี้การอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์ (Pulsed Vacuum Drying: PVD) เป็นการทำงานที่ความดันบรรยากาศสลับกับความดันสุญญากาศ ช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งโดยการไหลเวียนของอากาศ เมื่ออากาศในห้องอบแห้งมีความดันคงที่ช่วงเวลาหนึ่ง ชั้นอากาศจะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรงซึ่งอาจทำให้เกิดการอึดตัว การเปลี่ยนแปลงความดันในห้องอบแห้งอย่างต่อเนื่องจะรบกวนชั้นอากาศ ส่งผลให้มีการกำจัดความชื้นบริเวณผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้นสามารถลดความชื้นของวัสดุได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาอบแห้งสั้นลงรวมทั้งใช้พลังงานที่น้อยลง [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะอบแห้งขิงด้วยความดันสุญญากาศคงที่และความดันสุญญากาศแบบพัลส์ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนพัลส์ต่อจลนพลศาสตร์ การอบแห้ง และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะในการอบแห้งขิง

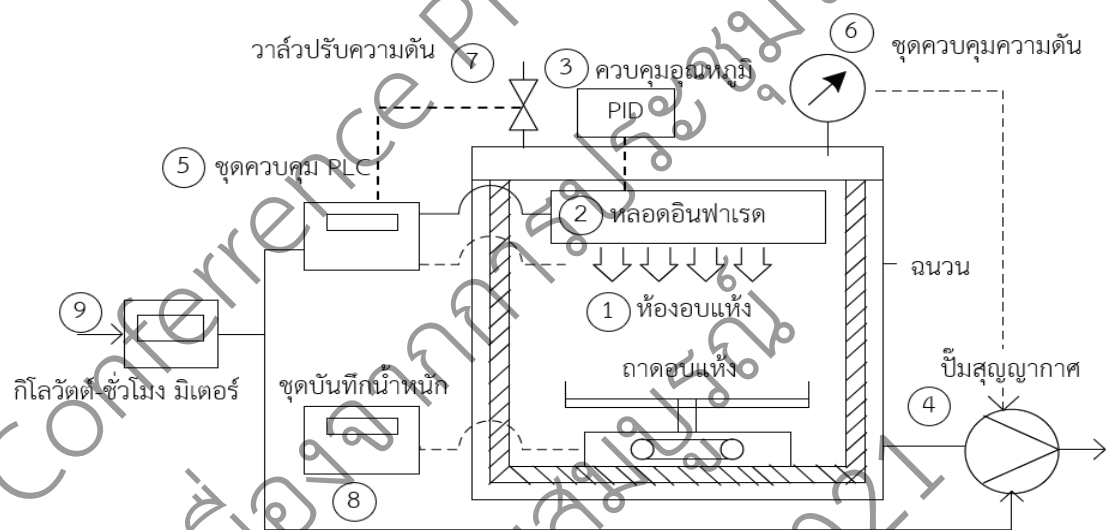
2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์

จากรูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกล ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- 1) ห้องอบแห้งทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร วัสดุทำด้วย Stainless Steel หุ้มด้วยฉนวนหนา 2 เซนติเมตร
- 2) หลอดอินฟราเรดฮีท้อ Infrapara รุ่น A-1 ขนาด 250 W จำนวน 4 หลอด

ติดตั้งที่ผนังด้านบนของห้องอบแห้งและมีระยะห่าง 20 เซนติเมตร จากตัวผลิตภัณฑ์ 3) ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ยี่ห้อ Omron รุ่น E5CC ต่อเชื่อมกับสายสัญญาณวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล Type K มีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิตั้งที่ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 4) ปั๊มสุญญากาศขนาด 350 W ทำความดันสุญญากาศได้ 0.2 kPa 5) ชุดควบคุม PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX1s-20MT ใช้ควบคุมการสร้างสภาวะความดันสุญญากาศแบบพัลส์ 6) อุปกรณ์วัดและควบคุมแรงดันแบบดิจิทัล (Pressure Controller) ยี่ห้อ Panasonic รุ่น DP-101 ในการควบคุมแรงดันและสร้างสภาวะความดันสุญญากาศสลับกับความดันบรรยากาศแบบจังหวะเวลา (Pulsing) 7) วาล์วปรับเปลี่ยนแรงดัน Pneumatic pressure รุ่น ADK11-15A-02C-AC220V 8) โหลดเซลล์ขนาด 5 กิโลกรัม ความละเอียดของค่าแรงดันเอาต์พุต 1mV/V สำหรับบันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 9) กิโลวัตต์-ชั่วโมง มิเตอร์ สำหรับวัดค่าการใช้พลังงาน ความละเอียด 0.01 kWh



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกล

2.2 วิธีการทดลอง

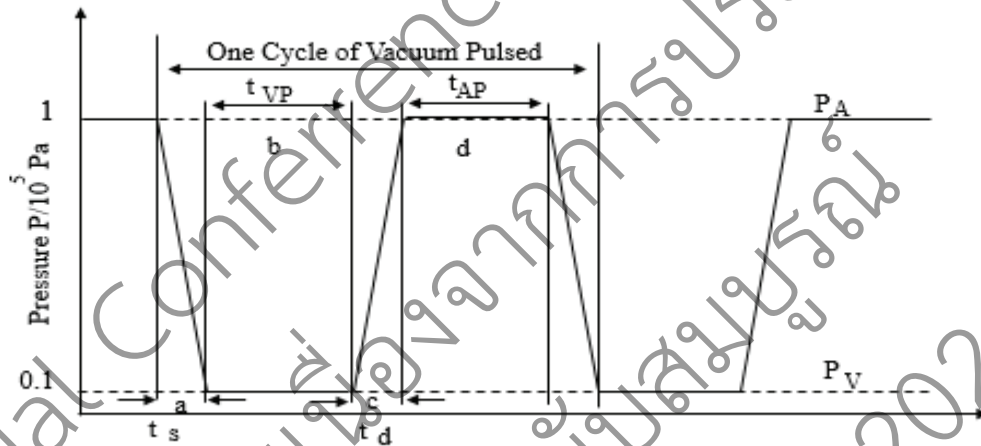
ซิงที่นำมาทดลองมีอายุระหว่าง 10 - 12 เดือน ซิงจากตลาดสดอำเภอเมืองสมุทรปราการ นำมาล้างทำความสะอาดวางไว้ให้สะเด็ดน้ำ แล้วหั่นตามแนวเส้นใยหนาขึ้นละ 3 มิลลิเมตร และสุมตัวอย่างซิงเพื่อไปทำการหาค่าความชื้นเริ่มต้นมาตรฐาน AOAC [6] จากนั้นนำซิงไปอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 12 มาตรฐานแห้งตามมาตรฐาน มอก. 458-2526 [7] โดยมีเงื่อนไขในการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C ที่สภาวะความดันสุญญากาศ 10 kPa และสภาวะความดันสุญญากาศ 10 kPa อัตราส่วนพัลส์ (ช่วงเวลาที่เป้นความดันสุญญากาศต่อความดันบรรยากาศ) 15:4 และ 10:4 นาที

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย 1) เตรียมซิงที่หั่นได้ความหนา 3 มิลลิเมตร น้ำหนักโดยประมาณ 180 ถึง 200 กรัม วางในถาดแล้วนำไปวางในห้องอบแห้ง 2) เปิดสวิตช์ปั๊มสุญญากาศเพื่อทำความดันในห้องอบแห้งให้ได้ความดันสัมบูรณ์ที่ 10 kPa และเปิดหลอดอินฟราเรดโดยตั้งอุณหภูมิอบแห้งที่ 50 °C แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของซิงทุก ๆ 30 นาที เมื่อสิ้นสุดการทดลอง บันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจากกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์

แล้วนำตัวอย่างซิงไปหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC [6] 3) ทำการทดลองตามวิธีในข้อ 1 - 2 ที่ความดันสุญญากาศ 10 kPa คงที่ และที่อัตราส่วนพัลส์ 15:4 และ 10:4 นาที ร่วมกับอุณหภูมิอบแห้งที่ 50 °C 60 °C และ 70 °C

2.3 การทำงานของเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์

การทดลองการอบแห้งซิงโดยใช้เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกล เพื่อสร้างความดันสุญญากาศแบบพัลส์ขึ้นภายในห้องอบแห้ง กล่าวคือการสร้างการเปลี่ยนแปลงสภาวะความดันบรรยากาศสลับกับความดันสุญญากาศ ด้วยอัตราส่วนเวลาที่เรียกว่า อัตราส่วนพัลส์ โดยมีกระบวนการสร้างสภาวะความดัน ดังแสดงในรูปที่ 2 เริ่มจาก ช่วง a คือ สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศไปสู่ความดันสุญญากาศที่ระดับค่าที่ต้องการโดยใช้เวลา t_s ช่วง b เป็นการรักษาสภาวะความดันสุญญากาศที่ต้องการในช่วงระยะเวลาที่กำหนด (t_{VP}) ช่วง c เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะความดันสุญญากาศกลับสู่ความดันบรรยากาศ โดยใช้เวลา t_d และช่วง d เป็นช่วงระยะเวลาที่คงสภาวะความดันบรรยากาศตามที่ต้องการ (t_{AP}) และเป็นการสิ้นสุด 1 รอบ ของสุญญากาศแบบพัลส์ โดยจะดำเนินการไปเป็นวัฏจักรต่อเนื่องจนสิ้นสุดระยะเวลาอบแห้ง โดยที่ P_A และ P_V คือ ความดันบรรยากาศและความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งตามลำดับ [8]



รูปที่ 2 วัฏจักรอัตราส่วนพัลส์ของความดัน

2.4 ปริมาณความชื้นของซิงก่อนและหลังอบแห้ง

การหาปริมาณความชื้นของซิง โดยการนำซิงสดไปชั่งน้ำหนัก (W_t) แล้วนำไปอบที่ตุ้ลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 103 °C และระยะเวลาอบแห้ง 72 ชั่วโมง [6] เพื่อหามวลแห้ง (W_d) เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้นได้จากสมการที่ 1 [9]

$$MC = \left(\frac{W_t - W_d}{W_d} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ปริมาณความชื้น (%d.b.) W_t คือ น้ำหนักของซิงที่เวลาใด ๆ (g) และ W_d คือ น้ำหนักแห้งของซิง (g)

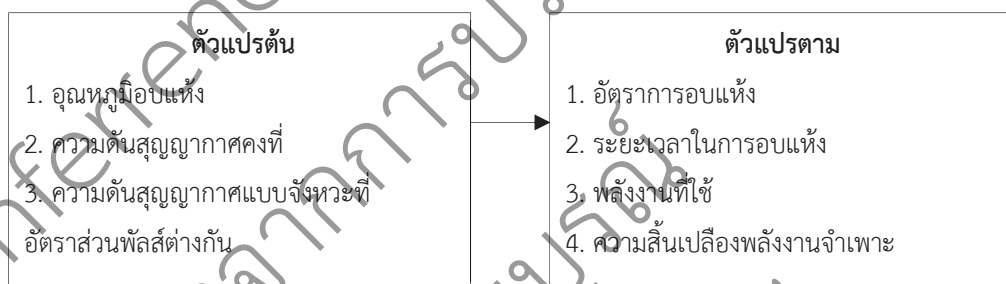
2.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumptions: SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งจึง สามารถหาได้จากการชั่งน้ำหนักขิงก่อนและหลังอบแห้ง และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม นำมาคำนวณหา SEC ได้จากสมการที่ 2 [10]

$$SEC = \left(\frac{3.6 \times E_p}{m_i - m_f} \right) \quad (2)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg_{WaterEvap.}) E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh) และ m_i และ m_f คือ น้ำหนักของขิงก่อนและหลังอบแห้ง (g) ตามลำดับ และค่าคงที่ 3.6 คือ ค่าแฟกเตอร์การแปลงหน่วยจาก kWh เป็น MJ

2.6 กรอบแนวคิดของการวิจัย



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดของการวิจัย

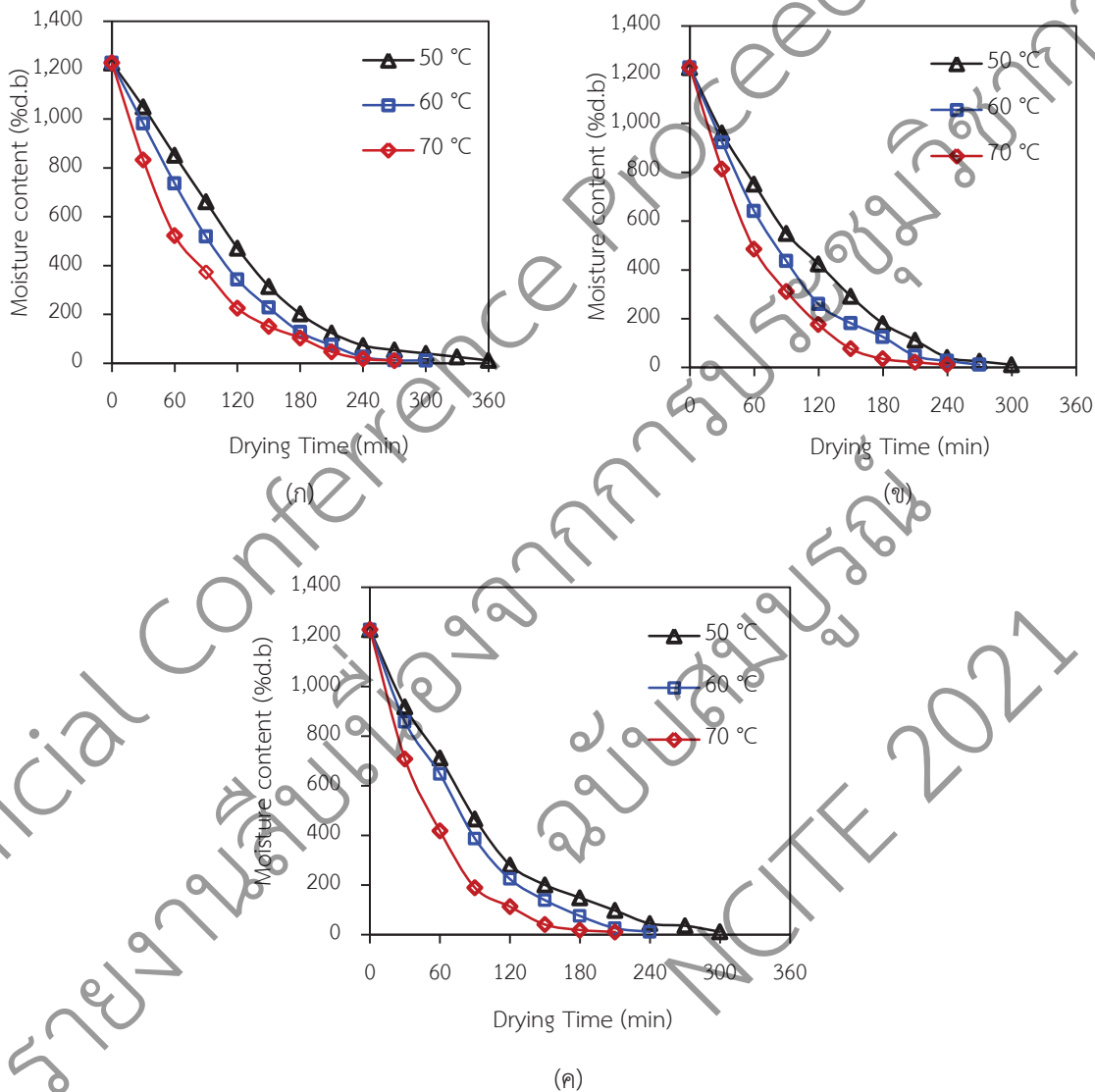
จากรูปที่ 3 กรอบแนวคิดของการอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดไกล ภายใต้ความดันสุญญากาศคงที่และความดันสุญญากาศแบบจังหวะที่อัตราส่วนพัลส์ต่างกัน โดยมีสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องอบแห้งอย่างรวดเร็วระหว่างความดันสัมบูรณ์ 10 kPa กับความดันบรรยากาศ ตามช่วงเวลาที่เป็นความดันสุญญากาศ (t_{VP}) กับความดันบรรยากาศ (t_{AP}) ที่ 10:4 และ 15:4 นาที และอุณหภูมิในการอบแห้ง 50 °C 60 °C และ 70 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดน้ำที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa (จุดเดือดน้ำ 45.81 °C) อาจมีผลทำให้รูพรุนขนาดเล็กภายในวัสดุขยายตัวและน้ำในวัสดุสามารถแพร่ออกมาที่ผิวได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง รวมถึงพลังงานที่ใช้และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงด้วย

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลของอุณหภูมิต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศและสุญญากาศแบบพัลส์

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้งในการอบแห้งขิงที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa แบบ VD และแบบ PVD ที่อัตราส่วนพัลส์ 10:4 และ 15:4 และอุณหภูมิอบแห้ง 50 °C 60 °C และ 70 °C แสดงดังรูปที่ 4 (ก) - รูปที่ 4 (ค) จากผลการทดลองพบว่า จากรูปที่ 4 (ก) ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบ VD ปริมาณความชื้นของขิงจะลดลง

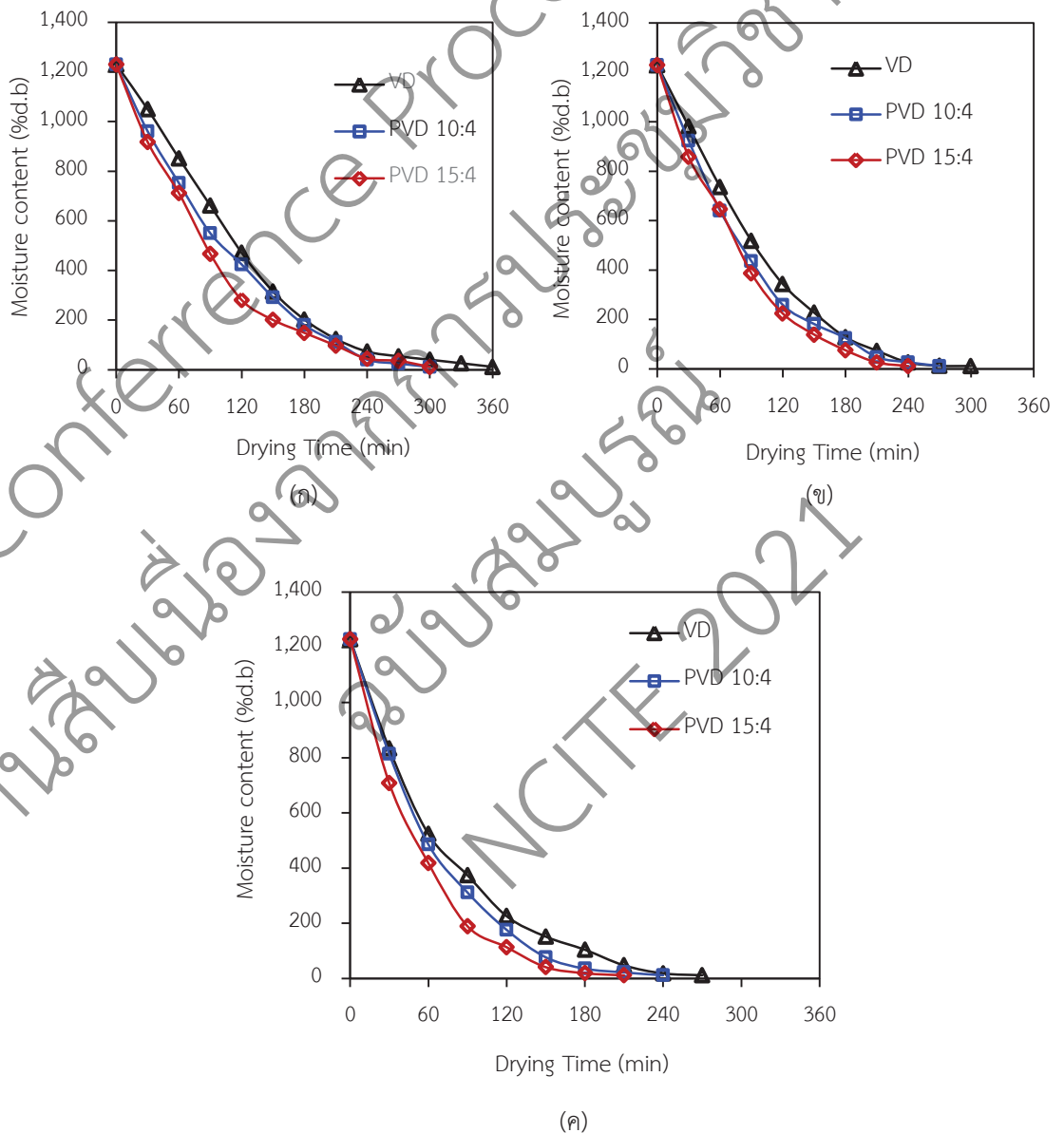
ตามระยะ เวลาอบแห้ง โดยใน 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนคงที่ในที่สุด เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิอบแห้งพบว่าที่อุณหภูมิ 70 °C ความชื้นของซิงลดลงเร็วที่สุดและส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด แสดงว่ามีอัตราอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C และใช้เวลาในการอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ (ประมาณ 12% d.b.) 360 นาที 300 นาที และ 270 นาที ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C 60 °C และ 70 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของซิงที่อบแห้งด้วยความดันสัมบูรณ์ 10 kPa (ก) การอบแห้งแบบ VD (ข) การอบแห้งแบบ PVD และอัตราส่วนพัลส์ 10:4 และ (ค) การอบแห้งแบบ PVD และอัตราส่วนพัลส์ 15:4

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากรูปที่ 4 (ข) และ 4 (ค) ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบ PVD ที่อัตราส่วนพัลส์ 10:4 และ 15:4 นาที ตามลำดับ พบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นและระยะเวลาในการอบแห้งมีแนวโน้มเหมือนกับผลการทดลองดังรูปที่ 4 (ก) กล่าวคือ อุณหภูมิอบแห้งที่ 70 °C มีค่าความชื้นลดลงเร็วที่สุดส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเร็วกว่า จากผลการทดลองสรุปได้ว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งซึ่ง โดยความชื้นจะลดลงเร็วขึ้นและอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในหีบอบแห้งให้สูงขึ้น

3.2 ผลของอัตราส่วนพัลส์ต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสูญญากาศแบบพัลส์



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นซึ่งที่อบแห้งด้วยความดันสัมบูรณ์ 10 kPa (ก) อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C (ข) อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C และ (ค) อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C

จากรูปที่ 5 (ก) - รูปที่ 5 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้งซึ่ง โดยใช้อุณหภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C โดยการเปลี่ยนแปลงวิธีการทดลองแบบความดันสัมบูรณ์คงที่ 10 kPa และสูญญากาศ ที่อัตราส่วนพัลส์ 10:4 และ 15:4 จากผลการทดลองพบว่า จากรูปที่ 5 อุณหภูมิ 50 °C การอบแห้งแบบ PVD ที่อัตราส่วนพัลส์ 15:4 มีความชันของเส้นกราฟมากที่สุด นั่นคือ ความชื้นลดลงเร็วที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองแบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 10:4 และแบบ VD และเมื่อพิจารณาผลของการทดลองรูปที่ 5 (ข) และรูปที่ 5 (ค) ที่อุณหภูมิในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 °C และ 70 °C พบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้งมีแนวโน้มลักษณะเดียวกับผลการทดลองรูปที่ 5 (ก) แต่ที่อุณหภูมิ 70 °C จะเห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างชัดเจน โดยการอบแห้งแบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4 ใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่าที่อัตราส่วนพัลส์ 10:4 และแบบ VD โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 14.28 และ 28.57 ตามลำดับ ผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า อัตราส่วนพัลส์มีอิทธิพลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งซึ่ง โดยที่อัตราส่วนพัลส์ที่มีค่ามากกว่าทำให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้นและส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นลง [11]

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสูญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกลด้วยอุณหภูมิตั้งที่ 50 °C 60 °C และ 70°C และการอบแห้งแบบ VD ความดันสัมบูรณ์คงที่ 10 kPa และแบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 10:4 และ 15:4 ดังตารางที่ 1 พบว่า การอบแห้งแบบ VD และ PVD ที่อุณหภูมิตั้งที่ 70 °C ใช้เวลาการอบแห้งและมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 และ 50 °C และที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งแบบ PVD มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าแบบ VD โดยเฉพาะการอบแห้งแบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4 มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าที่อัตราส่วนพัลส์ 10:4 ดังนั้นการอบแห้งแบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4 อุณหภูมิตั้งที่ 70 °C ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุดและมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด คือ 21.20 MJ/kg_{water-evap.}

ตารางที่ 1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งซึ่ง ด้วยเทคนิคสูญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกล

Method	Drying Temperature (°C)	Drying Time (min)	Final Moisture Content (%d.b.)	SEC (MJ /kg _{water-evap.})	Energy Consumption (kWh)
VD	50	360	11.70	34.48	9.58
	60	300	11.53	30.06	8.35
	70	270	11.32	26.87	7.46
PVD 10:4	50	300	11.45	27.54	7.65
	60	270	11.72	26.89	7.47
	70	240	11.13	23.53	6.54
PVD 15:4	50	300	11.69	25.40	7.05
	60	240	11.30	24.67	6.85
	70	210	10.71	21.20	5.89

4. การวิจารณ์และสรุป

จากการทดลองอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสูญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรดไกล ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งคงที่ 10 kPa ในสภาวะความดันสัมบูรณ์คงที่ตลอดการทดลองเทียบกับในสภาวะความดันสัมบูรณ์ต่อความดันบรรยากาศ ที่อัตราส่วนพัลส์ 15:4 นาที่ และ 10:4 นาที่ และที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C 60 °C และ 70 °C จากความชื้นซึ่งเริ่มต้นที่ประมาณร้อยละ 1,229 %d.b. จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการต่ำกว่าร้อยละ 12 %d.b. (ตาม มอก. 458-2526) [7] พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้งให้สูงขึ้นจาก 50 °C เป็น 60 °C หรือจาก 60 °C เป็น 70 °C ทำให้ความชื้นลดลงได้เร็วขึ้นอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง เนื่องจากที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa น้ำจะมีจุดเดือดที่ 45.81 °C [9] ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งให้สูงขึ้น เป็นการเพิ่มพลังงานในรูปความร้อนแฝงในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ระเหยได้ง่ายและเร็วขึ้น [10] ในขณะที่เดียวกันที่การเปลี่ยนแปลงสภาวะความดันสัมบูรณ์ต่อความดันบรรยากาศที่อัตราส่วนพัลส์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันโดยการเพิ่มการไหลเวียนของอากาศในห้องอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างต่อเนื่องจะรบกวนชั้นอากาศที่ผิวผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ความชื้นที่ผิวผลิตภัณฑ์ระเหยได้ดียิ่งขึ้นเป็นการช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งให้สูงขึ้นใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง และมีแนวโน้มของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง [11]

ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและอัตราส่วนพัลส์ที่ใช้ออบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งซึ่ง ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลงและความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำลง โดยการอบแห้งซึ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa อัตราส่วนพัลส์ 15:4 และอุณหภูมิอบแห้ง 70 °C มีอัตราการอบแห้งที่ดีที่สุด และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยสุด 210 นาที ได้ความชื้นสุดท้าย 10.71 %d.b. และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด 21.20 MJ/kg_{Water-evap}.

5. ข้อเสนอแนะ

- 5.1 ควรศึกษาการอบแห้งซึ่งที่ความดันสัมบูรณ์และอัตราส่วนพัลส์แตกต่างจากงานวิจัยนี้
- 5.2 ควรศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของซึ่งก่อนและหลังอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ไทยรัฐออนไลน์. 3 กระทรวง จับมือดันส่งออกสมุนไพรอันดับ 1 อาเซียน โว ยอดสวนกระแสโควิด [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 2563 พฤศจิกายน 19]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.thairath.co.th/news/politic/1944524>.
- [2] ปุณยบุษย์ อมรดลใจ. การใช้ซึ่งรักษาและบำบัดอาการโรคข้อเสื่อม. วารสารสุขภาพกับการจัดการสุขภาพ. 2559; 3(2): 13-22.
- [3] สุภวรรณ ภูริวงษ์ชย์กุล สากีนา ลาแมปะ และยุทธนา ภูริวงษ์ชย์กุล. การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2555; 17(1): 117-29.

- [4] จิตติมณฑน์ วงศ์ษา และศิริระชา เจริญสุขสวัสดิ์. การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งแบบสุญญากาศของขนุนพันธุ์ทองสุดใจ. ในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13; 4-5 เมษายน พ.ศ. 2555; โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง. เชียงใหม่; 2555. หน้า 488-92.
- [5] Xie L, Mujumdar AS, Ming Fang X, Wang J, Wu Dai J, Long Du Z, Wei Xiao H, Lui Y, Jiang Gao Z. Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on Drying Kinetics and Quality Attributes. *Food and Bioprocess Processing*. 2017; 102: 320-31.
- [6] Association of Official Analytical Chemists (AOAC) Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Maryland: Gaithersburg; 2000.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขิงแห้ง เอกสาร มอก. 458-2526 กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ; 2526: หน้า 1-7.
- [8] Xie Y, Gao Z, Liu Y, Xiao H. Pulsed vacuum drying of rhizome dioscoreae slices. *LWT-Food Science and Technology*. 2017; 80: 237-49.
- [9] อ่ำไพศักดิ์ ทีบุญมา และศักดิ์ชัย จงจำ. การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมอินฟราเรด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 2553; 15(2): 76-86.
- [10] กิตติศักดิ์ วิจิณนทกิตต์ และศรีมา แจ้คำ. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งข่าด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*. 2562; 9(3): 29-44.
- [11] Zhang W, Pan Z, Xiao H, Zheng Z, Chen C, Gao Z. Pulsed vacuum drying (PVD) technology improves drying efficiency and quality of *Poria* cubes. *Drying Technology*. 2018; 36(8): 908-21.

การพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง Development of High Voltage Transformer

สุวายุพัฒน์ สุวรรณภาษิต¹ จุฑามณี มานพ² สุรพงษ์ แก่นมณี^{3*} และ ประยูทธ อินแบน⁴
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์^{1,2,3*,4}

Suvayuphat Suwanphasith¹ Jutamane Manop² Surapong Keanmanee^{3*} and Prayuth Inban⁴
Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University^{1,2,3*,4}
E-mail : surapong2516rru@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวเกี่ยวกับการพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งหม้อแปลงทดสอบนี้ได้ถูกออกแบบไว้สำหรับการต่อแบบขั้นบันไดแต่ในงานวิจัยได้สร้างเพียงขดลวดแรงสูงและขดลวดแรงต่ำเท่านั้น สำหรับแกนเหล็กถูกออกแบบเพื่อลดความสูญเสียในแกนเหล็กโดยจะประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กบางฉาบด้วยสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้านำมาอัดซ้อนกันเรียกว่าแกนเหล็กกลึงมีเนท และขึ้นรูปเป็นทรงกลมเพื่อลดขนาดของแกนเหล็กและความยาวของขดลวด โดยขดลวดที่ใช้เป็นเส้นลวดทองแดงทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ บุชซึ่งทำจากกระเบื้องเคลือบและมีขนาดยาวเพื่อช่วยในการฉนวนมากขึ้นและเกิดประสิทธิภาพดีขึ้น ตัวถังเป็นชนิดถังโลหะเหล็กบรรจุน้ำมันก๊วยในเพื่อเป็นฉนวนหม้อแปลง การออกแบบเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60060-1 และ IEC 60060-2 โดยทำงานกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ การทดสอบการวัดค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าและกระแสไม่มีโหลดการทดสอบการลัดวงจร และการทดสอบเพื่อวัดอัตราส่วนแรงดัน ได้จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบคุณสมบัติของหม้อแปลงทดสอบ ซึ่งผลการออกแบบและสร้างหม้อแปลงดังกล่าวสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีตามคุณสมบัติการผลิตไฟฟ้าแรงสูง

คำสำคัญ : การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้า การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

Abstract

This project presents a development of test transformer. The cascade transformer was designed however only low voltage and high voltage windings were constructed. The different widths of lamination sheets were arranged for different layers to produce a circular core in order to obtain the maximum cross section area with minimum length of copper conductor. The copper conductors were used to form coils. Bushings were post type made from porcelain. Oil-filled type was selected for cooling system in the iron tank. For transformer testing, standards IEC 60060-1 and IEC 60060-2 were followed by applying a single phase 220 V, 50 Hz alternating current. The no-load power loss test, withstand voltage test by short circuit test and voltage ratio test were experimented. The results showed that the transformer was meet design requirements of the properties of high-voltage alternating current source.

Keywords: Power transformer test, Power loss, Transformer design

1. บทนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าปัจจุบันมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ดูแลระบบส่งไฟฟ้า เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยต้องเพิ่มการกำลังการผลิตไฟฟ้าและขยายระบบส่งไฟฟ้าขึ้นอีกด้วย สำหรับด้านระบบจำหน่ายและผู้ใช้ไฟฟ้าก็ต้องมีการเพิ่มเติมชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อนำกำลังไฟฟ้าไปใช้ตามความต้องการใช้งาน

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power transformer) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อทุกฝ่ายในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและใช้ไฟฟ้าหากหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมีปัญหา ก็จะก่อให้เกิดไฟฟ้าดับและสร้างความเสียหายอย่างมากต่อภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นการดูแลหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังให้ทำงานได้ปกติและไม่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายจึงเป็นเรื่องที่ทุกฝ่ายควรปฏิบัติ หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่ใช้อยู่ในปัจจุบันใช้น้ำมันเป็นฉนวน (Oil insulation) และเพื่อการระบายความร้อน หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังใหม่หรือหม้อแปลงเก่าที่มีระดับน้ำมันพร่องไปก็ต้องมีการเติมน้ำมันผ่านการทดสอบความเป็นฉนวนตามมาตรฐานทุกครั้ง ทั้งนี้ในปัจจุบันมีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นจำนวนมาก ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะโรงงานขนาดใหญ่ ซึ่งได้ทำการว่าจ้างบริษัทจากภายนอกมาทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงดังกล่าวก่อนใช้งาน เนื่องจากยังขาดผู้เชี่ยวชาญด้านทดสอบในหน่วยงานขาดเครื่องทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลง (Transformer oil insulation tester) ขาดองค์ความรู้และเวลาที่มีไม่เพียงพอที่จะสร้างอุปกรณ์ทดสอบดังกล่าว การทดสอบแต่ละครั้งจึงต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความต้องการนำความรู้มาใช้พัฒนาและสร้างเครื่องต้นแบบอย่างง่ายให้ได้เครื่องมือทดสอบไฟฟ้าแรงสูง โดยเป็นหม้อแปลงทดสอบไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถผลิตแรงดัน 50 kv มีความเที่ยงตรงในการทดสอบราคาประหยัด ทนทาน ดูแลรักษา และซ่อมบำรุงได้ง่าย ส่งผลให้หน่วยงานที่มีหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสามารถผลิตเครื่องทดสอบขึ้นมาและพึ่งพาตนเองได้ โดยนำเครื่องมือทดสอบไฟฟ้าแรงสูงไปทดสอบความเป็นฉนวนแรงสูง เช่น ฉนวนของน้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง และเปรียบเทียบค่าผลการทดสอบกับมาตรฐานได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

การพัฒนาเครื่องทดสอบไฟฟ้าแรงสูงโดยได้ หม้อแปลงทดสอบไฟฟ้าแรงสูง เพื่อการทดสอบความเป็นฉนวน เช่น ความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ถูกต้องตามมาตรฐานการทดสอบ มีความเที่ยงตรง ราคาประหยัด ทนทาน ดูแลรักษาง่ายและซ่อมบำรุงได้โดยช่างปฏิบัติการ

3. ขอบเขตของการวิจัย

หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง เพื่อทดสอบความเป็นฉนวนน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

4. ทฤษฎีและหลักการทํางาน

หม้อแปลงไฟฟ้า นับเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มี ความสำคัญต่อระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าที่ดีจะต้องมี เสถียรภาพและความปลอดภัยสูง ในการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าในบางครั้งอาจจะมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าหรือฉนวนของขดลวดเสื่อมสภาพทำให้หม้อ แปลงไฟฟ้าอาจเกิดการลัดวงจรขึ้นได้ประกอบกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ได้ทำการปรับปรุงแก้ไข คุณสมบัติ (Specification) [1] ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ ในระบบจำหน่ายจะต้องผ่านการทดสอบการทนกระแสลัดวงจรได้ตามที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นถ้าผู้ผลิตสามารถออกแบบและผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า

ให้มีคุณสมบัติที่ดีทนต่อสภาวะการใช้งานตามมาตรฐานที่ กำหนดก็จะสามารถช่วยให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพ และเกิดความมั่นคงต่อระบบไฟฟ้ามากขึ้น เมื่อหม้อแปลงเกิดการลัดวงจรขึ้น จะทำให้กระแสในขดลวดสูงกว่ากระแสที่ พิกัดมากขึ้นหลายเท่า ซึ่งจะมีแรงกระทำกับขดลวดทำให้ขดลวดเสียรูปทรงและเสียหายและยังจะมีผลทำให้อุณหภูมิ ของขดลวดสูงขึ้นตามไปด้วย ผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลให้ฉนวนได้รับความเสียหายถ้าหม้อแปลงได้รับการ ออกแบบที่เหมาะสมก็จะทำให้หม้อแปลงสามารถทนต่อสภาวะนี้ได้ตามข้อกำหนด [2] การเพิ่มประสิทธิภาพของ หม้อแปลงไฟฟ้า ก็เปรียบเสมือนกับการลดค่ากำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า หากเราพิจารณาตามหลักการของ หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีกำลังงานสูญเสียหลัก แต่เป็นกำลังงานสูญเสียที่ขึ้นอยู่กับปริมาณ การใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ คือ กำลังงานสูญเสียในขดลวดไฟฟ้า (Copper loss) ที่เมื่อใช้สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน กระดาษในหม้อแปลงไฟฟ้า ที่มีฉนวนโดยการจุ่มในน้ำมันหรือสายทองแดงหุ้มด้วยฉนวนด้วยอีนาเมลที่พบได้ในหม้อแปลง ขนาดเล็ก โดยมี หลักการทั่วไป วิศวกรผู้ออกแบบจะทำหน้าที่ ออกแบบขดลวดให้เกิดกำลังงานสูญเสียน้อยที่สุดโดยที่หลีกเลี่ยงผล ของปรากฏการณ์ผิว (Skin effect)

5. วิธีการดำเนินการวิจัย

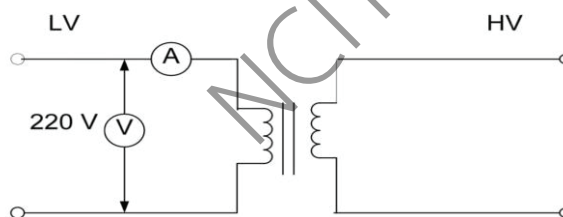
หลังจากประกอบหม้อแปลงแล้วเสร็จตามมาตรฐาน IEC 60060-1 [3] และ IEC 60060-2 [4] หลังจากนั้นจะทำการทดสอบหม้อแปลง เพื่อหา (1) ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสภาวะไร้โหลด (No-load test) (2) ค่าความคงทนอยู่ได้ ต่อแรงดัน จากการทดสอบการลัดวงจร และ (3) การหาอัตราส่วนแรงดัน

5.1 การทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสภาวะไร้โหลด

การทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสภาวะไร้โหลด เป็นการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงโดยพิจารณา จากกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสภาวะไร้โหลด

5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) หม้อแปลงไฟฟ้า 50 กิโลโวลต์ 6 กิโลโวลต์-แอมแปร์
- 2) โวลต์มิเตอร์ ต่อด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- 3) แอมแปร์มิเตอร์ ต่อด้านขดลวดปฐมภูมิ ของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของการทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสภาวะไร้โหลด

5.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่อยังวงจรดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2
- 2) ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ ให้กับขดลวดแรงต่ำ โดยเพิ่มจาก 20-220 โวลต์
- 3) วัดค่ากระแสไฟฟ้า I1 (แอมแปร์) และกำลังไฟฟ้า W1 (วัตต์)



รูปที่ 2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสถานะไร้โหลด

5.2 การหาค่าความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันจากการทดสอบลัดวงจร

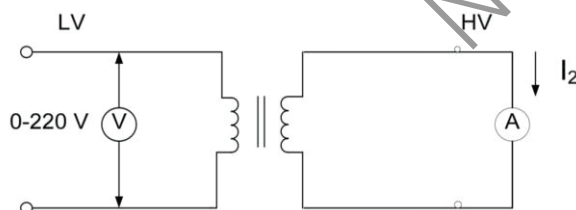
การหาค่าความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน (Withstand voltage) จากการทดสอบลัดวงจร (Shortcircuit test) เป็นการทดสอบเพื่อให้มั่นใจว่าฉนวนหลักที่ใช้คั่นระหว่างขดลวดและระหว่างส่วนที่มีไฟกับดินนั้นสามารถเป็นฉนวนที่ดีและมีความคงทนต่อแรงดันทดสอบ

5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

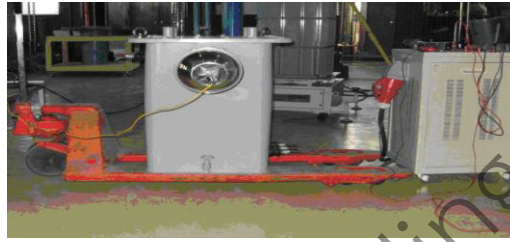
- 1) หม้อแปลงไฟฟ้า 50 กิโลโวลต์ 6 กิโลโวลต์-แอมแปร์
- 2) โวลต์มิเตอร์ ต่อต้านป้อนของหม้อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- 3) แอมแปร์มิเตอร์ ต่อต้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า
- 4) อุปกรณ์เชื่อมต่อวงจรสำหรับไฟฟ้าแรงสูง

5.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ต่อวงจรการทดสอบค่าความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน ได้แสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4
- 2) ขั้วของหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูงจะถูกต่อเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดการลัดวงจรในระหว่างทำการทดสอบ
- 3) ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อนเข้าที่ขดลวดแรงต่ำและคอย ๆ เพิ่มแรงดันจนกระทั่งมีกระแสไหลทางด้านแรงสูงที่ต่อลัดวงจรเข้าหากันเท่ากับ 0.12 แอมแปร์ เป็นเวลานาน 1 นาที
- 4) สังเกตดูการทำงานของหม้อแปลง



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของการทดสอบค่าความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน



รูปที่ 4 การทดสอบค่าความคงทนอยู่ต่อแรงดัน

5.3 การทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนของแรงดัน

การทดสอบหาอัตราส่วนแรงดัน (Voltage ratio test) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดันกระแสสลับทางด้านจ่ายออกนั้นมีรูปคลื่นที่ถูกต้องและมีอัตราส่วนแรงดันตรงกับที่ออกแบบไว้ การทดสอบหาอัตราส่วนแรงดันได้แสดงวงจรสมมูลในรูปที่ 5 และการทดสอบจริงในรูปที่ 6

5.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

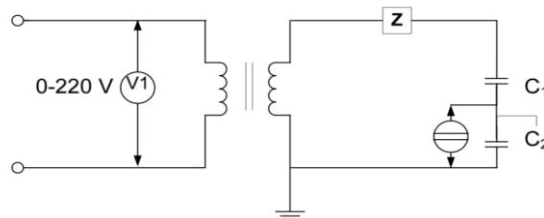
- 1) หม้อแปลงไฟฟ้า 50 กิโลโวลต์ 6 กิโลโวลต์-แอมแปร์
- 2) โวลต์มิเตอร์ V1 ต่อด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- 3) ออสซิลโลสโคปต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C2 ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า เพื่อวัดรูปคลื่นแรงดัน
- 4) วงจรแบ่งแรงดันซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุ C1 และ C2 เป็น ทำหน้าแบ่งแรงดันด้านแรงสูง
- 5) ตัวต้านทาน Z เพื่อรับการตีชาร์จประจุจากตัวเก็บประจุ C1 และ C2

5.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

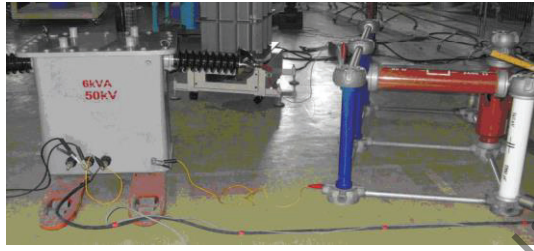
- 1) ต่อดังวงจรเพื่อทดสอบหาอัตราส่วนของแรงดัน ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6
- 2) ป้อนแรงดันกระแสสลับเข้าทางด้านปฐมภูมิ เพื่อให้ได้ค่าแรงดันด้านทุติยภูมิเป็น 10 กิโลโวลต์
- 3) วัดแรงดันสูงที่หม้อแปลงสร้างขึ้นโดยใช้ออสซิลโลสโคปที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C2
- 4) บันทึกรูปคลื่นแรงดันที่หม้อแปลงทดสอบผลิตขึ้นว่ามีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์และเหมือนกับแรงดัน

ทางด้านป้อนเข้าหรือไม่

5. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 2 - 4 โดยให้ค่าแรงดันด้านทุติยภูมิเป็น 20 กิโลโวลต์ 50 กิโลโวลต์ และที่ 70 กิโลโวลต์



รูปที่ 5 วงจรสมมูลของการทดสอบหาอัตราส่วนแรงดัน



รูปที่ 6 การทดสอบหาอัตราส่วนแรงดัน

6. ผลการวิจัย

ผลกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กประกอบด้วยการสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss) และสูญเสียจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy current loss) ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสถานะไร้โหลด

V1 (โวลต์)	I1 (แอมแปร์)	W1(วัตต์)	Z(โอห์ม)
20	0.149	2.98	134.23
40	0.298	11.92	134.23
60	0.447	26.82	134.23
80	0.596	47.68	134.23
100	0.754	74.50	134.23
120	0.895	107.4	134.23
140	1.044	146.16	134.23
160	1.192	190.72	134.23
180	1.342	241.56	134.23
200	1.49	298.00	134.23
220	1.64	360.80	134.23

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อทำการเพิ่มแรงดันทดสอบเนื่องจากการสูญเสียฮิสเทอรีซิสขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของแรงดันทดสอบ ในขณะที่สูญเสียจากกระแสไฟฟ้าไหลวนขึ้นอยู่กับค่า rms ของแรงดันที่ป้อนซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นในระหว่างทำการทดสอบ ค่าของ no-load current มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการจัดอันดับเต็มรูปแบบในปัจจุบัน การสูญเสียทองแดงเกิดขึ้นเฉพาะกับขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงเนื่องจากขดลวดทุติยภูมิเปิดอยู่ การอ่านวัตต์แสดงถึงแกนกลางและการสูญเสียฮิสเทอรีซิสเท่านั้น การสูญเสียแกนของหม้อแปลงเหมือนกันสำหรับโหลดทุกประเภท

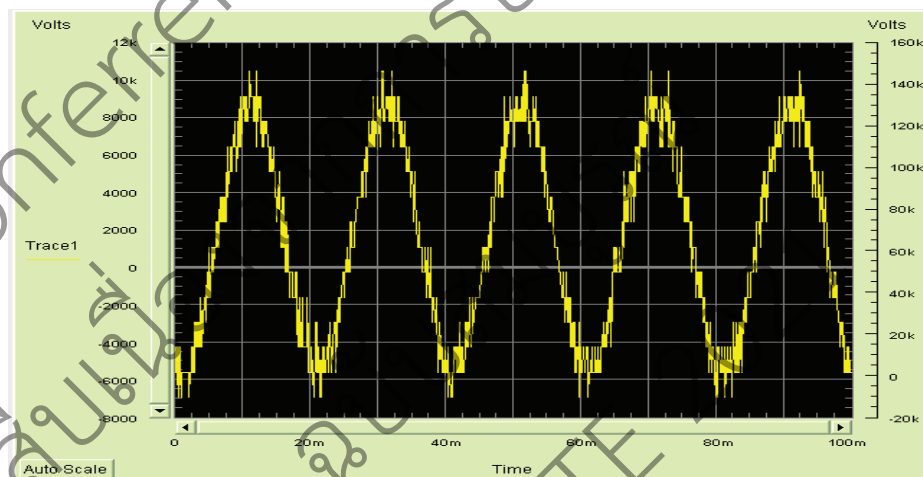
6.1 ผลของการหาค่าความคงทนอยู่ต่อแรงดันจากการทดสอบลัดวงจร

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ เข้าที่ขดลวดแรงต่ำและเพิ่มแรงดันจนกระทั่งมีกระแส
ด้านแรงสูงเท่ากับ 0.12 แอมแปร์ เป็นเวลานาน 1 นาที พบว่าจะมีกระแสไหลตามที่กำหนด 0.12 แอมแปร์ เมื่อเพิ่ม
แรงดันทางด้านแรงต่ำขึ้นไปจนถึงค่า 8.46 โวลต์และหม้อแปลงทดสอบสามารถทำงานได้อย่างปกติ

สรุปได้ว่าฉนวนหลักที่ใช้คั่นระหว่างขดลวดและระหว่างส่วนที่มีไฟกับดินนั้นสามารถเป็นฉนวนที่ดีและมี
ความคงทนต่อแรงดันทดสอบที่ 8.46 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ กระแสด้านแรงสูง 0.12 แอมแปร์ เป็นเวลานาน 1 นาทีได้
แหล่งจ่ายแรงดันต่ำถูกนำไปใช้ทั่วทั้งขดลวดทุติยภูมิซึ่งมีค่าประมาณ 5 ถึง 10% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ ฟลักซ์ถูก
ติดตั้งในแกนกลางของหม้อแปลงขนาดของฟลักซ์มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับฟลักซ์ปกติ การทดสอบเพื่อหาอัตราส่วน
ของแรงดัน

6.2 วิเคราะห์ผลรูปคลื่นไซน์

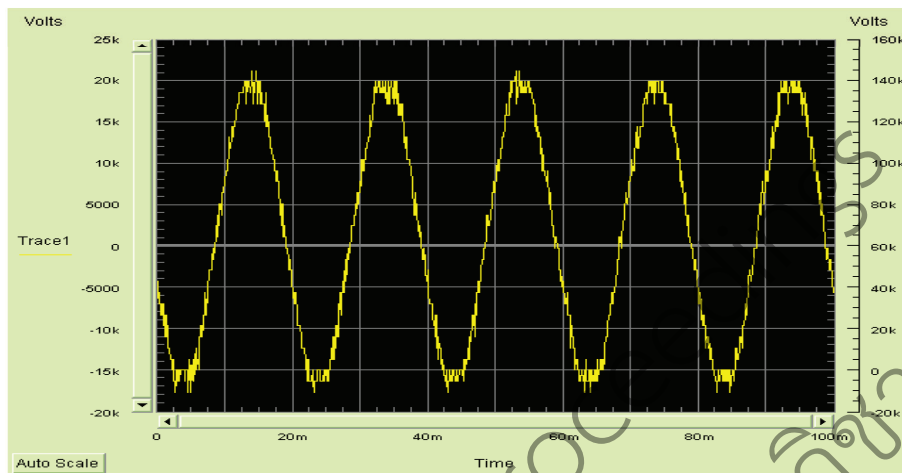
แรงดันสูงที่จ่ายออกมาจากหม้อแปลงทดสอบและถูกทำการวัดโดยใช้ออสซิลโลสโคป แสดงได้ดังรูปที่ 7 รูปคลื่น
แรงดันที่ถูกบันทึกลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์และเหมือนกับแรงดันทางด้านป้อนเข้า โดยมีความถี่ 50 เฮิรตซ์



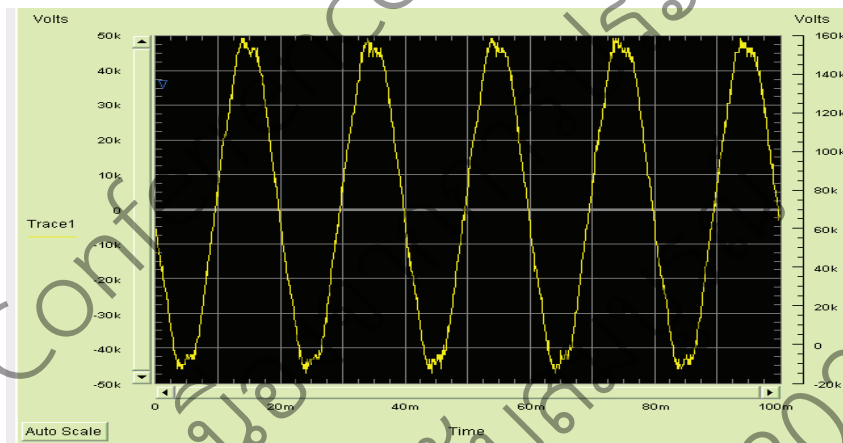
รูปที่ 7 แรงดันสูงกระแสสลับด้านจ่ายออกที่ระดับแรงดัน 10 กิโลโวลต์

6.3 วิเคราะห์ผลอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลง

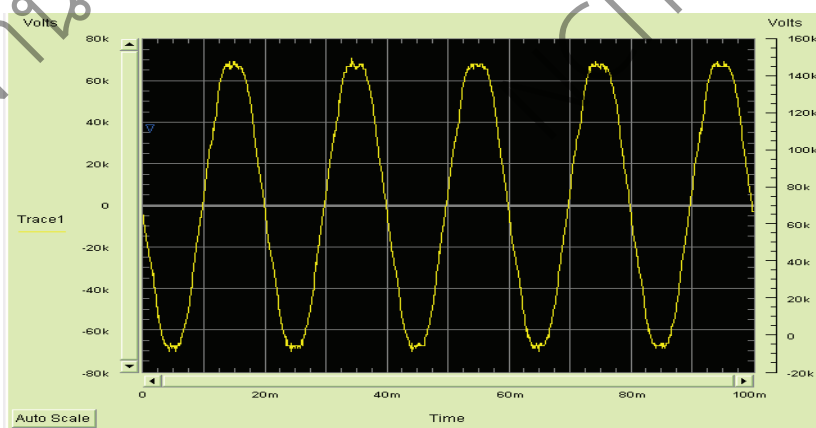
เมื่อวัดค่าที่ระดับแรงดันต่าง ๆ กัน คือ 20 กิโลโวลต์ 50 กิโลโวลต์ และ 70 กิโลโวลต์ ได้ผลดังรูปที่ 8 - รูปที่
10 รูปคลื่นแรงดันที่ถูกบันทึกลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์และเหมือนกับแรงดันทางด้านป้อนเข้า โดยมีความถี่ 50 เฮิรตซ์



รูปที่ 8 แรงดันสูงกระแสสลับด้านจ่ายออกที่ระดับแรงดัน 20 กิโลโวลต์



รูปที่ 9 แรงดันสูงกระแสสลับด้านจ่ายออกที่ระดับแรงดัน 50 กิโลโวลต์



รูปที่ 10 แรงดันสูงกระแสสลับด้านจ่ายออกที่ระดับแรงดัน 70 กิโลโวลต์

หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่คำนวณจากอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลง จากผลลัพธ์ที่ได้ในตารางที่ 2 แรงดันที่วัดได้มีค่าเกือบจะเท่ากับค่าแรงดันที่คำนวณมาจากอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงที่ออกแบบไว้ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำมากจนไม่มีผลต่อการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงทดสอบนั้นถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่แรก

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอัตราส่วนแรงดัน

แรงดัน V2 จากการคำนวณ (กิโลโวลต์)	10	20	50	70
แรงดัน V2 จากการวัด (กิโลโวลต์)	10.51	21.26	49.48	70.98
ค่าความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	5.1	6.3	1.51	1.4

7. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ขนาด 50 กิโลโวลต์ 6 กิโลโวลต์-แอมแปร์ เพื่อทำงานกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ หม้อแปลงทดสอบไฟฟ้าแรงดันสูงนี้ได้ถูกออกแบบ สร้างและทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60060-1 และ IEC 60060-2 เพื่อให้ได้ตามพิกัดของหม้อแปลงทดสอบที่กำหนดไว้ โครงสร้างที่ทำการออกแบบ ได้แก่ แกนเหล็ก ขดลวดแรงสูงและขดลวดแรงต่ำ ตัวถังหม้อแปลงบุชชิง และอุปกรณ์อื่น ๆ

โดยแกนเหล็กถูกออกแบบเพื่อลดความสูญเสียในแกนเหล็กโดยจะประกอบขึ้นจากแผ่นเหล็กบางฉาบด้วยสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้านำมาอัดซ้อนกันเรียกว่าแกนเหล็กลามิเนทและขึ้นรูปเป็นทรงกลมเพื่อลดขนาดของแกนเหล็กและความยาวของขดลวด ขดลวดที่ใช้เป็นเส้นลวดทองแดงทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ สามารถรับแรงดันด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิได้มากกว่า 220 โวลต์ และ 50 กิโลโวลต์ตามลำดับ ทนกระแสด้านปฐมภูมิและกระแสด้านทุติยภูมิได้มากกว่า 27.27 แอมแปร์ และ 0.12 แอมแปร์ ตามลำดับ บุชชิงทำจากกระเบื้องเคลือบและมีขนาดยาวเพื่อช่วยในการฉนวนมากขึ้นและเกิดประสิทธิภาพดีขึ้น ตัวถังเป็นชนิดถังโลหะเหล็กบรรจุน้ำมันหม้อแปลงที่สามารถทนแรงสูงได้เกินกว่า 50 กิโลโวลต์ เพื่อเป็นฉนวนและเป็นตัวระบายความร้อนในหม้อแปลง

หม้อแปลงที่ประกอบเสร็จแล้วถูกนำไปทดสอบดังนี้คือ การทดสอบการวัดค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าและกระแสเมื่อไม่มีโหลด การทดสอบการลัดวงจร และการทดสอบเพื่อวัดสัญญาณรูปไซน์และวัดอัตราส่วนแรงดัน ผลการออกแบบและสร้างหม้อแปลงดังกล่าวสามารถใช้งานได้ตามคุณสมบัติการผลิตไฟฟ้าแรงสูงเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบไฟฟ้าแรงสูงต่อไป [5] มาตรฐาน IEC และมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถใช้งาน และทนกระแสลัดวงจรได้ตามที่มาตรฐานกำหนด โดยผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างข้างต้นจะ เป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถวิเคราะห์ออกแบบ และตัดสินใจเลือกพารามิเตอร์และ วัสดุที่ใช้ในการออกแบบหม้อแปลง เพราะปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมานี้ มีผลโดยตรงต่อ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการลัดวงจรของหม้อแปลง ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลอ้างอิงสำหรับใช้เป็น แนวทางในการใช้งาน และทำการวิเคราะห์ออกแบบหม้อแปลงให้สามารถทนต่อสภาวะลัดวงจรตามที่มาตรฐานกำหนด และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานให้ดียิ่งขึ้น [6] หม้อแปลงไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นแบบเติมน้ำมันฉนวนหรือแบบแห้ง ล้วนมีข้อดีและข้อด้อยในรายละเอียดแตกต่างกัน ผู้มีหน้าที่กำหนดสเปคหม้อแปลงไฟฟ้า (Specifier) หรือเจ้าของ (Owner) จึงควรจะต้องจัดทำชุดเอกสารกำหนดขอบข่ายเพื่อการพิจารณาสำหรับแต่

ละโครงการเพื่อให้การประเมินผลและคัดสรรชนิดของหม้อแปลงเป็นไปอย่างถูกต้องมีหลักการเพื่อให้ได้หม้อแปลงที่ตรงกับความต้องการและการใช้งาน ตลอดจนการกำหนดความต้องการพิเศษครบถ้วน [7] การพัฒนาและสร้างหม้อแปลงทดสอบไฟฟ้าแรงสูง การออกแบบเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60060-1 และ IEC 60060-2 โดยทำงานกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ การทดสอบการวัดค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าและกระแสไม่ไหลลด การทดสอบการลัดวงจร และการทดสอบเพื่อวัดอัตราส่วนแรงดัน ได้จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบคุณสมบัติของหม้อแปลงทดสอบ ซึ่งผลการออกแบบและสร้างหม้อแปลงดังกล่าวสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีตามคุณสมบัติการผลิตไฟฟ้าแรงสูงซึ่งจะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการดูแลรักษาบำรุงหม้อแปลงไฟฟ้าเพราะได้ทราบข้อมูลรายละเอียดของหม้อแปลงอย่างละเอียดและถูกต้อง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแห่งประเทศไทย (กฟภ.). หม้อแปลงสามเฟสสำหรับ 22 kV และ 33 kV ระบบจำหน่ายที่สามารถทนต่อไฟฟ้าลัดวงจร ข้อกำหนดเลขที่ RTRN-035/2558
- [2] วีระพันธ์ รังสิวิจิตรประภา. หม้อแปลงไฟฟ้าในยุคการเปลี่ยนแปลง. Tirathai JOURNAL, 2555. หน้า 28
- [3] Publication 60060-1, High-voltage Test Techniques, Part 1 : General definition and test requirement, Geneva 1989.
- [4] Publication 60060-2, High-voltage Test Techniques, Part 2 : Measuring Systems, Geneva 1994
- [5] บุญเลิศ สือเฉย. การวิเคราะห์และออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายให้มีความสามารถทนกระแสลัดวงจร. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2562. หน้า 121
- [6] วีระศักดิ์ พิรัชกษ. ข้อพิจารณาก่อนตัดสินใจสั่งซื้อหม้อแปลงไฟฟ้า. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal Of Industrial Technology) www.thailandindustry.com.No.285
- [7] แคทริยา สุวรรณศรี. การพัฒนาและสร้างหม้อแปลงทดสอบไฟฟ้าแรงสูง 50 kV. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2554.

ผลกระทบของหม้อแปลงขนาด 500 kVA เมื่อตั้งสถานีและชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้าขณะที่หม้อ
แปลงมีโหลดใช้งานสูงสุด

Impact Analysis of 500 kVA Transformer When Simulating Substation and
Charging Electric Vehicle While the Transformer Peak Load

ศิลปชัย กลิ่นไกล^{1*} ภูมรินทร์ ทวีขศรี² และ วีระพงษ์ ทองสา³
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์^{1*,2,3}

Sillapachai Klinklai^{1*} Phumarin Thawitsri² and Wiraphong Thongsas³
Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University

Under the royal patronage^{1*,2,3}

Email : Demon2535@gmail.com^{1*}, wiraphong.th@gmail.com², thavitsrip@gmail.com³

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของหม้อแปลงขนาด 500 kVA เมื่อจำลองสถานีและอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงมีโหลดใช้งานสูงสุด โดยศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงและสายส่งไฟฟ้า ซึ่งจะจำลองระบบไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DIGSILENT อีกหนึ่งแก้ปัญหา กำลังไฟฟ้าสูญเสียเบื้องต้นด้วยการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดตั้ง 10 – 100 กิโลวัตต์ เพิ่มขนาดครั้งละ 10 กิโลวัตต์ ผลการวิจัย พบว่าเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าและทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับพาหนะไฟฟ้าขณะที่มีโหลดสูงสุด จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มมากขึ้น จากที่ได้แก้ปัญหาเบื้องต้นด้วยการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดต่างๆ เปรียบเทียบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุด ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง ซึ่งเป็นแนวทางในการวางแผนติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าในอนาคตและยังสามารถใช้การจำลองผลด้วยโปรแกรม DIGSILENT มาเป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้าได้ต่อไป

คำสำคัญ : กำลังไฟฟ้าสูญเสีย พาหนะไฟฟ้า สถานีอัดประจุไฟฟ้า

Abstract

This paper presents an analysis of the effects of a 500 kVA transformer when simulating a station and charging a vehicle while the transformer has the highest rated load. Studying the power loss in transformers and power transmission lines This will simulate the electric system and charging station with the DIGSILENT program and solve the initial power loss problem by installing 10 - 100 kW solar panels increments of 10 kW. The results showed that compared before and after to charge electric vehicles while the Peak load, It can be seen that the power loss increase. The initial solution by installing photovoltaic panels of various sizes. Compare to

find the lowest power loss resulting in reduced electrical power decrease. Which is a guideline for planning and installation of electric Vehicles charging stations in the future.

Keywords : power loss, electric Vehicles, electric Vehicles charging stations

1. บทนำ

เนื่องจากความกังวลด้านความพร้อมใช้งานของเชื้อเพลิงฟอสซิล และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมทั้งสภาวะโลกร้อน อีกทั้งมลพิษฝุ่นควันที่ทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่องทั่วโลกจึงหันมาสนใจพลังงานที่ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลแล้วหันมาสนใจพลังงานที่ให้ความสะอาด [1], [2] ซึ่งทำให้ปัจจุบันเทคโนโลยีการใช้นานพาหนะไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) ในภาคการขนส่งเริ่มได้รับความนิยม สนใจมากขึ้นในระดับที่มีนัยสำคัญจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวอาศัยพลังงาน ไฟฟ้าซึ่งเก็บสะสมอยู่ในแบตเตอรี่มาเป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อนยานพาหนะดังกล่าว โดยเมื่อเปรียบเทียบกับยานพาหนะในปัจจุบันที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ซึ่งใช้น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักแล้ว จะพบว่า ยานพาหนะไฟฟ้าจะไม่ปลดปล่อยมลพิษในรูปของไอเสียสู่สภาพแวดล้อมเลย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ตั้งแต่ต้นหรือพลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy) แล้ว การใช้เชื้อเพลิงความร้อนมาผลิตไฟฟ้าเพื่อนำมาจ่ายให้กับยานพาหนะ ไฟฟ้าก็ยังมีมูลค่าหรือมีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานสูงกว่าการนำเชื้อเพลิงความร้อนมาใช้ในยานพาหนะที่เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยตรงมาก [3]

จากที่ได้ศึกษางานวิจัย [4] ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้รูปแบบโหลดที่แตกต่างกันที่มีต่อ เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากองค์ประกอบของการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้ามีชุดคอนเวอร์เตอร์และชุดสะสมพลังงานที่อาศัยสถานีประจุไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่เป็นแหล่งประจุพลังงาน เมื่อมีการ ประจุพลังงานที่แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าย่อมส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง การวิเคราะห์เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังจึงเป็น เครื่องมือที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบและการ วางแผนระบบไฟฟ้ากำลัง พบว่าการเชื่อมต่อโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินมีผลกระทบต่อระบบ ไฟฟ้าน้อยกว่าเชื่อมต่อโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่

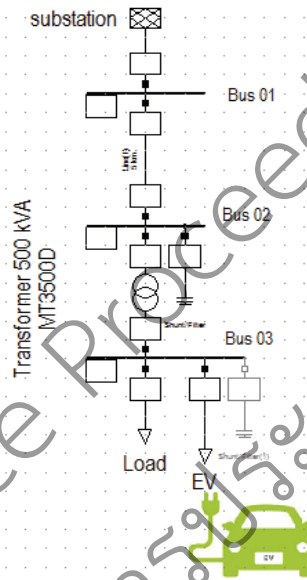
ในงานวิจัยได้ศึกษาผลกระทบของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่มีต่อหม้อแปลงขนาด 500 kVA ขณะที่หม้อแปลงมีโหลดใช้งานสูงสุด อีกทั้งทั้งศึกษาแนวทางแก้ปัญหาจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงและระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ได้จำลองจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ภายในมหาวิทยาลัยโดยใช้โปรแกรม DigSILENT ซึ่งจะทำให้การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดตั้ง 10 – 100 กิโลวัตต์ เพิ่มขนาดครั้งละ 10 กิโลวัตต์ ขณะที่หม้อแปลงมีภาระโหลดสูงสุดเพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ปัญหาเบื้องต้น เพื่อใช้สำหรับเป็นเครื่องมือในการศึกษาเรียนรู้และวางแผนติดตั้งสถานีอัดประจุพาหนะไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

2.1 การตรวจสอบและเก็บข้อมูล

ในบทความนี้จะทำการทดลองกับหม้อแปลงขนาด 500 kVA และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่ใช้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยเก็บข้อมูลสายสายส่ง หม้อแปลง และโหลดใช้งาน แล้วนำข้อมูลที่ได้อาจจำลองสร้างเป็นระบบไฟฟ้า จากนั้นสร้างโหลดสถานีอัดประจุไฟฟ้าและตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่

ด้านหตุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังรูปที่ 1 โดยศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power loss) เกิดขึ้นในสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้า และมีแรงดันไฟฟ้าที่ Bus 01 มีแรงดัน $1\angle 0^\circ$ pu.



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าและโหลดสถานีอัดประจุไฟฟ้า

2.2 การจำลองโหลดและจำลองการอัดประจุไฟฟ้า

การจำลองโหลดคิดจากค่าพิกัดกำลังของหม้อแปลง ดังสมการที่ (1) – (4) โดยทำการกำหนดค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์ (P.F) และขนาดของโหลดคิดจากดีมานด์โหลดแฟคเตอร์ (DLF)

$$S_{\max} = P_{\max} + jQ_{\max} \quad (1)$$

$$P_{\max} = S_{\max} \cos(\theta) \quad (2)$$

$$Q_{\max} = S_{\max} \sin(\theta) \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1}(P.F) \quad (4)$$

เมื่อ	S_{\max}	คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุด (kVA)
	P_{\max}	คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (kW)
	Q_{\max}	คือ กำลังไฟฟ้ารีแอทีฟสูงสุด (kVar)
	θ	คือ มุมเฟส (degree)

กำลังไฟฟ้าแอคทีฟสำหรับ PEV (PEV Active power) ของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า PEV เป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดของประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ การคำนวณหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าแอคทีฟสำหรับ PEV นั้นจะจำเป็นต้องประมาณค่าชั่วโมง ดังสมการที่ (5) ดังนี้

$$P_{EV-DEM}(t) = P_{EV_{MAX}} (1 - e(-\alpha \frac{t_d}{t_{max}})) \quad (5)$$

2.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด ทั้งทางด้านขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิดังสมการที่ (6) และการกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก

$$P_{cu} = I^2 R \quad (6)$$

P_{cu}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด
I	คือ	กระแสไฟฟ้า
R	คือ	ค่าต้านทานไฟฟ้า

เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตของหม้อแปลงคือผลรวมของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต กับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า แสดงได้ดังสมการที่ (7)

$$P_i = P_o + P_{loss} \quad (7)$$

P_i	คือ	กำลังไฟฟ้าด้านอินพุต
P_o	คือ	กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต
P_{loss}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง

และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง ดังสมการที่ (8)

$$P_{loss} = P_{core} + P_{cu} \quad (8)$$

เมื่อ P_{core} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก.

2.4 ขั้นตอนการดำเนินงานด้วยโปรแกรม DigSILENT

โปรแกรม DigSILENT ซึ่งสามารถช่วยวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า อาทิเช่น การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า การวิเคราะห์กระแสลัดวงจร การวิเคราะห์ปัญหาด้านเสถียรภาพ ทั้งใน ระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้า โปรแกรม DigSILENT มีความสามารถในการ เขียน DPL Script ซึ่งสามารถเขียนเป็นชุดคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโมเดลต่าง ๆ แบบอัตโนมัติ ซึ่งเหมาะสมกับการนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อที่เป็นโครงข่ายซับซ้อน และมีขนาดใหญ่มากขึ้นรวมถึงมีจำนวนข้อมูลมากขึ้น [8] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สร้างระบบจำหน่ายและวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

- รวบรวมข้อมูลระบบจำหน่าย โดยรวมข้อมูลหม้อแปลงและข้อมูลสายจำหน่ายไฟฟ้า
- คำนวณโหลดสูงสุดจากพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า
- สร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า และนำเข้าข้อมูลระบบในโปรแกรม DigSILENT
- จำลองการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าและอัดประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้า จากนั้นเก็บผลข้อมูล
- จำลองการแก้ไขกำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยการติดตั้งระบบไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และเก็บผลข้อมูลที่ได้
- วิเคราะห์ผลข้อมูลและสรุปผล

2.5 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เข้ากับด้านแรงต่ำของระบบไฟฟ้า

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เข้ากับด้านแรงต่ำของระบบไฟฟ้า (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ต่อ PV Grid connected system เข้ากับด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียสะสมเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดขนาดของโซลาร์เซลล์ 10 - 100 kW เพิ่มครั้งละ 10 kW โดยการควบคุมแรงดันของระบบโซลาร์เซลล์ด้วยการชดเชยกำลังไฟฟ้าจินตภาพ ซึ่งในกรณีที่ระบบไฟฟ้าไม่มีระบบโซลาร์เซลล์ ขนาดแรงดันตก ΔV ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดัน V_1 และ V_2 สามารถหาได้จาก (9)

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{PR + QX}{V_2} \quad (9)$$

เมื่อ P และ Q คือ กำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ที่ส่งจากบัส 1 ตามลำดับ R และ X คือค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของวงจร ถ้าสมมติให้แรงดันจุดที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเป็น 1 pu. สมการที่ (9) จะสามารถประมาณได้เป็น (10)

$$\Delta V = PR + QX \quad (10)$$

ถ้าระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ คือ P_{pv} และ Q_{pv} ตามลำดับ สมการที่ (10) จะได้เป็น

$$\Delta V = (P - P_{pv})R + (Q - Q_{pv})X \quad (11)$$

ซึ่งพบว่ากำลังไฟฟ้าที่เข้ามาจากระบบโซลาร์เซลล์ จะส่งผลให้เทอม $(P - P_{pv})$ และ $(Q - Q_{pv})$ ลดลง ทำให้ ΔV ลดลงไปด้วย

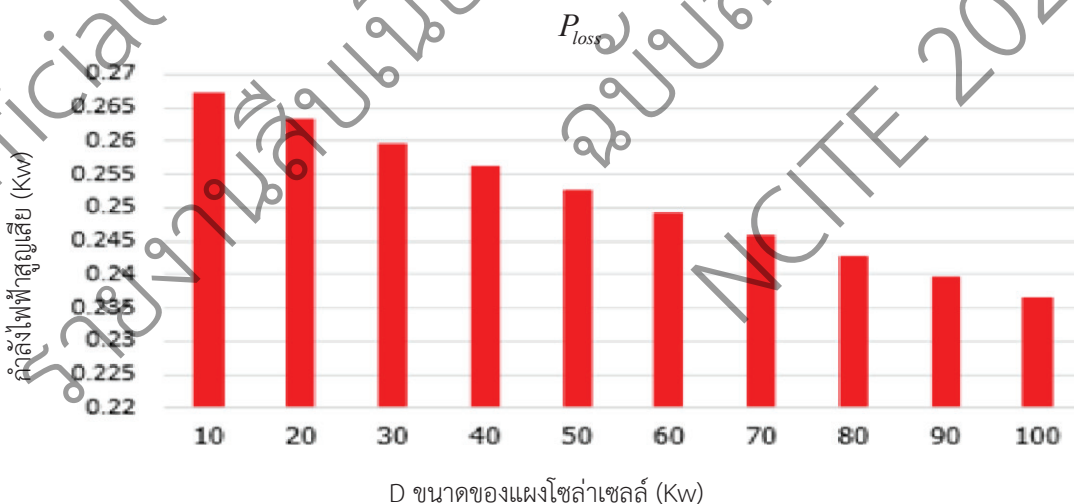
3. ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงาน จากที่ได้ทำการทดสอบแสดงผลขณะหม้อแปลงมีโหลดสูงสุด และติดตั้งโหลดสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุไฟฟ้า จากนั้นหาแนวทางแก้ปัญหากำลังไฟฟ้าสูญเสียเบื้องต้นโดยการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

ตารางที่ 1 ผลจำลองโหลดโพล์

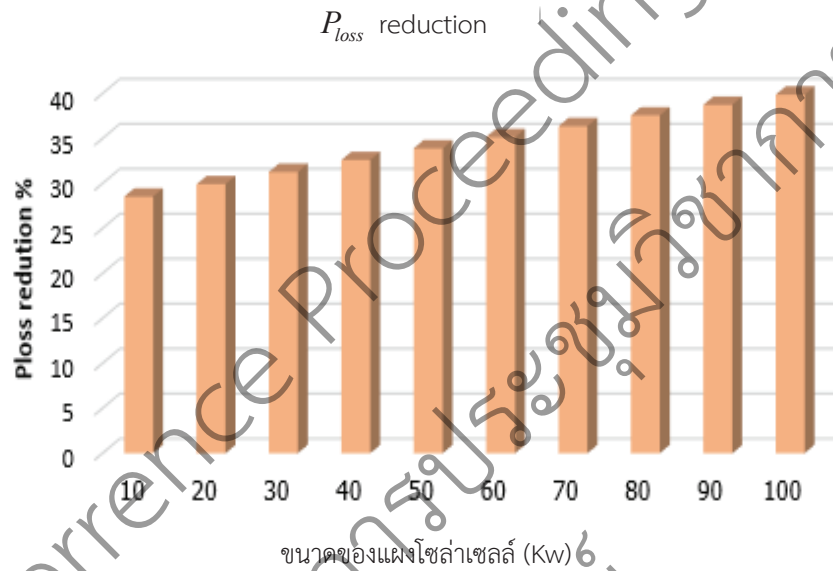
	Loss (kW)	กระแส (kA)	แรงดัน (Pu.)	Pload (kW)	Qload (kVar)
Peak load	0.2527	0.7564	0.96131	400	300
Load EV	0.27112	0.8124	0.96073	450	300

จากตารางที่ 1 ได้แสดงผลการเปรียบเทียบโหลดโพล์ ในสภาวะที่หม้อแปลงมีโหลดสูงสุด พบว่ามีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 0.2527 kW และมีแรงดัน 0.96131 pu. เมื่อมีการติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าและอัดประจุไฟฟ้าให้กับพาหนะไฟฟ้า พบว่ามีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 0.27112 kW และมีแรงดันลดลง 0.96073 pu.

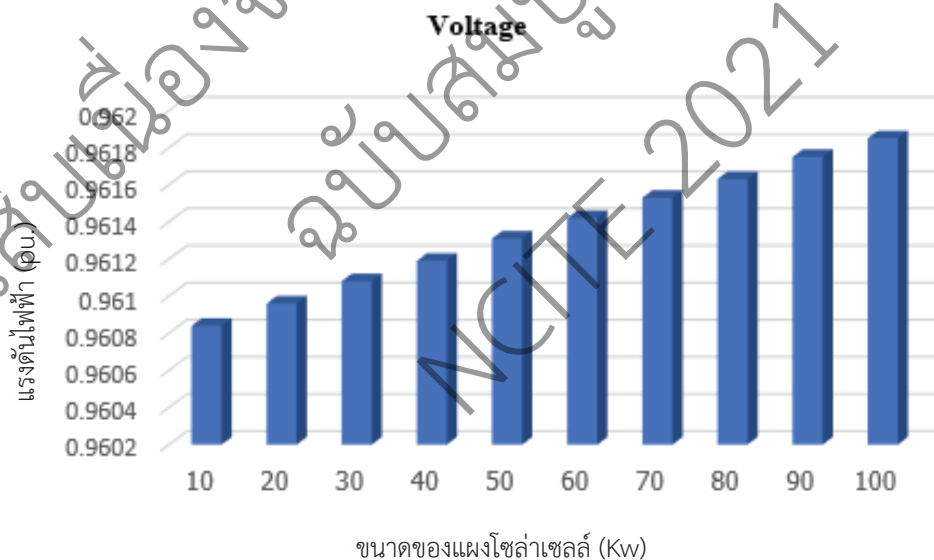


รูปที่ 2 กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ผลการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ดังรูปที่ 2 พบว่าเมื่อติดตั้งขนาดของโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้นยิ่งทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง โดยลดลงต่ำสุด ที่ขนาดโซลาร์เซลล์ 100 kW มีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 0.2365 kW ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงถึง 39.88 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 P_{loss} reduction



รูปที่ 4 แรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 4 พบว่าแรงดันสูงขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดของโซล่าเซลล์ มีแรงดันต่ำสุดที่โซล่าเซลล์ ขนาด 10 kW มีแรงดัน 0.96084 Pu. และมีแรงดันสูงสุดที่โซล่าเซลล์ ขนาด 100 kW มีแรงดัน 0.96185 Pu. ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มขนาดของโซล่าเซลล์ขึ้นทำให้คุณภาพของแรงดันดีขึ้น

4. สรุปและอภิปรายผล

เนื่องจากเทคโนโลยีพาหะไฟฟ้ากำลังเป็นที่ต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในงานวิจัยนี้สิ่งได้ศึกษาและการวิเคราะห์ผลกระทบของหม้อแปลงขนาด 500 kVA เมื่อจำลองสถานีและอัดประจุพาหะไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงมีโหลดใช้งานสูงสุด โดยศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงและสายส่งไฟฟ้า ซึ่งจะจำลองระบบไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DIGSILENT อีกทั้งแก้ปัญหากำลังไฟฟ้าสูญเสียเบื้องต้นด้วยการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ขนาดตั้ง 10 – 100 กิโลวัตต์ เพิ่มขนาดครั้งละ 10 กิโลวัตต์ ผลการวิจัย พบว่าเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าและทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับพาหะไฟฟ้าขณะที่มีโหลดสูงสุด จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย จากที่ได้แก้ปัญหาเบื้องต้นด้วยการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ขนาดต่างๆ เปรียบเทียบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุด ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงถึง 39.88 เปอร์เซ็นต์เมื่อติดตั้งขนาดของโซล่าเซลล์ขนาด 100 kW มีแรงดัน 0.96185 Pu ซึ่งเป็นแนวทางในการวางแผนติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าในอนาคตและยังสามารถใช้การจำลองผลด้วยโปรแกรม DIGSILENT มาเป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้าได้ต่อไป

5. แนวทางในการพัฒนางานวิจัย

ในงานวิจัยนี้พัฒนางานวิจัยในการวิเคราะห์โหลดไฟฟ้า โดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสม โดยกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) เป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงต่ำสุดเพื่อหาค่าเหมาะสมในการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) จังหวัดนครราชสีมา และสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่อำนวยความสะดวกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สำหรับจำลองระบบไฟฟ้า และภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า ไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สนับสนุนการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK2018, Available:<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>
- [2] BP Energy Outlook2019 edition., BP p.l.c.2019 Available :<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>
- [3] Global EV Outlook 2018 Towards cross-modal electrification : OECD/IEA 2018Available:<https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf/actualites/globalevoutlook2018.pdf>

- [4] Y. Kongjeen, "IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES UNDER DIFFERENT LOADING SCENARIOS ON POWER SYSTEM STABILITY".Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2018
- [5] H. Shinichiro, E. Haruhi, K. Fujio, K. Kazuhiro, An evaluation of charging power balance of EV battery for household distributed power system., International Journal of Renewable Energy Research, 2018.
- [6] H.Haes Alhelou, M.E.Hamedan Golshan, J.Askari-Marnani., "Robust sensor fault detection and isolation scheme for interconnected smart power systems in presence of RER and EVs using unknown input observer". Volume 99, July 2018, Pages 682-694
- [7] Y. Kongjeen, K. Bhumkittipich, N. Mithulanathan, I.S. Amiri, and P. Yupapin, "A modified backward and forward sweep method for microgrid load flow analysis under different electric vehicle load mathematical models," Electric Power Systems Research, vol.168, pp.46-54, 2019

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดอันดับฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรซอร์สโดยใช้วิธีการทาง
คณิตศาสตร์ของคาร์ดาโน

Feasibility Study of Order Reduction of Z-Source Inverter with Cardano's
Method

ธีรนนท์ ไชยคุณ^{1*} และ พิสิษฐ์ ลิ่วธนกุล²

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์^{1*}

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ²

Theeranon Chaiyakun^{1*} and Pisit Liutanaku²

Faculty of Industrial Technology, Varaya Alongkorn Rajabhat University^{1*}

Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok²

E-mail : theeranon.ch@gmail.com^{1*}, pisit.l@eng.kmutnb.ac.th²

บทคัดย่อ

วงจรซอร์สนับว่ามีคุณสมบัติและความสามารถที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากว่ามีคุณสมบัติที่เอาชนะข้อจำกัดและข้อด้อยของแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสแบบดั้งเดิมได้ อย่างไรก็ตามฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรนี้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสาม ซึ่งทำให้มีความยุ่งยากในการนำไปใช้ ด้วยเหตุนี้เอง บทความฉบับนี้จึงได้นำเสนอแนวทางในการลดอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายอิมพีแดนซ์ เพื่อให้ฟังก์ชันถ่ายโอนมีความสะดวกต่อการนำไปใช้งานมากยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการลดอันดับที่ได้แสดงเป็นขั้นตอนในบทความฉบับนี้ได้ใช้วิธีการละเลยโพล กล่าวคือ ละเลยโพลที่ห่างจากโพลเด่นมากกว่า 5 ถึง 10 เท่าขึ้นไป จนกระทั่งฟังก์ชันถ่ายโอนลดจากอันดับสามเหลืออันดับสอง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบการใช้งานต่างๆ โดยบทความนี้ได้ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ของคาร์ดาโนในการหาตำแหน่งของโพลเพื่อลดอันดับ ซึ่งผลการลดอันดับจะถูกยืนยันด้วยการเปรียบเทียบแผนภาพโพลระหว่างสมการเต็มอันดับและสมการลดอันดับ

คำสำคัญ: วงจรซอร์ส การลดอันดับ วิธีการทางคณิตศาสตร์ของคาร์ดาโน

Abstract

The great advantages of Z-source inverter (ZSI) are much more interesting. However, it is very complicated because such a model is third-order system. The higher order model remains a large disadvantage for switching power converter design of various applications. This paper examines the possibility of reduced order modelling of Z-source inverter. Therefore, the interested transfer function of ZSI can be found easily. Step by step of reduced order modelling method is also described. The present method uses the concept of neglected pole that responds faster than the dominant pole five or more times. Based on this, the ZSI system can be considered as a second order transfer function which is very helpful for switching converter

designs. Cardano's method used in this process. Bode diagrams of the full order and reduced order system are plotted and compared to verify the proposed method

Keywords : Z-source inverter, reduced order modelling method, Cardano's method

1. บทนำ

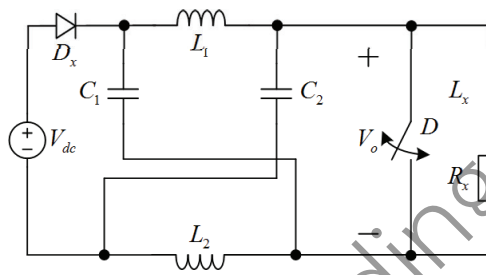
ในอดีตที่ผ่านมา วงจรแปลงผันพลังงานไฟตรง/ไฟสลับ หรือวงจรอินเวอร์เตอร์ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท [1] ดังต่อไปนี้ได้แก่ อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter: VSI) และอินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter: CSI) ตามลำดับ ซึ่งอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามวงจรอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ประเภท ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ก็มีข้อจำกัดและข้อด้อยต่าง ๆ ที่เป็นปัญหาในการใช้งานจริง [1] ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 1 จนกระทั่งในเวลาต่อมา ได้มีการนำเสนอวงจรอินเวอร์เตอร์แบบใหม่ที่มีคุณสมบัติสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้คือ อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายอิมพีแดนซ์ หรือซีซอร์สอินเวอร์เตอร์ (Impedance-Source Inverter: ZSI) [1] ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งวงจรพื้นฐานของ ZSI มีจุดเด่นที่สำคัญและเป็นประโยชน์อีกหลายประการดังต่อไปนี้คือ

ประการแรก วงจร ZSI สามารถนำไปประยุกต์งานใช้ได้กับการแปลงผันพลังงานได้ทุกรูปแบบ [1] ได้แก่ การแปลงผันพลังงานแบบไฟตรง/ไฟสลับ ไฟสลับ/ไฟตรง ไฟสลับ/ไฟสลับ และไฟตรง/ไฟตรง ตามลำดับ อีกทั้ง วงจร ZSI ยังมีความเหมาะสมในการใช้งานร่วมกับวงจรแปลงผันพลังงานแบบทบแรงดันและทอนแรงดัน อีกด้วย

ประการที่สอง วงจร ZSI สามารถรองรับการเกิดกึ่งวงจรได้โดยไม่ทำให้วงจรโดยรวมเกิดความเสียหาย เนื่องจากทางด้านอินพุตของวงจร ZSI จะประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัวและตัวเก็บประจุ 2 ตัว ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยโครงสร้างพื้นฐานทางด้านอินพุตของวงจร ZSI ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว และตัวเก็บประจุ 2 ตัว จึงส่งผลให้อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตของวงจร ZSI มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสี่ แต่เนื่องจากวงจรมีความเป็นสมมาตร กล่าวคือ ตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวและตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน จึงทำให้วงจรมีฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสาม (รวมตัวเหนี่ยวนำที่ไหลลัดด้วย) ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสามของวงจร ZSI เป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จะมีความยุ่งยากและความซับซ้อนสูง จึงทำให้เกิดความไม่สะดวกอย่างยิ่งต่อการออกแบบตัวควบคุมของวงจร ZSI

ตารางที่ 1 แสดงข้อจำกัดหรือข้อด้อยของวงจรอินเวอร์เตอร์ประเภท VSI และ CSI

ชนิดของคอนเวอร์เตอร์	ข้อจำกัดของวงจร		
	ชนิดของการแปลงผันพลังงาน		Dead-Time
	AC/DC	DC/AC	
คอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันแบบดั้งเดิม (VSI)	Step up	Step down	needs
คอนเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสแบบดั้งเดิม (CSI)	Step down	Step up	needs

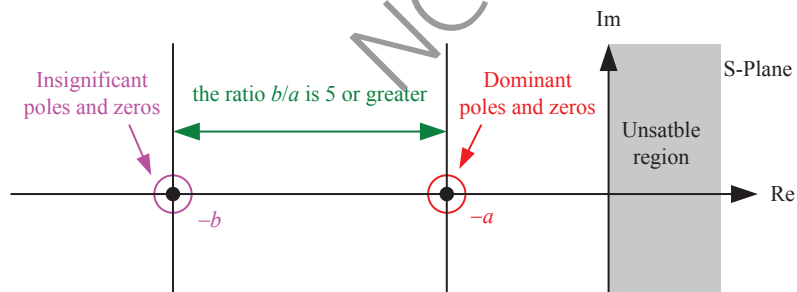


รูปที่ 1 วงจรสมมูลพื้นฐานของ Z-Source Inverter (ZSI)

ดังนั้นบทความฉบับนี้จะทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยการศึกษ วิเคราะห์ และออกแบบวงจรซอร์สอินเวอร์เตอร์ (ZSI) โดยมุ่งเน้นความเป็นไปได้ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ที่สามารถลดอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอน เพื่อที่จะทำให้เกิดความเสถียรในการออกแบบตัวควบคุมของวงจร ZSI โดยการลดอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอนที่บทความฉบับนี้นำเสนอ จะไม่มีกระทบใด ๆ กับคุณสมบัติที่เป็นจุดเด่นของวงจร ZSI ในรูปแบบเดิมตามลำดับการพิมพ์จะไม่มีการเว้นบรรทัด เว้นแต่หากต้องการขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นหนึ่งบรรทัดหรือการแทรกตารางหรือรูปภาพก็ให้มีการเว้นหนึ่งบรรทัดก่อนแทรกตารางหรือรูปภาพและเว้นอีกหนึ่งบรรทัดก่อนจะขึ้นย่อหน้าใหม่หลังการแทรกตารางหรือรูปภาพดังกล่าว

2. ทฤษฎีการลดอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอน

ในหัวข้อนี้โดยทั่วไป ในการลดอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ทำการศึกษา มักจะถูกอ้างอิงด้วยทฤษฎีการละเลยโพล [2] กล่าวคือโพลใด ๆ ก็ตาม ที่อยู่ห่างจากโพลเด่นเกินกว่า 5 เท่า จะสามารถละเลยการพิจารณาโพลดังกล่าวไปได้ทันที [2] โดยที่โพลเด่นคือตำแหน่งโพลที่ใกล้กับแกนจินตภาพมากที่สุด ซึ่งจากข้อกำหนดดังกล่าวจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การลดอันดับฟังก์ชันถ่ายโอนบทความฉบับนี้ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 จากรูปที่ 2 เป็นการแสดงให้เห็นถึงโพลตัวอย่างที่ตำแหน่ง $-b$ จะสามารถถูกละเลยในการพิจารณาได้ทันที ถ้าโพลนั้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ห่างจากโพลเด่นมากกว่า 5 เท่าโดยที่โพลเด่นจะมีตำแหน่งอยู่ที่ $-a$ นอกจากนี้แม้ว่าจะมีการละเลยการพิจารณาโพลที่ตำแหน่ง $-b$ ไปแล้วก็ตาม ก็จะไม่มีผลกระทบใดๆต่อภาพรวมของคุณสมบัติเด่นของระบบที่ทำการวิเคราะห์ [2]



รูปที่ 2 ทฤษฎีการลดอันดับ โดยสมมติให้ที่ตำแหน่ง $-b$ ถูกละเลยในการพิจารณา

3. การหาตำแหน่งของโพลด้วยวิธีการของคาร์ดาโน

จาก [3] สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายอิมพีแดนซ์สามารถแสดงในสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 4

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{[D'(D'-D)L_x + D'^2L]s + D'(D'-D)R_x}{L_xLCs^3 + R_xLCs^2 + [2D'^2L + (D'-D)^2L_x]s + (D'-D)^2R_x} \quad (1)$$

$$\frac{V_L(s)}{V_i(s)} = \frac{D'L_xCs^2 + D'R_xCs + D'^2}{L_xLCs^3 + R_xLCs^2 + [2D'^2L + (D'-D)^2L_x]s + (D'-D)^2R_x} \quad (2)$$

$$\frac{V_o(s)}{V_o} = \frac{-I_L L_x L s^2 + (D'V_o L - I_L R_x L + [D'-D]V_o L_x)s + [D'-D]V_o R_x}{D'[L_xLCs^3 + R_xLCs^2 + [2D'^2L + (D'-D)^2L_x]s + (D'-D)^2R_x]} \quad (3)$$

$$\frac{V_L(s)}{V_o} = \frac{-V_o LCs^2 + (D-D')I_L L_x s + (D-D')I_L R_x - V_o R_x - D'V_o}{-D'[L_xLCs^3 + R_xLCs^2 + [2D'^2L + (D'-D)^2L_x]s + (D'-D)^2R_x]} \quad (4)$$

โดยการที่จะทราบตำแหน่งของโพลได้ จะต้องทำการแยกแฟกเตอร์กำลังสามออก ซึ่งในเปเปอร์ฉบับนี้ได้ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์คาร์ดาโนทำการแยกแฟกเตอร์ ซึ่งได้ตำแหน่งของโพลดังสมการที่ 5 - 7

$$p_1 = y_1 + k \quad (5)$$

$$p_2 = y_2 + k \quad (6)$$

$$p_3 = y_3 + k \quad (7)$$

เมื่อ $k = \frac{-a}{3}$ และ

$$y_1 = \sqrt[3]{A} + \sqrt[3]{B} \quad (8)$$

$$y_2 = -\frac{1}{2}y_1 + j\frac{\sqrt{3}}{2}(\sqrt[3]{A} - \sqrt[3]{B}) \quad (9)$$

$$y_3 = -\frac{1}{2}y_1 - j\frac{\sqrt{3}}{2}(\sqrt[3]{A} - \sqrt[3]{B}) \quad (10)$$

โดย

$$A = -\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}} \quad (11)$$

$$B = -\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}} \quad (12)$$

และ

$$p = -\frac{a^2}{3} + b \quad (13)$$

$$q = \frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c \quad (14)$$

โดยที่

$$a = \frac{b'}{a'} = \frac{R_x LC}{L_x LC} = \frac{R_x}{L_x} \quad (15)$$

$$b = \frac{c'}{a'} = \frac{2D'^2 L + (D' - D)^2 L_x}{L_x LC} \quad (16)$$

$$c = \frac{d'}{a'} = \frac{(D' - D)^2 R_x}{L_x LC} \quad (17)$$

จากสมการที่ 5 - 17 สามารถสังเกตได้ว่า ตัวแปรที่มีผลต่อตำแหน่งของโพลมากที่สุดคือตัวแปร k หรือก็คือตัวแปร L_x และ R_x นั่นเอง ซึ่งทำให้เห็นว่า โหลดของวงจรมีผลกระทบต่อตำแหน่งของโพลมาก อย่างไรก็ตามเมื่อทราบตำแหน่งของโพลแล้ว ก็จะต้องทำการหาอัตราขยายขดเชยด้วยหากทำการลดอันดับด้วยการละลายโพล จึงจะทำให้การลดอันดับสมบูรณ์ โดยวิธีการลดอันดับและการหาอัตราขยายขดเชย จะแสดงให้เห็นในหัวข้อถัดไป

4. การหาตำแหน่งของโพลด้วยวิธีการของคาร์ดาโน

ในการลดอันดับฟังก์ชันถ่ายโอน จะสามารถทำได้โดยการละลายโพลที่ห่างจากโพลเด่นเกิน 5 เท่าขึ้นไป อย่างไรก็ตาม โพลที่ทำการละลายต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะเฉพาะของระบบในย่านความถี่ที่พิจารณา หลังจากทำการละลายโพลเสร็จ จะต้องมีการคำนวณอัตราขยายใหม่ เพื่อชดเชยอัตราขยายเดิมที่เปลี่ยนไปจากการละลายโพล โดยวิธีการลดอันดับจะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (18)$$

โดยที่ a_0, a_1, a_2, a_3 และ b_0, b_1, b_2 คือสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถ่ายโอนขั้นตอนที่ 2 : จัดรูปสมการ จากสมการที่ 18 ให้อยู่ในรูปสมการที่ 19 และ 20

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_2 \left(s^2 + \frac{b_1}{b_2} s + \frac{b_0}{b_2} \right)}{a_3 \left(s^3 + \frac{a_2}{a_3} s^2 + \frac{a_1}{a_3} s + \frac{a_0}{a_3} \right)} \quad (19)$$

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)}{(s+p_1)(s+p_2)(s+p_3)} \quad (20)$$

เมื่อ $K = b_2 / a_3$

ขั้นตอนที่ 3 : ในรูปของสมการที่ 20 สามารถหาได้ด้วยวิธีการของคาร์ดาโน ซึ่งจะทำให้ทราบตำแหน่งของโพลแต่ละตัว โดยสามารถละเลยโพลที่ห่างจากโพลเดนเกิน 5 เท่าขึ้นไปเพื่อทำการลดอันดับฟังก์ชันถ่ายโอน สมมติให้ p_1 คือ โพลที่ถูกละเลย ทำให้ได้สมการที่ 21 ซึ่งเป็นผลจากการลดอันดับสมการที่ 20 ดังนี้

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)}{(s+p_2)(s+p_3)} \quad (21)$$

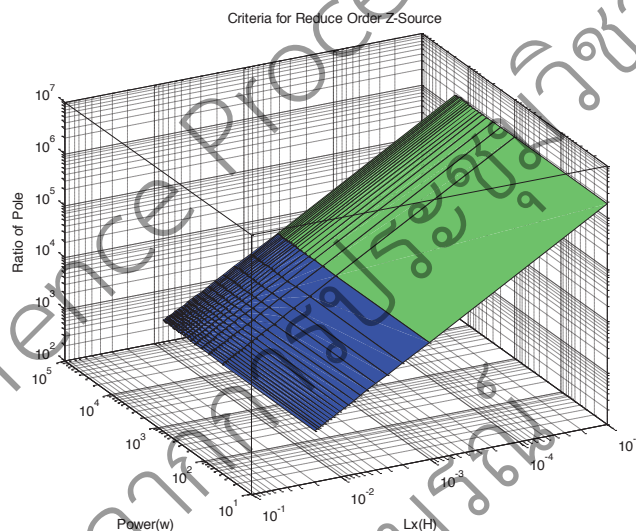
ขั้นตอนที่ 4 : เนื่องจาก ส่งผลให้อัตราขยายดีซีเปลี่ยนไปจากเดิมในสมการที่ 21 จึงจำเป็นต้องทำการชดเชยอัตราขยายเพื่อให้อัตราขยายใหม่ K' ซึ่งแสดงให้เห็นดังสมการที่ 22 ดังต่อไปนี้

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{K'(s+z_1)(s+z_2)}{(s+p_2)(s+p_3)} \quad (22)$$

เมื่อ $K' = K \times (1/p_1)$

ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรในการจำลองของวงจร ZSI

Parameter	V_S	f_s	V_i	P	L_x
Value	180	20	315	$10 \rightarrow 20 \times 10^3$	$10^{-6} \rightarrow 20 \times 10^{-3}$
Unit	V	kHz	V	W	H

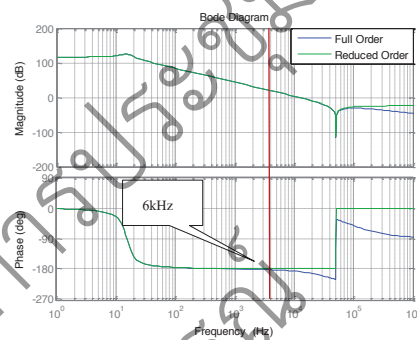
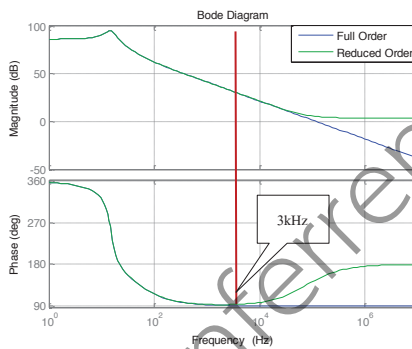
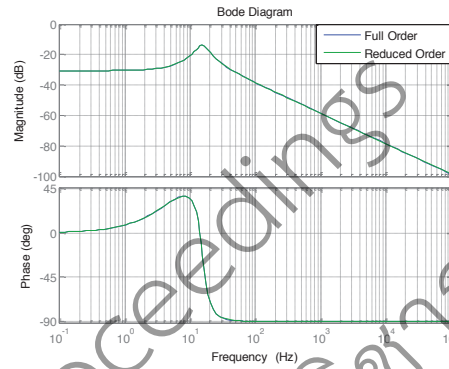
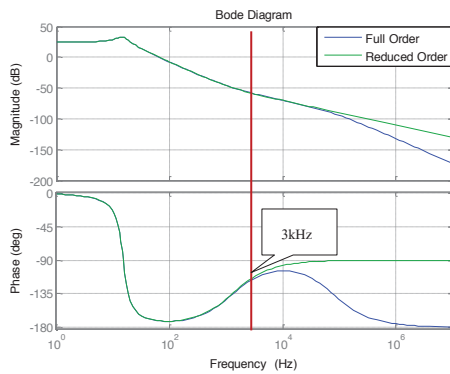


รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่า P และ L_x ที่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าเทียบกับอัตราส่วนของโพลเด่นและโพลที่พิจารณา

5. ผลการจำลอง

จากความสำคัญของโพลด์ที่มีผลต่อตำแหน่งของโพลด์ตั้งที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3 ทำให้จำลองความสัมพันธ์ระหว่างโพลด์และอัตราส่วนระหว่างโพลเด่นและโพลที่พิจารณา (โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าแปรผกผันกับค่าความต้านทานโพลด์) โดยใช้ค่าในการจำลองจากตารางที่ 2 และได้ผลการจำลองดังรูปที่ 3

จากการจำลองและวิเคราะห์จะพบว่า ยิ่งโพลด์ความเหนี่ยวย่น่ายังมีค่ามากเท่าไร อัตราส่วนระหว่างโพลด์ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ในทางกลับกันยิ่งโพลด์ความต้านทานมีค่ามาก อัตราส่วนระหว่างโพลด์ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น จึงทำการจำลองฟังก์ชันถ่ายโอนโดยใช้ค่าตัวแปรที่ทำให้อัตราส่วนระหว่างโพลด์มากที่สุดจากรูปที่ 3 ซึ่งได้ผลการจำลองออกมาดังแสดงในรูปที่ 4



(ก)

(ง)

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบผลตอบสนองทางความถี่ของสมการเต็มอันดับและสมการลดอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอน

(ก) $\frac{0.6s}{0.6s}$, (ข) $\frac{0.6s}{0.6s}$, (ค) $\frac{0.6s}{0.6s}$ และ (ง) $\frac{0.6s}{0.6s}$ ตามลำดับ

จากผลการจำลองฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเต็มอันดับเทียบกับฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลดอันดับของสมการที่ 1 - 4 ได้ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 4 (ก) (ข) (ค) และ (ง) โดยจะเป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองทางความถี่ในรูปแบบแผนภาพโบเด

โดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่ลดอันดับได้ถูกลดอันดับด้วยวิธีการละเลยโพล พร้อมทั้งได้ทำการคูณอัตราขยายใหม่ x' เข้าไปชดเชยในระบบแล้ว

กรณี 1: ฟังก์ชันถ่ายโอน $\frac{0.6s}{0.6s}$

จากรูปที่ 4 คือผลการจำลองเปรียบเทียบระหว่างสมการเต็มอันดับและสมการลดอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอน $\frac{0.6s}{0.6s}$ ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า เส้นคุณลักษณะของทั้งสองสมการมีความเหมือนจนแทบทับกันตั้งแต่ที่ความถี่ประมาณ 3kHz ลงไป ซึ่งหมายความว่า สมการลดอันดับนี้สามารถแทนสมการเต็มอันดับได้ หากช่วงความถี่ที่ใช้งานมีค่าไม่เกิน 3kHz

กรณี 2: ฟังก์ชันถ่ายโอน $\frac{1/6s}{1/6s}$

จากรูปที่ 5 สามารถสังเกตได้ว่า เส้นคุณลักษณะของสมการเต็มอันดับและสมการลดอันดับเหมือนกันตลอดทุกช่วงความถี่ เนื่องจากโพลและซีโรอยู่ตำแหน่งใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน ทำให้เกิดการลดอันดับทางธรรมชาติ ดังนั้น สมการลดอันดับจึงสามารถใช้แทนสมการเต็มอันดับได้ตลอดทุกช่วงความถี่

กรณี 3: ฟังก์ชันถ่ายโอน $\frac{1/6s}{1/6}$

มีเงื่อนไขเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 คือ สมการลดอันดับสามารถแทนสมการเต็มอันดับได้ตั้งแต่ที่ความถี่ต่ำกว่า 3 kHz

กรณี 4: ฟังก์ชันถ่ายโอน $\frac{1/6s}{1/6}$

มีเงื่อนไขเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 และ 3 เพียงแต่ย่านความถี่ที่สมการเต็มอันดับสามารถใช้แทนสมการลดอันดับได้มีมากกว่า คือ ความถี่ที่ต่ำกว่า 6kHz

6. สรุป

สมการที่ถูกลดอันดับด้วยการละเลยโพลสามารถใช้แทนสมการเต็มอันดับได้ เพียงแต่ต้องทำการหาอัตราขยายใหม่ k' รวมถึงต้องพิจารณาด้วยว่าโพลที่ทำการละเลยไปต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะเฉพาะของระบบในย่านความถี่ที่ทำการพิจารณา โดยการละเลยโพลนี้ยังโพลที่ทำการละเลยยังมีตำแหน่งห่างจากโพลเด่นมากเท่าใด ย่านความถี่ที่สมการลดอันดับสามารถใช้แทนสมการเต็มอันดับได้ก็จะเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Z. Peng, "Z-source inverter," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 39, no. 2, pp. 504–510, Mar. 2003
- [2] C. L. Phillips and R. D. Harbor, Feedback Control Systems, 4th Edition, 4th edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- [3] V. P. N. Galigekere, "Stead-State and Small-Signal Modeling of Power Stage of PWM Z-Source Converter," Wright State, 2012 [4] Jonsson P. Logistics and Supply Chain Management. Glasgow : McGraw-Hill; 2008.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

เทคนิคการทบทวนการกำหนดค่าเซตตั้งการทำงานของ
ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงดันต่ำในตู้จ่ายไฟหลักของอาคาร
Protection Setting Review Technique Application to LV Circuit Breaker
in Main Distribution Board

ธงชัย คล้ายคลึง^{1*} ประจวบ อินระวงศ์² วุฒิชัย สง่างาม³ และกิตติวงศ์ สุธรรมโน⁴
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา^{1*,2,3,4}

Thongchai Klayklung^{1*} Prajuab Inrawong² Wutthichai Sa-nga-ngam³ and Kittiwong Suthamno⁴
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan^{1*,2,3,4}

E-mail : thongchai.ky@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการทบทวนการกำหนดค่าเซตตั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงดันต่ำในตู้จ่ายไฟหลักของอาคาร เพื่อตรวจสอบติดตามการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ค่าเซตตั้งเดิมกับสภาพการจ่ายโหลดปัจจุบัน โดยจะเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองระบบสายจำหน่าย สร้างฐานข้อมูลโหลดรายวันค่าสูงสุดในปัจจุบันด้วยโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ระดับแรงดัน ค่ากระแสลัดวงจรและกราฟการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ผลการวิเคราะห์พบว่าระดับแรงดันของระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ± 10 % ของแรงดันพิกัด ค่ากระแสลัดวงจรที่ด้านแรงต่ำทั้งแบบสามเฟส แบบเฟส-เฟส และเฟส - กราวด์ เท่ากับ 42,235 แอมป์ 36,576 แอมป์ และ 49,889 แอมป์ตามลำดับ ซึ่งค่ากระแสลัดวงจรดังกล่าวจะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานในช่วงเวลาคงที่ ที่เวลา 0.2 วินาที ตั้งค่าเซตตั้งเดิมที่ 1,250 แอมป์ เมื่อพิจารณาเทียบกับกระแสโหลดสูงสุดในปัจจุบันคือ 246 แอมป์ จะเห็นว่าค่าเซตตั้งเดิมนั้นถูกกำหนดไว้สูงเกินกว่าที่นิยมใช้กันคือมากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 เท่าของค่ากระแสโหลดสูงสุด ซึ่งจะส่งผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์นี้ทำงานช้า โดยเฉพาะในสภาวะกระแสโหลดเกินหรือการเกิดลัดวงจรที่ค่ากระแสลัดวงจรต่ำ ๆ ใดๆ ไร่ก็ตามหากพิจารณาค่าเซตตั้งเดิมของเซอร์กิตเบรกเกอร์นี้เทียบกับขนาดสายตัวนำ พิกัดหม้อแปลง จะยังคงสามารถรองรับโหลดเพิ่มได้อีก 80 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ การกำหนดค่าเซตตั้งการทำงานของ ตู้จ่ายไฟหลักของอาคาร

Abstract

This paper presents the protection setting review technique application to the low-voltage circuit breaker in the main distribution board. The objective is to monitor the circuit breaker protection setting configuration at the present load. The first step, we create a model of the distribution system and maximum daily load profile database into DigSILENT Power Factory program for analyses the voltage profile, Short-circuit currents and circuit breaker operating characteristic curve. The analysis result showed that the voltage profile at all node dropped

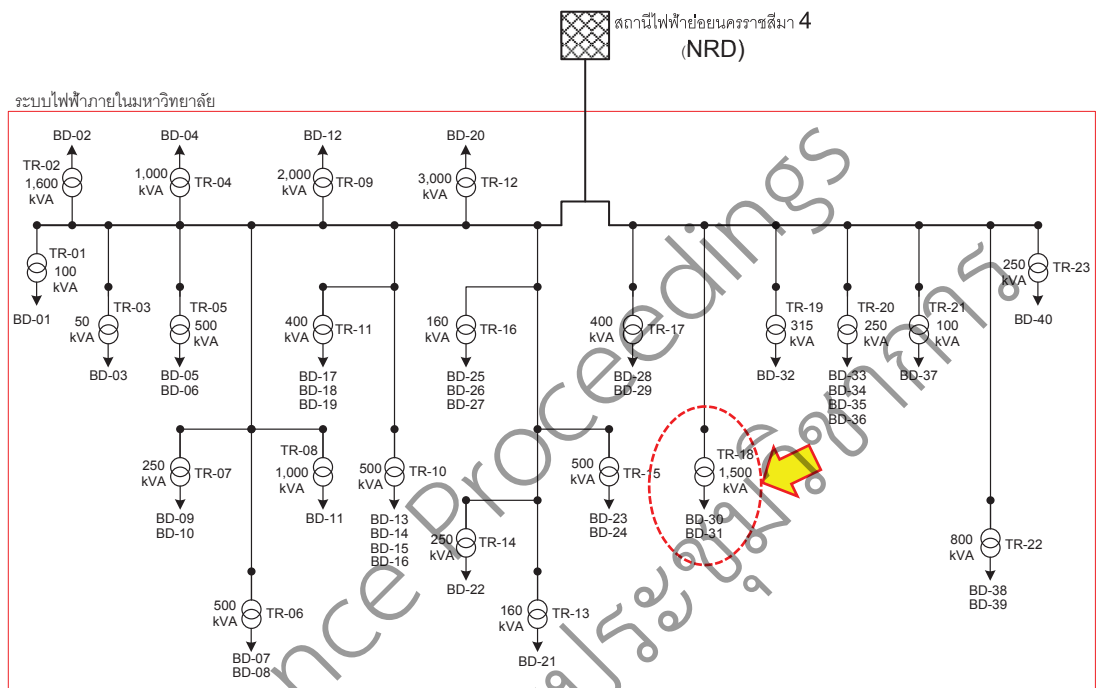
when the load profile increase but did not exceed the PEA criteria ($\pm 10\%$ at 22 kV and 380V). The short-circuit currents at the low-voltage side of three-phase, phase-to-phase and phase-ground fault type are 42,235, 36,576 and 49,889 Amps respectively. The current setting of 1,250 Amps for all short-circuit currents type will cause the circuit breaker operate at 0.2 seconds at definite time function. Considering the maximum present load of 246 Amps, the current setting is set to be higher than typical current setting about 1.5-time of the maximum load. These results cause to slowdown circuit breaker operation, especially in the overload current case. However, the circuit breaker current setting is taken into account with the conductor size and transformer rating. It still be able to support additional 80 % of the future load of the building.

Keywords : LV Circuit Breaker, Protection Setting , Main Distribution Board

1. บทนำ

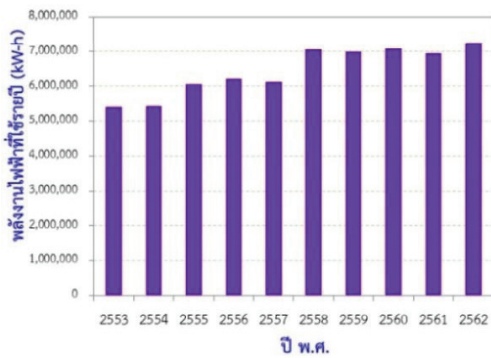
เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญและนิยมเลือกใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันหลักด้านแรงดันต่ำในตู้จ่ายไฟของแต่ละอาคาร เนื่องด้วยมีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับฟิวส์ ตัวอย่างเช่นเมื่อทำงานตัดกระแสเกินหรือตัดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบที่ทำการป้องกันแล้วไม่ต้องเปลี่ยนใหม่ มีหลายพิกัดกระแสให้เลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน และยังสามารถกำหนดค่าเซตตั้งการทำงานให้สัมพันธ์กับการแสโหลดและกระแสลัดวงจรได้ ในขณะที่การป้องกันด้วยฟิวส์นั้นไม่สามารถกำหนดตั้งค่าหรือเซตตั้งการทำงานฟิวส์ได้ อย่างไรก็ตาม ในตู้จ่ายไฟหลักในแต่ละอาคารนั้น การออกแบบและการเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์จะอ้างอิงกับโหลดติดตั้งที่ถูกรอกแบบไว้ และให้สัมพันธ์กับพิกัดของสายตัวนำ พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้อาคาร ซึ่งเป็นขั้นตอนการออกแบบตั้งต้นของการเริ่มต้นโครงการต่าง ๆ ในแต่ละกรณีไป เมื่ออาคารเหล่านั้นถูกใช้งานมาเป็นเวลานาน ย่อมมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น มีการติดตั้งโหลดด้านเครื่องปรับอากาศมากขึ้น แต่พิกัดอุปกรณ์ป้องกันยังเหมือนเดิม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการทบทวนค่าเซตตั้ง การตรวจสอบการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อการวางแผนการปรับปรุงให้สัมพันธ์กับสถานะปัจจุบัน และสร้างความมั่นใจสร้างความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าอีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา มีพื้นที่ทั้งหมด 330 ไร่ หรือประมาณ 0.54 ตารางกิโลเมตร มีอาคารต่าง ๆ กระจายเต็มพื้นที่ตามวัตถุประสงค์การใช้งานของแต่ละอาคาร โดยรับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในระดับแรงดันปานกลาง 22 กิโลโวลต์ ผ่านมิเตอร์ชนิดอ่านค่าอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading: AMR) เพื่อวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยจำนวน 1 เครื่อง จากนั้นระบบไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปยังอาคารต่าง ๆ ในระบบสายเหนือดิน (Overhead Line) โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้า 22,000 / 400 - 230 โวลต์ รวมทั้งหมดจำนวน 25 เครื่อง รวมเป็นกำลังไฟฟ้าติดตั้งทั้งหมดเท่ากับ 16,345 กิโลโวลต์-แอมป์ (kVA) ดังรูปที่ 1

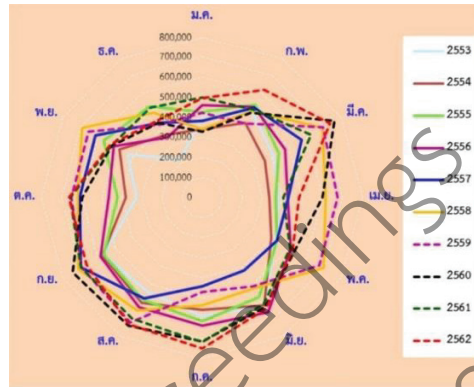


รูปที่ 1 แผนผังสายจำหน่ายไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา [1]

สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (หน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมง; kW-hr) ย้อนหลังเป็นเวลา 10 ปี ได้จากศูนย์กลางการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2 (ก) เมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของแต่ละปีที่พิจารณาทั้งหมด 10 ปี ดังกล่าวนั้น จะพบว่าช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปีจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดเนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว ช่วงของเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงอย่างต่อเนื่องมากที่สุด ได้แก่ ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน ซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝนและเป็นช่วงภาคเรียนที่ 1 ของทุก ๆ ปีที่พิจารณา ส่วนเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ได้แก่ เดือนมีนาคมซึ่งตรงกับกรเริ่มต้นของฤดูร้อนและยังมีการเรียนการสอนในภาคเรียนที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมนั้นมีปัจจัยของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง รายละเอียดดังรูปที่ 2 (ข)



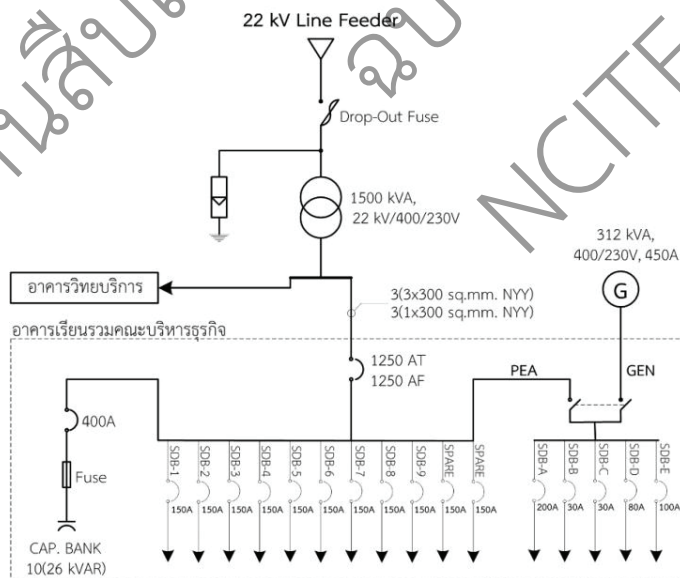
(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 10 ปี (หน่วย; กิโลวัตต์-ชั่วโมง) [1] (ก) รายปี และ (ข) รายเดือน

อาคารเรียนรวมคณะบริหารธุรกิจ (BD-30) ดังรูปที่ 1 รับไฟจากหม้อแปลงไฟฟ้าพิกัด 1,500 กิโลโวลต์-แอมป์ ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ 1,250 แอมป์ ในตู้จ่ายไฟหลักของอาคารมีรายละเอียดดังรูปที่ 3 อาคารดังกล่าวนี้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง เพราะมีลักษณะการใช้งานอาคารแบบผสมผสาน เช่น ห้องเรียนรายวิชา ทฤษฎี ห้องเรียนรายวิชาปฏิบัติ ห้องประชุม ห้องพักคณาจารย์ในแต่ละสาขา และยังมีการปรับปรุงการใช้ห้องของอาคารซึ่งเป็นการเพิ่มโหลดทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงเป็นอีกหนึ่งอาคารเป้าหมายที่จะต้องให้ความสนใจทั้งในด้านความปลอดภัยการใช้ไฟฟ้าและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลจากศูนย์กลางการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย พบว่าอาคารดังกล่าวนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในวันที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2563 มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 56 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 โดอะแกรมตู้จ่ายไฟหลักอาคารเรียนรวมคณะบริหารธุรกิจ (BD-30)



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2550 และ 2563 ของอาคาร BD-30

บทความนี้ นำเสนอเทคนิคการทบทวนการกำหนดค่าเซตตั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงดันต่ำ ในตู้จ่ายไฟหลักของอาคารเป้าหมายที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของค่าเซตตั้งเดิมกับสถานะของโหลดในอาคารที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ทำให้สามารถวางแผนการปรับเปลี่ยนค่าเซตตั้งของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าและโหลดปัจจุบัน วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าและวิเคราะห์กราฟการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

2. วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มต้นจากการสำรวจระบบสายจำหน่ายไฟฟ้าในมหาวิทยาลัย อุปกรณ์และพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า และข้อมูลโหลดรายอาคาร จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม DigSILENT Power Factory เพื่อวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า วิเคราะห์ค่ากระแสลัดวงจร และวิเคราะห์การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามค่าเซตตั้งเดิมในสถานะโหลดปัจจุบันของอาคารเป้าหมาย

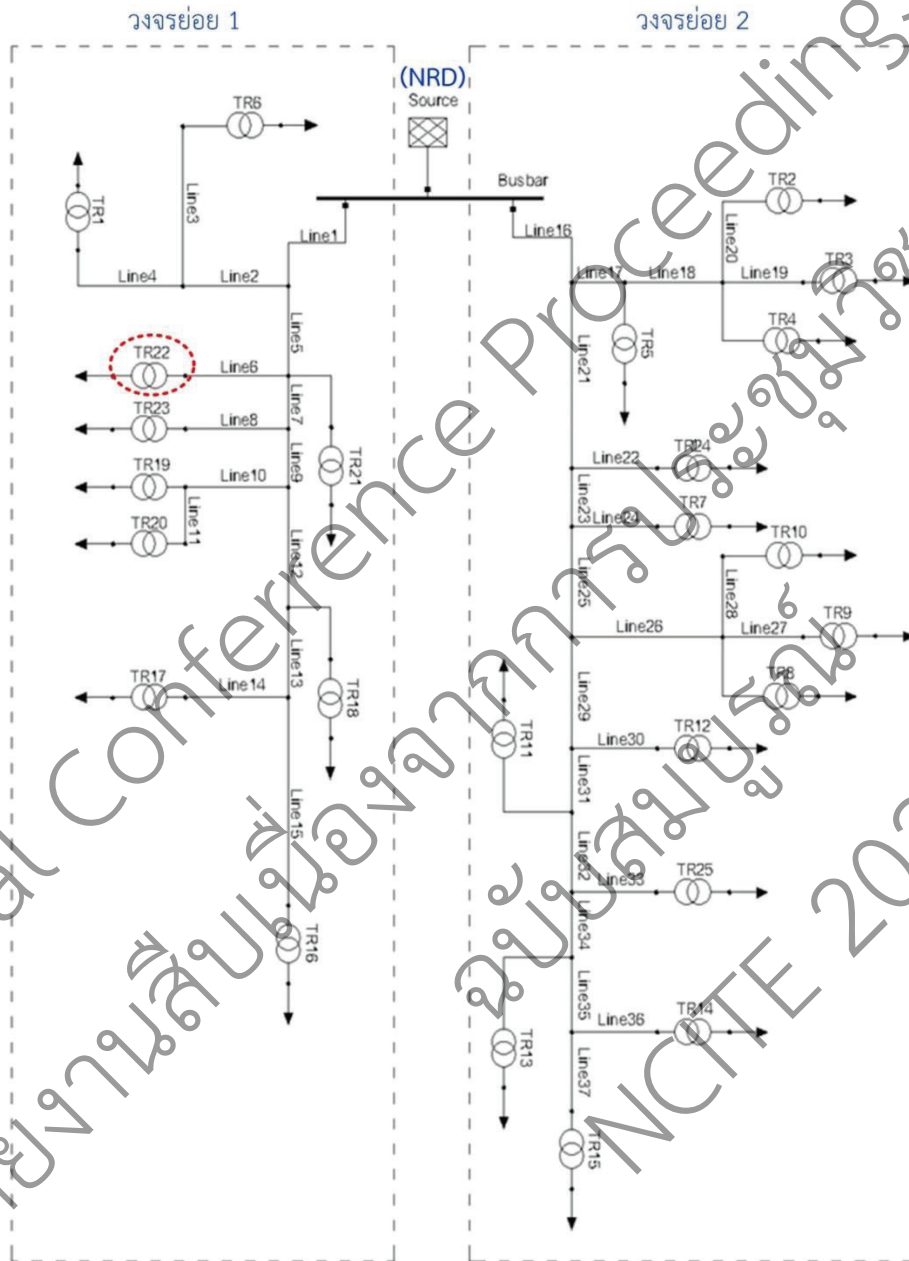
2.1 ระบบสายจำหน่ายไฟฟ้าปัจจุบัน

จากการสำรวจข้อมูลระยะความยาวของระบบสายจำหน่าย โหลด ชนิดและขนาดสายตัวนำของระบบสายจำหน่ายภายในมหาวิทยาลัย (ดังรูปที่ 1) จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างฐานข้อมูลและสร้างแบบจำลองในโปรแกรม โดยระบบสายจำหน่ายจะรับไฟระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ จากสถานีไฟฟ้านครราชสีมา 4 (NRD) จากนั้นระบบสายจำหน่ายภายในมหาวิทยาลัยจะแบ่งออกเป็น 2 วงจรย่อยเพื่อจ่ายไฟให้อาคารต่างๆ ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ารายอาคาร อาคารคณะบริการธุรกิจซึ่งเป็นอาคารเป้าหมายที่นำเสนอในบทความนี้จะรับไฟผ่านหม้อแปลง TR22 ดังรูปที่ 5

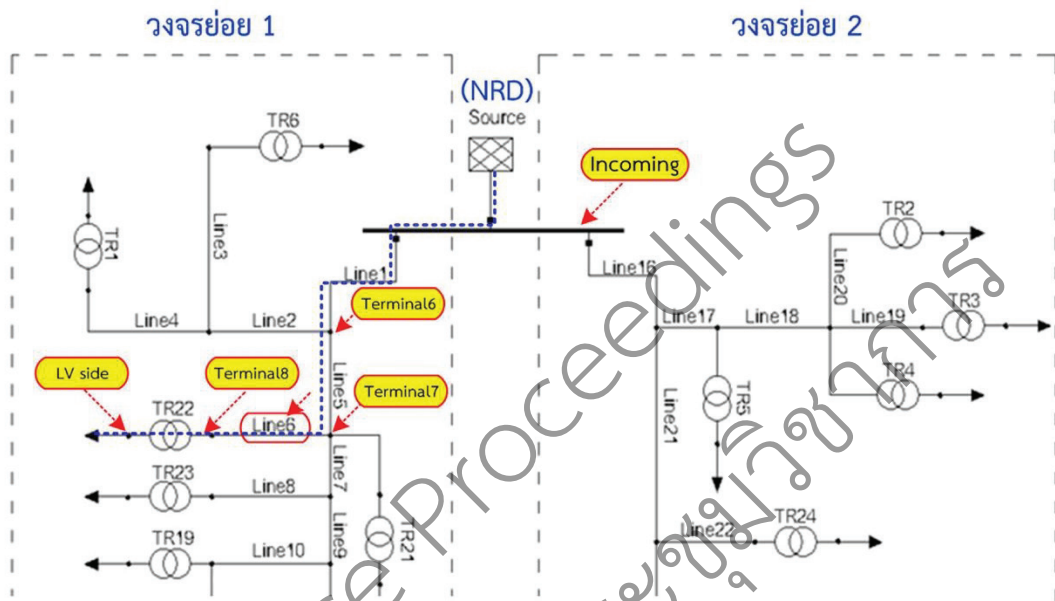
2.2 การวิเคราะห์

หลังจากออกแบบสร้างแบบจำลองระบบสายจำหน่ายดังรูปที่ 4 พร้อมทั้งสร้างฐานข้อมูลโหลดในแต่ละอาคารเป็นแบบโหลดรายวัน (Daily Load Profile) ซึ่งข้อมูลโหลดรายวันของอาคารต่าง ๆ นั้น ได้จากศูนย์กลางการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย โดยพิจารณาเลือกใช้โหลดในวันที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (ข้อมูลล่าสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563) เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองระบบสายจำหน่ายที่สร้างขึ้น

ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Analysis) เพื่อวิเคราะห์ระดับแรงดัน ค่ากระแสแอสต์ดวงจร และการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยพิจารณาเฉพาะในระบบที่เกี่ยวข้องกับอาคารเป้าหมาย ดังรูปที่ 6



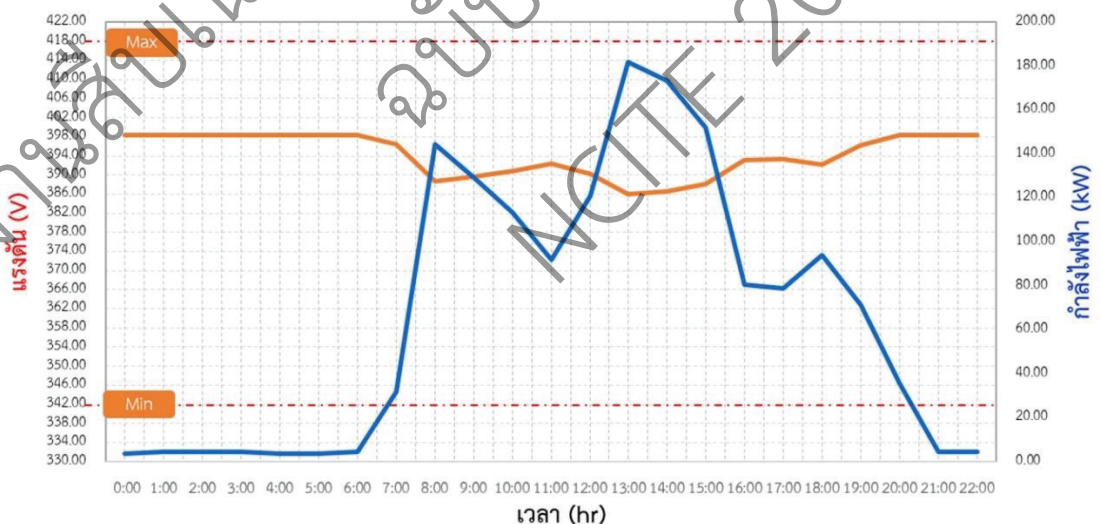
รูปที่ 5 แบบจำลองระบบสายจำหน่ายในโปรแกรม DigSILENT Power Factory



รูปที่ 6 การกำหนดตำแหน่ง (Node) ที่ต้องการวิเคราะห์

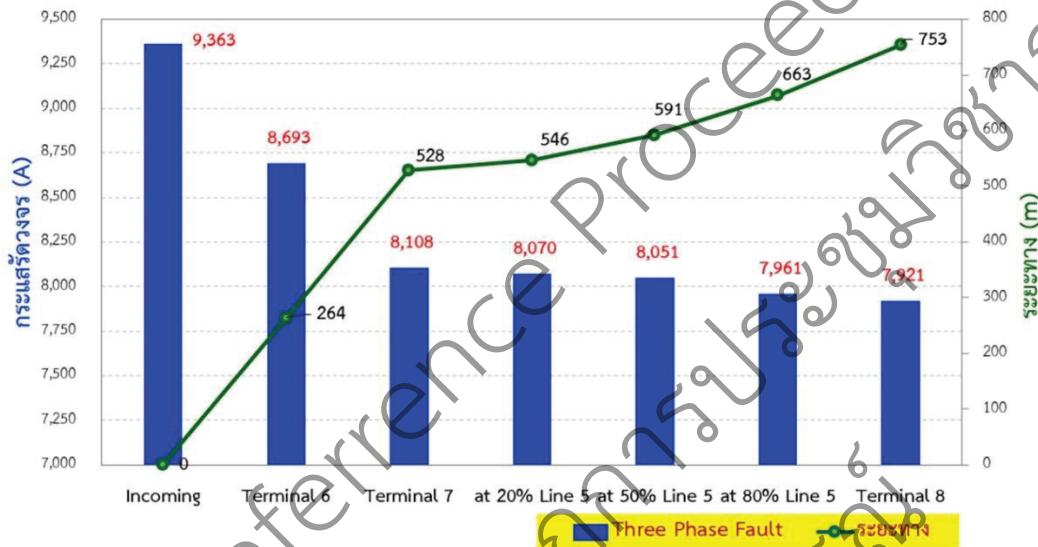
3. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น ทำให้ทราบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า TR22 ที่จ่ายให้อาคารเรียนรวมคณะบริหารธุรกิจ พบว่าระดับแรงดันอยู่ในเกณฑ์ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ระดับไม่เกิน ± 10 เปอร์เซ็นต์ หรือ 342 - 418 โวลต์ ถึงแม้จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงก็ตาม ดังรูปที่ 7

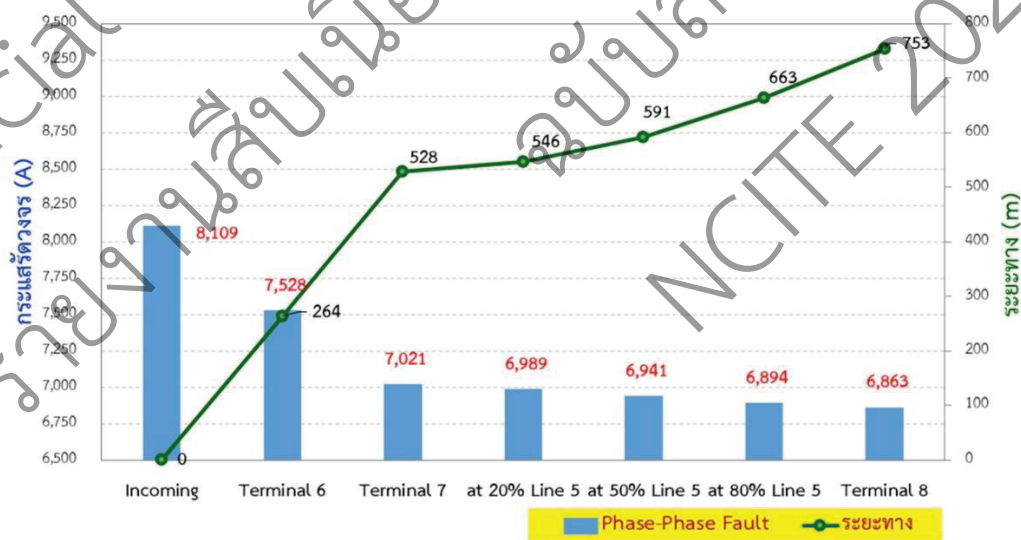


รูปที่ 7 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารที่วิเคราะห์

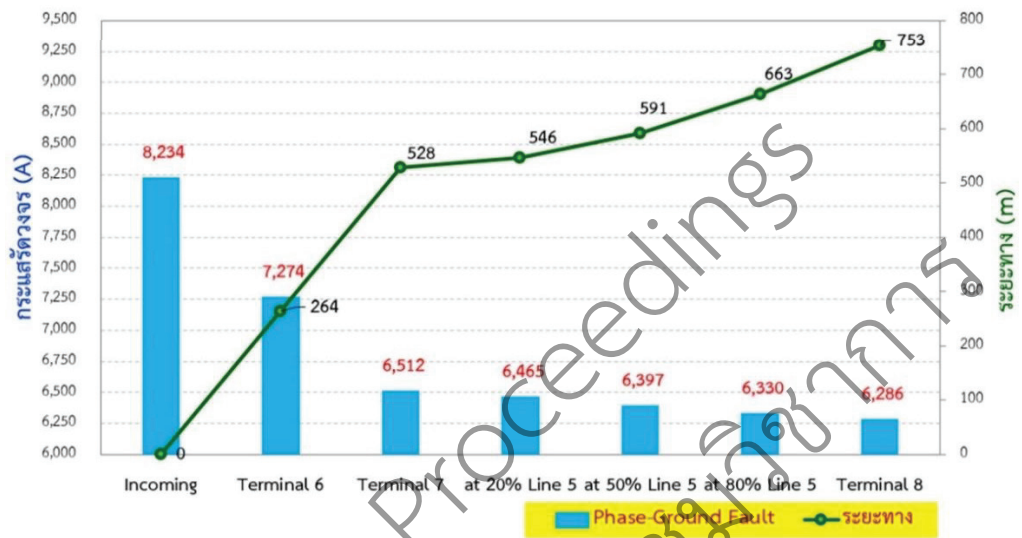
ค่ากระแสลัดวงจรทั้งชนิดการลัดวงจรแบบสามเฟส (Three Phase Fault) การลัดวงจรแบบเฟส - เฟส (Phase-Phase Fault) และการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดิน (Single Phase to Ground Fault) โดยจะวิเคราะห์อ้างอิงตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ในรูปที่ 5 กล่าวคือ ตำแหน่ง Incoming คือ ตำแหน่งจุดรับไฟ 22 กิโลโวลต์ของมหาวิทยาลัย ตำแหน่ง Terminal 6 - 7 ตำแหน่งสาย Line5 และตำแหน่งรับเข้าอาคารไปของหม้อแปลง TR22 คือตำแหน่ง Terminal 8 ตามลำดับ ซึ่งค่ากระแสลัดวงจรระบบ 22 กิโลโวลต์ ในตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าดังรูปที่ 8 -10 ดังนี้



รูปที่ 8 ค่ากระแสลัดวงจรแบบสามเฟสเปรียบเทียบกับระยะทางจากจุดรับไฟ 22 กิโลโวลต์



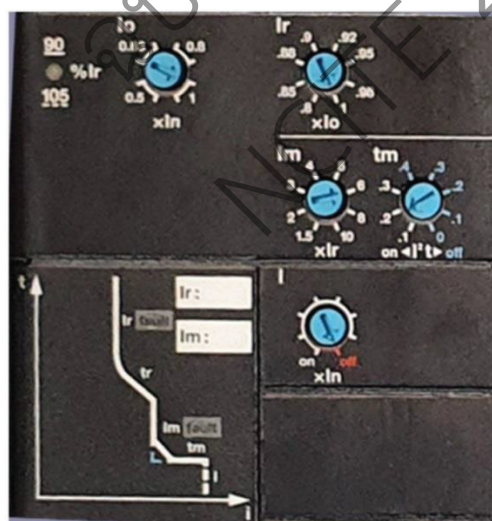
รูปที่ 9 ค่ากระแสลัดวงจรแบบเฟส - เฟส เปรียบเทียบกับระยะทางจากจุดรับไฟ 22 กิโลโวลต์



รูปที่ 10 ค่ากระแสลัดวงจรแบบเฟส - กราวด์ เปรียบเทียบกับระยะทางจากจุดรับไฟ 22 กิโลโวลต์

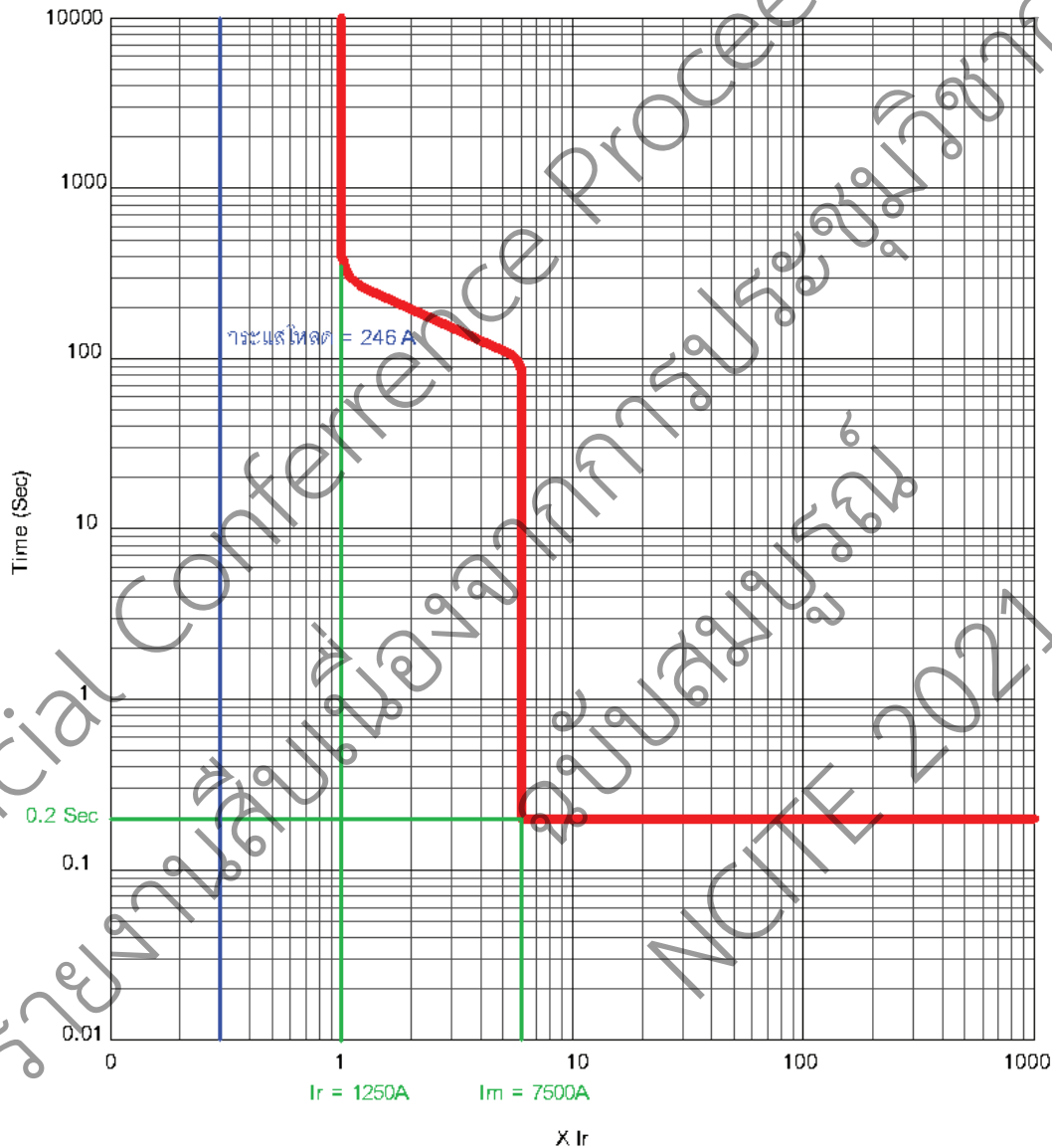
ส่วนค่ากระแสลัดวงจรด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลง TR22 นั้น เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมีค่ากระแสลัดวงจรแบบเฟส - กราวด์เท่ากับ 49.889 กิโลแอมป์ (ที่แรงดัน 380 โวลต์) กระแสลัดวงจรแบบเฟส - เฟสมีค่าเท่ากับ 36.576 กิโลแอมป์ (ที่แรงดัน 380 โวลต์) และกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสมีค่าเท่ากับ 42.235 กิโลแอมป์ (ที่แรงดัน 380 โวลต์) ตามลำดับ

การกำหนดค่าเซตตั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของอาคารที่วิเคราะห์นั้นถูกกำหนดมาในครั้งที่ก่อสร้างอาคารประมาณ 17 ปีที่ผ่านมา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ SQUARE-D รุ่น STR 38 S พิกัด 1,250 แอมป์ (AT) กำหนดค่าเซตตั้งไว้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่าเซตตั้งเดิมของเซอร์กิตเบรกเกอร์อาคารที่วิเคราะห์

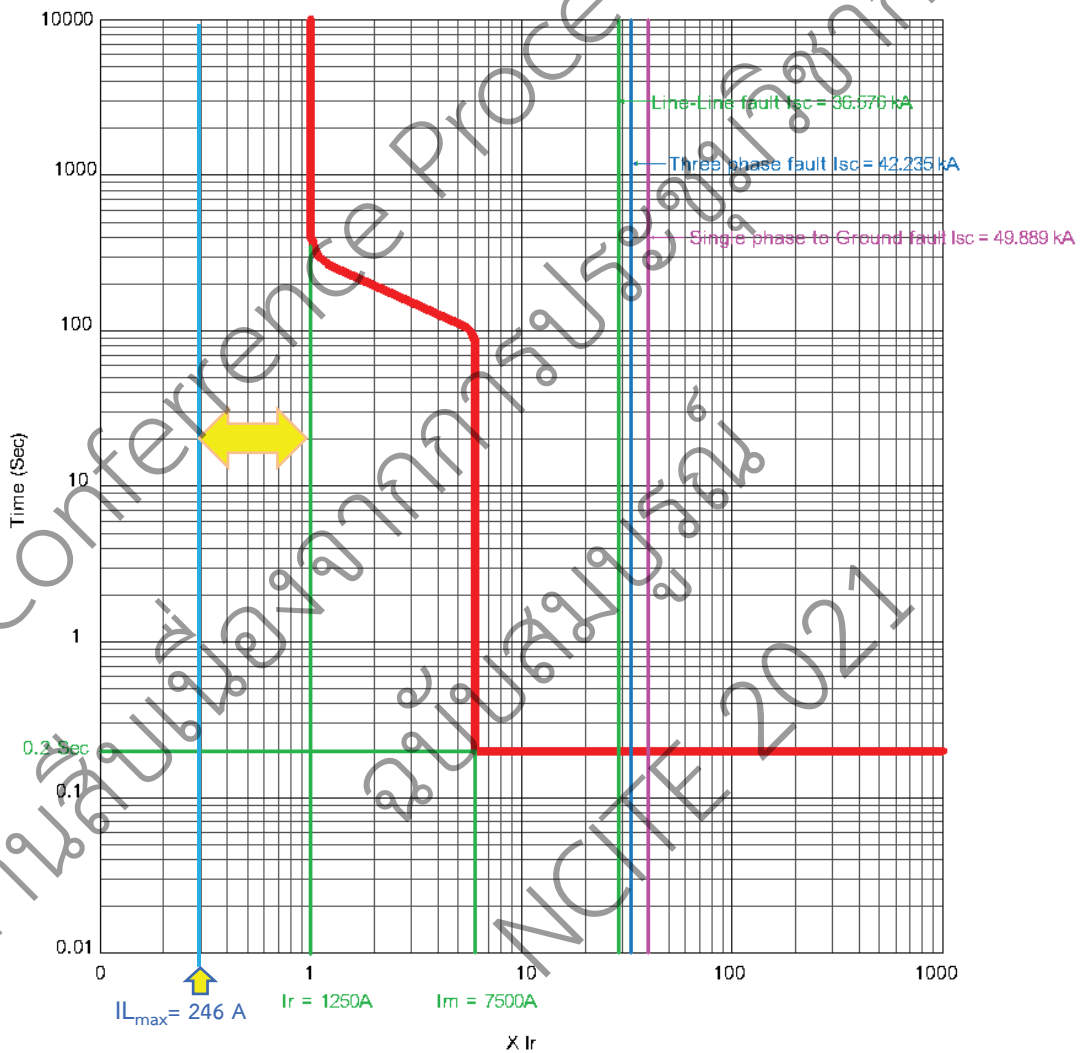
จากค่าเซตดั้งเดิมที่ปรากฏอยู่บนเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้น เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงการทำงานจะพบว่า มีลักษณะกราฟ 2 ส่วนคือ ส่วนกระแสเริ่มทำงานกำหนดไว้เท่ากับ 1,250 แอมป์ ($I_r = 1$) จากนั้นกราฟจะเป็นแบบผกผัน (Standard Inverse) ตามมาตรฐาน IEC จนกระทั่งกระแส I_r มีค่าเท่ากับ 6 เท่า ($I_m = 6I_r$) หรือเท่ากับ 7,500 แอมป์ กราฟการทำงานจะเปลี่ยนคุณสมบัติไปเป็นทำงานที่เวลาตายตัว (Definite time) ที่เวลา 0.2 วินาที ส่วนฟังก์ชันทำงานทันที (Instantaneous; I) ไม่ได้ตั้งค่าการทำงานไว้ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟกระแส - เวลา การทำงานตามค่าเซตดั้งเดิมของเซอร์กิตเบรกเกอร์อาคารที่วิเคราะห

กระแสไหลสูงสุด (ข้อมูลล่าสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563) มีค่าเท่ากับ 246 แอมป์ และสายตัวนำด้านแรงดันต่ำจากหม้อแปลงจ่ายมายังอาคารที่วิเคราะห์เป็นสายชนิด NYY ขนาด 300 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 3 เส้นต่อเฟส ซึ่งรองรับกระแสในแต่ละเฟสได้สูงสุดเท่ากับ 1,980 แอมป์ [2]

ดังนั้น เมื่อนำค่ากระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งด้านแรงดันต่ำ (LV Side) ทั้งค่ากระแสลัดวงจรแบบสามเฟส แบบเฟส - เฟส และแบบเฟส - กราวด์ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าเซตดั้งเดิมของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะพบว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานในฟังก์ชันการทริปที่เวลาคงที่ ที่เวลาเท่ากับ 0.2 วินาที ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 กราฟกระแส - เวลา ตามค่าเซตดั้งเดิมเมื่อเกิดลัดวงจรด้านแรงดันต่ำ

4. สรุป

แบบจำลองระบบสายจำหน่ายที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ รวมทั้งข้อมูลโหลดรายวันที่ใช้ในการวิเคราะห์ สามารถสร้างความเข้าใจและทราบถึงระดับแรงดันที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ จากผลการวิเคราะห์พบว่าระดับแรงดันระบบจำหน่ายอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และด้านแรงดันต่ำของอาคารที่วิเคราะห์นั้นมีค่าระหว่าง 386 - 398 โวลต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนดไว้ (± 10 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้เนื่องจากสายตัวนำระบบจำหน่ายมีระยะทางที่สั้นและใช้สายตัวนำระบบจำหน่ายชนิด 185 SAC ซึ่งมีขนาดที่เพียงพอต่อการรองรับการจ่ายโหลดในระบบได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

ค่ากระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายชนิดการลัดวงจรแบบสามเฟสมีค่าสูงสุดที่จุดรับไฟ (Incoming) เท่ากับ 9,363 แอมป์ และมีค่าต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดรับไฟของหม้อแปลงอาคารที่วิเคราะห์ (Terminal 8) เท่ากับ 7,921 แอมป์ การลัดวงจรแบบเฟส - เฟส มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 8,109 แอมป์ และ 6,863 แอมป์ ตามลำดับ ส่วนการลัดวงจรแบบเฟส - กราวด์ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 8,234 แอมป์ และ 6,286 แอมป์ตามลำดับ ที่ตำแหน่งเช่นเดียวกันกับกรณีลัดวงจรแบบสามเฟส ส่วนค่ากระแสลัดวงจรที่ด้านแรงต่ำ (LV Side) หลังเซอร์กิตเบรกเกอร์ของอาคารที่วิเคราะห์พบว่ามีการลัดวงจรแบบสามเฟส แบบเฟส - เฟส และเฟส - กราวด์ เท่ากับ 42,235 แอมป์ 36,576 แอมป์ และ 49,889 แอมป์ ตามลำดับ

ดังนั้น เมื่อพิจารณาค่ากระแสลัดวงจรด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลง TR22 และวิเคราะห์การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะพบว่ากระแสลัดวงจรทุกรูปแบบที่ด้านแรงต่ำ ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานในช่วงเวลาคงที่ที่เวลา 0.2 วินาที ส่วนการพิจารณาการกำหนดค่าเซตตั้งเดิมที่ 1,250 แอมป์ เปรียบเทียบกับค่ากระแสโหลดสูงสุดในปัจจุบันคือ 246 แอมป์นั้นจะเห็นว่าค่าเซตตั้งเดิมจะถูกกำหนดไว้สูงเกินกว่าที่นิยมใช้กันคือต้องมากกว่า 1.5 เท่าของกระแสโหลดสูงสุด ($1.5 \times 246 = 369$ แอมป์) [3] - [5] ดังนั้นจึงส่งผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานซึ่งไปเมื่อเกิดสถานะกระแสโหลดเกินหรือการเกิดลัดวงจรในกรณีใดก็ตามที่ตำแหน่งด้านแรงต่ำที่มีค่ากระแสลัดวงจรน้อย ถึงแม้ระบบจะถูกออกแบบเลือกใช้สายตัวนำที่เพื่อไว้สูงมากก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในประเด็นขนาดสายตัวนำพิกัดหม้อแปลง และค่าเซตตั้งเดิมของเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นยังคงสามารถรองรับโหลดเพิ่มได้อีก 80 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ตลอดจนการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำวิจัย ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้การสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Klayklung T, Sa-nga-ngam W, Suthamno K, and Aphicakul P. Load Clustering Technique Application to PV Solar Rooftop Installation Planning for Improving Energy Efficiency Index. RMUTI JOURNAL Science and Technology. 2020; 13: 134-146. (in Thai).
- [2] ศุภี บรรจงจิตร, 2563, เฟลปส์ ดอตจ คอมพิวเตอร์ ออกแบบระบบไฟฟ้า, สำนักพิมพ์ เฟลปส์ ดอตจ อินเทอร์เน็ต เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) จำกัด.

- [3] Ritu M. Management of Risk and Economics of LV Power System Protection for Industrial Facilities. IEEE Transactions on Industry Applications. 2016; 1308-1313.
- [4] Alstom co.,Ltd. Protective Relay Application Guide; 2002.
- [5] Blackburn J. Lewis. Protective Relaying Principles and Applications, Marcel Dekker Inc, New York; 1997.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

จักรยานธรรมะ นวัตกรรมที่เหมาะสมกับพระสงฆ์และชุมชนภาคเหนือประเทศไทย
Dhama Bike: Appropriate Innovation for Monks and People in The Northern
Community in Thailand

พนิดา จงสุขสมสกุล^{1*} พนมขวัญ ธิยะมงคล² สุเมธ เหมะวัฒนะชัย³ และ ปิยะรัชช ธรรมวัฒน์กุล⁴
คณะบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์และการสื่อสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร^{1*}
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร^{2,3,4}

Faculty of Business Economic and Communication, Naresuan University^{1*}
Faculty of Engineer, Naresuan University^{3,2,4}
E-mail: panidaj@nu.ac.th^{1*}

บทคัดย่อ

จากผลการวิจัยเชิงสำรวจพฤติกรรมสุขภาพของพระสงฆ์ใน 11 จังหวัด เขตภาคเหนือจำนวน 400 รูป พบว่ามีปัญหาด้านสุขภาพด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังมากที่สุด และจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสุขภาพทางการแพทย์พบว่า การรับประทานอาหารควบคู่กับการออกกำลังกายช่วยส่งเสริมสุขภาพได้ ผู้วิจัยจึงพัฒนานวัตกรรมจักรยานธรรมะที่เหมาะสมกับพระสงฆ์และชุมชนภาคเหนือประเทศไทยจากการมีส่วนร่วมของพระสงฆ์ โดยส่วนของนวัตกรรมจะเป็นการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับจักรยานที่ติดตั้งอยู่บนฐานจักรยานแล้วส่งข้อมูลผ่านสัญญาณบลูทูธไปยังแอปพลิเคชันเกมซึ่งได้พัฒนาตัวละครและเนื้อหาขึ้นมาใหม่ด้วยโปรแกรมยูนิตี จากผลการทดลองอุปกรณ์ดังกล่าวมีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1 การเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน และการใช้งานแอปพลิเคชันเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ ผลการประเมินจักรยานธรรมะโดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ย 4.47 ระดับดี และผลการประเมินจากพระสงฆ์และบุคคลทั่วไปที่ได้ทดลองใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.07 ระดับดี

คำสำคัญ นวัตกรรม จักรยานออกกำลังกาย สุขภาพพระสงฆ์ แอปพลิเคชันเกม

Abstract

From the survey of health behaviour of 400 monks in 11 provinces in the northern region of Thailand, it was found that many monks had problems with chronic NCDs. From interviews with medical health experts, it was found that healthy eating along with exercise can promote good health. The researchers then developed an innovative dhama bicycle suitable for monks and communities in northern Thailand with the participation of the monks. Parts of the innovation will be the design of a device that connects to a bicycle mounted on a bicycle base and transmits data via Bluetooth to the game application that has been developed to have new characters and content with a unity program. From the experimental results, the device gave a one percent margin

of error when used according to design. The dharma bicycle as evaluated by experts has an average of 4.47 with a good level. The evaluation from the monks and the people who tested it has an average of 4.07 with a good level.

Keywords: Innovation, Work out Bicycle, Monks Health, Game Application.

1. บทนำ

การออกแบบและพัฒนานวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อส่งเสริมสุขภาพของประชาชนที่ผ่านมา เกิดจากการทำงานร่วมกันของนักวิศวกรรมศาสตร์ในแต่ละสาขา โดยเกิดจากความเข้าใจและความรู้เฉพาะทาง จากนั้นนำเสนอผลการวิจัยและผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดเพื่อทำให้เกิดการใช้งานและการบริโภค ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผู้ประดิษฐ์ กับผู้ใช้งานที่มีการสื่อสารการตลาดเป็นปัจจัยในการขับเคลื่อนให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในเชิงสังคมและเชิงเศรษฐกิจ โดยเฉพาะนวัตกรรมการสร้างอุปกรณ์เพื่อส่งเสริมสุขภาพประชาชนที่เติบโตท่ามกลางสถานะที่เร่งรีบในการดำเนินชีวิต ข้ออ้างในเรื่องของการไม่มีเวลาสำหรับการดูแลและจัดการสุขภาพของตนเอง ทำให้เกิดผลกระทบต่อความเปลี่ยนแปลงเชิงสุขภาพระดับปัจเจกของประชาชนซึ่งพบในงานวิจัยด้านสุขภาพและด้านการจัดการสุขภาพของตนเอง ประชาชนในสังคมปัจจุบันรวมกลุ่มตัวอย่างที่เป็นทั้งกลุ่มคนทั่วไปและกลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น กลุ่มพระสงฆ์ ซึ่งจากการสำรวจพฤติกรรมสุขภาพจากโครงการวิจัยการพัฒนานวัตกรรมในการจัดการการส่งเสริมสุขภาพพระสงฆ์ อย่างมีส่วนร่วมกับพระคิลานุปัฏฐากผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์เมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2563 เลขที่รับรอง COA no. 327/19 IRB0197/622 พบว่าพระสงฆ์ อายุระหว่าง 23 – 86 ปี ทั้งนิกายเถรวาทและมหานิกายต่างมีโรคประจำตัวจากการฉันทอาหารซึ่งในกลุ่มพระสงฆ์ชายมหานิกายจะฉันทวันละ 2 มื้อ ส่วนฝ่ายธรรมยุติกฉันทวันละ 1 มื้อ แต่ในระหว่างวันจะฉันทน้ำปานะที่โดยส่วนใหญ่อาหารและน้ำปานะที่นำมาถวายจะสำเร็จรูป และสะดวกซื้อ ทำให้มีปริมาณของน้ำตาล ไขมันและเกลือสูง เพราะเป็นไปตามหลักการฉันทอาหาร ส่วนพระสงฆ์ที่ห่างไกลในถิ่นทุรกันดาร และตามชายแดนจะพบว่าอาหารของชนชาติพันธุ์จะมีการใส่ผงชูรสเนื่องจากความคุ้นชิน ส่งผลให้การฉันทอาหารของพระสงฆ์แม้จะเป็นการฉันทเพียงมื้อเดียวแต่การฉันทน้ำปานะในแต่ละวันกลายเป็นสาเหตุของน้ำหนักตัวที่เพิ่มมากขึ้นและมีโรคประจำตัวซึ่งพบว่าพระสงฆ์ส่วนใหญ่จะป่วยในกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังจำนวนมาก ได้แก่ โรคความดันโลหิตสูง โรคไขมันในเลือด โรคเบาหวาน ซึ่งจะนำไปสู่ภาวะของโรคเรื้อรัง คือ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไต โดยผลการสำรวจดังกล่าวเมื่อนำไปวิเคราะห์และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์ และเภสัชศาสตร์ รวมทั้งวิทยาศาสตร์การกีฬา จะต้องจัดการสุขภาพพระสงฆ์ด้วยกัน 3 วิธี คือ เริ่มตั้งแต่การให้ความรู้ในการฉันทอาหารและน้ำปานะ การให้ความรู้ในปัจจัยของการเกิดโรครวมไม่ติดต่อเรื้อรัง และการส่งเสริมสุขภาพพระสงฆ์โดยอาศัยกลยุทธ์การสื่อสารเพื่อนำมาผ่านนวัตกรรมที่จะนำไปสู่การสร้างกิจกรรมทางกายเพื่อให้ซึ่งจะมีข้อจำกัดกว่าประชาชนทั่วไป คือ ไม่สามารถออกกำลังกายในที่สาธารณะได้ ถึงแม้ว่าการทำกิจกรรมการออกกำลังกายนอกจากการเดินบิณฑบาตอย่างน้อย 2 กิโลเมตรต่อวันจะทำตามหลักวัตรปฏิบัติแล้วแต่พบว่ากิจกรรมดังกล่าวจะมีข้อจำกัด คือสภาพอากาศและกรณีของการบิณฑบาตบนถนนในเมือง อุปสรรคสำคัญ คือ ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจึงทำให้พระสงฆ์ในเขตเมืองปฏิบัติกิจกรรมนี้ลดลงแต่พระสงฆ์ในชุมชนสามารถปฏิบัติได้อย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงเดินวิปัสสนาสมาธิในช่วงเย็นซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการออกกำลังกายแต่ทางเดินวิปัสสนาก็มีระยะทางจำกัดภายในวัด กระบวนการวิจัยในการพัฒนานวัตกรรมจึงหาแนวทางร่วมกันระหว่างพระสงฆ์ นักวิจัย และชุมชน พิจารณาแล้วว่า อุปกรณ์ที่จะส่งเสริมการออกกำลังกายในพระสงฆ์ได้อย่างเหมาะสม คือ จักรยานทั่วไปซึ่งเป็นพาหนะที่ญาติโยมสามารถนำมาบริจาค

และเป็นพาหนะที่เข้ากับสรีระรวมทั้งน้ำหนักของพระสงฆ์เหมาะสมกว่าจักรยานที่ออกแบบมาเพื่อการออกกำลังกายในฟิตเนส

นอกจากนี้ฐานรองรับจักรยานที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าจะช่วยสนับสนุนให้เกิดการสร้างแรงจูงใจในการปั่นอย่างต่อเนื่องเมื่อเชื่อมกับอุปกรณ์ดิจิทัลที่แสดงผลเชิงตัวเลข ได้แก่ระยะทาง เวลา และค่านวมเป็นแคลอรีในการเผาผลาญ อีกทั้งสามารถใส่เนื้อหาบทเรียนธรรมะ คำสอน หรือวิดีโอการดูแลสุขภาพ เพลงแร็ป เข้าไปในระบบปฏิบัติการ จากกระบวนการคิดออกแบบร่วมกันเบื้องต้นเข้าสู่กระบวนการสร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อให้เหมาะสมกับพระสงฆ์และสามารถตั้งอยู่ในสถานที่ส่วนตัวไม่ผิดพระธรรมวินัย รวมทั้งสามารถเปิดโอกาสให้ชุมชนได้เข้ามาใช้งานได้ ทั้งผู้สูงอายุ เด็ก หรือผู้ที่เข้ามาในบริเวณวัด อีกทั้งยังเป็นนวัตกรรมสำหรับการออกกำลังกายที่ราคาเหมาะสม หากญาติโยมจะบริจาคและไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์การออกกำลังกายทั่วไปได้นี้เนื่องจากราคาสูงและส่วนใหญ่เป็นสิทธิบัตรทางการค้า บทความนี้จึงนำเสนอให้เห็นการศึกษาและพัฒนาวัตกรรมการจักรยานธรรมะ

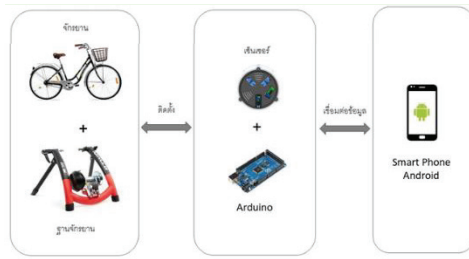
2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาจักรยานสำหรับการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับพระสงฆ์
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวัตกรรมการจักรยานในการส่งเสริมสุขภาพพระสงฆ์ (Cloud)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการพัฒนาวัตกรรมการจัดการการส่งเสริมสุขภาพพระสงฆ์อย่างมีส่วนร่วมกับพระคิลานุปัฏฐาก โดยศึกษาผลที่ได้จากการสำรวจสภาพปัญหาในการจัดการการส่งเสริมสุขภาพของพระสงฆ์ ทั้งที่มาจากวิธีวิจัยเชิงปริมาณ และวิจัยเชิงคุณภาพโดยอาศัยกระบวนการมีส่วนร่วม มาพัฒนาวัตกรรมการจักรยานทั่วไปที่ทำได้ง่าย ราคาไม่แพง จากนั้นนำไปทดสอบด้วยการนำเอานวัตกรรมไปประเมินประสิทธิภาพกับพระสงฆ์และคนในชุมชนจำนวน 11 วัด ใน 10 จังหวัด เขตภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน พะเยา แพร่ น่าน ลำพูน ลำปาง เชียงใหม่ เชียงราย พิชญโลก พิจิตร ซึ่งทำการเก็บข้อมูลทางกายของพระสงฆ์ที่เข้าร่วมโครงการด้วยการวัดรอบเอวและสัมภาษณ์พฤติกรรมการฉันอาหารรวมถึงพฤติกรรมในการออกกำลังกาย น้ำหนักตัว และกิจกรรมที่จะทำให้เกิดแรงจูงใจในการปั่น ซึ่งพบว่าพระสงฆ์มีน้ำหนักตัวเกินจากมาตรฐานทุกรูป และมีพฤติกรรมในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ แอนดรอยด์เพราะราคาเหมาะสมและคนในชุมชนส่วนใหญ่ใช้ระบบแอนดรอยด์เพราะมีหลากหลายแบรนด์ในราคาที่หลากหลายสามารถหาซื้อได้ ขณะที่ราคาของจักรยานสำหรับการออกกำลังกายอยู่ระหว่าง 1,900 – 30,000 บาท แต่เมื่อพระสงฆ์วิเคราะห์แล้วพบว่าลักษณะของท่าทางในการปั่นจะทำให้ดูไม่เหมาะสมกับพระสงฆ์ อีกทั้งจักรยานออกกำลังกายที่ราคาไม่สูงจะไม่สามารถสร้างแรงจูงใจด้วยการจัดเก็บข้อมูลระยะทาง จำนวนพลังงานที่เผาผลาญที่สามารถจัดเก็บข้อมูลในคลาวด์ (Cloud) ไม่มีสื่อประกอบเพื่อโน้มน้าวใจได้ รวมไปถึงชุมชนไม่สามารถเข้าถึงจักรยานออกกำลังกายในวัดได้ เพราะภาพลักษณ์ของอุปกรณ์การออกกำลังกายทั่วไปจะเหมาะสมกับพื้นที่ออกกำลังกายสาธารณะของชุมชนมากกว่า และพระสงฆ์ก็ไม่สามารถออกไปใช้ได้เช่นบุคคลทั่วไป

ขั้นตอนที่ 1 คณะวิจัยจึงนำเอาข้อมูลที่สังเคราะห์ได้มาออกแบบและพัฒนาจักรยานธรรมะ (Dhamma Bike) โดยมีแนวคิดการทำงานดังปรากฏในภาพที่ 1 ภาพรวมของจักรยานธรรมะ



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการทำงานจักรยานธรรมะ

ข้อสรุปแนวทางการออกแบบจะต้องเป็นอุปกรณ์ราคาเหมาะสม สามารถใช้จักรยานที่มีอยู่ทั่วไปติดตั้งเข้ากับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้งานโดยทั่วไป และพระสงฆ์รวมทั้งคนในชุมชนสามารถติดตั้งแอปพลิเคชันได้ทันที เป็นหัวใจสำคัญในการออกแบบให้เหมาะสมกับพระสงฆ์ที่สามารถใช้กับประชาชนทั่วไป รูปที่ 1 ส่วนแรก (ด้านซ้าย) คือชุดจักรยานและฐานปั่นจักรยานที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ในส่วนของฐานจักรยานสามารถหาซื้อมาประกอบกับจักรยานเพื่อยึดจักรยานตรงส่วนแกนของล้อด้านหลัง โดยยังคงปั่นได้และมีล้อหลังเป็นล้อที่หมุน ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยเมื่อติดตั้งจักรยานเข้ากับฐานปั่นจักรยาน จะทำให้ผู้ใช้สามารถปั่นจักรยานอยู่บนฐานปั่นโดยการหมุนของล้อหลังจักรยานขณะปั่นจะทำให้แกนหมุนของฐานปั่นจักรยานหมุนตามด้วยความเร็วที่เทียบเท่ากัน

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ เมื่อทำการสังเคราะห์นวัตกรรมที่ผ่านมาพบว่าเซนเซอร์แสงอินฟราเรด เป็นระบบที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ในงานตรวจวัดความเร็วในการหมุนของฐานปั่นจักรยาน (นิยมเรียกว่าเทรนเนอร์จักรยาน) ซึ่งเซนเซอร์นี้มีต้นทุนในการผลิตไม่สูง ทำให้สามารถติดตั้งกับชุดเทรนเนอร์ในราคาเหมาะสมและมีวิธีการในการจัดการออกแบบให้ง่ายและเหมาะสมกับการใช้งานกับกลุ่มพระสงฆ์และผู้สูงอายุหรือคนทั่วไป โดยมีหลักการในการพัฒนา ดังนี้

3.1 ส่วนประกอบของจักรยานธรรมะ ประกอบด้วยจักรยานและฐานจักรยาน ผู้ใช้สามารถนำจักรยานใหม่หรือเก่าที่ยังคงปั่นได้มาใช้ได้ ในส่วนของฐานจักรยานสามารถหาซื้อมาประกอบกับจักรยานเพื่อยึดจักรยานตรงส่วนแกนของล้อด้านหลัง โดยยังคงปั่นได้และมีล้อหลังเป็นล้อที่หมุน ดังแสดงในรูปที่ 2

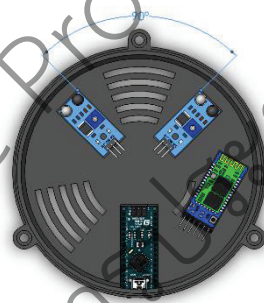


รูปที่ 2 การประกอบจักรยาน และฐานจักรยาน

3.2 ส่วนกลางรูปที่ 1 เป็นการออกแบบระบบส่วนที่สอง คือ ชุดเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ทางผู้วิจัยพัฒนาขึ้น มีหน้าที่ในการตรวจวัดความเร็วในการหมุนของฐานปั่นจักรยาน โดยการใช้เซนเซอร์แสงอินฟราเรดในการตรวจวัดผ่านสะท้อนแสงซึ่งติดกับชุดฐานปั่นจักรยานซึ่งทำให้ได้รอบและทิศทางการหมุนที่แม่นยำ จากนั้นนำ

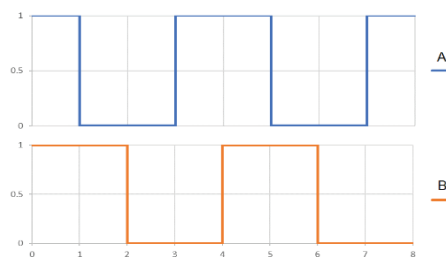
ค่าที่ได้มาคำนวณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งข้อมูลด้านระยะทาง ความเร็วและเวลาให้กับส่วนแอปพลิเคชันผ่านสัญญาณบลูทูธโดยส่วนประกอบชุดเซนเซอร์แสดงในรูปที่ 3

เซนเซอร์วัดความเร็วการปั่นจักรยานมีหลักการทำงานดังนี้ ในการคำนวณหาความเร็วการปั่นจักรยานซึ่งใช้งานกับทรานเซนเซอร์จักรยานนั้น ทางคณะวิจัยได้ทำการพัฒนาระบบเซนเซอร์แสงอินฟราเรดในการตรวจจับแผ่นสะท้อนแสงซึ่งติดกับชุดทรานเซนเซอร์จักรยาน เพื่อนับรอบการหมุนและทิศทางการหมุนของทรานเซนเซอร์จักรยานแล้วนำไปคำนวณหาความเร็วรอบของการหมุนในหน่วยรอบต่ออนาที (rpm) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำไปใช้คำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายด้วยจักรยาน เช่น นำไปคำนวณหาความเร็วและระยะทางในการปั่นจักรยานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 อุปกรณ์เซนเซอร์อินฟราเรด



รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์เซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์การตรวจวัดความเร็วการหมุนประกอบด้วยชุดเซนเซอร์อินฟราเรดจำนวน 2 ชุด (A และ B) ซึ่งถูกวางโดยทำมุมระหว่างกันประมาณ 90 องศา โดยจะมีการตรวจจับค่าการสะท้อนของแผ่นสะท้อนซึ่งมีสีขาวสลับดำบนแผ่นหมุนซึ่งต่อจากแกนหมุนของทรานเซนเซอร์จักรยาน โดยมีระยะห่างระหว่างเซนเซอร์อินฟราเรดกับแผ่นสะท้อนไม่เกิน 15 มิลลิเมตร เพื่อให้เซนเซอร์สามารถตรวจจับสัญญาณจากแผ่นสะท้อนได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะนำรูปแบบของสัญญาณไปคำนวณรอบการหมุนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพื่อการประมาณระยะทาง และทิศทาง การหมุนได้ โดยระบบควบคุมจะรับค่าจากเซนเซอร์อินฟราเรดจะจดจำตำแหน่งปัจจุบันหากมีการหมุนแผ่นหมุน จะทำให้รูปแบบสัญญาณที่เซนเซอร์ A และ B เปลี่ยนแปลงในลักษณะสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ทำให้ทราบสถานะทิศทางหมุนได้ทันที โดยอ้างอิงจากสถานะของเซนเซอร์อินฟราเรดในตำแหน่งปัจจุบัน ซึ่งหากเซนเซอร์ตัวใดมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ หมายความว่ามีการหมุนล้อจักรยาน



รูปที่ 4 ลักษณะสัญญาณที่เซนเซอร์อินฟราเรดอ่านได้

จากรูปที่ 4 เมื่อเซนเซอร์อินฟราเรดอ่านค่าจากแผ่นสะท้อนแสงอินฟราเรด จะอ่านค่าจากแผ่นสะท้อนสีขาว เป็น 1 และอ่านค่าจากแผ่นสะท้อนสีดำเป็น 0 ทำให้สถานะของเซนเซอร์อินฟราเรด A กับ B จะมีทั้งหมด 4 สถานะ คือ 1-1, 1-0, 0-0 และ 0-1 ทำให้เมื่อเกิดเปลี่ยนแปลงสถานะทำให้เราทราบทิศทางการหมุนได้ ยกตัวอย่างเช่น หากสถานะปัจจุบันเซนเซอร์อินฟราเรดทั้ง 2 ตัวอยู่ในตำแหน่งสีขาว คือ สถานะ 1-1 เมื่อเซนเซอร์อินฟราเรด A เปลี่ยนสถานะไปอยู่ตำแหน่งสีดำก่อนเซนเซอร์อินฟราเรด B ทำให้อยู่ในสถานะ 0-1 แสดงว่าตอนนี้เฟรนนอร์จักรยานกำลังหมุนตามเข็มนาฬิกา แต่หากเซนเซอร์อินฟราเรด B เปลี่ยนสถานะไปอยู่ตำแหน่งสีดำก่อนเซนเซอร์อินฟราเรด A ทำให้อยู่ในสถานะ 1-0 แสดงว่าตอนนี้เฟรนนอร์จักรยานกำลังหมุนทวนเข็มนาฬิกา และเมื่อเซนเซอร์อินฟราเรดทั้ง A และ B มีสถานะเท่ากับตำแหน่งเริ่มต้นจะถือว่าเฟรนนอร์จักรยานมีการหมุนครบ 1 รอบ และจากนั้นเราจะนับจำนวนรอบ n โดยกำหนดให้ช่วงเวลาในการนับรอบเพื่อนำมาคำนวณเป็นค่าคงที่ คือ $t = 0.2$ วินาที เราจะทราบความเร็วรอบ โดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$rpm = \frac{n}{t} \times 60 \quad (1)$$

เมื่อ rpm = ความเร็วการหมุนในหน่วยรอบต่อนาที
n = จำนวนรอบ
t = ช่วงเวลา กำหนดให้เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.2 วินาที

เมื่อทราบความเร็วรอบการหมุนแล้ว สามารถนำมาคำนวณหาความเร็วการเคลื่อนที่ของจักรยานได้ โดยขนาดของเพลลาเฟรนนอร์จักรยานที่มีค่าคงที่ คือ $r = 0.015$ เมตร โดยใช้สูตรการคำนวณความเร็วจักรยาน ดังนี้

$$v = \frac{2\pi r}{60} \times rpm \quad (2)$$

โดยที่ v = ความเร็ว (m/s)
r = รัศมีเพลลาเฟรนนอร์จักรยานเท่ากับ 0.015 เมตร (m)
rpm = ความเร็วรอบต่อนาที

จากนั้นจะสามารถหาระยะทางการเคลื่อนที่ของจักรยานต่อช่วงเวลาการเล่นได้โดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$s = vt \quad (3)$$

เมื่อ s = ระยะทาง (m)
v = ความเร็ว (m /s)
t = ช่วงเวลาในการเล่น (วินาที)

ขั้นที่สาม การพัฒนาดิจิทัลผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จากภาพขวาสุดในรูปที่ 1 เป็นแอปพลิเคชันที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกับฐานจักรยานที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร็ว โดยแอปพลิเคชันรองรับการทำงานบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ แอปพลิเคชันนี้ได้พัฒนาขึ้นในรูปแบบของเกมเพื่อส่งเสริมให้ผู้ใช้งาน

ได้มีความรู้สึกผ่อนคลายและเกิดความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย โดยมีการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดความเร็วผ่านระบบการเชื่อมต่อไร้สายบลูทูธ เมื่อผู้เล่นได้ทำการปั่นจักรยานบนฐานที่ติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร็ว เซนเซอร์จะส่งค่าความเร็วที่คำนวณได้มายังอุปกรณ์สมาร์ทโฟน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมตัวละครภายในเกม ภายในเกมจะประกอบด้วยโหมดเกมปั่นจักรยานที่ผู้ใช้งานนอกจากจะได้เพลิดเพลินไปกับการปั่นจักรยานพร้อมเล่นเกมแล้ว ยังมีคอนเทนต์คลิปวิดีโอที่ช่วยบรรยายถึงโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง และมีจำนวนของผู้ป่วยมากที่สุดในกลุ่มพระสงฆ์และคนทั่วไป แต่ลักษณะของการเกิดโรคมะเร็งที่สำคัญที่จะช่วยป้องกันได้ด้วยการออกกำลังกาย แอปพลิเคชันจึงเป็นการผสมผสานสื่อวีดิทัศน์ สื่อเสียงและภาพ เพื่อสื่อสารให้ผู้ใช้งานได้รับความเพลิดเพลินพร้อมทั้งความรู้ควบคู่ไปด้วย และมีระบบจัดเก็บสถิติการใช้งานลงบนเซิร์ฟเวอร์เพื่อแสดงสถิติและจัดอันดับการใช้งานของผู้เล่นแต่ละคน ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการแข่งขัน และเพิ่มพัฒนาการในการออกกำลังกาย

3.3 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

การทดลองนับรอบจากการอ่านค่าของเซนเซอร์อินฟราเรด จากหลักการทำงานที่ได้กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการนับจำนวนรอบของเทรนเนอร์จักรยานเป็นตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณความเร็วและมีผลต่อการคำนวณค่าความเร็ว เพราะฉะนั้นการนับจำนวนรอบจากเซนเซอร์อินฟราเรดของเทรนเนอร์จักรยานจึงจำเป็นต้องมีความแม่นยำเป็นอย่างมากเพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการนับรอบโดยจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ 1. ความเร็วต่ำ 2. ความเร็วปานกลาง 3. ความเร็วสูง โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ในการรับสัญญาณจากเซนเซอร์อินฟราเรดที่อ่านได้มาประมวลผลเพื่อนับจำนวนรอบ และนำมาคำนวณเป็นความเร็ว



รูปที่ 5 การทดลองตรวจจับความเร็วในการปั่นจักรยาน

รูปที่ 5 จากการทดลองพบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับความเร็วในการปั่นจักรยานได้อย่างแม่นยำ ทั้งสามระดับความเร็วโดยมีความผิดพลาดไม่เกิน 1% ซึ่งเพียงพอกับการใช้งานสำหรับระบบจักรยานธรรมชาติ โดยข้อมูลการวัดความเร็วนี้จะถูกส่งผ่านสัญญาณบลูทูธเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน และแอปพลิเคชันเกมต่อไป

จากการทดลองพบว่าการหมุนของเทรนเนอร์จักรยานที่ความเร็วปานกลาง และความเร็วสูง เนื่องจากการปั่นจักรยานโดยทั่วไปมีความเร็วประมาณ 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำให้เทรนเนอร์จักรยานต้องหมุนประมาณ 10.6 รอบในระยะเวลา 200 มิลลิวินาที หรือก็คือในการหมุน 1 รอบใช้เวลาประมาณ 18.8 มิลลิวินาที ดังนั้นเราจึงทดลองด้วยการนับรอบจากล้อจักรยานในอัตราทดรอบ 1 ต่อ 20 รอบ โดยเมื่อล้อจักรยานหมุน 1 รอบ เทรนเนอร์จักรยานจะหมุน 20 รอบ ผลการทดลองคือมีการนับจำนวนรอบจากการอ่านค่าสัญญาณของเซนเซอร์อินฟราเรดถูกต้องแม่นยำที่ความเร็ว 18 - 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยที่เซนเซอร์อินฟราเรดจะต้องมีระยะห่างจากแผ่นสะท้อนแสงอินฟราเรดไม่เกิน 15 มิลลิเมตรจึงจะสามารถนับจำนวนรอบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำโดยมีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1

ซึ่งเพียงพอกับการใช้งาน โดยข้อมูลการวัดความเร็วนี้จะถูกส่งผ่านสัญญาณบลูทูธ เชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนและแอปพลิเคชันเกมต่อไป

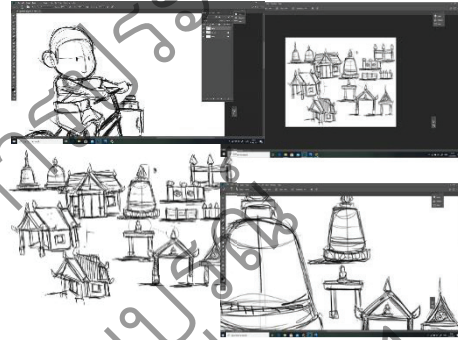
3.4 ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบกราฟิก

ในส่วนของการออกแบบตัวละครนั้น อาศัยองค์ประกอบภายในวัตรกรรม ได้แก่ ความกลมกลืน สัดส่วน ความสมดุล จังหวะ การเน้น ความเป็นเอกภาพและความแตกต่างหรือการตัดกันที่แสดงออกด้วยการใช้ เส้น สี แสง และเงาได้มุ่งเน้นไปที่การสื่อให้ผู้ใช้งานมีความรู้สึกว่าได้มีส่วนร่วมไปกับการออกกำลังกายไปด้วย ผลการสร้างสรรคตัวละครได้ตัวละครเป็น 2 ตัวละครแบบ คือ เณรน้อยปั่นจักรยานและพระราชาปั่นจักรยาน และในส่วนของการออกแบบฉากได้มุ่งเน้นในการออกแบบให้มีความรู้สึกเหมือนกับการปั่นจักรยานออกกำลังกายพร้อมชมทิวทัศน์โดยรอบบริเวณจัด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานออกแบบ ดังนี้

4.1 การร่างภาพด้วยดินสอ วาดภาพแอนิเมชัน



4.2 ร่างโดยออกแบบภาพกราฟิกด้วยโปรแกรม PHOTOSHOP



4.3 การลงสีและความคมชัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



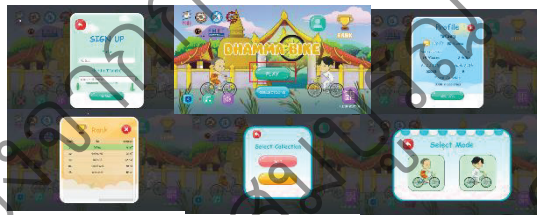
รูปที่ 6 (ซ้าย) ตัวละครเณรน้อยปั่นจักรยาน (ขวา) ตัวละครพระราชาปั่นจักรยาน

รูปที่ 7 (ซ้าย) การออกแบบฉากสำหรับเกม (ขวา) องค์ประกอบของฉากในเกม

จากรูปประกอบทั้ง 6 – 7 นี้วาดภาพกราฟิกนำองค์ประกอบทุกอย่างมาเล่าเรื่องผ่านการอ่านค่าอินฟราเรดที่เกิดจากการเซนเซอร์แรงในการปั่นจักรยานของพระสงฆ์และผู้ใช้งาน เมื่อปั่นครบตามจำนวนรอบการอ่านค่าไบนารี (Binary) จะถอดรหัสไปยังภาพเคลื่อนไหวส่งตัวเลขไปจัดเก็บในระบบเซิร์ฟเวอร์ (Server)

การออกแบบระบบการเล่นภายในเกมผู้ใช้งานปั่นจักรยานเพื่อปลดล็อคคอนเทนต์ภายในเกม คือ คลิวิตีโอ ดู่ยาที่มีการให้ความรู้เกี่ยวกับโรคภัยไข้เจ็บที่พบได้ทั่วไป และคลิปเสียงธรรมะบรรยายโดยเนื้อหาทั้งหมดภายในเกม จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ หน้าเมนูหลักและหน้าเกม

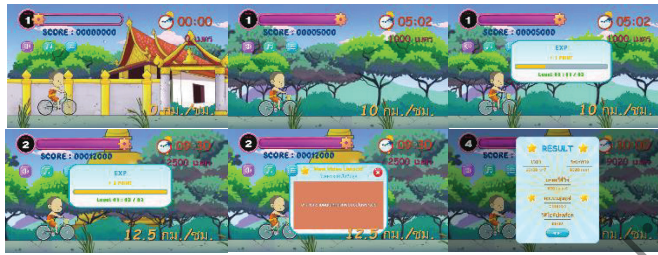
1. หน้าเมนูหลัก หน้าที่ใช้ใช้งานพบเป็นหน้าแรกสุดเมื่อเริ่มใช้งานแอปพลิเคชันโดยมีส่วนสำคัญหลัก ๆ ดังนี้
 - 1.1. ส่วนลงทะเบียน โดยผู้ใช้งานจะต้องลงทะเบียนครั้งแรกก่อนการใช้งาน โดยระบุชื่อวัดที่สังกัด และ น้ำหนัก หรือเฉพาะน้ำหนักสำหรับฆราวาส
 - 1.2. ส่วนเชื่อมต่อลูทูลูกกับเซนเซอร์วัดความเร็วที่ฐานจักรยาน โดยผู้ใช้งานจะต้องทำการเชื่อมต่อลูทูลูกก่อน ใช้งานทุกครั้ง
 - 1.3. ประวัติการใช้งาน โดยจะแสดงจำนวนแคลอรีที่เผาผลาญไปทั้งหมดจากการใช้งานแอป เวลาทั้งหมด ที่ใช้งาน คะแนนสูงสุดที่ได้
 - 1.4. สถิติการเล่น สำหรับผู้ใช้ที่ลงทะเบียนด้วยชื่อวัด จะมีการแสดงสถิติการแข่งขันของแต่ละวัดโดย ใช้ เภลฑ์ระยะทางที่แต่ละวัดปั่นได้ทั้งหมดเป็นตัววัด
 - 1.5. คอลเล็กชัน สำหรับคูคลิวิตีโอดู่ยา และฟังคลิปธรรมะบรรยาย ที่ผู้เล่นได้ปลดล็อคขณะเล่นเกม
 - 1.6. เลือกตัวละครและเข้าเล่นเกม โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกตัวละครได้ 2 ตัวละคร คือ เณรน้อยปั่นจักรยาน และฆราวาสปั่นจักรยาน



รูปที่ 7 องค์ประกอบของหน้าเมนูของเกม Dhamma Bike

2. หน้าเกม เป็นหน้าหลักที่สำหรับให้ผู้เล่นได้เล่นเกม โดยผู้ใช้งานจะต้องปั่นจักรยานเพื่อสะสมแต้มเพื่อเติมหลอดพลังงานด้านซ้ายบน เมื่อหลอดพลังงานเต็มแล้วผู้เล่นจะได้แต้มประสบการณ์ (EXP Point) ตามระดับความยาก (Rank) ของผู้เล่นพร้อมทั้งเพิ่มระดับไประดับถัดไป และเมื่อผู้เล่นได้แต้มประสบการณ์ครบตามที่กำหนดแล้ว ผู้เล่นจะสามารถปลดล็อคคอนเทนต์ในคอลเล็กชันได้ และแต้มที่ต้องใช้ในการปลดล็อคคอนเทนต์จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนคอนเทนต์ที่ปลดล็อค การเพิ่มขึ้นของระดับความยาก ผู้เล่นจะต้องใช้แต้มมากขึ้นในการเติมหลอดพลังงานให้เต็ม โดยเมื่อผู้เล่นต้องการหยุดเล่นสามารถทำได้ด้วยการกดที่ปุ่มเมนู เพื่อกลับไปหน้า เมนูหลัก หรือเพื่อออกจากเกม และทุก ๆ ครั้งชั่วโมงจะมีหน้าแสดงเตือนให้ผู้เล่นพัก

เมื่อผู้เล่นหยุดเล่นเกมจะทำการสรุปผลการเล่น โดยหน้าสรุปผลการเล่นจะแสดงให้ผู้เล่นเห็นระยะทางที่ปั่น เวลาที่ปั่น จำนวนแคลอรีเผาผลาญ คะแนนที่ทำได้ และจำนวนคอนเทนต์ที่ได้ปลดล็อคโดยถ้าผู้เล่นลงทะเบียนด้วยชื่อวัด แอปพลิเคชันจะส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อเก็บสถิติการเล่นและประมวลผลการแข่งขันของแต่ละวัด ผู้เล่นสามารถดูสถิติการเล่นและการแข่งขันของแต่ละวัดได้ที่หน้าเมนูหลัก



รูปที่ 8 ตัวอย่างภาพประกอบในเกม Dhamma Bike

ผู้ใช้งานสามารถที่จะนำเอาอุปกรณ์ทั้งหมดพร้อมทั้งจักรยานมาติดตั้งฐานและเชื่อมกับแบตเตอรี่ เพื่อผลิตและชาร์จไฟฟ้า ที่ทำการออกแบบหน้าจอมือถือเป็นเกมส์สละสมระยะทาง อีกทั้งสามารถเลือกรับฟังเพลงแรลล์ หรือเสียงธรรมชาติ หรือวิดีโอชุดยูทูปออนไลน์ได้ในขณะที่ทำการออกแรงปั่นจักรยาน โดยตัวเลขนั้นคะแนนวิจัยคาดหวังจะให้ เกิดเป็นคะแนนที่สามารถสะสมเป็นการคำนวณพลังงานสำหรับการออกกำลังกาย และหากทุกในเชิงการตลาดจะสามารถนำไปเป็นเงินสะสมบุญสร้างโบสถ์ วัด และโรงพยาบาลสำหรับสงฆ์ อุปกรณ์ทางการแพทย์สำหรับสงฆ์

จากนั้นคณะวิจัยนำนวัตกรรมให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสาธารณสุข พระสงฆ์ จิตวิทยา ศาสตราจารย์สุขภาพ จำนวน 5 คน ประเมินนวัตกรรม โดยมีค่าความหมายของคะแนนการประเมินเป็นระดับความคิดเห็นตามมาตรวัดที่กำหนดไว้ คือ 5 คะแนน (เห็นด้วยมากที่สุด) 4 คะแนน (เห็นด้วยอย่างมาก) 3 คะแนน (เห็นด้วย) 2 คะแนน (ไม่เห็นด้วย) และ 1 คะแนน (ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) ผู้วิจัยจะหาค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยโดยอาศัยเกณฑ์ในการคำนวณแบบ MAX-MIN CON โดยได้ระดับของคะแนนและความหมายดังนี้

คะแนนเฉลี่ย (เชิงปริมาณ)	การแปลความหมาย (เชิงคุณภาพ)
4.22 – 5.00	หมายถึง เห็นด้วยอย่างมากที่สุด
3.42 – 4.21	หมายถึง เห็นด้วยอย่างมาก
2.62 – 3.41	หมายถึง เห็นด้วย
1.81 – 2.61	หมายถึง ไม่เห็นด้วย
1.00 – 1.80	หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ตารางที่ 1 ผลการประเมินนวัตกรรมจักรยานธรรมโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ความหมาย
1.1 เหมาะสำหรับการส่งเสริมสุขภาพทางกายต่อพระสงฆ์และประชาชนทั่วไป	4.60	0.55	เห็นด้วยอย่างมากที่สุด
1.2 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ติดตั้งง่าย	4.20	0.45	เห็นด้วยอย่างมาก
1.3 กราฟฟิก เสียงประกอบ และการนำเสนอตัวละครเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย	4.38	0.45	เห็นด้วยอย่างมากที่สุด

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ความหมาย
1.4 ระดับขั้นของการปั่นมีความต่อเนื่องและกระตุ้นให้เกิดการออกกำลังกายเพื่อเสริมสมรรถนะของกล้ามเนื้อ	4.40	0.55	เห็นด้วยอย่างมากที่สุด
1.5 เป็นนวัตกรรมที่พระสงฆ์สามารถจัดสภาพขององค์ประกอบต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์ต่อพระสงฆ์เฉพาะจุดมุ่งหมายที่ต้องการหรือไม่ผิดต่อพระวินัยสงฆ์	4.40	0.55	เห็นด้วยอย่างมากที่สุด
1.6 เป็นกิจกรรมการส่งเสริมสุขภาพได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์และสภาพของพระสงฆ์	4.60	0.55	เห็นด้วยอย่างมากที่สุด
1.7 ผู้สูงอายุ เด็ก ผู้พิการทางหูและทางสายตา ทุกเพศ ทุกวัยสามารถใช้งานสามารถเข้าถึงสื่อนวัตกรรมได้	3.80	0.45	เห็นด้วยอย่างมาก
รวม	4.24	1.36	เห็นด้วยอย่างมากที่สุด
เฉลี่ยทั้งสิ้น	4.23	0.40	เห็นด้วยอย่างมากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินนวัตกรรมจักรยานธรรมโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าโดยภาพรวมเห็นด้วยอย่างมากที่สุดว่านวัตกรรมนั้นเหมาะสำหรับการส่งเสริมสุขภาพทางกายต่อพระสงฆ์และประชาชนทั่วไป ยกเว้นหัวข้ออุปกรณ์และซอฟต์แวร์ติดตั้งง่าย ที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับเห็นด้วยอย่างมาก กราฟิก เสียงประกอบ และการนำเสนอตัวละครเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย ระดับขั้นของการปั่นมีความต่อเนื่องและกระตุ้นให้เกิดการออกกำลังกายเพื่อเสริมสมรรถนะของกล้ามเนื้อ เป็นนวัตกรรมที่พระสงฆ์สามารถจัดสภาพขององค์ประกอบต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์ต่อพระสงฆ์เฉพาะจุดมุ่งหมายที่ต้องการหรือไม่ผิดต่อพระวินัยสงฆ์และเป็นกิจกรรมการส่งเสริมสุขภาพได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์และสภาพของพระสงฆ์ แต่ไม่แน่ใจในประเด็นนวัตกรรมนั้นจะไม่โลกวิสัยและเห็นด้วยอย่างมากกับประเด็นผู้สูงอายุ เด็ก และผู้พิการทางหูและทางสายตาทุกเพศ ทุกวัยสามารถใช้งานได้หรือไม่ เนื่องจากไม่ได้ทำการวิเคราะห์กับกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวนี้ ซึ่งเป็นแนวทางในการทำวิจัยครั้งต่อไป

อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้ได้ผลผลิตตามตัวชี้วัด เป็นต้นแบบ (Prototype) ที่กำหนดเป้าหมายตามโครงการวิจัยซึ่งมุ่งไปที่กลุ่มพระสงฆ์กลุ่มแรกก่อน ทั้งนี้นวัตกรรมจึงเหมาะสำหรับการส่งเสริมสุขภาพพระสงฆ์และบุคคลทั่วไปและได้เผยแพร่นวัตกรรมให้เกิดการใช้งานจริงไปยังพระสงฆ์อาสาสมัครจำนวน 11 ชุด เพื่อทำการทดสอบนวัตกรรม ได้แก่ 1. พระนวลแก้ว นวลแสง วัดเจ็ดยอดพระอารามหลวง ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ 2. พระมหาอนุวัต ฐิตเมโธ (วิชัยรัตน์) เจ้าอาวาสวัดหนองปลาขอ 98 หมู่ 5 ตำบลป่าสัก อำเภอเมืองลำพูน จังหวัดลำพูน 3. พระปลัดสุรเดช จิระมโม วัดพระธาตุดอยกองมู ตำบลจองคำ อำเภอเมืองจังหวัดแม่ฮ่องสอน 4. พระเมธาวิรินทร์ ชยธมโม (แสนธิ) วัดป่ารวก ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงรายจังหวัดเชียงราย 5. พระครูประสิทธิพิมล วัดบ้านทุ่ง ตำบลดอนศรี อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา 6. พระครูสมุห์เอกลักษณ์ ขนดีวิโร วัดทุ่งแก้ว ตำบลทุ่งแก้ว อำเภอหนองม่วงไข่ จังหวัดแพร่ 7. พระมหาเผด็จ อดตทีโป วัดบุญยืนพระอารามหลวง ตำบลกลางเวียง อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน 8. พระครูสิริรัตนโสภิต สุวณณสิริ วัดพระแก้วดอนเต้าสุชาดารามฯ

อ.เมือง จังหวัดลำปาง 9. พระอุกกิจ อธิจิตโต โบราณสถานวัดโป่งชัย หมู่ 9 ตำบลบ้านสา อำเภอแจ้ห่มจังหวัด
ลำปาง 10. พระครูสิริพัฒนพิศาล อคฺคธมฺโม วัดแม่วะหลวง ตำบลแม่วะ อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง 11. พระศรี
สวรรณค์ กำริสุ วัดราชบูรณะ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยพระสงฆ์ทั้ง 11 รูปได้ใช้งานและมีการจัดเก็บข้อมูล
การปั่นในระบบคลาวด์ พบว่า สถิติการปั่นสูงสุด เป็นดังนี้

ตารางที่ 2 สรุปการใช้จักรยานธรรมของพระสงฆ์แต่ละวัด ณ วันที่ 23 สิงหาคม 2563

ชื่อวัด	ระยะทาง(กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้เล่น	คะแนนสะสม	จำนวนครั้งที่เล่น
วัดป่ารวก	41.557	24 นาที	37,218	63
วัดหนองปลาขอ	37.62	2 ชั่วโมง 23 นาที	142,781	15
วัดเจ็ดยอด	41.56	2 ชั่วโมง 21 นาที	166,518	11
วัดแม่วะหลวง	15.77	1 ชั่วโมง	67,723	4
วัดบ้านแป้น	1,044.34	42 ชั่วโมง 42 นาที	4,691,624	163
วัดบ้านทุ่ง	22.53	1 ชั่วโมง 29 นาที	96,181	1
วัดราชบูรณะ	9.03	30 นาที	23,513	5
ไม่ระบุชื่อวัด	15.4	1 ชั่วโมง 16 นาที	51,724	9

จากตารางที่ 2 แสดงจำนวนวัดที่เข้าร่วมการใช้งานนวัตกรรม Dhamma Bike ซึ่งได้ลงทะเบียนใช้งานบน
แอปพลิเคชัน Dhamma Bike โดยค่าตัวเลขเป็นข้อมูลการใช้งานของแต่ละวัดประกอบด้วย ระยะทางรวมทั้งหมดที่
ผู้ใช้งานของวัดนั้นปั่นได้ ระยะเวลารวมทั้งหมดที่ผู้ใช้งานของวัดเล่น คะแนนสะสมรวมทั้งหมดที่ได้จากการเล่นเกม
ของผู้ใช้งาน และจำนวนครั้งที่ผู้ใช้งานวัดนั้นได้ใช้งานแอปพลิเคชัน ซึ่งค่าทั้งหมดในตารางนี้ได้ทำการประมวล
ผลรวมจากค่าการใช้งานในแต่ละครั้งที่เก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์ของโครงการ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยผลการประเมินนวัตกรรมโดยพระสงฆ์และบุคคลทั่วไป จำนวน 102 รูปจาก 11 จังหวัด

ประเด็นในการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ความหมาย
1.1 เป็นนวัตกรรมที่เหมาะสมกับการทำกิจกรรมในยามว่างจากภารกิจงานประจำได้อย่างเหมาะสม	4.14	0.98	เห็นด้วยอย่างมาก
1.2 เป็นนวัตกรรมที่ทำให้เกิดเป็นการแข่งขันกีฬาเพื่อส่งเสริมสุขภาพของพระสงฆ์ได้อย่างเหมาะสม	4.09	1.09	เห็นด้วยอย่างมาก
1.3 ใช้สำหรับการเคลื่อนไหวร่างกายเพื่อสร้างเสริมหรือบำรุงสมรรถภาพทางกาย	4.25	1.04	เห็นด้วยอย่างมาก ที่สุด
1.4 เป็นนวัตกรรมส่งเสริมกิจกรรมนันทนาการที่ไม่ขัดต่อพระธรรมวินัย วัฒนธรรมและประเพณี	4.07	1.03	เห็นด้วยอย่างมาก

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ประเด็นในการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ความหมาย
1.5 นวัตกรรมนี้เป็นกิจกรรมเพื่อออกแรง/ออกกำลังกายน้อยไม่ทำให้รู้สึกเหนื่อย ไม่มีเหงื่อออก	3.88	1.17	เห็นด้วยอย่างมาก
1.6 นวัตกรรมนี้เป็นกิจกรรมที่ออกแรง/ออกกำลังกายพอประมาณ ทำให้รู้สึกค่อนข้างเหนื่อย หายใจเร็วขึ้นกว่า ปกติเล็กน้อย มีเหงื่อซึม	4.05	1.04	เห็นด้วยอย่างมาก
1.7 นวัตกรรมนี้เป็นกิจกรรมที่ออกแรง/ออกกำลังมาก ทำให้รู้สึกเหนื่อยหรือเหนื่อยมาก หายใจแรงและเร็วหรือหอบ มีเหงื่อออกไม่สามารถพูดคุยจนจบประโยค	3.72	1.19	เห็นด้วยอย่างมาก
1.8 นวัตกรรมนี้ช่วยท่านควบคุมน้ำหนัก	4.03	0.88	เห็นด้วยอย่างมาก
1.9 นวัตกรรมนี้ทำให้ระบบกล้ามเนื้อและข้อต่อมีการเคลื่อนไหวดีขึ้น	4.14	0.87	เห็นด้วยอย่างมาก
1.10 นวัตกรรมนี้ส่งเสริมกิจกรรมทางกายที่มีผลทำให้ท่านผ่อนคลายลดความเครียด และความกังวล	4.07	1.05	เห็นด้วยอย่างมาก
1.11 นวัตกรรมนี้เป็นกิจกรรมทางกายด้านสังคม ทำให้เกิดเครือข่ายสังคมหรือชุมชน ลดความรู้สึก โดดเดี่ยว เพิ่มความมั่นใจ และความภาคภูมิใจในตัวเอง	4.13	0.99	เห็นด้วยอย่างมาก
1.12 หากใช้นวัตกรรมนี้ในระยะยาวจะทำให้ค่าใช้จ่ายทางสุขภาพของท่านและพระสงฆ์ลดลง	4.12	0.99	เห็นด้วยอย่างมาก
1.13 นวัตกรรมนี้ไม่ขัดต่อพระธรรมวินัย หรือเป็นการกระทำที่เข้าข่ายเป็นโลกวิสัย	3.84	1.18	เห็นด้วยอย่างมาก
1.14 นวัตกรรมนี้ต้องอยู่ในสัดส่วนที่พอดีไม่ทำให้พระสงฆ์ต้องแสดงกิริยาที่ไม่สำรวมในที่สาธารณะ	4.16	0.95	เห็นด้วยอย่างมาก
1.15 นวัตกรรมนี้ส่งเสริมให้เข้ากับบริบทการปฏิบัติกิจกรรมบริหารกาย นอกจากกิจกรรมบริหารกายเคลื่อนไหวร่างกายในกิจวัตรของพระสงฆ์ เช่น บิณฑบาต กวาดลานวัด ได้เป็นอย่างดี	4.15	0.92	เห็นด้วยอย่างมาก
1.16 ท่านสามารถใช้นวัตกรรมนี้เป็นกิจกรรมทางกายวันละไม่ต่ำกว่า 10 นาที หรือรวมกันไม่ต่ำกว่า 150 นาที/สัปดาห์ ประกอบกับการเดินบิณฑบาต เดินจงกรม อย่างน้อย 10,000 ก้าว/วัน เพื่อลดกิจกรรมเนือยนิ่งของตนเอง	4.30	0.92	เห็นด้วยอย่างมาก ที่สุด

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ประเด็นในการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ความหมาย
1.17 สามารถเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่แสดงข้อมูลการปั่นจักรยานได้	4.09	1.01	เห็นด้วยอย่างมาก
1.18 ท่านสามารถดูวิดีโอประกอบการปั่นจักรยานได้	4.07	0.99	เห็นด้วยอย่างมาก
1.19 เนื้อหาของวิดีโอที่พัฒนาขึ้นทำให้เข้าใจเกี่ยวกับกิจกรรมทางกาย	4.01	0.99	เห็นด้วยอย่างมาก
1.20 แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถบอกระดับของการบริหารกายของพระสงฆ์ได้แตกต่างจากจักรยานสำหรับออกกำลังกายทั่วไป	4.17	0.94	เห็นด้วยอย่างมาก

อภิปรายผลจากตารางที่ 3 ผลความพึงพอใจภาพรวมเห็นด้วยอย่างมากของผู้ใช้งานนวัตกรรม โดยเห็นด้วยอย่างมากในประเด็นจักรยานธรรมเป็นนวัตกรรมที่เหมาะสมกับการทำกิจกรรมในยามว่างจากภารกิจงานประจำ เป็นการแข่งขันกีฬา ใช้สำหรับการเคลื่อนไหวร่างกายเพื่อสร้างเสริมหรือธำรงสมรรถภาพทางกาย ส่งเสริมกิจกรรมนันทนาการที่ไม่ขัดต่อพระธรรมวินัย วัฒนธรรมและประเพณี โดยนวัตกรรมสามารถแบ่งระดับการออกแรงขึ้นอยู่กับการใช้กำลังในการปั่นของผู้ใช้งานเป็น 3 ระดับอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมดีมาก ดังนี้ระดับที่ 1 กิจกรรมเพื่อออกแรง/ออกกำลังกายน้อยไม่ทำให้รู้สึกเหนื่อย ไม่มีเหงื่อออก ระดับที่ 2 กิจกรรมที่ออกแรง/ออกกำลังกายพอประมาณทำให้รู้สึกค่อนข้างเหนื่อย หายใจเร็วขึ้นกว่าปกติเล็กน้อย มีเหงื่อซึมและระดับที่ 3 กิจกรรมที่ออกแรง/ออกกำลังมาก ทำให้รู้สึกเหนื่อยหรือเหนื่อยมาก หายใจแรงและเร็วหรือหอบ มีเหงื่อออกไม่สามารถพูดคุยจนจบประโยค พระสงฆ์และผู้ใช้งานประเมินเห็นนวัตกรรมนี้มีส่วนช่วยในการควบคุมน้ำหนัก ทำให้ระบบกล้ามเนื้อและข้อต่อมีการเคลื่อนไหวดีขึ้น ขณะเดียวกันส่งเสริมกิจกรรมทางกายที่มีผลทำให้สามารถผ่อนคลายลดความเครียดและความกังวลอยู่ในระดับดีมาก ไม่เพียงเท่านั้นยังเป็นนวัตกรรมทางสังคมที่ส่งเสริมให้เกิดเครือข่ายสังคมหรือชุมชน ลดความรู้สึกลดเดี่ยวเพิ่มความมั่นใจ และความภาคภูมิใจในตัวเอง และเมื่อใช้นวัตกรรมนี้ในระยะยาวทั้งพระสงฆ์และผู้ใช้งานประเมินว่าจะทำให้ค่าใช้จ่ายทางสุขภาพลดลงอยู่ในระดับดีมาก ที่สำคัญคือนวัตกรรมนี้ไม่ขัดต่อพระธรรมวินัย หรือเป็นการกระทำที่เข้าข่ายเป็นโลกจักษะ แต่ต้องอยู่ในสัดส่วนมิดชิดไม่ทำให้พระสงฆ์ต้องแสดงกิริยาที่ไม่สำรวมในที่สาธารณะอยู่ในระดับดีมาก

นอกจากนี้แสดงความคิดเห็นด้วยอย่างมากที่สุดกับนวัตกรรมนี้ส่งเสริมให้เข้ากับบริบทการปฏิบัติกิจกรรมบริหารกาย นอกจากกิจกรรมบริหารการเคลื่อนไหวร่างกายในกิจวัตรของพระสงฆ์ เช่น บิณฑบาต กวาดลานวัด ได้เป็นอย่างดี ผู้ใช้งานสามารถใช้นวัตกรรมนี้เป็นกิจกรรมทางกายวันละไม่ต่ำกว่า 10 นาที หรือรวมกันไม่ต่ำกว่า 150 นาที/ สัปดาห์ ประกอบกับการเดินบิณฑบาต เดินจงกรม อย่างน้อย 10,000 ก้าว/วัน เพื่อลดกิจกรรมเนือยนิ่งของตนเอง ความแตกต่างจากจักรยานออกกำลังกายทั่วไป คือ เป็นจักรยานที่สามารถเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่แสดงข้อมูลการปั่นจักรยานได้อยู่ในระดับดีมาก เพราะสามารถรับชมวิดีโอประกอบการปั่นจักรยานได้ โดยสามารถพัฒนาเนื้อหาของวิดีโอที่ทำให้เข้าใจเกี่ยวกับกิจกรรมทางกายผ่านแอปพลิเคชันที่บอกระดับของการบริหารกายของพระสงฆ์ได้แตกต่างจากจักรยานสำหรับออกกำลังกายทั่วไป

การศึกษาและพัฒนานวัตกรรมจักรยานธรรมะ DHAMMA BIKE เป็นนวัตกรรมที่เกิดจากการทำงานวิจัยร่วมกันหลายสาขาซึ่งจะออกมาสู่การพัฒนาจักรยานทั่วไปให้สามารถใช้สำหรับการออกกำลังกายในยุคดิจิทัลให้แตกต่างจากจักรยานทั่วไปเพื่อสุขภาพที่ดีสำหรับพระสงฆ์และบุคคลทั่วไป โดยการออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันในรูปแบบเกมออกกำลังกายด้วยโปรแกรมยูนิตี รองรับการใช้งานบนโทรศัพท์มือถือที่เฟิร์มแวร์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยไม่เป็นการนำเอาเทคโนโลยีของใครมาใช้ได้ อีกทั้งยังต้องสร้างอุปกรณ์ที่ใช้จูนร่วมกับแอปพลิเคชันเพื่อแปลงแรงปั่น เป็นกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งระบบเซนเซอร์ตรงฐานจักรยาน วัดความเร็ว จากนั้นเชื่อมต่อกับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแปลงเป็นรหัสไบนารี พระสงฆ์และผู้ใช้งานทั่วไปสามารถปั่นจักรยานออกกำลังกายอยู่กับที่พร้อมได้รับความบันเทิงผ่านสื่อวิดีโอ และเสียง ที่บรรจุเข้าไปทำให้เกิดกิจกรรมทางกาย การแสดงผลจะสัมพันธ์กับจำนวนรอบที่ปั่น โดยมีแนวคิดในการออกแบบเป็น 3 ระดับ คือ

1. การแสดงธรรมะสำหรับพระสงฆ์
2. การแสดงธรรมะสำหรับเด็ก
3. การแสดงธรรมะสำหรับผู้ใหญ่

ในการแสดงธรรมะสำหรับแต่ละระดับนั้น คณะวิจัยจะพัฒนาต่อไปโดยการประชุมร่วมกับพระสงฆ์เพื่อพัฒนาเนื้อหาสาระที่เหมาะสมและออกแบบให้มีความน่าสนใจในการติดตามธรรมะ เพื่อให้ปั่นจักรยานได้นานขึ้น อีกทั้งจะเป็นอุปกรณ์หนึ่งพัฒนาเพื่อให้ออกกำลังกายได้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่มีลักษณะเฉพาะและเป็นมิตรไม่ก่อให้เกิดจากการสร้างนวัตกรรมโดยนักพัฒนานวัตกรรมและนำไปให้คนใช้งานซึ่งอาจจะเจอข้อจำกัดตามมา

กระทรวงสาธารณสุข [1] ระบุว่า การปั่นจักรยานเป็นกิจกรรมทางกายประเภทหนึ่งที่ดีกับมนุษย์ด้านสุขภาพให้ประโยชน์มากมายได้กับทุกส่วนของร่างกายกายจึงเป็นเรื่องที่ควรส่งเสริมสนับสนุนยิ่ง แต่เนื่องจากพระสงฆ์ไม่สามารถปั่นจักรยานออกไปในที่สาธารณะได้เช่นฆราวาสในสังคมไทย จึงควรมีการประยุกต์จักรยานและทำให้กลายเป็นนวัตกรรมการสื่อสารที่โน้มน้าวใจผ่านรูปแบบเล่นเกมสลับมือถือ โดยนำเอาวิธีการปั่นจักรยานในชีวิตประจำวัน ซึ่งหากจะให้ร่างกายเผาผลาญพลังงานได้ 200 – 300 กิโลแคลอรีต่อวัน จะต้องปั่นจักรยานโดยใช้ความเร็วปานกลาง 15 กม./ชม. อย่างน้อยวันละ 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 3 – 5 วัน เป็นอย่างน้อย จะเป็นการเพิ่มสมรรถภาพของร่างกายและสุขภาพที่ดีขึ้นของพระสงฆ์และโมลิกข์ชาวชะ ซึ่งการพัฒนาจักรยานเพื่อสังคมนี้ดำเนินการสอดคล้องกับคำแนะนำขององค์การอนามัยโลกที่ให้ประชาชนมีกิจกรรมทางกายระดับปานกลาง อย่างน้อยวันละ 30 นาที 5 วัน/สัปดาห์ หรือ 150 นาที/สัปดาห์ เฮนดริกสัน [2] พบว่า การปั่นจักรยานไปทำงาน 1 ปี ว่ามีอิทธิพลต่อปัจจัยเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ (CHD) คุณภาพชีวิตในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพแข็งแรงที่ไม่เคยปั่นจักรยานไปทำงานมาก่อน ทั้งชายหญิงที่ยังไม่ผ่านการฝึกอบรมเกี่ยวกับสุขภาพที่ดีมีส่วนร่วมในการวิจัย โดยมีอาสาสมัครจำนวน 65 คน ปั่นจักรยานไปทำงานอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ และอาสาสมัคร 15 คน ไม่มีการปรับพฤติกรรมในการดำเนินชีวิต มีการวัดทั้งหมด 3 ครั้งติดต่อกันภายใน 6 เดือน ได้มีการเก็บข้อมูลตัวอย่างเลือดตา ความดันโลหิต (BP) และการสำรวจสถานะสุขภาพ มีการบันทึกการปั่นจักรยานและกิจกรรมยามว่าง ทุกวัน ผลการวิจัยดังกล่าวพบว่า โคเลสเตอรอลทั้งหมด TC, LDL, TC / HDL และความดันเลือดที่ต่ำสุดขณะหัวใจห้องล่างคลายตัว ลดลง และ HDL เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและ LDL ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการขี่จักรยานไปทำงานนั้นมียุทธพลเชิงบวกต่อปัจจัยเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจและมีแนวโน้มที่จะทำให้ผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดีขึ้นซึ่งเป็นผู้ที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนมาก่อน

นวัตกรรมนี้จึงเป็นการพัฒนาเช่นเดียวกับหลักการออกแบบเทคโนโลยีทั่วไปเพราะการสร้างสรรค์เทคโนโลยีอาศัยหลักการทางจิตวิทยา คือ การวางเงื่อนไข (Operant Conditioning) หากมีการใช้งานโปรแกรม หรือทำตามคำสั่งจะได้รับคะแนน ได้รับรางวัล หรือได้รับการตอบสนองตอบทันที เช่น การเล่นเกมบนมือถือ เนื้อหาในเกม คือ การวางเงื่อนไขให้กับผู้เล่น แม้จะเริ่มเล่นฟรีครั้งแรก จะเกิดการถูกสร้างเงื่อนไขให้กลับมาเล่นต่อ ด้วยการให้รางวัลกับผู้เล่นเป็นคะแนนที่สามารถสะสมและเปรียบเทียบกับผู้เล่นคนอื่นๆ ได้ อย่างชัดเจนว่า การเล่นเกมให้รางวัลหรือแสดงให้เห็นผลอย่างทันทีว่าผู้เล่นได้รับผลประโยชน์ใดตอบแทน ซึ่งเมื่อหยุดเล่นจะเกิดความรู้สึกเสียดายคะแนนที่เก็บสะสมมาในครั้งแรก หรือเกือบจะได้เป็นอันดับหนึ่งแล้วจึงอยากกลับไปเล่นอย่างต่อเนื่อง จนกลายเป็นพฤติกรรมความเคยชิน นำไปสู่การออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องในท้ายที่สุด

4. ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จักรยานสำหรับการออกกำลังกายนี้ควรได้รับการพัฒนาและปรับปรุงด้วยการเพิ่มระบบการทำงานให้สามารถปรับระดับการปั่นเป็นไปตามความลาดชัน ความหนืดของชุดปั่น โดยคำนวณจากการจำลองสภาวะในถนนที่เป็นจริง เช่น การปั่นจักรยานขึ้นเขา หรือทางราบ ทางชัน เพิ่มหน้าจอให้เห็นเป็นสถานที่ต่างๆ เพิ่มขึ้น เพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงเป็นระดับ รวมทั้งสามารถที่จะปรับไหลตของความยืดหยุ่นในแต่ละระดับของผู้ใช้งาน ในการวิเคราะห์จังหวะการเต้นของหัวใจ การขึ้นลงของโลหิต

ในทำนองเดียวกันเทคโนโลยีสร้างเงื่อนไขให้กับผู้ที่ออกกำลังกายด้วยการจัดเก็บบันทึกข้อมูลการออกกำลังกายของผู้ใช้งาน เช่น วันแรกวิ่งได้ระยะทาง 4 กิโลเมตร เผาผลาญไปได้ก็ไกลแคลอรี จนทำให้เกิดการลดน้ำหนักอย่างต่อเนื่องจากน้ำหนักตัวครั้งแรกและเมื่อออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องโดยอาศัยอุปกรณ์ในการคำนวณพลังงาน ทำให้เกิดแรงจูงใจและอยากจะทำให้มากขึ้น สูงขึ้น และลดน้ำหนักมากขึ้น แบบเดียวกับการใช้บัตรสะสมคะแนนของการซื้อสินค้าหรือการเข้าไปใช้บัตรเครดิตในการเติมน้ำมันรถ ที่ผู้รับบริการจะกลับไปสถานีเติมน้ำมันรถที่เดิมด้วยความเคยชิน เพราะอยากสะสมคะแนนในบัตรสะสมเพื่อให้สามารถใช้แลกเป็นเงินสดในครั้งต่อไปโดยไม่ต้องเปลี่ยนใจไปใช้บริการสถานีน้ำมันอื่น ๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และสำนักวิจัยแห่งชาติ (วช.)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Public Health Ministry. (2003). Bike for Life. Bangkok: Buddhist Printing House.
- [2] Hendriksen, I. (1996). The Effect of Commuter Cycling on Physical Performance and on Coronary Heart Disease Risk Factors. Amsterdam: Free University.

ระบบจำแนกตั๋วงานอัจฉริยะด้วยเทคนิควิเคราะห์ข้อความไทย-อังกฤษ
และการเรียนรู้ของเครื่อง

Smart IT Service Desk Ticket Classification System Using Thai-English Text
Analysis and Machine-Learning Techniques

เฉลิมชัย พิเดช¹ และ ศุภชัย ไทยเจริญ^{2*}
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ^{1, 2*}

Chalermchai Pidej¹ and Supphachai Thaicharoen^{2*}
Faculty of Science, Srinakharinwirot University^{1, 2*}

E-mail : chalermchai.pidej@g.swu.ac.th¹, supphachai@g.swu.ac.th^{2*}

บทคัดย่อ

ตั๋วงาน คือ การเขียนคำร้องในระบบและส่งให้กับผู้สนับสนุนด้านไอทีช่วยแก้ไขปัญหา ข้อความในตั๋วงานจะมีทั้งประโยคที่เป็นภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และภาษาไทยผสมภาษาอังกฤษ โดยบางครั้งผู้ใช้งานเขียนข้อความที่สั้นมากทำให้ไม่สามารถเข้าใจความหมายของข้อความและไม่สามารถทำการระบุประเภทของตั๋วงานได้อย่างถูกต้องในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การประมวลผลภาษาธรรมชาติ วิทยาการข้อมูล หลักการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการแยกประเภทตั๋วงาน โดยการวิเคราะห์คำที่ไม่สำคัญและใช้เครื่องมือการตัดคำภาษาไทยในขั้นตอนการประมวลผลภาษาธรรมชาติ ที่สามารถให้ผลทดลองมีความถูกต้องมากที่สุด 91 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ตั๋วงาน, ประเภทตั๋วงาน, ลบคำไม่มีความหมาย, การตัดคำ, การประมวลผลภาษาธรรมชาติ

Abstract

An IT ticket is a textual description of the user's IT-related complaints or problems that is submitted to IT helpdesk support personnel for resolutions. Text sentences in the ticket could be written in English-only, Thai-only, and a combination of Thai and English languages. In addition, the description is occasionally too short to be able to specify the correct category of problems. This paper presents an application of natural language processing, data science and machine-learning methods to facilitate the classification of ticket problems on a real-world dataset. By eliminating important words and performing word tokenization in the pre-processing step, the performance of ticket classifications from the experiments is as high as 91% accuracy.

Keywords : Ticket, Ticket category, stop word, Word tokenize, Natural Language Processing

1. บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา ผู้วิจัยได้ทำงานเกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาการใช้งานคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งานในองค์กร เมื่อผู้ใช้งานมีปัญหาการใช้งานคอมพิวเตอร์ก็จะแจ้งปัญหาโดยการเขียนคำร้องในระบบและส่งให้กับฝ่ายสนับสนุนไอทีซึ่งเรียกว่า ตั๋วงาน (Ticket) ข้อความในตั๋วงานบางครั้งมีความคลุมเครือ มีรูปแบบการเขียนที่ไม่แน่นอน และจับใจความไม่ได้ ข้อความอาจถูกเขียนด้วยภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ หรือผสมกันทั้งสองภาษา ส่งผลให้ฝ่ายสนับสนุนด้านไอทีต้องใช้เวลาในการตีความข้อความของตั๋วงานอย่างมาก มีหลายครั้งที่จะต้องติดต่อกลับไปยังผู้ใช้งานเพื่อขอข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อที่ฝ่ายสนับสนุนด้านไอทีจะได้ทำการแยกประเภทตั๋วงานได้ถูกต้อง ตั๋วงานแต่ละรายการจะต้องถูกกำหนดประเภทตามปัญหานั้นๆ ซึ่งต่อไปนี้จะถูกเรียกว่า ประเภทตั๋วงาน (Service Category) เช่น ประเภทตั๋วงานด้านโปรแกรม เป็นต้น ปัญหานี้ผู้ทำวิจัยได้หาทางแก้ไขปัญหาโดยการจัดอบรมให้กับผู้ใช้งานให้มีความเข้าใจถึงการใช้งานระบบด้านไอทีขององค์กร เพื่อที่จะได้เขียนตั๋วงานได้อย่างถูกต้อง แต่ด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่าง รวมถึงพฤติกรรมของผู้ใช้งานเอง ทำให้แนวทางนี้ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ วัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อนำเอาเทคโนโลยีทางด้านไอทีมาช่วยในการแก้ปัญหาโดยการวิเคราะห์ข้อความของตั๋วงานจากข้อมูลจริง เพื่อตรวจสอบข้อความของตั๋วงานของแต่ละประเภทว่ามีข้อความที่ไม่สมบูรณ์ในรูปแบบไหนบ้าง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ เพื่อประยุกต์ใช้หลักการเรียนรู้ของเครื่องในการแยกประเภทตั๋วงานได้อย่างถูกต้องมากที่สุด ขอบเขตการวิจัย ผู้ทำวิจัยได้ศึกษาและทำวิจัยจากข้อมูลจริงที่ผู้ใช้งานได้บันทึกไว้ในระบบตั๋วงานขององค์กร โดยมีจำนวนตั๋วงาน 11,819 รายการ ที่ครอบคลุมประเภทของตั๋วงานทั้งหมด และคาดว่าจำนวนตั๋วงานนี้สามารถที่จะนำไปทดลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องที่สุดและเชื่อถือได้ ข้อมูลทางวิชาการที่มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ Paramesh et al. เสนอวิธีการจำแนกประเภทตั๋วงานด้วยวิธีการใช้โมเดลการจำแนกประเภท (classification model) มากกว่าหนึ่งโมเดลรวมกัน (Ensemble method) ในการจำแนกประเภท [1] Paramesh และ Shreedhara พัฒนาซอฟต์แวร์ระบบการจำแนกตั๋วงานอัตโนมัติ โดยใช้หลักการประมวลผลภาษาธรรมชาติ และหลักการเรียนรู้ของเครื่อง [2] Revina et al. ศึกษาเทคนิควิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละขั้นของลำดับงานการจำแนกประเภทตั๋วงาน (ticket classification pipeline) เพื่อหาว่าเทคนิคหรือวิธีการใดที่ให้ประสิทธิผลที่ดีที่สุด เช่น ควรจะใช้คุณสมบัติ (features) แบบใดในการแทนตั๋วงาน วิธีการในการเลือกคุณสมบัติ และประเภทของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสม เป็นต้น เนื่องจากมีการศึกษาด้านเหล่านี้้อย่างหลากหลายและแต่ละการศึกษาก็เสนอแนะที่แตกต่างกันออกไป [3] Al-Hawari และ Barham พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับช่วยแก้ปัญหาด้านไอทีในองค์กร (IT help desk system) โดยระบบแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนของผู้ดูแลระบบ ส่วนของผู้ใช้ที่เป็นพนักงาน ส่วนของการส่งอีเมลอัตโนมัติ และส่วนของการจำแนกประเภทตั๋วงาน [4] Han และ Akbari ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิผลในการจำแนกตั๋วงานระหว่างการใช้วิธีการจำแนกประเภทพื้นฐานทั่วไป (typical classification methods) คือ Rule-based IR-based และ SVM และวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (deep-learning approach) คือ CNN with random words และ CNN with pre-trained word vectors [5] Li et al. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลของวิธีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของคำ 3 วิธีการสำหรับใช้ในการจำแนกตั๋วงานเกี่ยวกับข้อร้องเรียน (ticket complaints) ของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟ [6]

2. วิธีการวิจัย

ผู้ทำวิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยมีขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องที่สามารถหาความรู้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ได้

2.2 การวิเคราะห์และศึกษาข้อความของต้นงานจากข้อมูลจริง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถจะนำเอาเทคนิคที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.3 ประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ โดยอ้างอิงจากการวิเคราะห์และศึกษาจากข้อ 2.2 เพื่อเลือกกระบวนการและขั้นตอนที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

2.4 สร้างแบบจำลองการแยกประเภทต้นงาน โดยใช้อัลกอริทึมแบบสุ่มป่าไม้ (Random forest Algorithm)

2.5 อภิปราย สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทบทวนทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อของบทนำ การวิเคราะห์และศึกษาข้อความของต้นงานจากข้อมูลจริงที่ได้จากการบันทึกไว้ในระบบต้นงานขององค์กรได้พบว่ามีข้อความที่เป็นจำนวนมากที่ไม่สามารถตีความหมาย และไม่สามารถแยกประเภทต้นงานรูปแบบนี้ได้ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้อความต้นงานที่ไม่สามารถตีความได้

จากข้อความข้างต้น ผู้ทำวิจัยได้วิเคราะห์และศึกษาทำให้เห็นถึงรูปแบบการเขียนข้อความของผู้ใช้งานที่เขียนด้วยความเข้าใจของผู้ใช้งานเอง ตัวอย่างนี้ทางทีมสนับสนุนด้านไอทีสามารถตีความคำว่า “EX” ได้หลายอย่าง เช่น External Drive, MS excel เป็นต้น เมื่อเข้าใจรูปแบบการเขียนข้อความแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การทำความสะอาดข้อมูล โดยข้อมูลต้นงานทั้งหมดต่อไปนี้จะถูกเรียกว่า ชุดข้อมูล (Dataset) และจะใช้ภาษาไพทอน (Python programming language) เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดการกับชุดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับงานวิจัย การเลือกตัวอย่างชุดข้อมูลนี้ ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลที่มีทั้งหมด 11,819 รายการ แต่ละรายการจะมีจำนวนคอลัมน์ 70 คอลัมน์ โดยเราจะเลือกใช้เพียง 2 คอลัมน์ คือ คอลัมน์ข้อความ (Title) ที่มีข้อความภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษและภาษาไทยผสมภาษาอังกฤษ และคอลัมน์ประเภทตัว ที่เป็นตัวแยกประเภทของต้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2

	Title	Service Category
0	Can not recieve email	Office 365 - Outlook
1	ยืมสาย HDMI เพื่อใช้กับห้องประชุม BKFL03	Computers - Desktop HW Performance

รูปที่ 2 ข้อมูลต้นงานที่นำมาใช้ในงานวิจัย

เนื่องจากคอลัมน์ ประเภทต้นงาน มีจำนวนถึง 71 ประเภท บางประเภทต้นงานก็อยู่นอกขอบเขตความรับผิดชอบของผู้สนับสนุนด้านไอที ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ในการทำงานกว้างมากเกินไป จึงได้ใช้วิธีการแยกประเภทของผลลัพธ์

ออกเป็น 2 คอลัมน์ คือ ประเภทหลัก (Master Category) และ ประเภทรอง (Detail Category) แล้วนำคอลัมน์ประเภทรองไปหาจำนวนของตัวงานมากที่สุด 7 อันดับแรก มาใช้เป็นผลลัพธ์ของแบบจำลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางประเภทตัวงานที่ใช้เป็นผลลัพธ์ของแบบจำลอง

ประเภทรอง	อธิบาย	จำนวนตัวงาน
Identity	ปัญหาเกี่ยวกับบัญชีผู้ใช้งาน	3,142
Computers	ปัญหาเกี่ยวกับเครื่องคอมพิวเตอร์	2,475
Applications	ปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมประยุกต์	2,260
MS Office	ปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานซอฟต์แวร์สำนักงานของไมโครซอฟต์	1,964
Printer	ปัญหาเกี่ยวกับเครื่องพิมพ์	808
Networks	ปัญหาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อเครือข่าย	650
Out Of Scope	ปัญหาที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตความรับผิดชอบ	520

เมื่อทำความสะอาดชุดข้อมูลเสร็จแล้ว จะนำชุดข้อมูลที่ได้ไปทำการลบคำที่ไม่สำคัญออก ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อความในตัวงาน โดยทราบว่าจะมีคำเฉพาะ (Unique Term) อยู่ 2 ประเภท คือ ชื่อบุคคลที่เป็นภาษาไทย ภาษาอังกฤษ เช่น “Chalemchai Pidej”, “เฉลิมชัย พิเดช” และชื่อคอมพิวเตอร์ เช่น “OCS-THNB5519779” เป็นต้น คำเหล่านี้เป็นคำที่ไม่สื่อความหมายและจะมีผลต่อการตัดคำในกระบวนการของการตัดคำ ซึ่งจะทำให้จำนวนคำได้มีจำนวนมากและไม่สื่อความหมายใด ๆ

ขั้นตอนต่อไปเป็นการตัดคำจากชุดข้อมูลที่ผ่านกระบวนการลบคำไม่สำคัญออกไปแล้ว โดยเทคนิคที่ผู้วิจัยได้ใช้ในการตัดคำจากการวิเคราะห์โครงสร้างของแต่ละภาษา เนื่องจากคำในข้อความของตัวงานจะมีทั้งภาษาไทยผสมภาษาอังกฤษ ซึ่งข้อความในภาษาอังกฤษจะมีรูปแบบเป็นที่คำอยู่แล้ว โดยการตัดคำในภาษาอังกฤษจะใช้ย่อหน้า ประโยคคำเดี่ยว ๆ หรือช่องว่างระหว่างคำ (space) ในการตัดคำ เมื่อคำภาษาอังกฤษมาอยู่ในข้อความภาษาไทย ผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะไม่เขียนคำภาษาอังกฤษติดกับคำภาษาไทย ผู้วิจัยจึงเลือกทำการตัดคำโดยใช้เครื่องมือการประมวลผลภาษาธรรมชาติภาษาไทย (PyThaiNLP) ซึ่งการตัดคำและผลลัพธ์ที่ได้จะดีกว่าเครื่องมือแบบอื่นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบการตัดคำ

ข้อความ	ไม่สามารถเปิด Excel ได้ที่ export ออกจากระบบ PCS Costing ได้
PyThaiNLP	ไม่, สามารถ, เปิด, , Excel, , ได้, ที่, , export, , ออก, จาก, ระบบ, , PCS, , Costing, , ได้
NLTK	ไม่สามารถเปิด, Excel, ได้ที่, export, ออกจากระบบ, PCS, Costing, ได้

หลังจากผ่านกระบวนการการวิเคราะห์คำเพื่อลบคำที่ไม่สำคัญและใช้เครื่องมือการตัดคำภาษาไทยแล้ว เมื่อนำชุดข้อมูลที่ได้ไปทดลองผ่านกระบวนการหาคำสำคัญ จะได้ผลลัพธ์ออกมาที่ต่างกัน โดยสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังนี้ คอลัมน์ทางซ้ายชื่อ EN-TFIDF ไม่ได้มีการวิเคราะห์และลบคำที่ไม่สำคัญออก คำที่ได้ส่วนใหญ่จะไม่มี ความหมาย เช่น

“leangkhenryleangkhenrypcscmkh” รวมถึงคำไทยที่ตัดคำไม่สมบูรณ์ เช่น “ไอคอนไว” ส่วนคอลัมน์ทางขวา ชื่อ TH-TFIDF เป็นการตัดคำโดยใช้เครื่องมือ PyThaiNLP ที่ใช้สำหรับภาษาไทย ซึ่งคำที่ได้จะมีความหมายมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2

	EN-TFIDF		TH-TFIDF
ssharedhr	0.862040	ssharedhr	0.862040
request	0.370529	request	0.370529
access	0.345825	access	0.345825
aaccess	0.000000	aaccess	0.000000
sittinon	0.000000	rule	0.000000
leangkhenryleangkhenrypcscmkh	0.000000	john	0.000000
ไอคอนไว	0.000000	ไอคอน	0.000000

รูปที่ 2 ผลการคำนวณค่าสำคัญในเอกสารจากเครื่องมือการตัดคำที่แตกต่างกัน

เมื่อผ่านกระบวนการลบคำไม่สำคัญและการตัดคำเรียบร้อยแล้ว ต่อไปนี้จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการหาค่าสำคัญในข้อความโดยมีเทคนิคที่ชื่อว่า TF-IDF (Term Frequency - Inverse Data Frequency) [8] ซึ่งการหาค่าสำคัญสามารถหาได้จากนำผลคูณของทั้งสองค่า คือ ความถี่ของคำ (TF) กับความถี่เอกสารผกผัน (IDF) และจะได้ผลลัพธ์เป็นน้ำหนักของคำสำคัญออกมาตามสูตรดังนี้

$$w_{t,d} = tf_{t,d} \times idf_t \quad (1)$$

เมื่อ tf = ความถี่ของคำในเอกสาร

idf = การผกผันในความถี่ของเอกสาร

w (weight) = ค่าน้ำหนักของคำ

t (term) = คำในเอกสาร

d (document) = เอกสาร

การหาค่าสำคัญในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือที่เป็นไลบรารี (library) ของภาษาไพทอนที่ชื่อว่า TfidfVectorizer เครื่องมือนี้มีตัวเลือก (Option) ชื่อ max_featuresint ที่สามารถจะกำหนดจำนวนของคุณลักษณะที่ต้องการได้ โดยการพิจารณาคุณลักษณะอันดับสูงสุดที่เรียงลำดับตามความถี่ของคำในคลังข้อมูล เมื่อชุดข้อมูลได้ผ่านกระบวนการหาค่าสำคัญแล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3

	cannot	copi	excel	file	hang	open	past	save	user	word	คอม	งาน	สาขา	โปรแกรม
0	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1	0.000000	0.000000	0.707107	0.000000	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.707107	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.894427	0.000000	0.447214	0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.577350	0.000000	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.577350	0.000000	0.577350

รูปที่ 3 เมื่อชุดข้อมูลได้ผ่านกระบวนการหาค่าสำคัญ

เมื่อได้ชุดข้อมูลที่ผ่านกระบวนการการหาคำสำคัญและอยู่ในรูปของตัวเลขแล้ว ต่อไปจะเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อนำเอาชุดข้อมูลดังกล่าวไปทดสอบการทำนาย โดยใช้วิธีการทำนายแบบการสุ่มป่าไม้ (Decision Tree) ซึ่งเป็นแบบจำลองการทำนายการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ที่มีการสร้างการทำนายในรูปแบบของชุดต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ ต้น (Ensemble of Decision Trees) มาช่วยในการทำนายผลลัพธ์ โดยต้นไม้ตัดสินใจ แต่ละต้นถูกสร้างเป็นอิสระต่อกัน โดยใช้ข้อมูลย่อยที่ถูกสุ่มเลือกจากชุดข้อมูลฝึกสอนเดิม โดยการสุ่มเลือกเป็นแบบ bootstrap (random sampling with replacement) นั่นคือ อาจมีข้อมูลที่ถูกเลือกซ้ำได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำนายสูง ชุดข้อมูลดังกล่าวสำหรับแบบจำลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลการสอน 80% และชุดข้อมูลการทดสอบ 20% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด 11,819 รายการ โดยจำนวนข้อมูลการสอนจะเท่ากับ 9,455 รายการ การทดสอบเท่ากับ 2,364 รายการ จากนั้นจึงนำไปทดสอบกับแบบจำลองโดยโปรแกรมภาษาไพทอนดังแสดงในรูปที่ 4

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.model_selection import train_test_split

#sklearn.model_selection.train_test_split
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(nlp_Train['Title'],
                                                  nlp_Train['Target'], test_size=0.2, random_state=2019)

#Fit
rf = RandomForestClassifier(n_estimators=100, random_state=0, max_features=3)
rf.fit(tfidf_vsm_x_train, y_train)
rf_predict = rf.predict(tfidf_vsm_x_test)
#Set result as confusion matrix
rf_accuracy = accuracy_score(y_test, rf_predict)
rf_precision = precision_score(y_test, rf_predict, average=None)
rf_recall = recall_score(y_test, rf_predict, average=None)
rf_f1 = f1_score(y_test, rf_predict, average=None)
#Print confusion matrix
print(classification_report(y_test, rf_predict))
```

รูปที่ 4 การสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายชุดข้อมูลตัวอย่าง

3. ผลการวิจัย

เมื่อสร้างแบบจำลองและนำชุดข้อมูลไปทำการทดสอบกับแบบจำลองแล้ว ผลลัพธ์การทำนายที่ได้จะแสดงผลในรูปแบบตารางวัดสมรรถนะ (Confusion Matrix) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการประเมินผลลัพธ์การทำนายแบบการแยกประเภท โดยผลการวิจัยมีดังนี้

3.1 ผลการทำนายแบบการสุ่มป่าไม้ที่จากชุดข้อมูลที่ใช้เทคนิคการลบคำที่ไม่สำคัญออก

จากนั้นจึงทำการการตัดคำจากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติภาษาไทย ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องถึง 0.91% ดังแสดงในรูปที่ 5

```
print(classification_report(y_test, rf_predict))
```

	precision	recall	f1-score	support
1	0.91	0.95	0.93	622
2	0.90	0.92	0.91	492
3	0.91	0.91	0.91	453
4	0.91	0.91	0.91	410
5	0.94	0.94	0.94	167
6	0.90	0.87	0.89	98
7	0.81	0.65	0.72	122
avg / total	0.91	0.91	0.91	2364

รูปที่ 5 ผลการทำนายจากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติภาษาไทย

3.2 ผลการทำนายแบบการสุ่มป่าไม้ที่จากชุดข้อมูลที่ใช้เทคนิคการลบคำภาษาอังกฤษและคำไทยตามลำดับ จากนั้นจึงทำการการตัดคำจากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติอังกฤษ ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 0.90% ดังแสดงในรูปที่ 6

```
print(classification_report(y_test, rf_predict))
```

	precision	recall	f1-score	support
1	0.91	0.94	0.92	622
2	0.92	0.90	0.91	492
3	0.90	0.91	0.91	453
4	0.89	0.92	0.90	410
5	0.93	0.93	0.93	157
6	0.87	0.88	0.87	98
7	0.84	0.63	0.72	122
avg / total	0.90	0.90	0.90	2364

รูปที่ 6 ผลการทำนายจากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติภาษาอังกฤษ

4. การอภิปรายผลและการวิจารณ์และสรุป

งานวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินการวิเคราะห์และทดลองเทคนิคการแยกประเภทตัวงานที่มีข้อความ เป็น ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และภาษาไทยผสมภาษาอังกฤษ โดยเริ่มจากการทดลองการแยกประเภทตัวงานตามขั้นตอนพื้นฐานของกระบวนการประมวลผลภาษาธรรมชาติ เพื่อที่จะทราบว่าการทดลองจะมีผลลัพธ์ออกมาเป็นอย่างไร เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมจึงสรุปได้ดังนี้

4.1 ข้อความตัวงานที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ผู้ทำวิจัยมีความเข้าใจถึงความหมายของข้อความที่ผู้ใช้งานได้เขียนขึ้นมา การวิเคราะห์และทำความเข้าใจข้อความตัวงานที่ดีมีส่วนช่วยลดความซับซ้อนที่อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนของการประมวลผลภาษาธรรมชาติได้

4.2 รูปแบบและโครงสร้างของแต่ละภาษา

มีผลต่อผลลัพธ์ในการทำนายอย่างมาก ซึ่งการจัดเรียงขั้นตอนและการใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติที่เหมาะสมจึงทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาถูกต้องมากที่สุดตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

4.3 การวิเคราะห์ข้อความของตัวงาน

แล้วได้พบว่าชื่อบุคคลและ ชื่อคอมพิวเตอร์ สามารถนำมาการสร้างคำ เพิ่มเติมในกระบวนการลบคำที่ไม่สื่อความหมายได้ ทำให้ผลลัพธ์ของการทำนายดีขึ้น

4.4 การจัดเรียงลำดับการประมวลผลภาษาธรรมชาติมีผลมากกับชุดข้อมูลนี้

จากการทดลองการตัดคำข้อความภาษาไทยผสมภาษาอังกฤษ การตัดคำในแบบของภาษาอังกฤษก่อนจะทำให้ภาษาไทยในข้อความนั้นถูกตัดออกมาได้ไม่ถูกต้อง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Revina, K. Buza, and V. G. Meister, "IT Ticket Classification: The Simpler, the Better," IEEE Access, vol. 8, pp. 193380–193395, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3032840.
- [2] F. Al-Hawari and H. Barham, "A machine learning based help desk system for IT service management," Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, p. S1319157819300515, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jksuci.2019.04.001.
- [3] S. P. Paramesh and K. S. Shreedhara, "Automated IT Service Desk Systems Using Machine Learning Techniques," in Data Analytics and Learning, vol. 43, P. Nagabhushan, D. S. Guru, B. H. Shekar, and Y. H. S. Kumar, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2019, pp. 331–346.
- [4] S.P. Paramesh and K.S. Shreedhara, "Building Intelligent Service Desk Systems using AI," International Journal of Engineering Sciences and Management - A Multidisciplinary Publication of VTU, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2019.
- [5] S. P. Paramesh, C. Ramya, and K. S. Shreedhara, "Classifying the Unstructured IT Service Desk Tickets Using Ensemble of Classifiers," in 2018 3rd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS), Bengaluru, India, Dec. 2018, pp. 221–227, doi: 10.1109/CSITSS.2018.8768734.
- [6] J. Han and M. Akbar, "Vertical Domain Text Classification: Towards Understanding IT Tickets Using Deep Neural Networks," p. 2.
- [7] Lifeng Li, Wenxing Li, and Daqing Gong, "Naive Bayesian Automatic Classification of Railway Service Complaint Text Based on Eigenvalue Extraction," Technical Gazette, vol. 26, no. 3, pp. 778–785, Jun. 2019, doi: 10.17559/TV-20190420161815.
- [8] Qaiser S, Ali R. Text mining: use of TF-IDF to examine the relevance of words to documents. International Journal of Computer Applications. 2018 Jul;181(1):25-9.

คุณสมบัติของอิฐบล็อกผสมถุงพลาสติกเพื่อลดต้นทุนการผลิต

Properties of Block Bricks Mixed with Plastic Bags to Reduce Production Costs.

ลาวัลย์ ชันเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Lawan Kankaset

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology

Suvarnabhumi.

E-mail : kkklawan@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถุงพลาสติกเป็นมวลรวมร่วมในการผลิตอิฐบล็อก ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อนำเอาขยะพลาสติกมาใช้ประโยชน์ โดยทำการทดลองโดยการนำถุงพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนมาย่อยให้มีขนาดไม่เกิน 1 เซนติเมตร มาใช้เป็นวัสดุผสมร่วมกับทรายและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 โดยทำการทดลองจำนวน 3 อัตราส่วน อันมีอัตราส่วนโดยปริมาตรของวัสดุผสมอิฐบล็อกต้นแบบ คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หินฝุ่น : น้ำ เท่ากับ 1 : 1.5 : 12 : 0.5 ตามลำดับ ในการทดลองได้ทำการเพิ่มอัตราส่วนผสมของถุงพลาสติกเพื่อทดแทนทราย ซึ่งเขียนเป็นสูตรโดยปริมาตร คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หินฝุ่น : น้ำ : ถุงพลาสติก ได้ดังนี้ สูตรที่ 1 อัตราส่วน 1 : 1 : 12 : 0.5 : 0.5 สูตรที่ 2 อัตราส่วน 1 : 0.5 : 12 : 0.5 : 1 และสูตรที่ 3 อัตราส่วน 1 : 0 : 12 : 0.5 : 1.5 ตามลำดับ จากการทดสอบหาค่ากำลังอัดและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 ของอิฐบล็อกไม่รับน้ำหนัก พบว่ากำลังแรงอัดมีค่ามากขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนของถุงพลาสติกเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50.97 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนความหนาแน่นของตัวอย่างแปรผกผันกับอัตราส่วนของถุงพลาสติก ในขณะที่การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรต้นแบบ โดยทุกอัตราส่วนผสมที่ได้ทำการศึกษาผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 และเมื่อใช้ถุงพลาสติกมาใช้เป็นวัสดุดิบในการผลิตทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

คำสำคัญ : คุณสมบัติ อิฐบล็อก ถุงพลาสติก ลดต้นทุนการผลิต

Abstract

This research presents the possibility of using plastic bags as apart of aggregate for concrete block production as aimed to reuse the plastic waste. The pieces of plastic bags, polyethylene, smaller than 1 centimeter were used with sand and Portland cement type 1 to produce the concrete block for this study. Three recipes of the ingredient were tested based on the prototype ingredient, without the plastic bags, with a ratio of cement, sand, dust rock, and water by volume at 1 : 1.5 : 12 : 0.5, respectively. In the experimental test, the volume of plastic bags and sand have been tested with ratio of cement, sand, dust rock, water, and plastic bags by

volume of 3 recipes are follow, recipe1 at 1 : 1 : 12 : 0.5 : 0.5, recipe 2 at 1 : 0.5 : 12 : 0.5 : 1, and recipe 3 at 1 : 0 : 12 : 0.5 : 1.5, respectively. The compressive strength and water absorption tests following the TIS 58-2533 standard for non-load bearing concrete masonry unit indicate the compressive strength increasing with the amount of plastic bag, the maximum compressive strength of 50.97 KSC, which is recipe 2. The water absorption test indicates the density of concrete sample is inversely proportional to the amount of plastic bags, while the water absorption is increasing for all recipes compare with the prototype ingredient. The concrete block samples from all recipes in this study are passed the TIS 58-2533 standard. However, using of plastic bags for this study made the production cost lower.

Keywords: Properties Block bricks Plastic bags Reduce production costs

1. บทนำ

ประเทศไทยผลิตขยะวันละ 40,000 ตันต่อวัน หรือประมาณ 15 ล้านตันต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) โดยเป็นขยะพลาสติกและโฟม ไม่น้อยกว่าร้อยละ 21 [1] ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่คือถุงพลาสติกที่ยากต่อการย่อยสลายในธรรมชาติ เพราะถุงพลาสติก 1 ใบ ใช้เวลาถึง 450 ปี [1] ในการย่อยสลาย และหากนำไปเผาก็จะทำให้เกิดสารไฮโดรคาร์บอน จะทำให้เป็นมลพิษหนึ่งของภาวะโลกร้อน และมลพิษทางอากาศและเนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานถุงพลาสติกกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งทำให้ถุงพลาสติกเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยที่ถุงพลาสติกมักเป็นวัสดุที่ไม่ได้นิยมนำกลับมาใช้ใหม่ จึงส่งผลให้ถุงพลาสติกเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน โดยที่กรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม [1] ได้ทำการสำรวจพบว่า ในหนึ่งวัน คนหนึ่งคนใช้ถุงพลาสติกประมาณ 8 ใบ เมื่อเทียบกับจำนวนประชากรของประเทศไทยที่มีจำนวนประชากรกว่า 60 ล้านคน ทุกวันนี้ประเทศไทยมีปริมาณขยะถึงประมาณ 64 ล้านตัน เป็นพลาสติกถึงร้อยละ 20 และจากที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลาสติกเอทิลีนโวนิลแอลกอฮอล์แทนที่ทรายในการผลิตอิฐมวลเบา ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, และ 25 โดยน้ำหนัก [2] ผลการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นมีค่าที่ลดลง ส่วนค่าอัตราการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น การเสริมสารผสมเพิ่มด้วยพลาสติกประเภท PET จะให้ผลต่างจากประเภท LDPE และ HDPE คือ PET จะเสริมให้ยางมะตอยมีความยืดหยุ่นที่มากกว่า ทนต่อการเปราะ แตกของยางมะตอยโดยเฉพาะในเขตอากาศเย็นได้ดี ในขณะที่ LDPE และ HDPE จะให้การรับกำลังต่าง ๆ ที่ดีกว่าในสภาวะอากาศร้อน โดยสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองคือ การใช้ PET ร้อยละ 4.5 - 6 ของน้ำหนักยางมะตอย ผสมแห้งก่อนหลอมด้วยอุณหภูมิที่ 120 - 145 องศา จะช่วยประหยัดพลังงานและได้ความคงทนสูงสุด [3] - [6] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ถุงพลาสติกมาทดแทนวัสดุตั้งเดิมในอิฐบล็อกคือทราย เนื่องจากข้อดีของพลาสติก คือ มีความหนาแน่นต่ำ ข้อเสียมีค่าความแข็งแรงอัดต่ำ ส่วนข้อดีของทราย ทนความร้อนได้ดี ข้อเสียของทราย มีความหนาแน่นสูง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ถุงพลาสติกมาใช้เป็นวัสดุที่จะนำมาแทนที่ทรายเพราะถุงพลาสติกมีข้อดีในด้านของค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าทรายและการเลือกใช้ถุงพลาสติกยังเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกและแก้ไขปัญหาปริมาณขยะเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน

อิฐบล็อกเป็นวัสดุหนึ่งที่ใช้ในงานก่อสร้าง ทำผนัง และใช้เป็นพื้นแพร่หลายมาช้านานเนื่องจากเป็นวัสดุที่ผลิตได้ง่ายมีผู้ผลิตจำนวนมากครอบคลุมไปทุกพื้นที่ทำให้มีราคาถูกและทำงานได้เร็วกว่าอิฐมอญเนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่า มีราคาถูกกว่าคอนกรีตมวลเบา จึงทำให้อิฐบล็อกยังเป็นที่นิยมในการใช้งานปัจจุบันโดยลักษณะของอิฐบล็อก

นั้นมีลักษณะที่มีรูกลวงเป็นช่องอากาศภายในซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของการเป็นฉนวนการนำความร้อนมาใช้ประโยชน์อีกครั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าและต่อยอดให้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐบล็อกจากถุงพลาสติก จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจนอกจากจะเป็นการนำถุงพลาสติกซึ่งเป็นขยะมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นยังเป็นการช่วยแก้ปัญหาขยะล้นโลกลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อนอีกด้วยและเป็นการศึกษาและพัฒนานวัตกรรมใหม่จากวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยมีวัตถุประสงค์การศึกษาดังนี้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของอิฐบล็อกจากการผสมถุงพลาสติก เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเลขที่ 58-2533
2. เพื่อศึกษาส่วนผสมของอิฐบล็อกจากการผสมถุงพลาสติก
3. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของอิฐบล็อกจากการผสมถุงพลาสติกกับอิฐบล็อกทั่วไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การศึกษาคุณสมบัติของอิฐบล็อกจากการผสมถุงพลาสติกแทนที่ทราย

แบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- 2.1.1 ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบหาส่วนผสมของการแทนที่ทรายด้วยถุงพลาสติกที่ทำให้สามารถขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกได้ โดยสามารถเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม และออกแบบอัตราส่วนผสมเพื่อทำการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมของอิฐบล็อก (โดยปริมาตร)

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	หินฝุ่น	ถุงพลาสติก
ต้นแบบ	1	1.5	12	0
1	1	1	12	0.5
2	1	0.5	12	1
3	1	0	12	1.5

หมายเหตุ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) คงที่ เท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก

1.) การดำเนินงาน

- 1.1) การเตรียมวัตถุดิบโดยการตวง ปูนซีเมนต์ ทราย หินฝุ่น ถุงพลาสติก และ น้ำ ตามส่วนผสม



รูปที่ 1 แสดงเศษถุงพลาสติกที่ทำการย่อยให้มีขนาดไม่เกิน 1x1 เซนติเมตร



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2 ขบวนการผลิตขึ้นรูปอิฐบล็อกตามอัตราส่วนผสม (ก) ผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วน (ข) เข้าเครื่องขึ้นรูป และ (ค) อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3 แสดงลักษณะอิฐบล็อกที่ขึ้นรูปแล้วเสร็จ

2.1.2 ขั้นตอนที่ 2 นำอัตราส่วนผสมในขั้นตอนที่ 1 มาวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 และคำนวณต้นทุนการผลิต

1.) การขึ้นรูปตัวอย่างอิฐบล็อกเพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ โดยการนำส่วนผสมที่ได้มาหล่อเป็นลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ทำการบดอัดอัตราส่วนตามมาตรฐานการบดอัดคอนกรีต นำตัวอย่างของส่วนผสมอิฐบล็อกที่ได้นำมาจัดเรียงในที่ร่ม จนมีอายุครบ 1 วัน เริ่มบ่มตามอายุที่ 28 วันด้วยวิธีการแช่ในน้ำเมื่อครบตามกำหนดจึงนำตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติการต้านทานกำลังรับแรงอัด การหาค่าความหนาแน่น และอัตราการดูดกลืนน้ำ



รูปที่ 4 ทดสอบความต้านแรงอัดของอิฐบล็อก



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 5 การทดสอบการดูดกลืนน้ำของอัตราส่วนผสมอิฐบล็อก (ก) ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดก่อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ (ข) แช่ตัวอย่างที่ทดสอบในอ่างน้ำ 24 ชั่วโมง และ (ค) นำตัวอย่างเข้าตู้อบ 24 ชั่วโมง

2.2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ

การหาความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ความหนาแน่น (density) เป็นสมบัติเฉพาะของสารแต่ละชนิดและเป็นปริมาณที่บอกค่ามวลของสารในหนึ่งหน่วยปริมาตร เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น ค่าความหนาแน่นสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$\text{สูตรการคำนวณ} \quad \gamma = \frac{W}{V} \quad (1)$$

โดยที่ γ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

W คือ มวลรวมของวัตถุ (กิโลกรัม)

V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (ลูกบาศก์เดซิเมตร)

การหาการดูดกลืนน้ำและคำนวณปริมาณความชื้น อัตราการดูดซึมน้ำ (water absorption rate) จะทำการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำในอิฐบล็อกที่ขนาด ความกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 10×10×10 เซนติเมตร โดยจะทำการอบอิฐบล็อกเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่ในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำมาชั่งน้ำหนักหาค่าการดูดซึมน้ำ

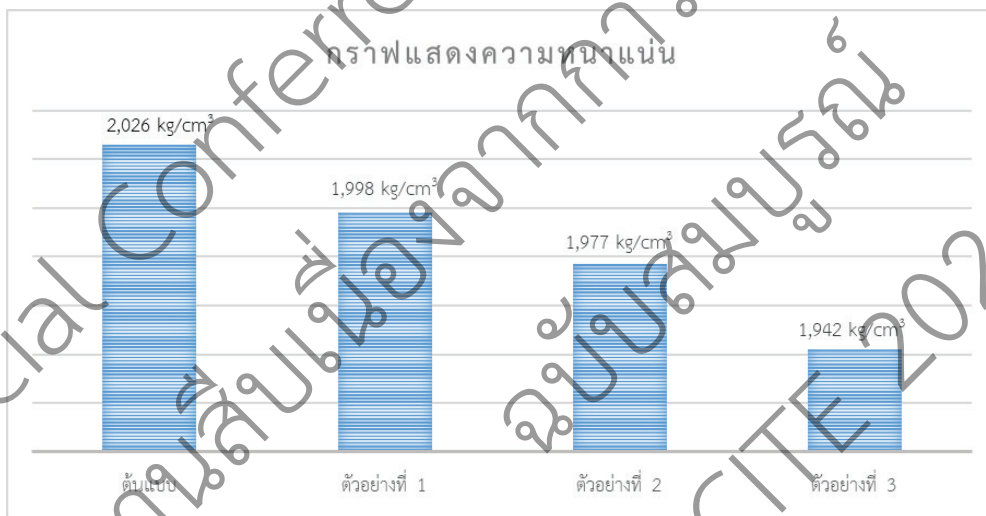
$$\text{การดูดกลืนน้ำ} = (A-B)/B \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อเปียก เป็นกิโลกรัม
B คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อแห้ง เป็นกิโลกรัม

กำลังอัดหรือค่าความแข็งแรงอัด (compressive strength) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ โดยที่ค่าความแข็งแรงอัดของอิฐบล็อกนี้จะขึ้นอยู่กับส่วนผสม อายุการบ่มและอื่น ๆ ขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 10×10×10 เซนติเมตร โดยการกดขึ้นทดสอบในแนวตั้งฉากของชิ้นทดสอบจนได้ค่าความแข็งแรงอัดสูงสุดเมื่อขึ้นทดสอบแตกเสียหาย

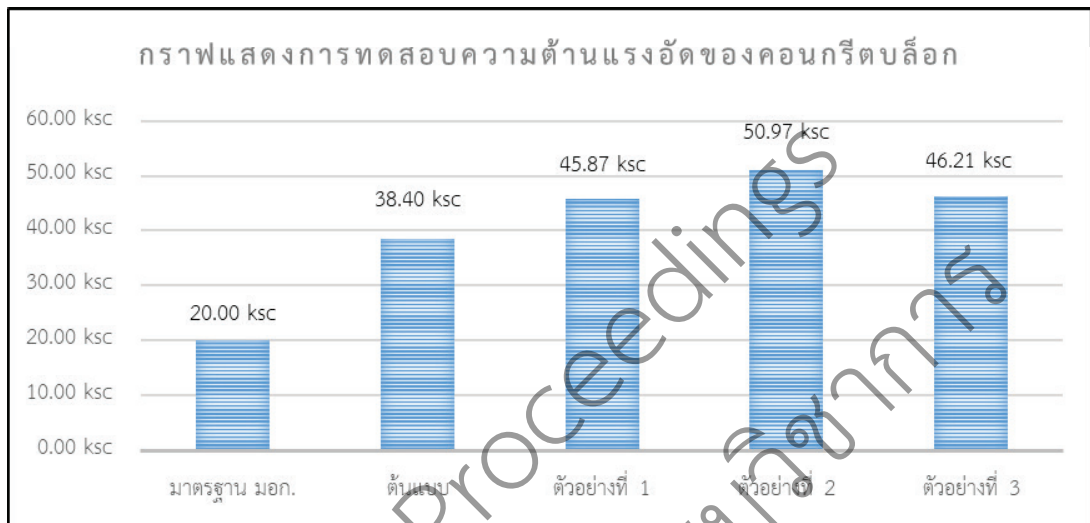
3. ผลการวิจัย

ค่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของฉนวนพลาสติกที่เพิ่มขึ้นคือเมื่อค่าอัตราส่วนผสมของฉนวนพลาสติกยิ่งเพิ่มมากขึ้นค่าความหนาแน่นก็ยิ่งลดลงตามไปด้วย ดังรูปที่ 6 จะเห็นถึงความแตกต่างของค่าความหนาแน่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากอายุการบ่มที่เปลี่ยนแปลงไป ที่อายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นจะลดลง โดยค่าความหนาแน่นของอิฐบล็อกที่มีพลาสติกแทนที่ทรายที่ 1.5 ส่วน โดยปริมาตร จะมีค่าที่ต่ำกว่าอิฐบล็อกที่ไม่ผสมฉนวนพลาสติกร้อยละ 4.14



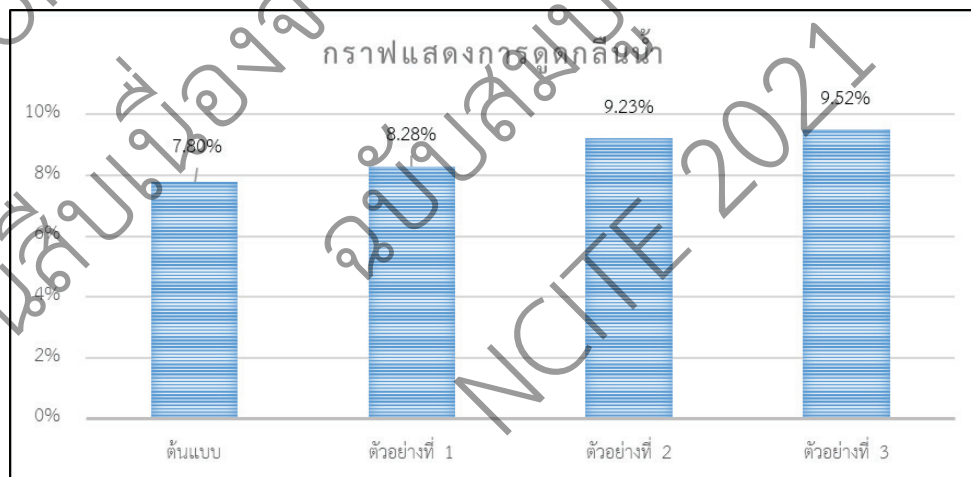
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของตัวอย่าง

โดยค่ากำลังรับแรงอัดที่เกิดขึ้นของอิฐบล็อกที่มีการแทนที่ทรายด้วยฉนวนพลาสติกนั้นจะพบว่าในทุกอัตราส่วนของอิฐบล็อกที่ผสมฉนวนพลาสติกแทนที่ทรายนั้นมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานทุกอัตราส่วน จะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุดเท่ากับ 50.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงให้เห็นว่าฉนวนพลาสติกสามารถนำมาแทนที่ทรายได้ในด้านของกำลังรับแรงอัดเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ดังรูปที่ 7



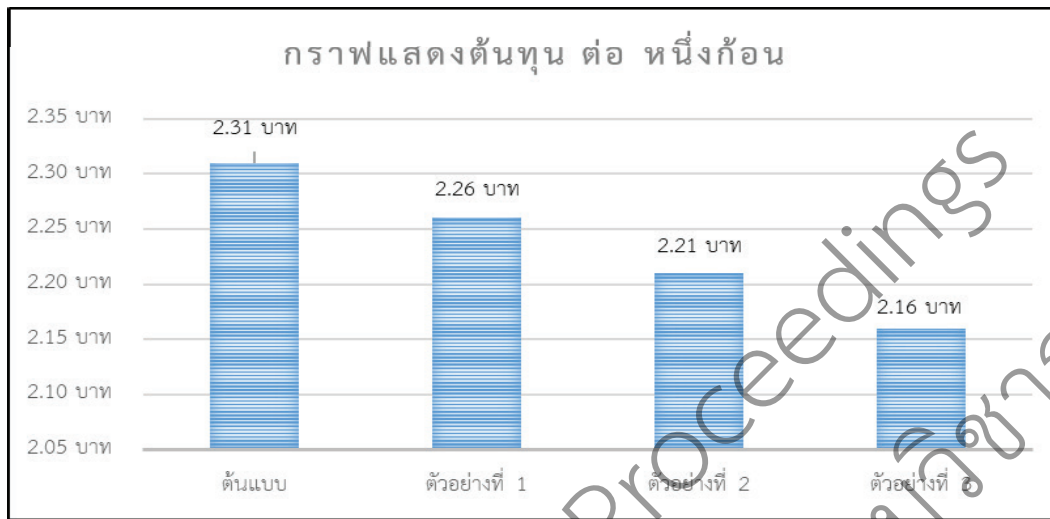
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง

ส่วนค่าอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกที่มีการแทนที่ทรายด้วยถุงพลาสติกจะมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก โดยอิฐบล็อกที่มีการแทนที่ทรายด้วยถุงพลาสติกที่ 1.5 ส่วน โดยปริมาตร จะมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำที่มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 9.52 เมื่อเปรียบเทียบกับ อิฐบล็อกที่ไม่มีการแทนที่ทรายด้วยถุงพลาสติกมีค่าความแตกต่างเท่ากับร้อยละ 1.72 ซึ่งค่าที่พบนั้นมีความแตกต่างกันไม่มากดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนน้ำของตัวอย่าง

ในส่วนของต้นทุนการผลิตต่อหนึ่งก้อนของอิฐบล็อกพบว่าต้นทุนในการผลิตต่อหนึ่งก้อนมีค่ามากที่สุด คือ ตัวอย่าง ต้นแบบ ซึ่งมีราคาที่ 2.31 บาท สูตรที่ 1 มีราคาที่ 2.26 บาท สูตรที่ 2 มีราคาที่ 2.21 บาท และสูตรที่ 3 มีราคาที่ 2.16 บาทตามลำดับ โดยจะพบว่าในสูตรที่ 3 นั้น มีต้นทุนในการผลิตที่น้อยที่สุด พบว่าเมื่อแทนที่ถุงพลาสติกด้วยทรายนั้นสามารถลดต้นทุนในการผลิตต่อก้อนร้อยละ 6.50 ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนของตัวอย่าง

4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

จากการทดสอบคุณสมบัติของอิฐบล็อกที่มีการแทนที่ทรายด้วยถุงพลาสติกที่ 0.50, 1.00, และ 1.50 ส่วน โดยปริมาตร ซึ่งจะนำค่าจากการทดสอบเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของอิฐบล็อกที่ไม่ได้มีส่วนผสมของถุงพลาสติกพบว่า อัตราส่วนของถุงพลาสติกในการแทนที่ทรายที่ 1.5 ส่วน โดยปริมาตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ เนื่องจาก มีค่ากำลังรับแรงอัด 46.21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจากพลาสติกชนิด HDPE มีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นกิ่งสาขาสั้นๆ จึงมีแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลค่อนข้างสูง มีความแข็งแรง มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง สามารถนำกลับมาหลอมใช้ได้อีก เป็นพลาสติกที่ได้รับ สัญลักษณ์เลข 2 ทนทานต่อสารเคมี และตัวทำละลาย หลายชนิด จึงเหมาะสำหรับนำมาทำ บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ขวดน้ำดื่ม ของเด็กเล่น เครื่องใช้ในบ้าน, เชือก แห อวนฉนวนไฟฟ้า ถุงหิ้ว ถุงขยะ ท่อน้ำมัน ชิ้นส่วนรถยนต์ และชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบสมบัติในแต่ละด้านและยังมีต้นทุนในการผลิตต่อก้อนที่ต่ำที่สุดในด้านคุณสมบัติทางกลนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 และ มอก.109-2517 ของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยมีผลทดสอบค่าความต้านแรงอัด ไม่น้อยกว่า 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้น สูงสุดร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมดน้อยกว่าร้อยละ 35 [7] พบว่าทุกอัตราส่วนที่แทนที่ทรายด้วยถุงพลาสติกมีค่าต่าง ๆ มากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 และในส่วนของต้นทุนการผลิตนั้น จะมีความถูกกว่าอิฐบล็อกที่ไม่ได้มีการแทนที่ด้วยถุงพลาสติกเป็นจำนวนเงินประมาณเท่ากับ 0.15 บาท เนื่องจากพลาสติกประเภทพอลิโพรไพลีนเป็นวัสดุที่เมื่อนำมาใช้งานแล้วไม่นำมาใช้งานซ้ำ จึงถือว่าการผลิตอิฐบล็อกที่มีถุงพลาสติกเข้าไปผสมไม่เพียงแต่ลดต้นทุนเท่านั้นยังเป็นการลดขยะเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน นอกจากนี้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของอิฐบล็อกเพียงบางส่วนเท่านั้น ควรจะมีการศึกษาวิจัยในด้านอื่น ๆ เพิ่มเติมอีก เช่น ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด อายุการใช้งาน และขนาดของถุงพลาสติกที่มีผลต่อการรับกำลังในด้านต่าง ๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากโรงงานอิฐบล็อกของคุณธีรวัฒน์ นามมณี อำเภอดอนเจดีย์ จังหวัดสุพรรณบุรี และขอขอบคุณที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] การจัดการขยะมูลฝอย (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)
- [2] Nopado Sahachaisaeree. (2556). "Thermal Condition and Insulation Properties of Lightweight Concrete with Footwear Industrial Waste Content". Journal of Science and Technology Mahasarakham University. Vol. 9 Issue 1.
- [3] Ahmadinia E., et al. (2011). Using waste plastic bottle as additive for stone mastic asphalt, Materials and Design, 32, 4844-4849.
- [4] Guru M., et al. (2014). An approach to the usage of polyethylene terephthalate (PET) waste as roadway pavement material, Journal of Hazardous Materials, 279, p. 302-310.
- [5] Moghaddam T.B., et al. (2012). Dynamic properties of stone mastic asphalt mixtures containing waste plastic bottles, Construction and Building Materials, 34, p. 236-242.
- [6] Fang C., et al. (2013). Preparation, Characterization and hot storage stability of asphalt modified by waste polyethylene packaging. Sci. Technol., 29(5), p. 434-438
- [7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์สำนักงาน. (2533). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

อิทธิพลของอัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

Influence of Void Ratio in Interlocking Block Cement with Thai Community Product Standard

ยอดชาย สิงห์ทอง^{1*} และ ชนะรป วิชาลัย²

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ^{1,2}

Yodchay Singthong^{1*} and Chanarop Vichalai²

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University^{1*,2}
of Technology Suvarnabhumi^{1*,2}

E-mail : yc.singthong@gmail.com^{1*}, chanaropv@gmail.com²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ นำเสนอการศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนปริมาณช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ที่นิยมผลิตกันในพื้นที่ชุมชน ที่ซึ่งอัตราส่วนของวัตถุดิบถูกควบคุมด้วยน้ำหนัก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดสอบตัวอย่างของบล็อกประสานซีเมนต์ที่ผลิตขึ้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องอิฐบล็อกประสาน (มผช. 602/2547) โดยตัวอย่างของบล็อกประสานซีเมนต์ที่ศึกษามีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก ที่ 1 : 5 : 1 (ซีเมนต์ : ดิน : น้ำ) แล้วทำการอัดขึ้นรูปด้วยการควบคุมให้มีปริมาณช่องว่างอากาศที่ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก รวม มีจำนวนตัวอย่างอย่างละ 12 ตัวอย่าง รวม 48 ตัวอย่าง แล้วทำการทดสอบความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำจากการศึกษาพบว่าความต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วัน สูงสุดอยู่ที่ 7.50 เมกะพาสคัล ที่ช่องว่างร้อยละ 5 และต่ำสุด อยู่ที่ 4.46 เมกะพาสคัล ที่ช่องว่างร้อยละ 20 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณช่องว่าง การทดสอบการดูดกลืนน้ำที่ 24 ชั่วโมง พบว่ามีการดูดซึมน้ำสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 26 ที่ช่องว่างที่มีช่องว่างร้อยละ 20 และกหดูดซึมน้ำต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 19 ของตัวอย่างที่มีช่องว่างร้อยละ 5 ซึ่ง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณช่องว่าง

คำสำคัญ : บล็อกประสานซีเมนต์ ช่องว่าง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ความต้านทานแรงอัด การดูดกลืนน้ำ

Abstract

This research article presents the influence of void ratio in locally made interlocking block cement, where the ingredients are controlled by weight measurement. The objective of this study is to test the samples of interlocking block cement that have been mixed following the TCPS. 602/2547 standard. The samples had been made based on an ingredient weight by a ratio of cement, soil, and water at 1, 5, and 1 respectively. Afterward, the ingredient had been molded by compression, which is maintained the amount of void at 5, 10, 15, and 25 percent by total weight. The samples had been prepared 12 samples of each amount of void, 48 samples in total. The compressive strength and water absorption tests were carried out for this study. These test

results indicate the maximum compressive strength at the sample age 28 days has a strength of 7.50 MPa for the 5% of void and the minimum compressive strength of 4.46 MPa for the 20% of void, the compressive strength is decreasing significantly with an increasing void. The water absorption test results within 24 hours indicate the maximum water absorption of 26% for the 20% of void and minimum water absorption of 19% for the 5% of void, the water absorption is increasing with an increasing void.

Keywords : Interlocking block cement, Void ratio, Thai Community Product Standard, Compressive strength test, Water absorb test

1. บทนำ

บล็อกประสานซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีความนิยมเป็นอย่างมากในพื้นที่ชุมชนสำหรับงานก่อสร้างไม่ว่าจะในส่วนภายในอาคารและภายนอกอาคาร เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีราคาไม่สูง และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้หลากหลายเหมาะสมสำหรับงานต่างๆ เน้นใช้วัตถุดิบในพื้นที่ในการผลิต เช่น ดินลูกรัง หินฝุ่น ททราย และวัสดุเหลือใช้อื่น ๆ หรือวัสดุทดแทนต่างๆได้ โดยนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำ ในอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และนำมาอัดขึ้นรูปตามที่ต้องการ โดยที่ จะมีลักษณะของบล็อกประสานที่มีรูและเดือยบนตัวบล็อก และแล้วนำมาบ่มเพื่อเพิ่มกำลัง [1] จากความนิยมการใช้งานของบล็อกประสานซีเมนต์จนเกิดเป็นการผลักดันให้มีการผลิตให้มีการผลิตเพิ่มขึ้น มุ่งให้มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยมากขึ้นตามลำดับ จนเกิดเป็นการสร้างมาตรฐานผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน วว. เพื่อรักษาคุณภาพให้มีความสม่ำเสมอ กัน เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐาน และยังสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภค [2] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการผลิตบล็อกประสานซีเมนต์นั้นมีความง่ายไม่ซับซ้อนมาก แต่ก็จำเป็นต้องสร้างมาตรฐานในการผลิตขึ้นมา เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เกิดเป็น “มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน, มผช 602/2547” ขึ้นมา เนื่องจากในการตั้งสถานที่โรงงานผลิตนั้นจะอยู่ในลักษณะการผลิตภายในชุมชน การกำหนดส่วนผสมในการผลิตของบล็อกประสานนั้น จะมีการกำหนดสัดส่วนที่ไม่แน่นอนแล้วแต่แหล่งผลิตนั้นๆ แต่ทั่วไปจะกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1:7 แล้วนำมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแห้ง [3] ทั้งนี้ในการผลิตบล็อกประสานซีเมนต์ไม่ใช่เพียงวัสดุปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมและน้ำเท่านั้น การกำหนดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมจะส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของบล็อกประสานด้วย การกำหนดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อฝุ่นหินที่นำมาเป็นมวลรวมที่ 1:5 1:7 และ 1:8 นั้น มีความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุดที่ 105.58 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และต่ำสุดที่ 82.12 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ [4] ในกรณีนี้ไม่ใช่เพียงการกำหนดสัดส่วนการผลิตเท่านั้น แต่ยังคงมีการใช้วัสดุผสมเพิ่มอื่น ๆ หรือทดแทนนำมาใช้อีกมาก เพื่อปรับปรุงและพัฒนาในด้านต่าง ๆ เช่น การเพิ่มวัสดุทดแทนเพื่อลดต้นทุน อันจะเห็นได้จากการศึกษาการใช้เปลือกของหอยเชอรี่บดเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในบล็อกประสานซีเมนต์ที่ พบว่า ที่เหมาะสมทดแทนได้ถึงร้อยละ 20 [5] และยังคงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านลดปริมาณกากของเสียได้ ในการผลิตบล็อกประสานโดยใช้ กากตะกอนจากกระบวนการทำน้ำเกลือให้บริสุทธิ์ของโรงงานเหมืองแร่เกลือหิน ที่นำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ถึงร้อยละ 17.48 [6]

จากการศึกษาข้อมูลในอดีตนั้นจะเป็นการศึกษาที่เน้นไปในด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ลดต้นทุนการผลิต โดยใช้วัสดุทดแทนหรือผสมเพิ่ม แต่ยังคงไม่พบการศึกษาที่มุ่งศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ว่าส่งผลอย่างไรต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ในการนี้

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์ที่จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอิทธิพลของอัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547

2. วิธีการวิจัย

2.1 การศึกษามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน

การศึกษามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มผช. 602/2547 [7] กำหนดให้บล็อกประสานมี 2 ชนิด คือ ชนิดรับน้ำหนัก และชนิดไม่รับน้ำหนัก โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

2.1.1 การทดสอบด้านทานแรงอัด

ชนิดรับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 7.00 เมกะปาสกาล

ชนิดไม่รับน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2.50 เมกะปาสกาล

2.1.2 การทดสอบดูดกลืนน้ำ โดยที่จะทำการทดสอบเฉพาะบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก)

2.2 การกำหนดอัตราส่วนผสมของบล็อกประสานซีเมนต์

โดยที่ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้เป็น อัตราส่วน 1 : 5 : 1 (ซีเมนต์ : มวลรวม : น้ำ) และกำหนดให้ทำการทดสอบอัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ที่ ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักปกติของบล็อกประสานซีเมนต์ กำหนดขนาดทดสอบ 12.5 เซนติเมตร X 24.5 เซนติเมตร X 10 เซนติเมตร โดยกำหนดน้ำหนักบล็อกประสานซีเมนต์ปกติกำหนดที่ 5.460 กิโลกรัมต่อก้อน หาได้จากการอัดขึ้นตัวอย่างปกติ และใช้วิธีการควบคุมน้ำหนักของวัสดุทดสอบในควบคุมคุณภาพชิ้นงานตามที่กำหนด

ตารางที่ 1 การออกแบบส่วนผสมบล็อกประสานซีเมนต์

สูตร	ช่องว่างในบล็อก ประสาน (ร้อยละ)	อัตราส่วนผสมต่อก้อน (1 : 5 : 1) (กิโลกรัม)			
		ซีเมนต์	มวลรวม(ดิน)	น้ำ	น้ำหนักรวม
IBC100	0	0.780	3.900	0.780	5.460
IBC95	5	0.741	3.705	0.741	5.187
IBC90	10	0.702	3.510	0.702	4.914
IBC85	15	0.663	3.315	0.663	4.641
IBC80	20	0.624	3.120	0.624	4.368

หมายเหตุ : น้ำหนักบล็อกประสานซีเมนต์ปกติกำหนดที่ 5.460 กิโลกรัมต่อก้อน

2.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบบล็อกประสานซีเมนต์

2.3.1 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมบล็อกประสานซีเมนต์ตามที่กำหนด

2.3.2 นำส่วนผสมใส่ลงในเครื่องผสม โดยใส่ปูนซีเมนต์และดินผสมให้เข้ากัน เมื่อเข้ากันดีแล้วใส่น้ำตามลงไปจน

ทุกอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 1 การผสมวัสดุลงในเครื่องผสม

2.3.3 นำมาอัดขึ้นรูปตามขนาดทดสอบที่กำหนด และนำบ่มในถุงพลาสติกเป็นเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ และทำการชั่งน้ำหนักขึ้นวัสดุทดสอบเพื่อใช้ควบคุมคุณภาพชิ้นงานตามที่กำหนด



รูปที่ 2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการบ่มและจัดเก็บขึ้นตัวอย่างทดสอบ

2.4 ขั้นตอนการทดสอบวัสดุ

2.4.1 การทดสอบด้านทานแรงอัด ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 จะอ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการทดสอบวัสดุของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตรับน้ำหนัก เลขที่ มอก. 57/2530 และ คอนกรีตไม่รับน้ำหนัก เลขที่ 58/2530 ที่ระยะเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยมีขั้นตอนการเตรียมการทดสอบต่อไปนี้ [8]

1.1) เตรียมผิวหน้าของตัวอย่างให้เรียบ

1.2) วางก้อนตัวอย่างให้ลงจุดกึ่งกลางแป้นทดสอบ

1.3) กำหนดให้เพิ่มแรงอัดให้สม่ำเสมออย่างต่อเนื่อง

1.4) บันทึกผลค่าความสามารถรับแรงอัดสูงสุด

2.4.2 การทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำ ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 จะอ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการทดสอบวัสดุของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตรับน้ำหนัก เลขที่ มอก. 57/2530 และ คอนกรีตไม่รับน้ำหนัก เลขที่ 58/2530 โดยนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างน้ำหนักบล็อกประสานซีเมนต์อบแห้งกับหลังนำมาแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนการเตรียมการทดสอบต่อไปนี้

2.1) นำก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วัน จำนวน 3 ก้อนในแต่ละสูตรอัตราส่วนผสม

2.2) วัดขนาด และชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่าง บันทึกค่าเป็นน้ำหนักก่อนนำเข้าตู้อบ

2.3) นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 – 115 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4) เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำก้อนตัวอย่างออกมาแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลหลังจากอบ

2.5) ก้อนตัวอย่างลงแช่ในภาชนะที่มีน้ำท่วมก้อนตัวอย่างแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.6) เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำก้อนตัวอย่างขึ้นนำมาชั่งน้ำให้แห้งภายในระยะเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

2.7) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมจากสมการการดูดซึมน้ำ

$$W = (W_w - W_d) \times 100 / W_d \quad (1)$$

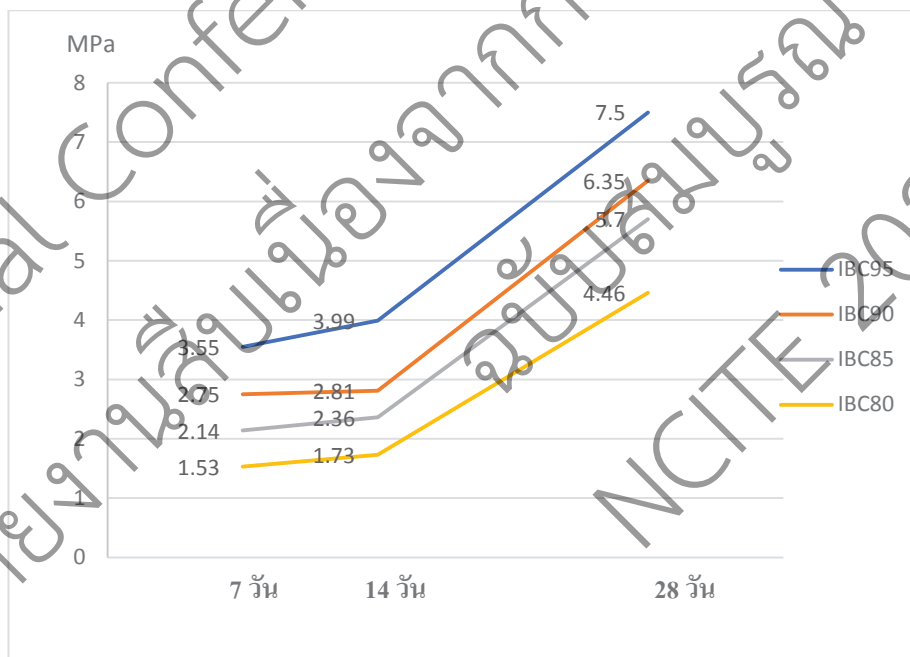
- เมื่อ W = ค่าการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละ)
 W_w = ค่าน้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (กิโลกรัม)
 W_d = ค่าน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ 24 ชั่วโมง (กิโลกรัม)

3. ผลการวิจัย

จากการอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มพข. 602/2547 ในด้านการทดสอบต้านทานแรงอัด และการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำ ตามการออกแบบส่วนผสมบล็อกประสานซีเมนต์ที่อัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ที่ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักปกติของบล็อกประสานซีเมนต์ กำหนดขนาดทดสอบ 12.5 เซนติเมตร X 24.5 เซนติเมตร X 10 เซนติเมตร. พบว่า

3.1 ผลการทดสอบต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานซีเมนต์

ผลการทดสอบต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานซีเมนต์ พบว่า อัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ที่ ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักปกติของบล็อกประสานซีเมนต์ ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ดังแสดงรูปที่ 4



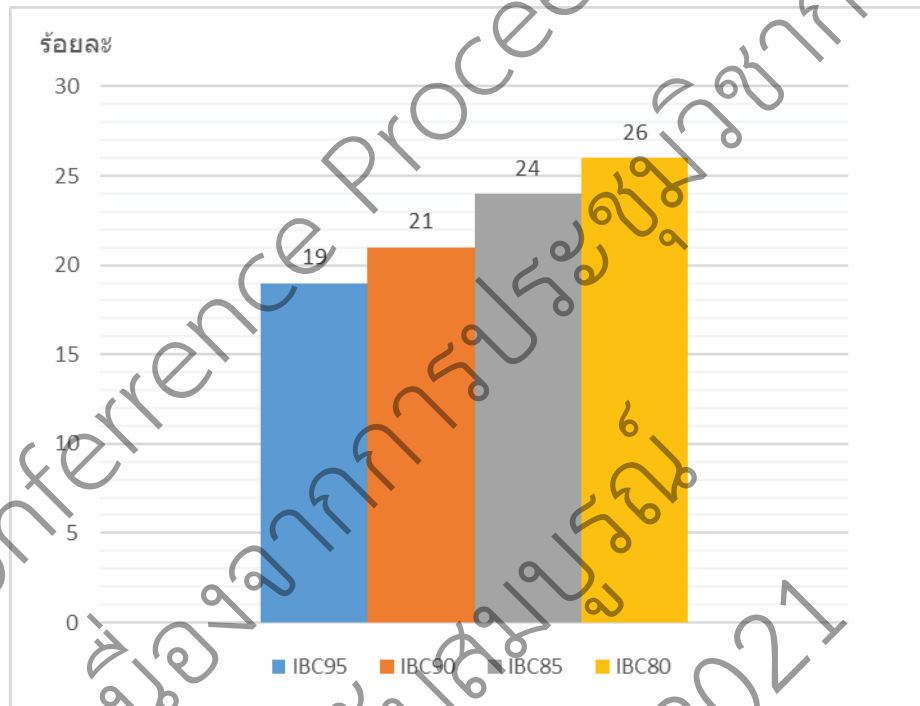
รูปที่ 4 ผลการทดสอบต้านทานแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

ผลจากการทดสอบต้านทานแรงอัดของบล็อกประสานซีเมนต์ในรูปที่ 4 นั้น พบว่า ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน มีค่าต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 3.55 เมกะพาสคัล ในสูตร IBC95 และลดต่ำสุดที่ 1.53 เมกะพาสคัล ในสูตร IBC80 ระยะเวลาการบ่มที่ 14 วัน มีค่าต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 3.99 เมกะพาสคัล ในสูตร IBC95 และลดต่ำสุดที่ 1.73 เมกะพาสคัล

ในสูตร IBC80 และระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีค่าต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 7.50 เมกะพาสคัล ในสูตร IBC95 และลดต่ำสุดที่ 4.46 เมกะพาสคัล ในสูตร IBC80

3.2 ผลการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานซีเมนต์

ผลการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานซีเมนต์ พบว่าอัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ที่ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักปกติของบล็อกประสานซีเมนต์ของระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ระยะเวลาแช่น้ำที่ 24 ชั่วโมง ดังแสดงรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลจากการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานซีเมนต์ในรูปที่ 5 นั้น พบว่า ค่าการดูดกลืนน้ำสูงสุดที่ร้อยละ 26 (1.136 กิโลกรัม/ก้อน) ในสูตร IBC80 และลดต่ำสุดที่ร้อยละ 19 (0.986 กิโลกรัม/ก้อน) ในสูตร IBC90

4. สรุป

จากการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มผช. 602/2547 ที่อัตราส่วน 1 : 5 : 1 (ซีเมนต์ : มวลรวม : น้ำ) โดยกำหนดให้อัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์ที่ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 พบว่า ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 การทดสอบต้านทานแรงอัดมีเกณฑ์มาตรฐาน คือ ชนิดรับน้ำหนัก (ไม่น้อยกว่า 7.00 เมกะพาสคัล) และชนิดไม่รับน้ำหนัก (ไม่น้อยกว่า 2.50 เมกะพาสคัล) โดยที่อัตราส่วนช่องว่างร้อยละ 5 ผ่านเกณฑ์ชนิดรับน้ำหนัก (7.50 เมกะพาสคัล) และอัตราส่วนช่องว่างร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 ผ่านเกณฑ์ชนิดไม่รับน้ำหนัก (6.35, 5.70 และ 4.46 เมกะพาสคัล ตามลำดับ) แสดงถึงอัตราส่วนช่องว่างในบล็อกประสานซีเมนต์มีอิทธิพลต่อความสามารถต้านทานแรงอัด ในส่วนการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐาน

มผช. 602/2547 ให้ทำเฉพาะอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักเท่านั้น ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้มีเพียงอัตราส่วนผสมร้อยละ 5 เท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำเพียง 0.50 เมกะพาสคัล ซึ่งทางผู้วิจัยพิจารณาแล้วควรมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการทดสอบ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงขอนำเสนอในด้านอัตราส่วนผสมในบล็อกประสานซีเมนต์มีอิฐบล็อกต่อค่าการดูดกลืนน้ำอย่างมีนัยสำคัญกันโดยตรง โดยที่อัตราส่วนผสมในบล็อกประสานซีเมนต์ที่มีมาก (ร้อยละ 20) ค่าการดูดกลืนน้ำจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามช่องว่างที่เพิ่มขึ้นและค่าการดูดกลืนน้ำจะลดลงตามอัตราส่วนผสมในบล็อกประสานซีเมนต์ที่ลดลง (ร้อยละ 5) ดังในรูปที่ 5 ทั้งนี้จากผลการวิจัยนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจหรือชุมชนที่สนใจ เพื่อไปประกอบการพิจารณาถึงแนวทางในการผลิต ควบคุมคุณภาพ และต้นทุนการผลิตได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] อมเรศ บกสุวรรณ และประชุม คำพุ่ม. ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานเพื่อวิสาหกิจชุมชนจากหินแอนไฮไดรต์. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 13; 18 - 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 ; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตโกลกังวล : ประจวบคีรีขันธ์ ; 2561. หน้า 19-26.
- [2] วุฒินัย กกกำแหง. บล็อกประสาน วว. อดีต ปัจจุบัน อนาคต [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก : <https://technologyblockprasan.com/>
- [3] วรารช แก้วแสง. คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของอิฐบล็อกประสานดินขาวที่ผสมด้วยกลวิธีโพลีเมอร์ไรเซชัน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 8; 8 - 9 ธันวาคม พ.ศ. 2554 ; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน : นครปฐม ; 2554. หน้า 1393-1401.
- [4] อาหาร ชูพลständig และนิชามา มินาบูลย์. บล็อกประสานจากขยะคอนกรีต. [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก : <https://repository.rmutr.ac.th/>
- [5] สุรียา การเกษ. กำลังอัดของบล็อกประสานที่ผลิตจากปูนซีเมนต์และเปลือกหอยเชอรี่บด [ปริญญาโทพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2557.
- [6] รัชณี คงเมือง และคณะ. การผลิตบล็อกประสานโดยใช้กากตะกอนจากกระบวนการทำน้ำเกลือให้บริสุทธิ์ของโรงงานเหมืองแร่เกลือหิน จังหวัดนครราชสีมา. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. ครั้งที่ 1; 26 สิงหาคม 2554 ; มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช : นนทบุรี ; 2554. หน้า 1-12.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ ชุมชนอิฐบล็อกประสาน.มผช. 602/2547. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ; 2547.
- [8] นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล. การใช้ฝุ่นจากโรงโม่หินแทนที่ซีเมนต์ในการทำอิฐบล็อกประสาน. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 2560 ; ปีที่ 9 ฉบับที่ 1: 126-135.

การวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการของถนนอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี

The capacity and level of service analysis of the road in Sam Chuck

Suphan Buri

อรวรรณ จันทสุทโธ^{1*} สุภัทรา สีแดง² และ อนุดรธา ธาณี³
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศูนย์สุพรรณบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ^{1*,2,3}

Orawan Jantasuto^{1*} Suphattra Seetaeng² and Anudsra Thane³

Faculty of Engineering and Architecture, Suphan Buri
Rajamangala University of Technology Suvarnphumi^{1*,2,3}

E-mail : i.orawanj@hotmail.com^{1*}

บทคัดย่อ

อำเภอสามชุก เป็นอำเภอหนึ่งของจังหวัดสุพรรณบุรี แบ่งพื้นที่การปกครองออกเป็น 7 ตำบล คือ ตำบลย่านยาว วังลึก สามชุก หนองผักนาก บ้านสระ หนองสะเดา และกระเสี้ยว มีอาณาเขตติดต่อกับเขตปกครองข้างเคียง ดังนี้ ทิศเหนือ ติดต่อกับอำเภอเดิมบางนางบวช ทิศตะวันออก ติดต่อกับอำเภอเดิมบางนางบวชและอำเภอศรีประจันต์ ทิศใต้ ติดต่อกับอำเภอศรีประจันต์และอำเภอดอนเจดีย์ และทิศตะวันตก ติดต่อกับอำเภอหนองหญ้าไซอำเภอสามชุก เป็นอำเภอเก่าแก่และมีความสำคัญแห่งหนึ่งในประวัติศาสตร์ไทย เป็นเมืองเล็ก ๆ โดยในอดีตคือแหล่งที่ผู้คนหลากหลายเชื้อชาติทั้งไทย จีน มอญ มามีสัมพันธ์ต่อกันในลักษณะของการแลกเปลี่ยนและซื้อขายสินค้าจนพัฒนาไปสู่การลงหลักปักฐาน สร้างเมืองที่มีมั่นคงขึ้นมาตามประวัติของเมืองสามชุก ปัจจุบันสามชุกมีประชากรในท้องที่ ผู้ที่อพยพเข้ามาทำงาน นักเรียนและนักศึกษาที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งทำให้เกิดการเดินทางเพิ่มมากขึ้น ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาข้อมูลทางกายภาพของถนนในเขตอำเภอสามชุกในสภาพปัจจุบันว่าสอดคล้องกับการเดินทางในปัจจุบันหรือไม่ โดยศึกษาวิเคราะห์เรื่อง Highway Capacity Manual (HCM) และนำมาประยุกต์ใช้โปรแกรม HCM Calculator ในการวิเคราะห์เรื่อง Level of Service เพื่อการออกแบบการจราจรให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ความจุ ระดับให้บริการ ถนน

Abstract

Sam Chuk is a subdistrict of Suphan Buri Province. The administrative area is divided into 7 sub-districts, namely Yan Yao Subdistrict, Wang Luk Subdistrict, Sam Chuk Subdistrict, Nong Phak Nak Subdistrict, Ban Sa Subdistrict, Nong Sadao Subdistrict and Krasiao subdistrict. The territory is adjacent as follows: North contacted with Doem Bang Nang Buat district, East contacted with Doem Bang Nang Buat and Si Prachan districts. South contact with Si Prachan district and Don Chedi District and East Contacted with Nong Ya Sai District. Sam Chuk District

which is one of the oldest and important provinces in Thai history, is a small town. In the past it was a place where people of various nationalities including Thai, Chinese, Mon, were connected to each other in the form of exchanges and trading goods Until developing as a stable city based on the history of Sam Chuk. Currently Sam Chuk has a local population, immigrants come to work, Students come to study. There is a growing number which causes more travel. Therefore, the project wants to study of the physical data of roads in Sam Chuk subdistrict in current conditions. By studying and analyzing Highway Capacity Manual (HCM) and applying HCM Calculator to design traffic to be more suitable.

Keywords : Capacity, Level of service, Road

1. บทนำ

ปัจจุบันอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี มีประชากรเพิ่มมากขึ้นอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การย้ายถิ่นฐาน การย้ายเข้ามาทำงานหรือเข้ามาศึกษา การเพิ่มขึ้นของประชากรทำให้เกิดการเดินทางสัญจรมากขึ้น รวมถึงพฤติกรรมรถขับซึ่รจากการค้นคว้าข้อมูลสถิติของสำนักงานขนส่งจังหวัดสุพรรณบุรี กรมการขนส่งทางบก พบว่ามีรถยนต์ป้ายแดงจดทะเบียนใหม่ในจังหวัดสุพรรณบุรีเพิ่มขึ้น ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2561 มีรถยนต์ 3,334 คัน รถจักรยานยนต์ 10,502 คัน รถบรรทุก 1,556 คัน

ในปี พ.ศ. 2562 มีรถยนต์ 4,594 คัน รถจักรยานยนต์ 11,104 คัน รถบรรทุก 1,879 คัน

การเพิ่มขึ้นของรถดังกล่าว ถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาการจราจร ผู้วิจัยได้มีการการศึกษาข้อมูลทางกายภาพของถนนในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรีในสภาพปัจจุบัน โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม HCM Calculator เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความจุของถนน (Capacity) และระดับการให้บริการ (Level of Service) เพื่อใช้ในการออกแบบการจราจรให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น และเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับวางแผน วิเคราะห์ และพัฒนาระบบจราจรในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรีในอนาคตได้ด้วย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาหลักการของ Highway Capacity Manual (HCM) ใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจราจร

1.1.2 เพื่อสำรวจข้อมูลทางกายภาพของถนนในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี และนำไปวิเคราะห์ความจุของถนน (Capacity) และระดับการให้บริการของถนน (Level of Service)

1.1.3 เพื่อใช้เป็นข้อเสนอแนะสำหรับวางแผน วิเคราะห์และพัฒนาระบบจราจรในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ในอนาคต

1.2 ขอบเขตการวิจัย

1.2.1 กำหนดขอบเขตการศึกษาโดยพิจารณาเกณฑ์เส้นทางโครงข่ายของถนนทางโครงข่ายถนนทางหลวงชนบทในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี

1.2.2 ขอบเขตของการศึกษาใช้โดยการนับข้อมูลสภาพการจราจรและการใช้การสัมภาษณ์ประชาชนในพื้นที่เป็นเครื่องมือในการประเมินสภาพการจราจร

1.2.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม HCM Calculator เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความจุของถนน (Capacity) และระดับการให้บริการของถนน (Level of Service)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

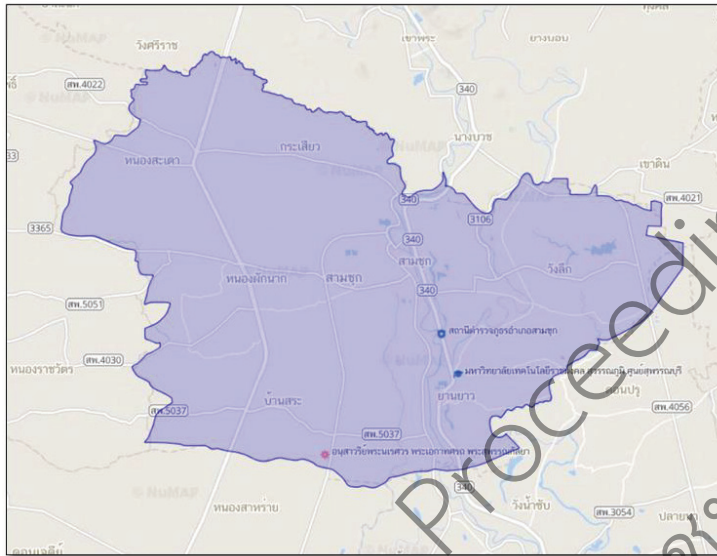
- 1.3.1 ทำให้ทราบถึงระดับการให้บริการที่ใช้ในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี และประเมินสภาพการจราจรที่เหมาะสมสอดคล้องกับถนนและผู้ขับขี่
- 1.3.2 สามารถหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรและอัตราความเร็วซึ่งเป็นดัชนีเชิงปริมาณและคุณภาพบนถนนในอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรีได้เป็นอย่างดี
- 1.3.3 เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในวิชาวิศวกรรมจราจรและวิศวกรรมขนส่ง
- 1.3.4 สามารถนำไปใช้วางแผนการจราจรในเขตบริเวณอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ให้ดียิ่งขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการวิจัย มีรายละเอียดดังรูปที่ 1 [1] [2]



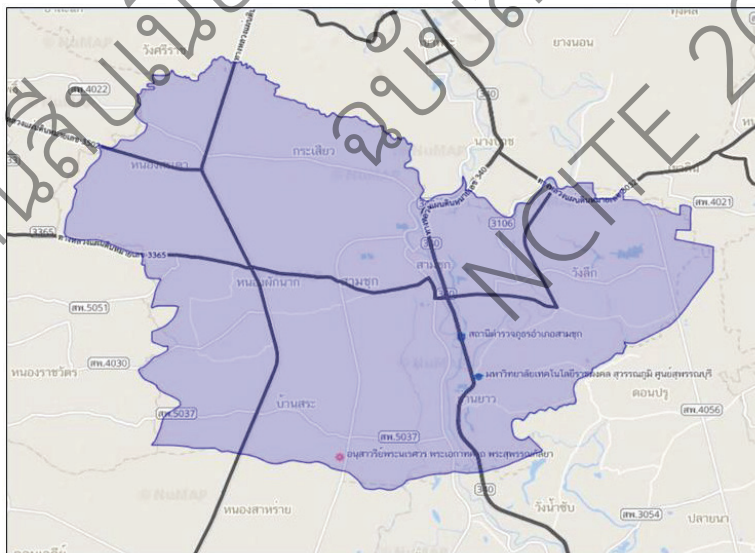
รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย



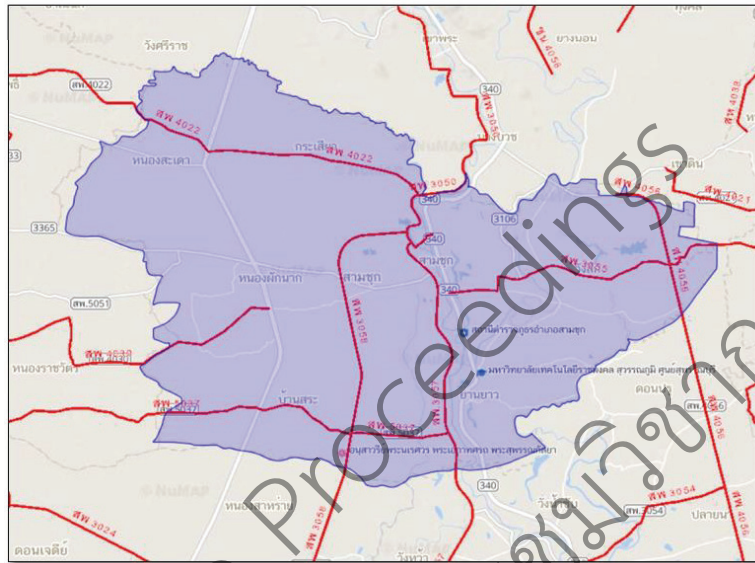
รูปที่ 2 แสดงเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี

ข้อมูลพื้นฐานเขตพื้นที่

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ ตำบลกระเสียว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี
ทิศใต้	ติดต่อกับ ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ ตำบลวังลึก อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ ตำบลหนองผักนากและตำบลบ้านสระ อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี



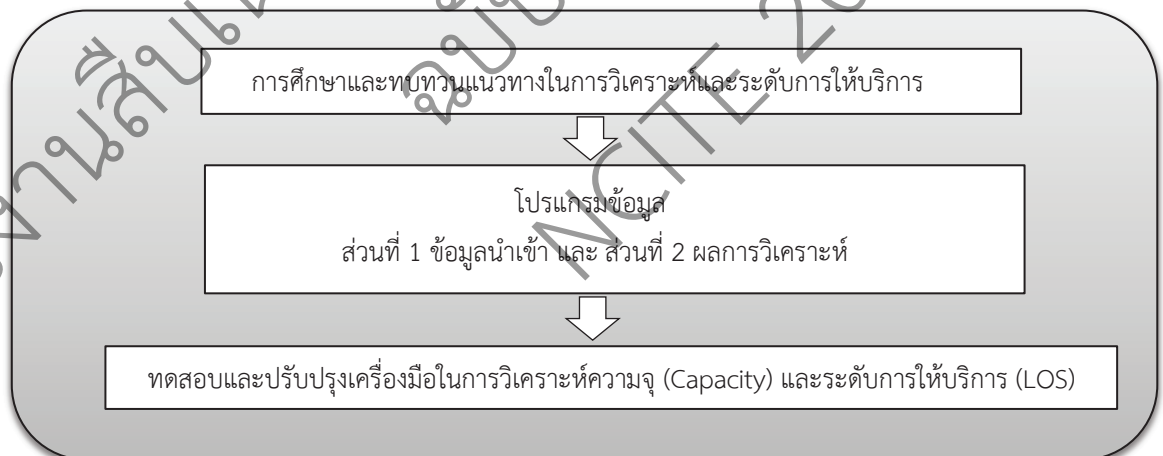
รูปที่ 3 แสดงโครงข่ายสายทางของทางหลวงชนบท



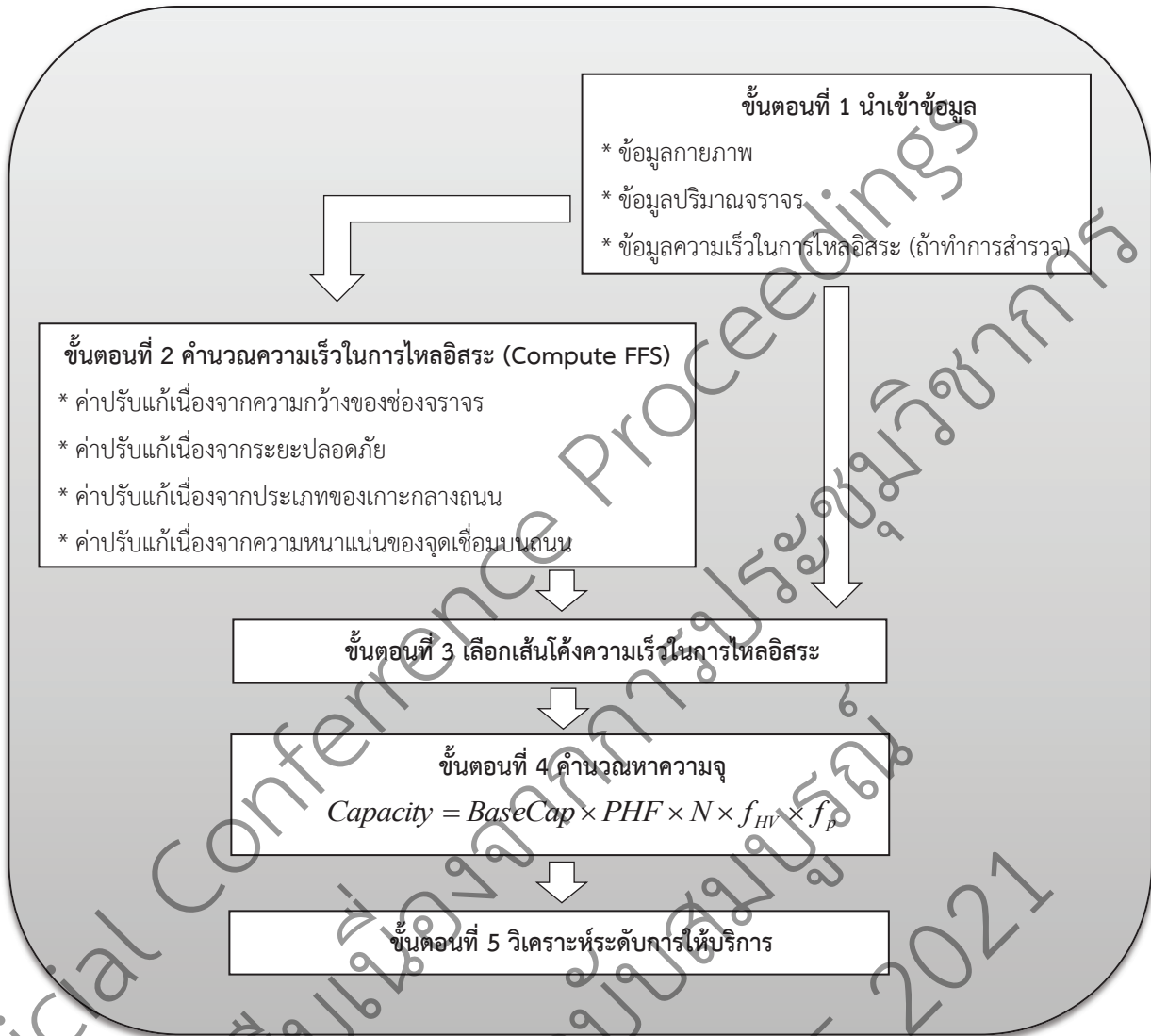
รูปที่ 4 แสดงโครงข่ายสายทางของทางหลวงแผ่นดิน

2.2 การใช้โปรแกรม HCM Calculator

การนำเครื่องมือหรือโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการสำหรับทางหลวงหลายช่องจราจร มีขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ การศึกษาและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดแนวทางในการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และสมมติฐานของการพัฒนาเครื่องมือ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม การดำเนินการศึกษาเพื่อการพัฒนาเครื่องมือในการวิเคราะห์ความจุ (Capacity) และระดับการให้บริการ (Level of Services, LOS) มีรายละเอียดเบื้องต้น ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 แสดงแนวทางการศึกษาวิเคราะห์ความจุ (Capacity) และระดับการให้บริการ (Level of service)



รูปที่ 6 แสดงแนวทางการนำโปรแกรม HMC Calculator มาวิเคราะห์ระดับการให้บริการ (Level of service)

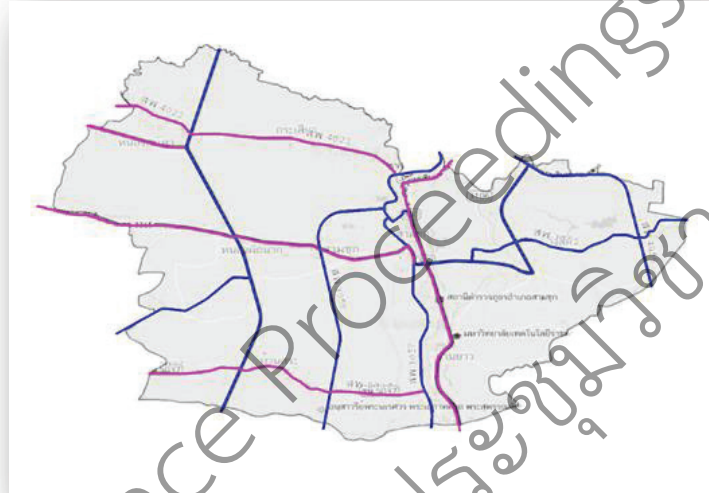
3. ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์ความจุและระดับการให้บริการของถนนอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 จำนวนช่องจราจร ในบางช่วงถนนไม่เท่ากัน อาทิเช่น จำนวนเลนของถนนในช่วงที่มีทางแยก หรือทางเบี่ยงเข้าถนนสายอื่น จากการสำรวจข้อมูลในเขตอำเภอสามชุก สายทางส่วนมากมี 2 ช่องจราจร (เส้นสีแดง) บางช่วงสายทางที่เลยเขตอำเภอสามชุกไปถึง 4 ช่องจราจร แสดงว่ามีการจัดให้รองรับการจราจรในปริมาณมาก และรองรับการเปลี่ยนช่องจราจรได้

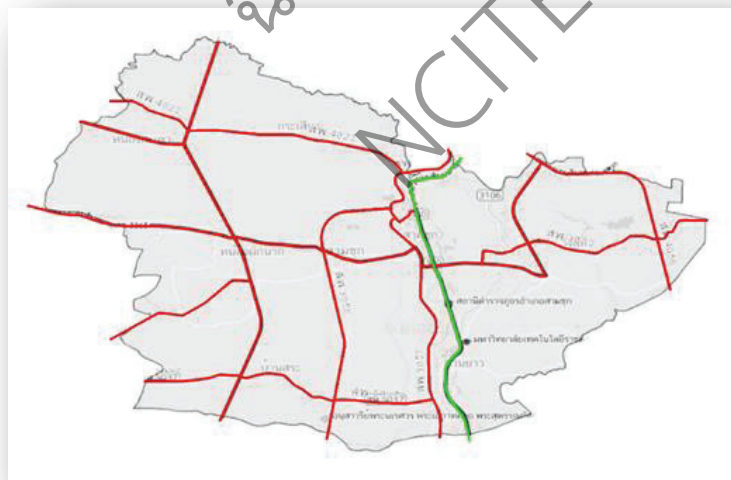
3.2 จุดทางเชื่อม (Access Point) มีผลทำให้การใช้ความเร็วในช่วงนั้นและเกิดการเปลี่ยนแปลง ยิ่งถ้าจุดทางเชื่อมมีมากเท่าไรก็อาจจะทำให้การไหลของทางจราจรลดลง เพราะจำนวนยานพาหนะก็มากขึ้น และอาจจะทำ

ให้เกิดอุบัติเหตุเพิ่มขึ้น จากการสำรวจข้อมูลในเขตอำเภอสามซุก พบว่า สายทางที่มีจุดทางเชื่อมคือเส้นสีชมพู ไม่มีจุดทางเชื่อมคือเส้นสีฟ้า



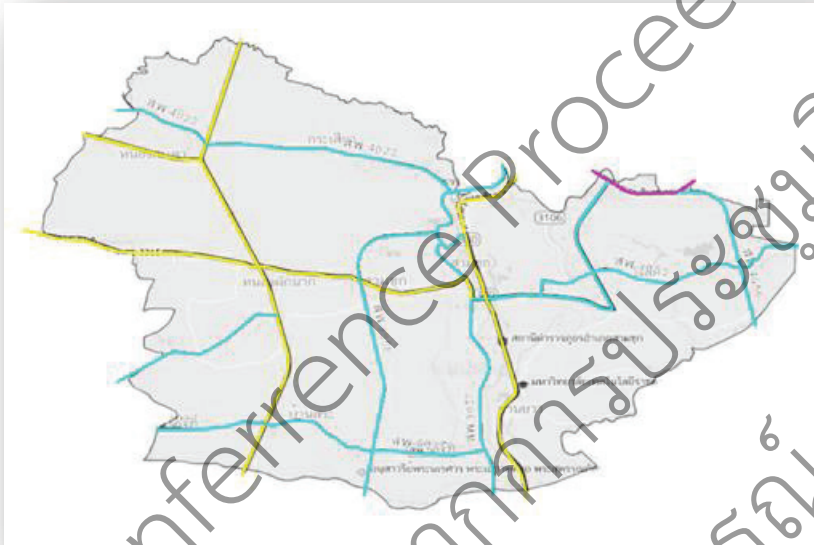
รูปที่ 7 แสดงจุดทางเชื่อม

3.3 เกาะกลางถนน เป็นสิ่งที่กำหนดการใช้ในการขับซึ่รถ หากถนนใดมีการแบ่งทิศทางยานพาหนะ จะทำให้พาหนะไม่สามารถเหลื่อมล้ำทิศทางในการขับซึ่ในทางตรงกันข้าม จากการสำรวจข้อมูลถนนในเขตอำเภอสามซุก มีทั้งแบบที่มีเกาะกลางถนน และไม่มีเกาะกลางถนน เกาะกลางถนนมีทั้งแบบที่เป็นเกาะยก และเกาะกลางแบบเกาะสี่ เพื่อช่วยในการแบ่งแยกทิศทางจราจร และช่วยให้กระแสจราจรเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จะแบ่งเป็นสายทางที่มีเกาะกลางถนนคือเส้นสีเขียว และสายทางที่ไม่มีเกาะกลางถนนคือเส้นสีแดง



รูปที่ 8 แสดงเกาะกลางถนน

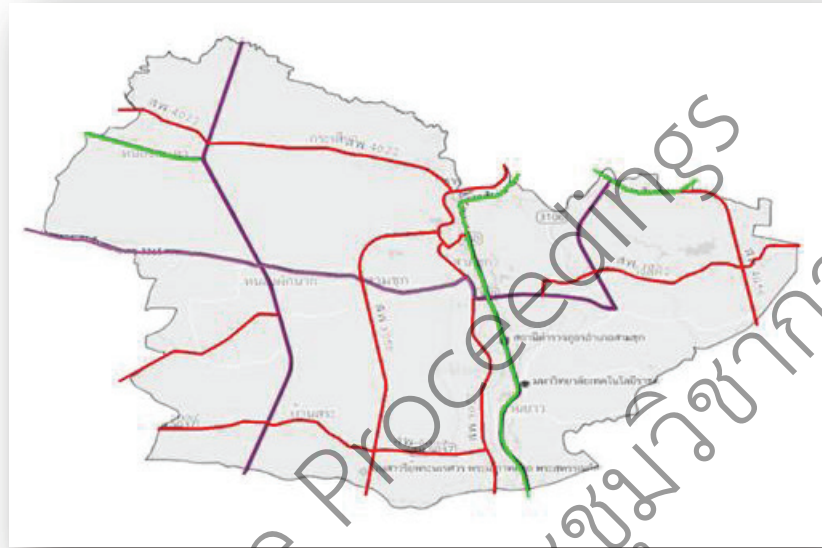
3.4 ความกว้างของถนน เป็นตัวกำหนดความเร็วของยานพาหนะ เพราะยิ่งความกว้างของถนนมีมาก พื้นที่ใช้สอยของถนนก็มากขึ้น สามารถรองรับปริมาณรถได้มาก คนขับมีอิสระในการเลือกใช้ความเร็วในการขับขี่ได้ตามต้องการ มีอิสระสูงจากการสำรวจข้อมูลสายทางในเขตอำเภอสามชุก โดยเฉลี่ยมีความกว้างอยู่ที่ 3.00 เมตรต่อทิศทาง และหากรวมความกว้างสองทิศทางจะมีความกว้างอยู่ที่ 6.00 ถึง 9.00 เมตร จากรูปจะแบ่งเป็น ความกว้าง 3.00 เมตร คือเส้นสีฟ้า ความกว้าง 3.25 เมตร คือเส้นสีชมพู และความกว้าง 3.50 เมตร คือเส้นสีเหลือง



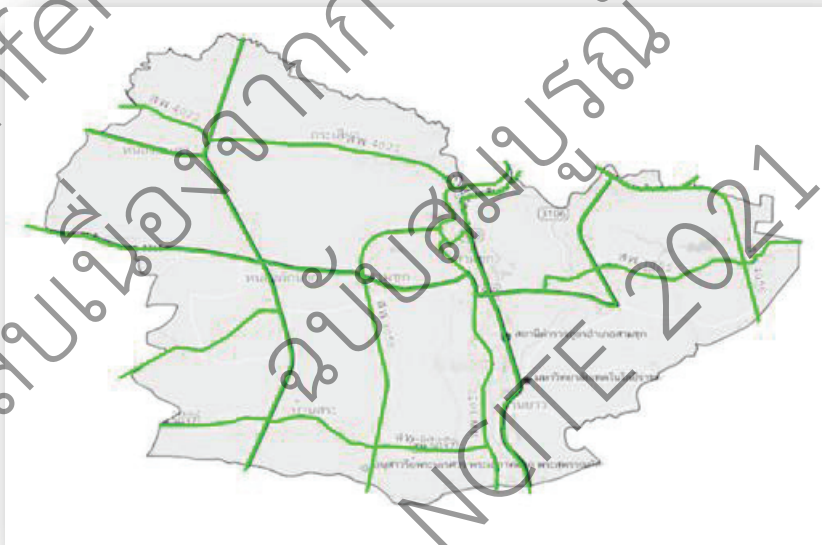
รูปที่ 9 แสดงความกว้างถนน

3.5 ความกว้างของไหล่ทาง ถ้ามีความกว้างที่เพียงพอได้ตามมาตรฐานนั้นคือ มีการออกแบบเพื่อให้การขับขี่ทำได้สะดวกมากขึ้น รวมถึงยังให้โอกาสรถจักรยาน รถจักรยานยนต์ และคนเดินเท้า สามารถใช้ทางได้ด้วย จากการสำรวจข้อมูลสายทางเขตอำเภอสามชุกความกว้างของไหล่ทางโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.00 ถึง 1.50 เมตร จากรูปจะแบ่งเป็น ไหล่ทางกว้าง 0.00 ถึง 1.00 เมตร คือเส้นสีแดง ไหล่ทางกว้าง 1.00 - 1.50 เมตร คือเส้นสีม่วง และไหล่ทางกว้าง 1.50 เมตรขึ้นไป คือเส้นสีเขียว

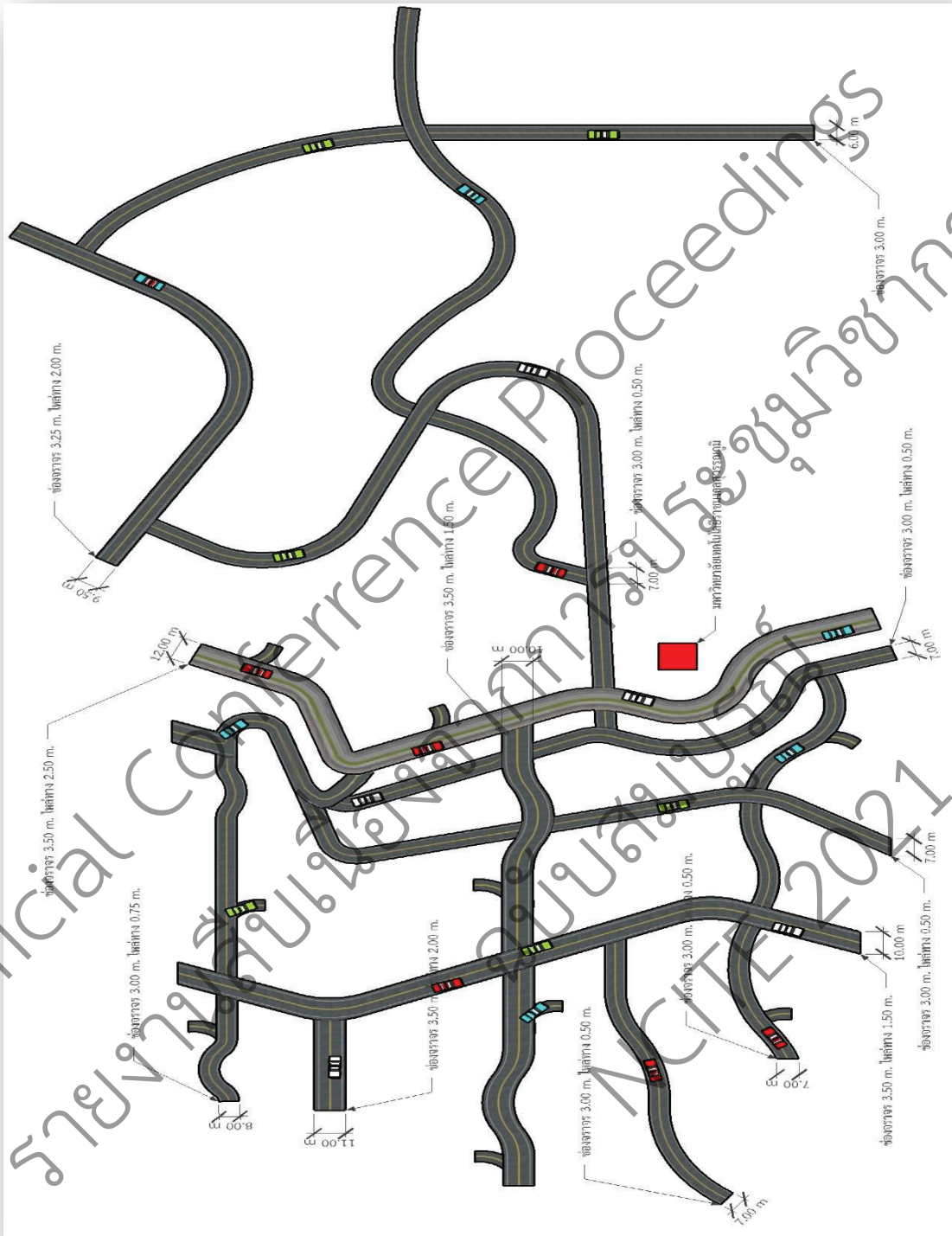
3.6 ความเร็วอิสระ ทำให้สามารถทราบได้ว่า รถสามารถวิ่งบนถนนนั้นๆ ด้วยความเร็วสูงสุดเท่าไร และทำให้สามารถนำไปประเมินระดับการให้บริการของถนนได้ ถนนที่มีช่องจราจรอยู่ที่ 2 ถึง 4 ช่องการจราจรนั้น โดยทั่วไปความเร็วอิสระอยู่ในช่วง 70.00 ถึง 90.00 กิโลเมตร/ชั่วโมง และจากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม สามารถนำไปคำนวณและวิเคราะห์พบว่า สายทางในเขตอำเภอสามชุก มีความเร็วอิสระอยู่ในช่วง 80.00 ถึง 90.00 กิโลเมตร



รูปที่ 10 แสดงความกว้างของไหล่ทาง



รูปที่ 11 แสดงความเร็วอิสระ



รูปที่ 12 แสดงภาพรวมทั้งหมดของลักษณะทางกายภาพของถนน

3.7 ข้อมูลตัวอย่างของถนนในสายทางของกรมทางหลวงชนบท

กรณีทางหลวงชนบทหมายเลข สพ. 4022 แยก ทล.3365 - บ้านทึง อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี
ตัดผ่านอำเภอสามชูก โดยประมาณ 13 กิโลเมตร

ตารางที่ 1 รายละเอียดสายทาง สพ. 4022 แยก ทล. 3365 - บ้านทึง อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี

ข้อมูลกายภาพถนน	
จำนวนช่องจราจร	2.00
ความกว้างผิวทาง	3.00
ระยะปลอดภัยทางซ้าย	0.75
ระยะปลอดภัยทางขวา	0.75
ประเภทเกาะกลาง	-
ความถี่จุดเชื่อมบนถนน	0.70
สภาพภูมิประเทศ	พื้นราบ
ข้อมูลความเร็วในการไหลอิสระ	
ขีดจำกัดความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	90.00
ความเร็วในการไหลอุดมคติ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	98.00
ความเร็วในการไหลอิสระ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	83.90
ข้อมูลปริมาณจราจร	
ปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง/ทิศทาง)	145.72
สัดส่วนรถบรรทุกและรถบัส	7.50 %
สัดส่วนรถเพื่อการท่องเที่ยว	3.08 %
ความคึกคักของผู้ขับขี่	0.85
Peak Hour Factor	0.95



รูปที่ 13 แสดงภาพแสดงผลการคำนวณ และ สท. 4022 แยก ทล. 3365 - บ้านทึง อำเภอนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี

4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

จากข้อมูลของสายทางในเขตอำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าถนนส่วนมากเป็นประเภทหลายช่องจราจร หรือ Multilane จำนวนช่องจราจรอยู่ที่ 2 ช่องจราจร และมีความเร็วอิสระอยู่ที่ประมาณ 80.00 ถึง 90.00 กิโลเมตร/ชั่วโมง ส่วนใหญ่ไม่มีเกาะกลางถนน ความกว้างของไหล่ทาง อยู่ที่ 1.00 ถึง 1.50 เมตร อีกทั้งจากข้อมูลและนำมาพิจารณาตามมาตรฐานของหน่วยงานของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท พบว่าถนนในเขตอำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น ความกว้างช่องจราจรกรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ 3.00 ถึง 3.50 เมตร หรือความกว้างไหล่ทาง กรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ 1.50 ถึง 2.50 เมตร ส่วนกรมทางหลวงชนบทไม่ได้กำหนดไว้

สามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่าสายทางของถนนกรมทางหลวงและสายทางของถนนกรมทางหลวงชนบทในเขตอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นไปตามมาตรฐานทุกสายทาง พบว่าผลการคำนวณเกือบทุกสายทางอยู่ในระดับการให้บริการ A ยกเว้นถนนสายทางหลวง 340 บางบัวทอง - ชัยนาท อยู่ที่ระดับการให้บริการ B เนื่องจากมีการจราจรที่คับคั่ง แต่ก็พบว่า ได้มีบางช่วงได้ทำการเพิ่มช่องจราจรเป็น 4 ช่องจราจร เพื่อให้การไหลของการจราจรเป็นไปได้ดีขึ้น และช่วงสายทางที่เพิ่มช่องจราจรนั้นก็ทำให้ระดับการให้บริการอยู่ที่ระดับ A และยังพบว่า มีบางสายทางมีแผนในการขยายความกว้างของช่องจราจรหรือเพิ่มช่องจราจรอีกด้วย เพื่อให้การจราจรไม่ติดขัด มีคุณภาพมากขึ้น และเพียงพอต่อความต้องการสำหรับการสัญจรของยานพาหนะที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ได้สนับสนุนในการเผยแพร่บทความงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลการจราจร. สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 23 สิงหาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.phetchaburi.go.th/traffic/traffic1.pdf>
- [2] สำนักอำนวยความปลอดภัย. กรมทางหลวง [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 23 สิงหาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก : <http://bhs.doh.go.th/files/duschanee/duschanee56.pdf>

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

คุณสมบัติเชิงกลอิฐบล็อกผสมเถ้าผักตบชวา

Mechanical properties of concrete block with water hyacinths ash mixing

ณัฐวุฒิ อินทบุตร^{1*} สุมนต์ สวนดอกไม้² และ เกริกพล ชุ่มมา³

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ^{1*,2,3}

Nuttawut Intaboot^{1*} Sumon Suandokmai² and Kroekphon Chumma³

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology^{1*,2,3}

Suvarnabhumi

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาการนำเถ้าผักตบชวามาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกโดยมีการปรับเปลี่ยนเพิ่มเถ้าผักตบชวา ททราย และลดปริมาณส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ปูนซีเมนต์ และหินฝุ่น เป็นต้น โดยการศึกษาเป็นการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบด้วย หน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ และความสามารถในการรับแรงอัด ผลการศึกษาพบว่าหน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกอยู่ระหว่าง 1,300 - 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดซึมน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 7.42 - 7.57 และความสามารถในการรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 26.8 - 69.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของเถ้าผักตบชวา และการปรับปรุงขนาดละเอียดให้อิฐบล็อกมีความแน่นขึ้นจะช่วยส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกดีขึ้นด้วย

คำสำคัญ : เถ้าผักตบชวา คุณสมบัติเชิงกล อิฐบล็อก หินฝุ่น

Abstract

This research aimed to study the use of water hyacinth ash mixing concrete block. The mixing was modifying the addition of water hyacinth ash, sand and reducing the cement and limestone dust. The unit weight, water absorption and compressive strength were tested. The results showed that the unit weight of concrete block from 1,300 to 1,400 kg/cu.m. The water absorption is between 7.42% - 7.57% and the compressive strength is between 26.8 - 69.8 kg/cm². It was found that an increase of water hyacinth and improving the material sizes to make the concrete block to compact will result in better of mechanical properties

Keywords : Water Hyacinths Ash, Mechanical Properties, Concrete Block, Limestone dust

1. บทนำ

ปัจจุบันวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างได้มีการพัฒนารูปแบบกันอย่างหลากหลายเพื่อรองรับกับความต้องการและเป็นที่ทางเลือกให้กับผู้บริโภคได้เลือกใช้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้มีนักวิจัยมากมายที่ทำการศึกษาค้นคว้าในการนำวัสดุที่เลือกใช้มาทำให้เกิดประโยชน์ เกิดวัสดุทางวิศวกรรมใหม่ๆ [1] – [3] โดยพบว่าการใช้วัสดุพอลิโพรพิลีน เช่น ถังแกวกลบ ถัง ถ่านหิน ตะกรันเตาถลุงเหล็ก ถังชานอ้อย ดินขาว และซิลิกาฟุ้ง เป็นต้น สามารถช่วยเพิ่มกำลังและปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุจำพวกที่มีซีเมนต์เป็นส่วนผสม อย่างเช่นคอนกรีตให้ดีขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่าไม่มีงานวิจัยหรืองานวิจัยยังไม่แพร่หลาย ที่ใช้ถังแกวกลบมาเป็นส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุดังกล่าว เพียงแต่มีการศึกษาวิจัยนำถังแกวกลบมาใช้ทดแทนดินลูกรังในการผลิตบล็อกประสาน [4] และนำถังแกวกลบมาช่วยในการต้านทานความร้อนของอิฐบล็อก [5] ซึ่งถังแกวกลบที่หาง่ายและเป็นวัชพืชที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะสำหรับการนำมาศึกษาวิจัยใช้ให้เกิดประโยชน์

ถังแกวกลบเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป แพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม เมื่อถังแกวกลบเจริญเติบโตปกคลุมผิวน้ำอย่างหนาแน่นจะส่งผลให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน แสงแดดส่องไม่ถึง ทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย ภาครัฐต้องเสียงบประมาณในการกำจัดถังแกวกลบดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามถังแกวกลบสามารถนำมาทำประโยชน์ได้บ้างเช่น ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก ผลิตเครื่องจักรสาร เป็นต้น แต่เนื่องจากปริมาณของถังแกวกลบที่นำขึ้นมาจากแหล่งน้ำ ครั่งละมากๆ การเก็บถังแกวกลบจึงเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม มีการย่อยสลายค่อนข้างช้า ใช้ระยะเวลานาน อันมีสาเหตุมาจากบริเวณตำแหน่งส่วนกลางกองจะมีความชื้นสูง ส่งผลให้เกิดปัญหาในด้านการจัดการและการกำจัด รวมทั้งปัญหาในเรื่องมลพิษทางสิ่งแวดล้อมแก่ประชาชนโดยรอบบริเวณที่มีการกองถังแกวกลบ อีกทั้งการกำจัดโดยวิธีฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำถังแกวกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำถังแกวกลบทั้งหมดมาทำการเผาแล้วนำถังแกวกลบมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐบล็อก เพื่อลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ อีกทั้งยังเป็นการนำของเหลือทิ้งหรือวัสดุที่ทำลายสิ่งแวดล้อมกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

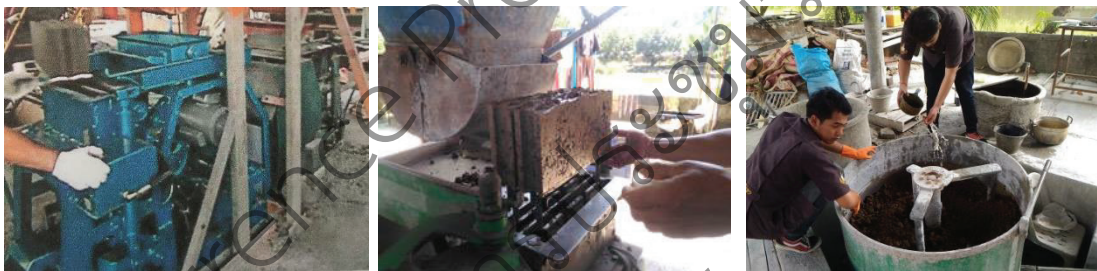
2. วัสดุและวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุและส่วนผสม

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ ประกอบไปด้วย ทราย ถังแกวกลบ หินฝุ่น และซีเมนต์ มีความแปรปรวนตามสภาพธรรมชาติ มีความชื้น อินทรีย์วัตถุเจือปน ดังนั้นการจัดเตรียมวัตถุดิบตลอดจนแหล่งของวัตถุดิบจะต้องเลือกแหล่งที่มีทั้งปริมาณที่เพียงพอและมีคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทราย และ หินฝุ่น ในส่วนของถังแกวกลบได้มาจากกรณนำถังแกวกลบมาตากแห้งแล้วทำการเผาด้วยการเผาแบบปกติ จากนั้นนำถังแกวกลบที่ได้มาทำการบดให้ละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 1 กระบวนการผลิตและก้อนตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีสัดส่วนผสมของวัตถุดิบต่าง ๆ แบ่งตามเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ทั้งนี้ในการออกแบบส่วนผสมจะใช้สูตรผสมของมาตรฐานทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดในท้องถิ่นอยู่ที่ปูนซีเมนต์:หินฝุ่น ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนัก เป็นส่วนผสมควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา (ก) ถ่านผง (ข) หินฝุ่น และ (ค) ทราย



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตและก้อนตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของอิฐบล็อกในการทดสอบ

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (g)	หินฝุ่น (g)	ทราย (g)	ถ่านผง (g)	น้ำ (g)
control	1500	4500	-	-	500
Con.block1	1500	4400	-	120	500
Con.block2	1400	4300	-	180	500
Con.block3	1300	4200	-	240	500
Con.block4	1500	4000	500	120	500
Con.block5	1400	4000	500	240	500

2.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบจะใช้การทดสอบทั้งหมด 3 การทดสอบประกอบด้วย หน่วยน้ำหนัก การทดสอบการดูดซึมน้ำ และการทดสอบกำลังรับแรงอัด

2.2.1 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก เป็นการทดสอบวัสดุก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วัน โดยการนำอิฐบล็อกตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก ทำการบันทึกผลแล้วคำนวณตามสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

โดยที่ ρ หมายถึงหน่วยน้ำหนัก (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m หมายถึงน้ำหนักของคอนกรีต (กิโลกรัม)

v หมายถึงปริมาตรของคอนกรีต (ลูกบาศก์เมตร)

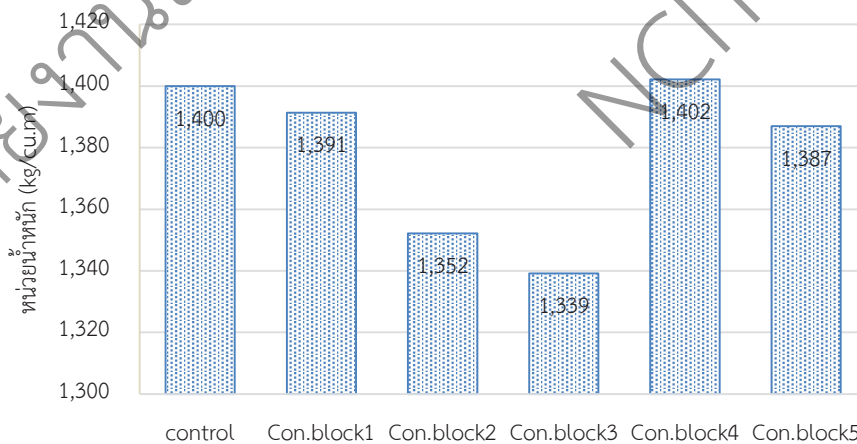
2.2.2 การทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำนี้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน มอก.109-2517 โดยจะทำการทดสอบในแต่ละส่วนผสมซึ่งจะใช้ตัวอย่างส่วนผสมละ 3 ก้อน จากนั้นบันทึกน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง บันทึกผลทั้ง 3 ก้อนพร้อมหาค่าเฉลี่ย

2.2.3 การทดสอบคุณสมบัติการรับแรงอัดของก้อนอิฐบล็อก เป็นการทดสอบวัสดุก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วัน จากเครื่องทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต คำนวณหากำลังรับแรงอัดจากแรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของก้อนทดสอบในแต่ละส่วนผสม โดยจะใช้ตัวอย่างส่วนผสมละ 3 ก้อน บันทึกผลทั้ง 3 ก้อนพร้อมหาค่าเฉลี่ย

3. ผลการศึกษา

3.1 หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อก

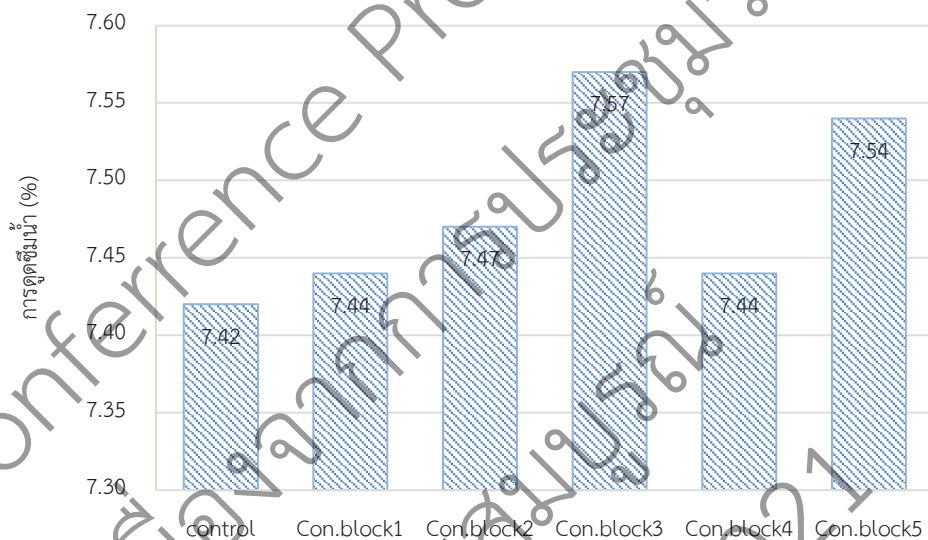
จากการทดสอบหน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกพบว่าเมื่อลดปริมาณหินปูนลงและเติมเถ้าฝักตบขวาเข้าไปจะทำให้หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกลดลงดังในสูตร Con.block 1 และเมื่อลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงพร้อมทั้งเพิ่มปริมาณเถ้าฝักตบขวาเข้าไป หน่วยน้ำหนักก็ยิ่งลดลงไปอีกดังในสูตร Con.block 2 และ Con.block 3 เพราะว่าปูนซีเมนต์มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าเถ้าฝักตบขวามาก ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักลดลงเมื่อลดปูนซีเมนต์ลง ในกรณีลดหินปูนแต่น้ำทรายเข้ามาแทนที่ของสูตร Con.block 4 พบว่าหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกับสูตรเริ่มต้น (Control) เพราะปริมาณทรายที่เพิ่มเข้าไปเท่ากับปริมาณหินปูนที่ลดลง อีกทั้งความถ่วงจำเพาะของวัสดุทั้ง 2 มีขนาดใกล้เคียงกัน และเมื่อลดปูนซีเมนต์ ลดทราย แต่เพิ่มเถ้าฝักตบขวา ดังในสูตร Con.block 5 พบว่าหน่วยน้ำหนักก็จะลดลงจากเดิมเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกในส่วนผสมต่าง ๆ

3.2 การดูดซึมน้ำ

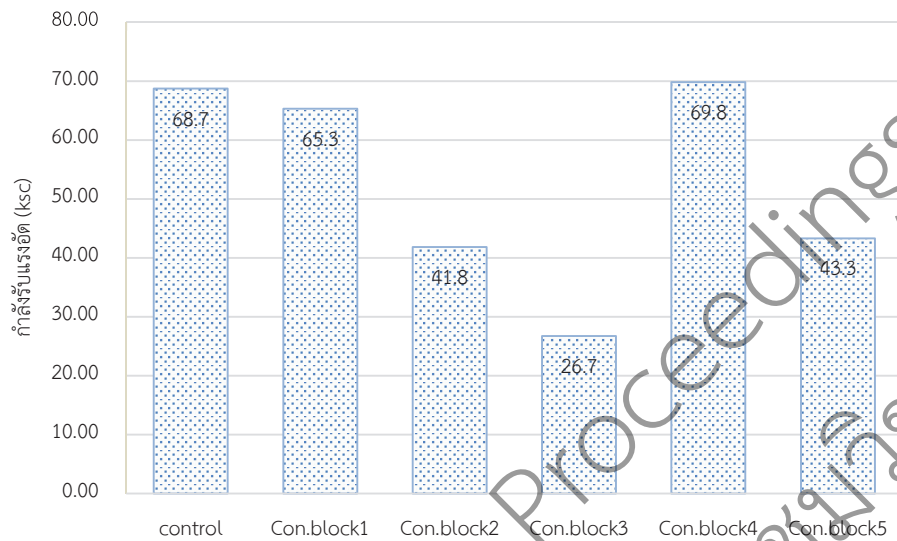
จากการศึกษาการดูดซึมน้ำในอิฐบล็อกของแต่ละส่วนผสมมาเปรียบเทียบ พบว่าในแต่ละส่วนผสมมีค่าการดูดซึมน้ำไม่เท่ากัน เนื่องจากความหนาแน่นและเส้นผ่าศูนย์กลางในก้อนตัวอย่างไม่เท่ากัน โดยผลการดูดซึมน้ำจะอยู่กับปัจจัยของการเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นหลัก โดยในสูตร Con.block 3 และ Con.block 5 มีปริมาณเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุดส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูง จากนั้นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำก็จะค่อยๆลดลงตามปริมาณการลดลงของเส้นผ่าศูนย์กลาง ทั้งนี้ผลจากเพิ่มลดส่วนผสมวัสดุอื่นๆไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำมากนักดังแสดงผลในสูตร Con.block 1 และ Con.block 4 ดังนั้นอิทธิพลของการเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางจะส่งผลต่อการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกในส่วนผสมต่าง ๆ

3.3 ความสามารถในการรับแรงอัด

ความสามารถในการรับแรงอัดของอิฐบล็อกพบว่าอิฐบล็อกสูตรเริ่มต้น (Control) มีความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุดเนื่องจากเป็นอิฐบล็อกสูตรมาตรฐานที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม แต่เมื่อมีการลดปริมาณหินปูนลงและเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางเข้าไปในสูตร Con.block 1 พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดลดลงเล็กน้อยไม่ต่างจากเดิมมากนัก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นผ่าศูนย์กลางสูงขึ้นและลดปูนซีเมนต์ลง ความสามารถในการรับแรงอัดลดลงเป็นอย่างมากดังแสดงในสูตร Con.block 2 และ Con.block 3 ทั้งนี้เมื่อปรับปริมาณปูนซีเมนต์เท่าเดิมและลดปริมาณหินปูนโดยใช้ทรายเข้ามาแทนที่ในสูตร Con.block 4 พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดสูงขึ้นเป็นอย่างมากเพราะว่าการมีทรายเข้ามาแทนที่ที่ให้อิฐบล็อกมีขนาดละเอียดที่สุด ความหนาแน่นสูง อีกทั้งมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำ เพื่อช่วยให้น้ำสามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับซีเมนต์ได้สมบูรณ์ขึ้น [6] และเมื่อพิจารณาสูตร Con.block 5 พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดลดลงเนื่องจากการลดปูนซีเมนต์ลง ซึ่งส่วนสำคัญของการพัฒนาความสามารถในการรับแรงอัดของอิฐบล็อกดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสามารถในการรับแรงอัดของอิฐบล็อกในส่วนผสมต่าง ๆ

4. สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกที่ผสมเถ้าฝักตบชาพบว่าในการเพิ่มเถ้าฝักตบชาสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐบล็อกได้ โดยการเพิ่มเถ้าฝักตบชาเข้าไปจะทำให้อิฐบล็อกมีน้ำหนักเบาลง ทั้งนี้หน่วยน้ำหนักยังขึ้นอยู่กับปรับเปลี่ยนส่วนผสมอื่นๆด้วย โดยหน่วยน้ำหนักที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้อยู่ระหว่าง 1,300-1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเมื่อเพิ่มเถ้าฝักตบชามากขึ้นจะส่งผลต่อการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อก ซึ่งจะส่งผลให้การดูดซึมน้ำมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเถ้าฝักตบชา

ในส่วนของคุณสมบัติในการรับแรงอัดซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่บอถึงความแข็งแรงของวัสดุ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของเถ้าฝักตบชาจะมีส่วนทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดดีขึ้น และเมื่อมีการปรับปรุงขนาดและ ความหนาแน่นของอิฐบล็อกให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มทรายเข้าไปแทนที่หินฝุ่นส่งผลให้มีความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุด ทั้งนี้ในการปรับลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงเป็นการส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรับแรงอัดของอิฐบล็อกนั่นเอง ดังนั้นการใช้เถ้าฝักตบชาในปริมาณที่เหมาะสม และปรับปรุงคุณสมบัติด้านความหนาแน่นส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของอิฐบล็อกให้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่สนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมโยธา และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนในการนำเสนองานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐพล สมณา และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2554; 34(4): 369-318.
- [2] สุชีพ ศรีชู และ จตุพล ตั้งประกาศิต. ผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี. 2560; 15(2): 55-67.
- [3] สำเริง รักซ้อน และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. การใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตเกษตรกรรมในงานคอนกรีต. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 2551; 2(1): 49-55.
- [4] นภพร ชูอ่อนสกุล, สุรภา อรุณเดชาวัฒน์, ศิริพัฒน์ รัตนฉวี, พงศพิงศ์ ชัยสิทธิ์, อนุรักษ ไกรแก้ว, และ กาญจลดา วรรณภา. การใช้เถ้าฝักตบขวาทดแทนดินลูกรังบางส่วน ในการผลิตบล็อกประสาน. รายงานผลการศึกษากลุ่มงานวิชาการโยธาธิการ สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดปัตตานี. 2559.
- [5] วรณิ เอกศิลป์ และ ชัยรัตน์ บุญถนอมวงศ์. สมรรถนะทางความร้อนของอิฐบล็อกผสมฝักตบขวาและซีลี้อย. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ. มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ. 2547. หน้า.179-186.
- [6] ณัฐวุฒิ อินทบุตร. การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าฝักตบขวา. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. จังหวัดเชียงใหม่. 2562

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

อิทธิพลของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและขนาดของมวลรวมต่อการขยายตัวจากปฏิกิริยา
แอลคาไลซิลิกา

Influence of Mix Design and Aggregate Size on Expansion from Alkali-Silica
Reaction

รัฐนัย หนุกูล^{1*} ปิยะ โชติกไกร² และ สุวิมล สัจจวานิชย์³
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์^{1*,2,3}

Ratthanai Nugul^{1*} Piya Chotickai² and Suvimol Sujjavanich³
Faculty of Engineering, Kasetsart University^{1*,2,3}

E-mail : nobiku67@gmail.com^{1*}, fengpyc@ku.ac.th², fengsusa@ku.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนออิทธิพลของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและขนาดของมวลรวมต่อการขยายตัวจากปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกา การทดสอบใช้ตัวอย่างคอนกรีตปริซึมที่มีส่วนผสมแตกต่างกันจำนวน 5 ส่วนผสมมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.437 และ 0.618 และใช้หินไรโอไลต์ที่เกิดปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกาเป็นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด และวิธีการเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกาในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐาน Rilem ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัตราการขยายตัวจากปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกามีค่าเพิ่มขึ้นในคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อย อัตราการขยายตัวของมวลรวมหยาบจากปฏิกิริยา ASR ในคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าอัตราการขยายตัวของมวลรวมละเอียดของแท่งมอร์ตาร์มากในสภาพแวดล้อมเดียวกัน

คำสำคัญ : ปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกา คอนกรีต อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ขนาดของมวลรวม

Abstract

The paper presents an experimental investigation on the effect of mix design and aggregate size on the expansion from alkali-silica reaction (ASR). Five mixtures of concrete prism specimens were prepared with water-to-cement ratios of 0.437 and 0.618 and different sizes of reactive Rhyolite aggregates. The specimens were subjected to acceleration tests according to ASTM and Rilem standards. The experimental results indicated that the expansion rate from ASR increased with a decrease in water-to-cement ratio. With the acceleration method, the expansion rate of reactive coarse aggregate in concrete was significant lower than that of reactive fine aggregate in mortar.

Keywords : Alkali-silica reaction, Concrete, Water-to-cement ratio, Aggregate size

1. บทนำ

ปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกา (Alkali-silica reaction, ASR) คือ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ธาตุแอลคาไลในปูนซีเมนต์และสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกา (SiO_2) ที่อยู่ในมวลรวมทำให้เกิดผลผลิตทางปฏิกิริยาเคมีเรียกว่า แอลคาไลซิลิกาเจล (ASR gel) ซึ่งมีคุณสมบัติขยายตัวเมื่อได้รับความชื้น การขยายตัวนี้ก่อให้เกิดแรงดันระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีต ซึ่งทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวและสูญเสียคุณสมบัติทางกล เช่น การลดลงของโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังรับแรงอัด [1] การทดสอบมวลรวมที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตจึงมีความจำเป็น วิธีการประเมินศักยภาพของการเกิด ASR ของมวลรวมที่ได้รับความนิยมนมี 2 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐาน ASTM C1260 [2] และมาตรฐาน Rilem AAR4.1 [3] โดยมาตรฐาน ASTM C1260 ใช้การทดสอบของแท่งมอร์ตาร์ที่ได้รับการเร่งปฏิกิริยาด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มาตรฐาน Rilem AAR4.1 ใช้การทดสอบอัตราการขยายตัวของคอนกรีตปริซึมที่ได้รับการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสัมพัทธ์สูง เนื่องจากมาตรฐาน ASTM C1260 มีความรุนแรงของสภาพแวดล้อมในการทดสอบที่มากกว่ามาตรฐาน Rilem AAR4.1 จึงมีความเป็นไปได้ที่เมื่อประเมินตามมาตรฐาน ASTM C 1260 ให้ผลบ่งชี้ว่ามวลรวมมีความเสี่ยงต่อ ASR แต่การประเมินตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 อาจบ่งชี้ว่ามวลรวมไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิด ASR ซึ่งมวลรวมที่ทดสอบอาจเป็นมวลรวมที่มีความเสี่ยงต่อ ASR จริง นอกจากนี้ ความรุนแรงของ ASR ในโครงสร้างคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ชนิดมวลรวม ขนาดมวลรวม อัตราส่วนซีเมนต์ต่อมวลรวม และความชื้นและความรุนแรงของสภาพแวดล้อม การศึกษาในอดีตแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่น้อยกว่าให้การขยายตัวจาก ASR ของแท่งมอร์ตาร์ที่ได้รับการเร่งปฏิกิริยาตามมาตรฐาน ASTM C1260 ที่มากกว่า [4] Multon et al. [5] ศึกษาผลของขนาดของมวลรวมที่มีต่อการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์จาก ASR โดยใช้มวลรวมที่มีความเสี่ยงต่อ ASR ขนาดระหว่าง 0 ถึง 2500 ไมโครเมตร ในปริมาณ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด ผสมกับมวลรวมอีก ร้อยละ 70 ที่ไม่มีความเสี่ยงต่อ ASR ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า มวลรวมที่มีความเสี่ยงต่อ ASR ขนาด 630 ถึง 1250 ไมโครเมตร ให้การขยายตัวสูงกว่ามวลรวมขนาดอื่น เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และขนาดมวลรวมแตกต่างกัน และมวลรวมที่มีความเสี่ยงต่อ ASR อาจมีขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดตามข้อกำหนดการทดสอบของมาตรฐาน ซึ่งทำให้การขยายตัวจาก ASR ของคอนกรีตที่ได้รับการออกแบบส่วนผสมแตกต่างกันอาจมีความแตกต่างกันมาก

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์อัตราการขยายตัวของคอนกรีตที่ได้รับการออกแบบส่วนผสมแตกต่างกัน โดยใช้มวลรวมเป็นหินไรโอไลต์จากภาคกลางที่มีความเสี่ยงต่อ ASR เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ขนาดมวลรวม และความรุนแรงของสภาพแวดล้อมการทดสอบที่มีต่อการขยายตัวของหินไรโอไลต์ในคอนกรีต

2. วิธีการวิจัย

ตัวอย่างทดสอบได้รับการออกแบบอัตราส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI 211.1-91 [6] ให้มีกำลังอัดระบุ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.437 และ 0.618 ตามลำดับ กำลังอัดระบุ 2 ระดับนี้ใช้เป็นตัวแทนของคอนกรีตที่มีกำลังอัดค่อนข้างสูงและกำลังปกติในงานก่อสร้าง โดยส่วนผสมคอนกรีตกำลังอัดระบุ 350 กก./ตร.ซม. มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ที่กำหนดในมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ตัวอย่างทดสอบได้รับการเร่งปฏิกิริยาในสภาพแวดล้อมที่มี

ความรุนแรงต่างกัน คือ การอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 และการแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM C1260

2.1 วัสดุที่ใช้ในคอนกรีตปริซึม

ตัวอย่างคอนกรีตปริซึมที่ใช้ทดสอบมีขนาด 75x75x285 มิลลิเมตร ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมออกไซด์อิควิวเลนต์ (Na_2O_{eq}) โดยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy ปูนซีเมนต์มีปริมาณ Na_2O_{eq} เท่ากับ ร้อยละ 0.71

มวลรวมหยาบเป็นหินไรโอไลต์จากภาคกลางของไทย ซึ่งเป็นหินอัคนี ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และโปไทต์ มีความถ่วงจำเพาะ 2.619 และอัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 1.708 หินไรโอไลต์ได้รับการทดสอบการเกิด ASR ตามมาตรฐาน ASTM C1260 และการทดสอบด้วยวิธี Petrographic เพื่อวิเคราะห์ ASR Gel ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope [7] โดยแท่งมอร์ตาร์มีการขยายตัว ร้อยละ 0.216 เมื่อเร่งตัวอย่างในสารละลาย NaOH 14 วัน การทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่า ในบริเวณที่เกิด ASR Gel มีอัตราส่วนโมลาร์ (Molar Ratio) ของ $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ เท่ากับ 0.169-0.213 โดยเป็นค่าที่อยู่ในช่วง 0.05-0.60 ซึ่งเป็นการยืนยันว่าเป็นองค์ประกอบของ ASR Gel [8] ส่วนมวลรวมละเอียดที่ใช้มี 2 ประเภท คือ หินไรโอไลต์บดเป็นมวลรวมละเอียด และทรายมีความถ่วงจำเพาะ 2.605 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.543 ตารางที่ 1 แสดงขนาดของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 การแบ่งขนาดคละของมวลรวมคอนกรีต

ประเภท มวลรวม	ขนาดตะแกรง	น้ำหนักผ่านตะแกรงตาม Rilem AAR4.1 (%)		น้ำหนักผ่านตะแกรงที่ใช้ในการวิจัย (%)
		น้อยสุด	มากที่สุด	
มวลรวม หยาบ	19 mm (3/4")	-	100	100
	12.5 mm (1/2")	75	95	80
	9.5 mm (3/8")	45	70	60
	4.75 mm (No. 4)	35	55	40
มวลรวม ละเอียด	2.36 mm (No. 8)	25	45	35
	1.18 mm (No. 16)	20	35	28
	600 μm (No. 30)	10	25	16
	300 μm (No. 50)	4	12	8
	150 μm (No. 100)	1	8	1

2.2 ปฏิภาคส่วนผสมและการเร่งปฏิกิริยา

ตัวอย่างคอนกรีตปรีซิมมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 2 อัตราส่วน คือ 0.437 และ 0.618 โดยมีสัดส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุในการผสมคอนกรีต	อัตราส่วนน้ำและซีเมนต์ 0.473	อัตราส่วนน้ำและซีเมนต์ 0.618
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	454.55 (กก./ลบ.ม.)	347.9 (กก./ลบ.ม.)
มวลรวมหยาบ*	60% โดยน้ำหนักทั้งหมดของมวลรวม (1001.40 กก./ลบ.ม.)	60% โดยน้ำหนักทั้งหมดของมวลรวม (1056.47 กก./ลบ.ม.)
มวลรวมละเอียด*	40% โดยน้ำหนักทั้งหมดของมวลรวม (667.60 กก./ลบ.ม.)	40% โดยน้ำหนักทั้งหมดของมวลรวม (704.31 กก./ลบ.ม.)
น้ำ	215 (กก./ลบ.ม.) ไม่คิดความชื้นมวลรวม	215 (กก./ลบ.ม.) ไม่คิดความชื้นมวลรวม
NaOH	3.23 (กก./ลบ.ม.) สำหรับตัวอย่างเร่งปฏิกิริยา	2.48 (กก./ลบ.ม.) สำหรับตัวอย่างเร่งปฏิกิริยา

หมายเหตุ *น้ำหนักของมวลรวมกรณีไม่มีความชื้น

ตัวอย่างคอนกรีตปรีซิมที่ใช้ทดสอบอัตราการขยายตัวจาก ASR แบ่งออกเป็น 5 ส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 3 แต่ละส่วนผสมได้มีการเตรียมคอนกรีตปรีซิมจำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดสอบ M1 และ M2 แทนตัวอย่างคอนกรีตที่มีกำลังอัดระบุ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ มวลรวมหยาบใช้หินไรโอไลต์ และมวลรวมละเอียดใช้ทราย ตัวอย่างทดสอบ M3 แทนตัวอย่างคอนกรีตที่มีกำลังอัดระบุ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีมวลรวมที่มีความรุนแรงต่อการเกิด ASR มากกว่าตัวอย่างทดสอบ M1 และ M2 ด้วยการเพิ่มมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจากหินไรโอไลต์ ในระหว่างการผสมตัวอย่างทดสอบ M1 M2 และ M3 ได้มีการเติม NaOH เพื่อให้ได้ค่า $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ เท่ากับ ร้อยละ 1.25 ของปริมาณปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักตามข้อกำหนดของมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ตัวอย่างทดสอบ M4 และ M5 แทนตัวอย่างคอนกรีตที่มีกำลังอัดระบุ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แต่ไม่ได้มีการเติม NaOH ระหว่างผสมคอนกรีต

หลังจากการถอดตัวอย่างทดสอบจากแบบหล่อเมื่อมีอายุหลังการผสม 1 วัน ได้วัดขนาดตัวอย่างเริ่มต้นด้วยอุปกรณ์วัดความยาวที่มีความละเอียดเป็นไมโครเมตร (Length comparator) จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปเร่งปฏิกิริยา ASR โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ดังนี้

2.2.1 ในช่วงที่ 1 ตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสมได้รับการเร่งปฏิกิริยาตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 โดยการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 105 วัน วัดขนาดความยาวตัวอย่างเมื่ออายุการเร่งปฏิกิริยาครบ 30, 37, 45, 70 และ 105 วัน เมื่อถึงเวลาที่ระบุ ก่อนการวัดขนาดตัวอย่างในแต่ละครั้ง นำตัวอย่างเก็บไว้ที่

อุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส หรือไม่เกิน 27±2 องศาเซลเซียส โดยไม่เปิดฝาลังเป็นเวลา 24±2 ชั่วโมง จากนั้นจึงวัดขนาดความยาวตัวอย่าง เมื่อวัดเสร็จ นำตัวอย่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

2.2.2 ช่วงที่ 2 ตัวอย่างทดสอบ M1 และ M2 ได้รับการเร่งปฏิกิริยาด้วยการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ต่อ และวัดอัตราการขยายตัวเมื่ออายุการเร่งปฏิกิริยาในช่วงที่ 2 ครบ 41 และ 70 วัน (รวมการเร่งปฏิกิริยาในช่วงที่ 1 มีอายุครบ 146 และ 175 วัน) สำหรับตัวอย่างทดสอบ M3 M4 และ M5 ได้นำไปเร่งปฏิกิริยาในสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM C1260 และวัดอัตราการขยายตัว เมื่อการเร่งปฏิกิริยาในช่วงที่ 2 ครบ 7, 15, 50, 80 และ 110 วัน ก่อนการวัดขนาดตัวอย่างในแต่ละครั้ง ได้มีการนำตัวอย่างมาเก็บที่อุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส หรือไม่เกิน 27±2 องศาเซลเซียส โดยไม่เปิดถุงพลาสติกเป็นเวลา 24±2 ชั่วโมง เช่นเดียวกับช่วงที่ 1 จากนั้นจึงวัดขนาดตัวอย่าง และนำตัวอย่างไปเร่งปฏิกิริยาต่อ

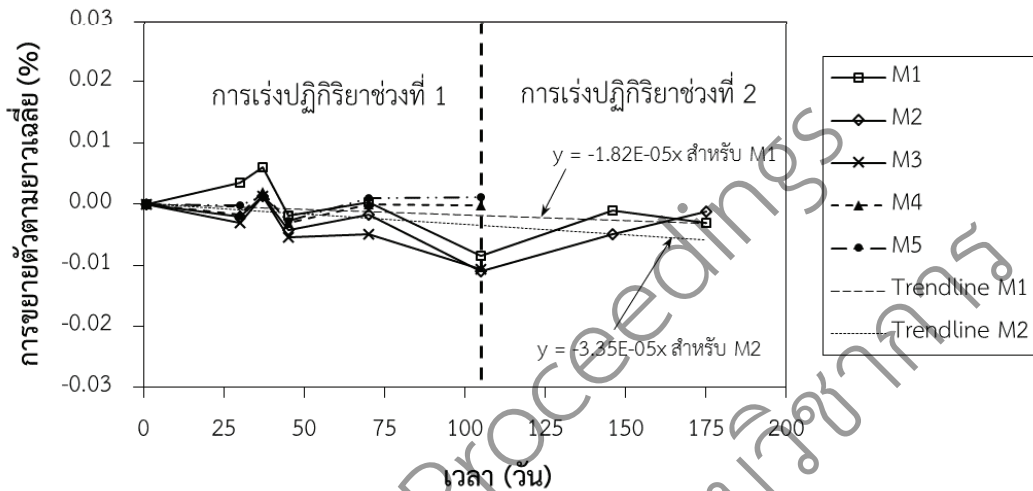
ตารางที่ 3 ส่วนผสมตัวอย่างคอนกรีตและการเร่งปฏิกิริยา

ชื่อ	อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์	มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด	Na ₂ O _{eq} (%)	การเร่งปฏิกิริยา (ช่วงที่ 1, ช่วงที่ 2)
M1	0.473	หินไรโอไลต์	ทราย	1.25%	1) Rilem, 2) Rilem
M2	0.618	หินไรโอไลต์	ทราย	1.25%	1) Rilem, 2) Rilem
M3	0.473	หินไรโอไลต์	หินไรโอไลต์	1.25%	1) Rilem, 2) ASTM
M4	0.473	หินไรโอไลต์	ทราย	0.71%	1) Rilem, 2) ASTM
M5	0.618	หินไรโอไลต์	ทราย	0.71%	1) Rilem, 2) ASTM

3. ผลการทดสอบ

3.1 การขยายตัวภายใต้การเร่งปฏิกิริยาตามมาตรฐาน Rilem

ผลการทดสอบอัตราการขยายตามยาวของตัวอย่างคอนกรีตที่เร่งปฏิกิริยาตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ในไอน้ำ 60 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าตัวอย่างทดสอบ M1 เกิดการขยายตัวสูงสุดในวันที่ 37 คือ ร้อยละ 0.0061 แสดงในรูปที่ 1 จากนั้นตัวอย่างทดสอบทั้งหมดไม่มีแนวโน้มการเกิดขยายตัวจนถึงวันที่ 175



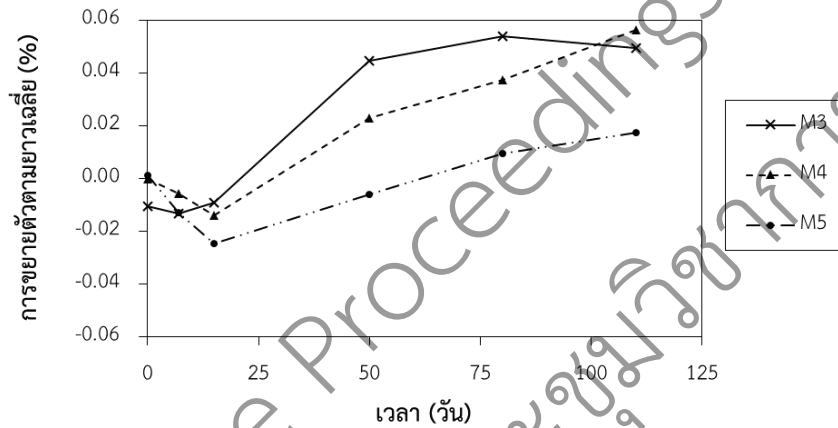
รูปที่ 1 ผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของคอนกรีตปรีซิมในไอน้ำ 60 องศาเซลเซียส

สำหรับตัวอย่างทดสอบ M1 และ M2 ไม่มีแนวโน้มการขยายตัวโดยมีความชันเฉลี่ยของกราฟแนวโน้มเชิงเส้นเท่ากับ -1.82×10^{-5} และ -3.35×10^{-5} (ร้อยละ การขยายตัว/วัน) ตามลำดับ การหดตัวของกรีตในบางช่วงเวลาเกิดจากการหดตัวแบบแห้ง เนื่องจากแรงปฏิกิริยาในอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อนำตัวอย่างออกจากตู้อบไอน้ำได้เกิดการระเหยของน้ำจากผิวคอนกรีต และตัวอย่าง M3, M4 และ M5 ไม่มีแนวโน้มการขยายตัวเช่นเดียวกัน ซึ่งตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ถ้าอัตราการขยายตัวของคอนกรีตปรีซิมไม่เกิน ร้อยละ 0.03 ใน 105 วัน แสดงถึงความเสี่ยงต่อ ASR ในคอนกรีตน้อยมากและควรทดสอบด้วยวิธีอื่นเพื่อประกอบผลยืนยันต่อไป สรุปได้ว่าตัวอย่างคอนกรีตปรีซิมในสภาพแวดล้อมการเร่งปฏิกิริยาในไอน้ำ 60 องศาเซลเซียส ไม่เกิดการขยายตัว ซึ่งให้ผลขัดแย้งกับผลทดสอบจากแท่งมอร์ตาร์ต่อมาตรฐาน ASTM C1260 ที่เกิดอัตราการขยายตัวเกินเกณฑ์และบ่งชี้ว่าวัสดุมวลรวมที่ใช้มีความเสี่ยงต่อ ASR และสังเกตได้ว่าสัดส่วนการผสมคอนกรีตที่ใช้ในการทดลองนี้กับมวลรวมที่มีความเสี่ยงต่อ ASR (หินโรโอไลต์) ไม่เกิดการขยายตัวในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง อุณหภูมิไม่สูงเกิน 60 องศาเซลเซียส โดยไม่มีแอลคาไลจากปัจจัยภายนอกแต่ไม่ได้หมายความว่าตัวอย่างทดสอบไม่เกิดปัญหาจาก ASR

3.2 การขยายตัวภายใต้การเร่งปฏิกิริยาตามมาตรฐาน ASTM

ผลทดสอบการเร่งปฏิกิริยาของคอนกรีตปรีซิมในสารละลาย NaOH ของตัวอย่างทดสอบ M3, M4 และ M5 แสดงในรูปที่ 2 ตัวอย่างทดสอบเกิดการหดตัวแบบแห้งในช่วงต้นเนื่องจากการเร่งปฏิกิริยาในอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่มีอุณหภูมิสูงและทดสอบการขยายตัวในอุณหภูมิห้อง ในระหว่างการเย็นตัวของคอนกรีตทำให้เกิดการระเหยของน้ำจากผิวคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศและมีความชื้นต่ำกว่าในรูพรุนของคอนกรีต (Capillary pores) ทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในรูพรุนของคอนกรีต โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นบางส่วนไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตชื้นขึ้นมาใหม่ [9] ซึ่งเกิดขึ้นช่วง 15 วันแรก โดยตัวอย่างที่หดตัวมากที่สุดคือ M5 มีค่าเท่ากับ ร้อยละ -0.025 ส่วนการหดตัว M3 และ M4 คือ ร้อยละ -0.013 และ ร้อยละ -0.014 ตามลำดับ และหลังจากการเร่งปฏิกิริยา 15 วัน ตัวอย่างคอนกรีตมีพฤติกรรมของการขยายตัวเนื่องจาก ASR ซึ่งการขยายตัวในช่วงแรกเป็นวันที่ 15 ถึงวันที่ 50 โดยตัวอย่าง M3 มีอัตราการขยายตัวมากที่สุดและมีความชันของกราฟ 1.53×10^{-3} (ร้อยละ การขยายตัว/วัน) เนื่องจาก

มวลรวมละเอียดและหยาบของตัวอย่าง M3 เป็นหินไรโอไลต์ที่เกิดปฏิกิริยา ทำให้การเข้าทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าตัวอย่าง M4 และ M5 ที่มีมวลละเอียดเป็นทราย



รูปที่ 2 ผลการทดสอบอัตราการขยายตัวตามยาวของคอนกรีตปริซึม M3, M4 และ M5 ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่ 80 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง M4 และ M5 มีการขยายตัวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 110 วันแต่ตัวอย่างทดสอบ M3 ในประมาณวันที่ 60 เส้นกราฟแนวโน้มมีลักษณะการขยายตัวชะลอลง แต่ในตัวอย่างทดสอบ M4 และ M5 เส้นกราฟมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการขยายตัวต่อไป ผลอัตราการขยายตัวตามยาวเฉลี่ยของตัวอย่าง M3 M4 และ M5 มากที่สุดคือ และ ร้อยละ 0.054, ร้อยละ 0.056 และ ร้อยละ 0.017 ตามลำดับ มีระยะการขยายที่เกิดขึ้นในวันที่ 110 เท่ากับ 0.125, 0.143 และ 0.044 มิลลิเมตร ตามลำดับ รูปที่ 3 แสดงความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตปริซึมตัวอย่าง M3 ที่อัตราการขยายตัว ร้อยละ 0.049



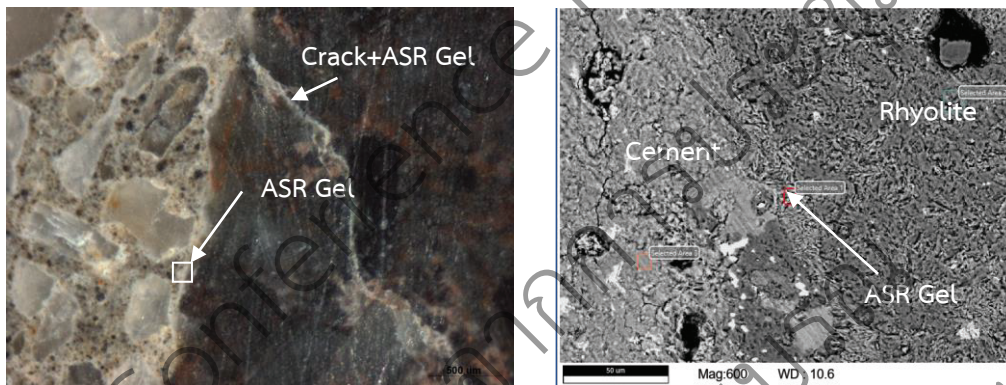
รูปที่ 3 รอยร้าวของตัวอย่าง M3 จากความเสียหายของ ASR

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีอิทธิพลต่ออัตราการขยายตัวจาก ASR โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.473 (ตัวอย่าง M3 และ M4) มีอัตราการขยายตัวมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่

0.618 (ตัวอย่าง M5) ประมาณ 5 เท่า ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่ 80 องศาเซลเซียส และเนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตปรีซิมทั้งสองมีปริมาณแอลคาไลภายนอกที่มากเกินไปและมีพฤติกรรมการขยายตัวภายใต้สภาพแวดล้อมการเร่งปฏิกิริยาเดียวกันกับตัวอย่างแท่งมอร์ตาร์แต่ตัวอย่าง M3 และ M4 มีอัตราการขยายตัวที่ต่ำกว่ามาก เมื่อเทียบด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกันที่ 0.473 ดังนั้น จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าขนาดของมวลรวมที่ใช้ผสมได้มีอิทธิพลต่อการขยายตัวจาก ASR

3.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย

เมื่อทดสอบอัตราการขยายตัวของคอนกรีตที่เร่งปฏิกิริยาในสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมล/ลิตร ที่ 80 องศาเซลเซียส 110 วัน ได้นำตัวอย่างมาตัดเป็นชิ้นบางและถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบ Stereo Microscope พบว่าในตัวอย่างคอนกรีตมีรอยแตกร้าวขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก โดยรอยร้าวเกิดขึ้นทั้งในมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ และยังพบ ASR Gel มีลักษณะสีขาวอยู่บริเวณรอบ ๆ หินไรโอไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รอยร้าวจากการขยายตัวจาก ASR ของตัวอย่าง M4

4. สรุป

ผลการศึกษาอิทธิพลของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและขนาดมวลรวมต่อการขยายตัวจาก ASR โดยใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 2 อัตราส่วน และใช้หินไรโอไลต์ที่เกิดปฏิกิริยา ASR เป็นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

4.1 ขนาดมวลรวมมีอิทธิพลต่อการขยายตัวของ ASR

ขนาดมวลรวมมีอิทธิพลต่อการขยายตัวของ ASR โดยการขยายตัวของคอนกรีตที่มีหินไรโอไลต์ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิด ASR มีอัตราการขยายตัวที่น้อยกว่าแท่งมอร์ตาร์ที่มีมวลรวมละเอียดเป็นหินไรโอไลต์บดมาก

4.2 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีผลกระทบต่ออัตราการขยายตัวจาก ASR

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีผลกระทบต่ออัตราการขยายตัวจาก ASR โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ลดลงให้อัตราการขยายตัวของคอนกรีตจาก ASR ที่สูงขึ้น

4.3 สภาพแวดล้อมของการเร่งปฏิกิริยาตามมาตรฐาน ASTM C1260

สภาพแวดล้อมของการเร่งปฏิกิริยาตามมาตรฐาน ASTM C1260 ทำให้ตัวอย่างคอนกรีตปริซึมเกิดการขยายตัวจาก ASR แต่การทดสอบตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ตัวอย่างคอนกรีตปริซึมไม่เกิดการขยายตัว คอนกรีตที่มีการขยายตัวต่ำภายใต้การทดสอบตามมาตรฐาน Rilem AAR4.1 ไม่ได้หมายถึงไม่เกิดปัญหาจาก ASR

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] hmed T., Burley E., Rigden S., and A.L. Abu-Tair. The Effect of Alkali Reactivity on the Mechanical Properties of Concrete. Construction and Building Materials. 2003; 17 : 123-144.
- [2] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C1260-14 2014. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).
- [3] Nixon P. and Sims J. RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions In New Concrete Structures; 2016. (Rilem AAR4.1, p.13, p.98-116).
- [4] Ferraris C. Alkali-Silica Reaction and High Performance Concrete : National Institute of Standards and Technology; 1995.
- [5] Multon S., Cyr M., Sellier A., and Diederich P. Effects of aggregate size and alkali content on ASR expansion. Cement and Concrete Research. 2009; 40 : 508-516.
- [6] American Concrete Institute (ACI). ACI 211.1-91. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- [7] ศุภชัย ไทพุ่ม. คุณสมบัติและอิทธิพลของเหล็กเสริมที่มีต่อการขยายตัวจากปฏิกิริยา ASR ในคอนกรีต [ปริธินฐานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; 2556
- [8] Hou X., Leslie J. Struble and James R., Formation of ASR gel and the roles of C-S-H and portlandite. Cement and Concrete Research. 2004; 34 : 1683-1696.
- [9] American Concrete Institute (ACI). ACI 209.1R-05. Report on Factors Affecting Shrinkage and Creep of Hardened Concrete.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การวิเคราะห์แผนภูมิวงรอบเหตุและผลสำหรับแบบจำลองพลวัตของระบบห่วงโซ่อุปทาน
อาหารปลอดภัย

An Analysis of Causal Loop Diagram for System Dynamics Simulation-based
Food-Safety Supply Chain

ชีวาพร ไชยพันธ์^{1*} เมธาวิณ สามสี¹ และ คสิณ รังสิกรรพุม¹
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี^{1*}

Chewaphorn Chaiyaphan^{1*} Methawin Samsri¹ and Kasin Ransikarbum¹
Faculty of Engineering, Ubonratchathani University¹

E-mail: chewaphorn.c@ubu.ac.th^{1*}, methawin.sa.59@ubu.ac.th¹, kasinphd@gmail.com¹

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัยในจังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้แผนภูมิวงรอบเหตุและผลสำหรับการพัฒนาแบบจำลองพลวัตของระบบ โดยเก็บข้อมูลแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัยภายในจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 4 กลุ่ม ได้แก่ เกษตรกร ผู้รวบรวม พ่อค้าแม่ค้าในตลาดสด และผู้บริโภค ในจังหวัดอุบลราชธานี รวมจำนวน 65 คน จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามในส่วนของคำถามปลายเปิดเพื่อคัดเลือกปัจจัยจากแบบสอบถามเป็นปัจจัยนำเข้า (Input) ในแผนภูมิวงรอบเหตุและผลและทำการตรวจสอบผลที่ได้จากการวิเคราะห์เบื้องต้น โดยตัวแทนภาครัฐซึ่งเป็นผู้กำหนดนโยบายเกี่ยวกับอาหารปลอดภัย จากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี (อย.) และสำนักงานเกษตรจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งผลการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแนวโน้มจำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัย และราคาอาหารปลอดภัย พบว่าจำนวนวงจร CLD 8 วงจร เป็นประเภทวงจรเสริมแรงจำนวน 5 วงจร และวงจรสมดุล จำนวน 3 วงจร และแสดงผลวงจร CLD จากการสร้างแผนภูมิโปรแกรมเอ็นโลจิก ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้จะเป็นตัวแบบในการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบต่อไป

คำสำคัญ : แผนภูมิวงรอบเหตุและผล แบบจำลองพลวัตของระบบ ห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัย

Abstract

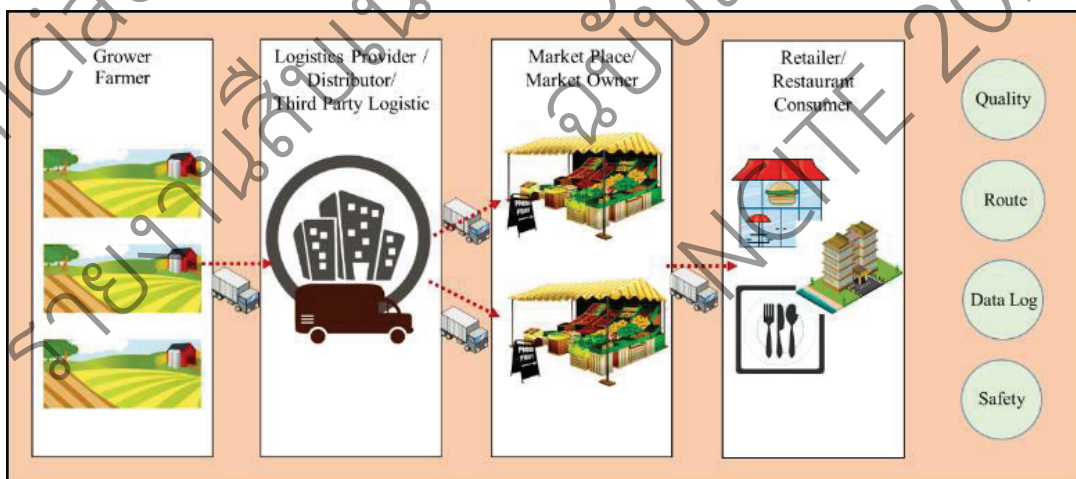
This research paper aims to analyze various factors affecting the food safety supply chain in Ubon Ratchathani Province. Causal Loop Diagram (CLD) was used for the development of a system dynamics model (SD) based on collected questionnaires from samples of stakeholders in the food safety chain in Ubon Ratchathani Province. In particular, questionnaires from four types of stakeholders (i.e., farmers, distributors, merchants, consumers) inclusive of 65 samples in Ubon Ratchathani Province are analyzed based on the open-end questions to assess important factors for the input criteria of CLD. The results were then examined and were preliminarily validated by government representatives relevant to the role of setting up food-safety policies from the Ubon

Ratchathani Provincial Public Health Office (FDA) and Ubon Ratchathani Provincial Agriculture Office. Next, given factors affecting trends for the number of consumers and food safety prices, analyzed results show that there are 8 CLD loops, which are 5 reinforcing loops and 3 balancing loops. Additionally, we attempt to apply CLD loops using AnyLogic program, which will be used as a basis for further modeling the SD of the system.

Keywords : Causal Loop Diagram, System Dynamics, Food-Safety Supply Chain

1. บทนำ

ในปัจจุบันการบริโภคอาหารปลอดภัยภายในประเทศไทยมีจำนวนมากขึ้นในแต่ละพื้นที่ โดยมีการซื้อและขายอาหารในตลาดที่หลากหลาย ซึ่งในปัจจุบันมีตลาดสดหรือตลาดทั่วไปที่เป็นแหล่งรวบรวมสินค้ากลางน้ำในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับเกษตรกรต้นน้ำ ผู้รวบรวมและผู้แปรรูปสินค้า ตลอดจนผู้บริโภคปลายน้ำ ในลักษณะของห่วงโซ่อุปทาน โดยรูปแบบอาหารมีมากมาย เช่น สินค้าประเภทเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ หรืออาหารที่มีสภาพเป็นของสด หรืออาหารประกอบหรือปรุงสุกแล้ว [1] ทั้งนี้การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) เป็นการศึกษาการจัดการระบบของหน่วยงาน คน เทคโนโลยี กิจกรรม ข้อมูลข่าวสาร รวมถึงทรัพยากรต่าง ๆ ในการนำมาประยุกต์เข้าด้วยกัน เพื่อการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือบริการจากผู้จัดหาไปยังลูกค้าโดยตอบสนองเป้าหมาย เช่น ความพึงพอใจของลูกค้า หรือความต้องการด้านต้นทุน เป็นต้น โดยกิจกรรมของห่วงโซ่อุปทานจะเป็นการแปรสภาพทรัพยากรธรรมชาติ เช่น วัตถุดิบ และวัสดุอื่น ๆ ให้กลายเป็นสินค้าสำเร็จรูป [2] ซึ่งห่วงโซ่อุปทานของอาหารปลอดภัย (Food-Safety Supply Chain) เอง เป็นรูปแบบการจัดการสินค้าประเภทอาหาร ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อนำความปลอดภัยและการตรวจสอบตลอดทั้งห่วงโซ่ เพื่อให้ผู้บริโภคแน่ใจได้ถึงความปลอดภัยของอาหารตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทาน [3] – [6] โดยแสดงรูปแบบห่วงโซ่อุปทานของอาหารปลอดภัยได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัย

1.1 วัตถุประสงค์

ในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัยในจังหวัดอุบลราชธานี โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือแผนภูมิวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagram: CLD) ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักสำคัญสำหรับการนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองพลวัตของระบบ (System Dynamics: SD) ในอนาคตต่อไป ซึ่งสามารถทำให้เข้าใจถึงผลกระทบของผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องกับห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัยได้อย่างเป็นระบบ สำหรับกรณีศึกษาของจังหวัดอุบลราชธานี

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านแบบจำลองพลวัตของระบบที่เน้นทางด้านระบบอาหาร โดยเฉพาะกับอาหารปลอดภัยทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย ยังมีอยู่จำกัด [7] – [12] โดยยกตัวอย่างงานวิจัยที่น่าสนใจในต่างประเทศเมื่อไม่นานมานี้ เช่น Tsolakis และ Srai [7] ได้ศึกษาพลวัตของระบบสู่ความมั่นคงด้านอาหารผ่านเกษตรกรรรายย่อยในสหราชอาณาจักร โดยทำการสร้าง CLD และทำการประเมินผลกระทบด้านความยั่งยืนของการใช้นโยบายในประเทศเพื่อพิจารณาอุปสงค์และอุปทานอาหารควบคู่กัน โดยผลจากการวิจัยผ่านการวิเคราะห์กรณีศึกษาของการผลิตและกระจายบริโภคพืช ทำให้รู้ว่านอกจากจะสามารถยืดสถานะความมั่นคงของอาหารออกไปได้เป็นระยะเวลา 3 ปีแล้ว ยังสามารถเพิ่มผลผลิตมวลรวมของประเทศเฉลี่ยต่อปีได้ นอกจากนี้ ผลจากการศึกษาระบบพลวัตแสดงให้เห็นว่าตัวชี้วัดด้านความพึงพอใจในการผลิตและการบริโภคสามารถนำมาใช้ในการบ่งชี้ถึงความมั่นคงทางด้านอาหารของชาติได้ โดยทางผู้วิจัยได้แนะนำว่าจากการวิเคราะห์สถานการณ์และการกำหนดนโยบายของผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียแล้ว พบว่าควรให้ความสำคัญในกิจการระดับภูมิภาคเพื่อความมั่นคงของอาหาร และเพิ่มความยั่งยืนจากการส่งเสริมการทำงานร่วมกันในสังคม

นอกจากนี้ Estay และ Pankaj [8] ได้ทำการศึกษาและออกแบบแบบจำลองพลวัตของระบบต่อปัญหาการจัดการห่วงโซ่อุปทาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ SD ในการวิเคราะห์ปัญหาของระบบ เพื่อให้เกิดความเข้าใจปัญหาอย่างเป็นระบบในมุมมองทางด้านอุตสาหกรรมอาหาร โดยการประยุกต์ใช้ SD ทำให้ช่วยลดการซับซ้อนของกระบวนการรวบรวมข้อมูล และการมองปัญหาเพียงด้านใดด้านหนึ่ง โดยผลจากการวิจัย ทำให้ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาในระดับกลยุทธ์ในห่วงโซ่อุปทานของอาหารได้ และเป็นการแนะนำรูปแบบการจัดการโครงสร้างของห่วงโซ่อุปทานที่เหมาะสม ทำให้เป็นประโยชน์ในการสร้างความเข้าใจในระดับความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในภาคอุตสาหกรรมอาหาร

ในประเทศไทยเอง ได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษา SD เช่นเดียวกันในหลาย ๆ การประยุกต์ใช้งาน อย่างไรก็ตาม พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของการทำ CLD เท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้มีการขยายงานไปในระดับการทำให้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับ SD เช่น ซวลิต มณีศรี และคณะ [9] ได้ทำการออกแบบ CLD สำหรับปัญหาห่วงโซ่อุปทานของยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิเคราะห์ 4 วงจรเสริมแรง (Reinforcing Loop: RL) และ 2 วงจรสมดุล (Balancing Loop: BL) โดยใช้มูลค่าการส่งออกยางพาราเป็นตัวแปรหลักในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ นอกจากนี้นักวิจัยบางส่วนได้ทำการวิเคราะห์ทั้ง CLD และ SD เช่นกันเมื่อไม่นานมานี้ เช่น ปฐมพล วรรณเสขตา [12] ได้ทำการวิเคราะห์พลวัตของระบบราคาทองคำ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมของราคาทองคำด้วย SD ด้วยโปรแกรม Vensim รวมถึงวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Model) ด้วยโปรแกรม Eviews

เมื่อไม่นานมานี้ งานวิจัยจาก บวรศม ลิระพันธ์ และคณะ [13] ได้ประยุกต์การใช้งานทางการแพทย์ โดยทำการพัฒนาแบบจำลองบูรณาการระบบการแก้ไขปัญหาโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) จากการใช้

แบบจำลอง CLD ร่วมกับ SD เพื่อสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจเชิงนโยบายในการแก้ไขปัญหาการระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 ภายในประเทศไทย โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพเพื่อพัฒนา CLD ในการแสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาการระบาดของโรคโควิด-19 จากนั้นทำการพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ SD โดยผลจากการวิจัยทำให้ทราบแนวโน้มของระยะการระบาดของโควิด-19 การพิจารณาระยะเวลาของผู้ที่ติดเชื้อที่สามารถแพร่เชื้อโดยเฉลี่ย ซึ่งนำมาซึ่งการช่วยในการศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการเข้มข้นระยะสั้น และแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของการลดการแพร่เชื้อในชุมชนจากการกักตัวหรือการแยกตัวของอัตราการแพร่กระจายเชื้อในชุมชน

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบแบบสอบถามและวิธีการวิเคราะห์

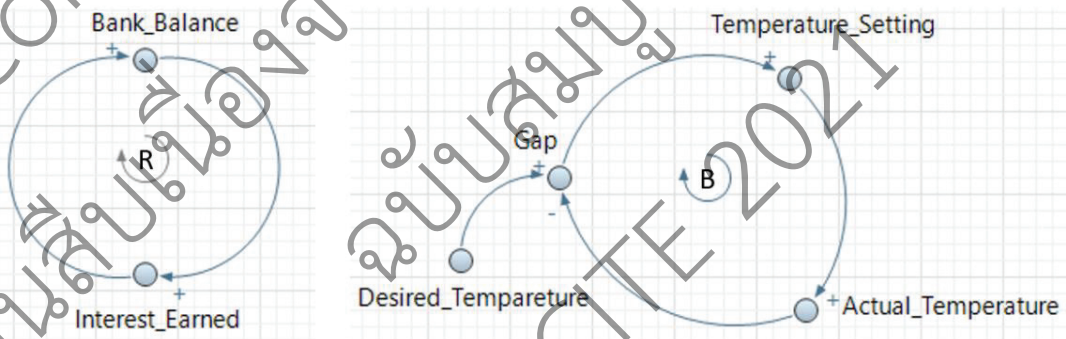
สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัย ผู้ทำวิจัยทำการออกแบบแบบสอบถาม ซึ่งมี 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนของข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative) และส่วนของข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) และมีกระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิจัยแบบผสม (Mixed Methods Research) โดยในส่วนข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS และในส่วนข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) ทั้งนี้ในบทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการเฉพาะส่วนของข้อมูลเชิงคุณภาพเท่านั้น ซึ่งใช้เป็นปัจจัยนำเข้าสำหรับกระบวนการวิเคราะห์แผนภูมิวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagram) โดยมีรูปแบบเป็นคำถามแบบปลายเปิด (Open-End Form) ที่เกี่ยวกับข้อมูลด้านปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อระบบโลจิสติกส์และการขนส่งสำหรับห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัย ประกอบด้วย คำถาม 2 ข้อหลัก ดังนี้ 1) องค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อราคาอาหารปลอดภัยที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน และ 2) องค์ประกอบที่ส่งผลทำให้จำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัยเพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน

จากนั้นเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัย ซึ่งห่วงโซ่ที่มีความเกี่ยวข้องกัน เช่น ผู้ส่งมอบวัตถุดิบหรือเกษตรกร (Supplier) ผู้ทำหน้าที่ขนส่งวัตถุดิบ (Logistics Provider) ผู้รวบรวมสินค้าหรือพ่อค้าคนกลาง (Distributor) ตลาดสด (Market Owner) ผู้แปรรูปอาหาร (Food Center/Retailer) ลูกค้าและผู้บริโภค (Customer) ซึ่งผู้วิจัยมุ่งเน้นกิจกรรมที่เกิดขึ้นในระหว่างเกษตรกร ตลาดสด ร้านอาหารหรือผู้บริโภคในกลุ่มที่นำไปแปรรูปขนาดเล็กในพื้นที่เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของงานวิจัยในเรื่องของจำนวนภาคีที่เกี่ยวข้องที่มีหลากหลาย ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 4 ภาคี ได้แก่ เกษตรกร ผู้รวบรวมพ่อค้าแม่ค้าในตลาดสด และผู้บริโภค โดยใช้หลักการทางทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Central Limit Theorem: CLT) ซึ่งใช้ในการหาจำนวนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อมีการเก็บข้อมูลตัวอย่างในจำนวนมากพอสำหรับประชากรใด ๆ แล้ว จะพบว่าการกระจายของค่าตัวอย่างจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) โดยขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่มากกว่าหรือเท่ากับ 30 ตัวอย่างถือว่ามีความเพียงพอในการประยุกต์ใช้ทฤษฎี CLT ทำการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 ภาคีจำนวนรวม 65 คน หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลเชิงเนื้อหา (Content Analysis) ซึ่งใช้วิธีการระบุเป็นคำดัชนีหรือรหัสข้อมูล (Data Coding) จากความคิดเห็นเพื่อนำไปสร้างกราฟที่แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของรหัสข้อมูลในปัจจุบันแต่ละด้าน หลังจากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าสูงในประเด็นที่ส่งผลกระทบต่อราคาอาหารปลอดภัยและจำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัยเพื่อใช้เป็นปัจจัยนำเข้าในการวิเคราะห์แผนภูมิวงรอบเหตุและผลสำหรับแบบจำลองพลวัตของระบบห่วงโซ่อุปทานอาหารปลอดภัย ซึ่งจำนวนปัจจัยที่ได้จำนวน

14 ปัจจัย ผู้วิจัยทำการพัฒนาระบบแผนภูมิวงรอบเหตุและผลสำหรับห่วงโซ่อาหารปลอดภัย ในมุมมองของจำนวนผู้บริโภคและราคาอาหารปลอดภัย โดยทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validate) ร่วมกับเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานภาครัฐที่เป็นผู้กำหนดนโยบาย

2.2 แผนภูมิวงรอบเหตุและผลสำหรับแบบจำลองพลวัตของระบบ

เครื่องมือแผนภูมิวงรอบเหตุและผล หรือ CLD เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระบบ ซึ่งผลที่ได้อาจอยู่ในรูปแบบของวงจรเสริมแรง (RL) ที่ทำให้ระบบเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบก้าวกระโดด [14] – [15] เช่น ในกรณีของเงินฝากธนาคาร เป็นตัวอย่างของวงจรเสริมแรงทางบวก ที่มีการคำนวณโดยนำดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นมารวมเข้ากับเงินต้นของทุกปี ซึ่งยิ่งจำนวนปีมากขึ้น ยิ่งทำให้อุดเงินฝากในธนาคารเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด หรือในกรณีของการบอกลปากต่อปากของลูกค้าที่ไม่พอใจสินค้า เป็นตัวอย่างของวงจรเสริมแรงทางลบ ที่หากลูกค้าไม่พอใจ และมีการพูดกันปากต่อปากไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้ส่งผลลบส่งผลให้อุดขายลดลงไปเรื่อย ๆ ส่วนผลของวงจรสมดุล (BL) จะส่งผลให้ระบบปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลของระบบ เช่น ในกรณีของระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำอุ่น ที่เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อน จะพบว่าอุณหภูมิจะร้อนจัด ซึ่งต้องปรับลดอุณหภูมิลง โดยอุณหภูมิของน้ำจะค่อย ๆ ปรับสมดุลจนได้ระดับอุณหภูมิที่ต้องการในที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป เป็นต้น โดยแสดงตัวอย่างของ RL และ BL ในรูปที่ 2 ทั้งนี้ วิธีการอ่านของวงจร คือ การอ่านตามทิศทางจากทางลูกศรไปยังหัวลูกศร เพื่อระบุการเป็นเหตุและผล และมีเครื่องหมายบวกหรือลบ เพื่อบอกว่าการเพิ่มขึ้นของปัจจัยหนึ่งจะส่งผลให้อีกปัจจัยหนึ่งเพิ่มมากขึ้น หรือลดลงตามลำดับ โดยข้อสังเกตคือหากจำนวนเครื่องหมายลบในวงจรที่สร้างขึ้นเป็นจำนวนเลขคู่ แสดงว่าเป็นวงจรเป็นแบบ RL และหากจำนวนเครื่องหมายลบในวงจรที่สร้างขึ้นเป็นจำนวนเลขคี่ แสดงว่าวงจรเป็นแบบ BL ตามลำดับ

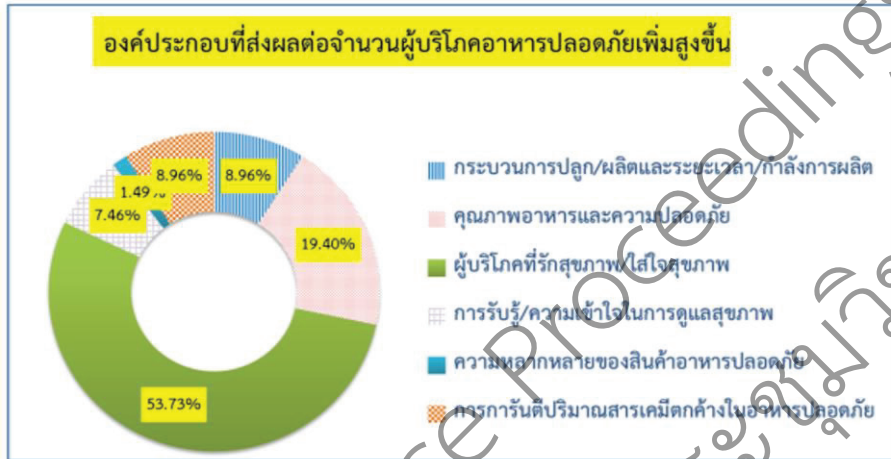


รูปที่ 2 ตัวอย่างวงจรแบบ RL และ BL

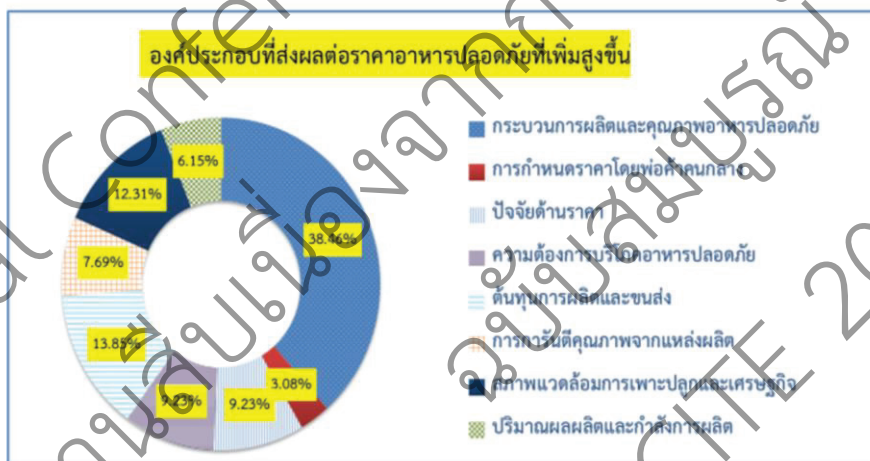
3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ในส่วนของแบบสอบถามที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน แสดงได้ในรูปที่ 3 ทั้งนี้ พบว่าปัจจัยหลักด้านการที่ผู้บริโภครู้สึกสุขภาพและใส่ในสุขภาพเป็นปัจจัยหลักสำคัญที่สุด (53.73%) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านคุณภาพอาหารและความปลอดภัย (19.40%) และปัจจัยด้านกระบวนการผลิตและกระบวนการการันตีปริมาณสารปนเปื้อนในอาหาร (8.965) ตามลำดับ นอกจากนี้ปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ราคาอาหารปลอดภัยเพิ่มสูงขึ้นแสดงในรูปที่ 4 โดยพบว่าปัจจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและคุณภาพ

อาหารปลอดภัย (38.46%) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านต้นทุนการผลิตและขนส่ง (13.85%) และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการเพาะปลูกและเศรษฐกิจ (12.31%) เป็นปัจจัยหลักสามลำดับแรกตามลำดับ

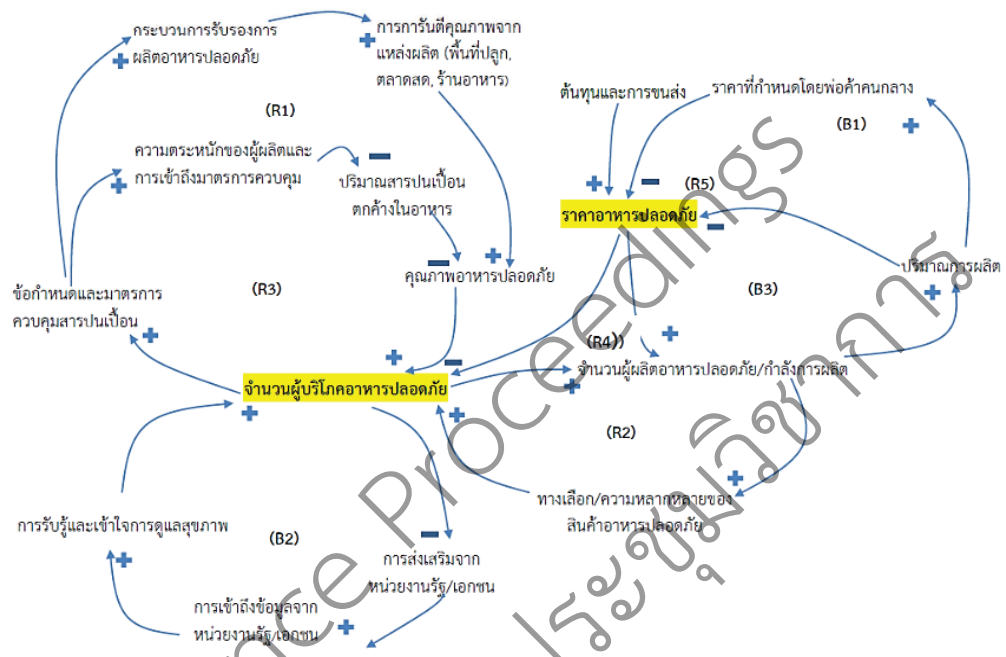


รูปที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัย



รูปที่ 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อราคาอาหารปลอดภัย

จากนั้น ขั้นตอนต่อมาเป็นการนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้น มาใช้ในการเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการวิเคราะห์และพัฒนาเป็น CLD สำหรับห่วงโซ่อาหารปลอดภัย ในมุมมองของจำนวนผู้บริโภคและราคาอาหารปลอดภัย ซึ่งหลักจากที่ทำการพัฒนาแล้ว ผู้ทำวิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validate) ร่วมกับเจ้าหน้าที่ของสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด (อย.) รวมถึงสำนักงานเกษตรจังหวัดของจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งแสดงผลการปรับสุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยแผนภูมิวงรอบเหตุและผลจำนวนทั้งสิ้น 8 วงจร โดยแบ่งออกเป็นวงจรเสริมแรง (RL) จำนวน 5 วงจร และวงจรสมดุล (BL) จำนวน 3 วงจร นอกจากนี้ สามารถอธิบายลักษณะของการทำงานของแต่ละวงจรได้ดังแสดงในตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 5 แผนภูมิวงรอบเหตุและผลสำหรับห่วงโซ่อาหารปลอดภัย

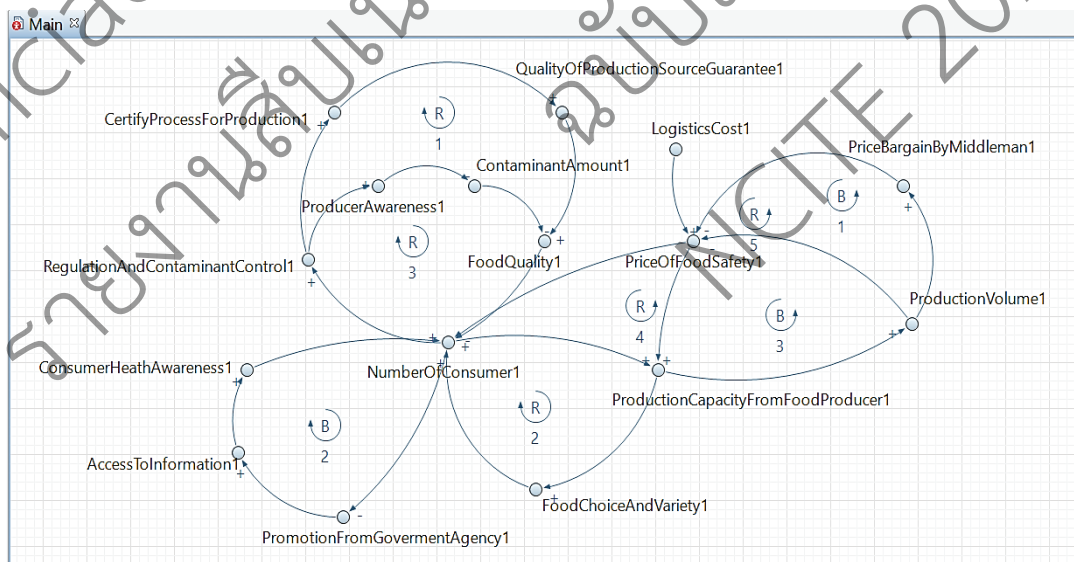
ตารางที่ 1 ลักษณะของวงจรสำหรับวงรอบเหตุและผลสำหรับห่วงโซ่อาหารปลอดภัย

ประเภท	ชื่อ Loop	ลักษณะของ Loop
R1	การรับรองคุณภาพ (Quality Assurance)	ยิ่งมีการรับรองคุณภาพอาหารปลอดภัยดีขึ้น ยิ่งทำให้จำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัยมากขึ้น
R2	ทางเลือกผู้บริโภคอาหารปลอดภัย (Consumer Choice)	ยิ่งมีช่องทางและทางเลือกในการเลือกซื้ออาหารปลอดภัยมาก ยิ่งส่งผลให้จำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัยมากขึ้น
R3	แนวทางการผลิตที่ดี (GAP/GMP/PGS/Organic Thailand)	ข้อกำหนดการควบคุมปริมาณสารปนเปื้อนที่มากขึ้นส่งผลต่อการตระหนักและรับรองการผลิตในห่วงโซ่อาหารปลอดภัย
R4	อุปสงค์-อุปทาน (Demand-Supply)	ความสัมพันธ์ของปริมาณอุปสงค์ อุปทาน และราคาอาหารปลอดภัย
R5	พ่อค้าคนกลาง-ราคา -จำนวนผู้บริโภค (Middleman-Price-Consumer)	จำนวนเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิต ผู้บริโภค และราคาอาหารปลอดภัย
B1	อำนาจของพ่อค้าคนกลาง (Power of Middleman)	จำนวนผลผลิตในตลาดที่ส่งผลต่อการกำหนดราคาของพ่อค้าคนกลางและราคาอาหารปลอดภัย
B2	การส่งเสริมสุขภาพ (Health Promotion)	การส่งเสริมสุขภาพที่ดีและประชาสัมพันธ์ช่องทางการเข้าถึงแหล่งอาหารปลอดภัยส่งผลต่อจำนวนผู้บริโภคมากขึ้น
B3	การแข่งขันของผู้ผลิตอาหารปลอดภัย (Producer Competitiveness)	การเพิ่มจำนวนผู้ผลิตและขายอาหารปลอดภัย ส่งผลต่อปริมาณอาหารปลอดภัยและราคาในตลาด

4. การอภิปรายผลและสรุปผล

ผลการวิจัยที่ได้จากเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบอาหารปลอดภัยในจังหวัดอุบลราชธานี โดยเป็นการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 4 กลุ่มตัวอย่างหลัก คือ เกษตรกร ผู้รวบรวม พ่อค้าแม่ค้าในตลาดสด และผู้บริโภค ซึ่งทำให้เห็นถึงมุมมองด้านสภาพปัญหาในปัจจุบัน รวมถึงความต้องการที่แตกต่างกัน โดยผู้ทำวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงปัจจัยที่ส่งผลจำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัย และราคาของอาหารปลอดภัยที่เพิ่มสูงขึ้น และแสดงผลโดยใช้แผนภูมิวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagram) จำนวนทั้งสิ้น 8 วงจร โดยแบ่งออกเป็นวงจรเสริมแรง (Reinforcing loop) จำนวน 5 วงจร และวงจรสมดุล (Balancing Loop) จำนวน 3 วงจร ทั้งนี้การสร้างแผนภูมิวงรอบเหตุและผล โดยใช้โปรแกรม AnyLogic ดังแสดงในรูปที่ 6 ทั้งนี้ แผนภูมิดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการสะสมและการไหลของระบบอาหารปลอดภัย โดยเป็นการศึกษาการสะสมและการสะสม (Stock) ของจำนวนผู้บริโภคอาหารปลอดภัยที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ในลักษณะของการแสดงอิทธิพลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรพลวัต (Dynamic Variable) ในอนาคตต่อไป

นอกจากนี้ ผลจากการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองแผนภูมิวงรอบเหตุและผล (CLD) สำหรับระบบอาหารปลอดภัยดังแสดงผลในตารางที่ 1 ข้างต้น สามารถนำมาขยายผลเป็นข้อสรุปและข้อเสนอแนะทางด้านการจัดการเชิงนโยบายสำหรับเจ้าหน้าที่ของทั้งภาครัฐและภาคเอกชนได้ต่อไป ซึ่งสามารถแยกตามรายละเอียดของประเภทวงจร (Loop) ลักษณะของวงจร การทำงานของวงจร แนวทางการจัดการเชิงนโยบาย รวมถึงผลกระทบที่มีต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องในเชิงการจัดการและเชิงนโยบาย ยกตัวอย่างเช่น วงจร B1 อำนาจของพ่อค้าคนกลาง (Power of Middleman) มีลักษณะของ Loop เมื่อจำนวนผลผลิตในตลาดส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดราคาของพ่อค้าคนกลาง รวมถึงผู้รวบรวม และการส่งผลกระทบต่อราคาอาหารปลอดภัย ทั้งนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเชิงนโยบายในการกำหนดราคา เช่น สำนักพัฒนาชุมชนจังหวัดควรมีมาตรการการควบคุมราคาของพ่อค้าคนกลาง โดยการกำหนดราคากลาง หรือการประกาศราคากลางสำหรับอาหารปลอดภัยโดยเฉพาะ เป็นต้น



รูปที่ 6 การสร้าง CLD ระบบอาหารปลอดภัยโดยใช้โปรแกรม AnyLogic

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการ การพัฒนาระบบโลจิสติกส์และการขนส่งอย่างยั่งยืน สำหรับห่วงโซ่อาหารปลอดภัยในจังหวัดอุบลราชธานี (รหัสโครงการ 8101) ภายใต้แผนงานเครือข่ายคุณค่าและความเป็นท้องถิ่นสู่การสร้างระบบนิเวศอาหารปลอดภัยในจังหวัดอุบลราชธานี ที่สนับสนุนโดยหน่วยงานบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กสิณ รังสิกรรพุม. การวิเคราะห์รูปแบบการวางแผนผังตลาดสดด้วยเทคนิคแบบจำลองมอนติคาโล. วิศวกรรมสาร มก. 2562; 32(108) : 71-82.
- [2] Chaiyaphan, C., Ransikarbun, K. Criteria Analysis of Food Safety using the Analytic Hierarchy Process (AHP)-A Case study of Thailand's Fresh Markets. In Research Invention and Innovation Congress (RI2C 2019); 2019 December 11-13; Arnoma Grand Hotel Bangkok. Bangkok : Thailand : EDP Sciences; 2020. p. 02001-7.
- [3] ชีวาพร ไชยพันธ์ และ กสิณ รังสิกรรพุม. การศึกษาปัจจัยและแผนผังตลาดสดด้วยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นและแบบจำลองมอนติคาโล กรณีศึกษาตลาดเอกชนและตลาดเทศบาล. วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) E-ISSN 2672-9636 (ตอบรับ)
- [4] เปรมมกล ภูแก้ว. ตลาดสด ตลาดนัด ความสำคัญต่อปากท้องของคนไทย. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 2563 กันยายน 27]. เข้าถึงได้จาก <http://www.food4change.in.th/activities/2013-04-22-10-35-46/>
- [5] Puchongkawarin C, Ransikarbun K. An integrative decision support system for improving tourism logistics and public transportation in Thailand. Tourism Planning & Development. 2020; 17(5) : 1-16.
- [6] กสิณ รังสิกรรพุม. การวิเคราะห์รูปแบบการวางแผนผังตลาดสดด้วยเทคนิคแบบจำลองมอนติคาโล. วิศวกรรมสาร มก. 2562; 32(108) : 71-82.
- [7] Tsotakis N, Srari. A System Dynamics approach to food security through smallholder farming in the UK. Chemical Engineering Transactions. 2017; 57.
- [8] Estay, D. A. S, Pankaj G. Review of the application of System Dynamics to problems in food supply chains. In 38 International Conference of System Dynamics Society; 2020.
- [9] Minegishi S, Thiel D. System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. Simulation practice and theory. 2000; 8(5) : 321-339.
- [10] Kazancoglu Y, Ekinici E, Mangla S. K, Sezer M. D, Kayikci Y. Performance evaluation of reverse logistics in food supply chains in a circular economy using system dynamics. Business Strategy and the Environment. 2020; 30(1) : 71-91.

- [11] ขวลิต มณีศรี วรวิทย์ หวังวัชรกุล และจุฑา พิซิตลำเค็ญ. แบบจำลองแนวความคิดของระบบโซ่อุปทานยางพาราในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยด้วยพลวัตของระบบ. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2556; 3(6) : 33-40.
- [12] ปฐมพล วรณเสขตา. แบบจำลองราคาทองคำโดยใช้ระบบพลวัต. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ]. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554.
- [13] บวรศม สิริพันธ์ ระพีพงศ์ สุพรรณไชยมาตย์ พาสน์ ชีฆทรัพย์ ภาณุวิชญ์ แก้วภาจรชัย แพรวนภา พันธุ์ สวาสดี วรรัตน์ ใจชื่น วรสิทธิ์ ศรศรีวิชัย และปณิธิ ธรรมะวิจยะ. การพัฒนาแบบจำลองบูรณาการระบบการแก้ไขปัญหาโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เพื่อสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจเชิงนโยบาย. 2563; โครงการวิจัย ISBN 978-616-443-459-2; 2020.
- [14] Kirkwood C. W. System dynamics methods: A quick introduction. College of Business : Arizona State University; 1998.
- [15] Karami S, Karami E, Buys L, Drogemuller R. System dynamic simulation: A new method in social impact assessment (SIA). Environmental Impact Assessment Review. 2017; 62 : 25-34.
- [16] กลืน รังสิกรรพม. เอกสารคำสอนวิชาการวิเคราะห์การตัดสินใจ. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2564.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยระหว่างสภาพที่คาดหวังกับสภาพที่รับรู้จริง
ด้านคุณภาพของการบริการซ่อมแซมห้องชุดของผู้พักอาศัย

The Comparisons between Expectation and Perception
Factors of Condominium Unit Repairing to Optimize

เทวกุล จันทร์ขามป้อม

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Tewakun Chankampom

Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University

E-mail : tewakun.chan@vru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ศึกษาบริการหลังการขายด้านการซ่อมแซมห้องชุดในอาคารชุด ที่อยู่ภายในระยะเวลาประกันในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยระหว่างสภาพที่คาดหวังกับสภาพที่รับรู้จริงด้านคุณภาพของการบริการซ่อมแซมห้องชุดต่อการบรรลุความพึงพอใจของผู้พักอาศัย โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 344 หน่วย ใน 8 โครงการ และค่าน้ำหนักตัวชี้วัดความสำคัญของแต่ละปัจจัย แล้วทำการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างความคาดหวัง และการรับรู้จริง ผลการวิจัย พบว่า 5 ปัจจัยแรกที่มีค่าผลต่างระหว่างความคาดหวัง และการรับรู้จริงมากที่สุด คือ (1) กระบวนการทำงานเป็นไปตามแผนที่วางไว้ (2) การซ่อมแซมให้เสร็จภายในการเข้าซ่อมเพียงครั้งเดียว (3) ผลงานหลังการซ่อมแซมสามารถใช้งานได้ปกติไม่มีปัญหาเพิ่มเติมภายหลัง (4) การมีส่วนร่วมของผู้พักอาศัยในตัวเลือกต่าง ๆ ของการซ่อมแซม และ (5) ความละเอียดของงานฝีมือ ตามลำดับ

คำสำคัญ: สภาพที่คาดหวัง สภาพที่เกิดขึ้น การซ่อมแซมห้องชุด การบรรลุความพึงพอใจ

Abstract

This aims studied the after-sales service in the repair of condominium units within warranty period in Bangkok and its vicinities to compare the differences between the expectation and perception factors of the quality of the service of the condominium repair service towards achieving the satisfaction of residents. Data collection was carried out by means of questionnaire distributed to 344 respondents in 8 projects. By using weight values, indicators of the importance of each factor the top 5 factors affecting with the most difference between expectations and perception to consist of (1) the repair works have met the target (2) repairing completed with a one-time repair (3) the repair works can be used as common, without any problems after repair (4) participation of the residents in the various repairing options (5) Craftsmanship resolution

Keywords: Expectation, Perception, Repairing of Condominium Units, Achieving Customer Satisfaction

1. บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจด้านอสังหาริมทรัพย์ประเภทอาคารชุดหรือคอนโดมิเนียมยังคงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลจากงานมหกรรมบ้านและคอนโด ครั้งที่ 40 ปี พ.ศ. 2562 พบว่า อาคารชุดเป็นที่อยู่อาศัยที่มียอดจองมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 52.20% ของที่อยู่อาศัยที่ถูกจองทั้งหมด เมื่อที่อยู่อาศัยประเภทอาคารชุดมีความต้องการจากผู้บริโภคที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดการร้องเรียนมายังสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค (สคบ.) จำนวนมาก โดยจากสถิติในปี พ.ศ. 2562 พบว่า อาคารชุดเป็นเรื่องที่มีการร้องเรียนเข้ามามากที่สุด จำนวน 1,232 ราย หรือประมาณร้อยละ 53.15 ของเรื่องร้องเรียนด้านอสังหาริมทรัพย์และที่อยู่อาศัยทั้งหมด 2,318 ราย [1]

ดังนั้นบริษัทผู้ประกอบการจึงหันมาให้ความสำคัญกับการผลิตสินค้าหรือบริการที่มีคุณภาพ ซึ่งจะมีผลต่อการสร้างการยอมรับ ความไว้วางใจ ความชื่นชมแก่ธุรกิจ และสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า โดยลูกค้าจะมีความเชื่อมั่นทำให้ผลิตภัณฑ์มีมูลค่าสูงจนเป็นที่ยอมรับ หรือที่เรียกว่า “ค่าความนิยม” สินค้าหรือบริการที่มีคุณภาพดีจะมีส่วนสำคัญทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ในการเพิ่มยอดขาย รายได้ และกำไรให้แก่ [2] คุณภาพสินค้าและการบริการถือเป็นส่วนหลักในการเกิดการแข่งขันทางธุรกิจ โดยที่องค์กรใดที่หยุดการพัฒนา ก็เสมือนการก้าวถอยหลังของการดำเนินการธุรกิจ เพราะคู่แข่งทางธุรกิจจะก้าวทันและแซงไปเป็นที่สุด ทำให้องค์กรธุรกิจเสียความสามารถในการแข่งขัน สุดท้ายก็ต้องปิดตัวลง [3]

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบปัจจัยความแตกต่างระหว่างสภาพที่คาดหวัง และสภาพที่รับรู้จริงด้านคุณภาพของการบริการซ่อมแซมห้องชุดต่อการบรรลุความพึงพอใจของผู้พักอาศัยที่ยังอยู่ภายในระยะเวลาประกันในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการพัฒนา และปรับปรุงการบริการงานซ่อมแซมห้องชุดให้มีคุณภาพ ประสิทธิภาพ และตอบสนองต่อพึงพอใจของลูกค้าให้มากขึ้น

2. การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบปัจจัยความแตกต่างระหว่างสภาพที่คาดหวัง และสภาพที่รับรู้จริงด้านคุณภาพของการบริการซ่อมแซมห้องชุดต่อการบรรลุความพึงพอใจของผู้พักอาศัย ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถสรุปรายละเอียด ดังนี้

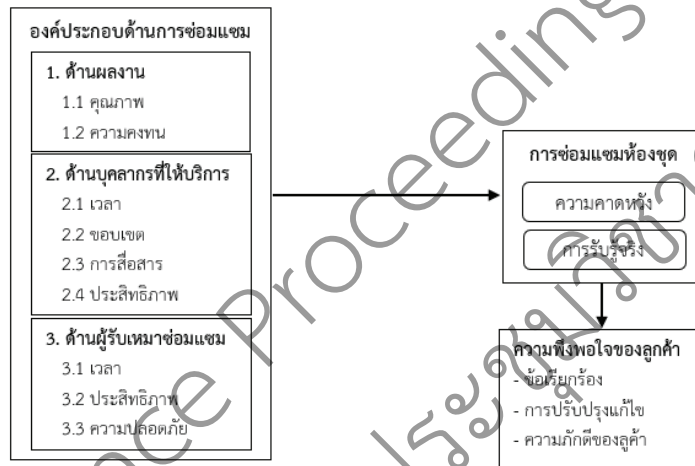
2.1 แนวคิดความพึงพอใจของผู้พักอาศัย

การศึกษานี้ได้ตั้งต้นการทบทวนวรรณกรรมจากแบบจำลอง ACSI (The American Customer Satisfaction Index Model) ซึ่งใช้วัดความพึงพอใจผ่าน 3 กลุ่มปัจจัยหลัก คือ การบริการจากประสบการณ์จริงของลูกค้า ความคาดหวังก่อนที่จะได้รับบริการ และ คุณค่าของบริการเหมือนเปรียบเทียบกับราคาที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ ACSI Model ยังให้ความสำคัญปัจจัยการเรียกร้องของลูกค้า (Customer Complaints) และความจงรักภักดีในสินค้า (Customer Loyalty) [4] และแบบจำลองของ Schmidt & Strickland [5] ที่ศึกษา Common Measurement Tool (CMT) โดยพิจารณาจากปัจจัยซึ่งผลกระทบต่อความคาดหวัง เปรียบเทียบกับประสบการณ์ที่ได้รับบริการ [6] โดยวัดความพึงพอใจของลูกค้าในมุมมองต่าง ๆ ต่อปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้พักอาศัย

2.2 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

การวัดความพึงพอใจของลูกค้า จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถจำแนกได้ 3 องค์ประกอบ คือ (1) ด้านผลงาน ประกอบด้วยปัจจัยด้านคุณภาพ และด้านความคงทน (2) ด้านบุคลากรที่ให้บริการ ประกอบด้วยปัจจัยด้านเวลา ด้านขอบเขต ด้านการสื่อสาร และด้านประสิทธิภาพ และ (3) ด้านผู้รับเหมาซ่อมแซม

ประกอบด้วยปัจจัยด้านเวลา ด้านประสิทธิภาพ และด้านความปลอดภัย[7] - [10] และดัดแปลงแบบจำลองการวางแผนงานพร้อมทั้งออกแบบกรอบแนวคิดในการทำวิจัย (Conceptual Framework) ดังแสดงตามรูปที่ 1 และการศึกษานี้ได้ใช้ปัจจัยย่อยที่ใช้เป็นข้อคำถามในการศึกษาจำนวน 59 ปัจจัย [11]



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษา (Conceptual Framework)

2.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความคาดหวังกับการรับรู้จริง

การศึกษานี้ใช้แนวคิดการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างความคาดหวัง (Expectation, E) และการรับรู้จริง (Perception, P) ของ Donald R. [12] โดยใช้ค่าน้ำหนักตัวชี้วัดความสำคัญเท่ากับอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ย (\bar{X}) กับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่ละปัจจัย ดังสมการ (1) และกำหนดเกณฑ์การวัดคุณภาพการบริการ ดังนี้

ความคาดหวัง (E) มากกว่า การรับรู้จริง (P) ($E > P$) หมายความว่า ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจต่อการบริการซ่อมแซมห้องชุดที่ได้รับ

ความคาดหวัง (E) เท่ากับ การรับรู้จริง (P) ($E = P$) หมายความว่า ลูกค้าเกิดความพึงพอใจต่อการบริการซ่อมแซมห้องชุดที่ได้รับ

ความคาดหวัง (E) น้อยกว่า การรับรู้จริง (P) ($E < P$) หมายความว่า ลูกค้าเกิดความพึงพอใจมาก หรือเป็นบริการที่เหนือความคาดหมายต่อการบริการซ่อมแซมห้องชุดที่ได้รับ

$$\text{ตัวบ่งชี้ค่าน้ำหนักความสำคัญ} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ย}}{\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน}} = \frac{\bar{X}}{SD} \quad (1)$$

3. วิธีการศึกษา

การศึกษากการเปรียบเทียบปัจจัยความแตกต่างระหว่างสภาพที่คาดหวัง และสภาพที่รับรู้จริงด้านคุณภาพของการบริการซ่อมแซมห้องชุดต่อการบรรลุความพึงพอใจของผู้พักอาศัยนี้ ได้แบ่งการศึกษาเป็น 8 ขั้นตอน ตามรายละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงลำดับความไม่พึงพอใจของลูกค้า ด้วยวิธีการเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักสิ่งที่คาดหวังกับค่าน้ำหนักการรับรู้จริง เพื่อหาผลต่างเป็นรายปัจจัยทั้งหมด 59 ปัจจัย โดยปัจจัยที่มีค่าผลต่างสูงแสดงว่าผู้พักอาศัยไม่พึงพอใจต่อยุทธศาสตร์ด้านการซ่อมแซมห้องชุดนั้นมากกว่าปัจจัยที่มีค่าผลต่างต่ำ ดังตารางที่ 1 ที่ได้จัดลำดับจากปัจจัยที่มีค่าผลต่างสูงสุดไปยังค่าที่มีผลต่างต่ำสุด ทั้งนี้ ปัจจัยที่มีค่าผลต่างที่สูงจึงควรให้ความสำคัญนำมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดผลต่างระหว่างสิ่งที่คาดหวังกับการรับรู้จริงให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้บรรลุความพึงพอใจของผู้พักอาศัย

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความคาดหวังและค่าน้ำหนักการรับรู้จริงความไม่พึงพอใจของการซ่อมแซมห้องชุด เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย

ลำดับ	ปัจจัยด้านการซ่อมแซมห้องชุด	E	P	E - P
1	กระบวนการทำงานเป็นไปตามแผนที่วางไว้	14.06	3.57	10.49
2	การซ่อมแซมให้เสร็จภายในการเข้าซ่อมเพียงครั้งเดียว	11.13	2.99	8.14
3	ผลงานหลังการซ่อมแซมสามารถใช้งานได้ปกติไม่มีปัญหาเพิ่มภายหลัง	11.82	3.89	7.93
4	การมีส่วนร่วมของผู้พักอาศัยในตัวเลือกต่าง ๆ ของการซ่อมแซม	10.64	2.95	7.69
5	ความละเอียดของงานฝีมือ	12.01	4.33	7.68
6	ความทนทานในขั้นสุดท้ายของการซ่อมแซม	12.05	4.57	7.48
7	การลดปัญหาที่เกิดขึ้นงานเมื่องานซ่อมแซมแล้วเสร็จ	10.99	4.20	6.79
8	ความพร้อมของเครื่องมือที่ใช้ในงานซ่อม	10.40	3.84	6.56
9	ความรับผิดชอบต่อเงื่อนไขสัญญาที่ได้มีการรับประกันผลงานหลังส่งมอบ	10.67	4.32	6.35
10	คุณภาพของผลงานในขั้นสุดท้ายมีความถูกต้องและได้มาตรฐาน	9.96	3.70	6.26
11	การตรวจรับงานทุกครั้ง หลังการซ่อมแซม	9.94	4.22	5.72
12	วัสดุที่นำมาใช้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดและถูกต้องตามแบบ มีการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ ก่อนนำมาใช้งาน	9.67	4.02	5.65
13	การส่งมอบผลงาน เสร็จทันตามระยะเวลาที่กำหนด	9.69	4.34	5.35
14	การเร่งรัดงานเพื่อให้เสร็จตามกำหนด เช่น การทำงานล่วงเวลา	8.95	3.90	5.05
15	การมีแรงงานเพียงพอกับงานที่ต้องทำและมีทักษะชำนาญงานเฉพาะด้าน	9.14	4.01	5.13
16	การหลีกเลี่ยงความเสียหายกับทรัพย์สินส่วนของผู้พักอาศัย	10.21	5.22	4.99
17	ความถูกต้อง ครบถ้วน ในการให้บริการ	9.21	4.45	4.76
18	ความรวดเร็วในการติดต่อแจ้งซ่อม	8.82	4.64	4.18
19	การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุงานซ่อมอย่างถูกต้อง	8.62	4.68	3.94
20	การควบคุม ตรวจสอบ และติดตามงานซ่อมแซมอย่างต่อเนื่อง	8.60	4.90	3.70

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยด้านการซ่อมแซมห้องชุด	E	P	E-P
21	ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงงาน มีความเหมาะสมกับรายละเอียดของงาน	7.46	4.00	3.46
22	การเก็บงาน และทำความสะอาดหลังซ่อมให้เรียบร้อย	8.38	4.99	3.39
23	การจัดหาผู้รับเหมารายย่อยเข้าทำงาน กรณีงานเร่งรัด	7.55	4.21	3.34
24	ผู้ปฏิบัติงานรู้ และเข้าใจวิธีปฏิบัติงานอย่างถูกต้อง	8.60	5.28	3.32
25	การจำกัด และการจัดเก็บขยะ และฝุ่นรอบ ๆ สถานที่ทำงาน	7.97	4.92	3.05
26	การใช้วิศวกรในการควบคุมงาน	7.20	4.23	2.97
27	คนงานมีความระมัดระวัง และไม่ประมาท	7.97	4.99	2.98
28	การประสานงานกับฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	7.64	4.70	2.94
29	การจัดเก็บวัสดุหน้างานต้องเรียบร้อย ลดการเกิดปัญหาคุณภาพ	7.86	4.94	2.92
30	การติดตามสัญญาการวางแผนการดำเนินการซ่อมแซม	7.72	5.03	2.69
31	พนักงานสามารถแก้ไขปัญหเฉพาะหน้าได้	7.60	4.97	2.63
32	การจัดเก็บสารเคมี และสารไวไฟต่าง ๆ อย่างเหมาะสม	7.55	4.95	2.60
33	การให้บริการตามตารางลำดับก่อนและหลังอย่างถูกต้องแม่นยำ	7.88	5.33	2.55
34	การกำหนดขอบเขตไว้ชัดเจนว่าให้ลูกค้าติดต่อกับใครในระหว่างการซ่อมแซม	7.92	4.81	2.51
35	ความรู้ในด้านกฎระเบียบ และกฎหมายควบคุมอาคารชุด	6.64	4.16	2.48
35	การรับฟัง และทำความเข้าใจกับปัญหาของลูกค้า	7.88	5.40	2.48
37	การรายงานความคืบหน้าในงานซ่อมแซม	7.96	4.52	2.44
38	การตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์ทั้งก่อนและหลังปฏิบัติงาน	6.79	4.38	2.41
39	การทำงานช่วงเวลายื่น และวันหยุดสุดสัปดาห์	6.00	3.67	2.33
39	การอธิบายรายละเอียดการซ่อมภายใต้เงื่อนไขการรับประกัน	7.24	4.91	2.33
41	ความรู้ความสามารถของพนักงานในการทำงานซ่อมแซม	7.81	5.52	2.29
42	การให้คำแนะนำเกี่ยวกับขั้นตอนการซ่อมแซมและข้อมูลด้านวิศวกรรม	7.09	4.94	2.15
43	ความกระตือรือร้น ความเต็มใจในการให้บริการและต้อนรับ	6.94	5.02	1.92
44	การช่วยร้องเรียน และการตอบสนองต่อความต้องการของผู้พักอาศัย	6.80	4.89	1.91
45	ระยะเวลาที่ให้คำปรึกษาเพียงพอ	7.36	5.46	1.90
46	พนักงานมีการให้บริการเป็นมาตรฐานเดียวกัน	7.26	5.44	1.82
47	การเคลื่อนย้ายเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์	6.87	5.09	1.78

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยด้านการซ่อมแซมห้องชุด	E	P	E - P
48	การป้องกันสิ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือน และเสียงรบกวน	6.64	5.06	1.58
49	ความโปร่งใส ซื่อสัตย์ และรับผิดชอบต่องาน	7.09	5.52	1.57
50	ความยืดหยุ่นในการนัดหมาย	6.61	5.07	1.54
51	ผู้รับเหมาทำงานกับผู้คุมงาน คนงานที่ไร้ปัญหา และข้อโต้แย้ง	6.78	5.32	1.46
52	ความสะดวกในการนัดหมายเข้ารับบริการของลูกค้า	6.80	5.39	1.41
53	มารยาท การแต่งกาย ยิ้มแย้มแจ่มใส และความเป็นมิตรของพนักงาน	7.18	5.77	1.41
54	พนักงานพยายามเข้าใจความต้องการของผู้พักอาศัย	6.73	5.33	1.40
55	คนงานซ่อมบำรุงสวมใส่เครื่องแบบ	6.38	5.06	1.32

หมายเหตุ: 1. E หมายถึง ความคาดหวัง

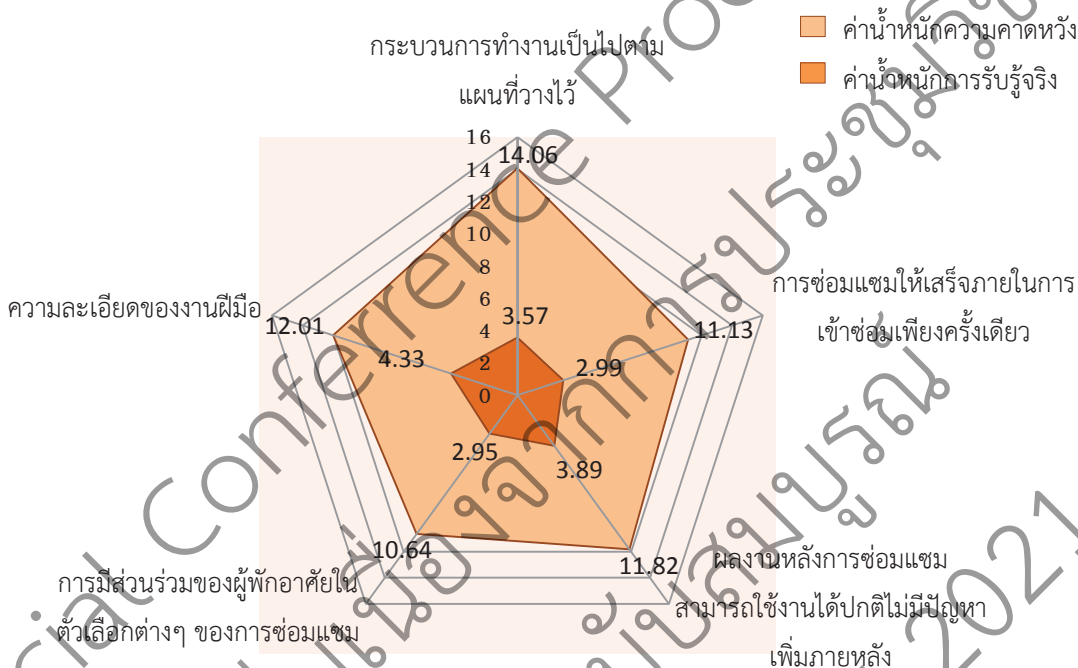
2. P หมายถึง การรับรู้จริง

3. * หมายถึง ปัจจัยที่ลูกค้าเกิดความพึงพอใจมาก

5. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

การเปรียบเทียบปัจจัยระหว่างสภาพที่คาดหวัง และสภาพที่รับรู้จริงด้านคุณภาพของการบริการซ่อมแซมห้องชุดต่อการบรรลุความพึงพอใจของผู้พักอาศัยจากทั้งหมด 59 ปัจจัย มีเพียงหนึ่งปัจจัยที่ลูกค้าเกิดความพึงพอใจมากหรือเป็นบริการที่เหนือความคาดหมาย คือ การบริการต้อนรับ และส่งลูกค้า ซึ่งมีค่าน้ำหนักความคาดหวัง (E) - ค่าน้ำหนักการรับรู้จริง (P) เท่ากับ -0.17 ส่วนอีก 58 ปัจจัยที่เหลือลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจซึ่งมีค่าน้ำหนักความคาดหวัง (E) - ค่าน้ำหนักการรับรู้จริง (P) อยู่ในระหว่าง 0.49 - 0.24 ซึ่งปัจจัย 5 อันดับแรกเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความพึงพอใจ โดยใช้กราฟเรดาร์ในการเปรียบเทียบดังแสดงตามรูปที่ 3 จะเห็นว่า ปัจจัยที่ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจมากที่สุด คือ มีค่าผลต่างระหว่างความคาดหวังกับการรับรู้จริงมากที่สุด นั่นเป็น 1) กระบวนการทำงานเป็นไปตามแผนที่วางไว้ 2) การซ่อมแซมให้เสร็จภายในการเข้าซ่อมเพียงครั้งเดียว 3) ผลงานหลังการซ่อมแซมสามารถใช้งานได้ปกติไม่มีปัญหาเพิ่มเติมภายหลัง 4) การมีส่วนร่วมของผู้พักอาศัยในตัวเลือกต่าง ๆ ของการซ่อมแซม 5) ความละเอียดของงานฝีมือ ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยของเทวกุล จันทร์ขามป้อม [11] ได้ให้ข้อเสนอแนะแนวทางที่จะช่วยเพิ่มความพึงพอใจให้ผู้พักอาศัย ดังนี้ 1) การบริการหลังการขายใช้ช่างที่มีฝีมือและให้เหมาะสมกับงาน 2) การติดตามดูการทำงาน และวิธีการทำงานของคนงานทุกครั้ง 3) ในกรณีที่ลูกค้าอยู่ห้องจะให้ลูกค้าดูหน้างานทุกครั้งและสามารถสั่งแก้ไขงานในส่วนที่ลูกค้ามองเห็นว่าไม่มีคุณภาพ หรือไม่สวยงาม 4) การให้ลูกค้าแจ้งความประสงค์ขอเลือกวัสดุและอุปกรณ์ หรือวิธีการซ่อมแซมก่อนดำเนินการซ่อมแซม ซึ่งต้องเป็นรูปแบบเดิมของทางโครงการ เช่น สี กระเบื้อง หลอดไฟ และก๊อกน้ำ เป็นต้น แต่ถ้าลูกค้าจะเปลี่ยนเป็นสิ่งอื่นนอกเหนือจากแบบเดิมของโครงการ ผู้รับเหมาสามารถทำได้แต่อาจจะมีการใช้จ่ายเพิ่มเติม 5) การตรวจรับงานกับลูกค้าทุกครั้ง หรือในกรณีที่ลูกค้าไม่อยู่ต้องโทรแจ้งรายละเอียดของงานซ่อม 6) ผู้รับเหมาพยายามซ่อมงานที่ได้รับให้เสร็จภายใน 1 วัน 7) ผู้รับเหมาเตรียมคนงาน วัสดุ และอุปกรณ์ให้พร้อมในการซ่อมแต่ละวัน 8) ผู้รับเหมานัดหมายวันและเวลาให้ชัดเจนกับลูกค้า

จากผลการศึกษาที่ผู้ประกอบการหรือเจ้าของโครงการ สามารถนำข้อมูลปัจจัยที่ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจด้านงานบริการซ่อมแซมห้องชุดไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวางแผน และจัดระบบการบริการงานซ่อมแซมสำหรับโครงการใหม่ ๆ ในอนาคตได้ เพื่อช่วยลดปัญหาในการร้องเรียนไปยังสำนักงานผู้บริโภค (สคบ.) และยังสามารถแก้ปัญหาเรื่องการเรียกร้องค่าเสียหายในภายหลัง พร้อมทั้งยังสร้างความเชื่อมั่นในตราบริษัทให้ผู้บริโภคได้อีกด้วย ส่วนในการวิจัยครั้งต่อไปผู้ที่สนใจอาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการซ่อมแซมของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ประเภทอื่น ที่นอกเหนือจากบริษัทพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ที่มีรายชื่อการจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย หรือทำการศึกษาเพิ่มเติมให้ครอบคลุมเนื้อหาในด้านอื่นที่แตกต่างจากงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อให้เกิดประโยชน์และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการทำงานของฝ่ายที่เกี่ยวข้องต่อไป



รูปที่ 3 ค่าผลต่างระหว่างความคาดหวังกับการรับรู้จริงที่ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจ 5 อันดับแรก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค. สถิติรับเรื่องร้องเรียนจากผู้บริโภคในระบบร้องทุกข์ผู้บริโภค ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 2563 กันยายน 27]. เข้าถึงได้จาก www.ocpb.go.th/
- [2] ณิชกุลพันธ์ เจริญนันท. การจัดการทรัพยากรมนุษย์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2545.
- [3] Chen, J. and Paulraj, A. Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of Operations Management*. 2004; 22: 119–150.
- [4] Hirschman, A.O. *Exit, Voice and Loyalty*. United of America: The president and fellows of Havard college; 1970.

- [5] Schmidt, F. and Strickland, T. Client satisfaction surveying: common measurements tool. Canada: Canadian center for management development; 1998.
- [6] Oliver, R.L. Cognitive, affective, and attribute bases of the satisfaction response. Journal of consumer research. 1993; 20(3): 418-430.
- [7] Sin-Sungsut, W.R. and W. Customer satisfaction development method, 9th ed. Bangkok: Siam mit printing; 1995
- [8] Torbica, Z.M. and Stroh, R.C. Customer satisfaction in home building. Construction engineering and management. 2001; 127(1): 82-86.
- [9] Kärnä, S. Analysing customer satisfaction and quality in construction – the case of public and private customers. Nordic journal of surveying and real estate research-Special series. 2004; 11(2): 7-19.
- [10] วันชัย ไชยมหาพฤกษ์. การศึกษาความพึงพอใจในการบริการหลังการขายของลูกค้า บริษัท สุโขทัยฮอนด้าคาร์ส์ จำกัด จังหวัดสุโขทัย [วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการบริหารธุรกิจ] เชียงใหม่; 2541.
- [11] เทวกุล จันทร์ขามป้อม พิศพันธ์ ชาญวสุนันท์ และพรินธิ อักษร. การจัดลำดับปัจจัยที่มีความสำคัญด้านการบริการหลังการขายของการซ่อมแซมห้องชุด. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 2562; 30(1): 33-46.
- [12] Lehmann, D.R Market research and analysis. 3rd ed. Homewood, IL: Irwin; 1989.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การศึกษาหาความต้องการด้านความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับ
วิศวกรอุตสาหกรรมในมุมมองของภาคอุตสาหกรรม
Study of the Essential Knowledge and Skills for Industrial Engineer
from the Industry Point of View

ณัฐธิดา มีนิลดี^{1*} จุฬาลักษณ์ โสภา² และ กุศล พิมพพันธุ์ศรี³
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ^{1,2,3}

Nattida Meenildee^{1*} Julaluck Sopa² and Kusol Pimapunsri³
Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.^{1,2,3}
E-mail : s6101091810093@email.kmutnb.ac.th^{1*}, s6101093856511@email.kmutnb.ac.th²
and kusol.p@eng.kmutnb.ac.th³

บทคัดย่อ

การพัฒนาหลักสูตรเพื่อให้ผู้เรียนได้มีความรู้และทักษะที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้บัณฑิตเป็นสิ่งที่ทำนายสำหรับสถานศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลักสูตรด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากและรวดเร็วในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการด้านความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมในมุมมองของภาคอุตสาหกรรม การศึกษานี้ได้นำแบบสอบถามออนไลน์และวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก มาใช้ในการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญและบุคคลที่มีประสบการณ์ในระดับตำแหน่งต่าง ๆ ในภาคอุตสาหกรรม และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการทางสถิติและวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา ผลจากการวิจัยชี้ให้เห็นว่าความรู้ที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความเห็นว่ามีความจำเป็นมากที่สุดสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรม คือ การวิเคราะห์โครงสร้างงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การบริหารงานโครงการ และระบบการบริหารคุณภาพและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ทักษะทางสังคมที่จำเป็นสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรม คือ การทำงานระหว่างบุคคล การทำงานเป็นทีม การสื่อสาร ความคิดสร้างสรรค์และความซื่อสัตย์ จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหกรรมต่อไป

คำสำคัญ : วิศวกรรมอุตสาหกรรม อุตสาหกรรม ความรู้ ทักษะทางสังคม

Abstract

One of the most challenge of curriculum development is how to develop and maintain the curriculum to meet the requirements of the stakeholders. Engineering curriculum at higher education is one of those that are challenging to respond to a rapidly changing environment. Graduate engineer is expected to be prompt to work in the industry which is affected from the rapid changes of the technology and the age of disruption. This research aims to study the essential knowledge and skills for industrial engineer to meet the requirements of the industry.

Online questionnaire and in-depth interview are used to collect the data from experts and experienced people in different management level, in the area of education and industry sector. The collected data were analyzed by quantitative statistical method and qualitative content analysis. The result shows that the essential knowledge for graduate industrial engineer are network analysis and optimization, project management, quality management system while the soft skills are imperative, particularly, interpersonal skill and teamwork, communication skill, creativity and integrity. This result is fruitful and will be further to fulfill in the development of industrial engineering curriculum.

Keywords : Industrial Engineering, Industry, Knowledge, Soft Skills

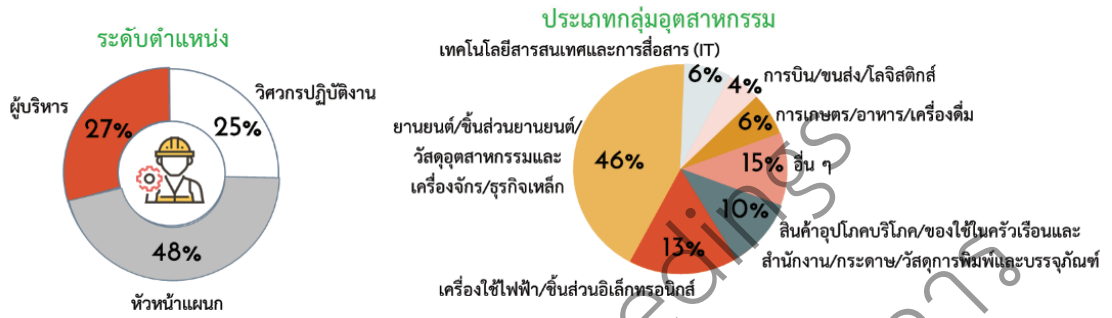
1. บทนำ

การพัฒนาศักยภาพของแรงงานให้มีความรู้และความสามารถนั้นส่วนหนึ่งมาจากหลักสูตรการศึกษาในระดับอุดมศึกษาซึ่งถือได้ว่าเป็นต้นน้ำของการพัฒนาคุณภาพของแรงงานให้มีความรู้และความสามารถที่ตอบโจทย์กับลักษณะการทำงานในแต่ละสาขาอาชีพมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันที่ภาคอุตสาหกรรมทั่วโลกเริ่มมีการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ เข้ามาใช้ในกระบวนการทำงานมากขึ้น วิศวกรอุตสาหกรรมเป็นหนึ่งในอาชีพที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพและให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด อย่างไรก็ตามบางชุดความรู้ของวิศวกรอุตสาหกรรมในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยเทคโนโลยี ในขณะที่ชุดความรู้ใหม่หรือทักษะใหม่ที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปกลับกลายเป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นหน่วยงานภาคการศึกษาในฐานะผู้รับผิดชอบหลักสูตรจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องให้ความสำคัญ เรียนรู้ และปรับปรุงหลักสูตรการศึกษาให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงและความต้องการของภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นผู้ใช้บัณฑิต งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคม (Soft Skills) ที่จำเป็นสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมจากมุมมองของภาคอุตสาหกรรม โดยมุ่งเป้าไปที่หลักสูตรระดับปริญญาตรี ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ที่ทำงานในระดับบริหารงานต่าง ๆ ของกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายของหลักสูตรนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหรือปรับปรุงหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหกรรมให้สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 กลุ่มตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในกลุ่มผู้ใช้บัณฑิตจากหลากหลายอุตสาหกรรมภายในประเทศไทยซึ่งเป็นบริษัทที่มีศิษย์เก่าของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือปฏิบัติงานอยู่ ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกซึ่งถือเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย โดยมีผู้ให้ข้อมูลจำนวน 48 ท่าน แบ่งเป็นผู้ตอบแบบสอบถามออนไลน์และสัมภาษณ์เชิงลึกจำนวน 40 ท่าน และผู้ตอบแบบสอบถามออนไลน์เพียงอย่างเดียวจำนวน 8 ท่าน รายละเอียดระดับตำแหน่งและประเภทอุตสาหกรรมของผู้ให้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้อมูลสัดส่วนของผู้ให้ข้อมูล

2.2 เครื่องมือและขั้นตอนการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามออนไลน์ (Online Questionnaire) เพื่อสำรวจความสำคัญของความรู้และทักษะทางสังคมที่จำเป็นของวิศวกรอุตสาหกรรม โดยใช้ Likert Scale 5 point [1] ซึ่งทางผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรของความรู้และทักษะทางสังคมจากการทบทวนวรรณกรรม [1] – [4] และกำหนดเป็นตัวแปรสำหรับการประเมินความสำคัญด้านความรู้ 38 ตัวแปรและด้านทักษะทางสังคม 20 ตัวแปร และส่วนที่ 2 การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) เพื่อสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมจากข้อมูลการประเมินความสำคัญที่ได้จากแบบสอบถามโดยเป็นการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured Interview) [5] แบบรายบุคคล มีลักษณะคำถามเป็นแบบปลายเปิดเพื่อให้สามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังรูปที่ 2

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามที่เป็นการสำรวจระดับความสำคัญของความรู้และทักษะทางสังคมนั้น จะใช้หลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยความสำคัญของความรู้และทักษะทางสังคมในกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะพิจารณาตามเกณฑ์ [6] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแปลผลค่าเฉลี่ยความสำคัญของความรู้และทักษะทางสังคม

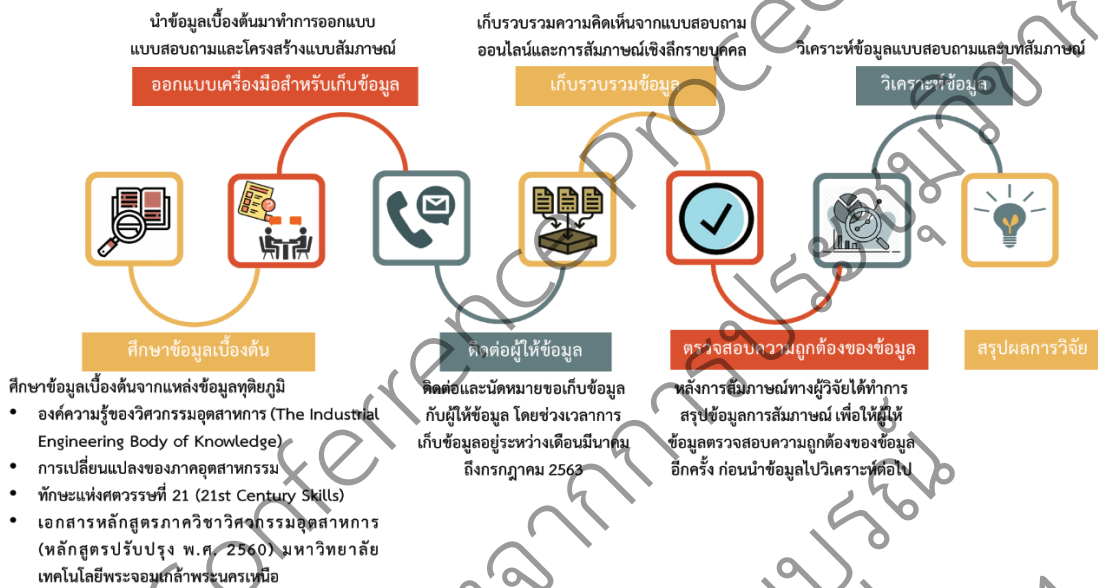
คะแนนเฉลี่ย	ความหมาย	คะแนนเฉลี่ย	ความหมาย
4.21 – 5.00	จำเป็นมากที่สุด	1.81 – 2.60	จำเป็นน้อย
3.41 – 4.20	จำเป็นมาก	1.00 – 1.80	จำเป็นน้อยที่สุด
2.61 – 3.40	จำเป็นปานกลาง		

จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One-Way ANOVA [7] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยพิจารณาภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

สมมติฐานที่ 1 ความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมของผู้ใช้บัณฑิตในแต่ละระดับตำแหน่งแตกต่างกันหรือไม่

สมมติฐานที่ 2 ความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมของผู้ใช้บัณฑิตในแต่ละประเภทอุตสาหกรรมแตกต่างกันหรือไม่

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกจะใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) [8] โดยการวิเคราะห์ประเด็นสำคัญ (Major Themes) ของข้อมูลที่ได้ จัดหมวดหมู่ของข้อมูลให้ชัดเจนและนับจำนวนความถี่ของข้อมูลที่ถูกล่ามึงจากบทสัมภาษณ์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะพิจารณาความต้องการภายใต้ขอบเขตงานของวิศวกรรมอุตสาหกรรมและนำเสนอผลการวิจัยด้วยวิธีการเชิงบรรยาย



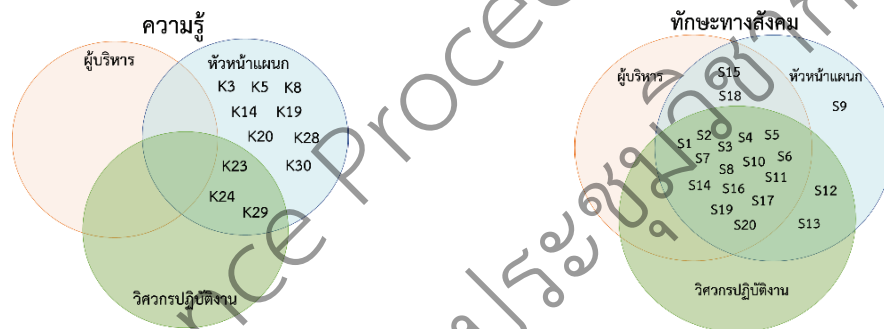
รูปที่ 2 ขั้นตอนการวิจัย

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

3.1 ความรู้และทักษะทางสังคมที่จำเป็นสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมจากมุมมองของภาคอุตสาหกรรม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมในมุมมองของภาคอุตสาหกรรม พบว่าความรู้ที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความเห็นว่ามีค่ามากที่สุด คือ K3 (การวิเคราะห์โครงการ) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ), K22 (การบริหารโครงการ) และ K24 (ระบบการบริหารงานคุณภาพและการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง) ซึ่งขอบเขตความสามารถที่ภาคอุตสาหกรรมได้ให้ข้อมูลเพิ่มเติมจากการสัมภาษณ์เชิงลึกนั้นคือ วิศวกรอุตสาหกรรมรุ่นใหม่ควรจะสามารถประยุกต์ ใช้การจัดการและเปลี่ยนแปลงชุดข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจโดยอาศัยเทคโนโลยีและสารสนเทศ (IT Literacy) รวมถึงวิธีการทั้งทางฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Benesova [9] ที่กล่าวว่าความรู้ที่จำเป็นในอนาคตอาจจะไม่แตกต่างจากสิ่งที่ต้องการในปัจจุบันมากนักแต่ถือว่ายังคงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 จะเป็นการใช้ระบบอัตโนมัติทำงานแทนแรงงานคนอย่างเต็มรูปแบบ แต่โรงงานอัจฉริยะเหล่านั้นยังจะต้องควบคุมภายใต้ความสามารถของวิศวกรเช่นเดิม และในส่วนองทักษะทางสังคมที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความเห็นว่ามีค่ามากที่สุดคือ S1 (ทักษะมนุษยสัมพันธ์และ

ความสามารถในการทำงานเป็นทีม) S2 (การนำเสนอ) S3 (การสื่อสาร) S4 (การคิดอย่างมีวิจารณญาณ) S5 (การเรียนรู้ตลอดชีวิต) S6 (ความเป็นผู้นำ) S7 (การแก้ปัญหาและการตัดสินใจทางวิศวกรรม) S8 (ความคิดสร้างสรรค์) S9 (การเจรจาต่อรอง) S10 (การปรับตัว) S11 (การบริหารจัดการเวลา) S12 (การบริหารจัดการคน) S13 (กล้านำเสนอความคิดเห็น) S14 (การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น) S15 (ความยืดหยุ่น) S16 (ความรับผิดชอบ) S17 (ความซื่อสัตย์) S18 (ความเอื้อเฟื้อ) S19 (ทัศนคติเชิงบวก) และ S20 (ความมีวินัย) กล่าวคือ โบนัสมองของภาคอุตสาหกรรมนั้นทุกตัวแปรด้านทักษะทางสังคมล้วนมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 3 ความสอดคล้องของระดับตำแหน่งกับความรู้และทักษะทางสังคมที่จำเป็นของวิศวกรอุตสาหกรรม

3.2 ระดับตำแหน่งกับความสำคัญของความรู้และทักษะทางสังคมที่จำเป็นของวิศวกรอุตสาหกรรม

จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยความสำคัญจากแบบสอบถามในด้านความรู้และทักษะทางสังคมในแต่ละระดับตำแหน่งโดยพิจารณาเฉพาะความรู้และทักษะทางสังคมที่มีความจำเป็นมากที่สุดแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าในส่วนของความรู้ตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับจำเป็นมากที่สุด ส่วนใหญ่เกิดจากมุมมองของหัวหน้าแผนกซึ่งเป็นบุคคลที่เชื่อมโยงกับวิศวกรโดยตรงทั้งในด้านการพิจารณาเพื่อเข้าร่วมงานและการควบคุมการดำเนินงานของวิศวกร ดังนั้นหัวหน้าแผนกจึงเป็นระดับตำแหน่งที่สามารถอ้างอิงความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมของวิศวกรอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยเมื่อจัดนำความรู้ในระดับจำเป็นมากที่สุดมาจัดหมวดหมู่พบว่า เป็นความรู้ในวิชาเฉพาะภาคของวิศวกรรมอุตสาหกรรม นั่นก็คือ K3 (การวิเคราะห์โครงสร้างงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ), K5 (การตัดสินใจด้วยการวิเคราะห์อย่างมีหลักการ), K8 (การวิเคราะห์ระบบต้นทุน, จุดคุ้มทุน, ภาษี และงบประมาณในอุตสาหกรรม), K14 (การประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล), K19 (การออกแบบระบบการทำงานระหว่างมนุษย์-เครื่องจักรโดยคำนึงถึงความสามารถและข้อจำกัดของมนุษย์), K23 (การบริหารและควบคุมปริมาณสินค้าในห่วงโซ่อุปทาน) และ K24 (ระบบการบริหารงานคุณภาพและการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง) ภายใต้อุปสรรคที่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานสำหรับงานทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในส่วนของทักษะทางสังคมเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยระดับจำเป็นมากที่สุดพบว่าในทุกระดับตำแหน่งมีความเห็นไปในทิศทางเดียวกันว่าทักษะทางสังคมส่วนใหญ่ที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรม ยกตัวอย่างเช่นตัวแปรที่ S3 (การสื่อสาร) เป็นทักษะทางสังคมที่ทุกระดับตำแหน่งให้ความเห็นว่ามีมีความสำคัญสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh [10] ที่กล่าวว่าทักษะการสื่อสารถือเป็นทักษะทางสังคมที่สำคัญในการพิจารณารับเข้าทำงานของผู้ใช้บัณฑิตและจากข้อมูลค่าเฉลี่ยความสำคัญข้างต้นเมื่อนำมาพิจารณาเพิ่มเติมด้วยการเปรียบเทียบเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย One-Way ANOVA ตามสมมติฐาน

ที่ 1 พบว่าความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมของผู้ใช้บัณฑิตในแต่ละระดับตำแหน่งมีค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผู้ใช้บัณฑิตในแต่ละระดับตำแหน่งนั้นมีความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

3.3 ประเภทอุตสาหกรรมกับความสำคัญของความรู้และทักษะทางสังคมที่จำเป็นของวิศวกรอุตสาหกรรม

ความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมเมื่อพิจารณาตามประเภทอุตสาหกรรมจะพบว่าความรู้ที่มีค่าเฉลี่ยในระดับจำเป็นมากที่สุดและเป็นความรู้ที่อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ต้องการมากที่สุด (ตารางที่ 2) คือ K32 (หลักการและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ Automation ในอุตสาหกรรมการผลิต) ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มและยุทธศาสตร์ของประเทศที่ภาครัฐได้มีการวางแผนแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมภายในประเทศไว้ [4] และในส่วนของทักษะทางสังคมตัวแปรที่ทุกประเภทอุตสาหกรรมมองว่ามีความจำเป็นสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรม (ตารางที่ 3) นั้นคือ S1 (ทักษะมนุษยสัมพันธ์และความสามารถในการทำงานเป็นทีม), S6 (การสื่อสาร), S8 (ความคิดสร้างสรรค์) และ S17 (ความซื่อสัตย์) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของผลการศึกษางานวิจัยของ Robles [11] ที่ได้เสนอไว้ว่าทักษะทางสังคมที่ผู้ใช้บัณฑิตต้องการจากบัณฑิตจบใหม่มากที่สุด คือ ความซื่อสัตย์และจรรยาบรรณวิชาชีพ และจากข้อมูลการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ใช้บัณฑิตส่วนใหญ่ได้ระบุว่าทักษะด้านการทำงานเป็นทีมและความคิดสร้างสรรค์นั้นมีความจำเป็นอย่างมากในการปฏิบัติงาน เนื่องจากลักษณะการทำงานของวิศวกรอุตสาหกรรมนั้นไม่สามารถดำเนินงานเพียงคนเดียวได้จะต้องมีการติดต่อและประสานงานกับบุคคลอื่นอยู่ตลอดเวลา และจากข้อมูลค่าเฉลี่ยความสำคัญข้างต้นเมื่อนำมาพิจารณาเพิ่มเติมด้วยการเปรียบเทียบเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย One-Way ANOVA ตามสมมติฐานที่ 2 พบว่าความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมของผู้ใช้บัณฑิตในแต่ละประเภทอุตสาหกรรมมีค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าอุตสาหกรรมเป้าหมายส่วนใหญ่มีความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรม เป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้เบื้องต้นสามารถนำไปประกอบการพิจารณาเพื่อพัฒนาหลักสูตรการศึกษาต่อไปได้

3.4 ตัวอย่างการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงหลักสูตร

จากการศึกษาข้างต้นเมื่อต้องการนำข้อมูลการวิเคราะห์ไปใช้ประกอบการพัฒนาหลักสูตรสามารถพิจารณาข้อมูลที่เหมาะสมกับเป้าหมายของหลักสูตรได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

หากเป้าหมายของหลักสูตรการศึกษาต้องการที่จะสร้างวิศวกรอุตสาหกรรมเพื่อตอบโจทย์การทำงานในอุตสาหกรรมประเภทยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์เป็นหลัก ความรู้และทักษะทางสังคมที่ทางภาควิชาจะต้องพิจารณานั้นก็คือความรู้ในเรื่องของ การวิเคราะห์โครงสร้างงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (K3) และการบริหารและควบคุมปริมาณสินค้าในห่วงโซ่อุปทาน (K23) พร้อมทั้งพิจารณาความต้องการเพิ่มเติมในมุมมองของหัวหน้าแผนก ผู้ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับวิศวกรอุตสาหกรรมจะพบว่าความต้องการด้านความรู้ที่สอดคล้องกันเพียงแต่ผู้ใช้บัณฑิตส่วนใหญ่จำเป็นต้องทำให้วิศวกรมีความรู้ความสามารถในเรื่องของการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในด้านการวิเคราะห์และบริหารจัดการข้อมูล รวมถึงความรู้ในเรื่องวิชาเฉพาะภาคของวิศวกรรมอุตสาหกรรม เช่น Work Study, Economic เป็นต้น เมื่อพิจารณาผลการศึกษาดังกล่าวแล้ว ภาควิชาสามารถนำไปเปรียบเทียบกับหลักสูตรปัจจุบันเพื่อหาจุดร่วมในการพัฒนาหลักสูตรให้ตอบโจทย์กับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในอนาคตต่อไปได้

ตารางที่ 2 ความสอดคล้องของประเภทอุตสาหกรรมกับความรู้ที่จำเป็นของวิศวกรอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับจำเป็นมากที่สุด																								
	K1	K2	K3	K5	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K18	K19	K20	K22	K23	K24	K27	K28	K29	K30	K32	K33
T1		/	/	/	/	/	/	/												/				/	
T2	/			/		/							/	/	/			/			/		/	/	
T3			/															/							
T4	/			/	/	/			/	/	/	/	/			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
T5		/	/	/	/	/	/	/																	/
T6			/									/			/			/		/	/		/	/	/
T7																		/							
รวม	2	2	4	4	3	4	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	4	3	1	3	3	2	5	1

* แสดงเฉพาะตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ยระดับจำเป็นมากที่สุด

*T1: การเกษตร/อาหาร/เครื่องดื่ม, T2: สินค้าอุปโภคบริโภค/ของใช้ในครัวเรือนและสำนักงาน/กระดาษ/วัสดุการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์, T3: ยานยนต์/ชิ้นส่วนยานยนต์/วัสดุอุตสาหกรรมและเครื่องจักร/ธุรกิจเหล็ก, T4: การบิน/ขนส่ง/โลจิสติกส์, T5: เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (IT), T6: เครื่องใช้ไฟฟ้า/ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และ T7 : อื่น ๆ

ตารางที่ 3 ความสอดคล้องของประเภทอุตสาหกรรมกับทักษะทางสังคมที่จำเป็นของวิศวกรอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับจำเป็นมากที่สุด																							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20				
T1	/	/	/		/	/	/	/			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
T2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
T3	/	/	/	/	/		/	/						/	/	/	/	/	/	/			/	
T4	/		/	/		/		/			/							/						/
T5	/	/	/	/	/		/	/			/	/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
T6	/	/	/	/	/	/	/	/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
T7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
รวม	7	6	7	6	6	5	5	7	2	6	5	6	4	6	6	6	7	4	6	5				

* T1: การเกษตร/อาหาร/เครื่องดื่ม, T2: สินค้าอุปโภคบริโภค/ของใช้ในครัวเรือนและสำนักงาน/กระดาษ/วัสดุการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์, T3: ยานยนต์/ชิ้นส่วนยานยนต์/วัสดุอุตสาหกรรมและเครื่องจักร/ธุรกิจเหล็ก, T4: การบิน/ขนส่ง/โลจิสติกส์, T5: เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (IT), T6: เครื่องใช้ไฟฟ้า/ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และ T7 : อื่น ๆ

4. สรุปผลการศึกษา

ความรู้และทักษะทางสังคมของวิศวกรอุตสาหกรรมที่ภาคอุตสาหกรรมต้องการนั้นมักจะเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์และการพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งบทสรุปของงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรม ในช่วงปี พ.ศ. 2563 ภายใต้มุมมองของภาคอุตสาหกรรมที่กำลังพัฒนาเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 จากการศึกษาโดยการรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์และการสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่าความรู้ที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความเห็นว่ามีค่ามากที่สุด คือ การวิเคราะห์โครงสร้างงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การบริหารงานโครงการ และระบบการบริหารคุณภาพและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้แนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานมากที่สุด และในส่วนของทักษะทางสังคมนั้นภาคอุตสาหกรรมให้ทักษะมนุษย์สัมพันธ์และความสามารถในการทำงานเป็นทีม การนำเสนอ การสื่อสาร การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การเรียนรู้ตลอดชีวิต ความเป็นผู้นำ การแก้ปัญหาและการตัดสินใจทางวิศวกรรม ความคิดสร้างสรรค์ การเจรจาต่อรอง การปรับตัว การบริหารจัดการเวลา การบริหารจัดการคน กล้านำเสนอความคิดเห็น การรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ความยืดหยุ่น ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์ ความเอื้อเฟื้อ ทัศนคติเชิงบวก และความมีวินัยอยู่ในระดับที่จำเป็นมากที่สุดสำหรับวิศวกรอุตสาหกรรม โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในแต่ละระดับตำแหน่งและแต่ละประเภทอุตสาหกรรม พบว่าความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นความต้องการด้านความรู้และทักษะทางสังคมนี้อาจนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอนได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาคีวิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้มอบทุนวิจัยและให้การสนับสนุนงานทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Khaled Alshare. A Gap Analysis of Business Students Skills In the 21st Century A Case Study of Qatar. Academy of Educational Leadership Journal. 2018; 22(1) : 1-22.
- [2] Institute of Industrial and Systems Engineers. The Industrial Engineering Body of Knowledge [Internet]. 2020 [cited 2020 February 3] available from : <https://www.iise.org/Details.aspx?id=43631>
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. รายงานประจำปี 2561 [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 2563 มีนาคม 7]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.oie.go.th/view/1/รายงานประจำปี/TH-TH>
- [4] Deangelis, S. STEM Education Helps Teach Skills Necessary for 21st Century Success. [Internet]. 2015 [cited: 2020 March 7]. available from: <https://www.enterrasolutions.com/blog/stem-education-helps-teach-skills-necessary-for-21st-century-success>
- [5] K. Kövesi. Industry Perception of New Engineering Graduates: The Gap Between Requirements and Reality. 44-th SEFI Conference; 2016 September 12-15; Tampere, Finland : 12-15.

- [6] Patacsil, F. and Tablatin. Exploring The Importance Of Soft And Hard Skills As Perceived By It Internship Students And Industry: A Gap Analysis. *Journal of Technology and Science Education*. 2017; 7(3) : 347-368.
- [7] นิภาพร ขำสะอาด. อำนาจการทดสอบของการใช้สถิติการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย. [ปริญญา นิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552
- [8] Bekir Yildirim. Determination of The Effects of Stem Education Approach on Career Choices of Gifted and Talented Students. *Malaysian Online Journal of Educational Sciences*. 2020; 8(3) : 1-13.
- [9] Benesova, A. Requirements for Education 4.0 and Study Programs within Industry 4.0. *The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*; 2019 July 23-26; Pilsen : Czech Republic; p.1678-1686.
- [10] Parmjit Singh, Roslind Xaviour Thambusamy and Mohd Adlan Ramly. Fit or Unfit? Perspectives of Employers and University Instructors of Graduates' Generic Skills. *Social and Behavioral Sciences*. 2014; (123) : 315-324.
- [11] Marcel M. Robles. Executive Perceptions of the Top 10 Soft Skills Needed in Today's Workplace. *Business Communication Quarterly*. 2012; 75(4) : 453-465.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

การศึกษาหาทักษะที่สำคัญและปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการ
A Study of Essential Skills and Factors Influencing Project Success

จุฬาลักษณ์ โสภา^{1*} ณัฐธิดา มีนิลดี² และ กุศล พิมาพันธุ์ศรี³
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ^{1*,2,3}

Julaluck Sopa^{1*} Nattida Meenildee² and Kusol Pimapunsi³
Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology North Bangkok^{1*,2,3}
E-mail : s6101093856511@email.kmutnb.ac.th¹ , s6101091810093@email.kmutnb.ac.th²
kusol.p@eng.kmutnb.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการและเพื่อศึกษาหาความรู้และทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ได้แก่ กลุ่มผู้ที่มีส่วนร่วมและผู้สนใจทำงานโครงการจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามออนไลน์และการสัมภาษณ์แบบเชิงลึก จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเชิงปริมาณ โดยนำข้อมูลคะแนนความสำคัญของปัจจัยและทักษะที่ได้จากแบบสอบถามมาทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระกัน และวิธีการเชิงคุณภาพ ตีความเนื้อหา การวิเคราะห์ผลจากแบบสอบถามพบว่าผู้ที่มีประสบการณ์ในงานโครงการให้ความสำคัญกับ 1) ปัจจัยเป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน 2) ปัจจัยความชัดเจนของขอบเขตของโครงการ 3) ทักษะการทำงานเป็นทีม 4) ทักษะคิดต่อการทำงาน 5) ทักษะการสื่อสารมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่ไม่ได้มีประสบการณ์ในงานโครงการ สำหรับผู้ที่มีประสบการณ์ในงานโครงการนวัตกรรมจะให้ความสำคัญกับ 1) ปัจจัยซอฟต์แวร์/เครื่องมือที่ใช้ในการบริหารโครงการ 2) ปัจจัยแรงจูงใจในทีม 3) ทักษะความคิดสร้างสรรค์ 4) ทักษะการนำเสนอมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่มีประสบการณ์ในงานโครงการที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานนวัตกรรม เมื่อนำผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึกพบว่าผลลัพธ์สอดคล้องกัน คือ 1) ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการ ได้แก่ เป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน ความชัดเจนของขอบเขตของโครงการ ประสิทธิภาพการสื่อสารในโครงการ การตั้งเป้าหมายในการกำหนดส่งงาน การทำงานเป็นทีมที่มีประสิทธิภาพ และวัฒนธรรมองค์กร 2) ทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ ได้แก่ การทำงานเป็นทีม เข้าใจวัตถุประสงค์ของโครงการ ทักษะคิดต่อการทำงาน และการมีความรับผิดชอบในหน้าที่ของตนเอง

คำสำคัญ : การบริหารโครงการ ความสำเร็จของโครงการ ปัจจัยความสำเร็จ ทักษะที่สำคัญ

Abstract

This research aims to study the essential skills and the factors that influence project success. The data was collected by online questionnaire and in-depth interview from both experienced and non-experienced people, different management level and organization. The collected data from the online questionnaire and the in-depth interview were analyzed by

quantitative method (independent samples t-test) and qualitative content analysis respectively. The result from the t-test shows that the experienced people pay much more attention to the following factors and skills more than the non-experienced people: 1) clarity of project goal and measurement, 2) clearly defined project scope statement, 3) teamwork, 4) work attitude and 5) communication skills. Yet, the experienced people in innovative projects also pay much more attention to 1) software/ tools used in project management 2) team motivation, 3) creativity and 4) presentation skills; compared to those who have not experience with innovative projects. Furthermore, the results from both t-test and content analysis show that the essential skills and the factors influencing project success are clarity of project goal and measurement, clearly defined project scope statement, efficient communication, deliverable milestones, efficient teams, organization culture, teamwork, understanding of project objective, work attitude and self-responsibility.

Keywords : Project Management, Project Success, Success Factors, Essential Skills

1. บทนำ

การบริหารงานโครงการเป็นการประยุกต์ใช้กระบวนการ วิธีการ เครื่องมือ ความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ของผู้ดำเนินการโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์โครงการและเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยทั่วไปองค์กรต่าง ๆ จะขับเคลื่อนตามกลยุทธ์องค์กรผ่านกิจกรรมที่อยู่ในรูปแบบโครงการต่าง ๆ ดังนั้นบุคลากรที่มีความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ด้านงานโครงการจึงเป็นที่ต้องการขององค์กร จะเห็นได้จากความต้องการตำแหน่งงานจำนวนมากเกี่ยวกับงานโครงการ ยกตัวอย่างเช่น หากทำการค้นหาตำแหน่งงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานโครงการในเว็บไซต์หางานที่เป็นที่รู้จักด้วยคำสำคัญดังเช่น “Project Engineer” หรือ “Project Manager” จะพบว่ามียากกว่า 100 บริษัทที่มีความต้องการบุคลากรในตำแหน่งงานโครงการ [1] ดังนั้นความรู้และทักษะด้านการบริหารงานโครงการจึงนับว่าเป็นหนึ่งในทักษะพื้นฐานที่จำเป็นอย่างยิ่งในยุคปัจจุบัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความรู้และทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ และปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการบริหารงานโครงการ โดยพิจารณาในมุมมองต่าง ๆ เช่น ระดับตำแหน่งบริหาร ประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม ประสบการณ์การทำงานโครงการ ประเภทงานโครงการ เป็นต้น งานวิจัยนี้คาดหวังผลลัพธ์ คือ 1) ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการบริหารงานโครงการเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและพัฒนาการบริหารงานโครงการ 2) ทราบทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการเพื่อเป็นตัวชี้วัดในการคัดเลือกบุคลากรที่เหมาะสมกับการทำงานโครงการ โดยผลลัพธ์นี้จะเป็ประโยชน์ต่อการออกแบบหลักสูตรฝึกอบรมและการพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาเกี่ยวกับการบริหารโครงการให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนและผู้ใช้บัณฑิตได้

2. วิธีการวิจัย

2.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้ได้แก่ ผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานโครงการและผู้ที่มีความสนใจในการทำงานโครงการจากระดับงานต่าง ๆ ได้แก่ กลุ่มผู้บริหารระดับสูง ผู้บริหารระดับกลาง หัวหน้ากลุ่ม และระดับปฏิบัติการ

ซึ่งอยู่ภาคส่วนต่าง ๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิต หน่วยงานราชการ หน่วยงานภาคการศึกษา หน่วยงานภาคการบริการ และหน่วยงานอื่น ๆ

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามออนไลน์เพื่อเก็บข้อมูลและสำรวจข้อมูลเบื้องต้น วิธีการนี้รวดเร็ว ดำเนินการเก็บข้อมูลพร้อมกันได้หลายคนทำให้สามารถได้ข้อมูลในปริมาณมาก ก่อนนำไปทดสอบสมมติฐานงานวิจัยในมุมมองต่าง ๆ แบบสอบถามนี้ถูกวัดความเที่ยงของแบบประเมินโดยหลักการ Content Validity ได้ค่า IOC (ค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถามหรือค่าสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์) ได้เท่ากับ 0.8 และส่วนที่ 2 การสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล (In-depth Interview) ช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงลึกจากประสบการณ์โดยตรง

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเชิงปริมาณโดยนำข้อมูลคะแนนปัจจัยและทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการมาทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติ Independent Samples T-test [2] – [4] ในมุมมองต่าง ๆ ของข้อมูล 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน และวิธีการเชิงคุณภาพ คือความเนื้อหา (Content Analysis) [5] – [6] วิธีการนี้ช่วยให้สามารถหาความถี่ของแต่ละคำสำคัญและระบุแนวโน้มทิศทางของชุดข้อมูลทั้งหมดได้

2.4 ขั้นตอนการวิจัย

2.4.1 ศึกษาและทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการและทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ

2.4.2 ออกแบบแบบสอบถามออนไลน์ ซึ่งประกอบด้วยคำถามปลายปิดและคำถามปลายเปิด ได้แก่ การให้ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการและทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ (ปัจจัยและทักษะดังกล่าวนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 1 ได้แก่ ปัจจัยกลุ่มด้านการติดตามและบริหาร [7] – [10] ปัจจัยกลุ่มการให้คำนิยามโครงการ [8] – [13] และปัจจัยกลุ่มด้านผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย [7] – [11] ทักษะเชิงเทคนิคเกี่ยวกับการบริหารงานโครงการ (Hard Skills) และทักษะทางสังคม (Soft Skills) [14] และออกแบบคำถามเพื่อสัมภาษณ์ในมุมมองของการแสดงความคิดเห็นต่อปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการและทักษะเพิ่มเติมที่สำคัญต่อการทำงานโครงการ

2.4.3 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นจากแบบสอบถาม

2.4.4 สัมภาษณ์ผู้มีส่วนร่วมในงานโครงการและผู้เชี่ยวชาญเพื่อเก็บข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการทำงานโครงการ ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการและทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการในตำแหน่งต่าง ๆ ในโครงการ

2.4.5 วิเคราะห์ข้อมูลจากวิธีแบบสอบถามและสัมภาษณ์ สรุปและอภิปรายผล

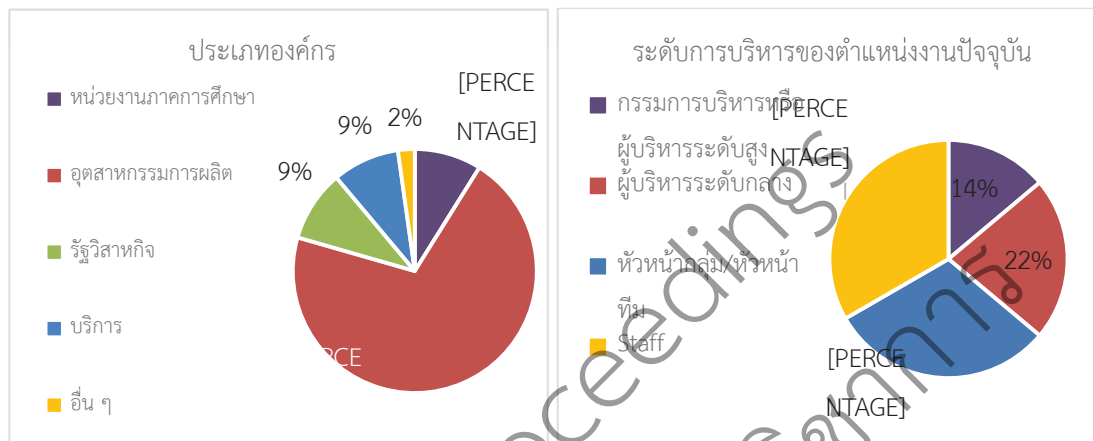
ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการและทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ

ลำดับ	ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จ	ลำดับ	ทักษะที่จำเป็นต่อการทำงาน
F1	ความพึงพอใจของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	S1	การแก้ปัญหาและการคิดเชิงวิพากษ์
F2	การสนับสนุนจากผู้บริหาร	S2	ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
F3	เป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน	S3	การทำงานเป็นทีม
F4	ความชัดเจนในขอบเขตของโครงการ	S4	ความคิดสร้างสรรค์
F5	การตั้งเป้าหมายในการกำหนดผลงาน	S5	ทัศนคติต่อการทำงาน
F6	ความเพียงพอของทรัพยากร	S6	ความสนใจใคร่รู้/การเรียนรู้ตลอดชีวิต
F7	การควบคุมงบประมาณโครงการ	S7	จริยธรรมและคุณธรรม
F8	ความสามารถของทีมโครงการ	S8	ทักษะการสื่อสาร
F9	ประสบการณ์ของหัวหน้าโครงการ	S9	ทักษะการจัดการข้อมูล
F10	รูปแบบการบริหารของผู้บริหารโครงการ	S10	ทักษะการวางแผน
F11	การควบคุมและการติดตามการเปลี่ยนแปลง	S11	ทักษะการบริหารเวลา
F12	การติดตามและรายงานความก้าวหน้า	S12	ทักษะการเจรจาต่อรอง
F13	การบริหารและการติดตามความเสี่ยง	S13	ทักษะการบริหารความเสี่ยง
F14	ประสิทธิภาพการสื่อสารในโครงการ	S14	ทักษะการนำเสนอ
F15	ซอฟต์แวร์/เครื่องมือที่ใช้	S15	ทักษะความเป็นผู้นำ
F16	แรงจูงใจของทีมงานและผู้บริหารโครงการ		
F17	ผู้บริหารโครงการมีอำนาจในการตัดสินใจ		

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

จากการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์จำนวน 180 คนและจากการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ให้ข้อมูลจำนวน 30 คน สามารถสรุปข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้ จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามแบ่งเป็นผู้ที่เคยมีส่วนร่วมในงานโครงการ 143 คน (79%) (ประกอบด้วยผู้ที่มีประสบการณ์ในโครงการนวัตกรรม 93 คน และผู้ที่มีประสบการณ์ในโครงการที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานนวัตกรรม 50 คน) กับผู้ที่มีประสบการณ์ในงานโครงการ 37 คน (21%) โดยสัดส่วนระดับบริหารและประเภทองค์กรของกลุ่มผู้ให้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 1 นอกจากนี้ วัฒนธรรมองค์กรของกลุ่มผู้ให้ข้อมูลมีความแตกต่างกันซึ่งสามารถสรุปสัดส่วนได้ดังนี้ องค์กรที่เน้นความยืดหยุ่นคล่องตัวในการทำงาน 34% เน้นกระบวนการหรือระเบียบการ 26% เน้นที่ผลลัพธ์ของงานที่ทำมากกว่าผลงานที่ได้ 11% และเน้นผลงานมากกว่ากระบวนการ 10%



รูปที่ 1 สัดส่วนกลุ่มอุตสาหกรรมและระดับบริหาร

3.2 สมมติฐานงานวิจัยและทดสอบสมมติฐาน

ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานวิจัยเพื่อนำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาทำการทดสอบ ดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการของผู้ที่เคยทำงานโครงการและไม่เคยทำงานโครงการไม่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่า ปัจจัยเป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน (F3) กับปัจจัยความชัดเจนของขอบเขตของโครงการ (F4) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 โดย F3 มีค่า P-value เท่ากับ 0.035 และ F4 มีค่า P-value เท่ากับ 0.031 ซึ่งกลุ่มผู้ที่เคยทำงานโครงการให้คะแนนความสำคัญกับปัจจัย F3 และ F4 มากกว่า

สมมติฐานที่ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการของผู้ที่ทำโครงการนวัตกรรมและโครงการทั่วไปไม่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่าปัจจัยซอฟต์แวร์/เครื่องมือที่ใช้ในการบริหารโครงการ (F15) กับปัจจัยแรงจูงใจของทีมงานและผู้บริหารโครงการ (F16) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 โดย F15 มีค่า P-value เท่ากับ 0.008 และ F16 มีค่า P-value เท่ากับ 0.016 ซึ่งกลุ่มผู้ทำงานโครงการนวัตกรรมให้คะแนนความสำคัญกับปัจจัย F15 กับ F16 มากกว่า

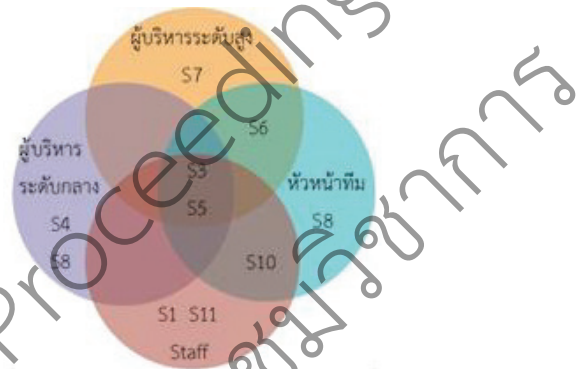
สมมติฐานที่ 3 ทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการของผู้ที่เคยทำงานโครงการและไม่เคยทำงานโครงการไม่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่าทักษะการทำงานเป็นทีม (S3) ทักษะทัศนคติต่อการทำงาน (S5) และทักษะการสื่อสาร (S8) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 โดย S3 มีค่า P-value เท่ากับ 0.017 S5 มีค่า P-value เท่ากับ 0.039 และ S8 มีค่า P-value เท่ากับ 0.044 ซึ่งกลุ่มผู้ที่เคยทำงานโครงการให้คะแนนความสำคัญกับ S3 S5 และ S8 มากกว่า

สมมติฐานที่ 4 ทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการของผู้ที่ทำโครงการนวัตกรรมและโครงการทั่วไปไม่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่า ทักษะความคิดสร้างสรรค์ (S4) กับทักษะการนำเสนอ (S14) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 โดย S4 มีค่า P-value เท่ากับ 0.033 และ S14 มีค่า P-value เท่ากับ 0.029 ซึ่งกลุ่มผู้ทำงานโครงการนวัตกรรมให้คะแนนความสำคัญกับทักษะ S4 และ S14 มากกว่า

3.3 ระดับบริหารงาน

เมื่อพิจารณาในมุมมองของระดับการบริหารงานกับการให้ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของการทำงานโครงการและทักษะที่จำเป็นต่องานโครงการ ในงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกปัจจัยและทักษะที่มีคะแนนมากกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 มาทำการสรุปในรูปที่ 2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน (F3) และความ

ชัดเจนในขอบเขตของโครงการ (F4) เป็นปัจจัยที่ทุกกลุ่มระดับบริหารมองว่ามีความสำคัญ และการทำงานเป็นทีม (S3) และทัศนคติต่อการทำงาน (S5) เป็นทักษะที่ทุกกลุ่มระดับบริหารมองว่ามีความสำคัญซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ [17], [18] ที่กล่าวว่าทักษะที่สำคัญต่อการทำงานโครงการ คือ การทำงานเป็นทีม



รูปที่ 2 ระดับบริหารกับการให้ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จและทักษะที่จำเป็นต่องานโครงการ

นอกจากผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามสามารถนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบในมุมมองที่น่าสนใจเพิ่มเติมได้อีก ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบมุมมองระหว่างภาคอุตสาหกรรมการผลิตกับหน่วยงานภาคการบริการพบว่า การสนับสนุนจากผู้บริหาร (F2) เป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน (F3) ความชัดเจนในขอบเขตของโครงการ (F4) และผู้บริหารโครงการมีอำนาจในการตัดสินใจ (F17) การทำงานเป็นทีม (S3) และทัศนคติต่อการทำงาน (S5) เป็นปัจจัยและทักษะที่ภาคอุตสาหกรรมการผลิตและหน่วยงานภาคการบริการมองว่ามีความสำคัญ ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยและทักษะเหล่านี้มีผลในการทำงานโครงการที่มีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานโครงการในภาคส่วนต่าง ๆ โดยข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์จะนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Content Analysis โดยกำหนดคำสำคัญ (Keyword) ของข้อมูลที่ได้จากผู้ให้สัมภาษณ์แต่ละท่าน รวบรวมคำสำคัญและทำการจัดอันดับความถี่ของคำสำคัญที่ถูกกล่าวถึงบ่อยที่สุด ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

3.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการ จากการวิเคราะห์ข้อมูลสัมภาษณ์พบว่าผู้ให้ข้อมูลได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในโครงการที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แบบสอบถามในสมมติฐานที่ 1 และ 2 ได้แก่ ปัจจัยเป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน (F3) [12] - [13] ปัจจัยความชัดเจนของขอบเขตของโครงการ (F4) [9], [12] - [13] ปัจจัยแรงจูงใจของทีมงานและผู้บริหารโครงการ (F16) [9] และปัจจัยซอฟต์แวร์/เครื่องมือที่ใช้ในการบริหารโครงการ (F15) [8] ปัจจัยข้างต้นมีความสอดคล้องกับบทความที่ผู้วิจัยได้อ้างอิงในแง่มุมมองของการให้ความสำคัญจากกลุ่มผู้มีส่วนร่วมในโครงการในระดับผู้จัดการโครงการ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญที่กล่าวถึงได้แก่ 1. ประสิทธิภาพการสื่อสารในโครงการและการแชร์ข้อมูลข้อเท็จจริง 2) วัฒนธรรมองค์กร 3) ความรู้ความเข้าใจในงานโครงการ 4) ความร่วมมือกันของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (ทั้งภายในและภายนอกองค์กร) 5) การวางแผนจัดการความเสี่ยง 6) ความคิดสร้างสรรค์ของสมาชิกในทีม 7) การให้ผลตอบแทน และ 8) การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

3.4.2 ทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ สามารถแบ่งตามระดับการบริหารได้ ดังนี้ 1) ผู้จัดการโครงการ (Project Manager) ได้แก่ การมองภาพใหญ่หรือเห็นภาพรวม กล้าตัดสินใจ การเลือกคนได้อย่างเหมาะสม การบริหารจัดการคนและเวลา และการรับฟังและยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น 2) ผู้ประสานงานโครงการ (Project Coordinator) ได้แก่ ความรับผิดชอบในหน้าที่ ความเข้าใจในลักษณะงาน มีมนุษยสัมพันธ์ เข้าใจวัตถุประสงค์ของโครงการ และการจัดการคนและทีมงาน 3) หัวหน้าโครงการ (Project Leader) ได้แก่ ความรับผิดชอบในหน้าที่ การติดตามและรายงานความก้าวหน้า ความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการวางแผน และเข้าใจวัตถุประสงค์ของโครงการ 4) ทีมงาน (Staff) ได้แก่ มีความรู้ความสามารถเชิงลึกเฉพาะด้าน ทักษะการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า ทักษะการสื่อสารการทำงานเป็นทีม และความรับผิดชอบในหน้าที่

4. สรุปผลการศึกษา

จากการวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการและทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการที่ได้จากทั้งการทำแบบสอบถามและการสัมภาษณ์มีความสอดคล้องกัน โดยหากรวบรวมข้อมูลจากทั้งแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ พบว่า 1) ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของงานโครงการที่ถูกจัดว่ามีความสำคัญ 6 อันดับ ได้แก่ เป้าหมายโครงการและการวัดผลที่ชัดเจน ความชัดเจนของขอบเขตของโครงการ ประสิทธิภาพการสื่อสารในโครงการ การตั้งเป้าหมายในการกำหนดส่งงาน การทำงานเป็นทีมที่มีประสิทธิภาพ และวัฒนธรรมองค์กรที่แตกต่างกันในแต่ละองค์กรซึ่งมีผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับบทความวิจัยที่ผู้วิจัยได้พบทวนในแง่มุมของวัฒนธรรมองค์กรที่มีผลต่อการทำงานโครงการ [15] – [16] 2) ทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการ ได้แก่ การทำงานเป็นทีม เข้าใจวัตถุประสงค์ของโครงการ ทักษะการคิดการทำงาน และการมีความรับผิดชอบในหน้าที่ของตนเอง

การทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จโครงการและทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานโครงการเป็นชุดข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาเนื้อหาให้สอดคล้องกับระดับการบริหารของผู้เรียน และโครงการในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม รวมถึงโครงการนวัตกรรมที่ถือว่าเป็นงานที่สำคัญของหลายองค์กรในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปปรับใช้ในการคัดเลือกบุคลากรหรือการเตรียมความพร้อมของบุคลากรในด้านความรู้และทักษะ (Hard Skills และ Soft Skills) ให้สอดคล้องกับงานโครงการในที่นี่คือวัฒนธรรมที่ทุกคนมีเป้าหมายเดียวกัน ทำงานแบบพี่น้อง ให้ความสำคัญกับงานส่วนรวมไปพร้อมกับงานส่วนบุคคล เลือกคนให้เหมาะสมกับงาน ไม่ยึดติดที่กระบวนการแต่เน้นที่ผลงาน และวัฒนธรรมที่ส่งเสริมให้ทุกคนได้คิดวิเคราะห์ ฝึกคิด รับฟังความคิดเห็น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้มอบทุนวิจัยและให้การสนับสนุนจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] jobsdb. Project Engineer and Project Manager [Internet]. [cited 2020 May 2] available from : <https://th.jobsdb.com/th/th/search-jobs/project-manager,-project-engineer,-project-engineering/1>
- [2] ประกายรัตน์ สุวรรณ และอมรวิทย์ วิเศษสงวน. การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2555.

- [3] ปรีดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์. วิเคราะห์ข้อมูลสถิติและการทำงานวิจัยด้วย Excel. นนทบุรี : ไอดีซี; 2561
- [4] ธนกร กรวัชรเจริญ. ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานเป็นทีมของพนักงานบริษัท ควอลิตี้เฮาส์ จำกัด (มหาชน) [ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2556.
- [5] วัชรินทร์ อินทพรหม. การวิเคราะห์และการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร. ปีที่ 2019; 315-333
- [6] นิสิตา ชูโต. การวิจัยเชิงคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : พรินต์โพร; 2551.
- [7] Erin Palmer. Five Factors That Lead to Successful Projects [Internet]. 2018. [cited 2020 May 10] available from : <https://project-management.com/five-factors-that-lead-to-successful-projects/>.
- [8] Paul Henkel. Follow These 7 Key Factors for Project Management Success. [Internet]. 2018. [cited 2020 May 10] available from : <https://www.projectwizards.net/en/blog/2018/01/successfactors>.
- [9] Spalek, Seweryn. Critical success factors in project management. To fail or not to fail, that is the question!. [Internet]. 2005. [cited 2020 May 15] available from : <https://www.pmi.org/learning/library/critical-success-factors-project-management-7568>.
- [10] Nazia Iram et.al. Critical Factors Influencing The Project Success: An Analysis Of Projects In Manufacturing And Construction In Pakistan. International Journal of Business Studies Review (IJBSR). 2016; 1 (1) : 41-52
- [11] Lucy Brown. 7 Factors Affecting Project Management in your Organization. [Internet]. 2015. [cited 2020 May 10] available from : <https://www.invensislearning.com/blog/7-factors-affecting-project-management-in-your-organization/>.
- [12] Sonja Hughes. Five Critical Success Factors for Project Managers. [Internet]. 2010. [cited 2020 May 11] available from : <https://www.ies.ncsu.edu/blog/five-critical-success-factors-for-project-managers/>
- [13] Chan Wai Kuen, Suhaiza Zailani and Yudi Fernando. Critical factors influencing the project success amongst manufacturing companies in Malaysia. African Journal of Business Management. 2009; 3 (1) : 16-27.
- [14] Ben Aston. Essential Project Management Skills For 2020 (+How To Build Them). [Internet]. 2020. [cited 2020 May 16] available from : <https://thedigitalprojectmanager.com/project-management-skills/>.
- [15] Luong Hai Nguyen and Tsunemi Watanabe. The Impact of Project Organizational Culture on the Performance of Construction Projects. (2017); 9(5) : 1-21.
- [16] Adviso. How organizational culture can influence project management. [Internet]. 2017. [cited 2020 June 30] available from : <https://www.adviso.ca/en/blog/business/organizational-culture-can-influence-project-management/>.

การลดของเสียในกระบวนการประกอบไดร์เวอร์หูฟังโดยใชแนวทางของควิซีสตอรี

Reducing Defects in Assembly Processes of Headphone Driver

by QC Story

ปานจิต ศรีสวัสดิ์^{1*} เชษฐ ศรีไมตรี² ศรัณย์ เหล่าอยู่คง³ ญาณวรุฒม์ สมสวย⁴ วชิระ มุ่งหมาย⁵
และ วุฒิจักร์ ขานเกตุ⁶

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี^{1*, 2, 4, 5, 6}

สถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์³

Panjit Srisawat^{1*} Chet Srimaitree² Saran Laoyookhong³ Yanawarut Somsuay⁴
Wachira Mungmai⁵ and Wutthichak Kanket⁶

Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University^{1*, 2, 4, 5, 6}

Electronic Parts Manufacturing Company³

E-mail: panjit.s@ubru.ac.th^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางการลดของเสียในกระบวนการประกอบไดร์เวอร์หูฟังรุ่น เอ-4 สายการผลิต แอล-1 ของสถานประกอบการกรณีศึกษา โดยใช้เทคนิคการแก้ไขปัญหาคคุณภาพด้วยแนวทางควิซีสตอรี ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกปัญหาเพื่อกำหนดหัวข้อปัญหาที่จะทำการปรับปรุง ผลจากการคัดเลือกหัวข้อที่จะทำการปรับปรุง 2 ปัญหา คือ ปัญหาของเสียที่เกิดจากลวดขาดโคน ปัญหาของเสียที่เกิดจากไม่มีเสียง จากนั้นวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา ผลจากการศึกษาพบว่า สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของเสียที่เกิดจากลวดขาดโคน คือ พนักงานออกแรงประกบมากเกินไปในกระบวนการประกบขดลวด และอุปกรณ์จับยึดด้านล่างเสื่อมสภาพ ส่วนสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของเสียที่เกิดจากไม่มีเสียง คือ พนักงานวางชิ้นงานไม่ตรงร่องอุปกรณ์จับยึด ในการแก้ไขปัญหทั้ง 2 ประเภทนี้ ผู้วิจัยมีแนวทางการแก้ปัญหา 3 แนวทาง ได้แก่ อบรมพนักงานในกระบวนการประกบขดลวด ตรวจสอบประเมินสภาพการใช้งานของอุปกรณ์จับยึดด้านล่าง และอบรมพนักงานในกระบวนการดูแผ่นสั้นสะเทือน พบว่าหลังจากการปรับปรุงมีของเสียเฉลี่ยลดลงจากเดิมร้อยละ 0.79 เป็นร้อยละ 0.43 ของยอดการผลิต

คำสำคัญ : ไดร์เวอร์หูฟัง การลดของเสีย การแก้ไขปัญหาคคุณภาพควิซีสตอรี เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

Abstract

This research aims to reduce defects in the headphone driver assembly process, Model A-4 production line L-1 of the case study. QC Story was applied for solving quality problem. The research selects problems to determine the topic of problems to be improved. The result of the selection of the two defect problems: broken wire cone defect problem and check N/S defect problem. Then analyze the cause of the problem as well fishbone chart. The results found that

the cause of defect problems caused by the operator excessive force in the attach the voice coil process, and jig fixture deterioration. The cause of defect problems caused by check N/S is the staff that laid the workpiece not on the jig fixture groove. In solving these 2 types of problems: the study team trained the staff in attach the voice coil process, check and evaluate the operating conditions of jig fixture, and training staff in vacuum process. The improvement results in all 2 types of problems. It was found that after improvement, the average defect was reduced from 0.79% to 0.43%.

Keywords : Headphone Driver, Reducing Defects, QC Story, 7 QC Tools

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง แม้จะเกิดวิกฤตทางเศรษฐกิจเนื่องจากสถานการณ์ของโรคระบาด แต่แนวโน้มของธุรกิจและอุตสาหกรรมไทยปี พ.ศ. 2564 - 2566 โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีแนวโน้มที่จะเติบโตเพิ่มขึ้นเพื่อที่รองรับการทำงานและการศึกษาได้ทุกสถานที่ [1] อีกทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังเข้ามามีบทบาทสำคัญเพื่อใช้ในชีวิตประจำวัน ทำให้เรามีความสะดวกและสบายมากขึ้น เช่น เครื่องมือในการสื่อสาร คอมพิวเตอร์ เครื่องซักผ้า เป็นต้น จึงทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้รับผลกระทบจากการแข่งขันในกลไกตลาด และเพื่อที่จะสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันทำให้สถานประกอบการต้องใช้กลยุทธ์ลดต้นทุนเพื่อรักษากำไรให้คงอยู่ต่อไปภายใต้การแข่งขันที่สูง ทั้งนี้ส่วนหนึ่งของกลยุทธ์ลดต้นทุนที่บริษัทได้มุ่งเน้น คือ การลดต้นทุนที่เกิดจากการผลิตของเสียในกระบวนการผลิต

การควบคุมลดต้นทุนที่เกิดจากการผลิตของเสียจึงเป็นสิ่งสำคัญเพราะเป็นเครื่องมือในการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลได้ การลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม เช่น การแก้ไขปัญหาคุณภาพแบบคิวซีสตอรี (QC story) เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC tools) เพราะใช้งานได้ง่าย สามารถแก้ปัญหาได้ผล และสามารถนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์พร้อมผลิตผลของการผลิต

สถานประกอบการกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่รับจ้างผลิตชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ โดยงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเลือกกระบวนการประกอบไดรเวอร์หูฟังรุ่น A-4 ในสายการผลิต L-1 เนื่องจากการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 พบว่ามีของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบไดรเวอร์หูฟังรุ่น A-4 ในสายการผลิต L-1 ส่งผลให้บริษัทมีต้นทุนจากของเสียมากถึง 88,650 บาท ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าวจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากกระบวนการประกอบไดรเวอร์หูฟังรุ่น A-4 ในสายการผลิต L-1 โดยใช้แนวทางของการแก้ไขปัญหาคุณภาพแบบคิวซีสตอรี ซึ่งส่งผลให้สถานประกอบการกรณีศึกษามีต้นทุนที่ลดลง และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันทางธุรกิจได้ต่อไป

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ไดรเวอร์ (Driver) หูฟัง [2] เป็นส่วนประกอบหลักของหูฟังที่จัดอยู่ในประเภทอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งตัว Driver นี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงของหูฟัง ภายในประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) วอยซ์คอย

(Voice Coil) 2) แม่เหล็ก (Magnet) 3) แผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) การทำงานนั้นจะเริ่มจากการส่งกระแสไฟฟ้าไปยังตัว Voice Coil เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าให้ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ประจุไฟฟ้าเกิดแรงผลักหรือดึงดูดกัน ทำให้แผ่น Diaphragm ขยับและเกิดเสียงขึ้น โดย Driver มีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบไดร์เวอร์หูฟัง รุ่น A-4

2.1.2 การแก้ไขปัญหาคุณภาพแบบคิวซีสตอรี (QC Story) คือ ขั้นตอนการดำเนินการแก้ไขปัญหาอย่างมีเหตุผล และมีการลำดับเรื่องราวตามขั้นตอนของการพัฒนาคุณภาพบนหลักการของวงจร PDCA โดยมีขั้นตอน 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดหัวข้อปัญหา 2) การสำรวจสภาพปัจจุบันและตั้งเป้าหมาย 3) การวางแผนแก้ไข 4) การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า 5) การกำหนดมาตรการตอบโต้และการนำไปปฏิบัติ 6) การยืนยันความมีประสิทธิภาพของมาตรการตอบโต้ และ 7) การทำให้เป็นมาตรฐาน [3]

2.1.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพในการดำเนินงาน ด้วยการรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปสู่การหาทางแก้ไข ปัญหา เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด ประกอบด้วย แผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) กราฟ (Graph) แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ฮิสโตแกรม (Histogram) แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) และแผนภูมิควบคุม (Control Chart) [4]

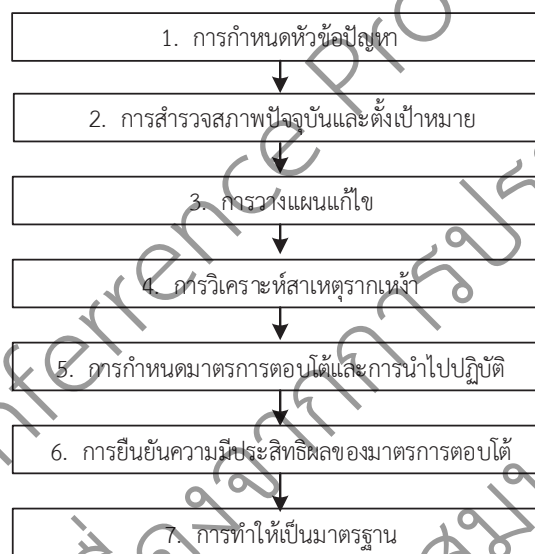
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำแนวทางของคิวซีสตอรีและเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด มาแก้ไขปัญหาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต เช่น สุวิทย์ ธรรมแสง และธีรวัฒน์ ศรีพันธ์ชาติ [5] ได้ศึกษาเพื่อลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตกรอบรูปจากไม้ โดยใช้แนวทางของคิวซีสตอรีร่วมกับเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ร้อยละ 25.46 อีกทั้งทศพล เกียรติเจริญผล และคณะ [6] ได้ประยุกต์ใช้คิวซีสตอรีร่วมกับเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด เพื่อลดปริมาณของเสียจากปัญหาเบลดเดอร์รั่วในกระบวนการอบยางรถยนต์อุตสาหกรรม พบว่า ผลลัพธ์จากแก้ไขปัญหามีเวลา 2 เดือน มีจำนวนของเสียจากปัญหาเบลดเดอร์รั่วลดลงเหลือร้อยละ 46.66 ซึ่งลดความสูญเสียเป็นมูลค่าประมาณ 300,000 บาทต่อปี นอกจากนี้ จุฑาทิพย์ ทะประสพ [7] ได้การศึกษาเรื่องการลดของเสียในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบ โดยพบว่ามิของเสียเกิดขึ้นกระบวนการพิมพ์กราฟเวียร์ จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางคุณภาพ เช่น กราฟ แผนภาพการกระจาย แผนผังแสดงสาเหตุและผล แผนภาพพาเรโต แผนภูมิควบคุม เพื่อการคัดเลือกปัญหาที่จะทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการแก้ไขโดยการออกแบบการทดลอง พบว่าสามารถลดของเสียลงได้ร้อยละ 12.71 ทั้งนี้ มารุต มุณีแก้ว [8] ได้ศึกษาการลดจำนวนกระป๋องบวมในคลังสินค้า โดยมีการนำหลักการของเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด เพื่อหาสาเหตุของการเกิด

ของเสีย ซึ่งสามารถลดของกระบวนการผลิตเป็นร้อยละ 11 และแผ่นสลากระเบิดเป็นร้อยละ 51 ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแนวทางของคิวซีสตอร์และเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด เป็นเครื่องมือที่ถูกยอมรับจากนักวิจัยว่ามีประสิทธิภาพ และสามารถแก้ปัญหาได้ผลจริง

3. วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A-4 สายการผลิต L-1 ของสถานประกอบการกรณีศึกษา กำหนดวิธีการดำเนินงานโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือคิวซีสตอร์ (QC Story) ในการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิธีการดำเนินงาน

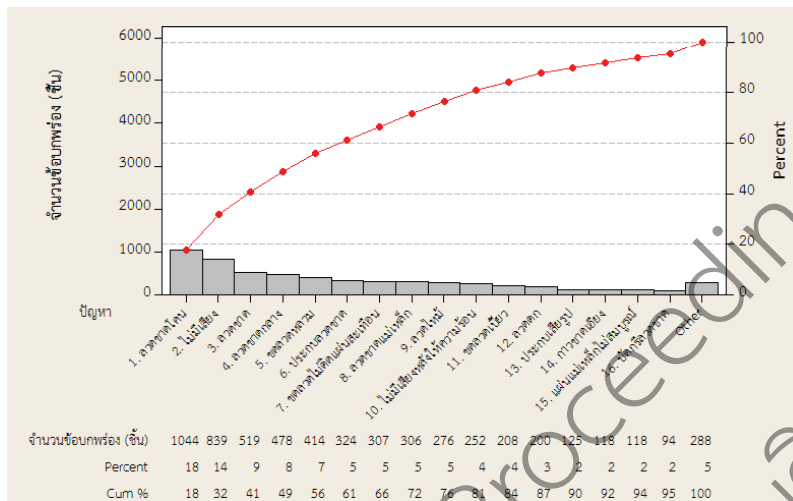
4. ผลการวิจัย

4.1 การกำหนดหัวข้อปัญหา

ผู้วิจัยได้ทำการค้นหาหัวข้อปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นของกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A-4 โดยทำการระดมสมองของผู้วิจัย ร่วมกับ ผู้จัดการ หัวหน้าแผนกผลิต และหัวหน้าแผนกสายการผลิตหูฟังรุ่น A-4 สายการผลิต L-1 เพื่อระบุลักษณะปัญหา พบว่ามีลักษณะปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น 28 ปัญหา มีของเสียรวม 5,911 ชิ้น จากยอดการผลิตรวมเฉลี่ย 3 เดือน จำนวน 239,169 ชิ้น แสดงข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A4 สายการผลิต L-1 เดือน กันยายน พ.ศ.2562 - พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A4 สายการผลิต L-1

ลำดับ	ยอดการผลิตรวมเฉลี่ย 3 เดือน จำนวน 239,169 ชิ้น		
	ปัญหา	จำนวนข้อบกพร่อง (ชิ้น)	% ของเสียเทียบกับยอด ผลิต
1	ลวดขาดโคน (Broken Wire Cone)	1,044	0.44
2	ไม่มีเสียง (Check N/S)	839	0.35
3	ลวดขาด (Cut Wire)	519	0.22
4	ลวดขาดกลาง (Wire is Torn in The Middle)	478	0.20
5	ขดลวดหลวม (V/C Loose)	414	0.17
6	ประกบลวดขาด (Wire Splice and Tear)	324	0.14
7	ขดลวดไม่ติดแผ่นสะเทือน (V/C Not Touch D/P)	307	0.13
8	ลวดขาดแม่เหล็ก (Cut Wire PWB)	306	0.13
9	ลวดไหม้ (Wire Burn)	276	0.12
10	ไม่มีเสียงหลังให้ความร้อน (Check N/S After UV)	252	0.11
11	ขดลวดเบี้ยว (V/C Deform)	208	0.09
12	ลวดตก (Wire Drop)	200	0.08
13	ประกบเสียรูป (Articulation Deformation)	125	0.05
14	กาวขาดเฉียง (Wave Glue)	118	0.05
15	แผ่นแม่เหล็กไม่สมบูรณ์ (Incomplete Magnet)	118	0.05
16	บัดกรีลวดขาด (Soldering Wire Cut)	94	0.04
17	แผ่นสะเทือนบุ๋ม (D/P Dent)	61	0.03
18	แผ่นสะเทือนฉีกขาด (D/P Torn)	59	0.02
19	ขดลวดไม่ตรงตำแหน่ง (V/C UN Center)	43	0.02
20	อื่น ๆ (Other)	43	0.02
21	แผ่นสะเทือนเบี้ยว (D/P Deform)	42	0.02
22	แหวนสั่นสะเทือนเบี้ยว (Ring D/P Deform)	18	0.01
23	กาวไม่สมบูรณ์ (Glue is Incomplete)	8	0.00
24	รีดลวดขาด (Set Wire Cut)	6	0.00
25	เศษลวดเสียติดชิ้นงาน (Excess Material)	3	0.00
26	เศษกาวติดชิ้นงาน (Excess Glue)	3	0.00
27	แผ่นสะเทือนเกิดรอย (D/P Scratch)	2	0.00
28	ลวดแตก (Broken Wire)	0	0.00
รวม	5,911	2.47	



รูปที่ 3 แผนภาพพาราโตจำนวนของเสียในกระบวนการประกอบ Driver หูฟักรุ่น A-4

จากรูปที่ 3 จะพบว่าลักษณะปัญหาที่มีผลต่อของเสียร้อยละ 80 ของจำนวนที่ผลิต มีจำนวน 10 ปัญหา ได้แก่ 1) ลวดขาดโคน 2) ไม่มีเสียง 3) ลวดขาด 4) ลวดขาดกลาง 5) ขดลวดหลวม 6) ประคบลวดขาด 7) ขดลวดไม่ติดแผ่นสะเทือน 8) ลวดขาดแม่เหล็ก 9) ลวดใหม่ และ 10) ไม่มีเสียงหลังให้ความร้อน ซึ่งปัญหาของเสียที่มีความสำคัญมีหลายปัญหา จึงทำการคัดเลือกปัญหาในขั้นตอนถัดไป

4.2 การสำรวจสภาพปัจจุบันและตั้งเป้าหมาย

ผู้วิจัยจึงได้ใช้หลักการลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN) โดยคำนึงถึงองค์ประกอบ 3 ประการ คือ ความรุนแรง (Severity) โอกาสการเกิดขึ้น (Occurrence) และการตรวจจับ (Detection) โดยงานวิจัยแบ่งระดับคะแนนจากความสำคัญน้อยไปมาก คือ 1-4 คะแนน ตามลำดับวิธีการคัดเลือกโดยการระดมสมองของทีมงานในสถานประกอบการกรรณิศึกษาที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการประกอบ Driver หูฟักรุ่น A-4 เพื่อให้คะแนนปัญหาและเลือกปัญหาเพื่อดำเนินการปรับปรุง โดยผลคูณนี้จะแสดงถึงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง ($RPN = S \times O \times D$) ในการเกิดปัญหาของเสียแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งมีปัญหา 3 ประเภท ที่ RPN มีคะแนน 64 สูงสุดเท่ากัน คือ ลวดขาดโคน (Broken Wire Cone) ไม่มีเสียง (Check N/S) และลวดขาด (Cut wire) ซึ่งปัญหาลวดขาดโคนและลวดขาด เป็นปัญหาที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ผู้วิจัยและทีมงานในสถานประกอบการจึงเลือกหัวข้อปัญหาหลัก 2 ปัญหา คือ Broken Wire Cone และ Check N/S เพื่อดำเนินการปรับปรุง ซึ่งได้กำหนดเป้าหมายในการดำเนินการวิจัย การลดของเสียในกระบวนการประกอบ Driver หูฟักรุ่น A-4 คือ ของเสียรวมของปัญหาหลักเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 0.50 ของยอดการผลิต ซึ่งกำหนดเป้าหมายการลดของเสียของปัญหาหลัก คือ ของเสียประเภท Broken Wire Cone ต้องไม่เกินร้อยละ 0.30 ของยอดการผลิต และของเสียประเภท Check N/S ต้องไม่เกินร้อยละ 0.20 ของยอดการผลิต

ตารางที่ 2 คะแนนความเสี่ยง (RPN) ของปัญหาของเสียในกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A-4

ลำดับ	ปัญหา	ความรุนแรง				โอกาสการเกิดขึ้น				การตรวจจับ				รวม
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	ลวดขาดโคน (Broken Wire Cone)				/				/				/	64
2	ไม่มีเสียง (Check N/S)				/				/				/	64
3	ลวดขาด (Cut Wire)				/				/				/	64
4	ลวดขาดกลาง (Wire is Torn in The middle)		/				/				/			8
5	ขดลวดหลวม (V/C Loose)		/								/			8
6	ประกบลวดขาด (Wire Splice and Tear)		/				/				/			8
7	ขดลวดไม่ติดแผ่นสะท้อน (V/C Not Touch D/P)		/				/				/			8
8	ลวดขาดแม่เหล็ก (Cut Wire PWB)		/				/				/			8
9	ลวดไหม้ (Wire Burn)		/				/				/			8
10	ไม่มีเสียงหลังให้ความร้อน (Check N/S after UV)		/				/				/			8

จากตารางที่ 2 แสดงคะแนนความเสี่ยง (RPN) ของปัญหาของเสียในกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A-4 ซึ่งผู้วิจัยและทีมงานในสถานประกอบการได้พิจารณาความสำคัญปัญหาของเสียเพื่อดำเนินการปรับปรุง คือ ลวดขาดโคน (Broken Wire Cone) และ ไม่มีเสียง (Check N/S)

4.3 การวางแผนแก้ไข

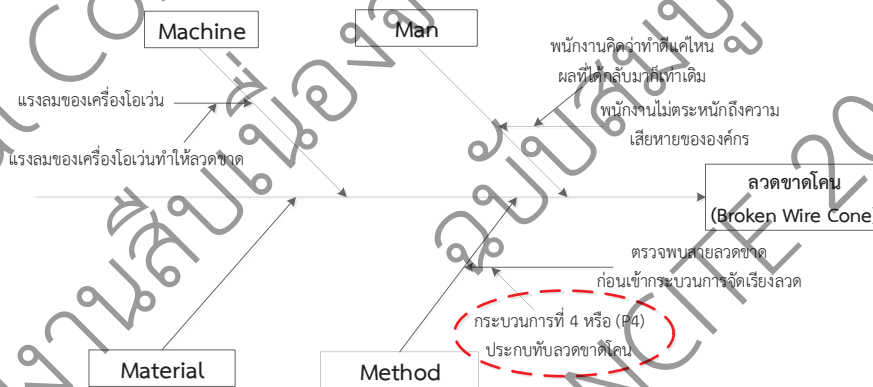
ผู้ศึกษาได้จัดทำแผนการดำเนินโครงการกำหนดระยะเวลา 4 เดือน ในระหว่างธันวาคม พ.ศ. 2562 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2563 โดยขั้นตอนและกำหนดระยะเวลาในการวางแผนแก้ไข ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขั้นตอนและกำหนดระยะเวลาในการวางแผนแก้ไข

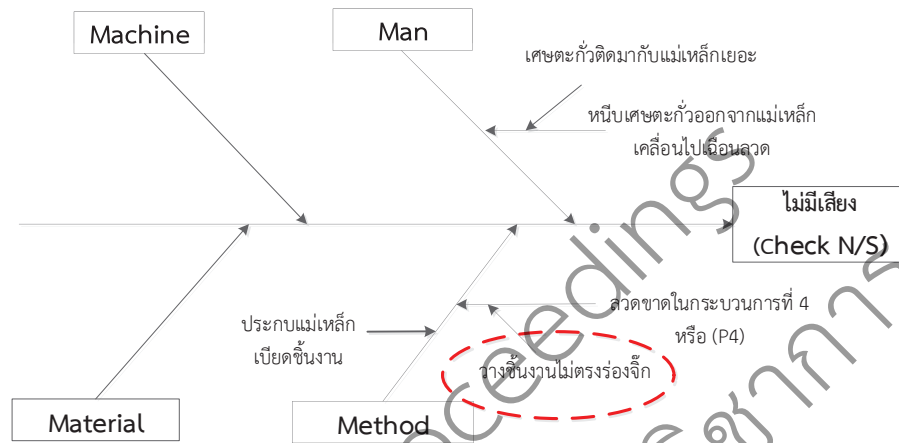
กิจกรรม	พ.ศ.2562				พ.ศ.2563															
	ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1. ศึกษาสภาพปัญหา โดยขอข้อมูล ย้อนหลังจากสถานประกอบการ และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←			→																
2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและ กำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา					←			→												
3. ปฏิบัติตามแผนแก้ไขปัญหาและ ติดตามผล													←			→				
4. สรุปผลการแก้ไขปัญหา																	←			→

4.4 การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลจำเป็นต้องดำเนินการผ่านวิธีการ
ระดมสมอง โดยจำแนกสาเหตุตาม คน เครื่องจักร วิธีการ วัสดุของปัญหาทั้ง 2 ปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 4 - 5



รูปที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาลวดขาดโคน (Broken Wire Cone)



รูปที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาไม่มีเสียง (Check N/S)

4.5 การกำหนดมาตรการตอบโต้และการนำไปปฏิบัติ

หลังจากการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าโดยการประยุกต์ใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลตามรูปที่ 4 - 5 ผู้วิจัยและสถานประกอบการได้ร่วมกันคัดเลือกสาเหตุที่สามกรณีแก้ไขได้ตามระยะเวลาของแผนการแก้ไขและเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยมากที่สุด ได้กำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาและมาตรการตอบโต้ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มาตรการตอบโต้และการนำไปปฏิบัติ

หัวข้อปัญหา	สาเหตุของปัญหา	แนวทางในการแก้ปัญหา
1. Broken Wire Cone	พนักงานออกแรงมากเกินไปในกระบวนการ Attach The Voice Coil ประกอบ ทำให้ Wire ขาดโคน	ฝึกอบรมและสร้างความเข้าใจกับพนักงานในกระบวนการ Attach The Voice Coil
	Jig เสื่อมสภาพ	ตรวจสอบประเมินสภาพการใช้งานของ Jig
2. Check N/S	พนักงานวางชิ้นงานไม่ตรงร่อง Jig	ฝึกอบรมและสร้างความเข้าใจกับพนักงานในกระบวนการ Vacuum

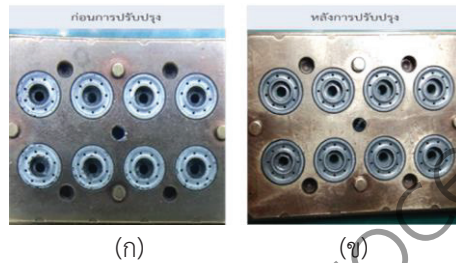
4.5.1 การฝึกอบรมและสร้างความเข้าใจกับพนักงานในกระบวนการ Attach The Voice Coil

หากพนักงานออกแรงประกอบที่มากเกินไปในกระบวนการ Attach The voice coil ด้วยลักษณะสายลวด (Wire) ที่มีขนาดเพียง 0.04 mm. เมื่อถูกกระทำโดยวัตถุ เหล็ก Jig ลงแรง ๆ ก็จะทำให้ขาดได้ ผู้วิจัยจึงได้เสนอวิธีใหม่ คือ ไม่ต้องออกแรงกดเยอะ ปล่อน้ำหนักมือ/นิ้วมือพอประมาณ โดยทำการอบรมพนักงาน

4.5.2 ตรวจสอบประเมินสภาพการใช้งานของ jig

จากการวิเคราะห์สาเหตุพบว่าส่วนที่เป็นวงกลม Center ในตัว Lower Jig สัมผัสโดยตรงกับ Voice Coil เมื่อ Jig ชำรุดทำให้เกิดความคมประกอบกับแรงกดประกอบทำให้สาย Wire หักงอหรือขาดหรือเป็นเหตุให้สาย Wire ขาดโคนได้ ผู้วิจัยแก้ไขโดยตรวจสอบและประเมินสภาพการใช้งานของ Lower Jig และทำการตัดแยก Lower

Jig ที่ชำรุดออก และนำ Lower Jig ที่สามารถซ่อมแซมได้มาลบคมทำความสะอาดโดยใช้กระดาษทรายขัดละเอียด และนำมาเซ็ดเป่าทำความสะอาดเศษต่าง ๆ ที่ติดอยู่ จากนั้นให้หัวหน้าฝ่ายกระบวนการผลิตก่อนนำกลับไปใช้ในกระบวนการอีกครั้ง โดยได้เปรียบเทียบ Lower Jig ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 (ก) ลักษณะ Lower Jig ที่ชำรุด และ (ข) ลักษณะ Lower Jig ที่สามารถใช้งานได้

4.5.3 การฝึกอบรมและสร้างความเข้าใจกับพนักงานในกระบวนการ Vacuum

เนื่องจากพนักงานในกระบวนการ Vacuum งานชิ้นงานไม่ตรงร่อง Center Jig เมื่อนำเข้าเครื่องดูดแผ่น สิ้นเสียเพื่อน ทำให้สาย Wire ขาดได้ เพราะชิ้นงานโดนกระแทกโดยเหล็ก Jig แก้ไขโดยอบรมพนักงานในกระบวนการ Vacuum และได้นำกระจกไปติดตั้งในพื้นที่การทำงานของพนักงานเพื่อให้ใช้กระจกส่องดูชิ้นงานจากด้านล่างของ jig เพื่อให้พนักงานมองเห็น Wire ให้ตรงร่อง Jig ได้

4.6 การยืนยันความมีประสิทธิภาพของมาตรการตอบโต้

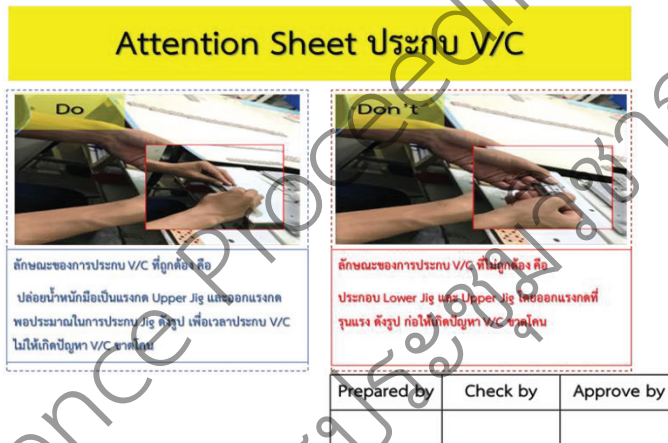
ผู้วิจัยยืนยันความมีประสิทธิภาพของมาตรการตอบโต้ โดยการเปรียบเทียบของเสียก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง พบว่า 1) ของเสียประเภท Broken Wire Cone ก่อนปรับปรุงมีของเสียเฉลี่ยร้อยละ 0.44 ของยอดการผลิต หลังการปรับปรุงของเสียลดลงเป็นร้อยละ 0.27 ของยอดการผลิต 2) ของเสียประเภท Check N/S ก่อนปรับปรุงมีของเสียเฉลี่ยร้อยละ 0.35 ของยอดการผลิต หลังการปรับปรุงของเสียลดลงเป็นร้อยละ 0.16 ของยอดการผลิต ส่งผลให้ของเสียรวมลดลง จากเดิมของเสียรวมเฉลี่ยร้อยละ 0.79 เป็น ร้อยละ 0.43 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

ประเภทของเสีย	ยอดการผลิตเฉลี่ย เดือน ก.ย.62 - เดือน พ.ย.62 239,169 ชิ้น (ก่อนปรับปรุง)			ยอดการผลิตเฉลี่ย เดือน ธ.ค.62 - เดือน ก.พ.63 196,800 ชิ้น (หลังปรับปรุง)		
	จำนวน ของเสีย (ชิ้น)	% ของเสีย เทียบกับ ยอดผลิต	คิดเป็นเงิน ราคา (5 บาท/ชิ้น)	จำนวนของ เสีย (ชิ้น)	% ของเสีย เทียบกับ ยอดผลิต	คิดเป็นเงิน ราคา (5 บาท/ชิ้น)
	1. ลวดขาดโคน	1,044	0.44	5,220	243	0.27
2. ไม่มีเสีย	839	0.35	4,195	313	0.16	1,565
รวม	1,883	0.79	9,415	556	0.43	2,780

4.7 การทำให้เป็นมาตรฐาน

เนื่องจากระเบียบการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ถูกกำหนดโดยลูกค้า ทำให้ทางสถานประกอบการไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยทางผู้วิจัยได้จัดทำเป็นรูปแบบแผ่นความสนใจ (Attention Sheet) โดยมีตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปแบบแผ่นความสนใจ ในกระบวนการ Attach The Voice Coil

5. ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุป

การแก้ไขปัญหาคุณภาพการประกอบ Driver ตามแนวทางคิวซีสตอรี (QC Story) คือ แก้ปัญหาลดขาดโค่น และไม่มีเสียง พบว่าสามารถลดของเสียจกกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A-4 สายการผลิต L-1 ก่อนปรับปรุงมีของเสียจำนวน 1,883 ชิ้น ของยอดการผลิต 239,169 ชิ้น ของเสียคิดเป็นร้อยละ 0.79 ของยอดการผลิต หลังปรับปรุงมีของเสียจำนวน 556 ชิ้น ของยอดการผลิต 196,800 ชิ้น ของเสียคิดเป็นร้อยละ 0.43 ของยอดการผลิต การดำเนินงานวิจัยนี้ลดของเสียรวมได้ตามเป้าหมาย และบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และสามารถลดค่าใช้จ่ายจาก 9,415 บาท เป็น 2,780 บาท ส่งผลให้ต้นทุนการผลิต driver หูฟังรุ่น A-4 ที่เกิดจากการผลิตของเสียของสถานประกอบการลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัย การลดของเสียในกระบวนการประกอบ Driver หูฟังรุ่น A-4 สายการผลิต L-1 ซึ่งสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบ Driver หูฟังได้จริง หากสถานประกอบการหรือผู้ที่สนใจสามารถนำแนวทางปรับปรุงนี้ไปประยุกต์ใช้ในสายการผลิต หรือกระบวนการอื่น ๆ ต่อไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลจากสถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งที่เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิจัยกรุงศรี. แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมไทยปี 2564-66. วิจัยกรุงศรี. 2564 : 1-64.
- [2] แผนกหนังสือพิเศษทางด้านอิเล็กทรอนิกส์. สร้างและออกแบบแอมป์ไฮไฟ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2538.
- [3] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน: คิวซีเซอร์เคิล. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : ส. เอเชียเพรส (1989) จำกัด; 2546.
- [4] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การแก้ไขปัญหาธุรกิจด้วยวิธีทางสถิติ. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2548.
- [5] สุวิทย์ ธรรมแสง และธีรวิฑูมิ ศรีพันธ์ชาติ. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตโดยใช้แนวทางของคิวซีสตอร์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตกรอบรูปจากไม้. วารสาร มทร.อีสาน. 2557; 7(1) : 90-104.
- [6] ทศพล เกียรติเจริญผล เพ็ญพิสุทธิ์ สว่างนิมิตรกุล และรัตนภรณ์ จันทน์วงษ์. การลดปริมาณของเสียจากปัญหาเบลตเตอร์รั่วในกระบวนการอบยางรถยนต์อุตสาหกรรม. ใน นิธิ บุรณจันทร์, บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2563; 6-8 พฤษภาคม พ.ศ. 2563; โรงแรมพูลแมน พัทยา จี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2563. หน้า 742-47.
- [7] จุฑาทิพย์ ทะประสพ. การลดของเสียในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก. [วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
- [8] มารุต มูแกม. การลดจำนวนกระป๋องบุงในคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัท สยามอินเตอร์เนชั่นแนลฟู้ด จำกัด. [สารนิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2562.

ปั้มน้ำใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต้นกำลังเป็นมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ Solar water pump using three-phase 48 Volt dc brushless motor prime-mover

ทัศนะ ถมทอง^{1*} สมนึก เครือสอน² พัทชรรัตน์ บางโปร่ง³ และ อานุวัฒน์ อินทะจันทร์⁴
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก^{1*,2,3,4}

Tatsana Thomthong^{1*} Somnuk Khruern² Phatchararat Bangprong³ and Anuwat Inthajan⁴
Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Tak^{1*,2,3,4}
E-mail : tatsana@hotmail.com^{1*}

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบปั้มน้ำขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ มีแหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่ชนิด Deep cycle 24 โวลต์ และโซลาร์เซลล์พิกัด 150 วัตต์จำนวน 4 แผง ระบบดังกล่าวประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก ส่วนแรกคือ โครงสร้างรองรับแผงโซลาร์เซลล์กับปั้มน้ำ ส่วนที่สองคือ ระบบไฟฟ้าในการควบคุมมอเตอร์ใช้หลักการนำพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นให้สอดคล้องกับตำแหน่งโรเตอร์ ซึ่งข้อมูลตำแหน่งมาจากสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์ที่ได้จากฮอลล์เอฟเฟ็คเซนเซอร์ โดยหนึ่งรอบการหมุนมี 6 ขั้นตอน จากการทดสอบระบบสูบน้ำที่สร้างขึ้นในระยะความสูงท่อสูบน้ำ 1.8 – 12 เมตร สามารถใช้สูบน้ำได้นาน 160 นาที โดยเฉลี่ย เมื่อใช้แบตเตอรี่ไป 40 เปอร์เซ็นต์ในทุกระดับความสูงท่อ โดยที่ระดับความสูง 1.8 เมตร ปั้มน้ำสามารถสูบน้ำได้ 39.7 ลิตรต่อนาที ที่ความสูงท่อ 12 เมตร สามารถสูบน้ำได้ 11 ลิตรต่อนาที ความสามารถในการสูบน้ำของระบบสูบน้ำต้นแบบที่สร้างขึ้นแปรผกผันกับระดับความสูงท่อที่ใช้สูบน้ำ

คำสำคัญ : ปั้มน้ำ โซลาร์เซลล์ มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน เอ็นโค้ดเดอร์

Abstract

This paper presents a water pump system using 48 volt three-phase brushless dc motor. This system has a 24 V deep cycle battery and four 150 watt solar cell panels act as power supply. The pump system consists of two parts. *Firstly*, the structure for supporting the solar cells and pump. *Secondly*, the electrical system. The motor controller using the principle of the resulting electric power alignment with the rotor position which data come from encoder signals of Hall effect sensors. A cycle rotation of motor has six steps. Testing results of this prototype system was implement in range 1.8 – 12 Meters water head height. It can be pumping water about 160 minutes with 40% battery voltage. At 1.8 Meters height, this system can be pump water about 39.7 Liters and at 12 Meters maximum test height, Its can be take about 11 Liters of water per minute. The pumping capacity of this prototype is inversely proportional to the required water head pump.

Keywords : Water pump, Solar cell, Brushless dc motor, Encoder

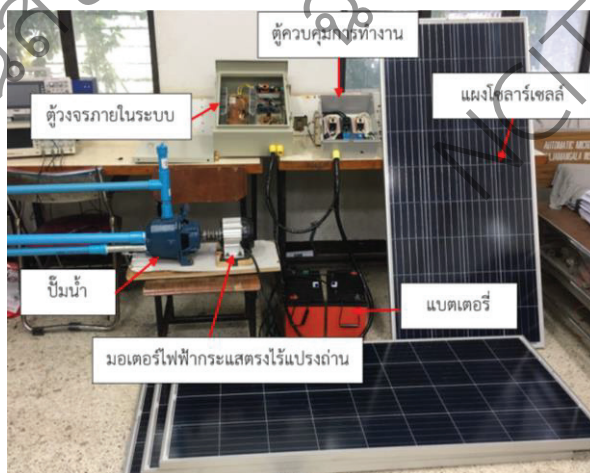
1. บทนำ

กลุ่มเกษตรกรในหมู่ที่ 4 บ้านสองแควใต้ ตำบลยกกระบัตร อำเภอสามเภา จังหวัดตาก ประกอบอาชีพหลักทำนาปี ทำไร่ข้าวโพดและสวนกล้วยไข่เป็นส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้วิธีการสูบน้ำจากแม่น้ำวังเพื่อเข้าพื้นที่เพาะปลูกผ่านระบบเหมือง สำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่เพาะปลูกห่างไกลจากแนวเหมือง จะใช้วิธีเจาะบ่อน้ำบาดาลและใช้เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสูบน้ำได้ดินที่ระดับความลึก 12 เมตรเพื่อรดน้ำพืชผลที่เพาะปลูกไว้ ทำให้มีต้นทุนการทำเกษตรที่สูงเนื่องจากต้องใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเพื่อการสูบน้ำ ทศนะ ถมทองและคณะ [1] ได้ออกแบบสร้างระบบสูบน้ำที่มีแหล่งพลังงานเป็นโซลาร์เซลล์จ่ายให้อินเวอร์เตอร์สามเฟสแบบ six-step 24 โวลต์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำตั้งกำลัง ที่ความถี่ 45 เฮิรตซ์สามารถสูบน้ำได้ 28.4 ลิตรต่ออนาทีที่ความลึก 4 เมตร สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบสูบน้ำบาดาลดังกล่าวโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มอเตอร์ดังกล่าวมีการคอมมิวเตชันทางอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่มีส่วนสัมผัสกันระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ทำให้ไม่สึกหรองง่ายและออกแบบระบบทางกลตามหลักการในงานวิจัยของ เจริญภา วรณศรี และคณะ [2] เพื่อให้ระบบสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ที่ระยะความลึก 12 เมตร

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการออกแบบสร้างระบบสูบน้ำ

2.1 ระบบปั้มน้ำขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ที่มีแหล่งจ่ายเป็นโซลาร์เซลล์ที่นำเสนอ

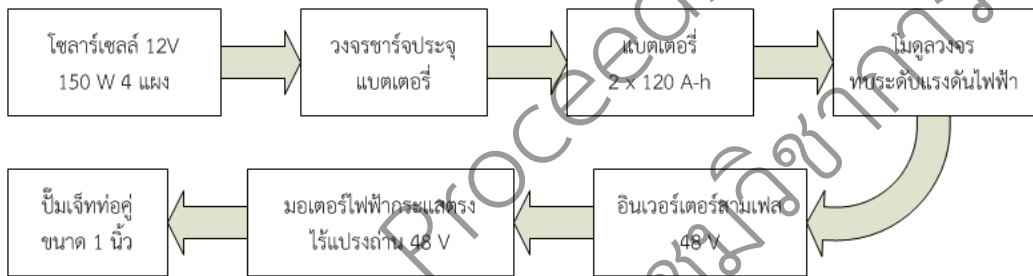
การออกแบบระบบสูบน้ำขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ที่มีแหล่งจ่ายเป็นโซลาร์เซลล์ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบให้สามารถสูบน้ำที่ความลึก 12 เมตร นำไปสู่การเลือกชนิดปั้มน้ำ โดยเลือกใช้ปั้มน้ำเจ็ทท่อคู่ 1 นิ้ว ที่มีความสามารถใช้งานเหมาะสมกับระยะความลึกดังกล่าว เครื่องต้นแบบประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก ประกอบด้วย ส่วนแรกคือโครงสร้างรองรับแผงโซลาร์เซลล์กับปั้มน้ำ และ ส่วนที่สองคือระบบไฟฟ้าประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ วงจรชาร์จประจุแบตเตอรี่ โมดูลลงจรทระดับแรงดัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ อินเวอร์เตอร์สามเฟส และ มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบโดยรวม

2.2 ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ

องค์ประกอบโดยรวมของระบบสูบน้ำที่นำเสนอตั้งบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2 มอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊มน้ำที่มีความสามารถในการขับปั๊มน้ำได้เป็นมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 48 โวลต์ มีแหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่นำมาต่ออนุกรมกันให้มีระดับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ มีโมดูลวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็น 48 โวลต์เพื่อให้เท่ากับพิกัดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบสูบน้ำที่นำเสนอ

2.2.1 ปั๊มน้ำ

เลือกใช้ปั๊มเจ็ทขนาดท่อ 1 นิ้ว มีลักษณะเป็นปั๊มแบบสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำงานร่วมกับหัวฉีดน้ำซึ่งมีแรงดันสูงพุ่งผ่านช่องแคบของท่อซึ่งมีรูปทรงเป็นทอคอคอด ทำให้สามารถดูดน้ำได้ระยะความลึกสูง



รูปที่ 3 ปั๊มเจ็ทท่อคู่

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.1) การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

สำหรับการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับปั๊มเจ็ทในหัวข้อ 2.1 ต้องใช้กำลังไฟฟ้าต้นกำลังที่ขับปั๊มน้ำได้เพียงพอ จึงทำการเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านให้เป็นต้นกำลังขับปั๊มน้ำ ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นพิกัดที่สามารถจัดหาซื้อมาได้ และมีความเร็วรอบเพียงพอต่อการขับปั๊มน้ำ เหตุผลที่เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดนี้เพราะมอเตอร์ชนิดนี้มีการคอมมิวเตชันทางอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่มีส่วน

สัมผัสระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ ทำให้ไม่สึกหรองง่าย สามารถทำงานได้เป็นเวลานาน และนิยมใช้เป็นต้นกำลังสำหรับระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์

2.2) การออกแบบการควบคุมมอเตอร์

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เป็นตัวสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมการนำกระแสของมอสเฟตกำลัง การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ใช้หลักการนำพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นให้สอดคล้องกับตำแหน่งของตัวโรเตอร์ โดยใช้ตัวตรวจจับสัญญาณด้วยฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ทั้งสามตำแหน่งที่ติดตั้งไว้ที่สเตเตอร์เป็นสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์ โดยสัญญาณนี้จะนำมาสร้างตัวเลขสามหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ 60 องศาทางไฟฟ้าตามตำแหน่งการทำงานของโรเตอร์ โดยหนึ่งรอบการหมุนมี 6 ชั้นรวม 360 องศาทางไฟฟ้า มีลำดับการคอมมิวเตชันดังตารางที่ 1

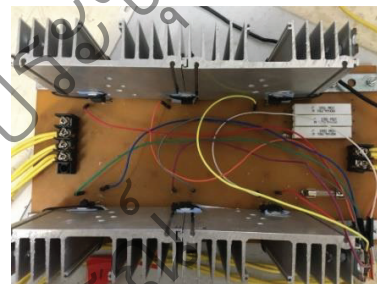
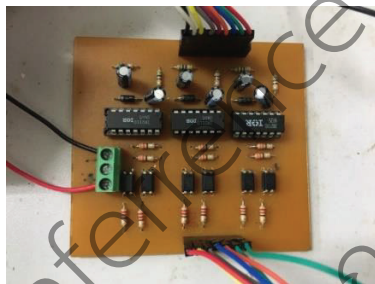
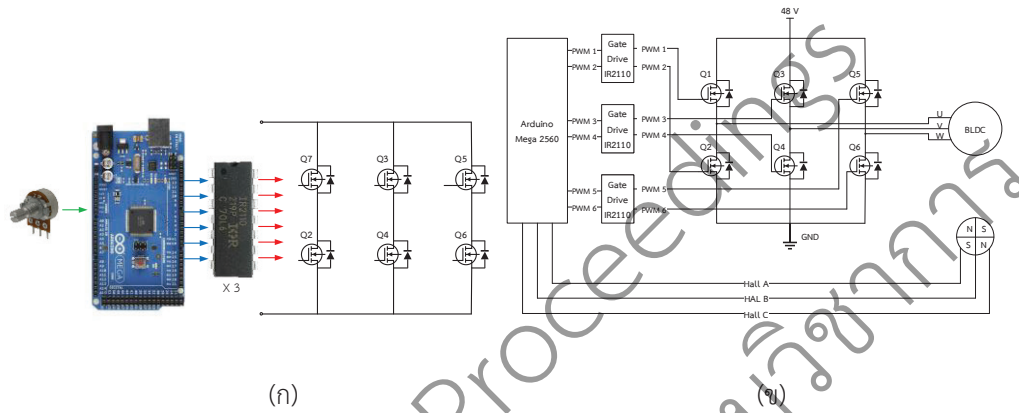
ตารางที่ 1 ลำดับการคอมมิวเตชันสำหรับการหมุนมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านหมุนทวนเข็มนาฬิกา

Step	Electrical	Encoder			Phase current			Switch closed	
	Angle	H1	H2	H3	Iu	Iv	Iw		
1	0° - 60°	1	0	1	+	-	Off	Q1	Q4
2	60° - 120°	0	0	1	Off	-	+	Q5	Q4
3	120° - 180°	0	1	1	-	Off	+	Q5	Q2
4	180° - 240°	0	1	0	-	+	Off	Q3	Q2
5	240° - 300°	1	1	0	Off	+	-	Q3	Q6
6	300° - 360°	1	0	0	+	Off	-	Q1	Q6

2.2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

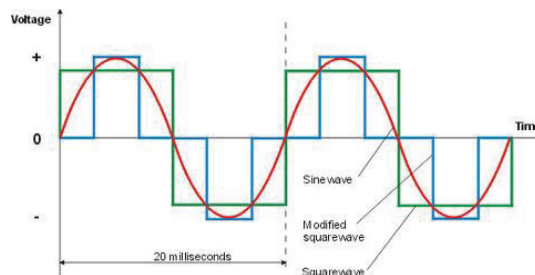
การออกแบบอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้กับโพลมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 48 โวลต์ กระแสไฟฟ้าพิกัดของมอเตอร์ 16.67 แอมแปร์ จึงเลือกใช้มอสเฟตกำลังแบบ N-channel เบอร์ P75NF75 ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 75 โวลต์ พิกัดกระแสไฟฟ้า 80 แอมแปร์ จำนวน 6 ตัว เพื่อแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับวงจรขับเคลื่อนใช้ไอซี IR2110 ทั้งหมด 3 ตัว ภายในไอซีมีเดทไทม์หน่วงเวลาเพื่อ

ป้องกันมอเตอร์ทำงานพร้อมกันเป็นเหตุให้วงจรกำลังลัดวงจรเสียหายได้ ส่วนสัญญาณควบคุมจะสร้างจากสัญญาณ PWM ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560



รูปที่ 5 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส 48 โวลต์ (ก) สัญญาณควบคุมการสวิตซ์ซิ่งของอินเวอร์เตอร์ (ข) การจุดชนวนเกตมอสเฟตของอินเวอร์เตอร์ (ค) วงจรขับเคลื่อนที่สร้างจากไอซี IR2110 (ง) วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์

การออกแบบโปรแกรมเพิ่มความถี่และลดความถี่ของสัญญาณ SIX-STEP ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้หนึ่งตัวส่งค่าแอนะล็อกเข้าโปรแกรมคำนวณให้ได้ค่าเวลาดีเลย์ของโปรแกรม 6 ครั้งในหนึ่งวัฏจักรรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตแบบ SIX-STEP ของอินเวอร์เตอร์ หลักการดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 หลักการหาค่าเวลาดีเลย์ 6 ชั้นในหนึ่งวัฏจักรแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

2.2.4 แบตเตอรี่

จากข้อกำหนดด้านอุปกรณ์ที่มีอยู่จึงเลือกใช้แบตเตอรี่ที่สามารถช่วยในการสตาร์ทมอเตอร์ได้และเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ดีจากแผงโซลาร์เซลล์ โดยแบตเตอรี่ที่เลือกใช้เป็นแบบ Deep Cycle เนื่องด้วยเป็นแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบมาให้สามารถคายประจุได้ต่อเนื่อง แบตเตอรี่มีพิกัด 12 โวลต์ 120 แอมแปร์-ชั่วโมง 2 ลูก ต่อกันเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

2.2.5 โซลาร์เซลล์

ในงานวิจัยนี้ใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Polycrystalline Silicon ขนาดพิกัด 150 วัตต์ 4 แผง ต่อกัน 2 ชุดแล้วนำมาต่อขนานกัน ให้มีระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งาน 36 โวลต์และจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 18 แอมแปร์ แผงโซลาร์เซลล์มีกำลังไฟฟารวม 600 วัตต์

2.2.6 วงจรชาร์จประจุแบตเตอรี่

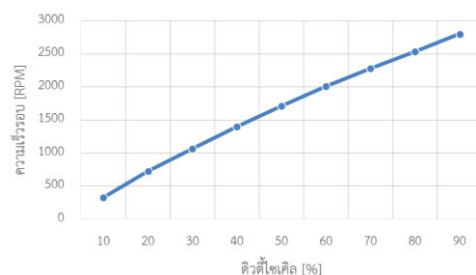
การชาร์จประจุไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์จะต้องมีเครื่องชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยชาร์จประจุแบตเตอรี่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของความจุเต็มพิกัดแบตเตอรี่ 120 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยใช้กระแสไฟฟ้าชาร์จ 12 แอมแปร์โดยประมาณ จากแรงดันไฟฟ้าที่ควรใช้ชาร์จแบตเตอรี่ 24 โวลต์ เครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่ควรมีแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 1.5 เท่า ทำได้โดยการต่อแผงโซลาร์เซลล์ขนานกัน 2 ชุดแล้วนำมาต่อกันให้เป็น 36 โวลต์และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 18 แอมแปร์ จึงเลือกใช้เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 36 โวลต์ และพิกัดกระแสไฟฟ้า 30 แอมแปร์

3. ผลการทดสอบ

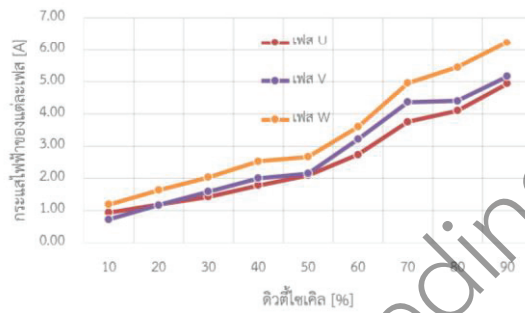
สำหรับการทดสอบจะแบ่งออกได้ 2 ส่วนใหญ่ คือ การทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดปั้มน้ำและสมรรถนะในการสูบน้ำเครื่องต้นแบบ

3.1 การทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดปั้มน้ำ

ในการทดสอบมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ขณะไม่มีโหลด ทำการทดสอบโดยการปรับดีวีทีไซเคิลสัญญาณสวิทช์ด้าน High ของอินเวอร์เตอร์สามเฟส เพิ่มขึ้นทีละ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ความถี่สวิทช์ 31 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบให้กับมอเตอร์ โดยมอเตอร์เริ่มหมุนที่ดีวีทีไซเคิล 10 เปอร์เซ็นต์มีความเร็วรอบ 324 รอบต่อนาที ที่ดีวีทีไซเคิล 90 เปอร์เซ็นต์มีความเร็วรอบสูงสุด 2,799 รอบต่อนาที ความเร็วรอบและกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสจะแปรผันตรงกับดีวีทีไซเคิล ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ ความเร็วของมอเตอร์ระดับนี้เพียงพอต่อการขับปั้มน้ำที่เลือกใช้ในงานวิจัย จึงนำหลักการนี้ไปใช้ทดสอบระบบสูบน้ำต่อไป



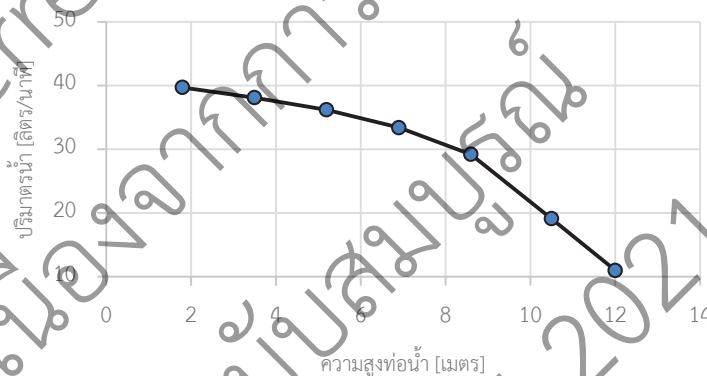
รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านกับค่าดีวีทีไซเคิล



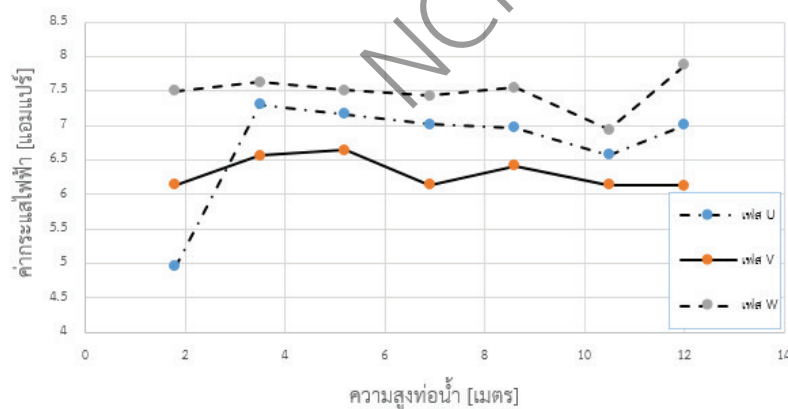
รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านกับค่าตัวตัดไซเคิล

3.2 สมรรถนะในการสูบน้ำเครื่องต้นแบบ

จากการสูบน้ำที่ความสูงในช่วง 1.8 – 12 เมตร เลือกใช้ตัวตัดไซเคิลสัญญาณสวิตซ์ด้าน High ของอินเวอร์เตอร์สามเฟส 70 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ในการสวิตซ์ 31 กิโลเฮิร์ตซ์ ใช้ทำการสูบน้ำทำให้ทราบว่าการทำงานของมอเตอร์เต็มพิกัด 25.4 โวลต์ สามารถใช้สูบน้ำได้นานประมาณ 160 นาทีเมื่อใช้แบตเตอรี่ไปแล้ว 40 เปอร์เซ็นต์ทุกระดับความสูง แต่สมรรถนะในการสูบน้ำของเครื่องต้นแบบจะแปรผกผันกับระดับความสูงที่ต้องการสูบน้ำดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูบได้กับระยะความสูงของท่อน้ำ



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าขณะสูบน้ำและระยะความสูงของท่อน้ำ

4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาที่ได้จากการทดสอบระบบปั้มน้ำเครื่องต้นแบบแยกออกเป็น 3 ประเด็น ประเด็นแรกการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามารถทำได้โดยการปรับดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณสวิตซ์ด้าน High ของอินเวอร์เตอร์สามเฟส ประเด็นที่สอง การทดสอบมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ พบว่าสามารถปรับความเร็วได้โดยการปรับดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณสวิตซ์ด้าน High ของอินเวอร์เตอร์สามเฟส ใช้ความถี่สวิตซ์ 31 กิโลเฮิร์ตซ์ กระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสและความเร็วรอบจะแปรผันตรงกับดิวตี้ไซเคิล ประเด็นที่สาม สมรรถนะในการสูบน้ำเครื่องต้นแบบที่ระดับความสูงในช่วง 1.8 - 12 เมตร ใช้ทำการสูบน้ำจากการชาร์จประจุแบตเตอรี่เต็มพิกัด 25.4 โวลต์ สามารถใช้ทำการสูบน้ำได้นาน 160 นาทีโดยเฉลี่ย เมื่อใช้แบตเตอรี่ไปแล้ว 40 เปอร์เซ็นต์ กระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกันทุกระดับความสูง ความสามารถในการสูบน้ำของเครื่องต้นแบบจะแปรผกผันกับระดับความสูงที่ต้องการสูบน้ำ โดยที่ระดับความสูง 1.8 เมตร ปั้มน้ำสามารถสูบน้ำได้สูงสุด 39.7 ลิตรต่อนาที ที่ความสูงทดสอบ 12 เมตร สามารถสูบน้ำได้สูงสุด 11 ลิตรต่อนาที

5. วิจารณ์และสรุปผล

จากการทดสอบระบบสูบน้ำขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสามเฟส 48 โวลต์ ที่มีแหล่งจ่ายเป็นโซลาร์เซลล์ ขับด้วยอินเวอร์เตอร์สามเฟสแบบ SIX-STEP ที่สร้างขึ้นพบว่าสามารถสูบน้ำได้ 11 ลิตรต่อนาที ที่ระดับ ความลึกสูงสุด 12 เมตร เป็นระยะเวลา 160 นาทีเมื่อใช้ประจุแบตเตอรี่ไป 40 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการสูบน้ำของเครื่องต้นแบบจะแปรผกผันกับระดับความสูงที่ต้องการสูบน้ำ สิ่งที่ต้องพัฒนาต่อไปคือส่วนของความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะมีโหลดปั้มน้ำ เนื่องจากมีความเร็วรอบไม่เพียงพอตามพิกัดปั้มน้ำ จึงควรเพิ่มความเร็วยุโรปให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการสูบน้ำของปั้มน้ำให้ได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ทำงานวิจัยจากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีไฟฟ้าสำหรับเกษตรอัจฉริยะ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทศนะ ถมทอง และคณะ. ปั้มน้ำใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส 24 โวลต์. การประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 9, 23-24 มกราคม 2563; หอประชุมพระยงำเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา. หน้า 228-236.
- [2] เจษฎา วรณศรี และคณะ. เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่. การประชุมวิชาการครูศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 8, 26 พฤศจิกายน 2558; หอประชุมเบญจรัตน์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. หน้า 113-118.
- [3] เฉลิมพล เรื่องพัฒนาวิวัฒน์ และยุทธนา กันทะพะเยา. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่านด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับจักรยานสามล้อไฟฟ้า. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559; 1(1): 17-22.

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก
โดยใช้ตัวควบคุมแบบอัตราการปรับตัวคงที่
Separately Excited DC Motor Speed Control by Using Fixed Step Size Controller

ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

Narongrit Pimkumwong

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

E-mail : p.narongrit@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอตัวควบคุมอย่างง่ายสำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก การควบคุมความเร็วรอบทำโดยปรับกระแสไฟฟ้าอาร์มเจอร์คำสั่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยอัตราการปรับตัวคงที่จนกระทั่งค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบคำสั่งกับความเร็วรอบจริงมีค่าน้อยที่สุด ตัวควบคุมดังกล่าวมีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวจึงง่ายต่อการปรับจูน และไม่ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในการออกแบบตัวควบคุม ผลการจำลองระบบควบคุมด้วยโปรแกรม Matlab/ Simulink แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมที่นำเสนอสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ในย่านกว้าง มีเสถียรภาพ และมีผลตอบสนองที่ดีทั้งในช่วงสภาวะชั่วคราวและสภาวะคงตัว

คำสำคัญ : การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ตัวควบคุมแบบอัตราการปรับตัวคงที่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

Abstract

This paper presents the simple controller for the separately excited DC motor speed control. The speed control is performed by adjustment the command armature current increasing or decreasing with a fixed step size until the difference between the command speed and the actual speed is minimal. The mentioned controller only has one parameter therefore it is easy to tune and the mathematical model of the system is not required for controller design. The simulation results on Matlab/ Simulink program shows that the proposed control system has wide range of speed control, stability and good responses both in transient and steady-state conditions.

Keywords : Motor Speed Control, Fixed Step Size Controller, Separately Excited DC Motor

1. บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกเป็นหนึ่งในมอเตอร์ที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวต้นกำลังสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากค่าบำรุงรักษาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน ยานการปรับความเร็วรอบกว้าง แรงบิดสตาร์ทสูง และวิธีการควบคุมความเร็วรอบไม่ยุ่งยาก การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกในยานยนต์ไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับ การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ ซึ่งมีวิธีการควบคุม 2 วิธี คือ การควบคุมแบบลูเปิด และการควบคุมแบบลูปิด การควบคุมแบบลูปิดมีข้อดีกว่าการควบคุมแบบลูเปิดในด้านความแม่นยำ ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือ เมื่อพารามิเตอร์ของมอเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง และเมื่อมีสิ่งรบกวนภายนอกกระทำต่อระบบ

ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) และตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการนำมาใช้กับระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปิด เนื่องจากมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และให้ผลตอบสนองที่ดี แต่อย่างไรก็ตามตัวควบคุมดังกล่าวต้องการการปรับจูนอัตราขยายที่เหมาะสมเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบจึงมีความยุ่งยากในการปรับจูน [1], [2] ยิ่งกว่านั้นความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ และการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในระบบส่งผลให้ การใช้ตัวควบคุมแบบพีไอหรือพีไอดีไม่เหมาะสมกับการใช้งานควบคุมความเร็วรอบในยานกว้าง [3] ตัวควบคุมแบบพีไอ หรือพีไอดีโดยใช้เทคนิคการค้นหา (Search Technique) ในการปรับจูนอัตราขยาย เช่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) [4] ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบจายา (Jaya Optimization Algorithm) [1] และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [3] ถูกนำเสนอเพื่อลดความยุ่งยากในการปรับจูนตัวควบคุม เนื่องจากไม่ต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ และสามารถควบคุมความเร็วรอบในยานกว้างโดยสามารถปรับจูนอัตราขยายของตัวควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งานทุกย่านความเร็ว แต่สมรรถนะของการควบคุมขึ้นอยู่กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ยิ่งกว่านั้นวิธีการดังกล่าวใช้เวลาค้นหาอัตราขยายที่เหมาะสมที่สุดค่อนข้างมาก และสมการค่อนข้างซับซ้อน ตัวควบคุมบนพื้นฐานของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent based Controller) เช่น ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Controller) [2] ตัวควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม [5] ตัวควบคุมบนพื้นฐานระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS) [6] ตัวควบคุมดังกล่าวไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในการออกแบบตัวควบคุม สามารถควบคุมความเร็วรอบในยานกว้าง และให้ผลตอบสนองที่ดี แต่ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกต้องการผู้ที่มีความชำนาญกับระบบในการออกแบบตัวควบคุม มีขั้นตอนและการคำนวณยุ่งยาก ตัวควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม และตัวควบคุมบนพื้นฐานระบบอนุมานฟัซซี่โครงข่ายปรับตัวได้ ต้องการข้อมูลและเวลาในขั้นตอนการเรียนรู้ (Training Process) ค่อนข้างมาก และสมการค่อนข้างซับซ้อน

บทความนี้แนะนำให้เสนอตัวควบคุมอย่างง่ายสำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกในยานความเร็วรอบต่ำกว่าพิกัด การควบคุมความเร็วรอบทำได้โดยปรับกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์คำสั่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยอัตราการปรับตัวคงที่ เพื่อค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบคำสั่งกับความเร็วรอบจริงให้ มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งความเร็วรอบคำสั่งได้จากการปรับตั้ง และความเร็วรอบจริงได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ จึงไม่ต้องการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในการออกแบบตัวควบคุม และสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ในยานกว้าง แม้ว่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลง ยิ่งกว่านั้นตัวควบคุมดังกล่าวมีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวจึงง่ายต่อการปรับจูน และสมการไม่ซับซ้อน

2. วิธีการวิจัย

เนื้อหาในส่วนนี้กล่าวถึงการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ตัวควบคุมแบบอัตราการปรับตัวคงที่ การควบคุมแบบป้อนไปหน้า (Feedforward Control) และแผนภาพบล็อกของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกที่นำเสนอ

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

บทความนี้มุ่งเน้นการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกในย่านต่ำกว่าพิกัด ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบในย่านดังกล่าวใช้วิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ (Armature Voltage Control) โดยทำการรักษาสนามแม่เหล็กให้คงที่ ๆ พิกัด ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งอธิบายพฤติกรรมทางพลวัตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$v_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (1)$$

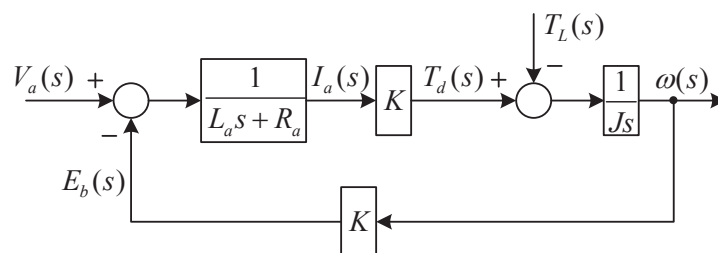
$$e_b(t) = K\omega(t) \quad (2)$$

$$T_d(t) = K i_a(t) \quad (3)$$

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{T_d(t) - T_L(t)}{J} \quad (4)$$

ซึ่ง $v_a(t)$ และ $i_a(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ตามลำดับ $e_b(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back Electromotive Force) $\omega(t)$ คือ ความเร็วรอบเชิงมุมของมอเตอร์ $T_d(t)$ และ $T_L(t)$ คือ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้นและแรงบิดโหลดตามลำดับ R_a และ L_a คือ ค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาร์เมเจอร์ตามลำดับ K คือ ค่าคงที่ และ J คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์

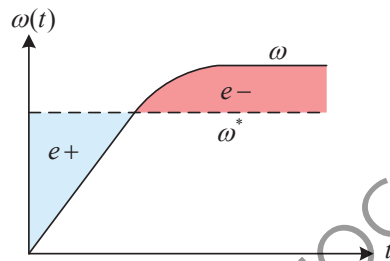
เมื่อทำการแปลงลาปลาซสมการที่ (1) – (4) สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

2.2 ตัวควบคุมแบบอัตราการปรับตัวคงที่

แนวคิดของตัวควบคุมแบบอัตราการปรับตัวคงที่สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกพิจารณาจากกราฟความเร็วรอบต่อเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟความเร็วรอบต่อเวลา

โดย ω^* คือ ความเร็วรอบคำสั่งแสดงด้วยเส้นประ ω คือ ความเร็วรอบจริงแสดงด้วยเส้นทึบ และ e คือ ค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบคำสั่งกับความเร็วรอบจริง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 พบว่าถ้าค่าความเร็วรอบจริงน้อยกว่าความเร็วรอบคำสั่ง ($e+$) มอเตอร์ควรสร้างแรงบิดเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มความเร็วรอบจริงให้เข้าใกล้ความเร็วรอบคำสั่ง ซึ่งทำได้โดยเพิ่มกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์คำสั่ง เนื่องจากแรงบิดแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ดังสมการที่ (3) ในทางกลับกันถ้าค่าความเร็วรอบจริงมากกว่าความเร็วรอบคำสั่ง ($e-$) กระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์คำสั่งควรลดลง เพื่อลดแรงบิดของมอเตอร์ ส่งผลให้ความเร็วรอบจริงของมอเตอร์ลดลงเข้าใกล้ความเร็วรอบคำสั่ง และถ้าค่าความเร็วรอบจริงเท่ากับความเร็วรอบคำสั่งไม่ควรเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์คำสั่ง แนวคิดดังกล่าวสามารถเขียนแสดงได้ดังสมการที่ (5)

$$i_a^*(new) = \begin{cases} i_a^*(old) + \frac{e}{|e|} gC & ; e \neq 0 \\ i_a^*(old) & ; e = 0 \end{cases}$$

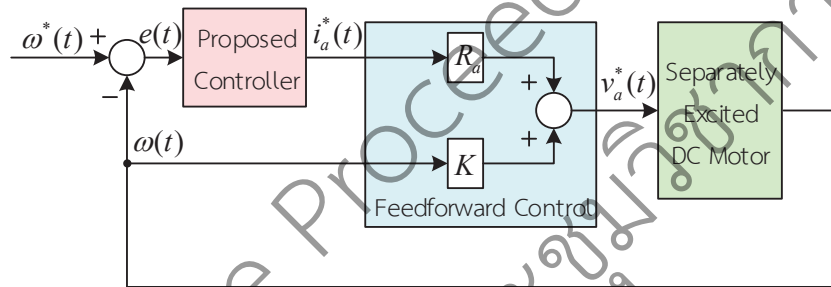
ซึ่ง $i_a^*(new)$ และ $i_a^*(old)$ คือ กระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์คำสั่งใหม่และเก่าตามลำดับ $|e|$ คือ ขนาดของค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบคำสั่งกับความเร็วรอบจริง และ C คือ ค่าคงที่การปรับตัว จากสมการพบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอใช้เครื่องหมายของค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบคำสั่งกับความเร็วรอบจริงและมีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียว ซึ่งต่างจากตัวควบคุมแบบพีโอในระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากใช้ค่าปัจจุบันและค่าเก่าของค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วรอบคำสั่งกับความเร็วรอบจริงและมีพารามิเตอร์สองตัว นอกจากนี้สมรรถนะของตัวควบคุมแบบพีโอในระบบเวลาไม่ต่อเนื่องขึ้นอยู่กับค่าเวลาการสุ่ม (Sampling Time)

2.3 การควบคุมแบบป้อนไปหน้า

การควบคุมกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์โดยส่วนใหญ่ใช้การควบคุมแบบลูปิดซึ่งต้องใช้ตัวควบคุม เพื่อลดตัวควบคุมในระบบ บทความนี้ใช้การควบคุมแบบป้อนไปหน้าซึ่งกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์สามารถควบคุมผ่านแรงดันไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$v_a^*(t) = R_a i_a^*(t) + K\omega(t) \quad (6)$$

ซึ่ง $v_a^*(t)$ และ $i_a^*(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอาร์เมเจอร์คำสั่งตามลำดับ แผนภาพบล็อกของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกโดยใช้ตัวควบคุมที่นำเสนอร่วมกับการควบคุมแบบป้อนไปหน้าแสดงได้ดังรูปที่ 3



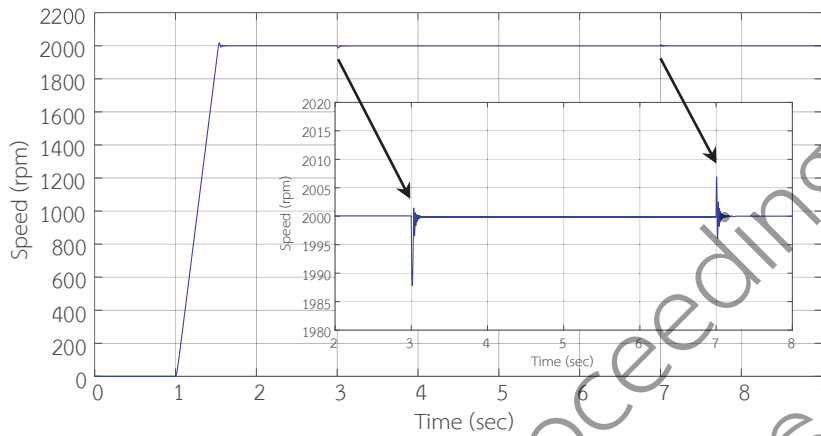
รูปที่ 3 แผนภาพบล็อกของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกที่นำเสนอ

3. ผลการวิจัย

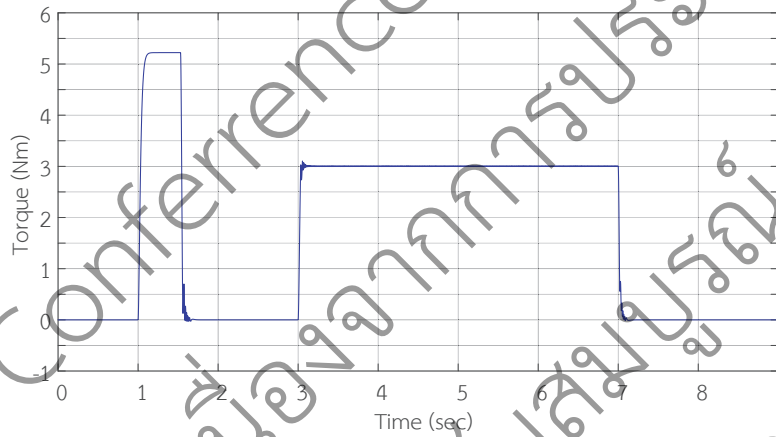
ระบบควบคุมความเร็วรอบดังแสดงในรูปที่ 3 ถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink เพื่อยืนยันความเป็นไปได้และความถูกต้องของแนวคิดที่นำเสนอ โดยมีพารามิเตอร์ของมอเตอร์ดังนี้ กำลังไฟฟ้าที่กัก 750 วัตต์ ความเร็วรอบที่กัก 2000 รอบต่อนาที R_a เท่ากับ 7.55 โอห์ม L_a เท่ากับ 0.1114 เฮนรี่ K เท่ากับ 0.8704 และ J เท่ากับ 0.01287 กิโลกรัม - ตารางเมตร ในบทความนี้ค่าคงที่การปรับตัว C ได้จากวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) การจำลองการทำงานแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นในย่านความเร็วรอบสูงและต่ำ และกรณีกลับทิศทางการหมุน

3.1 ผลการจำลองการทำงานกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นในย่านความเร็วรอบสูงและต่ำ

การจำลองการทำงานแบ่งเป็น 2 ย่านการทำงาน ย่านความเร็วรอบสูงทำโดยปรับความเร็วรอบคำสั่งจากหยุดนิ่ง (0 รอบต่อนาที) ไปสู่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาทีแบบทันทีทันใดที่เวลา 1 วินาที และย่านความเร็วรอบต่ำทำโดยปรับความเร็วรอบคำสั่งจากหยุดนิ่งไปสู่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีแบบทันทีทันใดที่เวลา 1 วินาที เมื่อผลตอบสนองของความเร็วรอบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วทำการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้น โดยทำการต่อโหลดที่กัก 3 นิวตันเมตรที่เวลา 3 วินาทีแล้วปลดโหลดออกที่เวลา 7 วินาที ผลการจำลองการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 4 และ 5

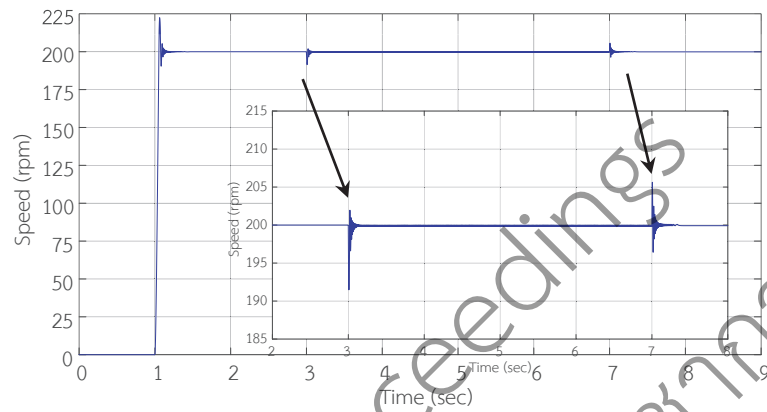


(ก)

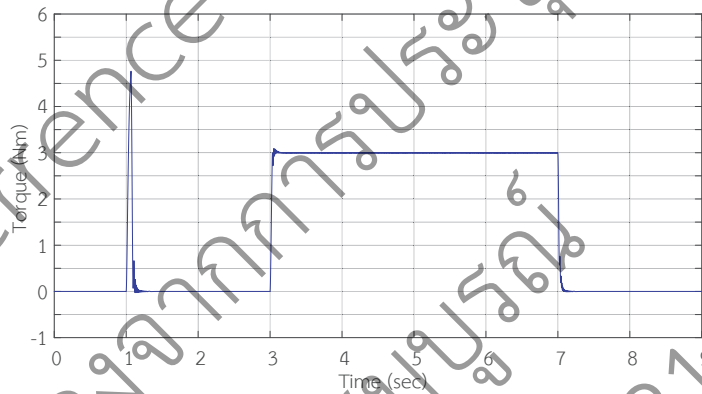


(ข)

รูปที่ 4 ผลตอบสนองกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นในย่านความเร็วรอบสูง (ก) ผลตอบสนองความเร็วรอบ และภาพขยายของผลตอบสนองความเร็วรอบในช่วงเปลี่ยนแปลงโหลด และ (ข) ผลตอบสนองแรงบิด



(ก)

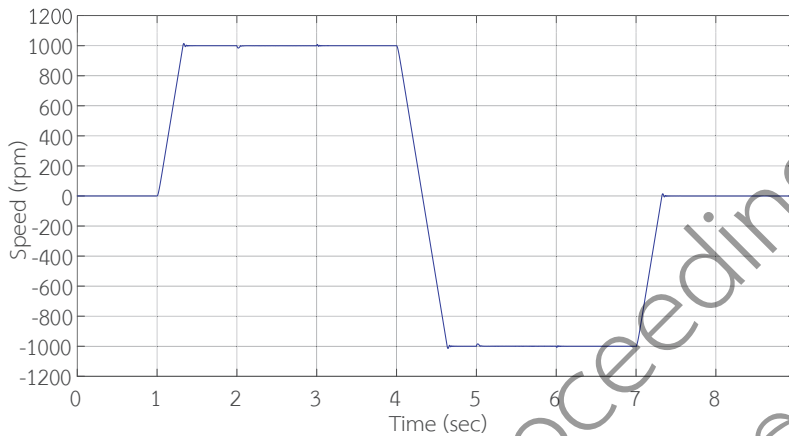


(ข)

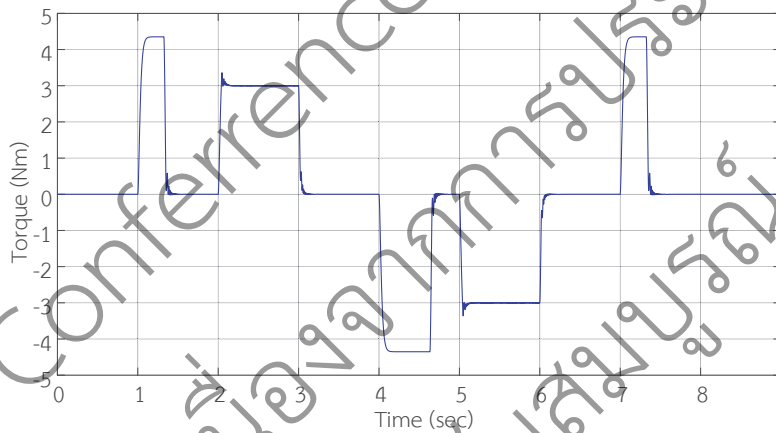
รูปที่ 5 ผลตอบสนองกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นในย่านความเร็วรอบต่ำ (ก) ผลตอบสนองความเร็วรอบ และภาพขยายของผลตอบสนองความเร็วรอบในช่วงเปลี่ยนแปลงโหลด และ (ข) ผลตอบสนองแรงบิด

3.2 ผลการจำลองการทำงานกรณีกลับทิศทางการหมุน

การจำลองการทำงานทำโดยปรับความเร็วรอบคำสั่งจากหยุดนิ่งไปสู่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ที่เวลา 1 วินาที ทำการต่อโหลดพิกัดที่เวลา 2 วินาทีแล้วปลดโหลดออกที่เวลา 3 วินาที แล้วปรับความเร็วรอบคำสั่ง ไปสู่ -1000 รอบต่อนาทีที่เวลา 4 วินาที ทำการต่อโหลดพิกัดที่เวลา 5 วินาทีแล้วปลดโหลดออกที่เวลา 6 วินาที จากนั้นปรับความเร็วรอบคำสั่งไปสู่สภาวะหยุดนิ่งที่เวลา 7 วินาที ผลการจำลองการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 6



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 ผลตอบสนองการมีกลับทิศทางการหมุน (ก) ผลตอบสนองความเร็วรอบ และ (ข) ผลตอบสนองแรงบิด

4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป

จากผลการจำลองการทำงานกรณีเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้น พบว่าในย่านความเร็วรอบสูง มอเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบตามความเร็วรอบคำสั่งได้อย่างแม่นยำโดยมีช่วงเวลาดำเนิน (Rise Time) ประมาณ 0.5 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) เมื่อเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นระบบควบคุมที่นำเสนอสามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้คงที่ ๆ 2,000 รอบต่อนาที โดยมีค่าเวลาคืนตัว (Recovery Time) ประมาณ 0.2 วินาที และมอเตอร์สามารถตอบสนองต่อแรงบิดโหลดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ สำหรับการควบคุมความเร็วรอบในย่านความเร็วรอบต่ำมีสมรรถนะใกล้เคียงกับย่านความเร็วรอบสูง โดยมีช่วงเวลาดำเนินและค่าเวลาคืนตัวประมาณ 0.2 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) และ (ข) อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4 และ 5 พบว่าการแกว่งของความเร็วรอบและแรงบิดในช่วงก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งผลดังกล่าวเกิดจากตัวควบคุมที่นำเสนอใช้

อัตราการปรับตัวแบบคงที่ และจากผลการจำลองการทำงานกรณีกลับทิศทางการหมุน พบว่าระบบควบคุมที่นำเสนอสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ตามความเร็วรอบคำสั่งได้อย่างแม่นยำ ทั้งในกรณีต่อโหลดและปลดโหลด ทั้งย่านความเร็วเป็นบวกและลบ และมอเตอร์สามารถตอบสนองต่อแรงบิดโหลดได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 6

จากผลการจำลองการทำงานทั้งสองกรณีแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมที่นำเสนอสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ในย่านกว้าง มีเสถียรภาพ และมีผลตอบสนองที่ดีทั้งในช่วงสภาวะชั่วคราวและสภาวะคงตัว อย่างไรก็ตามต้องปรับปรุงตัวควบคุมเพื่อลดการแกว่งของความเร็วรอบและแรงบิดในช่วงก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว และการควบคุมแบบป้อนไปหน้าขึ้นกับค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ R_a และค่าคงที่ K ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมแรงบิด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Achanta RK, Pamula VK. DC motor speed control using PID controller tuned by jaya optimization algorithm. In IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI 2017); 2017 September 21-22; Chennai, India :Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2018. p. 983–7.
- [2] Prem O, Kumar B, Jha SK. Intelligent Speed Control of DC Servo Motor Drive. In 2018 International Conference On Recent Innovations in Electrical, Electronics and Communication Engineering (ICRIEECE 2018); 2018 July 27-28; Bhubaneswar, India : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2018. p. 3029–33.
- [3] Naung Y, Anatolii S, Htet Lin Y. Speed control of DC motor by using neural network parameter tuner for PI-controller. In Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus 2019); 2019 January 28-31; Saint Petersburg and Moscow, Russia : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.;2019. p. 2152–6.
- [4] Meena DK, Chahar S. Speed control of DC servo motor using genetic algorithm. In IEEE International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC 2017); 2017 August 17-19; Indore, India : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2018. p. 1–7.
- [5] Hamoodi SA, Sheet II, Mohammed RA. A Comparison between PID controller and ANN controller for speed control of DC Motor. In 2nd International Conference on Electrical, Communication, Computer, Power and Control Engineering (ICECCPCE 2019); 2019 February 13-14; Mosul, Iraq : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2019. p. 221–4.
- [6] Tarannum T. Intelligent Speed Control of DC Motor using ANFIS D Controller. In 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology 2019 (ICASERT 2019); 2019 May 3-5; Dhaka, Bangladesh : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2019.

Official Conference Proceedings
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
ฉบับสมบูรณ์
NCITE 2021

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University

2 ถนนราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

โทรศัพท์ 0-4535-2000-29 ต่อ 1700 โทรสาร 0-4535-2108