

วารสาร

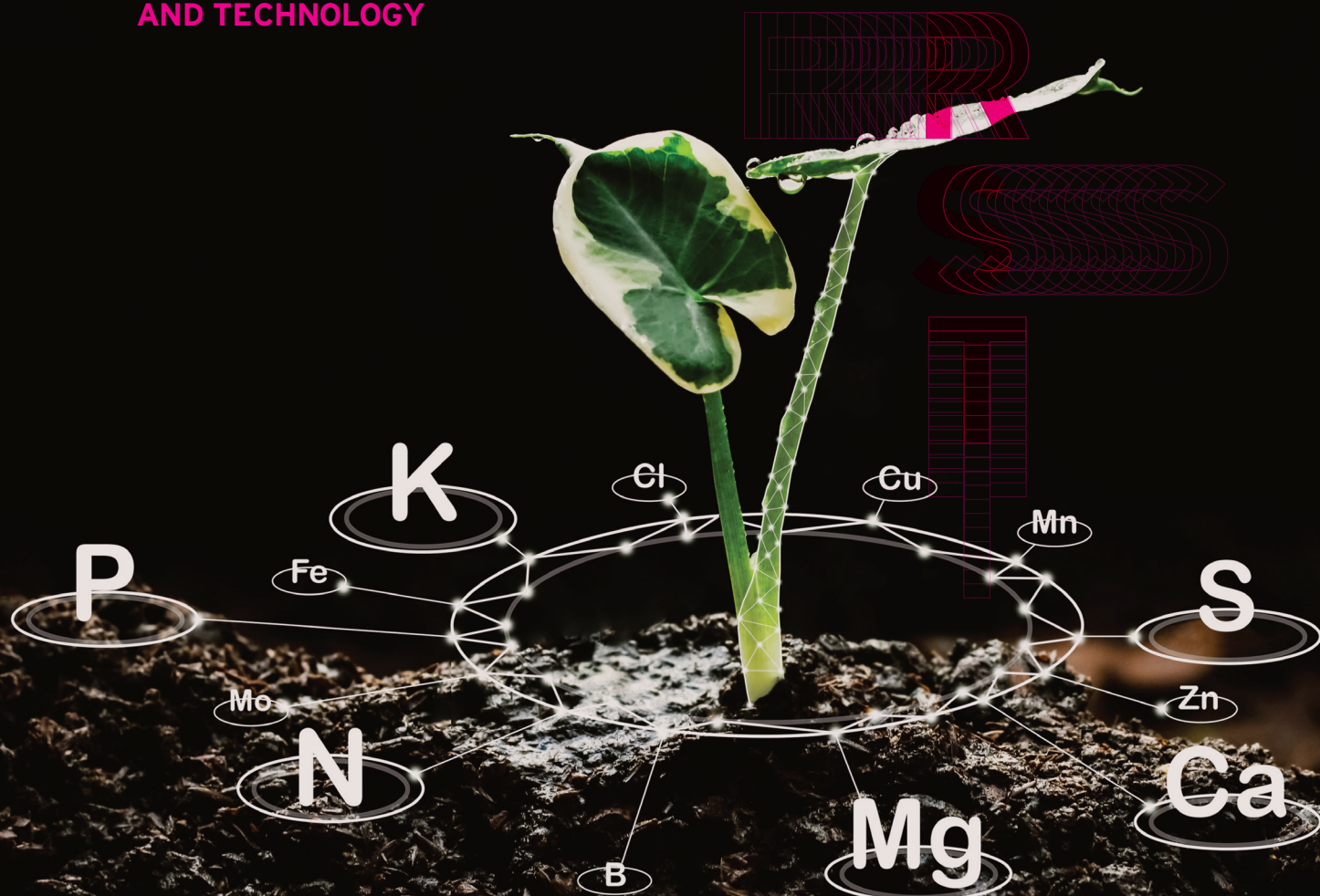
ศรีปทุม ปริทัศน์

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 2228 – 8724 E-ISSN 2672 – 9970

SRIPATUM REVIEW
OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

SRIPATUM REVIEW



ปีที่ 14 มกราคม – ธันวาคม 2565

Vol.14 January - December 2022



วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารทางวิชาการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการแก่บุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคม ส่งเสริม และกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสาขาของบทความที่รับตีพิมพ์ประกอบด้วย (1) General Computer Science (2) General Energy (3) General Engineering (4) Architecture และ (5) General Environmental Science โดยจัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 1 ฉบับ ในเดือนธันวาคมของทุกปี โดยจัดส่งให้ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์การมหาชน) (สมศ.) สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (สกศ.) หน่วยงานและสถาบันการศึกษาต่างๆ

กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความยินดีรับบทความวิจัย (Research article) บทความทางวิชาการ (Academic article) บทความปริทัศน์ (Review article) บทความวิจารณ์หนังสือ (Book review) ที่ยังไม่เคยเผยแพร่ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ผู้สนใจสามารถดูรายละเอียดได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/spurst>

กองบรรณาธิการ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ : 0-2579-1111 ต่อ 1331, 1252, 1155

โทรสาร : 0-2579-1111 ต่อ 2187

Email : research@spu.ac.th

- กองบรรณาธิการสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตัดสินใจตีพิมพ์บทความในวารสาร
- บทความทุกเรื่องจะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ แต่ข้อความและเนื้อหาในบทความที่ตีพิมพ์เป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว มิใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยศรีปทุม
- การคัดลอกอ้างอิงต้องดำเนินการตามการปฏิบัติในหมู่นักวิชาการโดยทั่วไป และสอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

บทบรรณาธิการ

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารระดับชาติที่ออกปีละ 1 ฉบับ สำหรับฉบับนี้เป็นปีที่ 14 ประจำปีเดือนมกราคม-ธันวาคม 2565 ซึ่งปัจจุบันอยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre: TCI) กลุ่มที่ 1 โดยวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกิดมาจากปณิธานของมหาวิทยาลัยศรีปทุม คือ “ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม” และปรัชญาที่ว่า “การศึกษาสร้างคน คนสร้างชาติ” โดยมุ่งหวังว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นแหล่งข้อมูลทางการวิจัยและทางวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ และนักศึกษา

สำหรับวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเล่มนี้ ยังคงเข้มข้นไปด้วยเนื้อหาสาระทางวิชาการ กองบรรณาธิการได้ให้ความสำคัญในการพิจารณาและคัดเลือกบทความที่มีคุณภาพมาลงตีพิมพ์ โดยทุกบทความได้ผ่านการกลั่นกรองจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ตรงสาขาเพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนลงตีพิมพ์ โดยผู้ประเมินไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมินบทความ (Double-blind peer review) เพื่อให้วารสารฉบับนี้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับระดับชาติและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง สำหรับวารสารฉบับนี้ ประกอบด้วย บทความวิจัยจำนวน 14 เรื่อง เช่น “การพัฒนาโมเดลโดยใช้นิวโรฟuzzyสำหรับการคัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างงานก่อสร้างชลประทาน” “แบบจำลองการคัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างงานชลประทาน” “การศึกษาอิทธิพลการไหลของพอลิเมอร์โดยใช้ระบบสัญญาณช่วยในกระบวนการฉีด” เป็นต้น

กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ มีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาวารสารฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีคุณภาพสูงขึ้นจนถึงระดับนานาชาติในอนาคต ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทุกท่านที่กรุณาเป็นผู้ประเมินบทความอย่างมีคุณภาพให้กับทางกองบรรณาธิการ และขอเชิญชวนคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นิสิต และนักศึกษา เสนอบทความเข้ารับการพิจารณากลั่นกรองตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะ อันจะนำไปสู่การนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยท่านสามารถส่งบทความต้นฉบับได้ที่กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ (ดังรายละเอียดท้ายเล่ม) และหากท่านมีข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะประการใดที่จะนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น กองบรรณาธิการยินดีรับข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะนั้นด้วยความขอบคุณยิ่ง

Phaiboon Panyakepa

(ศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปัญญาคะโป)

บรรณาธิการ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่อาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคมทั่วไป
2. เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ ทางด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสาขาของบทความที่รับตีพิมพ์ ประกอบด้วย (1) General Computer Science (2) General Energy (3) General Engineering (4) Architecture และ (5) General Environmental Science

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริย์ ปัญญาคะโป

บรรณาธิการผู้พิมพ์ผู้โฆษณา

ศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริย์ ปัญญาคะโป

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.นวล เหล่าศิริพจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
นางสาวอากาศเอก ศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ประณีตพลกรัง	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ศาสตราจารย์ ดร.มลิวรรณ บุญเสนอ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.อัศม์เดช วานิชชินชัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ จันทนี เพชรานนท์	มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนา สุขวารี	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย วรเดชจำเริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ฝ่ายจัดการและเลขานุการกองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุบิน ยุระรัช

ฝ่ายประชาสัมพันธ์ จัดจำหน่าย และสมาชิก

นางสาวอรกัญญา สุขแก้ว

ฝ่ายศิลปกรรมและจัดทำรูปเล่ม

นางฉวีวรรณ สภาพ

นายสุรตนต์ ชื่นตา

ฝ่ายพิสูจน์อักษร

รองศาสตราจารย์ สมทรง สิตลายัน

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 1 ฉบับ ประจำเดือน มกราคม – ธันวาคม

สถานที่จัดพิมพ์

บริษัท สยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด (มหาชน) โทร. 0 2508 8000

CONTENTS

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

บทความวิจัย

- 07 การพัฒนาโมเดลโดยใช้นิวโรฟuzzyสำหรับการคัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างงานก่อสร้างชลประทาน
: อนุพงศ์ ผดุงนีก, ไพจิตร ผาววัน
- 21 แบบจำลองการคัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างงานชลประทาน
: สุมิตร สุรพันธุ์ไพโรจน์, ไพจิตร ผาววัน
- 38 การศึกษาอิทธิพลการไหลของพอลิเมอร์โดยใช้ระบบสัญญาณช่วยในกระบวนการฉีด
: ประมินทร์ มาปากจั่น, สถาพร ชาดาคม
- 52 ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี
: ยุภา คำตะพล
- 67 การจำแนกภาพเมล็ดข้าววัชพืชจากภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีการถ่ายโอนความรู้
: นฤมิต กิติเวช, ธนาลัย สุคนธ์พันธุ์, อานนท์ ศักดิ์วีระวิญญ์
- 81 กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย
: เมธา ศิริกุล, นลินภัทร์ บำเพ็ญเพียร, ชนนิกันต์ รอดมรรณ
- 95 การพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่และระบบติดตามบนคลาวด์แบบเวลาจริง
: นิพัทธ์ จงสวัสดิ์, อนุชา ตุงคัฐฐาน
- 111 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงและค่าความเข้มของสปีนขึ้นงานพลาสติกโดยใช้วิธีทาทุชิ
: มนัส เจริญกิจ, วัชร ลายลักษณ์, วรรณภา รอดภัย, สถาพร ชาดาคม
- 125 ระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร
: จิตาภรณ์ พอบุตรดี
- 139 การระบุและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SOx) จากเครื่องยนต์เรือ ในมุมมองภาครัฐสำหรับอุตสาหกรรม การขนส่งทางทะเลของไทย: แนวทางการจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ
: สหชัย แสงเรือง, เดชรัตน์ สัมฤทธิ์
- 153 การศึกษาคุณสมบัติเส้นใยผ้าในสถานะฝังกลบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโกปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์
: จิตติภาณุจน์ อนุวัชสกุล, ปริญญา สีลานั้นท์
- 169 การออกแบบและสร้างเครื่องเสมือนลิ้นกาแพคควบคุมโดยผ่านสมาร์ตโฟน
: พชรินทร์ อินทมาส, วีรพล ปานศรีนวล, กันดินันท์ สกุลไพศาล, กริธา สุขทั้ง, ศรัณย์ ฉัตรธัญญกิจ, พรหมพัทธ์ บุญรักษา
- 184 กำลังของผนังคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่
: เลิศภาพ จันทร์เที่ยง, ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์
- 198 Project-specific characteristics reduction to reduce processing time for sub-classification analysis of smart community projects using data mining techniques
: Tipaporn Supamid, Surasak Mungsing

ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความ

Reviewers

ศาสตราจารย์ ดร.โกสุม จันทร์ศิริ
ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ
ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยุพาพิน

ศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ ปัญญาคะโป
ศาสตราจารย์ ดร.สันทัต ศิริอนันต์ไพฑูรย์
ศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ยกส้าน
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รอดสิน
รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป
รองศาสตราจารย์ ดร.กมล บุชบา
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย ธนทรัพย์สิน
รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชัยรัตน์วรณ
รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง

รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญชัย โขมพัตรภรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชิต เหล่าวัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน
รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติวดี ชัยวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา วสุศรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง
รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง
รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เจริญกิจการ
รองศาสตราจารย์ ดร.บดินทร์ รัศมีเทศ
รองศาสตราจารย์ ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุนทรสุขกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ ไควน์ทวีวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โชติโกไร
รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนา อนุรักษพงษ์ธร
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพุกษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐ์กุล
รองศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง
รองศาสตราจารย์ ดร.มงคล กงศ์หิรัญ
รองศาสตราจารย์ ดร.มณิศรา พิริยวิรุฒม์
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บรรเทึงจิตร
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวณูช กุลชาติ
รองศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแฉ่ง
รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรัศมี บุญดาว
รองศาสตราจารย์ ดร.เรืองรอง สุลีสิทธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธิจิรวนิช
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมมานนท์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชูติมาสกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.วิระศักดิ์ ลิขิตเรืองศิลป์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยนครพนม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ บุญจริง

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวาพร ลงยันต์

รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี

รองศาสตราจารย์ ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธิพัร เอ็มมณี

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเจตน์ พัทธพันธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สมโพธิ วิวิธเกียรติก

รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยดาว วินจันทรรัตน์

รองศาสตราจารย์ ดร.สายันต์ ศิริมนตรี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลิลาทวีวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล สัจจวาณิชย์

รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ ศรีวิหค

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา

รองศาสตราจารย์ ดร.อมร พิมาณมาศ

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล

รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน

รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ

รองศาสตราจารย์ ชาลี ตระกูลการ

รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ

รองศาสตราจารย์ ศิริชัย พงษ์วิชัย

รองศาสตราจารย์ สถาพร ชาดาคม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันยารัตน์ ศรีวิสัยกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รัตนจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณศ พันธ์สุวาสดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรวิมลกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล ยวงไย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร ยวงเงิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย วรเดชจำเริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนา สุขวาริ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพจน์ เวศพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงลักษณ์ บุญรัตนกิจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภวรรณ รัตสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพล มหายศนันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จงสวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญอ้อม โฉมทิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาพรณ เกษราพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ กิรติวินทกร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำโรง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูกิจ พานิชกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันฐณพงษ์ คงแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ วงศ์โดยหวัง ศิริเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนชัย สมิตาการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพร อุษณวสิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐชัย ชัยสนิทด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพักตรา สุทธสุภา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภชัย วงศ์บุญยัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรกิจ ท่วมเพิ่มทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มั่งสิงห์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศิษฐ์ ไรจนันต์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรฆ ชันชะชนะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัคม์เดช วานิชชินชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุนิติ พิณโสภณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรินทร์ กลั่นเงิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชียง เกาซิด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพชร นันทวัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ เครือรัฐติกาล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย บุญวาต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ วังจัน
พันเอก ดร.พิศุทธิ์ ดารารัตน์
พันโท ดร.ต้องการ แก้วเฉลิมทอง
ดร.จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์
ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน
ดร.ชาญณรงค์ บาลมมงคล
ดร.ชาลี วรกุลพิพัฒน์

ดร.ประกอบ ขาติภักดิ์
ดร.ประภาพร รัตนธารัง
ดร.พระพิพัฒน์ ภาสบุตร
ดร.พีรเดช ณ น่าน
ดร.มงคล อัครดิลกฤทธิ์
ดร.วรพงษ์ ลิ่วพัฒนกิจ
ดร.สมรักษ์ เพชรราตรี
ดร.สิรินธร ลิ้มปนาท
ดร.สุนทวิทย์ สุภาจันทร์
ดร.อภิบาล พุกเกษนุบาล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยมหิดล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
แห่งชาติ สวทช.
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
กสท.โทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กสท.โทรคมนาคม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

การพัฒนาโมเดลโดยใช้นิวโรฟuzzyสำหรับการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้น ในการจ้างงานก่อสร้างชลประทาน

อนุพงศ์ ผดุงนิกร^{1,*}, ไพจิตร ผาวาน²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Received: 15 July 2021

Revised: 17 November 2021

Accepted: 14 December 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน ด้วยระบบอนุมานฟuzzyบนโครงข่ายที่ปรับตัวได้ โดยได้เก็บรวบรวมข้อมูลการประเมินจากผู้รับจ้างงานก่อสร้างชลประทานที่ได้ยื่นเอกสารขอขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน จากระบบทะเบียนรายชื่อ กองพัสดุ กรมชลประทาน จำนวน 40 ตัวอย่าง เป็นข้อมูลนำเข้า เพื่อทำนายค่าคะแนนคุณสมบัติของผู้รับจ้างการให้คะแนนประกอบด้วยคุณสมบัติเฉพาะ 4 ด้าน ได้แก่ ด้านประสบการณ์และผลงาน ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ และ ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ โรงงาน จากนั้นนำข้อมูลมาพัฒนาโมเดล ทำการฝึกฝนจำนวน 36 ตัวอย่าง (90%) และทำการทดสอบ จำนวน 4 ตัวอย่าง (10%) พบว่าโมเดลมีค่าดัชนีทางสถิติความคลาดเคลื่อนรวม (RMSE) เท่ากับ 0.0101 จากนั้นทดสอบโมเดล PQ-ANFIS โดยจำลอง 5 สถานการณ์ เพื่อให้ครอบคลุมหลักเกณฑ์การประเมินคุณสมบัติเบื้องต้น ผลการจำลองสถานการณ์การประเมิน พบว่า สถานการณ์ที่ 1 ผลของกรรมฯ มีคะแนนรวม 27.17 คะแนน ส่วนผลของโมเดล มีคะแนนรวม 27.12 คะแนน อยู่ในลำดับชั้น 4 สถานการณ์ที่ 2 ผลของกรรมฯ มีคะแนนรวม 38.79 คะแนน ส่วนผลของโมเดล มีคะแนนรวม 38.81 คะแนน อยู่ในลำดับชั้น 3 สถานการณ์ที่ 3 ผลของกรรมฯ มีคะแนนรวม 71.26 คะแนน ส่วนผลของโมเดล มีคะแนนรวม 71.18 คะแนน อยู่ในลำดับชั้น 2 สถานการณ์ที่ 4 ผลของกรรมฯ มีคะแนนรวม 84.73 คะแนน ส่วนผลของโมเดล มีคะแนนรวม 84.80 คะแนน อยู่ในลำดับชั้น 1 และสถานการณ์ที่ 5 ผลของกรรมฯ มีคะแนนรวม 97.20 คะแนน ส่วนผลของโมเดล มีคะแนนรวม 97.08 คะแนน อยู่ในลำดับชั้นพิเศษ แสดงให้เห็นว่าโมเดล PQ-ANFIS เป็นโมเดลที่มีความแม่นยำตรงตามผลการประเมินของกรรมฯ ทั้ง 5 สถานการณ์ ซึ่งเป็นโมเดลที่มีความยืดหยุ่นและสะดวกในการใช้งาน สามารถนำไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นของผู้รับจ้าง นิวโรฟuzzy งานก่อสร้างชลประทาน

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: badboyboom600@gmail.com

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Modeling for Irrigation Construction Pre-Qualification Assessment

Anupong Phadungnuk^{1,*}, Pajjit Pawan²

^{1,2}Department of Civil Engineering, School of Engineering, Sripatum University

Received: 15 July 2021

Revised: 17 November 2021

Accepted: 14 December 2021

Abstract

The objective of this study is to develop the model for irrigation construction pre-qualification assessment using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Assessment data of the irrigation construction contractors who applied for the pre-qualified irrigation construction contractor list were collected from the Procurement and Supply Division, Royal Irrigation Department (RID). Forty samples of such data were input into the model in order to simulate the contractor's Qualification Scores. The score was calculated based on four specific criteria including experience and performance, financial competency, human resource competency, and tools and equipment competency. Thirty-six data (or 90%) were used to train the model and four data (or 10%) were used to validate the model. Statistically, simulation result was significant, with a total statistical error (RMSE) of 0.0101. The PQ-ANFIS Model was tested using five experimental simulations, which cover all pre-qualification criteria. The results were as followed, Scenario 1: RID score was 27.17 and Model score was 27.12 making it 4th place in ranking; Scenario 2: RID score was 38.79 and Model score was 38.81 making it 3rd place in ranking; Scenario 3: RID score was 71.26 and Model score was 71.18 making it 2nd place in ranking; Scenario 4: RID score was 84.73 and Model score was 84.80 making it 1st place in ranking; and Scenario 5: RID score was 97.20 and Model score was 97.08 making it Superior in ranking. According to the results from all five scenarios, it can be concluded that PQ-ANFIS Model is a model with high accuracy and precision, high flexibility, and easy-to-use. The model can effectively simulate pre-qualification score of the construction contractors.

Keyword: Pre-Qualification, ANFIS, Irrigation Construction

* Corresponding Author; E-mail: badboyboom600@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การคัดเลือกผู้ดำเนินการก่อสร้าง (Pre-Qualify : PQ) คือ การกำหนดหลักเกณฑ์ของฝ่ายเจ้าของงานหรือผู้ว่าจ้างที่เกี่ยวกับคุณสมบัติ และความสามารถพอเพียงที่จะทำงานก่อสร้างโครงการที่กำหนดได้ โดยประกาศเชิญชวนให้ผู้รับจ้างที่สนใจเข้าร่วมประมูลงานก่อสร้าง (Janthaban, 2013) สำหรับการคัดเลือกผู้รับจ้างงานก่อสร้างของหน่วยงานภาครัฐเข้าดำเนินการก่อสร้าง หลายหน่วยงานได้กำหนดไว้อย่างชัดเจน เช่น การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน (Criteria and methods of selection to be listed as a person with preliminary qualifications in the construction contract irrigation construction, 2017) เป็นการประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นของผู้รับจ้าง ตามหลักเกณฑ์การให้คะแนน และการหาค่าน้ำหนักในแต่ละด้าน โดยประเมินจากคุณสมบัติเฉพาะ ได้แก่ ด้านประสบการณ์และผลงาน ด้านฐานะทางการเงิน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ และด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ ซึ่งการคัดเลือกผู้รับจ้างก่อนเข้าประมูล (Russell and Skibniewski, 1990) จะทำให้ได้ผู้รับจ้างที่มีความสามารถที่จะทำงานก่อสร้างโครงการที่กำหนดได้ ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการสอบราคาหรือการประกวดราคา เพื่อลดความเสี่ยง และลดปัญหางานก่อสร้างของภาครัฐ (Pratummet, 2013) ซึ่งจะส่งผลต่อระยะเวลา ค่าใช้จ่ายของรัฐ และคุณภาพของงานก่อสร้าง (Vanborsel and Subsomboon, 2018)

แต่การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน ได้แบ่งผู้รับจ้างออกเป็น 5 ลำดับชั้น ได้แก่ ชั้นพิเศษ ชั้น 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และชั้น 4 ตามลำดับ ซึ่งการจัดลำดับชั้นจะมีค่าน้ำหนักคะแนนแต่ละด้านไม่เท่ากัน โดยเฉพาะด้านฐานะทางการเงินที่มีค่าน้ำหนักคะแนนมากที่สุด ทำให้เกิดความคลุมเครือในการให้คะแนน สร้างความไม่เชื่อมั่นของการให้คะแนนผู้รับจ้าง ในบางช่วงคะแนนที่จะใช้ตัดสินลำดับชั้นที่สูงขึ้นหรือต่ำลง ตามหลักเกณฑ์และวิธีการคัดเลือกที่กรมชลประทานกำหนด ทำให้ผู้รับจ้างบางรายถูกจำกัดสิทธิผู้ที่มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการเข้าเสนอราคาเพื่อรับงานก่อสร้างแต่ละลำดับชั้น บทความนี้จะนำเสนอวิธีนิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System : ANFIS) (Pawan, 2015) เพื่อความแม่นยำในการขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาคะแนนคุณสมบัติผู้รับจ้างก่อนเข้ามาสู่ขั้นตอนการสอบราคาหรือการประกวดราคา (ระเบียบกระทรวงการคลัง ตามพระราชบัญญัติการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับชั้นของผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างงานก่อสร้างชลประทาน

ลำดับชั้นของผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้าง	
ลำดับชั้น	สิทธิผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการเข้าเสนอราคาเพื่อรับงานก่อสร้าง
ชั้นพิเศษ	มีสิทธิเพื่อเข้าเสนอราคารับงานก่อสร้างชลประทาน ไม่จำกัดวงเงิน
ชั้น 1	มีสิทธิเพื่อเข้าเสนอราคารับงานก่อสร้างชลประทาน ได้ครั้งหนึ่งไม่เกิน 1,000 ล้านบาท
ชั้น 2	มีสิทธิเพื่อเข้าเสนอราคารับงานก่อสร้างชลประทาน ได้ครั้งหนึ่งไม่เกิน 500 ล้านบาท
ชั้น 3	มีสิทธิเพื่อเข้าเสนอราคารับงานก่อสร้างชลประทาน ได้ครั้งหนึ่งไม่เกิน 100 ล้านบาท
ชั้น 4	มีสิทธิเพื่อเข้าเสนอราคารับงานก่อสร้างชลประทาน ได้ครั้งหนึ่งมากกว่า 10 ล้านบาทแต่ไม่เกิน 25 ล้านบาท

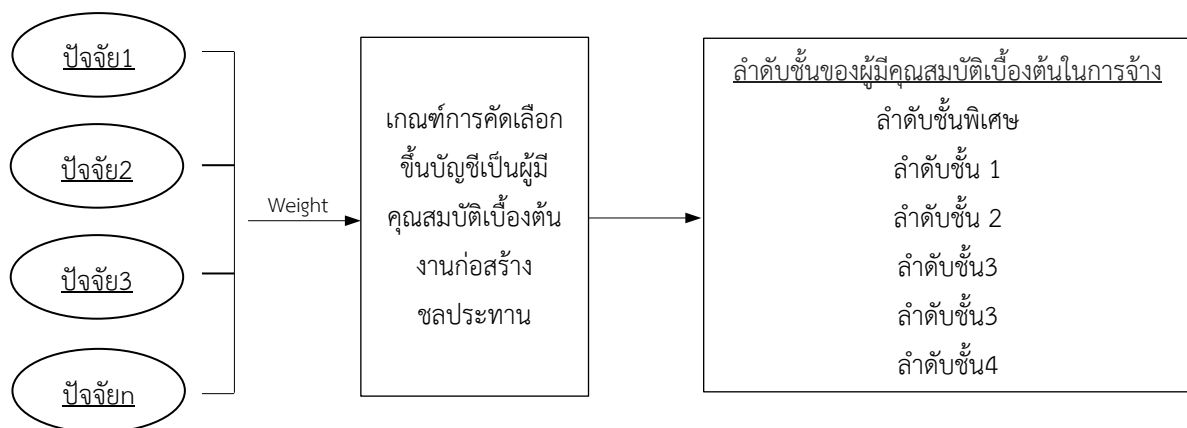
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

จากข้อจำกัดของการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน มีความสำคัญต่องานก่อสร้างชลประทาน งานวิจัยนี้จึงกำหนดสมมุติฐานงานวิจัยว่าการให้คะแนนคุณสมบัติผู้รับจ้างมีความคลุมเครือไม่สัมพันธ์กับเกณฑ์การประเมิน ดังนั้นการพัฒนาโมเดลการประเมินโดยการพิจารณาคะแนนคุณสมบัติผู้รับจ้างก่อนเข้ามาสู่ขั้นตอนการสอบราคาหรือการประกวด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จะลดปัญหาในการทำงาน จึงมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1. เพื่อพัฒนาโมเดลการทำนายค่าคะแนนคุณสมบัติของผู้รับจ้าง จากปัจจัยต่างๆ ที่กำหนด
2. เพื่อวิเคราะห์ผลการประเมินคุณสมบัติผู้รับจ้างเบื้องต้นของกรมชลประทานกับการประเมินคุณสมบัติผู้รับจ้างเบื้องต้น

กรอบแนวคิดในการวิจัย

มาจากหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทานของกรมชลประทาน (กองพัสดุ กรมชลประทาน) โดยใช้โมเดลการทำนายค่าคะแนนคุณสมบัติของผู้รับจ้าง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อเกณฑ์การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน

ปัจจัยที่นำมาใช้ในการสร้างกรอบการวิจัยเกณฑ์การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน ได้มาจากกองพัสดุ กรมชลประทาน และผู้เชี่ยวชาญด้านการก่อสร้างกรมชลประทาน ผู้วิจัยพบว่างานที่ศึกษาการคัดเลือกคุณสมบัติผู้ดำเนินการก่อสร้าง และงานวิจัยที่ใช้ในการประเมินค่าน้ำหนักต่างๆ มีจำนวนไม่มาก ผู้วิจัยมุ่งศึกษาตัวแปรเกณฑ์การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน ได้แก่ ด้านประสบการณ์ในการทำงานชลประทาน ด้านสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับจ้าง ด้านความรู้ความสามารถ และคุณสมบัติ บุคลากรของผู้รับจ้าง และด้านสมรรถภาพและประสิทธิภาพเครื่องจักร เครื่องมือของผู้รับจ้าง

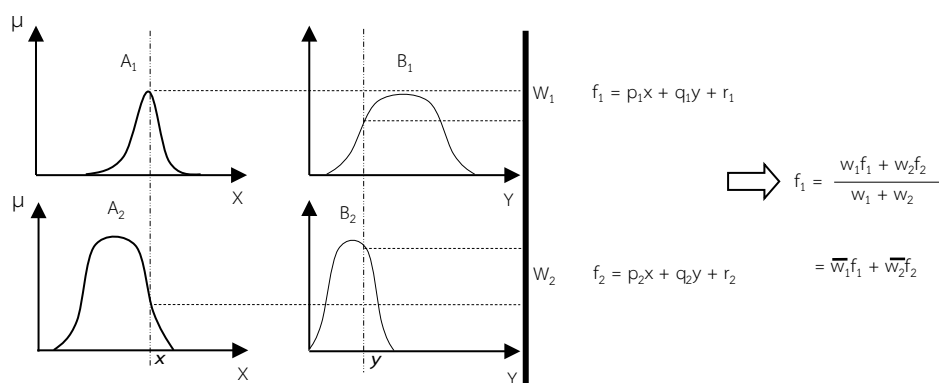
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โมเดลการคัดเลือกขั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นของผู้รับจ้าง และระบบอนุมาณฟัซซี่บนโครงข่ายที่ปรับตัวได้ มาเป็นกระบวนการช่วยประเมินสำหรับการให้คะแนนคุณสมบัติของผู้รับจ้าง ดังต่อไปนี้

1. การประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นของผู้รับจ้าง (Pre-Qualify : PQ) มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ได้แก่ (1.1) การรับรองว่าผู้รับจ้าง/ผู้รับจ้างช่วงมีความสามารถ และมีประสบการณ์เพียงพอกับทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อดำเนินโครงการก่อสร้างให้เสร็จสิ้น (1.2) สามารถคัดกรองผู้รับจ้างที่ไม่มีประสบการณ์หรือไม่มีฐานะการเงินที่มั่นคง ขาดความน่าเชื่อถือ และ (1.3) การแข่งขันระหว่างผู้รับจ้างให้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะได้รับผลตอบแทนที่คุ้มค่าสูงสุดจากการลงทุนโดยใช้เวลาดำเนินการให้แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด

กระบวนการคัดเลือกเบื้องต้นโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยจะขอข้อมูลจากผู้รับจ้าง แล้วนำมาตัดสินใจคัดเลือกจากปัจจัยต่างๆ ตามประสิทธิภาพในอดีต เช่น ความมั่นคงทางการเงิน ประเภทองค์กร การจัดการคุณภาพ ความสามารถทางเทคนิค การจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม และการรวบรวม เพื่อคัดเลือกผู้รับจ้าง ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการสอบราคาหรือการประกวดราคา ต่อไป (Russell, 1996)

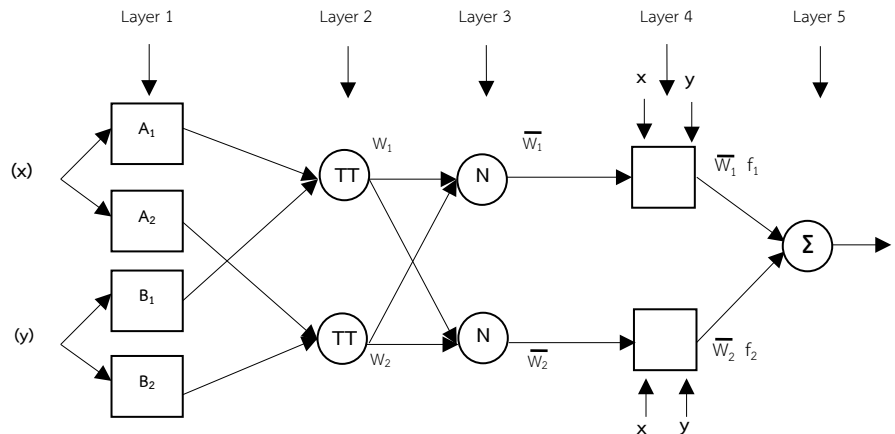
2. นิวโรฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems : ANFIS) เป็นการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาใช้ร่วมกับฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) (Zadeh, 1965) มักใช้ในกรณีที่ข้อมูลในอดีตมีจำกัดมาสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยฟัซซี่ลอจิก จะช่วยสร้างกฎจากการเรียนรู้ของกลุ่มข้อมูล อินพุต และเอาต์พุต (ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ) สำหรับการเรียนรู้ของ ANFIS จะใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบไฮบริด (hybrid learning algorithm) ซึ่งเป็นการผสมผสาน ระหว่าง วิธีกำลังสองน้อยสุด (least-squares method) และวิธีแบคพรอพพาเกชัน (backpropagation) เพื่อปรับปรุงพารามิเตอร์ของกฎฟัซซี่ ในการพยากรณ์ โดยอาศัยระบบอนุมาณแบบฟัซซี่ แสดงดังภาพที่ 2 เป็นการอธิบายข้อมูลอินพุต 2 ตัว คือ x_1 และ x_2 และมีข้อมูลเอาต์พุต เพียงตัวเดียว คือ y และมีกฎฟัซซี่แบบ Takagi-Sugeno-Kang (TSK) จำนวน 2 กฎ



ภาพที่ 2 ระบบอนุมาณแบบฟัซซี่

โดยที่ A_1, A_2, B_1 และ B_2 เป็นฟัซซี่เซตของพจน์ภาษา เช่น น้อย ปานกลาง มาก ส่วน p_1, p_2, q_1, q_2, r_1 และ r_2 เป็นพารามิเตอร์ของข้อตามของกฎฟัซซี่ (สี่เหลี่ยม) แสดงถึงโนดที่มีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ ในขณะที่โนดรูปวงกลมแสดงถึงโนดที่ไม่สามารถปรับค่าของพารามิเตอร์ได้ ระบบอนุมาณแบบฟัซซี่ บนฐานโครงข่ายที่ปรับตัว

ได้ (ANFIS) มีโครงสร้าง ดังภาพที่ 3 โดยโหนดที่เป็นสี่เหลี่ยมหมายถึง โหนดที่มีพารามิเตอร์ที่ปรับได้ ส่วนโหนดที่เป็นวงกลมจะไม่สามารถปรับพารามิเตอร์ได้



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมของระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายปรับตัวได้

ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างโครงสร้างง่ายๆ ของ ANFIS ซึ่งมี 2 อินพุต แต่ละอินพุตแบ่งเป็นสองฟัซซีเซต มิติที่ 1 (x) แบ่งฟัซซีเซตเป็น A_1 และ A_2 มิติที่ 2 (y) แบ่งเป็น B_1 และ B_2 ส่วนข้อตามมีพารามิเตอร์เป็น r_{j0} , r_{j1} และ r_{j2} โดยโครงสร้างดังกล่าวมีพื้นฐานแบบ Takagi Sugeno Kang Model (TSK) มีกฎจำนวน L กฎ ดังนี้

Rule 1: IF x_1 is A_1 and x_2 is B_1 THEN $y_1 = r_{10} + r_{11}x_1 + r_{12}x_2$

Rule 2: IF x_1 is A_2 and x_2 is B_1 THEN $y_2 = r_{20} + r_{21}x_1 + r_{22}x_2$

:

Rule L : IF x_1 is A_2 and x_2 is B_2 THEN $y_L = r_{L0} + r_{L1}x_1 + r_{L2}x_2$

โครงสร้างหลักของ ANFIS แบ่งเป็น 5 ชั้น (Layer) ได้แก่ (1) Layer 1: Antecedent Parameters เป็นชั้นพารามิเตอร์ของส่วนข้อตั้งของกฎฟัซซี (2) Layer 2: T-norm Operator เป็นชั้นทำการเชื่อมโยงค่าฟัซซีจากแต่ละมิติ (3) Layer 3: Normalize firing strength เป็นชั้น ทำค่าฟัซซีผลรวมจากข้อตั้งทุกกฎให้เป็นหนึ่ง (4) Layer 4: Consequent Parameters เป็นชั้นพารามิเตอร์ของข้อตาม (5) Layer 5: Overall Output เป็นชั้นเอาต์พุตของโครงข่าย และมีงานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่า ANFIS สามารถนำไปใช้ในการทำนายความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ความไม่แน่นอน

วิธีดำเนินการวิจัย

เริ่มจากรวบรวมข้อมูลหนังสือยืนยันขีดความสามารถและความพร้อมในวันยื่นข้อเสนอด้านประสบการณ์และผลงาน ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ และด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ โรงงาน ที่ผู้รับจ้างงานก่อสร้างชลประทานที่มีความประสงค์ยื่นเอกสารขอขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน จากกระบบทะเบียนรายชื่อ กองพัสดุ กรมชลประทาน ตามคุณสมบัติเฉพาะทั้งหมด 4 ด้าน เพื่อนำข้อมูลมาฝึกฝน (Train) จำนวน 40 ราย ดังแสดงตารางที่ 2

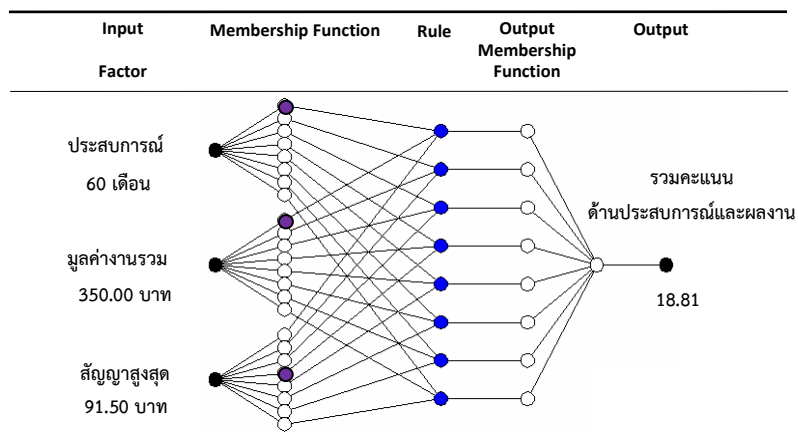
ตารางที่ 2 ข้อมูลผู้รับจ้างงานก่อสร้างชลประทานที่มีความประสงค์ยื่นขอขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้น

ลำดับ	บริษัท	ด้านประสบการณ์และผลงาน (คะแนนเต็ม 20 คะแนน)			
		ประสบการณ์/เดือน (5 คะแนน)	มูลค่างานรวม/บาท (7 คะแนน)	สัญญาสูงสุด/บาท (8 คะแนน)	รวมคะแนนด้าน ประสบการณ์และผลงาน (20 คะแนน)
1	ผู้รับจ้างรายที่ 1	33	149.00	12.50	9.92
2	ผู้รับจ้างรายที่ 2	18	64.20	5.00	5.38
3	ผู้รับจ้างรายที่ 3	29	111.00	11.00	8.49
4	ผู้รับจ้างรายที่ 4	24	87.00	9.00	7.15
5	ผู้รับจ้างรายที่ 5	13	37.00	2.27	3.56
6	ผู้รับจ้างรายที่ 6	20	73.50	6.00	6.01
7	ผู้รับจ้างรายที่ 7	38	280.00	47.40	15.30
8	ผู้รับจ้างรายที่ 8	25	90.00	9.05	7.34
9	ผู้รับจ้างรายที่ 9	46	308.00	68.00	17.24
10	ผู้รับจ้างรายที่ 10	60	350.00	111.70	19.50
11	ผู้รับจ้างรายที่ 11	55	350.00	84.30	18.46
12	ผู้รับจ้างรายที่ 12	60	350.00	125.50	19.80
13	ผู้รับจ้างรายที่ 13	30	153.00	25.00	10.94
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
31	ผู้รับจ้างรายที่ 31	60	350.00	128.00	19.84
32	ผู้รับจ้างรายที่ 32	60	350.00	91.50	18.81
33	ผู้รับจ้างรายที่ 33	60	350.00	150.00	20.00
34	ผู้รับจ้างรายที่ 34	60	350.00	150.00	20.00
35	ผู้รับจ้างรายที่ 35	60	350.00	150.00	20.00
36	ผู้รับจ้างรายที่ 36	60	350.00	150.00	20.00
37	ผู้รับจ้างรายที่ 37	17	63.50	4.50	5.19
38	ผู้รับจ้างรายที่ 38	30	132.50	20.00	10.00
39	ผู้รับจ้างรายที่ 39	55	350.00	82.20	18.36
40	ผู้รับจ้างรายที่ 40	60	350.00	93.50	18.89

การพัฒนาโมเดล (PQ-ANFIS)

1. การนำเข้าข้อมูลเพื่อการเรียนรู้ (Train)

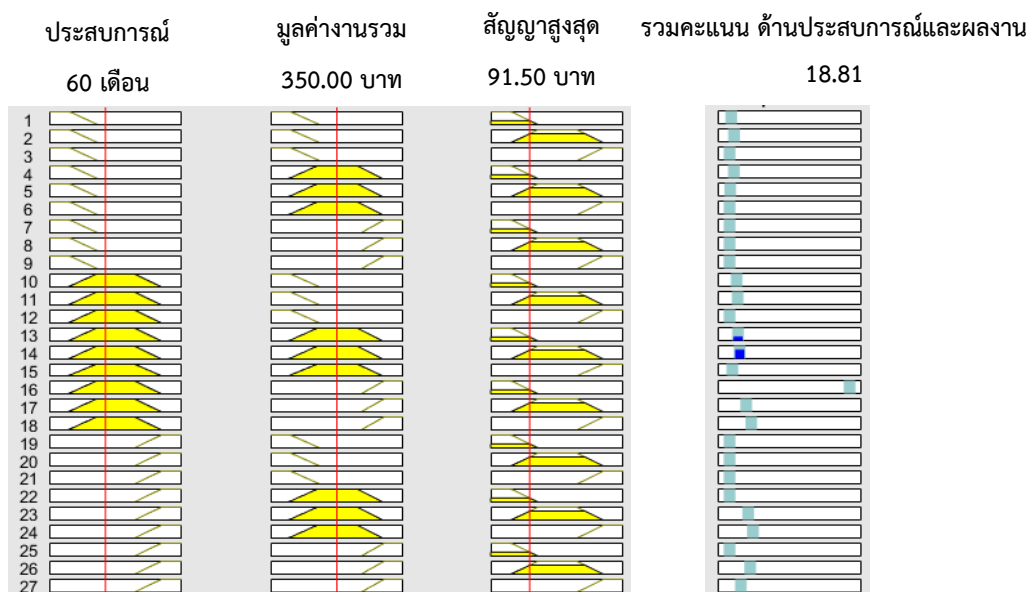
เป็นการนำข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะแต่ละปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญได้กำหนด มาเรียนรู้ด้วยอัตราการเรียนรู้/การทดสอบ คือ 90/10 (จำนวนข้อมูลทั้งสิ้นเท่ากับ 40 ข้อมูล) ดังนั้นจำนวนข้อมูลที่ใช้เรียนรู้ 36 ข้อมูล (90%) โดยวิธีการเรียนรู้แบบ Grid Partition และ วิธีการเรียนรู้แบบ Sub Clustering เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนรวม (RMSE) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างแบบโมเดลการทำนายคะแนนผู้รับจ้างแต่ละปัจจัย

2. การทดสอบโมเดล (Test)

การทดสอบโมเดล สามารถทำได้โดยนำกฎ (Rule Viewer) ที่ได้จากโมเดล ดังภาพที่ 7 มาใช้ในการทดสอบความแม่นยำของโมเดลเทียบกับข้อมูลที่ผู้เชี่ยวชาญให้ไว้จำนวน 4 ข้อมูล (จำนวนที่เตรียมไว้สำหรับทดสอบ 10%) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนรวม (RMSE) = 0.0101 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โมเดล Sub Clustering ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบโมเดลการทำนาย “คะแนนผู้รับจ้าง”

ผู้รับจ้าง รายที่	Model		Actual	APE		APE%	
	Grid partition	Sub clustering	กรม ชลประทาน	Grid partition	Sub clustering	Grid partition	Sub clustering
1	26.43	31.15	31.02	0.1480	0.004	14.80%	0.42%
2	38.63	40.40	40.26	0.0405	0.003	4.05%	0.35%
3	61.19	63.72	63.68	0.0391	0.0006	3.91%	0.06%
4	85.51	91.15	90.99	0.0602	0.002	6.02%	0.18%
			RMSE	0.2878	0.0101	28.78%	1.01%

จากการทดสอบโมเดลพบว่าโมเดล Sub clustering มีค่าความคลาดเคลื่อนรวม (RMSE) = 0.0101 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริง

3. การนำโมเดลประยุกต์ใช้ในการขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน

จากการศึกษานี้ได้นำโมเดลมาประยุกต์ใช้ในการขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน โดยจำลองสถานการณ์จากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน จำนวน 5 สถานการณ์ ดังนี้

ตารางที่ 4 เกณฑ์สำหรับพิจารณาการจัดลำดับขั้นของผู้รับจ้าง

เกณฑ์การพิจารณาจัดลำดับขั้นของผู้รับจ้าง	
ลำดับขั้น	คะแนน และ ต้องผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำของลำดับขั้นนั้นๆ
ขั้นพิเศษ	คะแนนรวมตั้งแต่ 95 คะแนนขึ้นไป
ขั้น 1	คะแนนรวมตั้งแต่ 85 คะแนนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 95 คะแนน
ขั้น 2	คะแนนรวมตั้งแต่ 55 คะแนนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 85 คะแนน
ขั้น 3	คะแนนรวมตั้งแต่ 35 คะแนนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 55 คะแนน
ขั้น 4	คะแนนรวมตั้งแต่ 15 คะแนนขึ้นไป แต่ไม่ถึง 35 คะแนน

สถานการณ์ที่ 1. ข้อมูลคุณสมบัติซึ่งเป็นเกณฑ์แต่ละปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญ กรมชลประทาน กำหนดไว้ 4 ด้าน โดยมี คะแนนรวม 27.12 คะแนน ผลการพิจารณาได้ ลำดับชั้น 4 ดังแสดงตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติเบื้องต้นแต่ละเกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี “สถานการณ์ที่ 1.”

คุณสมบัติเบื้องต้น		เกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี		
1. ด้านประสบการณ์และผลงาน		ประสบการณ์	มูลค่าผลงานรวม	มูลค่าผลงานสูงสุด
		30	163.50	20.00
2. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน (ล้านบาท)		ทุนจดทะเบียน	สินทรัพย์หมุนเวียนรวม	มูลค่าสุทธิกิจการ
		10.00	60.00	1.40
3. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน)		-	-	-
		-	-	-
3.1 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (วิศวกร) (คน)		วิศวกรระดับวุฒิ	วิศวกรระดับสามัญ	วิศวกรระดับภาคี
		0	0	3
3.2 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน) (นายช่าง ธุรการ อื่นๆ ปวส. ปวช. ประสบการณ์ 3 และ 5 ปี)		นายช่างวิชาชีพ	นายช่างโยธาและธุรการ	นายช่างอื่นๆ
		2	7	1
4. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ โรงงาน (คัน)		เครื่องมืองานดิน	เครื่องมืองานโครงสร้าง	เครื่องมืองานถนน
		9	1	1
คะแนนรวม	ผลการประเมินของกรมฯ	27.17 คะแนน		
	ผลการประเมินโมเดล	27.12 คะแนน		
ลำดับชั้น		4		

สถานการณ์ที่ 2. ข้อมูลคุณสมบัติซึ่งเป็นเกณฑ์แต่ละปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญ กรมชลประทาน กำหนดไว้ 4 ด้าน โดยมี คะแนนรวม 38.81 คะแนน ผลการพิจารณาได้ ลำดับชั้น 3 ดังแสดงตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติเบื้องต้นแต่ละเกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี “สถานการณ์ที่ 2.”

คุณสมบัติเบื้องต้น		เกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี		
1. ด้านประสบการณ์และผลงาน		ประสบการณ์	มูลค่าผลงานรวม	มูลค่าผลงานสูงสุด
		30	190.00	20.00
2. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน (ล้านบาท)		ทุนจดทะเบียน	สินทรัพย์หมุนเวียนรวม	มูลค่าสุทธิกิจการ
		20	100.00	20.00
3. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน)		-	-	-
		-	-	-
3.1 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (วิศวกร) (คน)		วิศวกรระดับวุฒิ	วิศวกรระดับสามัญ	วิศวกรระดับภาคี
		0	1	5
3.2 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน) (นายช่าง ธุรการ อื่นๆ ปวส. ปวช. ประสบการณ์ 3 และ 5 ปี)		นายช่างวิชาชีพ	นายช่างโยธาและธุรการ	นายช่างอื่นๆ
		3	4	2
4. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ โรงงาน (คัน)		เครื่องมืองานดิน	เครื่องมืองานโครงสร้าง	เครื่องมืองานถนน
		15	3	9
คะแนนรวม	ผลการประเมินของกรมฯ	38.79 คะแนน		
	ผลการประเมินโมเดล	38.81 คะแนน		
ลำดับชั้น		3		

สถานการณ์ที่ 3. ข้อมูลคุณสมบัติซึ่งเป็นเกณฑ์แต่ละปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญ กรมชลประทาน กำหนดไว้ 4 ด้าน โดยมี คะแนนรวม 71.18 คะแนน ผลการพิจารณาได้ ลำดับชั้น 2 ดังแสดงตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณสมบัติเบื้องต้นแต่ละเกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี “สถานการณ์ที่ 3.”

คุณสมบัติเบื้องต้น		เกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี		
1. ด้านประสบการณ์และผลงาน		ประสบการณ์	มูลค่าผลงานรวม	มูลค่าผลงานสูงสุด
		60	350.00	142.00
2. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน (ล้านบาท)		ทุนจดทะเบียน	สินทรัพย์หมุนเวียนรวม	มูลค่าสุทธิกิจการ
		110	400.00	228.00
3. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน)		-	-	-
3.1 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (วิศวกร) (คน)		วิศวกรระดับวุฒิ	วิศวกรระดับสามัญ	วิศวกรระดับภาคี
		0	1	5
3.2 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน) (นายช่าง ธุรการ อื่นๆ ปวส. ปวช. ประสบการณ์ 3 และ 5 ปี)		นายช่างวิชาชีพ	นายช่างโยธาและธุรการ	นายช่างอื่นๆ
		6	4	2
4. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ โรงงาน (คัน)		เครื่องมืองานดิน	เครื่องมืองานโครงสร้าง	เครื่องมืองานถนน
		25	1	10
คะแนนรวม	ผลการประเมินของกรมฯ	71.26 คะแนน		
	ผลการประเมินโมเดล	71.18 คะแนน		
ลำดับชั้น		2		

สถานการณ์ที่ 4. ข้อมูลคุณสมบัติซึ่งเป็นเกณฑ์แต่ละปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญ กรมชลประทาน กำหนดไว้ 4 ด้าน โดยมีคะแนนรวม 84.80 คะแนน ผลการพิจารณาได้ ลำดับชั้น 1 ดังแสดงตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คุณสมบัติเบื้องต้นแต่ละเกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี “สถานการณ์ที่ 4.”

คุณสมบัติเบื้องต้น		เกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี		
1. ด้านประสบการณ์และผลงาน		ประสบการณ์	มูลค่าผลงานรวม	มูลค่าผลงานสูงสุด
		60	350.00	115.00
2. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน (ล้านบาท)		ทุนจดทะเบียน	สินทรัพย์หมุนเวียนรวม	มูลค่าสุทธิกิจการ
		200	400.00	250.00
3. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน)		-	-	-
3.1 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (วิศวกร) (คน)		วิศวกรระดับวุฒิ	วิศวกรระดับสามัญ	วิศวกรระดับภาคี
		1	3	8
3.2 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน) (นายช่าง ธุรการ อื่นๆ ปวส. ปวช. ประสบการณ์ 3 และ 5 ปี)		นายช่างวิชาชีพ	นายช่างโยธาและธุรการ	นายช่างอื่นๆ
		2	5	4
4. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ โรงงาน (คัน)		เครื่องมืองานดิน	เครื่องมืองานโครงสร้าง	เครื่องมืองานถนน
		30	7	7
คะแนนรวม	ผลการประเมินของกรมฯ	84.73 คะแนน		
	ผลการประเมินโมเดล	84.80 คะแนน		
ลำดับชั้น		1		

สถานการณ์ที่ 5. ข้อมูลคุณสมบัติซึ่งเป็นเกณฑ์แต่ละปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญ กรมชลประทาน กำหนดไว้ 4 ด้าน โดยมีคะแนนรวม 97.08 คะแนน ผลการพิจารณาได้ ลำดับชั้น พิเศษ ดังแสดงตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คุณสมบัติเบื้องต้นแต่ละเกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี “สถานการณ์ที่ 5.”

คุณสมบัติเบื้องต้น		เกณฑ์เพื่อขอขึ้นบัญชี			
1. ด้านประสิทธิภาพและผลงาน		ประสบการณ์	มูลค่าผลงานรวม	มูลค่าผลงานสูงสุด	
		60	350.00	150.00	
2. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน (ล้านบาท)		ทุนจดทะเบียน	สินทรัพย์หมุนเวียนรวม	มูลค่าสุทธิกิจการ	
		400	400.00	310.00	
3. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน)		-	-	-	
3.1 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (วิศวกร) (คน)		วิศวกรระดับวุฒิ	วิศวกรระดับสามัญ	วิศวกรระดับภาคี	
		1	3	9	
3.2 ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (คน) (นายช่าง ธุรการ อื่นๆ ปวส. ปวช. ประสบการณ์ 3 และ 5 ปี)		นายช่างวิชาชีพ	นายช่างโยธาและธุรการ	นายช่างอื่นๆ	
		2	8	2	
4. ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ โรงงาน (คัน)		เครื่องมืองานดิน	เครื่องมืองานโครงสร้าง	เครื่องมืองานถนน	
		36	7	9	
คะแนนรวม		ผลการประเมินของกรมฯ			97.20 คะแนน
		ผลการประเมินโมเดล			97.08 คะแนน
ลำดับชั้น		พิเศษ			

จากการวิจัย โดยจำลองสถานการณ์จากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน จำนวน 5 สถานการณ์ พบว่า **สถานการณ์ที่ 1.** มีคะแนนรวม 27.12 คะแนน ส่งผลให้ อยู่ในลำดับชั้น 4 **สถานการณ์ที่ 2.** มีคะแนนรวม 38.81 คะแนน ส่งผลให้อยู่ในลำดับชั้น 3 **สถานการณ์ที่ 3.** มีคะแนนรวม 71.18 คะแนน ส่งผลให้ อยู่ในลำดับชั้น 2 **สถานการณ์ที่ 4.** มีคะแนนรวม 84.80 คะแนน ส่งผลให้ อยู่ในลำดับชั้น 1 และ**สถานการณ์ที่ 5.** มีคะแนนรวม 97.08 คะแนนอยู่ในลำดับชั้นพิเศษ ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การทำนายคะแนนผู้รับจ้างเพื่อการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน ประกอบด้วยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำนายค่าคะแนนคุณสมบัติของผู้รับจ้างจากคุณสมบัติเฉพาะด้านต่างๆ ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพและผลงาน ด้านฐานะทางการเงิน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ หากข้อมูลที่ผู้รับสร้างเสนอมามีคะแนนต่ำด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะด้านฐานะทางการเงินซึ่งมีค่าน้ำหนักคะแนนมากที่สุด จะส่งผลให้ผู้รับจ้างได้คะแนนที่ต่ำและอยู่ในลำดับชั้นที่ต่ำตามไปด้วย ซึ่งจากที่ได้ทำการทดสอบโมเดล ANFIS จะพบว่า **สถานการณ์ที่ 1.** ผลการประเมินของกรมฯ มีคะแนนรวม 27.17 คะแนน ผลการประเมินของโมเดล มีคะแนนรวม 27.12 คะแนน อยู่ในลำดับชั้น 4 **สถานการณ์ที่ 2.** ผลการประเมินของกรมฯ มีคะแนนรวม 38.79 คะแนน ผลการประเมินของโมเดล มีคะแนนรวม 38.81 คะแนน อยู่ในลำดับชั้น 3 **สถานการณ์ที่ 3.** ผลการประเมินของกรมฯ มีคะแนนรวม 71.26 คะแนน ผลการประเมินของโมเดล มีคะแนนรวม 71.18 คะแนน

อยู่ในลำดับชั้น 2 สถานการณ์ที่ 4. ผลการประเมินของกรมฯ มีคะแนนรวม 84.73 คะแนน ผลการประเมินของโมเดล มีคะแนนรวม 84.80 คะแนน อยู่ในลำดับชั้น 1 และสถานการณ์ที่ 5. ผลการประเมินของกรมฯ มีคะแนนรวม 97.20 คะแนน ผลการประเมินของโมเดล มีคะแนนรวม 97.08 คะแนน อยู่ในลำดับชั้นพิเศษ แสดงให้เห็นว่า โมเดล PQ-ANFIS มีค่าคะแนนการประเมินสอดคล้องใกล้เคียงกับของกรมฯ ทั้ง 5 สถานการณ์ ทำให้เกิดความเชื่อมั่นและเป็นธรรมต่อการให้คะแนนในการจัดลำดับชั้นของผู้รับจ้าง สามารถช่วยลดข้อร้องเรียนและความขัดแย้งของผู้รับจ้างในการให้คะแนนเพื่อจัดลำดับชั้นกรมชลประทาน จึงเป็นโมเดลที่มีความยืดหยุ่นและรวดเร็ว สามารถนำไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน ด้วยระบบอนุमानฟัซซี่บนโครงข่ายที่ปรับตัวได้นำข้อมูลมาพัฒนาโมเดล จำนวน 40 ตัวอย่าง เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อทำนายค่าคะแนนคุณสมบัติของผู้รับจ้าง โดยทำการฝึกฝนจำนวน 36 ตัวอย่าง (90%) และทำการทดสอบจำนวน 4 ตัวอย่าง (10%) ซึ่งโมเดลมีค่าความคลาดเคลื่อนรวม (RMSE) เท่ากับ 0.0101 โดยกำหนดสถานการณ์จำลองขึ้น 5 สถานการณ์ ผลการวิเคราะห์สถานการณ์การประเมิน ทั้ง 5 สถานการณ์ พบว่า ผลการประเมินของกรมฯ มีลำดับชั้นที่สอดคล้องกับ ผลการประเมินของโมเดล แสดงให้เห็นว่า โมเดล PQ-ANFIS เป็นโมเดลที่มีความแม่นยำ สามารถนำไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. การรวบรวมคุณสมบัติเฉพาะด้านต่างๆ จากผู้รับจ้างถือเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญและไม่ควรผิดพลาด จึงควรแยกประเภทของข้อมูลอย่างเป็นระบบ จะทำให้โมเดล PQ-ANFIS ทำนายผลมีค่าที่แม่นยำและรวดเร็ว ส่งผลให้การประเมินการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างงานก่อสร้างชลประทานเป็นที่น่าเชื่อถือ
2. จากการศึกษาได้นำข้อมูลจากกรมฯ มาใช้ในการเรียนรู้และทดสอบ ทำให้โมเดล PQ-ANFIS ทำนายค่าคะแนนการประเมินสอดคล้องใกล้เคียงกับของกรมฯ แต่อย่างไรก็ตามหากเก็บข้อมูลคุณสมบัติผู้รับจ้างจากสถานการณ์ปัจจุบัน เช่น โรคระบาด ภัยธรรมชาติ สภาวะเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลง เพิ่มเติมลงในโมเดล PQ-ANFIS จะส่งผลให้การทำนายครอบคลุมการประเมินมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลและความรู้เบื้องต้นจาก กองพัสดุ กรมชลประทาน ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Janthaban, B. (2013). *Proper Characters of Contractors for Bridge and Highway Construction Projects of The Department of Highways*. Thesis of the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering. Nakhon Ratchasima : Suranaree University of Technology. (in Thai)
- Office of the Permanent Secretary Ministry of Commerce. (2017). *Ministry of Finance regulations According to the Government Procurement and Supplies Administration Act*. [Online]. Retrieved June 26, 2021, from : http://www.ops.moc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=3926 (inThai)
- Pawan, P. and Lorterapong, P. (2015). A Fuzzy-Based Integrated Framework for Assessing Time Contingency in Construction Projects. , *J. Constr. Eng. Manage.* 142(3), DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001073 (2015), 830-839.
- Royal Irrigation Department. (2017). *Criteria and methods of selection to be listed as a person with preliminary qualifications in the construction contract irrigation construction (Revised Edition)*. [Online]. Retrieved June 26, 2021, from: http://supply.rid.go.th/_data/docx/asset/หลักเกณฑ์และวัดคัดเลือก%20ปรับปรุงใหม่ update2.pdf (in Thai)
- Russell, J. S. and Skibniewski, M. J. (1990). QUALIFIER-1: contractor prequalification model. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 4(1), 77-99.
- Russell, J. S. (1996). *Constructor prequalification - Choosing the best constructor and avoiding constructor failure*. New York, USA : American Society of Civil Engineers.
- Sadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Inform. Control*, 8, 338-353.
- Vanborsel, B. And Subsomboon, K. (2018). Data Analysis of the Contractor Who Abandons of the Governmental Construction Work from the Documents of the Comptroller General's Department. *Thai Journal of Science and Technology Journal*, 427-441. (in Thai)

แบบจำลองการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างงานชลประทาน

สมิตร สุรพันธุ์ไพโรจน์^{1,*}, ไพจิตร ผาวัน²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Received: 2 August 2021

Revised: 14 December 2021

Accepted: 14 December 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างงานชลประทาน ด้วยวิธีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการประเมินจากผู้รับจ้างงานก่อสร้างชลประทานที่มีความประสงค์ยื่นเอกสารขอขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน จากระบบทะเบียนรายชื่อ กองพัสดุ กรมชลประทาน จำนวน 30 ราย จากนั้นผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนเป็นรายคู่ คำนวณหาค่าน้ำหนักคะแนนของปัจจัยด้านคุณสมบัติเฉพาะทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพและผลงาน ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ ด้านสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร-เครื่องมือ ลงในแบบจำลองชื่อว่า PQ-AHP พบว่าค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก ด้านประสิทธิภาพและผลงาน ร้อยละ 25.14 ด้านฐานะการเงิน ร้อยละ 54.87 ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ ร้อยละ 11.61 และด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ ร้อยละ 8.38 ในการศึกษาได้กำหนดสถานการณ์การขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นของผู้รับจ้างจำนวน 6 สถานการณ์ เพื่อทำเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง กับเกณฑ์การคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นของกรมฯ ผลการศึกษาพบว่า สถานการณ์ที่ 1 และ สถานการณ์ที่ 5 คุณสมบัติของผู้รับจ้างยังคงอยู่ ลำดับชั้นตามเดิมที่เกณฑ์กรมชลประทานกำหนด แต่สำหรับสถานการณ์ที่ 6 เป็นการพิจารณาคุณสมบัติของผู้รับจ้างเกณฑ์กรมชลประทานที่อยู่ลำดับชั้นที่ 3 เลื่อนไปอยู่ลำดับชั้นที่ 4 ตามผลการประเมินของแบบจำลอง เนื่องจากมีค่าน้ำหนักในด้านฐานะการเงินต่ำ จึงทำให้ผู้รับจ้างเลื่อนลงไปยังลำดับชั้นที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง PQ-AHP เป็นแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่น และสอดคล้องกับผลการประเมินของกรมฯ โดยสามารถปรับปรุงปัจจัยหลักและปัจจัยรอง ในแบบจำลองให้ทันสมัยได้ตลอดเวลา

คำสำคัญ: กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น คุณสมบัติเบื้องต้นของผู้รับจ้าง งานก่อสร้างชลประทาน

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: sumit.sur@spulive.net

Contractor's Pre-Registration Model for Irrigation Construction

Sumit Surapanpairoj^{1,*}, Pajit Pawan²

^{1,2}Department of Civil Engineering, School of Engineering, Sripatum university

Received: 2 August 2021

Revised: 14 December 2021

Accepted: 14 December 2021

Abstract

The objective of this study was to develop a prequalification model for irrigation constructors using an Analytical Hierarchy Process (AHP). Firstly, Contractor prequalification involves screening candidate contractors based on a set of criteria established by each project owner. The model implemented based on, the 30 pre-qualified lists were collected from the registration system by the Royal Irrigation Department (RID). The expert's creativity scores on a couple for the calculating weighted rating of the 4 eligibility factors. For example, the experience and performance, the competence related to financial status, the competence related to staff, the machine-tool-related performance become the input of the PQ-AHP model. The weighted values of main factors show the percentage of the experience and performance, the financial status, the officer/staff and the machine-equipment are 25.14, 54.87, 11.61 and 8.38 respectively. In this study, there are 6 situations of the RID pre-qualified candidate lists for comparing the accuracy of the model with the decision making criteria additionally. The results from the 1st scenario and the 5th scenario results reveal that as same the RID qualifications but the 6th scenario results which considering the RID qualifications enlisted from contractors who are ranked third to fourth hierarchy according to the model result of low weight in financial status show that the contractor moved to the fourth tier. Finally, those results indicate that the PQ-AHP model was flexible and consistent with the Pre-Qualification results of RID. The Primary and secondary factors can be updated in the model at all time.

Keyword: AHP, Pre-Qualification, Irrigation Construction

* Corresponding Author; E-mail: sumit.sur@spulive.net

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน ซึ่งเป็นการคัดเลือกคุณสมบัติผู้ดำเนินการก่อสร้าง (Pre-Qualify : PQ) การพิจารณาคุณสมบัติและความสามารถของผู้รับจ้างของงานก่อสร้างโครงการที่กำหนดไว้ โดยทำเป็นประกาศเชิญชวนให้ผู้รับจ้างเสนองานนั้น โดยกรมชลประทาน ได้กำหนดหลักเกณฑ์การให้คะแนนและการหาค่าน้ำหนักของแต่ละด้าน ซึ่งมีทั้งหมด 4 ด้านหลักๆ และขั้นตอนการพิจารณาคัดเลือกขึ้นบัญชีของผู้รับจ้างเบื้องต้น (Russell and Skibniewski, 1990) การพิจารณาที่ว่ามาดังกล่าวจะเรียกว่าการคัดเลือกคุณสมบัติผู้ดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งต้องผ่านการขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทานก่อนและ พิจารณาจากงานที่มีมูลค่างานขั้นต่ำที่ 10 ล้านบาทขึ้นไปของงานจ้างก่อสร้างชลประทาน โดยมีแนวความคิดมาจากการประมูลงานในโครงการฯ ของกรมชลประทาน จำเป็นต้องมีการคัดเลือกคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน โดยให้ดำเนินการตามหลักเกณฑ์ของกรมชลประทาน เป็นตัวกำหนดการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน โดยมีกระบวนการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้น 2 คุณสมบัติ คือคุณสมบัติทั่วไป และคุณสมบัติเฉพาะ การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน ได้แบ่งผู้รับจ้างออกเป็น 5 ลำดับชั้น ได้แก่ ชั้นพิเศษ ชั้น 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และชั้น 4 ตามลำดับ (หลักเกณฑ์และวิธีการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง งานก่อสร้างชลประทาน ฉบับปรับปรุง, 2017) แต่อย่างไรก็ตาม PQ ของกรมฯ ที่ใช้งานอยู่ปัจจุบันยังมีข้อจำกัด/จุดอ่อน เป็นการตัดสินใจจากเจ้าหน้าที่ที่เป็นตัวแทนของกรมฯ ที่มีอำนาจตัดสินใจเพียงคนเดียว และขาดการกำหนดเกณฑ์ของปัจจัยอย่างเป็นระบบ งานวิจัยส่วนใหญ่จะนำ PQ มาใช้ในการประเมินคุณสมบัติเพื่อคัดเลือกผู้รับจ้างก่อนเข้าประมูล (Vanborsel and Subsomboon, 2018; Russell and Skibniewski, 1990)

สำหรับงานก่อสร้างห้วยงานชลประทานและอาคารประกอบ ที่มีมูลค่างานก่อสร้างสูง เช่น การก่อสร้างเขื่อน การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ และการก่อสร้างฝาย จะเป็นผู้รับจ้างชั้นพิเศษที่ไม่จำกัดวงเงิน ในขณะที่การก่อสร้างงานระบบส่งน้ำและอาคารประกอบ เช่น การก่อสร้างคลองส่งน้ำ และอุโมงค์ส่งน้ำ มีมูลค่างานก่อสร้างไม่สูงมาก จะเป็นผู้รับจ้างตั้งแต่ชั้น 1 (ไม่เกิน 1,000 ล้านบาท) ลงมาถึงชั้น 4 (ตั้งแต่ 10 ล้านบาท แต่ไม่เกิน 25 ล้านบาท) ได้ จึงแสดงให้เห็นว่า งานก่อสร้างของกรมชลประทาน มีประเภทงานที่แตกต่างหลากหลาย การแบ่งลำดับชั้นในการขึ้นทะเบียนของผู้รับจ้าง จึงเป็นสิ่งจำเป็นของกรมฯ

ดังนั้น การแบ่งลำดับชั้นในการขึ้นทะเบียนเป็นผู้รับจ้างของกรมชลประทาน จึงต้องอาศัยการกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) แต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน โดยสามารถปรับเปลี่ยนเกณฑ์ให้เข้ากับสถานการณ์ปัจจุบัน เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น การขาดสภาพคล่องด้านการเงิน การขาดประสบการณ์ในการทำงาน การขาดความรู้ความสามารถของบุคลากร และการขาดเครื่องมือ-เครื่องจักร ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ผู้รับจ้างก่อสร้างทำงานล่าช้า ใช้งาน งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

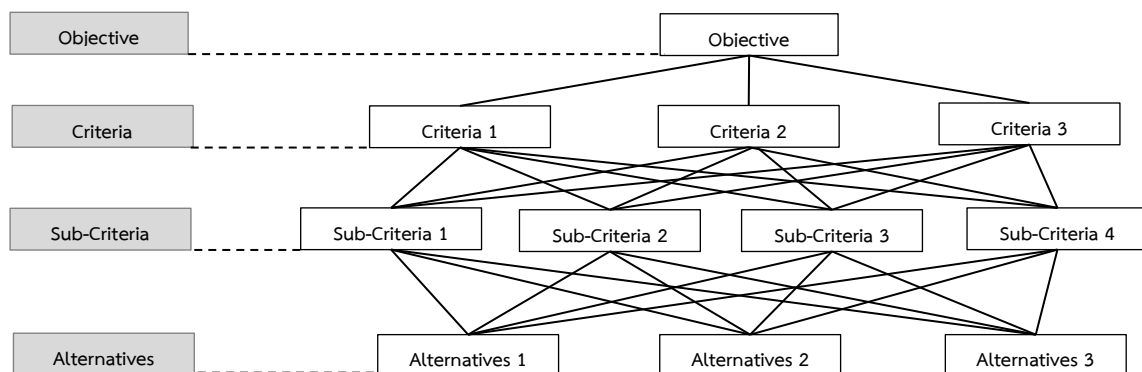
จากข้อจำกัดของ การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน มีปัจจัย และเกณฑ์ในการตัดสินใจหลายปัจจัย ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง เป็นวิธีการให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1. เพื่อศึกษาปัจจัยและเกณฑ์ที่มีผลกระทบต่อการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทานด้วยวิธีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน ประกอบด้วย หลักการประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เพื่อพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน ดังนี้

1. การพิจารณาคัดเลือกขึ้นบัญชีของผู้รับจ้างเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน (Pre-Registration : PR) มีหลักเกณฑ์กำหนดการพิจารณาคัดเลือกเบื้องต้นเพื่อให้ได้ผู้รับจ้างที่เหมาะสมก่อนการประมูล โดยทั่วไปจะประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตของงาน เกณฑ์การคัดเลือก และความสามารถของผู้รับจ้าง เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของกรมชลประทาน ในการคัดเลือกผู้รับจ้างเข้าดำเนินการในโครงการก่อสร้างงานชลประทาน (Promsiri and Pawan, 2018)
2. กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ถูกพัฒนาโดย (Saaty, 1980) มีรูปแบบในการแปลงค่าเชิงปริมาณ ซึ่งเป็นกระบวนการช่วยตัดสินใจ แบบมีเหตุผล โดยอาศัยหลักการของการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multiple criteria) (Srinuan et al. , 2016). เริ่มต้นด้วยการกำหนดเป้าหมาย และสร้างโครงสร้างปัญหาที่ต้องการพิจารณา ออกมาเป็นแผนภูมิลำดับชั้น (Hierarchy) ตามลำดับชั้นของเกณฑ์ที่ใช้พิจารณา จากเกณฑ์หลักสู่เกณฑ์รองตามลำดับจัดเรียงลงมาเป็นชั้นๆ จนถึงทางเลือก (Alternatives) ดังภาพที่ 1 (Sreesai, 2014)



ภาพที่ 1 โครงสร้างแผนภูมิของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process)

ซึ่งทำให้ผู้วิเคราะห์มองเห็นองค์ประกอบของปัญหาและเปรียบเทียบปัญหาอย่างมีเหตุผลในทุกเกณฑ์ที่พิจารณา (Tansirikongkol, 2014) ทำให้ผลการประเมินมีความถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น ซึ่งการเปรียบเทียบปัญหาอย่างมีเหตุผล ด้วยหลักการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pair Wise Comparison) โดยกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญระหว่างเกณฑ์เป็นคู่ๆ (Kwansai and Pawan, 2019) เพื่อนำไปสู่การคำนวณค่าคะแนนความสำคัญรวมของแต่ละทางเลือก รวมทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้ หากเมื่อมีหลากหลายปัจจัยที่เพิ่มมากขึ้นตามที่คุณวิจัยต้องการวิเคราะห์ปัจจัยนั้นเพิ่ม หรือแม้กระทั่งแต่ละปัจจัยที่มีความขัดแย้งกัน ไม่สมเหตุสมผล ทางผู้วิจัยก็ยังสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยได้ อีกทั้งยังเป็นการป้องกัน เพื่อไม่ให้เกิดการจัดลำดับที่ไม่เป็นธรรมกับผู้รับจ้าง และยังสามารถลดข้อร้องเรียนความไม่เป็นธรรมในการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง พร้อมทั้งเพิ่มมาตรฐานที่สูงขึ้นอีกระดับในการได้ผู้รับจ้างที่มีคุณสมบัติเบื้องต้น ในหน่วยงานภายในกรมชลประทาน

โดยผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในด้านการศึกษาดังปัจจัยและเกณฑ์ที่มีผลต่อการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พร้อมทั้งศึกษาการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ตามลำดับชั้น การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง ร่วมกับแบบจำลองที่มีการพัฒนามาจากการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น และมีบทความวิชาการที่วิธีเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ลำดับชั้นของการวิเคราะห์กระบวนการ (AHP) ในเรื่องการจัดการดำเนินงานและมีการจัดหมวดหมู่ไว้อย่างมากมายที่สามารถนำมาเป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน ดังนี้

Pawan and Lertpaitoonpan (2018) และ Mustafa and Al-Bahar (1991) ได้ทำการศึกษาที่คล้ายกันในส่วนการประเมินความเสี่ยง โดยได้ทำการศึกษาพร้อมทั้งเสนอวิธีการประเมินการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลตามหลักความปลอดภัย เรื่องการป้องกันอุบัติเหตุ สำหรับบุคลากรขณะทำงานก่อสร้าง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นมาประยุกต์ใช้ ในการประเมินพฤติกรรมแรงงานก่อสร้างที่สวมและไม่สวม อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ในงานก่อสร้างอาคารสูง พร้อมทั้งยังเป็นแนวทางให้หัวหน้างาน และผู้บริหาร ได้เลือกตัดสินใจต่อไปได้เป็นอย่างดี

Dechakhum, Apirattanapimolchai and Charoensuk (2017) ได้ทำการศึกษาที่คล้ายกันในส่วนการคัดเลือกผู้รับจ้าง และทำการศึกษาปัจจัยที่ใช้วัดผู้รับเหมาก่อสร้าง ที่มีผลต่อการตัดสินใจคัดเลือกผู้รับเหมาก่อสร้าง ประกอบไปด้วย 6 ปัจจัยหลัก คือ ผลงานที่ผ่านมาในอดีตและปัจจุบัน บุคลากรและแรงงาน ความสามารถในการเงิน การจัดการองค์กรและการบริหารงาน เครื่องจักรและการนำเทคโนโลยีมาใช้ ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม โดยปัจจัยหลักทั้ง 6 ด้านนี้ถือได้ว่ามีความน่าเชื่อถือและสมบูรณ์ที่สุด

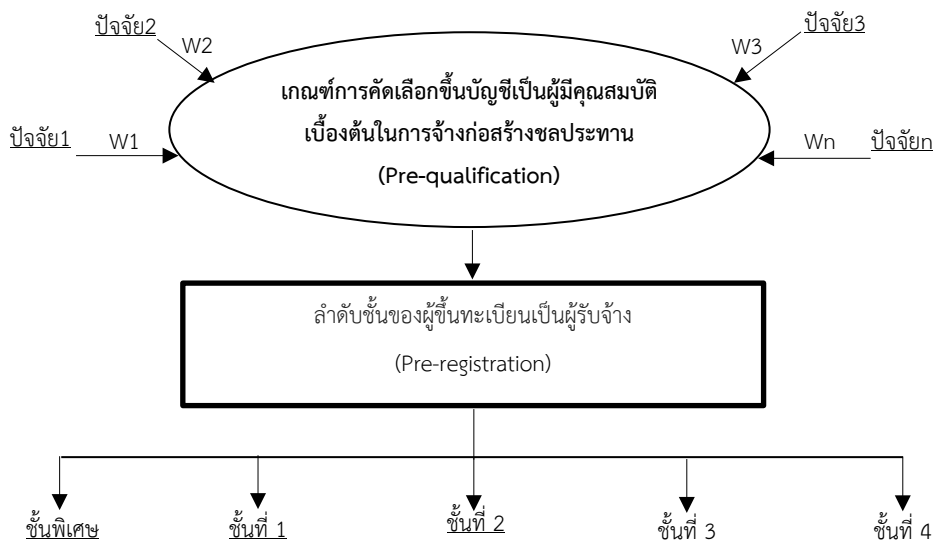
Jaisung and Teeranupattana (2012) และ Sukkrajang (2015) ได้ทำการศึกษาที่คล้ายกันในส่วนการสร้างแบบจำลอง โดยได้ศึกษาเกณฑ์การสร้างแบบจำลองในการคัดเลือกผู้ให้บริการโลจิสติกส์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิธีการกระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้น พัฒนาแบบจำลองสำหรับ บริษัท ฮานา ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด (มหาชน) มีทั้งหมด 15 เกณฑ์การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญและคัดเลือกมา 5 อันดับที่มีค่าน้ำหนักมากที่สุด และพบว่าเกณฑ์ด้านต้นทุนและความน่าเชื่อถือในการส่งมอบมีความสำคัญมาก รองลงมาคือการตอบสนอง เทคโนโลยีสารสนเทศและความมั่นคงทางการเงิน ตามลำดับ

จากการทบทวนวรรณกรรมด้วยวิธีการวิเคราะห์ลำดับชั้นที่ผ่านมา พบว่า การใช้วิธีวิเคราะห์ลำดับชั้นช่วยสนับสนุนการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการตัดสินใจ อีกทั้งมีผลสำรวจเป็นที่น่าเชื่อถือ ซึ่งมีแผนภูมิโครงสร้างในการวิเคราะห์ปัญหา อย่างเป็นระบบเป็นขั้นตอนทำให้ผู้ที่ต้องการตัดสินใจได้รับทางเลือกที่ดีที่สุด

จึงช่วยให้ทวิศึกษาทุกสาขา นำวิธีการวิเคราะห์ลำดับชั้นมาประยุกต์ใช้ในการประเมินจนถึงปัจจุบัน ซึ่งปัจจุบันยังมีการใช้วิธีการวิเคราะห์ลำดับชั้นอย่างแพร่หลาย

กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดดังภาพที่ 2 มาจากหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทานของกรมชลประทาน



ภาพที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง

ปัจจัยที่นำมาใช้ในการสร้างกรอบการวิจัยเกณฑ์การคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทานของกรมชลประทาน ได้มาจากกองพัสดุ กรมชลประทาน และผู้เชี่ยวชาญด้านการก่อสร้างชลประทาน ผู้วิจัยพบว่างานที่ศึกษาการคัดเลือกคุณสมบัติผู้ดำเนินการก่อสร้าง และงานวิจัยที่ใช้พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกผู้รับจ้าง ได้แก่ ด้านผลงานที่ผ่านมา ด้านความสามารถด้านการเงิน ด้านการจัดการองค์การ และการบริหารงาน ด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ด้านเครื่องจักร และด้านบุคลากรและแรงงาน ในการประเมินค่าน้ำหนักต่างๆ (Balubaid and Alamoudi, 2015; Russell, Hancher and Skibniewski, 1992) ซึ่งมีปัจจัยด้านการจัดการองค์การและการบริหารงาน และด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ที่ต่างกับเกณฑ์ของกรมชลประทาน ซึ่งผู้วิจัยมุ่งศึกษาตัวแปรเพื่อกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพในการทำงานชลประทาน ด้านสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับจ้าง ด้านความรู้ความสามารถ และคุณสมบัติ บุคลากรของผู้รับจ้าง และด้านสมรรถภาพและประสิทธิภาพเครื่องจักร เครื่องมือของผู้รับจ้าง

วิธีดำเนินการวิจัย

การรวบรวมรายละเอียดข้อมูลเกณฑ์การให้คะแนนของกรมชลประทานที่กองพัสดุดูกรมชลประทานได้บันทึกไว้จำนวนทั้งหมด 30 ราย และมีเกณฑ์ในการคัดเลือกเป็นผู้มีความสามารถในงานก่อสร้างชลประทาน ทั้งหมด 4 ด้าน

ดังนี้ 1. งานอาคารห้วงานชลประทานและหรืองานอาคารประกอบ 2. งานระบบส่งน้ำและหรืองานอาคารประกอบ 3. งานระบบระบายน้ำและหรืองานอาคารประกอบ 4. งานจัดรูปที่ดิน และหรืองานจัดระบบน้ำเพื่อเกษตรกรรม โดยมีระยะเวลาดำเนินโครงการย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี ทั้งนี้ผู้รับจ้างงานก่อสร้างชลประทานที่มีความประสงค์ยื่นเอกสารขอขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นงานก่อสร้างชลประทาน จากระบบทะเบียนรายชื่อ กองพัสดุ กรมชลประทาน ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนของกรมชลประทาน

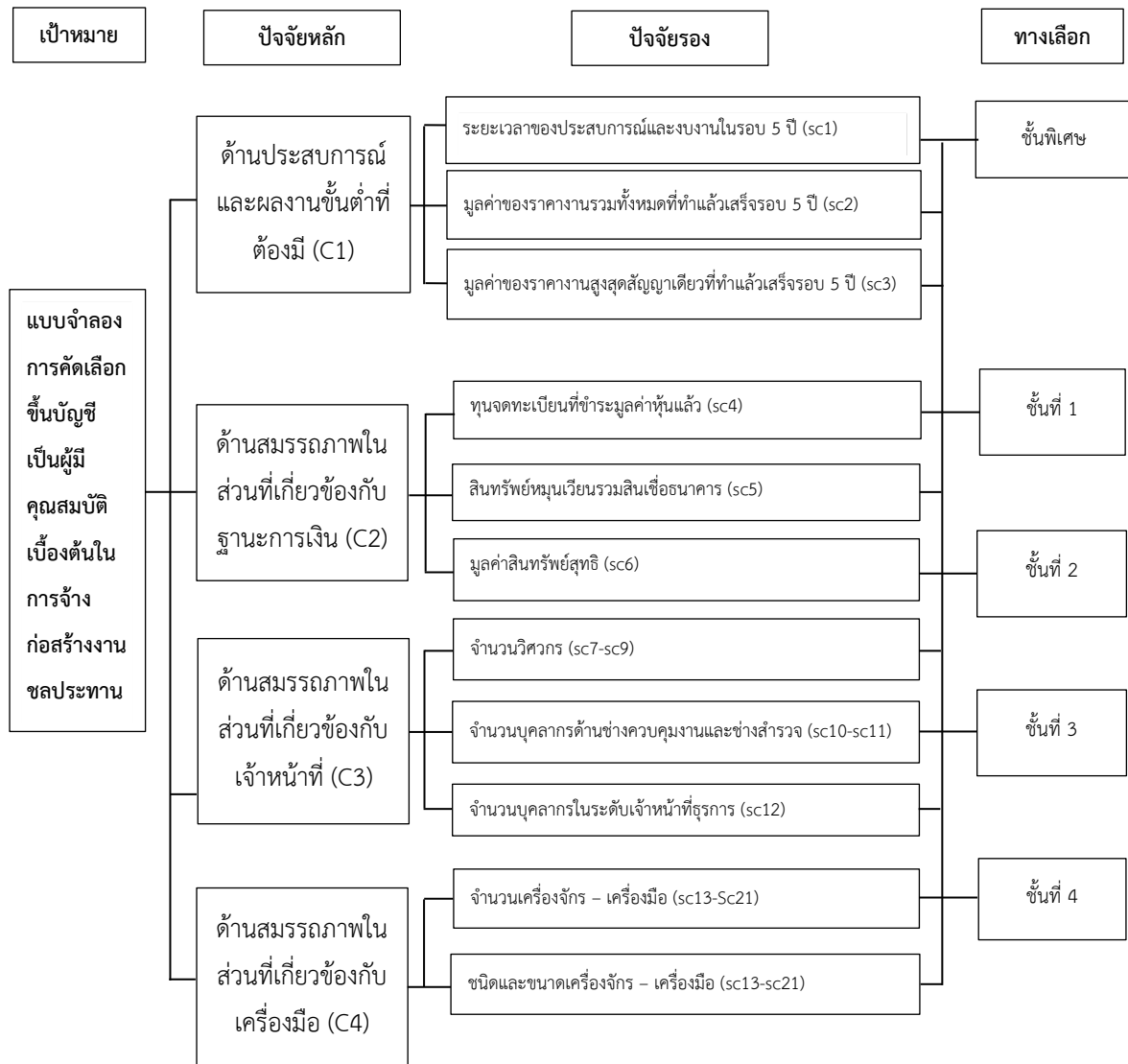
ลำดับ	บริษัท	ด้านประสิทธิภาพและผลงาน (คะแนนเต็ม 20 คะแนน)			
		ประสบการณ์/เดือน (5 คะแนน)	มูลค่างานรวม/บาท (7 คะแนน)	สัญญาสูงสุด/บาท (8 คะแนน)	รวม (20 คะแนน)
1	ผู้รับจ้างรายที่ 1	60.00	350.00	150.00	20.00
2	ผู้รับจ้างรายที่ 2	52.00	350.00	120.00	19.61
3	ผู้รับจ้างรายที่ 3	55.00	350.00	82.20	15.65
4	ผู้รับจ้างรายที่ 4	40.00	300.00	48.60	15.65
5	ผู้รับจ้างรายที่ 5	15.00	45.50	3.90	4.27
:	:	:	:	:	:
30	ผู้รับจ้างรายที่ 30	20	73.5	6	6.01

จากตารางที่ 1 นำมาพัฒนาแบบจำลอง โดยกำหนดลำดับชั้นแผนภูมิ และเกณฑ์การตัดสินใจจากปัจจัยหลัก ประกอบด้วย 4 ด้าน และปัจจัยรอง 21 ด้าน จากนั้นจะนำไปพัฒนาแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลอง

ในการพัฒนาแบบจำลองการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างงานชลประทาน (PQ-AHP MODEL) มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแผนภูมิลำดับชั้น (Hierarchy) จากปัจจัยหลัก จำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพและผลงาน (Criteria :C1) ด้านสภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน (Criteria 2 :C2) ด้านสมรรถภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ (Criteria 3 :C3) ด้านสมรรถภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือโรงงาน (Criteria 4 :C4) และปัจจัยรอง 21 ปัจจัย (sub-criteria 1 : sc1) ถึง (sub-criteria 21 : sc21) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาทางเลือก ตามการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง งานก่อสร้างชลประทาน จำนวน 5 ชั้น ได้แก่ ชั้นพิเศษ ชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภูมิลำดับขั้นการตัดสินใจ การคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง

2. กำหนดความหมายและการเปรียบเทียบรายคู่ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญเข้าใจระดับความสำคัญและความหมายในการตัดสินใจ จากคำอธิบายต่างๆ ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ระดับความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 เกณฑ์ส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่าๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับปานกลาง
5	สำคัญมากกว่า	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับสูงสุด
2, 4, 6, 8	อยู่ระหว่างกลาง	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบายมาข้างต้น

3. ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ได้ทำการศึกษาดารงที่ 2 เป็นอย่างดีแล้ว จึงทำการเปรียบเทียบรายคู่ โดยพิจารณาจากปัจจัยแรกและปัจจัยหลัง เช่น คู่ที่ 1 ด้านสมรรถภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงินเป็นปัจจัยแรก กับ ด้านประสบการณ์และผลงานเป็นปัจจัยหลัง โดยแต่ละปัจจัยมีระดับความสำคัญ ตั้งแต่ 1 ถึง 9 ที่บ่งบอกถึงปัจจัยแรกสำคัญมากกว่าปัจจัยหลัง และปัจจัยหลังสำคัญมากกว่าปัจจัยแรก ดังแสดงตารางที่ 3 ซึ่งในกรณีที่ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นที่ต่างกัน ทางผู้วิจัยต้องตรวจสอบแบบ การหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC : Index of item objective congruence) เพื่อพิจารณาความเที่ยงตรงของแบบสอบถามใหม่อีกครั้ง ถ้าแบบสอบถามมีค่าความเที่ยงตรงมีค่า มากกว่า 0.5 – 1 ถือว่ามีความเที่ยงตรง ใช้ได้ แต่ถ้าค่าความเที่ยงตรงมีค่า ต่ำกว่า 0.5 ต้องปรับปรุงใหม่ ถือว่ายังใช้ไม่ได้ตามหลักเกณฑ์ IOC

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบรายคู่ระหว่างด้านสมรรถภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน กับด้านประสบการณ์และผลงาน

คู่ที่	ปัจจัยแรก	ปัจจัยแรก สำคัญมากกว่า ปัจจัยหลัง									ปัจจัยหลัง สำคัญมากกว่า ปัจจัยแรก									ปัจจัยหลัง
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	ด้านสมรรถภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน																		ด้านประสบการณ์และผลงาน	
		○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

4. เมื่อกำหนดระดับความสำคัญของปัจจัย ตารางที่ 2 ลงในตารางที่ 3 เรียบร้อยแล้ว จากนั้นผู้เชี่ยวชาญทำการพิจารณาและตัดสินใจระดับความสำคัญ เช่น คู่ที่ 1 ด้านสมรรถภาพในส่วนที่เกี่ยวข้องกับฐานะการเงิน (ปัจจัยแรก) กับ ด้านประสบการณ์และผลงาน (ปัจจัยหลัง) มีค่าเท่ากับ 4 ซึ่งหมายความว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นเห็นว่าเกณฑ์ปัจจัยแรก สำคัญกว่าเกณฑ์หลังอยู่ระหว่างระดับปานกลาง (3) ถึงระดับมาก (5) ระหว่างการพิจารณาและตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบ ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) ดังสมการที่ 1

$$CR = CI/RI \quad (1)$$

โดยที่ ค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) ดังสมการที่ 2

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

สำหรับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index : RI) พิจารณาจากดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index : RI)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ในกรณีที่ค่า CR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่ายอมรับได้ แต่ถ้าค่า CR มากกว่า 0.10 ถือว่ายอมรับไม่ได้ ต้องทำการทบทวนค่าน้ำหนักเปรียบเทียบในเกณฑ์นั้นใหม่ (Saaty, 1980)

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยทำความเข้าใจในกระบวนการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญให้เป็นไปตามหลักการเทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) เป็นการรวบรวมผลของการพิจารณาและตัดสินใจเกี่ยวกับคำตอบที่เป็นมติของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นการเสนอความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจึงมีความเป็นอิสระ และความเป็นส่วนตัวมาก เพื่อไม่ให้ความคิดเห็นของผู้อื่นหรือของกลุ่มมีอิทธิพลต่อผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน โดยหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้ากันโดยตรง ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนจะต้องตอบแบบสอบถามทุกขั้นตอน ซึ่งการตอบแบบสอบถามต้องกระทำหลายรอบเพื่อให้ได้ความคิดเห็นที่ถูกต้องและเชื่อถือได้

4. การคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัย เพื่อกำหนดระดับความสำคัญของเกณฑ์หรือปัจจัย โดยนำการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญ ทำการเปรียบเทียบทีละคู่ ซึ่งมีปัจจัยหลัก (Criteria) ทั้งหมด 4 ปัจจัย [Criteria 1, Criteria 2, Criteria 3, Criteria 4] ดังแสดงตารางที่ 5 และปัจจัยรอง (Sub-Criteria) ทั้งหมด 21 ปัจจัย โดยแสดงตารางเมทริกซ์หาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรอง Sub-Criteria 1 - Sub-Criteria 3 ดังแสดงตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ตารางเมทริกซ์หาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก Criteria 1 – Criteria 4

ปัจจัยหลัก Criteria					
ค่าน้ำหนักความสำคัญ	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3	Criteria 4	เกณฑ์
25.14%	1.00	0.25	3.00	4.00	Criteria 1
54.87%	4.00	1.00	5.00	4.00	Criteria 2
11.61%	0.33	0.20	1.00	2.00	Criteria 3
8.38%	0.25	0.25	0.50	1.00	Criteria 4

ตารางที่ 6 ตารางเมทริกซ์หาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรอง Sub-Criteria 1 - Sub-Criteria 3

ปัจจัยรอง Sub-Criteria 1- Sub-Criteria 3				
ค่าน้ำหนักความสำคัญ	Sub-Criteria 1	Sub-Criteria 2	Sub-Criteria 3	เกณฑ์
38.73%	1.00	2.00	1.00	Sub-Criteria 1
16.98%	0.50	1.00	0.33	Sub-Criteria 2
44.29%	1.00	3.00	1.00	Sub-Criteria 3

ตารางที่ 7 ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR)

ตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR)					
Consistency	C	C1	C2	C3	C4
$\lambda_{\max}$	4.239	3.018	3.038	6.293	10.1327
C.R.	0.089	0.018	0.037	0.047	0.097

ทั้งนี้ได้ตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) ดังแสดงตารางที่ 7 จากนั้นนำค่าน้ำหนักความสำคัญปัจจัยหลัก ปัจจัยรอง มาคูณกับเกณฑ์ที่กรมชลประทานกำหนด แล้วนำค่าสูงสุดของคะแนน มาลบกับ ค่าต่ำสุดของคะแนน หาดด้วยจำนวนชั้นทางเลือกที่เรากำหนด ซึ่งในที่นี้คือ 5 ชั้นทางเลือกประกอบด้วย ชั้นพิเศษ ชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 จากนั้นนำค่าที่ได้ มาบวกกับค่าคะแนนต่ำสุด ให้ครบทุกจำนวนชั้น ทางเลือกที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะได้ช่วงคะแนนของแบบจำลอง PQ-AHP ดังแสดงตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ช่วงคะแนนแบบจำลอง PQ-AHP

ชั้นทางเลือก	ช่วงคะแนนแบบจำลอง PQ-AHP	
ชั้นพิเศษ	176.76	221.00
ชั้นที่ 1	133.14	176.75
ชั้นที่ 2	89.51	133.13
ชั้นที่ 3	45.89	89.50
ชั้นที่ 4	2.27	45.88

การทดสอบแบบจำลอง

โดยนำข้อที่ผู้รับจ้างแต่ละรายยื่นเอกสารตามหลักเกณฑ์การให้คะแนนที่กรมชลประทานกำหนดมาพิจารณา ผลการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้รับจ้างที่มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างงานก่อสร้าง ซึ่งแบบจำลอง สามารถบอกค่าน้ำหนักในแต่ละผู้รับจ้างที่ยื่นขอข้อมูลดังกล่าว ดังแสดงตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลอง PQ-AHP (แบบจำลองจะไม่คำนวณค่ามากกว่าที่เกณฑ์กำหนด)

แบบจำลอง คัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน PQ-AHP					
คุณสมบัติ		เกณฑ์ที่กำหนด	บันทึกข้อมูล	คะแนน	
1. ด้านประสบการณ์และผลงานขั้นต่ำที่ต้องมี	1.1 ประสบการณ์และผลงานต่อเนื่อง ในรอบ 5 ปี (เดือน)	36	60	2.97	
	1.2 มูลค่าของราคางานที่ทำแล้วเสร็จ ในรอบ 5 ปี (ล้านบาท)	300	350	19.69	
	1.3 ราคามูลค่าสูงสุดสัญญาเดียวที่ทำแล้วเสร็จในรอบ 5 ปี (ล้านบาท)	110	150	11.37	
2. ด้านฐานะการเงินขั้นต่ำที่ต้องมี	2.1 ทุนจดทะเบียนที่ชำระมูลค่าหุ้นแล้ว (ล้านบาท)	400	150	46.39	
	2.2 สินทรัพย์หมุนเวียนรวมสินเชื่อนาคร (ล้านบาท)	400	400	23.30	
	2.3 Net Worth (ล้านบาท)	200	270	28.58	
3. ด้านบุคลากร-เจ้าหน้าที่ขั้นต่ำที่ต้องมี	3.1 วุฒิวิศวกร	1	1	0.05	
	3.2 สามัญวิศวกร	- ด้านโยธา	3	3	0.09
		- ด้านเครื่องกล	2	1	0.03
		- ด้านไฟฟ้า	1	1	0.03
	3.3 ภาควิศวกร	6	6	0.12	
	3.4 นายช่างควบคุมงาน	6	5	0.06	
	3.5 นายช่างสำรวจ	3	3	0.03	
3.6 ชูรการ	2	2	0.01		

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แบบจำลอง คัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน PQ-AHP				
คุณสมบัติ	คุณสมบัติ	คุณสมบัติ	คุณสมบัติ	คุณสมบัติ
4. ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือที่ต้องมี	4.1 รถแทรกเตอร์ตีนตะขาบ (Bulldozer) ขนาดไม่น้อยกว่า 140 แรงม้า	4	2	0.02
	4.2 รถขุดไฮดรอลิก ตีนตะขาบ (Hydraulic Excavator) ขนาดไม่น้อยกว่า 120 แรงม้า	8	5	0.05
	4.3 รถเกลี่ยดิน (Motor Grader) ขนาดไม่น้อยกว่า 120 แรงม้า	2	2	0.02
	4.4 รถบรรทุกเทท้าย 10 ล้อ (10 Dump Truck) ขนาดไม่น้อยกว่า 110 แรงม้า	24	14	0.13
	4.5 รถบรรทุกน้ำ (Water Tank Truck) ขนาดไม่น้อยกว่า 130 แรงม้า	4	5	0.04
	4.6 รถบดล้อยหนาม ขนาดไม่น้อยกว่า 100 แรงม้า	4	4	0.04
	4.7 รถผสมคอนกรีต (Mixer Truck) ขนาดไม่น้อยกว่า 130 แรงม้า	2	2	0.02
	4.8 รถบดสันสะพาน ล้อเรียบ/ล้อยาง ขนาดไม่น้อยกว่า 100 แรงม้า	2	2	0.02
	4.9 รถเครน (Crane Truck) ขนาดไม่น้อยกว่า 25 ตัน	2	2	0.02
ผลสรุป (ได้ขั้นที่ 2)				133.07

ผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้นำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริงกับผู้รับจ้าง จำนวน 6 ราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคะแนนของผู้รับจ้าง และผลของการจัดลำดับขั้น ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของกรมชลประทาน โดยนำแบบจำลอง PQ-AHP ประยุกต์ใช้ร่วมกับการให้คะแนนเพื่อจัดลำดับขั้นข้อมูลของผู้รับจ้าง จำนวน 5 ราย และมีการปรับลดขั้น จำนวน 1 ราย รวมจำนวน 6 ราย ดังนี้

ผู้รับจ้างรายที่ 1 ข้อมูลคุณสมบัติของผู้รับจ้างที่อยู่ ชั้นพิเศษ ตามเกณฑ์กรมชลประทาน และได้ทดลองตามแบบจำลอง PQ-AHP ซึ่งมี ด้านประสิทธิภาพและผลงาน มีค่าเท่ากับ 28.56 คะแนน ด้านฐานะทางการเงิน มีค่าเท่ากับ 190.88 คะแนน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ มีค่าเท่ากับ 0.39 คะแนน และ ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ มีค่าเท่ากับ 0.47 คะแนน โดยมี คะแนนรวม 220.29 คะแนน ซึ่งมีค่าคะแนนที่อยู่ในช่วง ชั้นพิเศษ ตามช่วงคะแนนด้วยวิธี PQ-AHP ดังแสดงตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบเกณฑ์กรมชลประทาน กับแบบจำลอง PQ-AHP เพื่อทำนาย “คะแนนผู้รับจ้าง”

การเปรียบเทียบคะแนนด้วยวิธี กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น กับ เกณฑ์การคัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน			
ผู้รับจ้างรายที่	วิธีการ	คะแนน	สรุปลำดับขั้น
ผู้รับจ้างรายที่ 1	แบบจำลอง PQ-AHP	220.29	ชั้นพิเศษ
	เกณฑ์กรมชลประทาน	99.50	ชั้นพิเศษ

ผู้รับจ้างรายที่ 2 ข้อมูลคุณสมบัติของผู้รับจ้างที่อยู่ ชั้นที่ 1 ตามเกณฑ์เดิมของกรมชลประทาน และได้ทดลองตามแบบจำลอง PQ-AHP ซึ่งมี ด้านประสบการณ์และผลงาน มีค่าเท่ากับ 28.56 คะแนน ด้านฐานะทางการเงิน มีค่าเท่ากับ 138.75 คะแนน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ มีค่าเท่ากับ 0.42 คะแนน และ ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ มีค่าเท่ากับ 0.38 คะแนน โดยมี คะแนนรวม 168.12 คะแนน ซึ่งมีค่าคะแนนที่อยู่ในช่วง ชั้นที่ 1 ตามช่วงคะแนนด้วยวิธี PQ-AHP ดังแสดงตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบเกณฑ์ฯ กรมชลประทาน กับแบบจำลอง PQ-AHP เพื่อทำนาย “คะแนนผู้รับจ้าง”

การเปรียบเทียบคะแนนด้วยวิธี กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กับ เกณฑ์การคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน			
ผู้รับจ้างรายที่	วิธีการ	คะแนน	สรุปลำดับชั้น
ผู้รับจ้างรายที่ 2	แบบจำลอง PQ-AHP	168.12	ชั้นที่ 1
	เกณฑ์ฯ กรมชลประทาน	89.07	ชั้นที่ 1

ผู้รับจ้างรายที่ 3 ข้อมูลคุณสมบัติของผู้รับจ้างที่อยู่ ชั้นที่ 2 ตามเกณฑ์เดิมของกรมชลประทาน และได้ทดลองตามแบบจำลอง PQ-AHP ซึ่งมี ด้านประสบการณ์และผลงาน มีค่าเท่ากับ 28.56 คะแนน ด้านฐานะทางการเงิน มีค่าเท่ากับ 98.27 คะแนน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ มีค่าเท่ากับ 0.41 คะแนน และ ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ มีค่าเท่ากับ 0.36 คะแนน โดยมี คะแนนรวม 127.60 คะแนน ซึ่งมีค่าคะแนนที่อยู่ในช่วง ชั้น 2 ตามช่วงคะแนนด้วยวิธี PQ-AHP ดังแสดงตารางที่ 14

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบเกณฑ์กรมชลประทาน กับแบบจำลอง PQ-AHP เพื่อทำนาย “คะแนนผู้รับจ้าง”

การเปรียบเทียบคะแนนด้วยวิธี กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กับ เกณฑ์การคัดเลือกชั้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน			
ผู้รับจ้างรายที่	วิธีการ	คะแนน	สรุปลำดับชั้น
ผู้รับจ้างรายที่ 3	แบบจำลอง PQ-AHP	127.60	ชั้นที่ 2
	เกณฑ์กรมชลประทาน	63.68	ชั้นที่ 2

ผู้รับจ้างรายที่ 4 ข้อมูลคุณสมบัติของผู้รับจ้างที่อยู่ ชั้นที่ 3 ตามเกณฑ์เดิมของกรมชลประทาน และได้ทดลองตามแบบจำลอง PQ-AHP ซึ่งมี ด้านประสบการณ์และผลงาน มีค่าเท่ากับ 20.88 คะแนน ด้านฐานะทางการเงิน มีค่าเท่ากับ 52.38 คะแนน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ มีค่าเท่ากับ 0.29 คะแนน และ ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ มีค่าเท่ากับ 0.22 คะแนน โดยมี คะแนนรวม 73.77 คะแนน ซึ่งมีค่าคะแนนที่อยู่ในช่วง ชั้น 3 ตามช่วงคะแนนด้วยวิธี PQ-AHP ดังแสดงตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบเกณฑ์กรมชลประทาน กับแบบจำลอง PQ-AHP เพื่อทำนาย “คะแนนผู้รับจ้าง”

การเปรียบเทียบคะแนนด้วยวิธี กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กับ เกณฑ์การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน			
ผู้รับจ้างรายที่	วิธีการ	คะแนน	สรุปลำดับชั้น
ผู้รับจ้างรายที่ 4	แบบจำลอง PQ-AHP	73.77	ชั้นที่ 3
	เกณฑ์กรมชลประทาน	52.65	ชั้นที่ 3

ผู้รับจ้างรายที่ 5 ข้อมูลคุณสมบัติของผู้รับจ้างที่อยู่ ชั้นที่ 4 ตามเกณฑ์เดิมของกรมชลประทาน และได้ทดลองตามแบบจำลอง PQ-AHP ซึ่งมี ด้านประสิทธิภาพและผลงาน มีค่าเท่ากับ 10.55 คะแนน ด้านฐานะทางการเงิน มีค่าเท่ากับ 19.01 คะแนน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ มีค่าเท่ากับ 0.21 คะแนน และ ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ มีค่าเท่ากับ 0.24 คะแนน โดยมี คะแนนรวม 30.01 คะแนน ซึ่งมีค่าคะแนนที่อยู่ในช่วง ชั้น 4 ตามช่วงคะแนนด้วยวิธี PQ-AHP ดังแสดงตารางที่ 16

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบเกณฑ์กรมชลประทาน กับแบบจำลอง PQ-AHP เพื่อทำนาย “คะแนนผู้รับจ้าง”

การเปรียบเทียบคะแนนด้วยวิธี กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กับ เกณฑ์การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน			
ผู้รับจ้างรายที่	วิธีการ	คะแนน	สรุปลำดับชั้น
ผู้รับจ้างรายที่ 5	แบบจำลอง PQ-AHP	30.01	ชั้นที่ 4
	เกณฑ์กรมชลประทาน	20.90	ชั้นที่ 4

ผู้รับจ้างรายที่ 6 ข้อมูลคุณสมบัติของผู้รับจ้างที่อยู่ ชั้นที่ 3 ตามเกณฑ์เดิมของกรมชลประทาน และได้ทดลองตามแบบจำลอง PQ-AHP ซึ่งมี ด้านประสิทธิภาพและผลงาน มีค่าเท่ากับ 15.62 คะแนน ด้านฐานะทางการเงิน มีค่าเท่ากับ 14.09 คะแนน ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ มีค่าเท่ากับ 0.27 คะแนน และ ด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ มีค่าเท่ากับ 0.31 คะแนน โดยมี คะแนนรวม 30.28 คะแนน ซึ่งมีค่าคะแนนที่อยู่ในช่วง ชั้น 4 ตามช่วงคะแนนด้วยวิธี PQ-AHP ดังแสดงตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบเกณฑ์กรมชลประทาน กับแบบจำลอง PQ-AHP เพื่อทำนาย “คะแนนผู้รับจ้าง”

การเปรียบเทียบคะแนนด้วยวิธี กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กับ เกณฑ์การคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน			
ผู้รับจ้างรายที่	วิธีการ	คะแนน	สรุปลำดับชั้น
ผู้รับจ้างรายที่ 6	แบบจำลอง PQ-AHP	30.28	ชั้นที่ 4
	เกณฑ์กรมชลประทาน	44.78	ชั้นที่ 3

อภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยและเกณฑ์ที่มีผลกระทบต่อการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทาน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น พบว่าปัจจัยหลักและเกณฑ์ด้านฐานะการเงินมีความสำคัญมากที่สุด (ร้อยละ 54.87) รองลงมาด้านประสบการณ์และผลงาน (ร้อยละ 25.14) ด้านบุคลากรและเจ้าหน้าที่ (ร้อยละ 11.61) และด้านเครื่องจักร-เครื่องมือ (ร้อยละ 8.38) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักและเกณฑ์ดังกล่าวมีผลทำให้ช่วงคะแนนแบบจำลอง PQ-AHP มีช่วงคะแนนระหว่างขั้น (ร้อยละ 43.61) ช่วงคะแนนสูงสุด (ร้อยละ 221.00) และต่ำสุด (ร้อยละ 2.27) โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนเลือก ดังนี้ ขั้นพิเศษ (ช่วงคะแนน 176.76–221.00) ขั้นที่ 1 (ช่วงคะแนน 133.14–176.75) ขั้นที่ 2 (ช่วงคะแนน 89.51–133.13) ขั้นที่ 3 (ช่วงคะแนน 45.89–89.50) และขั้นที่ 4 (ช่วงคะแนน 2.27–45.88) จึงทำช่วงคะแนนในแต่ละขั้นมีค่ามากขึ้น และได้ค่าที่ละเอียดยิ่งขึ้น ซึ่งผลการคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างชลประทานด้วยวิธีแบบจำลอง PQ-AHP ทั้ง 6 ราย ดังนี้ ผู้รับจ้างรายที่ 1 ผลคะแนนรวมของกรมฯ 99.50 คะแนน และผลคะแนนรวมของแบบจำลอง 220.29 คะแนน อยู่ลำดับขั้นพิเศษ ผู้รับจ้างรายที่ 2 ผลคะแนนรวมของกรมฯ 89.70 คะแนน และผลคะแนนรวมของแบบจำลอง 168.12 คะแนน อยู่ลำดับขั้นที่ 1 ผู้รับจ้างรายที่ 3 ผลคะแนนรวมของกรมฯ 63.68 คะแนน และผลคะแนนรวมของแบบจำลอง 127.60 คะแนน อยู่ลำดับขั้นที่ 2 ผู้รับจ้างรายที่ 4 ผลคะแนนรวมของกรมฯ 52.65 คะแนน และผลคะแนนรวมของแบบจำลอง 73.77 คะแนน อยู่ลำดับขั้นที่ 3 ผู้รับจ้างรายที่ 5 ผลคะแนนรวมของกรมฯ 20.90 คะแนน และผลคะแนนรวมของแบบจำลอง 30.01 คะแนน อยู่ลำดับขั้นที่ 4 แต่พบว่า ผู้รับจ้างรายที่ 6 ผลคะแนนรวมของกรมฯ 44.78 คะแนน และผลคะแนนรวมของแบบจำลอง 30.28 คะแนน จากเดิมอยู่ลำดับขั้นที่ 3 แต่ถูกปรับลดไปอยู่ลำดับขั้นที่ 4 การพิจารณาปัจจัยและเกณฑ์ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันจะได้ผู้รับจ้างที่มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการถูกคัดเลือกขึ้นบัญชี ซึ่งวิธีแบบจำลอง PQ-AHP แสดงให้เห็นว่าเป็นแบบจำลองที่มีความละเอียดมากขึ้นกว่าวิธีการเดิม และสอดคล้องกับผลการประเมินของกรมฯ ที่มีคุณภาพที่ดีต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการเก็บข้อมูลกับผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยควรนำเทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) มาใช้เพื่อเป็นวิธีการแสวงหาข้อมูลความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในที่จะทำการศึกษา ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะตอบแบบสอบถามด้วยการกลั่นกรองอย่างละเอียด รอบคอบ และสอดคล้องกันในแบบสอบถามแต่ละข้อ
2. โดยระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้รับจ้างตามเกณฑ์ของแบบจำลอง จะมีเกณฑ์ผลงานย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี อีกทั้งควรนำข้อมูลมาจากระบบทะเบียนรายชื่อ กองพัสดุ กรมชลประทาน
3. โดยระยะเวลาการประเมินโดยใช้แบบจำลอง ใช้เวลาการประเมินภายใน 7 วันทำการ และกรมชลประทานจะตรวจสอบเอกสารหลักฐานของผู้ขอขึ้นบัญชีเพื่อคัดเลือกขึ้นบัญชีเป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้าง “งานก่อสร้างชลประทาน” และพิจารณาให้เป็นผู้มีคุณสมบัติเบื้องต้นภายใน 90 วัน นับตั้งแต่วันที่ได้รับคำขอและเอกสารต่างๆ ครบถ้วนแล้ว
4. การกำหนดปัจจัยและเกณฑ์ ควรจะเพิ่มเกณฑ์ด้านคุณภาพงานและส่งมอบงานตามกำหนด ของผู้รับจ้างก่อสร้างงานชลประทานที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ มาวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผู้รับจ้างที่มีคุณภาพในการก่อสร้างงาน และส่งมอบงานก่อสร้างที่แล้วเสร็จตามอายุสัญญาที่กำหนด

5. ผลการศึกษาด้วยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น AHP (Analytical Hierarchy Process) จะเห็นได้ว่า ยังมีค่าความคลาดเคลื่อน จึงควรมีวิธีการอื่นมาเปรียบเทียบ เช่น วิธีนิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy Inference System) มาเปรียบเทียบ เพื่อจะเป็นทางเลือกในการตัดสินใจ

เอกสารอ้างอิง

- Balubaid, M. and Alamoudi, R. (2015). Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multi-Criteria Analysis for Contractor Selection, Department of Industrial Engineering. *American Journal of Industrial and Business Management*, 5, 581-589.
- Dechakhum, P. Apirattanapimolchai, A. and Charoensuk, S. (2017). Criteria for Selection of Contractors for Construction Work on The Industrial Estate in Chonburi. *Sripatum Chonburi Journal*, 14(1), 192-201. (in Thai)
- Jaisung, S. and Teeranupattana, A. (2012). Selection of Logistics Service Providers of Hana Microelectronics Public Company Limited by Applying the Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Business Administration*, 35(134), 65-89. (in Thai)
- Janthaban, S. (2013). *Proper Characters of Contractors for Bridge and Highway Construction Projects of The Department of Highways*. Thesis of the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. (in Thai)
- Kwansai, W. and Pawan, P. (2020). A Selection of Formwork system for Hi-Rise Building Project by AHP Based Model. *The Proceedings of the 24th National Convention in Civil Engineering*, July 10-12, 2019, Udonthani, 1-8. (in Thai)
- Mustafa, M. A. and Al-Bahar, J. F. (1991), Project risk assessment using the analytic hierarchy process. *EEE Transactions on Engineering Management*, 38, 46-52.
- Pawan, P. and Lertpaitoonpan, W. (2018). Appraisal of not Wearing Personal Protective Equipment during Construction Work. *The Proceedings of the 23th National Convention in Civil Engineering*, July 18-20, 2018, Nakhonnayok, 1-7. (in Thai)
- Promsiri, A. And Pawan, P. (2018). *Lag Time in Project Scheduling Network with respect to Risk event of Weir Construction*. Thesis of the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering. Bangkok: Sripatum University. (in Thai)
- Royal Irrigation Department. (2017). *Criteria and methods of selection to be listed as a person with preliminary qualifications in the construction contract irrigation construction (Revised Edition)*. [Online]. Retrieved June 26, 2021, from : http://supply.rid.go.th/_data/docx/asset/หลักเกณฑ์และวิธีคัดเลือก%20ปรับปรุงใหม่update2.pdf (in Thai)
- Russell, J. S. and Skibniewski, M. J. (1990). *QUALIFIER-1: contractor prequalification model*. Cambridge, England: ASCE.

- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierachy Process*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Sreesai, B. (2014). *Study of Factors Causing Delays in Dam and Irrigation Construction using Analytic Hierarchy Process*. Thesis of the Degree of Master of Engineering Program in Construction Engineering and Management. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Srinuan et al. (2016). Application of the Analytic Hierarchy Process on Warehouse Location Selection Factors. *Business Review*, 8(2), 75-90. (in Thai)
- Sukkrajang, K. (2015). The Application of An Analytic Hierarchy Process of the Decision Process for Selection of 3rd Party Logistics Service Provider in the Textile Industry. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 8(1), 1-11. (in Thai)
- Tansirikongkol, W. (2014). *Advanced decision for organization progress and public well-being*. Bangkok: Amarin Printing & Publishing. (In Thai)
- Vudhivanich, V. (2010). *Decision Making by Analytic Hierachy Process*. [Online]. Retrieved June 20, 2010, from: <http://irre.ku.ac.th/PubArt/PubArt/53-AHPpaper.pdf> (in Thai)

การศึกษาอิทธิพลการไหลของพอลิเมอร์โดยใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด

ปรมินทร์ มาปากจั่น^{1,*}, สถาพร ชาดาคม²

^{1,2}ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Received: 31 March 2021

Revised: 5 March 2022

Accepted: 12 May 2022

บทคัดย่อ

การฉีดขึ้นงานพลาสติกที่มีขนาดเล็กและซับซ้อนมักเกิดปัญหาในบริเวณที่แคบและเล็กมาก เช่น สันคريبคม ส่วนปลายแหลม เนื่องจากเนื้อพลาสติกจะเข้าไม่ถึง ทำให้ชิ้นงานเกิดตำหนิ งานฉีดไม่เต็ม (Short shot) ทำให้ชิ้นงานถูกปฏิเสธ (Reject) ในที่สุด ผู้วิจัยได้ศึกษาและทำการประยุกต์ใช้การสร้างระบบสุญญากาศให้เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลการอัดของอากาศและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพลาสติกหลอมเหลวในรูปทรงต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการฉีดแบบปกติกับการฉีดแบบมีระบบสุญญากาศเข้ามาช่วย โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุพลาสติกเกรด PBT และ PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ใช้ชิ้นงานทดลองเป็นชิ้นงานพลาสติกที่มีคريب (Rib) และส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ขนาดเล็ก ภายใต้เงื่อนไขการฉีดเดียวกัน ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าการใช้ระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในกระบวนการฉีดนั้นสามารถช่วยให้พลาสติกเหลวสามารถไหลตัวได้ดีกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ สูงสุด 2.11%

คำสำคัญ: การฉีดขึ้นงานพลาสติก ชิ้นงานฉีดไม่เต็ม ระบบสุญญากาศ เส้นใยแก้ว

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: poramin.soy8@gmail.com

Influence of Polymer Fluidity Using Vacuum Assisted Injection Process

Poramin Mapakjun^{1,*}, Sathaporn Chatakom²

^{1,2}Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Received: 31 March 2021

Revised: 5 March 2022

Accepted: 12 May 2022

Abstract

Injection molding of small and complex products is often a problem in injection because, in very narrow and very small areas, such as the sharp end of the workpiece (sharp burrs), the plastic melt cannot enter the cavity or short shot. Finally, the product was rejected. Researchers have studied and applied vacuum ventilation for removing air from the mold cavity. This research investigated the effects of compressed air and examined the dynamics of molten plastics in different shapes to compare between normal injection and vacuum-assisted injection and observe the behavior of the plastic flow in various shapes that can help reduce the compressed air trapped in the mold cavity. By selecting materials, plastic grades PBT and PBT, mixed with fiberglass 30% and using a plastic specimen with a Rib and Boss (small size) under the same injection conditions comparison between conventional injection and vacuum-assisted injection. The results of the experiment show that the use of a vacuum system to assist in the molding process injection process allows plastics to flow better than conventional injection molding up to 2.11%.

Keywords: Injection Molding, Short Shot, Vacuum, Fiberglass

* Corresponding Author; E-mail: poramin.soy8@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ชิ้นงานพลาสติกถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมากในยุคปัจจุบัน เนื่องจากว่าชิ้นงานพลาสติกถูกพัฒนาให้มีความแข็งแรง ทน และมีสีสันสดใส ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถใช้เพื่อแทนที่ชิ้นส่วนบางชิ้นที่ทำจากโลหะได้เป็นอย่างดี ทั้งในด้านคุณสมบัติและหน้าที่การทำงาน หรือในบางครั้งหากมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความสามารถของโลหะ เช่น การนำไฟฟ้า การส่งถ่ายพลังงาน ก็ยังสามารถผสมผสานพลาสติกให้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชิ้นงานได้อย่างลงตัว และหนึ่งในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก คือ กระบวนการฉีดขึ้นงานด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกได้อย่างหลากหลาย

การฉีดขึ้นงานพลาสติกที่มีขนาดเล็กและซับซ้อนมักเกิดปัญหาในการฉีด คือ ในบริเวณที่แคบและเล็กมาก ส่วนสั้นครีบคม ส่วนปลายแหลม เนื้อพลาสติกจะเข้าไม่ถึง ทำให้ชิ้นงานเกิดตำหนิ งานฉีดไม่เต็ม (Short shot) ทำให้ชิ้นงานถูกปฏิเสธ (Reject) ในที่สุด

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำระบบสุญญากาศ (Vacuum) เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติก โดยตั้งข้อสงสัยว่าถ้าหากในแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานนั้นไม่มีอากาศอยู่ ย่อมจะทำให้เนื้อพลาสติกที่มีแรงดันสูงสามารถเข้าไปเติมเต็มได้อย่างเต็มที่โดยปราศจากการอื่นอากาศในจุดที่เป็นจุดอับที่มักเกิดปัญหา เพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า และออกแบบการทดลองเพื่อหาข้อสรุป โดยการออกแบบชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นครีบขนาดเล็ก และเป็นแท่งขนาดเล็กที่มีความสูงไม่เท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบหาข้อแตกต่างและฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ เปรียบเทียบกับการฉีดโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum) เข้ามาช่วยในกระบวนการฉีด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการไหลตัวของน้ำพลาสติกผ่านช่องที่มีขนาดเล็กของสันครีบ (Rib) และส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss)
2. เพื่อศึกษาความแตกต่างของกระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum) ช่วยกับการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบปกติ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อออกแบบการวิจัย ผู้วิจัยได้ศึกษาจากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า Brouwer, Van Herpt and Labordus (2003) ศึกษาการฉีดขึ้นรูปสุญญากาศสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยนำเอาระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) และมีการใช้ซอฟต์แวร์จำลองการไหลของเรซินเข้ามาช่วย มีการอธิบายตัวอย่างสองตัวอย่างของการพัฒนาที่ประสบความสำเร็จของการใช้งานระบบ VARTM กับชิ้นงาน การขึ้นรูปใบพัดของกังหันลม ขนาด 20 เมตร และการขึ้นรูปลำเรือของเรือยอชท์ที่มีความยาว 16 เมตร ได้ข้อสรุปว่าเทคนิค Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) สามารถผลิตชิ้นส่วนคอมโพสิตที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ ซับซ้อน ให้มีคุณภาพสูง มีปริมาณโพรงอากาศต่ำ และปริมาณเส้นใยสูง Bender, Schuster, and Heider (2006) ศึกษาการควบคุมอัตราการไหลระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเรซิน

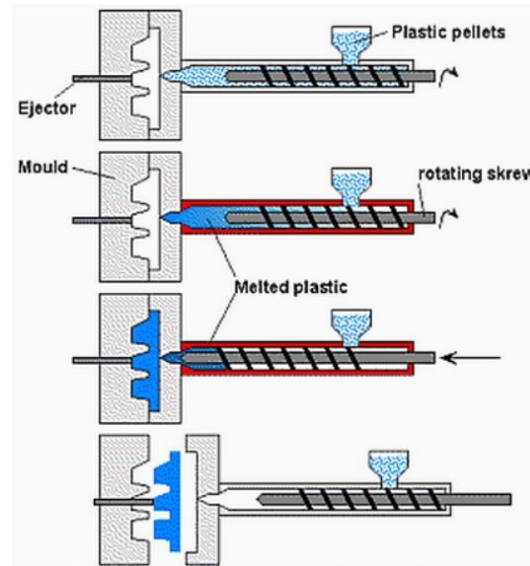
โดยใช้ระบบสุญญากาศ (VARTM) โดยจะศึกษากระบวนการควบคุมอัตราการไหลของกระบวนการ Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) พบว่าระบบได้รับการปรับให้เหมาะสมที่สุดโดยใช้การจำลองการไหลเสมือน (LIMS) และได้คำนวณขีดจำกัดทางกายภาพของระบบดังกล่าว ตัวควบคุมอัตราการไหลสามารถควบคุมอัตราการไหลคงที่ได้สำเร็จ เมื่อปรับเปลี่ยนค่าการซึมผ่านและค่าความหนืด

Layluck (2013) ศึกษาเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร ซึ่งมีการกล่าวถึงเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร รวมไปถึงระบบการควบคุมคุณภาพขึ้นงานขนาดไมโคร ซึ่งเทคโนโลยีการฉีดพลาสติกขนาดไมโครได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวหน้าทั้งในด้านเครื่องฉีด แม่พิมพ์และอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพ การฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร เป็นขึ้นงานที่ต้องการความชำนาญพิเศษเพราะงานมีความละเอียด และต้องใช้เครื่องฉีดและแม่พิมพ์ที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งแตกต่างจากการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบทั่วไป Sorgato et al. (2016) ศึกษาการตรวจสอบอิทธิพลของการใช้ระบบสุญญากาศบนพื้นผิวแม่พิมพ์ในการฉีด ขึ้นรูปขึ้นงานขนาดเล็ก (Micro injection moulding) โดยประยุกต์ใช้การระบายอากาศแบบสุญญากาศสำหรับการกำจัดอากาศออกจากโพรงแม่พิมพ์ในการฉีดขึ้นรูปโดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฉีดขึ้นงานแบบไมโคร/นาโน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการคายอากาศจะขจัดผลกระทบของความร้อนที่พื้นผิวแม่พิมพ์ที่เกิดจากการบีบอัดอากาศอย่างรวดเร็วก่อนหน้าการไหลและการนำความร้อนนั้นเข้าสู่ผิวแม่พิมพ์ในเวลาต่อมา ดังนั้นด้วยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรในโพรงขนาดเล็ก การคายอากาศจึงส่งผลเสียต่อโพรงที่มีพอลิเมอร์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแม่พิมพ์ Zhanga et al. (2018) ศึกษาความสมบูรณ์ของการจำลองแบบของคุณสมบัติขนาดเล็กโดยใช้การฉีดขึ้นรูปจุลภาคแบบแปรผันและสุญญากาศช่วย (Replication integrity of micro features using variotherm and vacuum assisted microinjection molding) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอาจมีผลเสียต่อการจำลองคุณลักษณะขนาดเล็กหากทำให้ความดันโพรงลดลงและอุณหภูมิด้านหน้าของการไหลจะลดลงแม้ว่าอุณหภูมิส่วนต่อประสานน้ำพลาสติกจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่า ระบบสุญญากาศนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการฉีดได้จริง และได้ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป

กระบวนการฉีดพลาสติก

พลาสติกซึ่งอาจจะเป็นเม็ดหรือผงในกรวยเติม (Hopper) จะถูกเกลียวหนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบ ซึ่งมีแผ่นความร้อนหรือน้ำมันร้อนหุ้มอยู่ จะทำให้พลาสติกหลอมเหลว หลังจากนั้นจะเคลื่อนเกลียวหนอนให้ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์ซึ่งปิดอยู่ แม่พิมพ์ที่หล่อเย็นอย่างดีจะทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัวสามารถถอดออกจากแบบได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งขณะที่พลาสติกแข็งตัวก่อนเปิดแม่พิมพ์จะทำการหมุนเกลียวหนอนพร้อมทั้งถอยหลังเพื่อหลอมพลาสติกไว้สำหรับการฉีดครั้งต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการฉีดพลาสติก (Kasemplastic, 2019)

ข้อบกพร่องในชิ้นงานพลาสติก

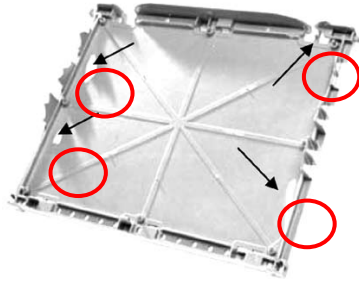
ข้อบกพร่องที่พบมากที่สุดในการฉีดขึ้นรูปคือ ชิ้นงานฉีดไม่เต็มแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบทุกครั้งในขั้นตอนแรกของการฉีดขึ้นรูป เพื่อการปรับตั้งปริมาณการฉีดหรือระยะการฉีด (Shot size) ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามหากปัญหาดังกล่าวยังคงเกิดขึ้น ทั้งที่ได้ทำการตั้งปริมาณการฉีดที่เหมาะสมแล้ว

แนวทางการปรับตั้งค่าที่เครื่องฉีดพลาสติก ได้แก่

1. เพิ่มอุณหภูมิฉีดของพลาสติกหลอมเหลว (Injection temperature)
2. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ฉีด (Mold temperature)
3. เพิ่มความดันในการฉีด (Injection pressure)
4. เพิ่มความเร็วในการฉีด (Injection speed)
5. เพิ่มความดันต้านการหมุนถอยหลังกลับของสกรู (Back pressure)
6. ตรวจสอบการสึกหรอของแหวนกันไหลย้อนกลับ (Non-return valve)

แนวทางการปรับแก้ที่แม่พิมพ์ฉีด

1. เพิ่มขนาดและ/หรือลดความยาวของช่องทางวิ่ง (Runner)
2. เพิ่มตำแหน่งและขนาดของช่องทางเข้า (Gate)
3. หากเป็นไปได้ควรปรับขนาดความหนาของชิ้นงาน (Wall thickness) ให้มีความหนาเพิ่มมากขึ้น
4. ตรวจสอบขนาดและตำแหน่งของช่องระบายอากาศ (Venting) ว่าเพียงพอหรือไม่



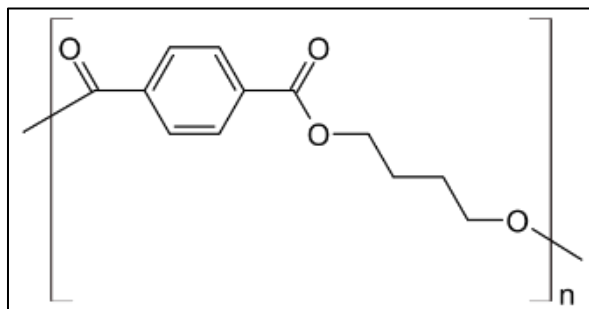
ภาพที่ 2 ชิ้นงานฉีดไม่เต็มแบบ (Patcharapan, 2009)

ระบบสุญญากาศ (Vacuum)

ระบบสุญญากาศ คือ ปริมาตรของช่องว่างซึ่งไม่มีสสารอยู่ภายใน เหมือนกับความดันแก๊สที่น้อยกว่าความดันบรรยากาศมากๆ ในความเป็นจริงเราไม่สามารถทำให้ปริมาตรของช่องว่างว่างเปล่าได้อย่างสมบูรณ์ หรือที่เรียกว่าสุญญากาศสมบูรณ์ (Perfect vacuum) ซึ่งมีความดันแก๊สเป็นศูนย์ สุญญากาศสมบูรณ์จึงเป็นแนวความคิดที่ไม่สามารถสังเกตการณ์ได้ในทางปฏิบัติ นักฟิสิกส์มักจะถกเถียงเกี่ยวกับผลการทดลองในอุดมคติว่าจะเกิดอะไรขึ้นในสุญญากาศสมบูรณ์ โดยใช้คำว่าสุญญากาศแทนสุญญากาศสมบูรณ์ (Wikipedia Free Encyclopedia, 2019)

พลาสติกพอลิบูทีลีน เทเรฟทาเลต (Polybutylene Terephthalate, PBT)

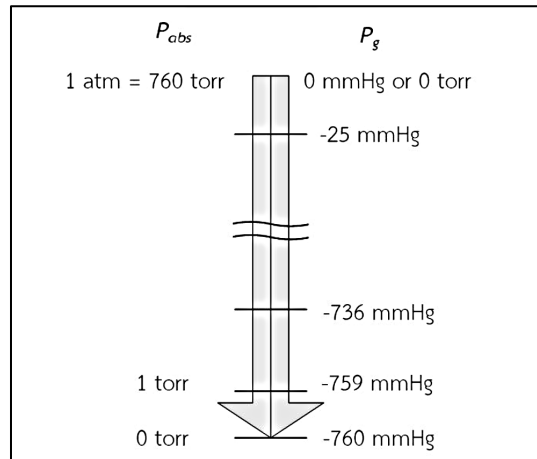
Polybutylene terephthalate (PBT) มีสูตรทางเคมี คือ $[C_{12}H_{10}O_4]$ ดังแสดงในภาพที่ 3 มีจุดหลอมเหลว $223\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นพอลิเมอร์ที่ถูกนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นพอลิเมอร์ชนิดกึ่งผลึก มีความทนทานต่อตัวทำละลาย มีการหดตัวน้อยมาก ในระหว่างการขึ้นรูปมีความแข็งแรงทางกล ทนความร้อนสูงถึง 150 องศาเซลเซียส (หรือ 200 องศาเซลเซียส ด้วยการเสริมแรงด้วยใยแก้ว) และสามารถทนต่อสารหน่วงไฟได้ ทำให้ไม่เกิดการระคายเคือง



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PBT (Wikipedia Free Encyclopedia, 2021)

การวัดแรงดันในช่วงความดันสุญญากาศ

ทอร์ (Torr) หรือ มิลลิเมตรปรอท (mmHg) คือ หน่วยวัดความดัน (Pressure) ในระบบเอสไอ ตั้งตามชื่อสกุลของ ออวานเจลิस्ता โตร์ริเชลลี (Evangelista Torricelli) นักวิทยาศาสตร์ผู้คิดค้นบารอมิเตอร์ (Barometer) โดยหน่วยความดันนี้นิยมใช้กับค่าความดันสุญญากาศ (Vacuum) สูงๆ ซึ่ง “1 Torr = 1 mmHg” “1 บรรยากาศ (1 atm) = 760 Torr” และ “1 ทอร์ เท่ากับประมาณ 133.322 ปาสคาล (Pa)” ดังแสดงในภาพที่ 4

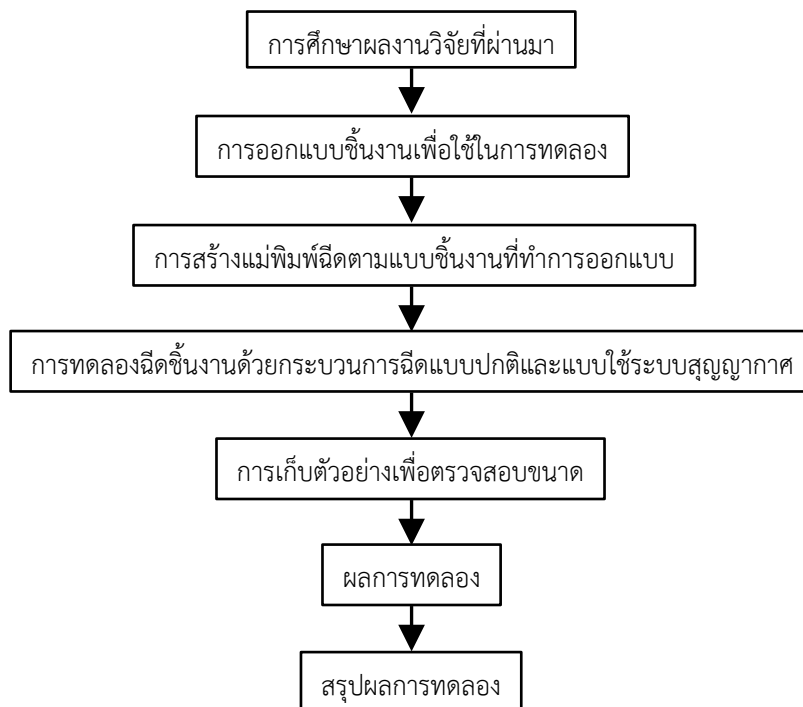


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) กับความดันเกจ (Gauge pressure)
ในช่วงความดันสุญญากาศ (Nawapattara and Taweepol, 2012)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

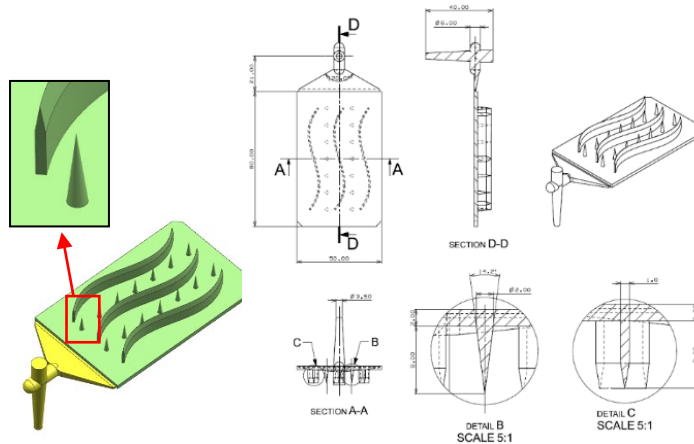
ในการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การออกแบบชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดลอง

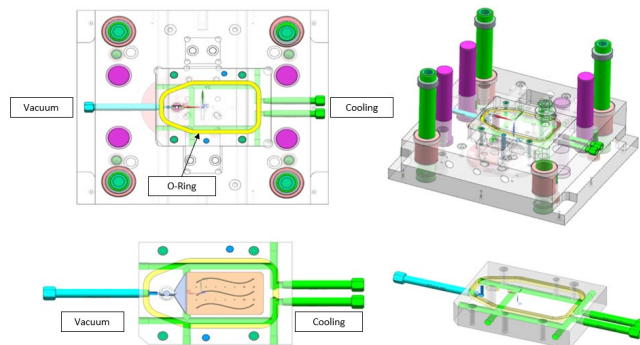
ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เริ่มต้นจากการออกแบบชิ้นงานให้มีขนาดและรูปร่างที่เล็กและซับซ้อน รวมถึงมีครี (Rib) และส่วนปลายแหลม (Boss) ซึ่งเป็นส่วนของเนื้อพลาสติกไหลเข้าถึงได้ยาก ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ชิ้นงานที่ทำการออกแบบเพื่อใช้ในการทดลอง

การสร้างแม่พิมพ์จากชิ้นงานที่ทำการออกแบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบแม่พิมพ์จากชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้แล้ว โดยแม่พิมพ์ที่ใช้เป็นแม่พิมพ์ชนิดสองแผ่น ใช้ระบบทางเข้าเป็นแบบพัด (Fan gate) และได้ติดตั้งระบบสุญญากาศ ดังแสดงในภาพที่ 7



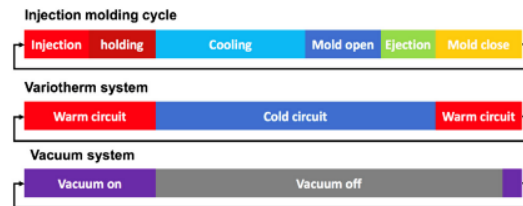
ภาพที่ 7 แม่พิมพ์สำหรับฉีดชิ้นงานทดลอง

หลังจากทำการออกแบบแม่พิมพ์ ผู้วิจัยจึงขึ้นรูปแม่พิมพ์ จากนั้นนำแม่พิมพ์มาทดลองฉีดด้วยค่าสุญญากาศ -170 kPa ภายใต้เงื่อนไขการฉีด ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยใช้วัสดุ 2 ชนิด คือ พลาสติก เกรด PBT และพลาสติก เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30%

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการฉีดชิ้นงานทดลอง

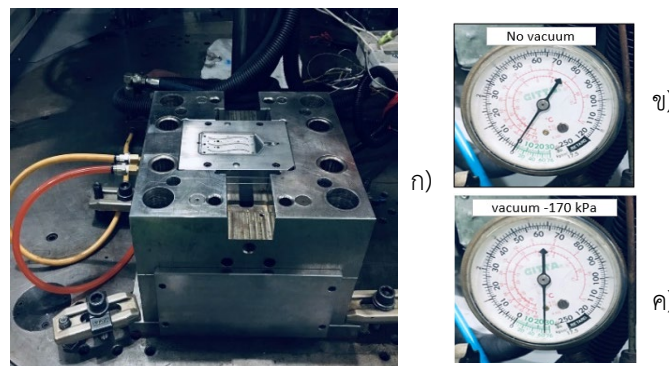
Condition injection	Mold temp.	Melt temp.	Resin dry temp.	Injection Pressure	Hold Pressure:	Cooling time	Cycle time
Values	65°	255°-265°	140°	150 Mpa	45 Mpa/0.5 S	10 S	41.75 S

ภายใต้เงื่อนไขการฉีดดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ผู้วิจัยได้ทดลองฉีด เปรียบเทียบระหว่างการฉีดแบบปกติ และการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด ดังแสดงในภาพที่ 8 และภาพที่ 9 ได้ชิ้นงานจากการทดลองฉีด ดังแสดงในภาพที่ 10

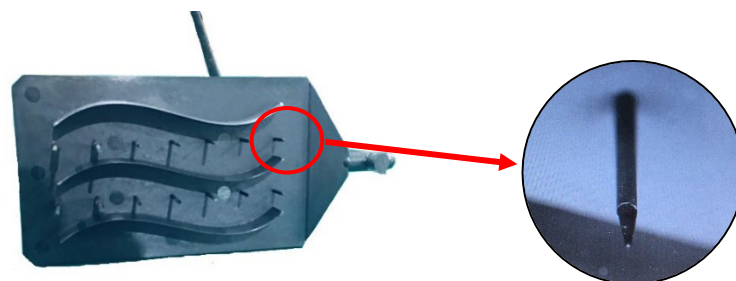


ภาพที่ 8 การทำงานของระบบสุญญากาศขณะทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่ารระบบสุญญากาศจะถูกเปิดใช้พร้อมกับการปิดแม่พิมพ์ในช่วงสุดท้ายและเริ่มฉีดน้ำพลาสติก (Injection) ไปจนถึงฉีดย้าน้ำพลาสติก (Holding) จากนั้นระบบสุญญากาศก็จะถูกปิดเมื่อเข้าสู่กระบวนการหล่อเย็นชิ้นงาน (Cooling) เปิดแม่พิมพ์ (Mold open) ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Injection) จนกระทั่งแม่พิมพ์ปิด (Mold close)



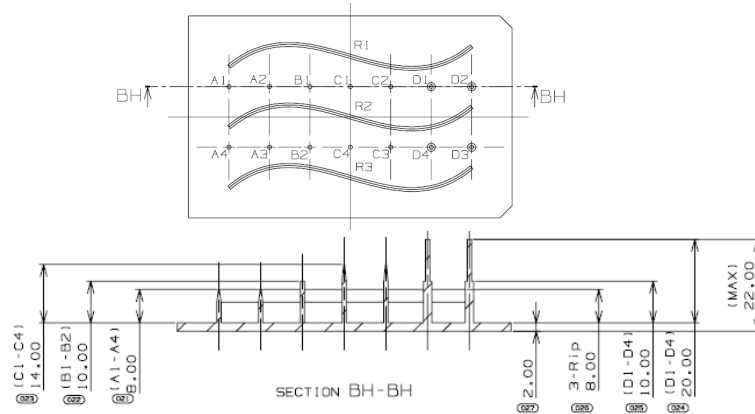
ภาพที่ 9 ก) แม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีด ข) การฉีดแบบปกติ ค) การฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด



ภาพที่ 10 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีด

ผลการวิจัย

ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีดจะถูกสุ่มมาจากชิ้นงานทั้งหมดเงื่อนไขละ 2 ชิ้น เพื่อนำไปทำการวัดค่าเปรียบเทียบกับจุดตรวจวัดต่างๆ และหาค่าเฉลี่ยของชิ้นงานแต่ละเงื่อนไข ดังแสดงในภาพที่ 11 ด้วยเครื่องมือไมโครสโคป (Microscope) เพื่อนำผลการวัดในแต่ละจุดตรวจวัดมาวิเคราะห์ความแตกต่างของกระบวนการฉีดแบบปกติเมื่อเทียบกับการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศช่วยในกระบวนการฉีด ผลการตรวจวัดแสดงในตารางที่ 2

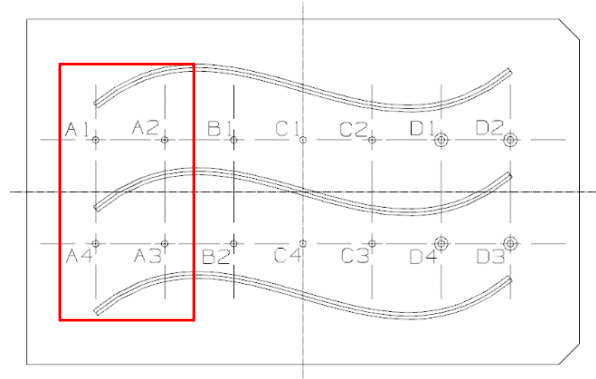
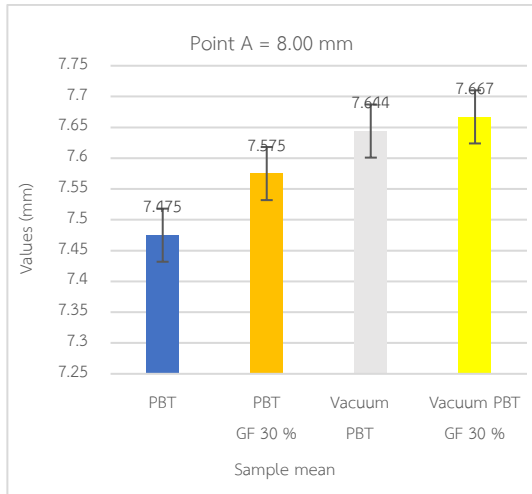


ภาพที่ 11 จุดตรวจวัด

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานตามจุดตรวจเช็คที่กำหนดไว้

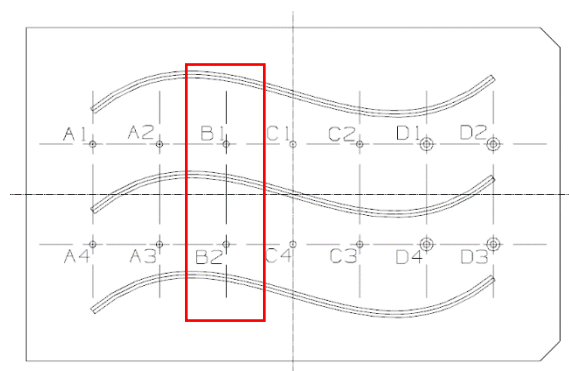
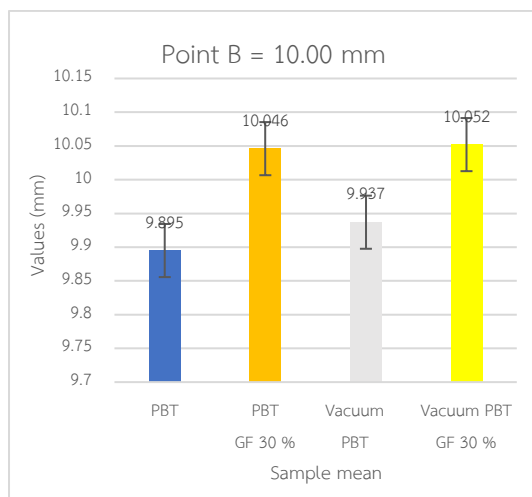
Inspection results					
Point	Specification (mm)	No Vacuum		Vacuum (-170 kPa)	
		PBT	PBT GF30%	PBT	PBT GF30%
		mean (mm)	mean (mm)	mean (mm)	mean (mm)
A1	8.00	7.483	7.551	7.564	7.579
A2	8.00	7.497	7.640	7.715	7.831
A3	8.00	7.453	7.533	7.685	7.662
A4	8.00	7.471	7.578	7.613	7.598
B1	10.00	9.864	10.031	9.948	10.036
B2	10.00	9.928	10.061	9.928	10.070
C1	14.00	13.196	13.410	13.350	13.505
C2	14.00	13.289	13.516	13.334	13.608
C3	14.00	13.367	13.665	13.502	13.774
C4	14.00	13.368	13.597	13.504	13.697
D1	20.00	19.664	20.038	19.683	20.036
D2	20.00	19.710	20.025	19.696	20.035
D3	20.00	19.648	20.062	19.702	20.022
D4	20.00	19.678	20.009	19.746	20.022
R1	8.00	7.344	7.466	7.423	7.470
R2	8.00	7.253	7.452	7.300	7.460
R3	8.00	7.350	7.490	7.388	7.502

จากผลการวัดที่แสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นแล้วว่าในจุดตรวจวัด A1-A4, B1-B2, C1-C4 และ D1-D4 มีผลการวัดไปในทิศทางเดียวกัน คือ แต่ละจุดตรวจวัดในกลุ่มเดียวกันนั้นมีผลการวัดต่างกันไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร ผู้วิจัยจึงทำการรวมผลและนำไปหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด A

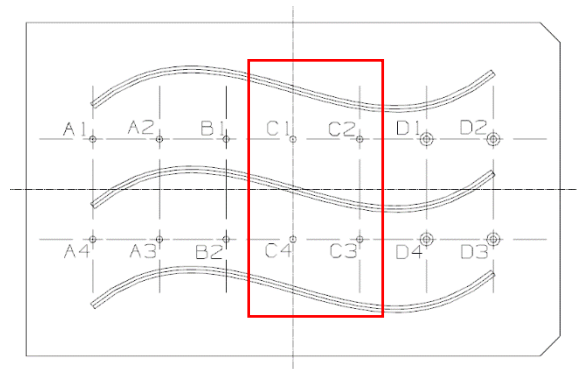
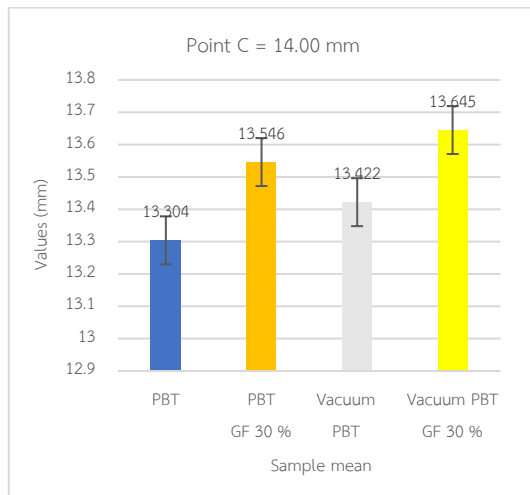
จากภาพที่ 12 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติกเกรด PBT ชีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.169 มม. คิดเป็น 2.11% และวัสดุพลาสติกเกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ชีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.092 มม. คิดเป็น 1.15%



ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด B

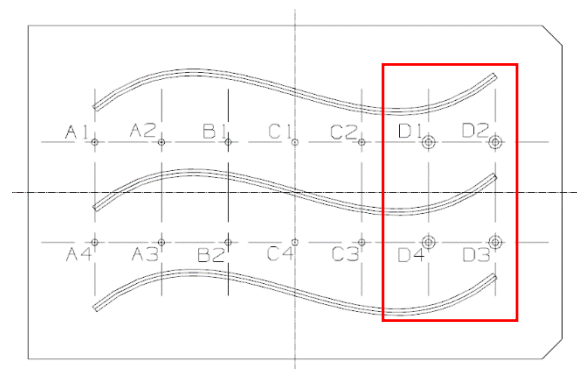
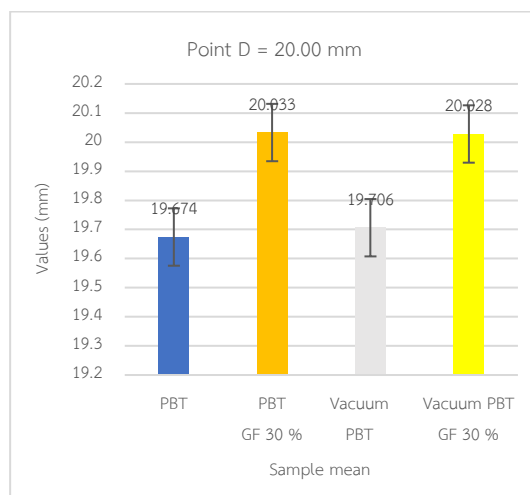
จากภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติกเกรด PBT ชีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.042 มม. คิดเป็น 0.42% และวัสดุพลาสติก

เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.006 มม. คิดเป็น 0.06%



ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด C

จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติก เกรด PBT ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.118 มม. คิดเป็น 0.84% และวัสดุพลาสติก เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.099 มม. คิดเป็น 0.7%



ภาพที่ 15 ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด D

จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพลาสติก เกรด PBT ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลมากกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.032 มม. คิดเป็น 0.16% และวัสดุพลาสติก เกรด PBT ผสมเส้นใยแก้ว 30% ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบใช้ระบบสุญญากาศ มีระยะทางในการไหลน้อยกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ 0.005 มม. คิดเป็น 0.025%

อภิปรายผล

จากการวิจัยโดยใช้วัสดุ PBT และวัสดุ PBT ผสมกลาสไฟเบอร์ 30% ซึ่งเป็นวัสดุที่มีไหลตัวได้ค่อนข้างยาก เข้ามาใช้เป็นวัสดุทดลองฉีดขึ้นงานทดลองที่มีครีบ (Rib) และมีส่วนนูนของชิ้นงาน (Boss) ขนาดเล็ก ภายใต้เงื่อนไขการฉีดเดียวกัน ฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติกับการฉีดแบบมีระบบสุญญากาศเข้ามาช่วย พบว่าวัสดุพลาสติกเกรด PBT ผสมกลาสไฟเบอร์ 30% ไหลตัวได้ดีกว่าวัสดุพลาสติก เกรด PBT และการใช้ระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยในกระบวนการฉีดนั้นสามารถช่วยให้พลาสติกสามารถไหลตัวได้ดีกว่าการฉีดด้วยกระบวนการฉีดแบบปกติ สูงสุด 2.11%

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การนำผลวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของชิ้นงานที่ทำการผลิตประกอบด้วย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของชิ้นงาน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 2.1 เพิ่มจำนวนของตัวอย่างทดลอง เพื่อความแม่นยำของผลการวิจัย
- 2.2 ทดลองกับงานลักษณะอื่นที่มีความซับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนภายใต้ความร่วมมือของ บริษัท อุเอตะ อินดัสทรี (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- Bender, D. Schuster, J. and Heider, D. (2006). Flow rate control during vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM) processing. *Composites Science and Technology*, 66, 2265–2271.
- Brouwer, W.D., Van Herpt, E.C.F.C. and Labordus, M. (2003). Vacuum injection moulding for large structural applications. *Composites: Part A*, 34, 551–558.
- Kasemplastic. (2019). *Polymer Processing Technology*. [Online]. Retrieved March 2, 2021, from: <https://www.kasemplastic.com/2019/04/27/polymer-processing-technology/>.
- Layluck, W. (2013). Micro plastic part with plastics injection molding technology. *Sripatum Review of Science and Technology*, 5, 129-137. (in Thai)
- Nawapattara, N. and Taweepol, S. (2012). *Torr*. [Online]. Retrieved February 15, 2021, from: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4317/torr>.
- Patcharapan, S. (2009). Defects of Injection Molded Parts: Causes and Troubleshooting. *Kasetsart Engineering Journal*, 22, 91-104. (in Thai)
- Sorgato, M., Babenko, M., Lucchetta G. and Whiteside, B. (2016). Investigation of the influence of vacuum venting on mould surface temperature in micro injection moulding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(1), 547-555.

Wikipedia Free Encyclopedia. (2021). *Polybutylene terephthalate* [Online]. Retrieved February 25, 2021, from: https://en.wikipedia.org/wiki/Polybutylene_terephthalate.

Wikipedia Free Encyclopedia. (2019). *Vacuum* [Online]. Retrieved February 25, 2021, from: <https://th.wikipedia.org/wiki/vacuum>.

Zhang, N., Zhang, H., Stallard, C., Fang, F.Z. and Gilchrist, M.D. (2018). Replication integrity of micro features using variotherm and vacuum assisted microinjection moulding. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 23, 20-38.

ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี

ยุภา คำตะพล*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Received: 23 April 2020

Revised: 20 July 2022

Accepted: 20 July 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงานของเว็บไซต์ และกฎการให้คำแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ (2) เพื่อพัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี และ (3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3 ขั้นตอน คือ (1) การเก็บรวบรวมข้อมูลองค์ความรู้การท่องเที่ยวทางการเกษตรจากเว็บไซต์และผู้มีความรู้/ผู้เชี่ยวชาญ (2) การพัฒนาระบบแนะนำ ประกอบด้วย ฐานความรู้ออนโทโลยี ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม MySQL ภาษา SPARQL command สำหรับประมวลผลออนโทโลยี และภาษา Python และ PHP เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และ (3) ประเมินประสิทธิภาพระบบแนะนำโดยใช้การหาค่า precision, recall และ F-measure และประเมินความพึงพอใจผู้ใช้ต่อระบบ ผลการวิจัยพบว่า ฐานความรู้ออนโทโลยี มี 3 ระดับชั้น จำนวน 27 โหนดความรู้ และมี 5 กฎ ในการแนะนำ การประเมินประสิทธิภาพระบบแนะนำได้ค่า F-measure เท่ากับ 88.5% และผู้มีความพึงพอใจต่อระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.61$, $SD = 0.65$)

คำสำคัญ: ระบบแนะนำ ออนโทโลยี แหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร เขาค้อ

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: yupa_43@hotmail.com

Recommendation System of Agricultural Tourism in Khao Kho District, Phetchabun Province Using the Ontology Principles

Yupa Kumtapol*

Faculty of Science and Technology of Phetchabun Rajabhat University

Received: 23 April 2020

Revised: 20 July 2022

Accepted: 20 July 2022

Abstract

This research aims (1) to study functions of website and rules engine for recommending agricultural tourism in Khao Kho district, Phetchabun province (2) to develop the recommendation system of agricultural tourism in Khao Kho district, Phetchabun province by ontology and (3) to assess performance of the recommendation system of agricultural tourism in Khao Kho district, Phetchabun province by ontology. The research process was divided into 3 parts (1) collect agricultural tourism knowledge from websites and knowledgeable persons (2) develop the recommendation system consist of ontology knowledge base, Relationship database management system (RDBMS) by MySQL, SPARQL command for querying ontology, Python and PHP for web application development and (3) assess the performance of recommendation system using precision, recall and F-measure and user satisfaction assessment. The result of research found that the ontology knowledgebase has 3 levels 27 nodes and 5 rules engine. The performance assessment of recommendation system was F-measure 88.5% and user satisfaction overall was at highest level ($\bar{X} = 4.61$, $SD = 0.65$)

Keywords: Recommendation System, Ontology, Agricultural Tourism, Khao Kho

* Corresponding Author; E-mail: yupa_43@hotmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ได้เติบโตไปอย่างมาก สังเกตได้จากสถิติการท่องเที่ยวของกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การท่องเที่ยวจึงเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่สำคัญอีกประเภทหนึ่งของจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งจังหวัดเพชรบูรณ์มีการกำหนดยุทธศาสตร์จังหวัด 4 ปี (2558-2561) และมีการกำหนดวิสัยทัศน์ของจังหวัดไว้ว่า ดินแดนแห่งความสุขของคนอยู่และผู้มาเยือน โดยจังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ ซึ่งนักท่องเที่ยวนิยมเข้ามาท่องเที่ยวมากที่สุด คือ อำเภอเขาค้อ เนื่องจากอากาศเย็นสบายตลอดปี และเป็นศูนย์รวมความหลากหลายทางชีวภาพ พันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ (Kaakor Subdistrict Administration Organization, 2017) และมีความโดดเด่นในด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร ซึ่งช่วยทำให้เกิดการกระจายรายได้สู่ท้องถิ่นโดยเปิดโอกาสให้นักท่องเที่ยวได้ท่องเที่ยวชมชนภาคเกษตรกรรม จากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและความสวยงามตามธรรมชาติของเรือสวนไร่นา (Department of Tourism, 2009) ดังนั้นการท่องเที่ยวเชิงเกษตรจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรในการประกอบอาชีพ และสร้างรายได้ให้แก่ประชาชนในชุมชนท้องถิ่น ในปัจจุบันนักท่องเที่ยวได้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมไปตามยุคสมัย โดยใช้อินเทอร์เน็ตเป็นช่องทางสำคัญในการเข้าถึงข้อมูลด้านการท่องเที่ยวอย่างแพร่หลาย แต่ยังประสบปัญหาในการสืบค้นข้อมูลเพื่อการตัดสินใจด้านการท่องเที่ยวที่จะต้องใช้เวลาหลายด้านและจากเว็บไซต์หลายแหล่งมาใช้ในการตัดสินใจและเปรียบเทียบกันเพื่อทางเลือกที่ดีที่สุด เช่น ราคาที่พัก การรีวิวจากนักท่องเที่ยว และความปลอดภัยในการท่องเที่ยว เป็นต้น แต่ในเว็บปัจจุบันจะให้ผลลัพธ์เฉพาะเรื่องที่ต้องทำการค้นหาเท่านั้น ไม่สามารถเชื่อมโยงเชิงความหมายเพื่อค้นคืนข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กันได้ ทำให้นักท่องเที่ยวต้องเสียเวลาในการเข้าถึงข้อมูลจากหลายเว็บไซต์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตรงความต้องการทั้งหมด รวมทั้งการจัดลำดับความสำคัญของการเลือกสถานที่ท่องเที่ยวที่เหมาะสมกับพฤติกรรมและความต้องการของนักท่องเที่ยวก็เป็นสิ่งสำคัญ ที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจแก่นักท่องเที่ยว

ออนโทโลยีเป็นภาษาที่นำมาใช้บรรยายโครงสร้างและความสัมพันธ์ของระบบผ่านโหมดแบบลำดับขั้น และถูกนำมาใช้ในงานหลายด้านโดยเฉพาะด้านปัญญาประดิษฐ์ (Marketingoops, 2016) ออนโทโลยีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบค้นข้อมูล โดยจะช่วยขยายคำค้นให้เข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและได้ผลลัพธ์ตรงตามที่ใช้ต้องการมากที่สุด การวิจัยนี้ได้พัฒนาออนโทโลยีที่มีโครงสร้างความสัมพันธ์ตามข้อมูลสารสนเทศด้านการท่องเที่ยวทางการเกษตรที่กระจายอยู่บนแหล่งข้อมูลออนไลน์ และองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยว ซึ่งออนโทโลยีจะช่วยรวบรวมข้อมูลสารสนเทศแทนการใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และช่วยทำให้การสืบค้นได้ข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในขอบเขตที่นักท่องเที่ยวสนใจมากยิ่งขึ้น เนื่องจากออนโทโลยีจะช่วยจำแนกหมวดหมู่ สร้างความสัมพันธ์และเงื่อนไข และให้ความหมายในระดับเนื้อหาความรู้ ในรูปแบบกราฟ ซึ่งสามารถใช้ภาษา SPARQL ในการคิวรีเพื่อเข้าถึงความสัมพันธ์ของโหนดความรู้แต่ละโหนด และลงลึกไปในระดับชั้นความรู้ต่างๆ ที่อยู่ในขอบเขตความสนใจในคำสั่งเดียว และทำให้ได้ข้อมูลสารสนเทศที่ลุ่มลึกและชัดเจนมากยิ่งขึ้น (Nithiyuwith, 2020) โดยการพัฒนากระบวนการแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรด้วยหลักการออนโทโลยีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบค้นข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการตัดสินใจและเกี่ยวข้องกันเชิงความหมายบนพื้นฐานของสภาพเส้นทาง ระยะเวลาการเดินทาง ค่าใช้จ่าย และข้อมูลสิ่งดึงดูดใจระหว่างทาง ซึ่งโดยปกตินักท่องเที่ยวจะต้องเข้าไปสืบค้นจากเว็บไซต์ที่ให้ความรู้หลายแหล่งแล้วจึงทำการตัดสินใจ ทั้งนี้ทำให้ได้เว็บไซต์กลางที่ทำหน้าที่ในการแนะนำและช่วยตัดสินใจในการท่องเที่ยวเชิงเกษตรของอำเภอเขาค้อได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเว็บไซต์รูปแบบเดิม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงานของเว็บไซต์ และกฎการให้คำแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์
2. เพื่อพัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถานที่ท่องเที่ยวเชิงเกษตรในอำเภอเขาค้อ

อำเภอเขาค้อได้กลายมาเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดเพชรบูรณ์ ในแต่ละปีมีนักท่องเที่ยวเดินทางมาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก เพื่อมาชมทัศนียภาพอันสวยงามทางธรรมชาติ รวมถึงการท่องเที่ยวเชิงเกษตร เยี่ยมชมกิจกรรมการทำเกษตร ศูนย์เรียนรู้และจุดศึกษาดูงานด้านการเกษตร รวมถึงการจำหน่ายสินค้าผลิตจากฟาร์มเกษตรกรให้แก่นักท่องเที่ยว ทำให้นักท่องเที่ยวได้พบปะกับเกษตรกรโดยตรงและได้สัมผัสและเห็นรูปแบบการทำเกษตร และเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกิดขึ้น ทำให้เกษตรกรเกิดกำลังใจและนักท่องเที่ยวก็ได้รับความรู้และวิธีการจากเกษตรกรโดยตรง (Kaakor Subdistrict Administration Organization, 2017)

แนวคิดออนโทโลยี

ออนโทโลยี (Ontology) คือ แนวความคิดในการบรรยายความรู้อย่างมีขอบเขต หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการนิยามเพื่อกำหนดโครงสร้าง และความสัมพันธ์ของสิ่งที่สนใจให้มีความหมาย ตามขอบเขตขององค์ความรู้ โดยใช้คลาส (Class) ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส และคุณสมบัติของคลาส (Properties) รูปแบบการบรรยายออนโทโลยีขึ้นอยู่กับภาษาที่ใช้แทนข้อมูลเชิงความหมาย เช่น XML, RDF, RDFS และ OWL โดยแต่ละภาษามีความสามารถและข้อจำกัดในการบรรยายข้อมูลได้แตกต่างกัน เช่น รูปแบบของภาษา XML เหมาะสำหรับใช้อธิบายและเก็บข้อมูลในส่วนเนื้อหาทำให้ภาษาดังกล่าวยากในการนำมาอธิบายความหมายของข้อมูลตัวอย่างการประยุกต์ใช้ออนโทโลยีในงานด้านต่างๆ เช่น การเชื่อมโยงข้อมูล การสร้างความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลปัญญาประดิษฐ์ การจัดการองค์ความรู้ และการปรับเปลี่ยนมุมมองของข้อมูล เป็นต้น เนื่องจากออนโทโลยีใช้นิยามระบบที่ศึกษาให้มาอยู่ในรูปเชิงความคิดแบบลำดับชั้นด้วยเหตุนี้ออนโทโลยีจึงมักถูกนำมาใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูล หรือแบ่งหมวดหมู่ข้อมูลโดยการสร้างความสัมพันธ์ข้อมูลให้อยู่ในลักษณะ Parent-Child (L. Kerschberg et.al, 2004)

ทฤษฎีการประเมินความถูกต้องในการสืบค้นข้อมูลจากฐานความรู้ออนโทโลยี

ฐานความรู้ออนโทโลยีสามารถวัดประสิทธิภาพในการสืบค้นข้อมูล โดยคำนวณหาค่าระลึก (Recall) ค่าความแม่นยำ (Precision) และอัตราการเรียนรู้จำ (F-Measure) โดยที่ A คือ จำนวนข้อมูลที่สืบค้นได้และถูกต้องตามความสนใจ B คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกต้องตามความสนใจแต่ไม่ถูกสืบค้น และ C คือ จำนวนข้อมูลที่สืบค้นได้แต่ไม่ถูกต้องตามความสนใจ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Precision} = \frac{A}{A + C} \times 100\%, \quad \text{Recall} = \frac{A}{A + B} \times 100\%$$

$$F - \text{Measure} = 2 \times \frac{(\text{Precision} \times \text{Recall})}{(\text{Precision} + \text{Recall})}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการสืบค้นข้อมูลเชิงความหมายของการท่องเที่ยวไทยด้วยออนโทโลยีโดยใช้ RDF และ SPARQL (Tupmongko and Pilabutr, 2016) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลจากเอกสารและสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเว็บเชิงความหมาย (Semantic Web) ออนโทโลยี แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อนำมาออกแบบและสร้างออนโทโลยีโดยใช้ RDF (Resource Description Framework) ซึ่งเป็นโครงสร้างการเก็บข้อมูลสำหรับใช้ในระบบสืบค้นข้อมูล และดำเนินการสร้างหน้าจอส่วนการติดต่อและการสืบค้นข้อมูลด้วยภาษา HTML JavaScript และ PHP โดยใช้ RAP-RDF API for PHP เพื่อดึงข้อมูลจากไฟล์ OWL (Web Ontology Language) ที่ได้จาก การสร้างออนโทโลยี โดยใช้วิธีการ SPARQL Query ในการสืบค้นข้อมูลจากไฟล์ RDF และงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบจัดการองค์ความรู้ดนตรีพื้นบ้านม้งคละในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง เพื่อการส่งเสริมและเผยแพร่ศิลปวัฒนธรรมไทย โดยใช้ออนโทโลยีและวิกิพีเดียเชิงความหมาย (Sittijuk and Sanchana, 2014) พบว่า รูปแบบฐานความรู้ออนโทโลยีเรื่องดนตรีพื้นบ้านม้งคละในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง ประกอบด้วยรายละเอียดเนื้อหาสาระความรู้ที่ควรนำเสนอในฐานความรู้จำแนกได้ 5 ด้าน ได้แก่ ด้านประวัติความเป็นมา ด้านเอกลักษณ์เฉพาะตนในการเล่น ด้านพิธีกรรมการไหว้ครู ด้านคติความเชื่อ และด้านรูปแบบการสร้างเครือข่ายระหว่างวงดนตรี จากนั้นผู้วิจัยนำผลสรุปความต้องการเนื้อหาสาระมาพัฒนาระบบจัดการองค์ความรู้ดนตรีพื้นบ้านม้งคละโดยใช้ออนโทโลยีและ วิกิพีเดียเชิงความหมาย และใช้แผนภาพ Use case มาใช้อธิบายโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม และได้มีการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบจัดการองค์ความรู้ดนตรีพื้นบ้านม้งคละ จำนวนทั้งสิ้น 100 คน มีความคิดเห็นว่าคุณภาพการทำงานของระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมาก และการออกแบบออนโทโลยีในงานวิจัยนี้ใช้หลักการออกแบบจากบนลงล่าง (Top-Down) สอดคล้องกับ Chuenta, Thongkam and Phuboon-ob (2014) ได้ทำการพัฒนาออนโทโลยีสำหรับระบบให้คำแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยว ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วย 5 คลาสหลัก คือคลาสเทศกาล คลาสที่พัก คลาสร้านอาหาร คลาสแหล่งท่องเที่ยว คลาสสถานที่ และคลาสการเดินทาง โดยการออกแบบจะเริ่มวิเคราะห์จาก Concept ทั่วไปของหัวข้อสารสนเทศ ที่ควรแนะนำแก่นักท่องเที่ยวที่รวบรวมจากแหล่งข้อมูลและผู้เชี่ยวชาญ แล้วจึงอธิบายขยายแขนงความรู้ต่างๆ และสร้างสัมพันธ์ในเชิงความหมายเพื่อตอบโจทย์ความต้องการของนักท่องเที่ยวที่ต้องตัดสินใจบนพื้นฐานของสภาพเส้นทาง ระยะเวลาการเดินทาง ค่าใช้จ่าย และเลือกสถานที่ท่องเที่ยวที่มีความสัมพันธ์หรือคล้ายคลึงกันในด้านสภาพแวดล้อมและสิ่งดึงดูดใจ รวมทั้งงานวิจัยนี้ได้ นำ แผนภาพ Use case มาใช้อธิบายโครงสร้างการทำงานของระบบแนะนำ เนื่องจาก Use case เป็นแผนภาพที่เหมาะสมในการออกแบบเชิงวัตถุเพื่อนำเสนอให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์ และ Use case ก็สามารถแสดงให้เห็นถึง Class ในมุมมองกว้างๆ ที่เชื่อมโยงกับชื่อ Class ความรู้ในออนโทโลยีได้อีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยและพัฒนา แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงานของเว็บไซต์ และกฎการให้คำแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยทำการศึกษาแบบฟังก์ชันการทำงานของเว็บไซต์ยอดนิยมด้านการท่องเที่ยวเพื่อเปรียบเทียบความครบถ้วนของฟังก์ชันการทำงานตามเกณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ค้นหาข้อมูลแบบปกติ ค้นหาเชิงความหมาย วิวความคิดเห็น เปิดให้ผู้ปรับปรุงข้อมูล เชื่อมต่อกับ โซเชียลมีเดีย แสดงคำสำคัญที่เกี่ยวข้อง

และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลองค์ความรู้เกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวจากเว็บไซต์ เอกสารและแหล่งข้อมูลออนไลน์ที่เชื่อถือได้ (Explicit knowledge) และจากประสบการณ์ตรง (Tacit knowledge) ของผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยวเชิงเกษตร จำนวน 5 ท่าน ซึ่งมีคุณสมบัติ คือ มีความรู้และประสบการณ์ในการจัดโปรแกรมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรกรในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ไม่ต่ำกว่า 5 ปี ขึ้นไป เพื่อรวบรวมความคิดเห็นนำมาใช้สร้างกฎการแนะนำแหล่งท่องเที่ยวที่มีประโยชน์ต่อนักท่องเที่ยว

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการ ออนโทโลยี ผู้วิจัยทำการออกแบบขั้นตอนการประมวลผลของระบบด้วยแผนภาพ UML (Unified Modeling Language) และพัฒนาระบบ จำแนกออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) การพัฒนาฐานความรู้ออนโทโลยี โดยใช้โปรแกรม Protégé (2) การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรม MySQL และ (3) การพัฒนาโมดูลการจัดการฐานความรู้ออนโทโลยี และกฎ โดยใช้ภาษา Python เวอร์ชัน 3 กับไลบรารี RDFLib และ PHP เวอร์ชัน 7 การควิรีความรู้จากออนโทโลยีด้วยภาษา Sparql และแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วย Json ระหว่างส่วนการประมวลผลโมเดลหลังบ้าน กับส่วนแสดงผล

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี โดยผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยทำการประสิทธิภาพการสืบค้นข้อมูลเชิงความหมายของระบบ โดยการหาค่า precision recall และ F-measure ทั้งนี้ค่าดังกล่าวจะช่วยทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพความถูกต้องแม่นยำและอัตราความรู้จำในการดึงความรู้ที่เกี่ยวข้องและอยู่ในขอบเขตหรือนอกขอบเขตความสนใจความสนใจของนักท่องเที่ยว โดยผู้เชี่ยวชาญจะเป็นผู้กำหนดความรู้เป้าหมายที่เป็นประโยชน์ในการแนะนำและตัดสินใจในการท่องเที่ยวเชิงเกษตร และทดสอบประสิทธิภาพของระบบ สรุปผลด้วยค่า precision recall และ F-measure รวมทั้งทำการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้อยู่ต่อระบบ โดยใช้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

ผลการศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงานของเว็บไซต์ และกฎการให้คำแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

ผู้วิจัยทำการศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงานของเว็บไซต์ด้านการท่องเที่ยว และเก็บรวบรวมข้อมูลองค์ความรู้และกฎการให้คำแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จากเอกสารและแหล่งข้อมูลออนไลน์ที่เชื่อถือได้ (Explicit knowledge) และจากประสบการณ์ตรง (Tacit knowledge) ของผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยว และประชาชนชาวบ้านด้านการเกษตร จำนวน 5 คน โดยทำการคัดเลือกแบบเจาะจงจากผู้มีประสบการณ์ในเรื่องประวัติความเป็นมา เส้นทางเดินทาง และวิธีการทำเกษตรทฤษฎีใหม่ ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้แบบสำรวจข้อมูล และแบบสัมภาษณ์เชิงลึก สรุปได้ 2 ส่วน คือ

1. การศึกษาโครงสร้างความรู้จากเว็บไซต์ด้านการท่องเที่ยวทางการเกษตร ยอดนิยม จำนวน 5 เว็บไซต์ ได้แก่ thai.tourismthailand.org, paiduaykan.com, khaoko.com, painaidii.com และ thailandtourismdirectory.go.th พบว่า เว็บไซต์ต่างๆ ได้นำเสนอข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับ รายละเอียดสถานที่ท่องเที่ยว ข้อมูลที่พัก ข้อมูลร้านอาหาร ข้อมูลการรีวิวจากนักท่องเที่ยว คลังภาพถ่าย ข้อมูลการติดต่อเวลาเปิดให้เที่ยว เชื่อมโยงคำสำคัญของสถานที่ท่องเที่ยวในเขาค้อ และรีวิวจากนักท่องเที่ยว

2. การศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงาน และการให้บริการของเว็บไซต์ด้านการท่องเที่ยวทางทะเลได้ผลดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงเว็บไซต์ www.painaidii.com มีฟังก์ชันให้บริการแก่นักท่องเที่ยว และผู้ที่สนใจครบถ้วนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 7.66 รองลงมา คือ thailandtourismdirectory.go.th คิดเป็นร้อยละ 33.33 และเว็บไซต์ทั้งหมดให้บริการการค้นหาข้อมูลแบบปกติ รองลงมาคือ การรีวิวข้อมูลจากนักท่องเที่ยว คิดเป็นร้อยละ 00.40 ผู้วิจัยทำการศึกษาในการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยว จากผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยวทางทะเลที่มีความรู้และประสบการณ์โดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก ซึ่งสามารถนำผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลมาสรุปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงาน/การให้บริการของเว็บแอปพลิเคชันด้านการท่องเที่ยวทางทะเล ที่ให้บริการบนแหล่งออนไลน์

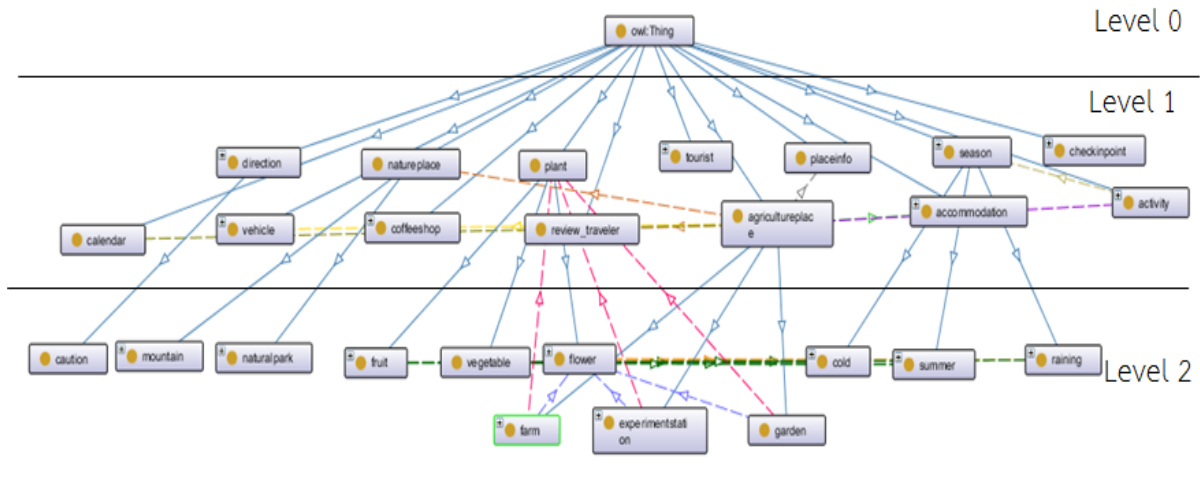
URL	ฟังก์ชันการบริการ						ร้อยละของฟังก์ชันที่มีให้บริการ
	ค้นหา	รีวิว	เปิดให้ผู้ใช้	เชื่อมต่อ	ค้นหาเชิง	แสดงค่า	
	ข้อมูลแบบปกติ	ความคิดเห็น	ปรับปรุงข้อมูล	กับโซเชียลมีเดีย	ความหมาย	สำคัญที่เกี่ยวข้อง	
thai.tourismthailand.org/	✓	✗	✗	✗	✗	✗	16.67%
www.paiduaykan.com/	✓	✗	✗	✗	✗	✗	16.67%
www.khaoko.com/	✓	✗	✗	✗	✗	✗	16.67%
www.painaidii.com	✓	✓	✗	✓	✗	✓	66.67%
thailandtourismdirectory.go.th	✓	✓	✗	✗	✗	✗	33.33%
ร้อยละในภาพรวม	100%	40%	0%	20%	0%	20%	20.00%

ตารางที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นที่มีต่อกฎในการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวจากผู้เชี่ยวชาญ

กฎการแนะนำ	จำนวนการตอบ	คิดเป็นร้อยละ
1. ผลไม้และดอกไม้ที่มีให้ชมในสถานที่ท่องเที่ยว	5	29.40
2. ร้านกาแฟและสถานที่พักผ่อนหย่อนใจภายใน/ใกล้สถานที่ท่องเที่ยว	3	17.60
3. ฤดูกาลที่เหมาะสมแก่การท่องเที่ยว และสิ่งดึงดูดใจตามฤดูกาล	4	23.50
4. ราคาค่าบริการในกิจกรรมการท่องเที่ยว/ค่าเข้าชม ที่เหมาะสมแก่นักท่องเที่ยว	2	11.80
5. สถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ใกล้ๆ หรืออยู่ในเส้นทางเดียวกัน	3	17.60
ผลรวม	17	100.00

ผลการพัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางทะเล อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี จำแนกออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบฐานความรู้ออนโทโลยี โดยใช้โปรแกรม Protégé สามารถอธิบายโครงสร้างฐานความรู้ออนโทโลยีของระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางทะเล แบ่งออกเป็น 3 ระดับชั้นความรู้ จำนวนทั้งหมด 27 โหนดครอบคลุมองค์ความรู้เกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว ผลไม้และดอกไม้ที่มีให้ชมในสถานที่ท่องเที่ยว ร้านกาแฟและสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ กิจกรรมการท่องเที่ยว ที่พัก ร้านอาหาร และข้อมูลการรีวิวจากนักท่องเที่ยว เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 1 และสามารถอธิบายแต่ละโหนดดังตารางที่ 3



ภาพที่ 1 ฐานความรู้ออนโทโลยีของระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร

ตารางที่ 3 อธิบายออนโทโลยีในภาพรวมของระบบ

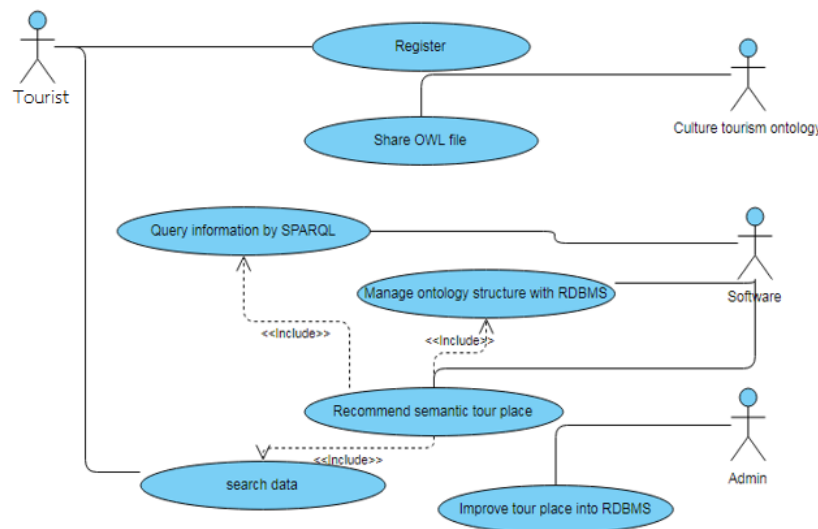
ชื่อโหนดความรู้ (อังกฤษ)	ชื่อโหนดความรู้ (ไทย)	โครงสร้าง ความสัมพันธ์	ชื่อโหนดความรู้ (อังกฤษ)	ชื่อโหนดความรู้ (ไทย)	โครงสร้าง ความสัมพันธ์
Plant	พืช	-	raining	ฤดูฝน	
tourist	นักท่องเที่ยว		farm	ไร่	
season	ฤดูกาล	-	garden	สวน	
calendar	ปฏิทินการท่องเที่ยว	-	experimentagri	สถานีทดลอง	
agricultureplace	สถานที่ท่องเที่ยวทางการเกษตร	-	culture	ทางการเกษตร	
natureplace	สถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติ		accommodation	ที่พัก	-
nationalpark	อุทยานแห่งชาติ		activity	กิจกรรมการท่องเที่ยว	-
mountain	ภูเขา		review_traveler	รีวิวจากนักท่องเที่ยว	-
fruit	ผลไม้		coffeeshop	ร้านกาแฟ	-
vegetable	ผัก		placeinfo	ข้อมูลพื้นฐานของสถานที่	-
flower	ดอกไม้		direction	เส้นทาง	-
cold	ฤดูหนาว		checkpoint	จุดที่น่าสนใจ	-
summer	ฤดูร้อน		caution	คำเตือนเกี่ยวกับเส้นทาง	Subclass of vehicle
			vehicle	พาหนะ	

2. การเขียนชุดคำสั่ง SPARQL เพื่อจัดการฐานความรู้ออนโทโลยีตามกฎหมายการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวทางการเกษตร ที่เสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชุดคำสั่ง SPARQL เพื่อจัดการฐานความรู้ออนโทโลยีตามกฎการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวทาง
การเกษตร ที่เสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ

กฎการแนะนำ	คำสั่ง SPARQL
1. ผลไม้และดอกไม้ที่มีให้ชมในสถานที่ท่องเที่ยว	SELECT ?s ?p ?o ?x ?place WHERE { ?s rdfs:subClassOf ?x. ?p rdfs:domain ?s. ?place rdf:type ?s. ?place ?p ?o FILTER(?x=x:agricultureplace) FILTER(?place=x:%s)}
2. ร้านกาแฟและสถานที่พักผ่อนหย่อนใจภายใน/ ใกล้สถานที่ท่องเที่ยว	SELECT ?place ?cfshop WHERE {?place x:has_coffeeshop ?cfshop FILTER(?place=x:%s) }
3. ฤดูกาลที่เหมาะสมแก่การท่องเที่ยว และสิ่งดึงดูดใจตาม ฤดูกาล	SELECT ?place ?fr ?ss ?place2 WHERE {?place x:taste ?fr. ?fr x:show_inseason ?ss. ?place2 x:taste ?fr FILTER(?place=x:%s) FILTER(?ss=x:%s) FILTER(?place2 !=x:%s)}
4. ราคาค่าบริการในกิจกรรมการท่องเที่ยว/ค่าเข้าชม ที่เหมาะสมแก่นักท่องเที่ยว	SELECT ?p ?tr ?pay ?place ?price WHERE {?p rdfs:domain x:tourist. ?tr ?p ?pay. ?place x:act_rate ?price FILTER(?pay >= ?price) }
5. สถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ใกล้ๆ หรืออยู่ในเส้นทางเดียวกัน	SELECT ?p1 ?p2 WHERE{?p1 x:near ?p2 FILTER(?p1=x:%s ?p2=x:%s) }

3. การออกแบบระบบเชิงวัตถุของระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัด
เพชรบูรณ์โดยใช้หลักการออนโทโลยี ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 2 Use case Diagram ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร

จากภาพที่ 2 ระบบประกอบด้วยผู้ใช้ ได้แก่ นักท่องเที่ยว ผู้ดูแลระบบ ซอฟต์แวร์ และออนโทโลยี โดยที่
นักท่องเที่ยวนำข้อมูลลงทะเบียนเข้าใช้ระบบ ส่วนของออนโทโลยีจะแบ่งปัน OWL ให้ซอฟต์แวร์เข้าถึงและ

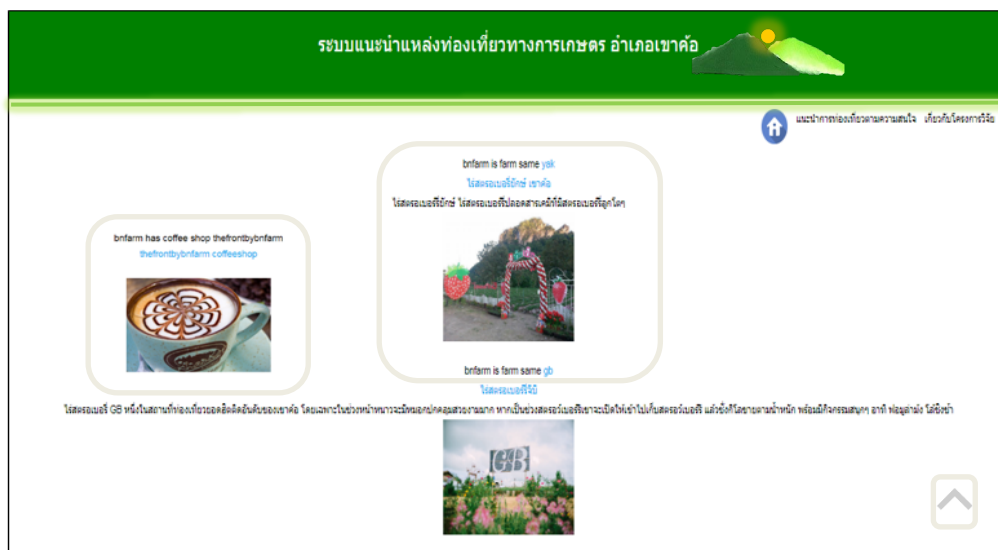
ประมวลผลคำแนะนำเกี่ยวกับการท่องเที่ยวในรูปแบบเชิงความหมาย โดยจะมีระบบการค้นหาข้อมูลเชิงความหมาย ให้บริการแก่นักท่องเที่ยว ส่วนผู้ดูแลระบบจะเป็นผู้ปรับปรุงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวทางการเกษตร ในฐานข้อมูล เชิงสัมพันธ์ เพื่อให้ระบบดึงข้อมูลไปนำเสนอให้แก่ นักท่องเที่ยวที่เป็นปัจจุบัน

4. การพัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์โดยใช้ หลักการออนโทโลยี ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 3 ถึงภาพที่ 5



ภาพที่ 3 หน้าจอหลัก

จากภาพที่ 3 หน้าจอหลักของระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อจังหวัดเพชรบูรณ์ ให้บริการนักท่องเที่ยวในการค้นหาข้อมูลเชิงความหมาย และสามารถคลิกที่ชื่อสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อเชื่อมโยงไปยัง ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเชิงความหมายตามกฎที่เขียนคิวรีด้วยคำสั่ง Sparql



ภาพที่ 4 หน้าจอแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวตามหมวดหมู่ฟาร์ม/ไร่

จากภาพที่ 4 การแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวตามหมวดหมู่ฟาร์ม/ไร่ ทั้งหมดในอำเภอเขาค้อ และแสดงร้านค้าแพ และสถานที่พักผ่อนหย่อนใจที่อยู่ใกล้ๆ พื้นที่



ภาพที่ 5 การแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวตามความสนใจของนักท่องเที่ยว

จากภาพที่ 5 ระบบสามารถให้การแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวตามความสนใจของนักท่องเที่ยว โดยมีเงื่อนไขคือ การท่องเที่ยว และการพัก/ไม่พัก จากนั้นระบบจะแสดงผลการแนะนำกิจกรรมการท่องเที่ยว และหากมีที่พักที่อยู่ใกล้ภายในระยะทางที่เหมาะสม ระบบก็จะแนะนำที่พักขึ้นมาบนจอภาพ

ผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี โดยผู้เชี่ยวชาญ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลการประเมินประสิทธิภาพการสืบค้นความรู้เชิงความหมายของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้ทำการสืบค้นและให้คำแนะนำ ดังนี้

- (A) จำนวนข้อมูลที่สืบค้นได้และถูกต้องตามความสนใจ
- (B) จำนวนข้อมูลที่ถูกต้องตามความสนใจแต่ไม่ถูกสืบค้น
- (C) จำนวนข้อมูลที่สืบค้นได้แต่ไม่ถูกต้องตามความสนใจ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการทดสอบประสิทธิภาพ	ผลการสืบค้น และให้คำแนะนำ		
	(A)	(B)	(C)
1. สถานที่ท่องเที่ยวมีผัก ผลไม้ หรือดอกไม้ อะไรให้รับประทาน/ชมบ้าง	2	1	0
2. ร้านกาแฟนั่งในสถานที่ท่องเที่ยว/อยู่ใกล้	3	0	1
3. การท่องเที่ยวตามฤดูกาล และแนะนำสถานที่อื่นๆ ที่มีสิ่งที่น่าสนใจ เช่น ฤดูหนาวชมผลไม้ได้ และที่ได้บ้าง	3	0	0
4. สถานที่ท่องเที่ยวที่มีราคาค่าเที่ยวชม/ชมที่เหมาะสมกับนักท่องเที่ยว	2	0	0
5. สถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่อยู่ใกล้	3	1	0
Mean	2.60	0.40	0.20
Precision	92.90%		
Recall	84.60%		
F-measure	88.50%		

จากตารางที่ 4 พบว่า สรุปได้ว่า ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้หลักการออนโทโลยี สามารถแนะนำข้อมูลได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนตามความสนใจของผู้ใช้ โดยมีค่า F-measure เท่ากับ 88.50%

2. ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้นักท่องเที่ยว จำนวน 385 คน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ	
	$\bar{X}$	S.D.
1. ด้านเนื้อหา	4.69	0.68
1.1 ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนโทโลยี มีความสมบูรณ์ครบถ้วน	4.71	0.76
1.2 ข้อมูลภาพนิ่งและตัวหนังสือเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนโทโลยี มีความชัดเจน	4.59	0.65
1.3 เนื้อหาภาพรวมของระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนโทโลยี	4.76	0.62
2. ด้านการออกแบบและจัดรูปแบบ	4.49	0.67
2.1 วิธีการนำเสนอข้อมูลของระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตร ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนโทโลยีใช้งานง่าย เมนูไม่ซับซ้อน	4.65	0.76
2.2 การจัดวางองค์ประกอบหน้าจอสวยงาม ได้สัดส่วน	4.45	0.66
2.3 การตอบสนองของระบบแนะนำ มีความรวดเร็วในการทำงานตามคำสั่งของผู้ใช้	4.54	0.78
2.4 รูปแบบตัวอักษรขนาดเหมาะสมและง่ายต่อการอ่าน	4.42	0.56
2.5 พื้นหลัง และภาพประกอบ มีความชัดเจน	4.38	0.58

ตารางที่ 5 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ	
	$\bar{X}$	S.D.
3. ด้านประโยชน์	4.66	0.59
3.1 สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูล สำหรับศึกษาหาความรู้ได้	4.68	0.54
3.2 เป็นช่องทางที่ดี สำหรับการให้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนไลน์	4.56	0.43
3.3 ข้อมูลสามารถตอบสนองความต้องการในการท่องเที่ยวทางการเกษตร ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนไลน์ได้เป็นอย่างดี	4.65	0.67
3.4 ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนไลน์สามารถนำไปใช้งานได้จริง	4.75	0.87
3.5 การใช้งานของระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนไลน์ในภาพรวม	4.65	0.46
ค่าเฉลี่ย	4.61	0.65

จากตารางที่ 5 ผู้ใช้มีความพึงพอใจในการใช้งานระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์โดยใช้หลักการออนไลน์ อยู่ในระดับดีมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.61

อภิปรายผล

การวิจัยและพัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางการเกษตรอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนไลน์ในครั้งนี้ ทำให้ได้มาซึ่งระบบแนะนำที่เกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวทางการเกษตรที่ต้องการมาเที่ยวที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ แล้วไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวทางการเกษตรด้านต่างๆ ได้แก่ การค้นหาสถานที่ท่องเที่ยว/สิ่งอำนวยความสะดวก การเขียนรีวิว การสืบค้นและแสดงผล เชิงความหมาย การเปิดให้ผู้เข้าชมไปปรับปรุงข้อมูล/นำเสนอโปรโมชั่น มีฟังก์ชันเครือข่ายสังคม และการแนะนำคำค้นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ มีการออกแบบฐานความรู้ในรูปแบบของออนไลน์ เช่นเดียวกับ Sittijuk and Wiraiwan (2014) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบจัดการ องค์ความรู้ดนตรีพื้นบ้านม้งคะในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง เพื่อการส่งเสริมและเผยแพร่ศิลปวัฒนธรรมไทย โดยใช้ออนไลน์และวิกิพีเดียเชิงความหมาย และงานวิจัยของ Jongjahoh (2011) ได้เขียนบทความเรื่อง การใช้ประโยชน์จากออนไลน์ในงานบริการสารสนเทศ รวมทั้งในงานวิจัยนี้ยังมีการเขียนฐานกฎขึ้นมา 5 กฎเงื่อนไข โดยใช้ชุดคำสั่ง SPARQL เพื่อจัดการฐานความรู้ออนไลน์ตามกฎการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวทางการเกษตร ที่เสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ รวมถึงงานวิจัยของ Sivilai and Snae (2013) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบคำถาม-คำตอบในการแนะนำอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วย มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาออกแบบ และพัฒนาระบบคำถาม-คำตอบในการแนะนำอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วย โดยเน้นไปที่การแสดงวิธีการรวบรวมและวิธีการแปลงประโยคคำถามภาษาไทยเกี่ยวกับอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยที่เป็นภาษาธรรมชาติ (Natural Language) ไปเป็นภาษาที่ใช้ในการสอบถามฐานข้อมูลความรู้ออนไลน์ (SPARQL) เช่นกัน

การนำแนวคิดเชิงความหมายด้วยออนโทโลยีมาช่วยสร้างระบบจัดเก็บ และสร้างกฎการสืบค้นข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนการท่องเที่ยว ซึ่งจะช่วยให้ได้มาซึ่งข้อมูลสารสนเทศจากการสืบค้นที่ช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนการท่องเที่ยว ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการพัฒนาเว็บไดนามิกรูปแบบเดิม โดยสามารถสื่อความหมายข้อมูลสารสนเทศที่เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจในการท่องเที่ยวได้อย่างครบถ้วน และสามารถนำฐานความรู้กลับมาใช้ใหม่ และปรับปรุงขยายฐานความรู้เพื่อเชื่อมโยงไปยังโหนดความรู้ออนไลน์ในหลายๆ แหล่งได้ โดยใช้โปรติเจ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ออนเพนซอร์สที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย และพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Afuana and Hidayat (2019) ใช้ออนโทโลยีในการรวบรวมข้อมูลสารสนเทศการท่องเที่ยวในบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย เพื่อให้สามารถสื่อความหมายเพิ่มมากขึ้น และรองรับการแบ่งปันข้อมูลและนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้โปรติเจในการสร้างออนโทโลยี และทำการทดสอบออนโทโลยีจากคำถามที่จำเป็นต่อการท่องเที่ยว โดยใช้ SPARQL คิวรีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามคำถามต่างๆ ซึ่งช่วยทำให้ข้อมูลสารสนเทศการท่องเที่ยวในบาหลี สื่อความหมายและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น การนำแนวคิดออนโทโลยีมาใช้เป็นแหล่งรวบรวมข้อมูลสารสนเทศ และใช้ภาษา SPARQL ในการคิวรีข้อมูลสารสนเทศของสถานที่ท่องเที่ยวทางทะเล อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ ในงานวิจัยนี้ แทนการใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และใช้ภาษา SQL ในรูปแบบเดิมช่วยให้สืบค้นได้ข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในขอบเขตที่นักท่องเที่ยวสนใจมากยิ่งขึ้น เนื่องจากออนโทโลยีจะช่วยจำแนกหมวดหมู่ สร้างความสัมพันธ์และเงื่อนไข และให้ความหมายในระดับเนื้อหาความรู้ในรูปแบบกราฟ ซึ่งสามารถใช้ภาษา SPARQL ในการคิวรีเพื่อเข้าถึงความสัมพันธ์ของโหนดความรู้แต่ละโหนด และลงลึกไปในระดับชั้นความรู้ต่างๆ ที่อยู่ในขอบเขตความสนใจ ในคำสั่งเดียวและทำให้ได้ข้อมูลสารสนเทศที่ลุ่มลึกและชัดเจนมากยิ่งขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งหากเป็นการคิวรีด้วยภาษา SQL กับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ จะได้ข้อมูลสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์ระหว่างแฟ้มข้อมูลที่กำหนดไว้โดยตรง และไม่สามารถระบุความหมายให้กับบางรายการข้อมูลในแฟ้ม ที่มีความหมายและเงื่อนไขไม่เหมือนกับรายการข้อมูลอื่นๆ ได้ เช่น นักท่องเที่ยวต้องการค้นหาที่พัก หากใช้การเก็บและสืบค้นข้อมูลรูปแบบเดิม ในการคิวรีข้อมูลจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับที่พัก ราคา และสิ่งอำนวยความสะดวก แต่การใช้ออนโทโลยี และ SPARQL จะสามารถดึงความรู้ที่เกี่ยวข้องกับที่พัก เช่น ที่พักเป็นโรงแรม โรงแรมที่ใกล้กันมีหลายโรงแรม ะไรบ้าง มีร้านอาหารไทย จีน มุสลิม อะไร ตรงไหนบ้าง และหากนักท่องเที่ยวนับถือศาสนาอิสลาม ก็จะสืบค้นเฉพาะร้านอาหารอิสลาม และที่พักที่ไม่ไกลจากตำแหน่งนั้น เพื่อการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพกว่า รวมทั้งออนโทโลยีสามารถแบ่งปันข้อมูลไปยังฐานความรู้อื่นๆ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ทั้งนี้ Chalortham et. al. (2008) ได้อธิบายว่าการใช้รูปแบบภาษาโอดับเบิลยูแอล (Web Ontology Language: OWL) ที่สนับสนุนออนโทโลยีสามารถนำมาเชื่อมโยงข้อมูล และการใช้ข้อมูลร่วมกันได้ดีกว่าระบบฐานข้อมูล สอดคล้องกับ Broughton (2006) ที่กล่าวว่าออนโทโลยีเป็นการทำโครงสร้าง และการนำเสนอความรู้ในระบบการจัดการความรู้ ระบบการจัดการความรู้เป็นเสมือนเครื่องมือที่มีคุณลักษณะเป็นดัชนีที่ช่วยในการจัดการและเข้าถึงเนื้อหา และสาระสำคัญของความรู้ที่มีอยู่และความรู้อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้

เอกสารอ้างอิง

- Afuana, L. and Hidayat, N. (2019). Ontology model for tourism information in Banyumas. *The Proceedings of AIP Conference, Volume 2094*, 14–15 November 2018 at Central Java, Indonesia.
- Chuenta, I. Thongkam, J. and Phuboon-ob, J. (2014). The development of Ontologies for Information Recommendation System in the Northeast of Thailand. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 34(1), 32-44. (in Thai)
- Department of Tourism. (2009). *Argo tourism assessment handbook*. 2nd ed. Bangkok: Department of Tourism. (in Thai)
- Jongjahoh, C. (2011). *Using Ontology Tools for Information Services*. Thesis of the Degree of Doctor of Information Study. Khon kaen: Khon kaen University. (in Thai)
- Kaokor Subdistrict Administration Organization. (2017). *Basis information of Kaokor district*. [Online]. Retrieved November 21, 2019, from: <https://www.khaokho.go.th>. (in Thai)
- Kerschberg, L. Chowdhury M. Damiano A. Jeong H. Mitchell S. Si J. and Smith, S. (2004). *Knowledge Sifter: Ontology-Driven Search over Heterogeneous Databases*. Virginia, USA: George Mason University.
- Marketingoops. (2016). *Online article: The main factor of setting digital strategy*. [Online]. Retrieved November 21, 2019, from: <https://www.marketingoops.com>. (in Thai)
- Nithiyuwit, T. (2020). *Recommendation system Khao Kho Natural Tourism by Ontology*. Phetchabun: Phetchabun Rajabhat University.
- Sittijuk, P. and Sanchana, W. (2014). The development of Mungkala knowledge management system in the lower northern area for promoting thai culture using ontology and semantic Wikipedia. *Research Journal of Rajabhat Chaingmai*, 15(1), 59-72. (in Thai)
- Sivilai, S. and Snae, J. (2013). *The development of a question-answer system for recommending appropriate food for patients. The Proceedings of the Academic conference National Level in Information Technology*, 26-27 February 2013 at Phetchaburi, Thailand, 167-172. (in Thai)
- Tupmongkol, S. and Pilabutr, S. (2016). Thailand's tourism semantic web with ontology (RDF and SPARQL). *APHEIT Journal Science & Technology*, 5(2), 5-11. (in Thai)

การจำแนกภาพเมล็ดข้าววัชพืชรบกวนจากภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีการถ่ายโอนความรู้

นฤมิตร กิติเวช^{1,*}, ธนาสัย สุคนธ์พันธุ์², อานนท์ ศักดิ์วรวิชญ์³

^{1,2,3}สาขาวิศวกรรมธุรกิจและวิทยาการข้อมูล คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Received: 22 May 2021

Revised: 20 July 2022

Accepted: 21 July 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) ในการคัดแยกข้าววัชพืชรบกวนออกจากข้าวปลูกสำหรับรูปภาพที่ถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้วิธีการถ่ายโอนการเรียนรู้จากตัวแบบที่เทรนด้วยภาพจากกล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวด้วยระบบดิจิทัล (DSLR) ที่มีรายละเอียดของภาพสูงและถ่ายในสภาพแวดล้อมแบบปิดเพื่อนำภาพไปใช้เป็นตัวตั้งต้นสำหรับสร้างตัวแบบเพื่อทำนายภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยงานวิจัยได้ศึกษาแนวทางด้านการสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) ซึ่งมีข้อจำกัดที่ต้องใช้งานในสภาพแวดล้อมแบบปิดจึงไม่เหมาะสมกับภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีสภาพแวดล้อมของภาพหลากหลาย ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ทางผู้วิจัยได้แยกภาพเมล็ดข้าวออกจากพื้นหลังและฝุ่นผงและทำการปรับสเกลของภาพเมล็ดข้าวที่ถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Scaled mobile) ให้ใกล้เคียงขนาดจริงโดยอ้างอิงขนาดของเหรียญบาท เมื่อทดสอบตัวแบบที่เทรนด้วยภาพ DSLR พบว่ามีค่าความแม่นยำในการทำนายด้วยภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Original mobile) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 49 เป็นร้อยละ 67 ผู้วิจัยเลือกใช้ตัวแบบ VGG16 และ Resnet50 ทดลองหาไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม และได้แบ่งวิธีการป้อนข้อมูลเป็น 3 วิธีดังนี้ (1) Mix method: สร้างตัวแบบจากข้อมูลภาพ DSLR และภาพ Scaled mobile (2) Retrain1 method: นำตัวแบบที่เทรนด้วยภาพ DSLR นำมาเทรนซ้ำด้วยภาพ Scaled mobile ให้ชุด validate set มีภาพจากทั้งสองชุด และ (3) Retrain2 method: ดัดแปลงมาจากวิธีที่ (2) โดยเพิ่มชุดภาพ DSLR อัตราสามในสิบส่วนจากตัวแบบต้นแบบ จากการทดลองพบว่าวิธีที่ให้ความแม่นยำที่สุดคือวิธีที่ (1) Mix method มีความแม่นยำร้อยละ 95 และร้อยละ 92 ในชุดทดสอบ DSLR และ Scaled mobile ตามลำดับ สำหรับวิธีที่ (3) Retrain2 method ให้ผลดีรองลงมา แต่มีประโยชน์ในด้านการประหยัดเวลาในการเทรนตัวแบบและใช้ขนาดข้อมูลที่น้อย

คำสำคัญ: การถ่ายโอนความรู้ การจำแนกพันธุ์เมล็ดข้าว การเรียนรู้เชิงลึก

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: narumitkitiweth@gmail.com

Classification of Weedy Rice-grain from Mobile Images Using Transfer learning Neural network

Narumit Kitiweth^{1,*}, Tanasai Sucontphunt², Arnond Sakworawich³

^{1,2,3}Business Analytics and Data Science Program, Graduate school of Applied Statistics,
National Institute of Development Administration

Received: 22 May 2021

Revised: 20 July 2022

Accepted: 21 July 2022

Abstract

This research presents a rice weed classification framework using neural network with transfer learning for mobile images. The transfer learning technique is employed so that high-res images by Digital single-lens reflex (DSLR) in the closed environment setting can be reused in the mobile environment setting. Other existing related works mainly rely on feature extraction in closed environment. In pre-processing steps, image segmentation technique is used to separate background and dust from a rice image and re-scale the rice grain image using known-size of a one-baht coin. This step improves accuracy from 49% to 67% using DSLR model. This work constructs VGG16 and Resnet50 then find-tunes with empirical hyperparameters. Also, an evaluation is conducted on three input and model combinations which are 1) DSLR and mobile images, 2) mobile images retrained with DSLR images, and 3) mobile images and 30% of DSLR images retrained with DSLR images. The first method gives highest accuracy of 95%. However, the third method also gives high accuracy with less training data.

Keywords: Transfer Learning, Rice Grain Classification, Deep Learning

* Corresponding Author; E-mail: narumitkitiweth@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าววัชพืช เป็นพันธุ์ข้าวป่าที่มีการเจริญเติบโตดีและสร้างความเสียหายกับนาข้าวอย่างมาก เนื่องจากเมื่อข้าววัชพืชโตแล้ว จะสูงบังและแย่งสารอาหารจากข้าวปลูกและยังกำจัดได้ยากเนื่องจากเจริญเติบโตได้ไวและเติบโตไม่พร้อมกัน ทำให้กำจัดได้ยากและฝังตัวอยู่ในดินได้นาน เมื่อชาวนานำข้าวที่ปลูกไปขายให้แก่โรงสีหากพบเจอข้าววัชพืชจะถูกกดราคาลงอย่างมาก สร้างความเสียหายและทำให้ชาวนามีต้นทุนในการกำจัดข้าววัชพืชสูงขึ้น ปัจจุบันข้าววัชพืชได้ระบาดไปทุกภาคส่วนและการตรวจสอบคุณภาพของข้าวเป็นไปได้อย่างยากลำบาก เนื่องจากบางสายพันธุ์มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงระหว่างข้าววัชพืช เช่น ขน รูปทรง และ สีโดยเฉพาะสีจะมีความคล้ายคลึงกับข้าวปลูก ทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาตัวแบบเพื่อหวังว่าจะช่วยทุ่นแรงและลดระยะเวลาการตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวได้

ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ส่วนมากจะเป็นการวิเคราะห์ภาพโดยตรงจากการสกัดคุณลักษณะ โดยมีงานวิจัยอยู่หลายงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานวิจัยของ Lursthut and Pornpanomchai (2017) และ Silva et al. (2013) ได้ทำการสกัดข้อมูลจากภาพเมล็ดข้าวได้แก่ สี สัณฐานวิทยา (Morphological) และพื้นผิว (Texture) เพื่อนำไปสร้างตัวแปรทำนาย แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดที่ต้องถ่ายในสภาพแวดล้อมแบบปิดเท่านั้น กล่าวคือจะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น แสงที่ตกกระทบเพื่อไม่ให้เกิดเงา และคงระยะห่างระหว่างเลนส์กับภาพ เพื่อไม่ให้มีผลต่อตัวแปรที่นำไปจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าว จากตัวอย่างข้าววัชพืชในภาพที่ 7 สีของข้าววัชพืชมีความใกล้เคียงกับข้าวปลูกมากทำให้วิธีสกัดข้อมูลอาจจะไม่เหมาะกับงานวิจัยนี้ สำหรับงานวิจัยที่ใกล้เคียงจะได้แก่ งานของ Aukkapinyo et al. (2020) ได้ใช้การเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ในการแยกสายพันธุ์ข้าวออกจากกัน โดยลักษณะภายนอกของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันทางด้านกายภาพ และสร้างความยากลำบากในการจำแนกของผู้เชี่ยวชาญข้าว ดังนั้นการคัดแยกพันธุ์ข้าวด้วยวิธีการสกัดฟีเจอร์ระดับสูงหรือการทำ Conventional classification techniques ทำให้วิธีดังกล่าวไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหานี้ได้ ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวมีความแตกต่างจากงานของผู้วิจัยตรงที่งานวิจัยของผู้วิจัยจะมุ่งเน้นไปเพื่อสร้างตัวแบบให้สามารถคัดแยกข้าววัชพืชจากภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ซึ่งตัวภาพทั้งสองชุดมีความแตกต่างกันทั้งจากสภาพแวดล้อมและจากคุณภาพของกล้องเอง ทางผู้วิจัยจึงต้องการจะสร้างตัวแบบที่สามารถจำแนกภาพเมล็ดข้าววัชพืชออกจากข้าวปลูกเพื่อที่จะสามารถช่วยทุ่นแรงและลดระยะเวลาในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดข้าว และสามารถให้ชาวนาสามารถใช้ตรวจสอบได้ด้วยตนเองอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

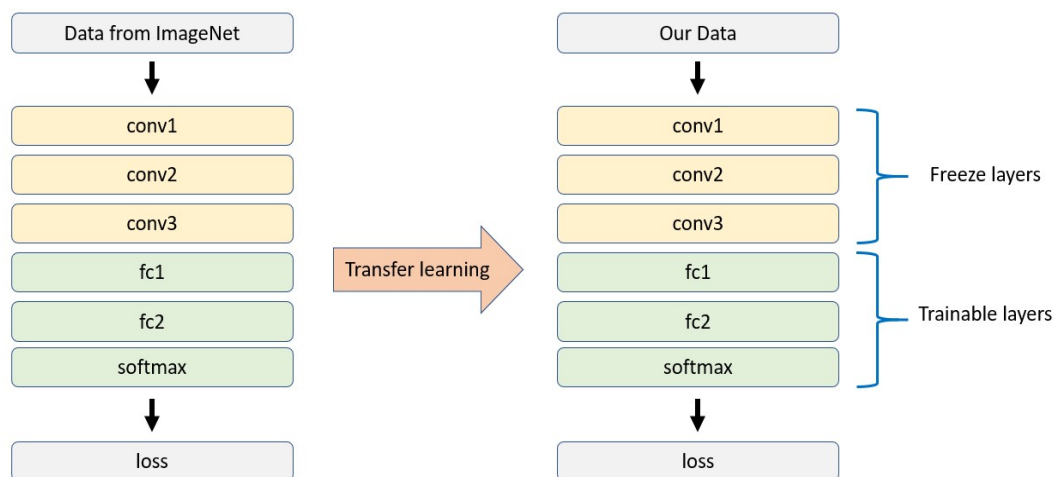
เพื่อพัฒนาตัวแบบโดยการทำการถ่ายโอนความรู้เพื่อให้ตัวแบบสามารถจำแนกเมล็ดข้าวปลูกและเมล็ดข้าววัชพืชจากรูปภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Aukkapinyo et al. (2020) ได้ใช้ Mask-RCNN ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การสกัดคุณลักษณะเช่นเดียวกับงานวิจัยอื่นที่เคยทำมาก่อนหน้า และได้ใช้ตัวแบบการถ่ายโอนความรู้จากชุดข้อมูล COCO-dataset เพื่อจำแนกภาพเมล็ดข้าว 5 สายพันธุ์ประกอบไปด้วยข้าวปลูกและข้าวเหนียว ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมรูปภาพจะใช้กล้องดิจิทัลโดยมีการควบคุมปัจจัย แสง ระยะเลนส์ และ สมดุลแสงสีขาว โดยถ่ายบน

กระดาษสีดำ จากนั้นนำมาตัดและหมุนภาพให้ได้เฉพาะเมล็ดข้าวก่อนจะนำเข้าตัวแบบ ในการเตรียมชุดข้อมูลภาพ จะต้องระบุพื้นที่ของเมล็ดข้าวที่เราสนใจให้ตัวแบบ Mask-RCNN โดยตัวแบบจะใช้วิธี masker-based watershed algorithm ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ทำการแยกภาพพื้นหลังออกจากเมล็ดข้าวจากการแยกเซตสีที่ต่างกันภายในภาพ จากนั้นจะส่งลักษณะเด่น (Feature) เข้าไปในชั้น convolutional เพื่อทำนายว่าจะป็นรูปของข้าวสายพันธุ์ใด โดยผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบนี้มีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 81 เมื่อเทียบกับผู้เชี่ยวชาญข้าวมีความแม่นยำแค่เพียง ร้อยละ 76 สำหรับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ทางด้าน Silva et al. (2013) ใช้วิเคราะห์ภาพโดยตรงโดยใช้วิธีการสกัด คุณลักษณะ โดยใช้กล่องดิจิตอลโดยติดตั้งขาตั้งกล้องเก็บรวบรวมรูปภาพและมีการใช้แสงไฟยิงไปที่ภาพถ่าย เพื่อทำให้ไม่มีเงาเกิดขึ้นที่เมล็ดข้าว ข้าวที่ทำการทดลองเป็นสายพันธุ์ข้าวศรีลังกา 9 สายพันธุ์ ทำการแยกภาพพื้นหลังออกจากเมล็ดข้าว และนำฟีเจอร์ เช่น สี, สัณฐานวิทยา และ พื้นผิว ส่งเข้าไปใน MLP ที่มีการปรับแต่งเลเยอร์ต่างกัน ทำการเทรนตัวแบบและเปรียบเทียบความแม่นยำ ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 91

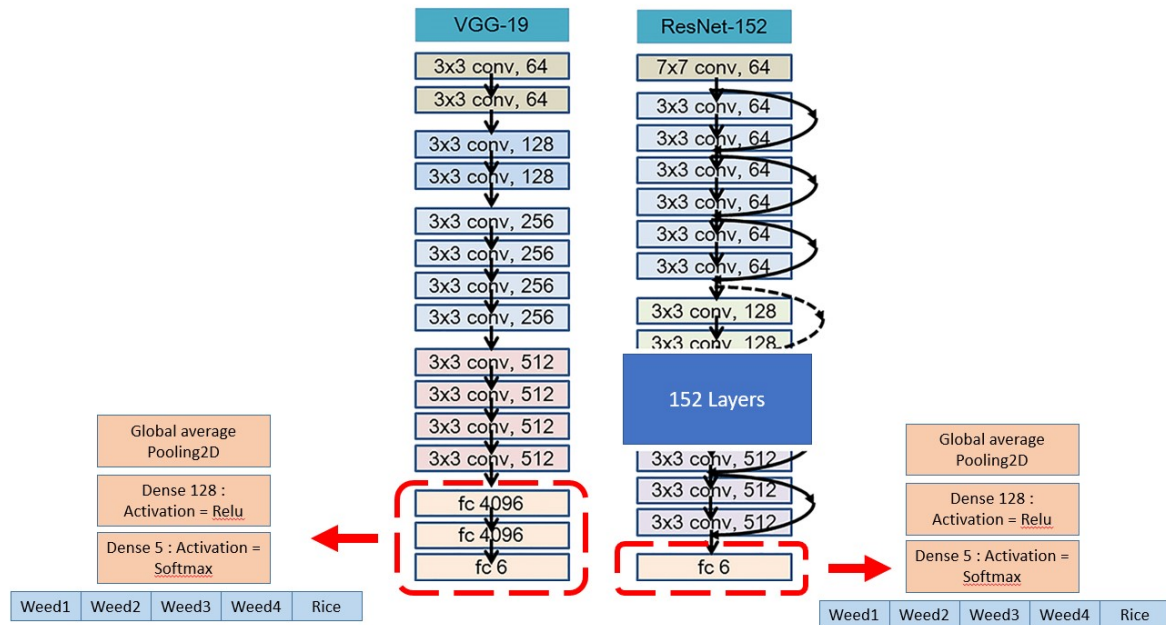
ในงานวิจัยของ Patel and Vaibhav (2014) การถ่ายโอนความรู้จะเป็นการนำค่าถ่วงน้ำหนักที่ถูกเทรนจาก ตัวแบบ ที่นักพัฒนาท่านอื่นได้เทรนตัวแบบมาแล้วและนำค่าถ่วงน้ำหนักนั้นมาปรับใช้กับชุดข้อมูลของเรา ผลที่ได้จะ ทำให้ประหยัดเวลาในการเทรนข้อมูลและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทันที ค่าถ่วงน้ำหนักที่นักวิจัยท่านนี้ได้นำมาจาก ตัวแบบที่ถูกเทรนด้วยชุดข้อมูลที่ชื่อว่า image-net dataset ด้วยซึ่งเทรนด้วยรูปภาพจำนวน 1,000 คลาส รวมกว่า 1.2 ล้านภาพ ในการทำ Transfer Learning ใน CNN (Convolutional neural network) เลเยอร์ชุดหน้าของ CNN จะทำการจดจำและเรียนรู้จากคุณลักษณะเด่น เช่น เส้นหรือรูปทรงในแต่ละภาพ ในการถ่ายโอนความรู้ค่าถ่วงน้ำหนัก จากเลเยอร์ข้างต้นนี้ที่ถูกเทรนมาก่อนแล้วจะถูกนำมาเป็นค่าเริ่มต้นของโครงข่ายประสาทเทียมของ ดังตัวอย่างภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพตัวอย่างแสดงการถ่ายโอนความรู้ด้วยตัวแบบ CNN

การทบทวนวรรณกรรมด้านตัวแบบ VGG และ Resnet ทางผู้วิจัยต้องการนำตัวแบบทั้งสองมาศึกษาทำการทดลองโดยการถ่ายโอนความรู้และใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นจาก Image-net ซึ่งทั้งสองตัวแบบเป็นตัวแบบที่ประกอบไปด้วยชั้น CNN จำนวนมากเช่นเดียวกัน โดยที่ VGG16 เป็นตัวแบบที่ชนะเลิศรางวัล ImageNet ILSVRC ใน ปี2014 ส่วน Resnet ชนะรางวัล ILSVRC ใน ปี2015 (Shallu and Mehra, 2018) ความแตกต่างสำหรับทั้งสองตัวแบบนี้ ในส่วนของตัวแบบ VGG ผู้พัฒนาตัวแบบ ต้องการจะสร้างตัวแบบที่มีขนาดเล็กแต่เปี่ยมไปด้วยประสิทธิภาพ

ภายในตัวแบบจะประกอบไปด้วยชั้น CNN ขนาดเล็กหลายชั้นประกอบเข้าด้วยกัน สำหรับตัวแบบ Resnet ทางผู้พัฒนาเชื่อว่าตัวแบบที่ประกอบไปด้วยเลเยอร์หลายชั้นและยิ่งลึกก็จะมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่ว่าตัวแบบที่มีเลเยอร์มากจะเริ่มมีปัญหาที่เลเยอร์ด้านท้าย ค่าที่ส่งผ่านมาตั้งแต่ต้นจะเกิดการเลือนหาย (Vanishing of the gradient) ทำให้ต้องมี Skip layers ซึ่งคอยเรียนรู้ว่าเลเยอร์ใดควรจะข้ามไป ตัวแบบ Resnet จึงมีความยาวกว่า VGG ถึง 8 เท่า แต่ตัวแบบยังคงมีความซับซ้อนต่ำกว่า (Lower complexity) และยังเร็วกว่าอีกด้วย (Simonyan et al., 2014)



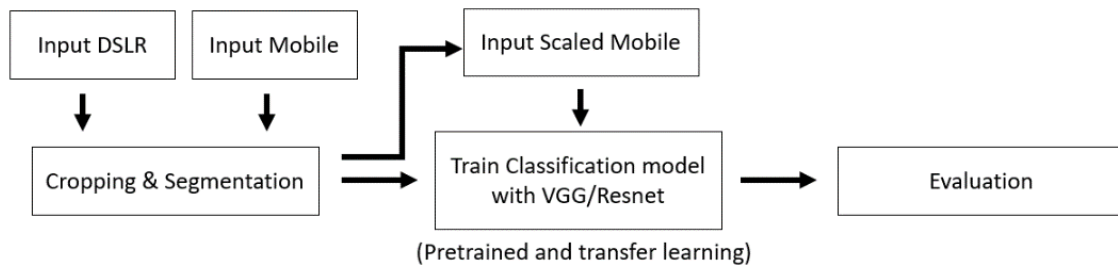
ภาพที่ 2 ภาพแสดงเลเยอร์ที่ถูกตัดเพื่อทำการถ่ายโอนความรู้ของตัวแบบ VGG19 และ Resnet152 (Han, 2018)

ผู้วิจัยนำตัวแบบทั้งสองมาทำการถ่ายโอนความรู้ โดยเลือกที่จะตัดเลเยอร์ fully connect หลังชั้น convolutional ออก แทนที่ด้วยเลเยอร์ดังต่อไปนี้ Global average pooling2D, Dense128 และ Dense5 ซึ่งเลเยอร์ชุดนี้จะทำการแปลง (Transform) ข้อมูลก่อนที่จะนำไปทำนาย (Classification) และในชั้นเลเยอร์สุดท้ายทางผู้วิจัยได้แทนที่ชั้น Fully Connected Layer ที่แต่เดิมมีจำนวนมิติของข้อมูลเท่ากับ 1000 คลาส จากชุดข้อมูล image-net นำมาแทนที่ด้วย Dense เท่ากับ 5 ซึ่งหมายความว่ามิติของข้อมูลจะลดลงเท่ากับจำนวนคลาสที่เราต้องการทำนาย (5คลาส) จากนั้นนำตัวเลขเหล่านั้นไปทำนายด้วยชั้น Softmax เพื่อทำนายว่ารูปภาพข่าวที่เราป้อนเข้าไปนั้นเป็นคลาสใด

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการทำวิจัย

การทดลองนี้แบ่งกระบวนการทำวิจัยเป็นดังนี้ (1) การเก็บรวบรวมชุดข้อมูลภาพ (2) การแยกภาพเมล็ดข้าวออกจากภาพพื้นหลังและเตรียมภาพเพื่อเทรนตัวแบบ (3) การเทรนตัวแบบและปรับไฮเปอร์พารามิเตอร์ และ (4) ทดลองแบ่งชุดข้อมูลและทดสอบตัวแบบ



ภาพที่ 3 แผนภาพวิธีวิจัยนี้แสดงถึงกระบวนการทำวิจัย

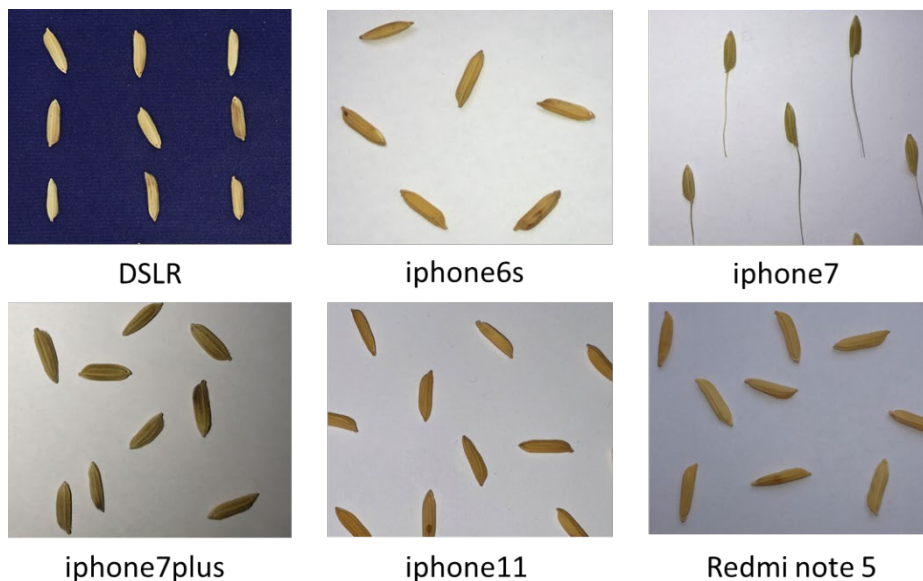
จากภาพที่ 3 ในการพัฒนาตัวแบบสำหรับจำแนกข้าววัชพืชออกจากข้าวปลูก จะนำภาพที่รวบรวมมาจากทั้ง DSLR และภาพจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ นำมาแยกพื้นหลังและดึงเฉพาะภาพเมล็ดข้าวออกมา จากนั้นทำการสเกลภาพเมล็ดข้าวที่ถ่ายจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ก่อนที่จะนำไปเทรนตัวแบบด้วยภาพจาก DSLR และภาพจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ผ่านการสเกลภาพแล้ว จากนั้นทำการวัดผลและสรุปผล

ประชากรและตัวอย่าง

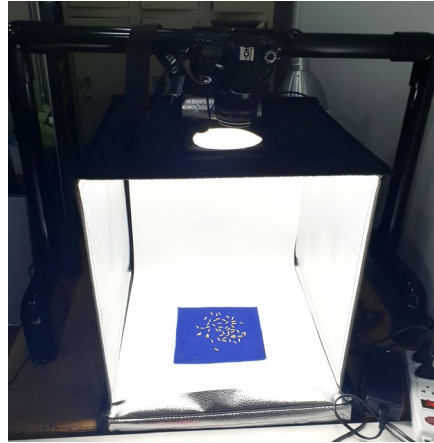
ประชากรที่ศึกษาคือ เมล็ดพันธุ์ข้าวที่นำมาจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี เป็นข้าวปลูก 6 สายพันธุ์ และข้าววัชพืช 4 สายพันธุ์ โดยแต่ละสายพันธุ์ไม่ปะปนกับสายพันธุ์อื่นๆ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การเก็บรวบรวมรูปภาพทางผู้วิจัยได้ใช้กล้อง Cannon 77D เลนส์ fix 35 mm. ถ่ายในระบบปิดควบคุมสภาพแวดล้อมทั้งแสงและมุมในการถ่าย ถ่ายบนพื้นหลังเป็นผ้าสีกหลาดสีน้ำเงินโดยใช้ขาตั้งกล้องและกล่องสำหรับถ่ายภาพตลอดการเก็บรวบรวมข้อมูล และใช้กล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่น iPhone 6s, iPhone 7, iPhone 7 Plus, iPhone 11 และ Redmi Note 5 ถ่ายบนพื้นหลังกระดาษสีขาวและถ่ายแบบระบบเปิดโดยเปิดแฟลชโทรศัพท์เคลื่อนที่ตลอดการเก็บรวบรวมข้อมูล



ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพถ่ายเมล็ดข้าวด้วยอุปกรณ์กล้องแต่ละแบบ ได้แก่ DSLR, iPhone 6s, iPhone 7, iPhone 7 Plus, iPhone 11 และ Redmi Note 5



ภาพที่ 5 ภาพตัวอย่างการถ่ายภาพเมล็ดข้าวด้วยกล้อง DSLR โดยมีการยิงแสงไฟจากด้านบนลงไป
ที่เมล็ดข้าวเพื่อไม่ให้เกิดเงา และมีการควบคุมระยะเลนส์โดยใช้ขาตั้งกล้องตลอดการถ่ายภาพ

การแยกภาพเมล็ดข้าวออกจากพื้นหลัง (Image Segmentation) สำหรับภาพ DSLR ทางผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรม
ในการแยกภาพเมล็ดข้าวออกจากพื้นหลัง โดยเทียบความต่างของแสงและสีโดยซ้อนทับด้วยเลเยอร์ mask หลายชั้น
จากนั้นจึงเฉพาะเมล็ดข้าวออกมา สำหรับภาพจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทางผู้วิจัยได้ทำการ mask พื้นที่ที่เป็น
เมล็ดข้าวโดยใช้เครื่องมือ Magic tools ในโปรแกรม Photoshop จากนั้นทำการดึงเฉพาะภาพเมล็ดข้าวออกมาและ
ปรับเป็นขนาดภาพเป็น 128*128 pixel ก่อนจะนำไปเข้าโปรแกรม

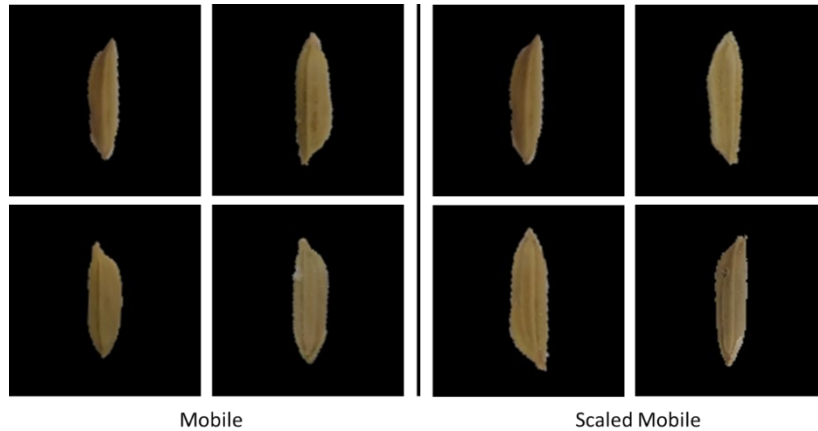


ภาพที่ 6 ภาพตัวอย่างข้าวปลูก 6 สายพันธุ์ที่ถ่ายจากกล้อง DSLR หลังจากทำ Segmentation



ภาพที่ 7 ภาพตัวอย่างข้าววัชพืช 4 สายพันธุ์ที่ถ่ายจากกล้อง DSLR หลังจากทำ Segmentation

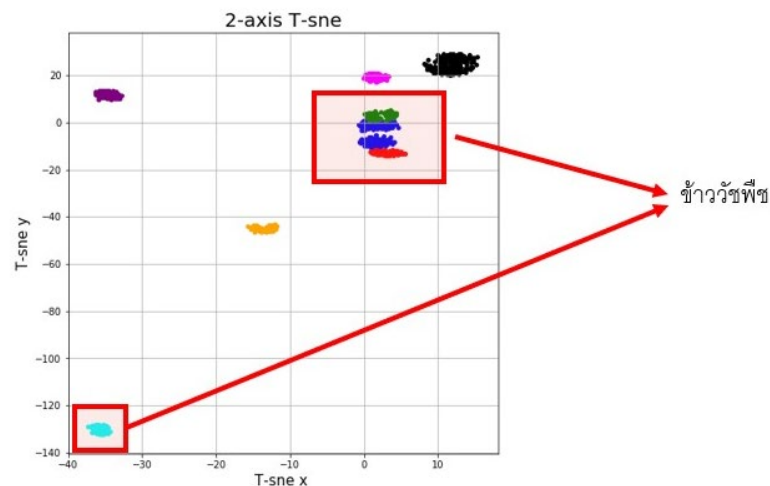
ทางผู้วิจัยทำการสเกลภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่เนื่องจากขนาดของภาพเมล็ดข้าวที่ถ่ายระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละรุ่นและกล้อง DSLR มีความต่างกัน โดยทางผู้วิจัยได้อ้างอิงขนาดจากขนาดของเหรียญบาท สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้เหรียญบาทเป็นตัวอ้างอิงเนื่องจากเหรียญบาทสามารถแยกออกจากเมล็ดข้าวและพื้นหลังได้โดยง่าย นำมาประยุกต์ใช้ได้ง่ายและมีขนาดที่ค่อนข้างคงที่



ภาพที่ 8 ซ้าย:ตัวอย่างภาพจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ขวา:ตัวอย่างภาพที่นำไปปรับสเกลโดยใช้เหรียญบาทเป็นตัวอ้างอิง



ภาพที่ 9 ตัวอย่างภาพที่ถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่และใช้เหรียญบาทในการอ้างอิงสเกล



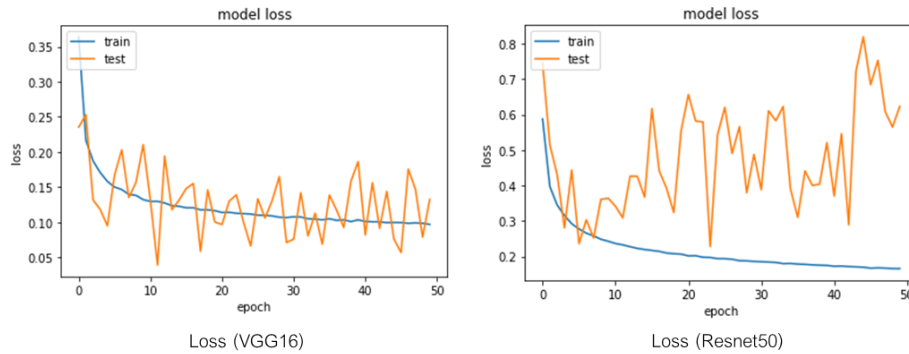
ภาพที่ 10 ภาพการจับกลุ่มของข้าวเมื่อนำฟีเจอร์ทได้จาก VGG16 เลย์เยอร์ก่อนสุดท้ายมาทำ Clustering ด้วย T-sne พบว่าแยกข้าววิชัยออกมาได้ค่อนข้างชัด

การนำตัวแบบที่ถูกเทรนแล้วและการถ่ายโอนความรู้มาใช้ (Pretrained model and Transfer learning) เริ่มต้นผู้วิจัยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักจากชุดข้อมูล image-net นำมาเทรนเฉพาะชุดเลเยอร์ส่วนท้าย (สำหรับVGG16 จะเป็น 3 layers สุดท้าย) เพื่อให้ตัวแบบเกิดการเรียนรู้และปรับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละโหนดภายในตัวแบบกับชุดข้อมูลภาพเมล็ดข้าวที่เตรียมไว้ โดยจะใช้ภาพจาก DSLR และภาพจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งในไลบรารีของ keras มีตัวแบบที่ถูกเทรนไว้แล้วให้ใช้ได้แก่ Xception, VGG, ResNet, Inception, MobileNet, DenseNet, NASNet และ EfficientNet ทางผู้วิจัยเลือกสร้างตัวแบบด้วย VGG และ Resnet เนื่องจากเป็นตัวแบบที่ถูกเทรนด้วยรูปภาพจาก Image-net ที่มีรูปถึง 1.2 ล้านภาพและชนะรางวัลด้านการทำตัวแบบถ่ายโอนความรู้ทั้งคู่ ซึ่งคาดว่าจะได้ Perceptual features แบบเดียวที่มนุษย์มองหรือสังเกตมา ประกอบกับมีจำนวนพารามิเตอร์จำนวนมากทำให้มีความ Generalize ได้ดี ทางผู้วิจัยได้นำคุณลักษณะที่ตัวแบบใช้ในการทำนาย มาแสดงผลการจัดกลุ่มอย่างคร่าว ด้วย T-sne (Rezende et al., 2018) ดังภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าภาพของข้าววัชพืชนั้น มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกันระดับหนึ่งที่จะคัดแยกออกจากข้าวปลูกได้ ในการเลือกวิธีการป้อนข้อมูลเพื่อเทรนตัวแบบ จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าเมื่อนำตัวแบบมาทำการถ่ายโอนความรู้ ตัวแบบจะปรับตัวไปกับชุดข้อมูลล่าสุดและลืมชุดข้อมูลก่อนหน้า ทางผู้วิจัยจึงทดลองการนำข้อมูลไปเทรนตัวแบบในรูปแบบที่ต่างกัน เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมกับการเทรนตัวแบบด้วยการถ่ายโอนความรู้ต่อไป

การสร้างตัวแบบทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองตัวแบบ VGG16 และ Resnet50 มาทำการถ่ายโอนความรู้เพื่อทำนายข้อมูล 2 คลาส (คลาส Rice และ Weed) แบ่งขนาดชุดข้อมูลเป็นอัตราส่วน 70:15:15 โดยขนาดข้อมูลที่ใช้เทรน (Train set) มีขนาด 70,000 รูป (ร้อยละ 70) ขนาดข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบและปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Validate set) มีขนาด 15,000 รูป (ร้อยละ 15) และขนาดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสุดท้าย (Test set) 15,000 รูป (ร้อยละ 15) พบว่า VGG16 มีความแม่นยำโดยรวมดีกว่าที่ร้อยละ 94.60 ในขณะที่ตัวแบบ Resnet50 ค่าความสามารถในการจดจำ (Recall) คลาส Rice อยู่ในระดับที่ต่ำ ทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกใช้ตัวแบบ VGG16 ในการทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 1 แสดง Confusion matrix ในการจำแนกข้าววัชพืช โดยใช้ชุดทดสอบภาพ DSLR

Class	VGG16		Resnet50	
	Rice	Weed	Rice	Weed
Precision	89%	96%	89%	79%
Recall	85%	97%	2%	100%
F1-score	87%	93%	5%	94%
Accuracy	94.60%		79.3%	



ภาพที่ 11 แสดงถึงกราฟ Loss ในขณะเทรนตัวแบบ VGG16 และ Resnet50 พบว่า Resnet50 เรียนรู้ข้อมูลได้ดี แต่ไม่สามารถจดจำข้อมูลใน test set ได้ หมายความว่าตัวแบบจะมีความ Overfitting

จากนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการ Fine-tuning model เพื่อหาไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นอัตราส่วนตามข้างต้น กล่าวคือแบ่ง Train: Validated: Test เท่ากับ 70:15:15 โดยการสุ่มเลือกชุดข้อมูลแบบ Uniform ในแต่ละคลาส และกำหนดคลาสของข้าวเป็น 5 คลาส ได้แก่ ข้าววัชพืช 4 คลาส (ได้แก่ ดิดตันสูง ดิดเตี้ย ข้าวลาย และ ข้าวหาง) และข้าวปลูก 6 สายพันธุ์ ผสมรวมเป็น 1 คลาส (ได้แก่ ชัยนาท2 ดอกมะลิ105 เหลืองปะทิว123 ปทุมธานี1 พิษณุโลก2 และ กข.43) เนื่องจากในแต่ละคลาสมีจำนวนตัวอย่างภาพไม่เท่ากันจึงใช้การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละคลาส ทำการทดลองเลือก Optimizer โดยเปรียบเทียบทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ SGD, adam และ RMSprop นำมาเทรนและทดสอบด้วยรูปภาพ DSLR พบว่าตัวแบบที่ใช้ SGD เป็น Optimizer มีค่าเฉลี่ย F1-score และ Accuracy ดีที่สุดที่ร้อยละ 89 และร้อยละ 94 ตามลำดับ

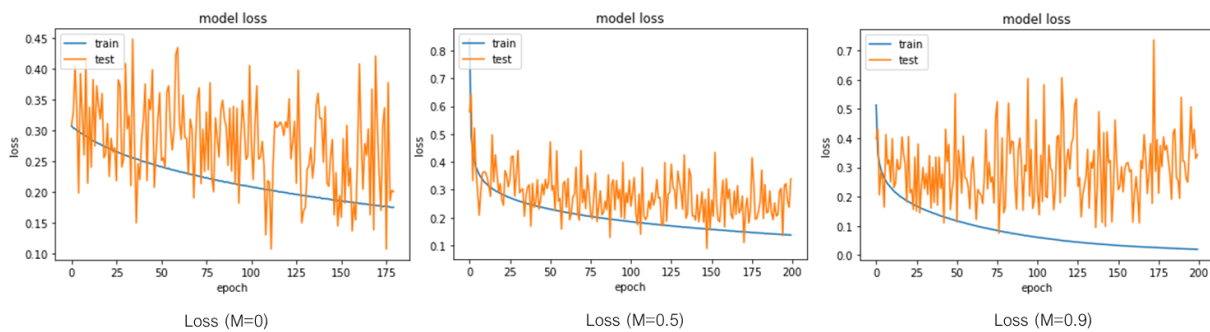
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย F1-score และ Accuracy ของตัวแบบโดยใช้ Optimizer ด้วย SGD, adam และ RMSprop

Optimizer Selection	TEST	
	F1-score	Accuracy
TRAIN		
DSLR (SGD)	89%	94%
DSLR (adam)	76%	89%
DSLR (RMSprop)	76%	89%

ทำการเปรียบเทียบค่า Momentum ที่ 0, 0.5 และ 0.9 ตามลำดับ นำมาเทรนตัวแบบโดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นอัตราส่วนตามข้างต้น กล่าวคือแบ่ง Train: Validated: Test เท่ากับ 70:15:15 จากชุดข้อมูลทั้งหมด 10,000 ภาพ พบว่า Momentum ที่ค่า 0.9 มีค่า F1-score และ Accuracy ดีที่สุด ที่ร้อยละ 99.90 และร้อยละ 99.90 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย F1-score และ Accuracy ของตัวแบบโดยใช้ Momentum ที่ 0, 0.5 และ 0.9 ตามลำดับ

Momentum	TEST	
TRAIN	F1-score	Accuracy
DSLR (m=0)	89%	94%
DSLR (m=0.5)	90%	95%
DSLR (m=0.9)	99.90%	99.90%



ภาพที่ 12 แสดงถึงกราฟของ Loss เมื่อเทรนด้วย SGD เป็น Optimizer และใช้ Momentum ที่ 0, 0.5 และ 0.9 ตามลำดับ ในส่วนของตัวแบบที่ใช้ Momentum เท่ากับ 0.9 ตัวแบบมีความแม่นยำสูง แต่ระหว่าง train set และ test set มีความแตกต่างกันมาก ซึ่งหมายความว่าตัวแบบมีความ low bias และ high variance ส่งผลให้เกิด Overfitting ได้

นำตัวแบบที่ใช้ Backbone เป็น VGG16 ใช้ SGD เป็น Optimizer ของตัวแบบ ทำการสร้างตัวแบบด้วยการถ่ายโอนความรู้จากชุดข้อมูล แบ่งเป็น 6 แบบ ดังนี้

1. เทรนตัวแบบด้วยภาพจากกล้อง DSLR เท่านั้น (DSLR)
2. เทรนตัวแบบด้วยภาพกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้นฉบับ (Original Mobile)
3. เทรนตัวแบบด้วยภาพกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ปรับขนาดด้วยตัวอ้างอิงสเกล (Scaled mobile)
4. เทรนตัวแบบด้วยการนำภาพจาก DSLR และ Scaled mobile ในครั้งเดียว (MIX)
5. นำตัวแบบที่เทรนจากภาพถ่าย DSLR มาเทรนซ้ำด้วยภาพ Scaled mobile และให้ Validate set มีรูปภาพจากทั้งสองแบบ (Retrain1)
6. นำตัวแบบที่เทรนจากภาพถ่าย DSLR มาเทรนซ้ำด้วยภาพ Scaled mobile และภาพจาก DSLR โดยภาพนำมาเพียงสามในสิบส่วนของตัวแบบที่ใช้เทรนในข้อที่ 1 (Retrain2)

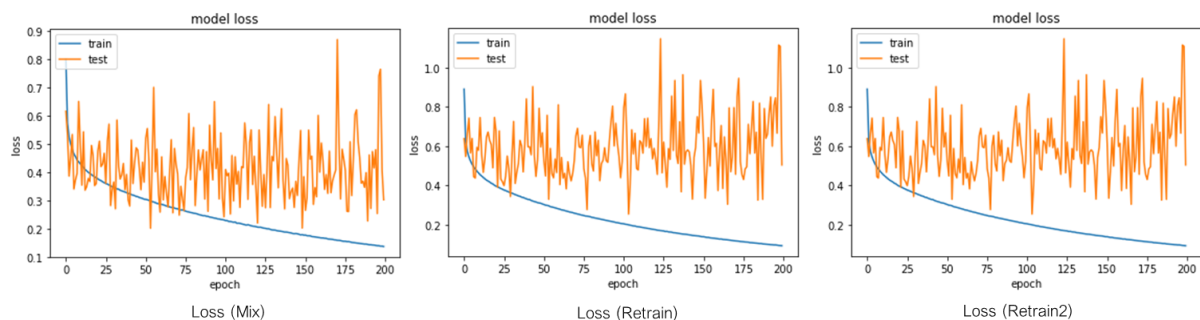
จากนั้นทำการวัดผลโดยนำตัวแบบมาทดสอบด้วยชุดข้อมูลทั้ง 3 ชุด ได้แก่ ชุดภาพทดสอบ DSLR 1,500 รูป ชุดภาพทดสอบ Mobile 1,500 รูป และ ชุดภาพทดสอบ Scaled mobile 1,500 รูป ตามที่แบ่งโดยข้างต้น

ผลการวิจัย

ทำการทดลองด้วยการนำตัวแบบ VGG16 ที่ถูกเทรนทั้ง 6 แบบในข้างต้น มาทดสอบด้วยชุดข้อมูลภาพ DSLR, Original Mobile และ Scaled mobile โดยการแบ่งภาพเมล็ดข้าวเป็น 5 คลาส (ข้าววัชพืช 4 คลาส และ ข้าวปลูก 1 คลาส) พบว่าผลการทดสอบตัวแบบที่ถูกเทรนด้วยภาพ DSLR เมื่อนำมาทำการทดสอบด้วยภาพ Scaled mobile พบว่ามีความแม่นยำมากกว่าตัวแบบที่เทรนด้วยชุดข้อมูลภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่ปกติที่ร้อยละ 66 และ ร้อยละ 71 ตามลำดับ จึงคาดว่าในการทำ Scaled mobile เพื่อให้ขนาดของรูปใกล้เคียงกันจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น จากนั้นทางผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบจากชุดข้อมูลภาพ DSLR และ Scaled mobile แบ่งวิธีป้อนข้อมูลเป็นดังนี้ (1) Mix method โดยนำภาพจาก DSLR และ Scaled mobile นำไปสร้างตัวแบบ (2) Retrain1 method นำตัวแบบที่ถูกเทรนเสร็จด้วยภาพจาก DSLR นำไปเทรนซ้ำอีกครั้งโดยใช้ภาพจาก Scaled mobile แต่ปรับแต่ง validate set ให้มีทั้งภาพจาก DSLR และ Scaled mobile (3) Retrain2 method เช่นเดียวกับวิธีก่อนหน้านี้ แต่ในการเทรนครั้งที่สอง จะป้อนภาพ DSLR ในอัตราส่วนสามในสิบส่วนในการและคง validate set เช่นเดียวกับวิธีที่ (2) ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ตัวแบบจะปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้ใกล้เคียงกับชุดข้อมูลล่าสุด โดยค่าความแม่นยำในการทดสอบด้วย Scaled mobile ถึงแม้ตัวแบบจะมีความแม่นยำมากถึง 100% แต่ตัวแบบจะลืมชุดข้อมูลที่เทรนด้วยชุดภาพ DSLR ก่อนหน้าไป ดังนั้น วิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีจึงเป็นวิธี Mix และ Retrain2 ที่มีข้อมูลของทั้งสองรูปแบบอยู่ในการเทรนตัวแบบ

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ Transfer learning ในการวัดผลด้วยภาพจาก DSLR, Mobile (ต้นฉบับ) และ Scaled mobile

Experimental	TEST SET					
	DSLR		Original Mobile		Scaled Mobile	
TRAIN SET	F1-score	Accuracy	F1-score	Accuracy	F1-score	Accuracy
DSLR	89%	94%	15%	49%	38%	67%
Original Mobile	48%	66%	76%	87%	64%	78%
Scaled Mobile	33%	71%	30%	62%	74%	87%
MIX	90%	95%	37%	65%	85%	92%
Retrain1	43%	71%	29%	60%	99%	100%
Retrain2	77%	89%	38%	63%	84%	92%



ภาพที่ 13 แสดงถึงกราฟของ Accuracy และ Loss เมื่อเทรนด้วยข้อมูลแบบ Mix, Retrain และ Retrain2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย loss ของวิธี mix มีค่าน้อยที่สุดในการเทรนตัวแบบ

จากข้างต้นจึงสรุปได้ว่า ในการนำตัวแบบไปใช้ทำการถ่ายโอนความรู้หรือนำตัวแบบมาเทรนซ้ำด้วยข้อมูลชุดใหม่ ควรนำข้อมูลที่ถูกละทิ้งไปก่อนหน้าบางส่วนนำกลับมาเทรนพร้อมกัน เช่น ภาพจากกล้องโทรศัพท์รุ่นใหม่ หรือภาพจากอุปกรณ์อื่น เพื่อให้ตัวแบบยังคงจดจำและเรียนรู้จากข้อมูลทุกแบบได้

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การปรับไฮเปอร์พารามิเตอร์และวิธีการแบ่งชุดข้อมูลในการเทรนตัวแบบ เพื่อให้ตัวแบบสามารถจำแนกภาพเมล็ดข้าววัชพืชและข้าวปลูกได้อย่างแม่นยำ จากการทดลองพบว่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่ทางผู้วิจัยเลือกใช้ได้แก่ตัวแบบ VGG16 และเลือกใช้ Optimizer เป็น SGD ปรับพารามิเตอร์ Momentum เท่ากับ 0.9 และ learning rate เท่ากับ 0.0001 ทั้งนี้ การสร้างตัวแบบโดยวิธีถ่ายโอนความรู้ในแต่ละครั้ง ตัวแบบจะยังคงทำนายแม่นยำกับชุดข้อมูลที่ถูกละทิ้งเข้าไปในครั้งล่าสุดเสมอ ทางผู้วิจัยจึงเสนอว่าควรจะมีตัวแบบบางส่วนจากการเทรนตัวแบบครั้งก่อนหน้าไปด้วยเสมอเพื่อให้ตัวแบบจะยังทำนายและสามารถจดจำชุดข้อมูลที่ถูกละทิ้งไปแล้วในรอบก่อน แต่ชุดข้อมูลจะมีขนาดเล็กลง จากตารางที่ 4 พบว่าหากเราผสมชุดข้อมูลที่มีความหลากหลายมากและใกล้เคียงกับการนำไปใช้งานเช่น วิธีที่ (1) Mix method ที่รวมภาพ DSLR และ Scaled mobile มีผลการทดสอบให้ความแม่นยำดีกว่าตัวแบบที่ถูกละทิ้งด้วยข้อมูลภาพชุดเดียว

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้จริง หากชุดข้อมูลภาพมีความแตกต่างจากชุดข้อมูลที่ถูกละทิ้งให้ตัวแบบ ยกตัวอย่างเช่น เป็นภาพโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นใหม่ อาจส่งผลให้ตัวแบบมีความแม่นยำลดลงได้ ในงานวิจัยในอนาคตอาจเพิ่มชุดข้อมูลหรือทำ Data augmentation เพื่อเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูล หรือใช้โครงข่ายประสาทเทียม เช่น Mask-RCNN เพื่อแยกภาพเมล็ดข้าวจากพื้นหลังได้หลากหลายมากขึ้น
2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การปรับไฮเปอร์พารามิเตอร์และการแบ่งชุดข้อมูลเพื่อนำไปเทรนตัวแบบ สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจทดลองเจาะลึกไปที่การถ่ายโอนความรู้ตัวแบบ และเปรียบเทียบตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม เช่น VGG, ResNet, MobileNet, DenseNet, EfficientNet และ Yolo โดยปรับแต่งเลเยอร์ส่วนท้ายของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาว่าชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมหรือตัวแบบใดเหมาะสมกับรูปภาพหรืองานในลักษณะนี้

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการอุดหนุนการวิจัยจาก โครงการสร้าง Mobile Application สำหรับชาวนาเพื่อการตรวจสอบการจำแนกเมล็ดพันธุ์ข้าวออกจากข้าววัชพืชด้วยการประมวลผลภาพถ่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ สำหรับชาวนา โดยสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- Aukkapinyo, K., Sawangwong, S., P., P., and Kusakunniran, W. (2020). Localization and classification of rice-grain images using region proposals-based convolutional neural network. *International Journal of Automation and Computing*, 17, 233-246.

- Han, S. S., Park, G. H., Lim, W., Kim, M. S., Na, J. I., Park, I., and Chang, S. E. (2018). Deep neural networks show an equivalent and often superior performance to dermatologists in onychomycosis diagnosis: Automatic construction of onychomycosis datasets by region-based convolutional deep neural network. *PLoS ONE*, 13.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., and Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *The Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 27-30 June 2016, Las Vegas, NV, USA, 770-778.
- Joshi, M., and Patel, V. (2018). Convolutional neural network with transfer learning for rice type classification. *The proceedings of Tenth international Conference on Machine Vision (ICMV 2017)*, 13 April 2018, Vol. 10696, pp. 282-289.
- Lurstwut, B., and Pornpanomchai, C. (2017). Image analysis based on color, shape and texture for rice seed (*Oryza sativa* L.) germination evaluation. *Agriculture and Natural Resources*, 51(5), 383-389.
- Mehra, R. (2018). Breast cancer histology images classification: Training from scratch or transfer learning?. *ICT Express*, 4(4), 247-254.
- Rezende, E., Ruppert, G., Carvalho, T., Theophilo, A., Ramos, F., and de Geus, P. (2018). Malicious software classification using VGG16 deep neural network's bottleneck features. In *Information Technology-New Generation*. Springer, Cham., 51-59.
- Silva, C. S., and Sonnadara, D. (2013). Classification of rice grains using neural networks. *The Proceedings of the Technical Sessions (IPSL)*. Sri Lanka., 29, 9-14.
- Simonyan, K., and Zisserman, A. (2014). *Very deep convolutional networks for large-scale image recognition*. [Online]. Retrieved May 15, 2021 from: <https://arxiv.org/abs/1409.1556>.

กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย

เมธา ศิริกุล^{1,*}, นลินภัทร์ บำเพ็ญเพียร², ชนิกานต์ รอดมรณ์³

^{1,2}คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Received: 22 April 2021

Revised: 5 September 2022

Accepted: 6 September 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย ด้วยการนำปัจจัยด้านองค์กร ด้านนโยบายของหน่วยงานภาครัฐ ด้านผู้ถ่ายทอดเทคโนโลยี ด้านผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและด้านกระบวนการและเทคโนโลยีที่ใช้ในการถ่ายทอดมาใช้ในการพัฒนากรอบนโยบาย ทั้งนี้กระบวนการสำคัญประกอบด้วย (1) การกำหนดนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีของภาครัฐ (2) การนำนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปปฏิบัติ (3) การควบคุมและการประเมินผลนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี และ (4) การประเมินผลความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อประเมินคุณภาพกรอบนโยบายด้วยการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 2 กลุ่มๆ ละ 10 คนและวิธีการวิจัยเชิงปริมาณใช้แบบสอบถามความคิดเห็นต่อกรอบนโยบายกับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิจัยพบว่า กรอบนโยบายนี้มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการพัฒนานโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล นอกจากนี้ความคิดเห็นต่อปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของกรอบนโยบาย ความคิดเห็นกระบวนการของกรอบนโยบาย และความคิดเห็นต่อภาพรวมของกรอบนโยบายอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.74, 4.75 และ 4.84 คะแนนตามลำดับ)

คำสำคัญ: การถ่ายทอดเทคโนโลยี นโยบาย ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ กระบวนการ

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: s5807011910054@email.kmutnb.ac.th

A Framework of Technology Transfer from Government to Agriculturists Policy in Thailand

Metha Sirigool^{1,*}, Nalinpat Bhumpenpein², Chonnikarn Rodmorn³

^{1,2}Faculty of Information Technology, King Mongkut's University North Bangkok

³Faculty of Applied Science, King Mongkut's University North Bangkok

Received: 22 April 2021

Revised: 5 September 2022

Accepted: 6 September 2022

Abstract

This research aims to develop a policy framework for technology transfer from the government to farmers in Thailand by applying organizational factors, government agencies' policies, the technology transfer recipient, the technology transfer recipient and the process and technology used in the development of the policy framework. The crucial procedures include (1) developing government technology transfer policies, (2) putting those policies into practice, (3) overseeing and assessing those policies, and (4) assessing the effectiveness of those programs. The quality of the policy framework was evaluated using qualitative research techniques through focus group with two sets of ten experts and experts group participated in a quantitative research study using a policy framework questionnaire. The findings demonstrated that this policy framework is suitable and may be utilized to develop policy on technology transfer from the government to farmers with effectiveness and efficiency. The opinions on the factors influencing the success of the policy framework, the policy process procedures, and the overall policy framework were also at the highest levels (mean values were 4.74, 4.75 and 4.84 points, respectively).

Keywords: Technology Transfer, Policy, Significant Factors, Process

* Corresponding Author; E-mail: s5807011910054@email.kmutnb.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในขณะที่ปัจจุบันรัฐบาลได้มุ่งเน้นสนับสนุนให้ภาคการเกษตรได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต โดยได้กำหนดวิสัยทัศน์ คือ “ภาคเกษตรก้าวไกลด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม ตลาดนำการผลิต ชีวิตเกษตรกรมีคุณภาพ ทรัพยากรการเกษตรมีความสมดุลและยั่งยืน” โดยการนำเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาใช้ในการเกษตรจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่จะช่วยให้เกษตรกรได้รับประโยชน์เพิ่มขึ้น มีกระบวนการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพและเกิดการเติบโตอย่างมีศักยภาพ (Janssen et al., 2017) ด้วยเหตุนี้ การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมทั้งทางด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพมาใช้ในการทำเกษตรกรรมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการขยายกำลังการผลิต ลดต้นทุนการผลิต และลดระยะเวลาในการเพาะปลูก ลดการใช้แรงงาน และเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตให้สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมทั้งทางด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพมาใช้ในการทำเกษตรกรรมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการขยายกำลังการผลิต ลดต้นทุนการผลิต และลดระยะเวลาในการเพาะปลูก นอกจากนี้จะเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและลดต้นทุนแล้วการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้อย่างช่วยลดการใช้แรงงานและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตให้สูงขึ้น

สำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีของประเทศไทยถือได้ว่าเป็นกระบวนการหรือวิธีการดำเนินงานต่างๆ โดยการเข้าไปแนะนำถ่ายทอดให้กับเกษตรกร เพื่อให้เทคโนโลยีเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาคุณภาพการทำเกษตรกรรม อันเป็นประโยชน์ต่อการผลิต การใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการยกคุณภาพชีวิตของเกษตรกร แต่ปัจจุบันยังคงมีปัญหการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่สังคมชนบทของประเทศไทย เนื่องจากสังคมชนบทหรือกลุ่มเกษตรกรมีความแตกต่างกันมากในทุกภูมิภาค อีกทั้งอาจเกิดจากปัญหาอยู่ 2 ประการ คือ ปัญหาความเหมาะสมของเทคโนโลยี เนื่องจากความหลากหลายของเกษตรกรประเภทต่างๆ และปัญหากระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยเฉพาะทักษะความรู้ของผู้ถ่ายทอด (Gunt, 2015) เพราะฉะนั้นหากมีแนวทางหรือกรอบในการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะทำให้เกษตรกรได้รับประโยชน์จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการผลิตและการดำเนินงานด้านต่างๆ ได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร และพัฒนารอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย ตามแนวคิดการกำหนดนโยบายของ John, Milan, Dluhy and Roger (1981) และศึกษาหลักเกณฑ์ ทฤษฎีการถ่ายทอดเทคโนโลยี ยุทธศาสตร์ และแผนงานที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อให้นโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสม ทำให้เกษตรกรมีความรู้ด้านเทคโนโลยีมากขึ้น ส่งผลให้เทคโนโลยีดังกล่าวถูกนำไปใช้ในการพัฒนาเกษตรกรรมให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล นอกจากนั้นยังช่วยปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตการทำเกษตรกรรมของเกษตรกรให้มีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ท้ายสุดจะทำให้เกิดการพัฒนาเกษตรกรรมอย่างมั่นคงและยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนารอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับการกำหนดนโยบายสาธารณะเป็นการกำหนดแนวทางการดำเนินกิจกรรมของภาครัฐบาล การตัดสินใจดำเนินการของรัฐบาล การจัดสรรทรัพยากรทั้งหมดเพื่อ ประโยชน์ของประชาชน มีนักวิชาการหลายคนได้กำหนดขั้นตอนในการกำหนดนโยบายไว้อย่างน่าสนใจ เช่น Lasswell and Kaplan (1970) จำแนกกระบวนการในการกำหนดนโยบายออกเป็น 7 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ขั้นการค้นหาและรวบรวมข้อมูล (2) ขั้นการรับรองและสนับสนุนการกำหนดนโยบาย (3) ขั้นการดำเนินงานและการกำหนดนโยบาย (4) ขั้นการกำหนดนโยบายให้สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม (5) ขั้นการนำนโยบายไปประยุกต์ปฏิบัติ (6) ขั้นการประเมินผลนโยบาย (7) ขั้นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงขั้นการแสวงหาทางเลือกเพื่อนโยบาย William and Boyer (1975) ให้ข้อเสนอในการกำหนดนโยบายดังนี้ (1) ขั้นเสนอความคิด ริเริ่ม (2) ขั้นยกร่างนโยบายขั้นต้น (3) ขั้นการเข้ามีส่วนร่วมของสาธารณะชน (4) ขั้นการเข้ามีส่วนร่วม และ (5) ขั้นการประเมินผลทบทวนนโยบาย John, Milan, Dluhy and Roger (1981) จำแนกกระบวนการในการดำเนินนโยบายออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นวิจัยและวิเคราะห์นโยบาย (2) ขั้นการพัฒนาและกำหนด โครงสร้างนโยบาย (3) ขั้นการเสนอใช้และการนำนโยบายไปปฏิบัติ และ (4) ขั้นการประมาณการและการประเมินผลนโยบาย Dye (2002) ระบุถึงกระบวนการกำหนดนโยบายสาธารณะว่าเป็นกิจกรรมทางการเมืองที่อาจสรุปเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ 5 ขั้นตอน คือ (1) การระบุปัญหาเป็นขั้นตอน (2) การจัดทำข้อเสนอแนะนโยบาย (3) การประกาศเป็นนโยบาย (4) การดำเนินการตามนโยบาย (5) การประเมินผล

นอกจากนี้ Thanapongsathorn (2017) อธิบายกระบวนการกำหนดนโยบายประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การพิจารณาถึงปัญหาต่างๆ ที่ต้องการแก้ไข (2) การเสนอความคิดริเริ่ม เป็นขั้นของการเสนอแนะความคิดริเริ่มต่างๆ ที่จะเป็นหนทางในการแก้ไขปัญหาที่ได้รับการคัดเลือกแล้วว่ามีผลสำคัญระดับต้นๆ (3) การค้นหารวบรวมข่าวสารข้อมูลและปัจจัยต่างๆ เพื่อเป็นหลักประกันได้ว่าความคิดริเริ่มต่างๆ ที่สามารถนำมาปฏิบัติได้และสามารถแก้ไขปัญหาได้สำเร็จตามเป้าหมาย (4) การยกร่างนโยบายเบื้องต้น เมื่อได้ประมวลรวบรวมข่าวสารข้อมูลและปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะเป็นเครื่องตัดสินใจเอาไว้อย่างคร่าวๆ โดยอาจที่จะมีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ในภายหลัง (5) การแก้ไขเปลี่ยนแปลงร่างนโยบาย ผู้กำหนดนโยบายควรจะได้รับฟังความคิดเห็นทัศนคติและปฏิกิริยาจากประชาชน กลุ่มชนและองค์กรต่างๆ เกี่ยวกับร่างนโยบายเปิดโอกาสให้ประชาชนและกลุ่มอิทธิพลต่างๆ ได้แสดงทรรศนะที่จะยอมรับหรือไม่ยอมรับร่างนโยบายนั้นๆ (6) การกำหนดหรือวางนโยบายดำเนินการวางหรือกำหนดนโยบาย เป็นขั้นสุดท้ายซึ่งเท่ากับว่าภารกิจในการกำหนดนโยบายใกล้ที่จะสิ้นสุดลงแล้วและ (7) การประกาศใช้นโยบาย เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการกำหนดนโยบาย และเป็นการเริ่มต้นของการนำเอานโยบายไปปฏิบัติอาจเป็นการประกาศในรัฐสภาซึ่งถือว่าการแถลงนโยบายโดยประกาศโดยตรงต่อประชาชนหรือโดยผ่านสื่อมวลชนต่างๆ เป็นต้น Suksan (2008) เสนอว่ากระบวนการกำหนดนโยบายสาธารณะมี 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่ (1) การก่อตัวของนโยบายสาธารณะ เป็นการระบุสภาพปัญหาสาธารณะให้ชัดเจนเสียก่อนว่าปัญหานี้เป็นปัญหาของใคร ใครได้รับความเดือดร้อนบ้าง ถ้ารัฐบาลไม่เข้าไปแก้ไขจะทำให้เกิดผลกระทบอะไรตามมาถ้ารัฐบาลเข้าไป แก้ไข ใครจะได้ประโยชน์ ใครเสียประโยชน์ และใครควรจะเป็นผู้รับผิดชอบในการนำนโยบายไปปฏิบัติให้บรรลุผลสำเร็จการก่อตัวของนโยบายจึงมิใช่เพียงแต่ระบุปัญหาสาธารณะเท่านั้น แต่จะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการนำนโยบายไปปฏิบัติอีกด้วย (2) การเตรียมเสนอร่างนโยบาย ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การวางข้อกำหนดเกี่ยวกับจุดมุ่งหมายของนโยบาย การเสนอทางเลือกของนโยบายและการจัดทำร่างนโยบายและ (3) การอนุมัติและประกาศเป็นนโยบาย ขั้นตอนนี้ ประกอบด้วย การคัดเลือกข้อเสนอ

นโยบายการสร้างเสียงสนับสนุนทางการเมือง และการประกาศใช้นโยบายสาธารณะ ซึ่งจากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า แนวคิดของนักวิชาการที่เสนอกระบวนการกำหนดนโยบายต่างก็มีความคิดเห็นที่คล้ายคลึงและแตกต่างกัน เช่น Dye and Thomas (2002) กล่าวว่ากระบวนการกำหนดนโยบายครอบคลุมถึงการนำนโยบายไปปฏิบัติและประเมินผล ขณะที่ Suksan (2008) เสนอว่ากระบวนการกำหนดนโยบายสาธารณะสิ้นสุดลงในขั้นตอนการอนุมัติและประกาศใช้นโยบาย จากการวิเคราะห์แนวคิดต่างๆ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ John, Milan, Dluhy and Roger (1981) นอกจากนี้จากการศึกษา Kawichai et al. (2017) พบว่า รูปแบบของกระบวนการนโยบายเกษตรอินทรีย์ประกอบด้วย บทบาทขององค์กรปกครองท้องถิ่นต่อกระบวนการทางนโยบายเกษตรอินทรีย์ และวิธีการขับเคลื่อนกระบวนการนโยบายเกษตรอินทรีย์ขององค์กรปกครองท้องถิ่น มาเป็นพื้นฐานในการศึกษาการกำหนดนโยบายครั้งนี้ และ Onooma et al. (2015) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีของสถานประกอบการขนาดใหญ่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับหรือใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีของบุคลากร ขนาดกลางและขนาดเล็ก ได้แก่ ความเต็มใจในการถ่ายทอดเทคโนโลยีของผู้ให้/เจ้าของ แสดงให้เห็นว่า ผู้ถ่ายทอดมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จของนโยบายด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบแผนการวิจัยแบบผสมวิธีเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

(1) แบบสอบถาม (Questionnaire) ซึ่งสร้างตามวัตถุประสงค์และกรอบแนวคิดที่กำหนดขึ้นแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม มีลักษณะเป็นคำถามให้เลือกตอบและเติมคำ ตอนที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรจากภาครัฐสู่เกษตรกร มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating scale) ตามแนวคิดของ Likert ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรจากภาครัฐสู่เกษตรกร เป็นคำถามปลายเปิด (Opened-End Questions)

(2) ประเด็นคำถามที่ใช้ในการสนทนากลุ่มย่อย (Focus group) ได้กำหนดขึ้นจากกรอบแนวคิดในการศึกษาที่กำหนดไว้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีวิจัยเชิงคุณภาพใช้วิธีการการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีความเชี่ยวชาญและเกี่ยวข้องกับการทำเกษตรกรรมในพื้นที่ ประกอบด้วย นักวิเคราะห์นโยบายและแผน นักเทคโนโลยี นักวิชาการเกษตร นักถ่ายทอดเทคโนโลยี และผู้นำชุมชนในจังหวัดปทุมธานี จำนวน 2 กลุ่มๆ ละ 10 ท่าน เพื่อเปรียบเทียบผลการสนทนากลุ่ม โดยผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คน ซึ่งเป็นตัวแทนของผู้เชี่ยวชาญเชิงปฏิบัติการด้านการวิเคราะห์นโยบายและแผน ด้านเทคโนโลยี ด้านวิชาการเกษตร ด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยี และด้านผู้นำชุมชน โดยใช้เกณฑ์พิจารณาคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย มีประสบการณ์ในงานไม่น้อยกว่า 10 ถึง 14 ปี ดำรงตำแหน่งในระดับไม่ต่ำกว่าหัวหน้างาน อยู่ในพื้นที่เป้าหมายของงานวิจัย ส่วนผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2 เป็นตัวแทนของผู้เชี่ยวชาญในระดับอาวุโส

โดยใช้เกณฑ์พิจารณาคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญกลุ่มนี้ประกอบด้วย มีประสบการณ์ในงานตั้งแต่ 15 ปี ขึ้นไป ดำรงตำแหน่งในระดับไม่ต่ำกว่าผู้บริหาร หรือผู้เชี่ยวชาญในวิชาชีพ หรือเป็นผู้นำชุมชนระดับท้องถิ่นอยู่ในพื้นที่เป้าหมายของงานวิจัย อีกทั้ง ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 กลุ่มนี้ได้ร่วมตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จที่ส่งผลต่อนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร โดยมีขั้นตอนตามแนวทางของ John, Milan, Dluhy and Roger (1981) และ Onooma et al. (2015) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยได้ศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและวิเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จที่ส่งผลต่อนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรด้วยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ แบบ Stepwise ณ ระดับความสำคัญที่ 0.05 พบว่ามี จำนวนทั้งสิ้น 15 ปัจจัย (แสดงปัจจัยทั้งหมดในหัวข้อย่อยกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย)

ขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยนำปัจจัยความสำเร็จที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นำมาให้ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 1 พิจารณาปัจจัยความสำเร็จที่ส่งผลต่อนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร โดยวิธีการเชิงคุณภาพคือการสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญร่วมกับวิธีการเชิงปริมาณโดยใช้แบบสอบถามแบบอันตรภาคชั้น 5 ระดับพร้อมทั้งคำถามแบบปลายเปิด โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ตรวจสอบความสำคัญอีกครั้งหนึ่งของปัจจัยความสำเร็จที่ส่งผลต่อนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในพื้นที่เป้าหมายของงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 3 ผู้วิจัยได้นำผลการพิจารณาปัจจัยความสำเร็จที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาดำเนินการวิเคราะห์และสังเคราะห์ โดยปรับปรุงตามข้อเสนอของผู้เชี่ยวชาญชุดที่ 1 จากนั้นนำปัจจัยความสำเร็จดังกล่าวมาออกแบบและพัฒนาแบบจำลองหรือกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย เพื่อนำผลที่ได้นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2 พิจารณา โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ การตรวจสอบความเหมาะสมและคุณภาพของกรอบนโยบาย โดยวิธีการเชิงคุณภาพคือการสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญร่วมกับวิธีการเชิงปริมาณโดยใช้แบบสอบถามแบบอันตรภาคชั้น 5 ระดับพร้อมทั้งคำถามแบบปลายเปิด

ขั้นตอนที่ 4 ผู้วิจัยได้นำกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร ซึ่งเป็นผลที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลเชิงปริมาณ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และข้อมูลเชิงคุณภาพ ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis)

ผลการวิจัย

1. กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย

กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย มีองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร และกระบวนการดำเนินงาน โดยที่ องค์ประกอบที่หนึ่ง ปัจจัยสำคัญดังกล่าวมีจำนวน 5 ด้าน รวม 15 ปัจจัย ดังนี้

ด้านที่ 1 ปัจจัยด้านองค์กร จำนวน 1 ตัวแปร ได้แก่ (1) การตัดสินใจ การดำเนินงาน ผลประโยชน์ และ ประเมินผล เกิดจากการมีส่วนร่วมของคนในองค์กร

ด้านที่ 2 ปัจจัยด้านนโยบายของหน่วยงานภาครัฐ จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ (1) มีการปฏิบัติตามนโยบายเพื่อให้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรสู่เกษตรกร (2) มีบุคลากรที่มีศักยภาพเพียงพอในการดำเนินการตามนโยบาย และ (3) ให้การสนับสนุนและช่วยเหลืออย่างเพียงพอแก่เกษตรกรหลังจากได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อการดำเนินงานของเกษตรกร

ด้านที่ 3 ปัจจัยด้านผู้ถ่ายทอดเทคโนโลยี จำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ (1) สามารถใช้ความรู้เทคโนโลยีได้อย่างครอบคลุมและครบถ้วนในการถ่ายทอดและสามารถเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงได้ (2) มีทัศนคติที่ดีและเข้าใจต่อความต้องการของผู้รับการถ่ายทอด (3) มีทักษะทางภาษาและความสามารถในการใช้สื่อเพื่อการถ่ายทอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ (4) มีสถานภาพด้านความรู้และวุฒิภาวะมีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับของกลุ่มผู้รับการถ่ายทอด

ด้านที่ 4 ปัจจัยด้านผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ (1) มีความรู้พื้นฐานเพียงพอต่อการรับรู้เพื่อเข้าร่วมกิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีได้ (2) มีทัศนคติที่ดีต่อการยอมรับการถ่ายทอดและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการพัฒนางานเกษตร และ (3) สามารถนำเทคโนโลยีที่ได้รับจากการถ่ายทอดไปประยุกต์ใช้ในการทำเกษตรของตนเองและเครือข่ายได้

ด้านที่ 5 ปัจจัยด้านกระบวนการและเทคโนโลยีที่ใช้ในการถ่ายทอด จำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ (1) รูปแบบและเทคโนโลยีที่ถ่ายทอดมีขั้นตอนการใช้งานเข้าใจง่ายและไม่ซับซ้อน (2) กระบวนการและเทคโนโลยีในกิจกรรมการถ่ายทอดแก่เกษตรกรมีความเหมาะสม (3) เทคโนโลยีมีความเหมาะสมในการถ่ายทอดและสามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ (4) เทคโนโลยีที่ถ่ายทอดมีวิธีการดูแลรักษาและสามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย

องค์ประกอบที่สอง กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีของภาครัฐ มีกระบวนการดำเนินงาน 4 กระบวนการประยุกต์จากแนวคิดของ John, Milan, Dluhy & Roger (1981) ดังภาพที่ 1 และมีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการที่ 1 การกำหนดนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีของภาครัฐ โดยมี 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การกำหนดทิศทางกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีของภาครัฐ และ (2) การวางแผนพัฒนากรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร

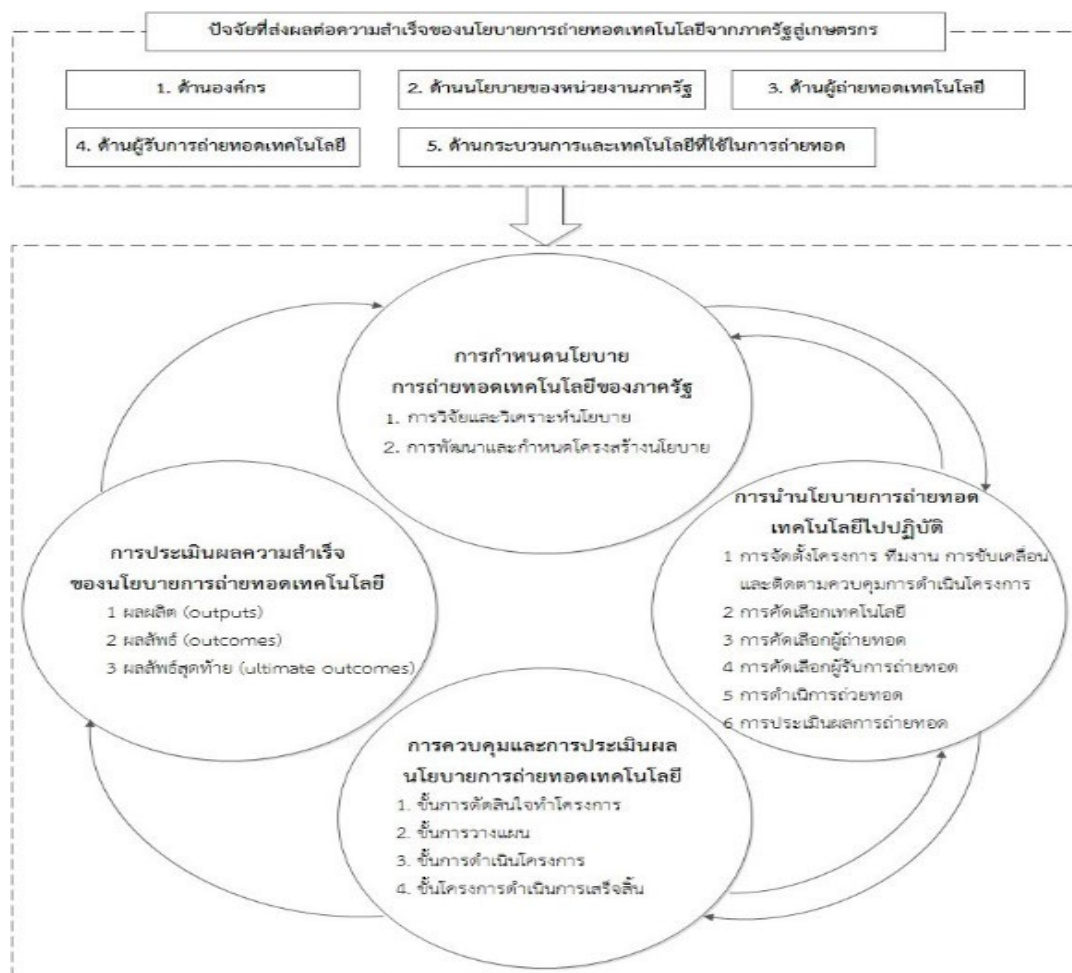
กระบวนการที่ 2 การนำนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปปฏิบัติ มี 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การจัดตั้งโครงการทีมงาน การขับเคลื่อน และการติดตามควบคุมการดำเนินโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร (2) การคัดเลือกเทคโนโลยีการเกษตร (3) การคัดเลือกผู้ถ่ายทอด (4) การคัดเลือกผู้รับการถ่ายทอด (5) การดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยี และ (6) การประเมินผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี

กระบวนการที่ 3 การควบคุมและการประเมินผลนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี มี 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ขั้นการตัดสินใจทำโครงการ (2) ขั้นวางแผน (3) ขั้นดำเนินโครงการ และ (4) ขั้นโครงการเสร็จสิ้น

กระบวนการที่ 4 การประเมินผลความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี มี 2 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ผลผลิต (OUTPUT) คือ การดำเนินงานบรรลุตามนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นผลผลิตได้ การดำเนินงานบรรลุตามแผนของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลสำเร็จในการสร้างมูลค่าเพิ่มเชิงกลยุทธ์ของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี ตอบสนองวัตถุประสงค์ของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี และ (2) ผลลัพธ์ (OUTCOME) คือ การดำเนินงานบรรลุตามนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นผลลัพธ์ในการนำเทคโนโลยีการเกษตรมาใช้แก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพตามนโยบายที่วางไว้ การทำงานเป็นระบบ การทำงานเร็วขึ้น ทำให้เพิ่มขีดความสามารถของเกษตรกร และการทำเกษตรกรรมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นำเทคโนโลยีการเกษตรที่ได้รับจากการถ่ายทอดมาใช้

ประโยชน์ คุ่มค่าต่อการลงทุน เพิ่มผลผลิต และเพิ่มรายได้ แก่เกษตรกรนำความรู้และเทคโนโลยีเกษตรที่ได้รับจากการถ่ายทอดไปใช้กับเครือข่ายทางการเกษตร และเกิดการใชงานอย่างกว้างขวางเชื่อมโยงกันต่อไป

นอกจากนี้ ภายใต้กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบฟอร์มในรูปแบบเอกสาร เพื่อความสะดวกในการดำเนินงานจำนวน 20 แบบฟอร์มที่ได้ผ่านการพิจารณาคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญร่วมกันเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 1 กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรตามแนวคิดของ John, Milan, Dluhy and Roger (1981)

2. กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย

ผู้วิจัยดำเนินการประเมินคุณภาพของกรอบนโยบาย โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 20 ท่าน ประกอบด้วยนักวิเคราะห์นโยบายและแผน นักเทคโนโลยี นักวิชาการเกษตร นักถ่ายทอดเทคโนโลยี และผู้นำชุมชน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 10 ท่าน สรุปผลการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้ดังต่อไปนี้

องค์ประกอบที่ 1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 กลุ่ม มีความคิดเห็นต่อปัจจัยที่พัฒนาขึ้นจำแนกตามองค์ประกอบด้านต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัย

นำเข้า มีความถูกต้อง มีความชัดเจน มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน และสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์อยู่ในระดับมากที่สุด ดังตารางที่ 1 โดยผู้เชี่ยวชาญได้เสนอแนะว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของกรอบนโยบายมีความละเอียดครอบคลุมครบทุกด้านและเหมาะสมนำไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม อาจพิจารณาปัจจัยด้านงบประมาณและเวลาในการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับบริบทของเกษตรกรเพิ่มเติมด้วยได้

ตารางที่ 1 ความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านปัจจัยของกรอบนโยบาย (n = 20)

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			
	กลุ่มที่ 1		กลุ่มที่ 2	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
ความชัดเจนของปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของนโยบายฯ	4.70	0.48	4.80	0.42
ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	4.80	0.42	4.90	0.32
ความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้	4.70	0.48	4.60	0.52
ภาพรวมของปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของกรอบนโยบาย	4.70	0.48	4.70	0.48
เฉลี่ย	4.73	0.47	4.75	0.44

องค์ประกอบ 2 กระบวนการของกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 กลุ่ม มีความคิดเห็นต่อกระบวนการที่พัฒนาขึ้น มีความถูกต้อง มีความชัดเจน มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานและสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์อยู่ในระดับมากที่สุด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการของกรอบนโยบาย (n = 20)

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			
	กลุ่มที่ 1		กลุ่มที่ 2	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
ความชัดเจนของกระบวนการและขั้นตอนของกรอบนโยบาย	4.80	0.42	4.70	0.48
ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	4.70	0.48	4.80	0.42
ความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้	4.80	0.42	4.80	0.42
ภาพรวมขององค์ประกอบด้านกระบวนการและขั้นตอน	4.70	0.48	4.70	0.48
เฉลี่ย	4.75	0.45	4.75	0.45

โดยผู้เชี่ยวชาญได้เสนอแนะว่ากระบวนการที่ได้มาของกรอบมีความเหมาะสมครบถ้วนครอบคลุม เน้นการมีส่วนร่วมของผู้บริหารและเกษตรกร ทำให้เกิดความมั่นใจว่ากรอบนโยบาย มีแนวโน้มจะถ่ายทอดเทคโนโลยีได้ผลสำเร็จ นโยบายภาครัฐควรมีความต่อเนื่องเมื่อมีการเปลี่ยนรัฐบาล การมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการตรวจสอบความเป็นไปได้ของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีตรงความต้องการของเกษตรกรอย่างแท้จริง และมีความเหมาะสมทางด้านบริบททางสังคมของเกษตรกรในปัจจุบันและการส่งเสริมต่อผู้รับเทคโนโลยีอย่างเฉพาะเจาะจงต่อความพร้อมของเกษตรกร

ในขั้นตอนการวางแผนพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยีเห็นควรเพิ่มเติมในส่วนของการกำหนดยุทธศาสตร์จัดทำโครงการต่างๆ เพื่อกระจายสู่ชุมชนได้เข้าใจ เข้าถึงเทคโนโลยี โดยให้ข้อมูลชุมชนในด้านต่างๆ ผ่านกิจกรรมต่างๆ เช่น การประชาสัมพันธ์ และการอบรม เป็นต้น และให้ความรู้ทางทฤษฎีเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติ จัดกลุ่มเป้าหมายและแลกเปลี่ยนปัญหาและความคิดเห็นปฏิบัติในพื้นที่จริง สรุปการปฏิบัติ ปัญหาและการแก้ไข

การกำหนดนโยบายควรเสนอให้มีการทำประชาคมชุมชนเพื่อให้เกิดการมีส่วนร่วม อาจเปิดเวทีรับฟังความต้องการจากเกษตรกร เพื่อกำหนดนโยบายร่วมกัน ความสำคัญของการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมทั้งผู้ให้และผู้รับรวมถึงความพร้อมของเทคโนโลยีด้วย

ทีมงานผู้ถ่ายทอดเทคโนโลยีควรนำผู้เชี่ยวชาญเทคโนโลยีหรือผู้ที่มีความรู้เทคโนโลยีมาเป็นผู้ถ่ายทอดการคัดเลือกเกษตรกรผู้รับการถ่ายทอดที่มีความสนใจจริง มีการมุ่งเน้นในการมองเห็นประโยชน์ของการรับเทคโนโลยีองค์กรต้องเห็นความสำคัญและสนับสนุนงบประมาณตามอำนาจหน้าที่

ผู้บริหารต้องกำหนดนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ชัดเจน และนำไปเข้าสู่การเสนอความเห็นชอบและบรรจุในแผนพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี แล้วนำมาทำโครงการสู่ชุมชน ทำให้เกษตรกรมีความรู้ ความเข้าใจ และเห็นความสำคัญของการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการทำเกษตรกรรม เพื่อลดค่าใช้จ่าย เพิ่มรายได้ ควรเพิ่มเติมการติดตามประเมินผลความสำเร็จเพื่อได้ดำเนินการด้านกระบวนการและเทคโนโลยีที่นำไปใช้ในการถ่ายทอด เพื่อนำผลที่ได้พบปัญหาและอุปสรรคไปแก้ไขปรับใช้ต่อไป เพื่อให้นโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีบรรลุผลสำเร็จ

กล่าวโดยสรุป ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 กลุ่ม มีความคิดเห็นสอดคล้องกันว่ากรอบนโยบาย มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน และสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยรวมต่อกรอบนโยบาย (n = 20)

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			
	กลุ่มที่ 1		กลุ่มที่ 2	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
ความชัดเจนของกรอบนโยบาย	4.70	0.48	4.90	0.32
ความเหมาะสมของกรอบนโยบายในการนำไปใช้งาน	4.70	0.48	5.00	0.00
ความสามารถในการนำของกรอบนโยบายไปใช้ประโยชน์ได้	4.80	0.42	4.90	0.32
ภาพรวมของกรอบนโยบาย	4.80	0.42	4.90	0.32
เฉลี่ย	4.75	0.45	4.93	0.24

อภิปรายผล

โดยสรุปการศึกษากรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทยในครั้งนี้เป็นนโยบายสาธารณะเป็นแนวทางการดำเนินงานของภาครัฐบาลรวมกับการมีส่วนร่วมของเกษตรกร โดยภาครัฐเป็นแกนนำในการกำหนดนโยบายเพื่อจัดทรัพยากรต่าง ๆ ให้แก่เกษตรกรโดยรวม การกำหนดนโยบายสาธารณะเป็นการตัดสินใจวางแนวทางกว้างๆ ในการแก้ไขปัญหาหรือพัฒนา สิ่งสำคัญคือการตัดสินใจว่าจะกำหนดนโยบายสาธารณะอย่างไรต้องอาศัยข้อมูลและใช้เทคนิค ซึ่งขั้นตอนการกำหนดนโยบายทั้ง 4 กระบวนการ ดังนี้ (1) การกำหนดนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีของรัฐบาล (2) การนำนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปปฏิบัติ (3) การควบคุมและ

การประเมินผลนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี และ (4) การประเมินผลความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี พบว่า โดยภาพรวมของกระบวนการนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดการกำหนดนโยบายของนักคิดนักวิชาการหลายท่านๆ เช่น กระบวนการในการดำเนินนโยบาย 4 ขั้นตอนของ John, Milan, Dluhy and Roger (1981) กระบวนการในการกำหนดนโยบาย 7 ขั้นตอนของ Lasswell and Kaplan (1970) กระบวนการกำหนดนโยบายสาธารณะ 5 ขั้นตอนของ Dye and Thomas (2002) และกระบวนการกำหนดนโยบายประกอบด้วย 7 ขั้นตอนของ Thanapongsathorn (2017) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการศึกษานโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยที่ภาครัฐได้กำหนดวิสัยทัศน์หลักไว้ว่า “ภาคเกษตรก้าวไกลด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม ตลาดนำการผลิต ชีวิตเกษตรกรมีคุณภาพ ทรัพยากรการเกษตรมีความสมดุลและยั่งยืน” (Office of Agricultural Economics, and Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2016) ซึ่งกรอบฯ ที่พัฒนาขึ้นนี้อาจยังไม่สนับสนุนการกำหนดนโยบายสาธารณะแบบล่างขึ้นบน (Bottom-up Approach) โดยสมบูรณ์ที่เปิดโอกาสผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งภาครัฐและภาคเกษตรรวมทั้งผู้เชี่ยวชาญ ที่มีส่วนร่วมตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนกระทั่งได้นโยบายและแผนงานของหน่วยงานภาครัฐเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติได้จริง

และจากการประเมินคุณภาพของกรอบนโยบายโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่ามีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน และสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง โดยผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่าการใช้กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรให้ประสบความสำเร็จ ผู้ใช้ต้องให้ความสำคัญแก่ทุกขั้นตอนของกระบวนการโดยเฉพาะขั้นตอนการกำหนดนโยบายจะต้องกำหนดให้ตรงกับความต้องการของเกษตรกร มีความเหมาะสม ในการนำนโยบายไปปฏิบัติมีการนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการดำเนินการเพื่อให้นโยบายบรรลุผลสำเร็จและมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับแนวคิดของ Mohan et al. (2014) และ Doherty et al. (2012) และเห็นว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี เช่น ปัจจัยการวางแผน พัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยีระดับชาติ ปัจจัยสินเชื่อเพื่อการผลิต (Production Credit) ปัจจัยทางการตลาด ปัจจัยวัฒนธรรมของเกษตรกรซึ่งการดำเนินนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรที่ดีและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการติดตาม ควบคุมและประเมินผลเป็นสำคัญโดยต้องดำเนินงานอย่างเป็นระบบ เป็นตามแผนและข้อกำหนด และได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมาย รวมทั้งมีการบริหารจัดการเชิงรุกเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่เกษตรกรเช่นเดียวกับแนวคิดของ Ashurst (2012) และ Marnewick (2016)

แต่อย่างไรก็ดี การดำเนินนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี ส่วนใหญ่ปัญหาที่พบ คือ การเมืองเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้นโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงตามทำให้ขาดความต่อเนื่องของนโยบาย การคัดเลือกเทคโนโลยี/ผู้ถ่ายทอด/ผู้รับการถ่ายทอดยังไม่เหมาะสม ขาดการติดตามและประเมินผลอย่างต่อเนื่อง และไม่มีผู้ติดตามและประเมินผลอย่างจริงจัง ซึ่งพบลักษณะเดียวกันนี้ในนโยบายของกลุ่มอื่นๆ ด้วย ในงานวิจัยของ Khuntaweeetep and Koowattananatichai (2020) พบว่า ผู้ประกอบการส่วนใหญ่เข้าใจไม่ถึงนโยบายและมาตรการของภาครัฐเป็นผลจากข้อมูลข่าวสารที่ไม่ทั่วถึง ทำให้ขาดความต่อเนื่องของนโยบายส่วนผลต่อความสำเร็จในการดำเนินนโยบายดังกล่าว นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกประการในทางปฏิบัติของเกษตรกรเอง พบว่ามีการทำรายงานการใช้เทคโนโลยีแต่ไม่มีการตรวจผลการนำเทคโนโลยีไปใช้จริง ซึ่งจะส่งผลประโยชน์ให้แก่เกษตรกรโดยตรง ทั้งนี้ในการนำกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรนี้ไปใช้ในหน่วยงานถ่ายทอดเทคโนโลยีใดๆ นั้น อาจจะมีการปรับปรุงขั้นตอนหรือเพิ่มปัจจัย ขึ้นกับบริบทของนโยบายและเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับการเสนอความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่ได้มาร่วมอภิปราย (Focus Group Discussion) เกี่ยวกับความเหมาะสมของการนำ

การกรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรนี้ไปใช้ ว่าการนำกรอบนี้ไปใช้จะต้องมีการปรับรายละเอียดการทำงานในแต่ละขั้นตอนให้เหมาะสมกับบริบทของหน่วยงานถ่ายทอดเทคโนโลยีและเกษตรกร เช่น การมีแบบฟอร์มบันทึกเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานกรอบนี้จะเป็นการช่วยลดทั้งเวลา ลดกำลังคนและง่ายต่อการนำไปใช้ได้ทิศทางเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 หน่วยงานภาครัฐควรกำหนดนโยบายส่งเสริมให้การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรจากภาครัฐสู่เกษตรกรในด้านการกำหนดนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีของภาครัฐ ด้านการนำนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปปฏิบัติ ด้านการควบคุมและการประเมินผลนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี ด้านการประเมินผลความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี ด้านผู้ถ่ายทอด ด้านผู้รับการถ่ายทอด และโดยเฉพาะด้านกระบวนการและเทคโนโลยีที่ใช้ในการถ่ายทอด โดยกำหนดให้มีการเตรียมความพร้อมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงจากสภาพแวดล้อมภายในและภายนอก กระตุ้นการใฝ่รู้ การแลกเปลี่ยนการเรียนรู้ โดยมีการสร้างองค์ความรู้จากกิจกรรมการจัดการความรู้ และสร้างนวัตกรรมในการพัฒนาการเกษตร ให้มีการแลกเปลี่ยนความคิด และสามารถนำความรู้และเทคโนโลยีที่ได้รับจากการถ่ายทอดไปใช้กับเครือข่ายและเกิดการใช้อย่างกว้างขวางเชื่อมโยงกันต่อไป รวมทั้ง ควรมีการจัดทำแผนนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถใช้แนวคิดลักษณะเดียวกันนี้พัฒนากรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรที่เฉพาะลงไป เช่น หน่วยงานถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรทางพืช หน่วยงานถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรทางสัตว์ หรือหน่วยงานถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรทางประมง และจากการเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญสำหรับการพัฒนากรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร ควรจะมีการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม เลือกผู้ถ่ายทอดและผู้รับการถ่ายทอดที่ตรงวัตถุประสงค์ และมีการควบคุมเวลาในการนำนโยบายไปปฏิบัติให้เหมาะสม

1.2 ภาครัฐควรมีการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกร เพื่อทราบถึงจุดเด่นและจุดควรพัฒนาเพื่อคงความเป็นจุดเด่นไว้ และพัฒนาจุดด้อยให้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งให้มีการกำกับ ติดตาม และประเมินผลนโยบาย อย่างต่อเนื่อง นำผลการประเมินมาจัดทำแผนนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อให้นโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีบรรลุวัตถุประสงค์ตามภารกิจและเป้าหมายของภาครัฐที่กำหนดไว้ โดยมีคณะกรรมการที่ทำหน้าที่ในการตรวจติดตามผลการดำเนินงานและประเมินผลอย่างจริงจัง เพื่อเป็นการควบคุมและเร่งรัดให้การดำเนินงานแล้วเสร็จบรรลุวัตถุประสงค์ตามนโยบายและแผนตรงตามเป้าหมายที่กำหนด ภายในเวลาที่กำหนด

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การทำวิจัยครั้งต่อไป การพัฒนากรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรจะให้ผลดีต้องมีปัจจัยเสริมที่เป็นตัวเร่งที่จะพัฒนาให้ไปถึงเป้าหมาย เพื่อให้กรอบมีประสิทธิภาพมากขึ้นยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้ ปัจจัยการศึกษาวิจัยเพื่อการพัฒนา (Education for Development) ปัจจัยสินเชื่อเพื่อการผลิต (Production Credit) ปัจจัยการรวมกลุ่มของเกษตรกร (Group Action for Farmers) ปัจจัยการปรับปรุงและขยายพื้นที่การเกษตร

(Improvement and Expanding Agricultural Land) และปัจจัยการวางแผนพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร
ระดับชาติ (National Planning for Agricultural Technology Transfer Development)

เอกสารอ้างอิง

- Ashurst, C. (2012). *Benefits Realization from Information Technology*. London, UK: Designs and Patents Act.
- Doherty, N. F., Ashurst, C. and Peppard, J. (2012). Factors affecting the successful realization of benefits from systems development projects: findings from three case studies. *Journal of Information Technology*, 27, 1–16.
- Dye, T. R. (2002). *Understanding Public Policy*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Gunt I. (2015). Technology Transfer for Adoption of Social Innovation. *Academic Journal: Uttaradit Rajabhat University*, 10(2), pp. 1-10.
- Janssen et al. (2017). Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agricultural systems*, 155, 200-212.
- John E., Milan J. D. and Roger M. L. (1981). *New Strategic Perspectives on Social Policy (Pergamon Policy Studies on Social Policy)*. New York: Pergamon Press.
- Kawichai, P. et al. (2017). Factors Affecting Development of Organic Agriculture Policy of Local Administrative Organization: Case Studies of Mae Tha Tambon Administrative Organization, Mae On District, and Luang Nuea Tambon Municipality, Doi Saket District, Chiang Mai Province. *Journal of Community Development and Life Quality*, 5(1), 142-154. (in Thai)
- Khuntaweetep W. and Koowattanatianchai N. (2020). Access to Government Policies and Measures for Thai Small and Medium Enterprise. *Sripatum Review of Humanities and Social Sciences*, 20(1), 124-136. (in Thai)
- Lasswell, H. D. and Kaplan, A. (1970). *Power and Society*. New Haven: Yale University Press.
- Marnewick, C. (2016). Benefits of information system projects: The tale of two countries. *International Journal of Project Management*, 34, 748–760.
- Mohan, K., Ahlemann, F. and Braun, J. (2014). *Exploring the constituents of Benefits Management : Identifying Factors Necessary for the Successful Realization of Value of Information Technology. The processing of the 47th Hawaii International Conference on System Science(HICSS)*, 6-9 Jan 2014, Waikoloa, HI, USA.
- Office of Agricultural Economics, and Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2016). *Agricultural Development Plan during the 12th National Economic and Social Development Plan (2017-2021)*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

- Onooma T. et al. (2015). Technology transfer and technological capability in different sizes of Thai pharmaceutical manufacturers. *Thai Bulletin of Pharmaceutical Science (TBPS)*, 10, 14-29. (in Thai)
- Suksan, S. (2008). *Public Policy and Planning*. Uttaradit: Faculty of Humanities and Social, Sciences, Uttaradit Rajabhat University. (in Thai)
- Thanapongsathorn, K. (2017). *Principles of state policy*. Bangkok: Thammasat University. (in Thai).
- William, W. B. (1975). Implementation Analysis and Assessment. *Policy Analysis*, 1(3), summer.

การพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่และระบบติดตามบนคลาวด์แบบเวลาจริง

นิพัทธ์ จงสวัสดิ์^{1,*}, อนุชา ตุงคัษฐาน²

^{1,2}ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received: 15 June 2021

Revised: 10 November 2022

Accepted: 10 November 2022

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหามลพิษทางอากาศและปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในจังหวัดใหญ่ของประเทศ เนื่องจากเป็นเมืองเศรษฐกิจ มีเขตพื้นที่อุตสาหกรรม มีประชากรอาศัยอยู่มากและมีการจราจรหนาแน่น จากการศึกษาพบว่าในหลายพื้นที่วัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ได้อยู่ในระดับสูงกว่าค่ามาตรฐาน มากกว่า 30 ppm/1 ชั่วโมง หรือมากกว่า 0.17 ppm/1 ชั่วโมงตามลำดับ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมหรือชุมชนที่อยู่อาศัยที่มีการจราจรคับคั่ง ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เหล่านี้กำลังเผชิญกับวิกฤตการณ์มลพิษทางอากาศ โดยที่ไม่ทราบข้อมูล ไม่รู้เท่าทันและไม่ได้ระวังป้องกันตัวเอง ข้อมูลคุณภาพอากาศที่รายงานโดยกรมควบคุมมลพิษ นั้น เป็นการรายงานข้อมูลโดยค่าเฉลี่ยในจุดพื้นที่หลักๆ ที่มีสถานีวัดคุณภาพอากาศเท่านั้น ซึ่งจากการลงพื้นที่สำรวจและจัดเก็บข้อมูลพบว่าข้อมูลคุณภาพอากาศที่วัดได้ในพื้นที่นั้น มีความแตกต่างจากข้อมูลที่รายงานโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างในพื้นที่พบว่า คนไม่ได้เข้าเว็บไซต์เป็นประจำเพื่อดูข้อมูลรายงานคุณภาพอากาศ ไม่ทราบว่าในอากาศมีมลภาวะที่เป็นพิษอะไรบ้าง อยากทราบข้อมูลที่เป็นจริง ณ ปัจจุบัน เสนอให้แสดงผลข้อมูลในเชิงรุกเพื่อให้ประชาชนเกิดการตระหนักรู้ ผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการแก้ปัญหานี้ โดยพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ที่มีขนาดเล็กที่สามารถวัดข้อมูลคุณภาพอากาศและค่าก๊าซต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ สามารถพกพาไปเก็บรถยนต์หรือหน่วยเคลื่อนที่ได้ สามารถวัดข้อมูลคุณภาพอากาศในพื้นที่เฉพาะจุดและรายงานข้อมูลได้แบบเวลาจริง ผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังระบบคลาวด์หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลคุณภาพอากาศที่วัดได้จากในพื้นที่ที่เจาะจง พื้นที่ที่มีความเสี่ยงมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์ที่มีมาตรฐาน พัฒนาระบบทั้งส่วน Front-End และ Back-End ที่รองรับการจัดเก็บข้อมูล การเชื่อมต่อข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการพัฒนาทั้งระบบที่เป็นข้อแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่ผ่านมา ระบบที่พัฒนานี้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสถานีวัดคุณภาพอากาศที่มีมาตรฐาน และรองรับการนำไปใช้ประโยชน์ด้าน (1) การพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านภูมิอากาศ (2) พัฒนาแพลตฟอร์มข้อมูลเปิดสำหรับการพัฒนาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน และ (3) ส่งเสริมระบบสาธารณสุขของประเทศ

คำสำคัญ: ดัชนีคุณภาพอากาศ อุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ การประมวลผลระบบคลาวด์ ระบบติดตามบนคลาวด์ ระบบนิเวศน์ดิจิทัล

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: nipat_j@rmutt.ac.th

Development of Portable Air Quality Monitor Devices and a Real Time Monitoring Cloud-Based System

Nipat Jongsawat^{1,*}, Anucha Tungkasthan²

^{1,2}Department of Mathematics and Computer Science

Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received: 15 June 2021

Revised: 10 November 2022

Accepted: 10 November 2022

Abstract

Thailand now faces many environmental problems, particularly air pollution and particle pollution in many cities. These cities are economic cities and have industrial zones, congestion of people, and heavy traffic. Previous studies showed that levels of Carbon Monoxide (CO) or Nitrogen Dioxide (NO₂) exceeded the standards at 30 ppm./hr. or 0.17 ppm./hr., respectively, in industrial zones, or congestion areas. People, who are living in these areas, are facing severe air pollution crisis. Moreover, people rely on the air quality reports but in fact air pollutants are still affecting the people health. People are not aware of the risks and do not keep themselves safe. The average air quality was reported by the Pollution Control Department in a particular area. Based on our survey results, we found that the air quality or the levels of pollution in certain areas is different from the AQI value reported by the department. People suggested that they did not regularly access a web site to see the air quality report. They did not know exactly what pollutants are in the air. They need to see real-time air quality information and request to see proactive air quality information to make people aware of pollution. We proposed the development of portable air quality monitor devices to solve problems. The devices are small. They can provide high-accuracy measurements and can be equipped with the vehicle or mobile unit. They can be used to measure air pollution levels in certain areas and provide a real-time report. The data from each device is sent to cloud through a wireless network. Government or non-government agencies can make data-driven analysis and decisions, gain more benefits of sharing data, and utilize them with existing data. In this research, standard equipment was designed and developed. The Front-End and Back-End systems were developed to properly manage and store data, link to data sources and visualize data efficiently. The proposed solution in this research differs from prior research. This research serves the following purposes: (1) enhancing climate technology development and transfer, (2) developing open data platform for environmental sustainable development, and (3) serving the country's public health.

Keywords: Air Quality Index, Portable Air Quality Monitor Devices, Cloud Computing, Real Time Monitoring Cloud-Based System, Digital City Eco System

* Corresponding Author; E-mail: nipat_j@rmutt.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ของประเทศ จังหวัดเชียงใหม่ประสบวิกฤตหนักปัญหาฝุ่นควันละอองขนาดเล็ก PM 2.5 สูงกว่ามาตรฐาน 4-5 เท่า (ที่ระดับค่าเท่ากับ 253 US AQI) โดยขึ้นเป็นอันดับ 1 เมืองที่มีมลพิษมากที่สุดในโลก เนื่องจากปัญหาไฟป่า ทำให้ส่งผลกระทบต่อปายังหลายจังหวัดในภาคเหนือ ประชาชนในพื้นที่เริ่มมีปัญหาลำบาก มีอาการไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา อ่อนเพลีย และมีปัญหาระบบทางเดินหายใจ จังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดปริมณฑลก็ประสบกับปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กและอากาศเป็นพิษเช่นเดียวกัน เนื่องจากเป็นเมืองเศรษฐกิจ มีประชากรอาศัยอยู่มากและมีการจราจรหนาแน่น ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศพบว่าค่าที่ตรวจวัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน อยู่ในระดับเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพไปจนถึงมีผลกระทบต่อสุขภาพ แม้ว่ากรุงเทพมหานครได้ดำเนินการมาตรการแก้ไขปัญหาในบริเวณที่พบปริมาณฝุ่นละอองเกินมาตรฐานอย่างต่อเนื่อง โดยการเพิ่มความถี่ในการล้างถนน ฉีดพ่นละอองน้ำในอากาศ ขอความร่วมมือจากโครงการก่อสร้างอาคาร และโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า ตรวจวัดควันดำรถยนต์ รถโดยสารสาธารณะ และรถยนต์ทั่วไป ก็ยังพบว่าระดับค่าฝุ่นละอองอยู่ในระดับที่สูงกว่าปกติ นอกจากนั้นค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ที่รายงานโดยกรมควบคุมมลพิษว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติหรือดีนั้น พบว่าบางองค์ประกอบมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ยกตัวอย่าง ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าสูงกว่า 30 ppm. /ชั่วโมง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม ชุมชนแออัด พื้นที่การจราจรคับคั่ง ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อประชาชนโดยตรงจากการสำรวจข้อมูลพบว่าประชาชนวางใจในข้อมูลตัวเลขคุณภาพอากาศที่รายงานโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบ แต่แท้จริงแล้วพบว่ายังคงมีปริมาณมลพิษในอากาศที่ยังอยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยที่ประชาชนไม่ทราบ ไม่รู้เท่าทัน และไม่ได้ระวังป้องกันตัวเอง ข้อมูลคุณภาพอากาศที่รายงานโดยกรมควบคุมมลพิษผ่านเว็บไซต์นั้น เป็นการรายงานข้อมูลค่าเฉลี่ยในแต่ละวันจากที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในจุดพื้นที่หลักๆ ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูลคุณภาพอากาศหรือค่าต่างๆ เช่น ค่า PM2.5, PM10, CO, O₃, SO₂, NO₂ ในรูปแบบตารางข้อมูลและกราฟได้ตามช่วงเวลาที่กำหนด หากแต่ไม่สามารถวัดและแสดงค่าในพื้นที่เฉพาะจุดที่เจาะจงหรือต้องการทราบตามแต่ละช่วงเวลาได้

ผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการแก้ปัญหานี้ โดยพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ที่มีขนาดเล็ก สามารถวัดข้อมูลคุณภาพอากาศและพารามิเตอร์ต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ สามารถพกพาไปกับรถยนต์หรือหน่วยเคลื่อนที่ได้ สามารถวัดข้อมูลคุณภาพอากาศในพื้นที่เฉพาะจุดและรายงานข้อมูลได้แบบเวลาจริง ผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังระบบคลาวด์ ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถแสดงแผนที่คุณภาพอากาศเฉพาะตำแหน่งที่เจาะจงหรือ เฉพาะจุดที่เข้าทำการตรวจวัด แสดงผลข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์แบบเวลาจริงเพื่อให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับประชาชนทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จะได้ทราบข้อมูลที่เป็นจริง ณ ปัจจุบัน ในพื้นที่นั้นๆ ทราบถึงระดับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับตนเอง ตลอดจนทราบคำแนะนำและวิธีการป้องกันตนเองจากปัญหาหมอกพิษในอากาศเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับสุขภาพ รวมถึงหน่วยงานจะได้ข้อมูลคุณภาพอากาศที่สำคัญที่วัดได้จากในพื้นที่เฉพาะจุดที่เป็นปัญหาหรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยง เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็กที่สามารถวัดค่าคุณภาพอากาศในพื้นที่เป้าหมายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และรายงานข้อมูลแบบเวลาจริง ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย
2. สร้างและพัฒนาระบบติดตาม จัดเก็บ และประมวลผลข้อมูลแบบเวลาจริงบนคลาวด์ รวมถึงส่วนแสดงผลบนคลาวด์และในพื้นที่

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Morawska et al. (2018) ได้ทบทวนงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำสำหรับการวัด ติดตาม และประเมินผลคุณภาพอากาศ นำเสนอเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดกับความต้องการของผู้พัฒนา แนะนำการใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาระบบหรือโปรแกรมประยุกต์อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ Patricia et al. (2019) ได้ประยุกต์ใช้เครื่องตรวจการเข้าถึง (Accessibility Scanner) ของ Google กับโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนเพื่อรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศทั่วโลก ข้อมูลจะถูกดึงมาจากโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เพื่อนำมาแสดงผล Mohit et al. (2019) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Long Short-Term Memory (LSTM) ทำนายดัชนีคุณภาพอากาศของเมืองนิวเดลี ประเทศอินเดีย ซึ่งทำนายมลภาวะทางอากาศล่วงหน้าก่อน 1 ชั่วโมง ค่ามลภาวะที่ทำนายประกอบด้วย ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน 2015 ถึง 31 มีนาคม 2017 และ 1 ตุลาคม 2017 ถึง 1 เมษายน 2019 นำข้อมูลในช่วงเวลาดังกล่าวมาประมวลผลโดยใช้เทคนิค LSTM คำนวณและทำนายค่าดัชนีคุณภาพอากาศ ซึ่งให้ค่าความแม่นยำในระดับร้อยละ 90 Jiayu et al. (2020) ได้ประเมินคุณภาพการทำงานของเซ็นเซอร์วัดอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีต้นทุนต่ำ 9 ชนิด นำมาทดสอบการกระจายตัวละอองลอยหรือแอโรซอล (aerosol) เทียบผลกับค่ามาตรฐาน ผลการแบ่งกลุ่มทดสอบสรุปได้ว่า เซ็นเซอร์วัดอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กทั้ง 9 ชนิดมีคุณภาพที่สามารถนำมาใช้งานได้ ถึงแม้จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันบ้างแต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ Nurul et al. (2018) พัฒนาระบบแจ้งเตือนคุณภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น โดยใช้บอร์ด Raspberry Pi 2 ไมโครโปรเซสเซอร์ในการประมวลผล จัดเก็บข้อมูลลงบนคลาวด์และแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านอีเมลเมื่อระบบตรวจสอบพบว่าคุณภาพอากาศแย่หรือค่าที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าที่กำหนด Yaeseul et al. (2019) พัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศภายในอาคารซึ่งสามารถรายงานข้อมูลไปยังโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนได้ ในรูปแบบค่าเฉลี่ยของข้อมูลคุณภาพอากาศเป็นรายวัน เดือน และปี Dayanand et al. (2020) พัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศโดยใช้บอร์ด Arduino Uno ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และแสดงผลข้อมูลที่วัดได้ผ่านจอแสดงผลแอลซีดีที่ติดตั้งอยู่กับตัวอุปกรณ์ JunHo et al. (2020) พัฒนาแพลตฟอร์มวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยใช้ Amazon เว็บเซอร์วิส จัดเก็บข้อมูลลงบนคลาวด์และแจ้งเตือนเป็นข้อความผ่านเว็บไซต์หากคุณภาพอากาศมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด Senthil Rajan et al. (2020) ใช้บอร์ด Arduino Uno และบอร์ด ESP8266 ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศ และใช้ NodeMCU สำหรับรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ เพื่อมาประมวลผลแสดงผลผ่านจอแสดงผลแอลซีดี 16x2 (16 Columns, 2 Rows) Chirdsiri et al. (2017) ทำการศึกษาปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีผลต่อโรคการเจ็บป่วยจากอาคารของผู้ปฏิบัติงานถ่ายเอกสาร ทำการเปรียบเทียบอาการและอัตราการเกิดโรคการเจ็บป่วยจากอาคารของกลุ่ม

ศึกษาและกลุ่มเปรียบเทียบ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักสถิติ ได้แก่ ร้อยละ, Chi - squares test, The Mann - Whitney, U - Test และ Odd Ratio ในการวิเคราะห์ทดสอบ ผลการศึกษา พบว่า การปฏิบัติงานถ่ายเอกสารของกลุ่มศึกษา มีค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน ฝุ่นที่มีขนาด 2.5 และ 10 ไมครอน ภายในอาคารสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานมีค่าเฉลี่ยที่ 854 ppm, 0.16 ppm, 92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ กลุ่มศึกษามีโอกาสเกิดอาการของโรคการเจ็บป่วยจากอาคารถึง 12.10 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มเปรียบเทียบ และคุณภาพอากาศภายในอาคารสัมพันธ์กับการเป็นโรคการเจ็บป่วยจากอาคารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Orawan et al. (2017) พัฒนาระบบสำหรับตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในอากาศบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟน บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าฝุ่นละออง (dust sensor) ณ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษานอกที่ตั้ง ตรัง และนำเสนอค่าปริมาณฝุ่นผ่านโปรแกรมประยุกต์ Dust@SDU ผลการวิจัยพบว่า ข้อมูลมีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับข้อมูลจากกรมควบคุมคุณภาพอากาศ โดยค่าที่วัดจากอุปกรณ์ Dust sensor มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย Maturud et al. (2018) ศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารโรงแรมของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ตรวจวัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศที่มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารและเปรียบเทียบสิ่งปนเปื้อนระหว่างโรงแรม และประเมินกลุ่มอาการเจ็บป่วยของพนักงานโรงแรม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ทำงานด้วยแบบสำรวจพื้นที่และตรวจวัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศ ประเมินกลุ่มอาการเจ็บป่วยโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และ t-test ผลสำรวจสภาพแวดล้อมในอาคาร พบว่าห้องครัวเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดสิ่งปนเปื้อนในอากาศมากกว่าพื้นที่อื่น โดยปริมาณฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ความเร็วลมและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ASHRAE แต่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าเกินกว่ามาตรฐานทั้ง 2 โรงแรม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสิ่งปนเปื้อนในอากาศระหว่างโรงแรมพบว่า ความชื้น (t-test = 5.650; p-value = 0.000) คาร์บอนไดออกไซด์ (t-test = -3.475; p-value = 0.001) และฝุ่นรวม (t-test = -5.440; p-value = 0.000) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ Aekkanat et al. (2019) พัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบดาต้าวิซวลไลเซชัน ด้วยตัวชี้วัดค่ามาตรฐานแห่งชาติคุณภาพอากาศในชั้นบรรยากาศประเทศไทย เก็บรวบรวมข้อมูลค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ตั้งแต่ 1 มกราคม 2561 - 31 ธันวาคม 2561 ผลงานวิจัยพบว่าตัวแบบพยากรณ์ข้อมูลสามารถสร้างและแสดงภาพความหนาแน่นของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกันได้ นอกจากการวัดคุณภาพอากาศแล้ว Ratanachuchock (2019) ได้ใช้ IoT สำหรับพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำ สามารถติดตามคุณภาพน้ำผ่านโปรแกรมประยุกต์ได้ ผู้วิจัยพัฒนาโปรแกรมประยุกต์โดยใช้บอร์ด Arduino Uno R3 เป็นตัวควบคุมประมวลผล และมีเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ 1) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เซนเซอร์ Analog pH Meter Pro 2) วัดค่าความขุ่น โดยใช้เซนเซอร์ Analog Turbidity Sensor และ 3) วัดค่าอุณหภูมิน้ำ โดยใช้เซนเซอร์ Temperature Temp Sensor ผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำในชุมชนและแสดงผลการวัดคุณภาพน้ำผ่านทางระบบสารสนเทศ จากการเก็บตัวอย่างข้อมูลการใช้งาน พบว่าคุณภาพน้ำผิวดินอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถบ่งบอกค่าคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

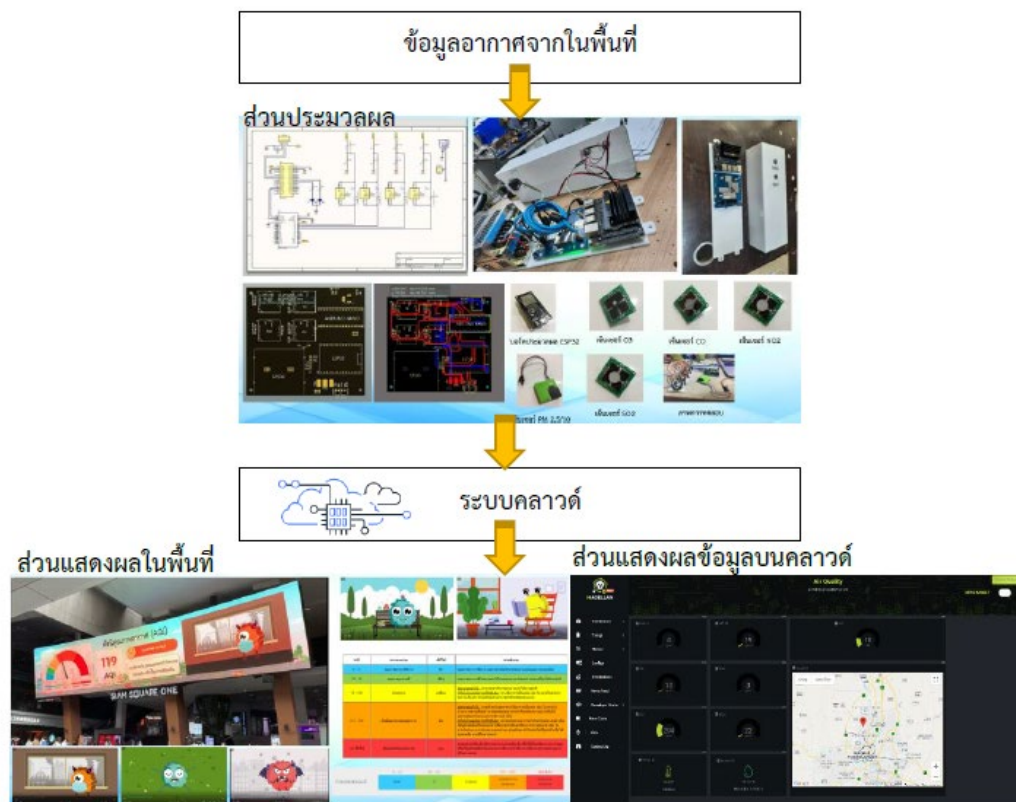
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าผู้วิจัยส่วนใหญ่ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศ โดยใช้เซนเซอร์วัดค่าก๊าซในรูปแบบต่างๆ ที่มีราคาแตกต่างกันไป พัฒนาส่วนประมวลผลโดยใช้บอร์ด Raspberry Pi หรือ Arduino ร่วมกับ IoT ในการส่งข้อมูลไปจัดเก็บในเครื่องเซิร์ฟเวอร์หรือบนคลาวด์ พัฒนาส่วนแสดงผลผ่านโปรแกรมประยุกต์บนเว็บไซต์หรือสมาร์ตโฟน งานวิจัยนี้มีข้อแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาโดยชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาจะมีความแตกต่างจากอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในตลาดทั่วไป ผู้วิจัยมุ่งเน้นการพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็ก ผ่านการทดสอบการใช้งานจริงและผ่านมาตรฐาน มีความแม่นยำสูง สามารถนำไปใช้ในการวัด

คุณภาพอากาศในพื้นที่เฉพาะจุดได้ตามวัตถุประสงค์ ตัวเครื่องมีจอแอลซีดีแสดงผลข้อมูล สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายไปจัดเก็บยังระบบคลาวด์ ส่วน Back-End ถูกออกแบบมาให้สามารถแสดงผลข้อมูลได้แบบเวลาจริงผ่านเว็บเบราว์เซอร์มาตรฐาน โดยใช้เกจวัดแบบกราฟฟิกและใช้แผนที่ในการแสดงผล นอกจากนั้นยังได้พัฒนาส่วนแสดงผลในรูปแบบเอนิเมชันทั้งหมด 5 รูปแบบ พัฒนาโปรแกรมเพื่อประมวลผลข้อมูลและดึงข้อมูลเอนิเมชันที่ตรงกับค่าที่วัดได้ ไปแสดงผลยังจอแสดงผลที่ติดตั้งอยู่ที่ใดก็ได้ โดยส่งข้อมูลสตรีมมิ่งผ่านระบบเครือข่าย สถาปัตยกรรมของระบบที่พัฒนารองรับการเชื่อมต่อข้อมูลเข้ากับจอแสดงผล รองรับระบบเปิด และพร้อมที่จะเชื่อมโยงให้ระบบเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศดิจิทัลและเมืองอัจฉริยะ

วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่และระบบติดตามบนคลาวด์แบบเวลาจริงแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็กที่สามารถวัดค่าก๊าซและค่าฝุ่นละอองต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ โมดูลวัดคุณภาพอากาศจะแสดงผลข้อมูลผ่านหน้าจอแสดงผลของตัวอุปกรณ์และส่งข้อมูลที่วัดได้ขึ้นระบบคลาวด์เพื่อจัดเก็บข้อมูลและประมวลผลแบบเวลาจริง ข้อมูลจะถูกดึงมาแสดงผลแบบกราฟฟิกบนคลาวด์แบบเวลาจริงตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนั้นยังได้เตรียมส่วนแสดงผลที่เหมาะสมกับจอแสดงผลที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่และส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไปแสดงผล

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่และระบบติดตามบนคลาวด์แบบเวลาจริง ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยไว้ดังนี้

1. ศึกษาปัญหาคุณภาพอากาศในพื้นที่เฉพาะจุด ที่เป็นปัญหาจำนวน 10 จุด ในเขตกรุงเทพฯ (บริเวณสยามสแควร์ เขตปทุมวัน) ศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุดอุปกรณ์
2. ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็ก
3. ออกแบบและพัฒนาระบบติดตามบนคลาวด์ (Monitoring System) และส่วนการประมวลผลบนคลาวด์ (Cloud Computing)
4. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และระบบติดตามบนคลาวด์ในพื้นที่จริง ทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากในพื้นที่กับค่าที่ได้จากสถานีรายงานคุณภาพอากาศที่ใกล้ที่สุดที่รายงานข้อมูลโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบ
5. ขอรับการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์จากหน่วยงานที่ให้การรับรองมาตรฐาน
6. ติดตั้งอุปกรณ์และเริ่มต้นการใช้งาน
7. เก็บรวบรวมข้อมูลและติดตามผลการใช้งาน วิเคราะห์และปรับปรุงระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเก็บข้อมูลจากประชาชนในพื้นที่ เพื่อจัดทำสรุปรายงานในประเด็นต่างๆ

การสำรวจข้อมูล

ในขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยศึกษาปัญหาคุณภาพอากาศในพื้นที่เฉพาะจุด ที่เป็นปัญหาจำนวน 10 จุด ในเขตกรุงเทพฯ บริเวณสยามสแควร์ เขตปทุมวัน โดยจัดทำแบบสำรวจและลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลจากประชาชนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน ซึ่งเป็นผู้อยู่อาศัย ผู้ประกอบธุรกิจ ผู้สัญจรไป-มาเป็นประจำ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การลงพื้นที่สำรวจและจัดเก็บข้อมูลเพื่อนำมาพัฒนาระบบฯ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างใช้หลักสถิติเชิงพรรณนา ข้อมูลการตระหนักรู้ของประชาชนด้านคุณภาพอากาศในพื้นที่ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการตระหนักรู้ด้านคุณภาพอากาศในพื้นที่

ด้านคุณภาพอากาศ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ท่านมีความตระหนักเกี่ยวกับคุณภาพอากาศหรือมลภาวะในพื้นที่นี้ (ที่มีคนจำนวนมาก/จราจรคับคั่ง/เขตพื้นที่อุตสาหกรรม) มากน้อยเพียงใด	4.23	0.82	มากที่สุด
2. จากการที่ท่านสัญจรไปมา ทำงานหรืออาศัยอยู่ในบริเวณย่านนี้ ท่านคิดว่าตัวท่านเองได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศหรือมลภาวะเป็นพิษมากน้อยเพียงใด	4.35	0.67	มากที่สุด
3. ท่านทราบข้อมูลค่าฝุ่นละออง คุณภาพของอากาศ ที่ท่านอยู่หรือสัญจรไปมาในบริเวณพื้นที่นี้หรือไม่/มากน้อยเพียงใด	3.53	0.88	มาก
4. ท่านทราบถึงผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของท่านหรือไม่ หากค่าฝุ่นละออง/คุณภาพของอากาศสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด	2.90	0.92	ปานกลาง
5. ท่านมีความพร้อมในการรับมือกับฝุ่นละออง/คุณภาพของอากาศที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดหรือไม่/มากน้อยเพียงใด	3.05	0.79	ปานกลาง
รวม	3.61		ปานกลาง

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่า คนส่วนใหญ่มีความตระหนักเกี่ยวกับคุณภาพอากาศหรือมลภาวะที่เกิดขึ้นในพื้นที่ เนื่องจากเป็นบริเวณพื้นที่ท่องเที่ยว มีผู้คนและการจราจรหนาแน่น และคิดว่าตัวเองได้รับผลกระทบจากคุณภาพอากาศหรือมลภาวะที่เกิดขึ้น แต่คนส่วนใหญ่ไม่ทราบข้อมูลคุณภาพอากาศ ข้อมูลระดับค่าฝุ่นละอองในบริเวณที่ตนเองอยู่หรือสัญจรไปมา รวมถึงไม่ทราบผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับตนเองเมื่อค่าฝุ่นละอองหรือค่ามลพิษทางอากาศสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ความพร้อมในการรับมือกับปัญหาฝุ่นละอองที่เกินค่ามาตรฐานอยู่ในระดับปานกลาง ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เพิ่มเติมพบว่า ประชาชนอยากทราบข้อมูลคุณภาพอากาศแบบที่เข้าใจง่าย ดูแล้วเกิดความสนใจ สามารถรับรู้ได้ เป็นข้อมูลในรูปแบบกราฟฟิคหรือแอนิเมชันที่สามารถดึงดูดความสนใจและสร้างการรับรู้ในช่วงเวลาสั้นๆ ควรมีข้อเสนอแนะในการปฏิบัติ ควรแสดงข้อมูลที่ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน เป็นต้น

การดำเนินการวิจัย การออกแบบและพัฒนาระบบ

เมื่อทราบข้อมูลความต้องการของกลุ่มประชากรในพื้นที่และศึกษาความเป็นไปได้แล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบตามกระบวนการดังนี้

1. คัดเลือกและจัดเตรียมอุปกรณ์ที่จะนำมาพัฒนาโมดูลคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้คัดเลือกอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่มีขนาดเล็ก มีคุณภาพสูง มีการรับประกันระยะยาว เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ให้มีขนาดเล็กที่สุด อุปกรณ์ประกอบด้วย (1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 (2) บอร์ดอาร์ดูโน้ (Arduino Board) (3) เซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 2.5/10 (4) เซ็นเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) (5) เซ็นเซอร์วัดก๊าซโอโซน (O₃) (6) เซ็นเซอร์วัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) (7) เซ็นเซอร์วัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) (8) โมดูล WiFi และ (9) โมดูลแปลงไฟ (AC/DC)

งานวิจัยนี้ได้เลือกเซ็นเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ยี่ห้อ SPEC มาใช้งาน เนื่องจากตัวเซ็นเซอร์มีขนาดเล็ก มีคุณภาพสูงและได้รับการรับรองมาตรฐานระดับ

สากล ตัวอย่างเซ็นเซอร์ทั้ง 4 แบบของ SPEC ที่นำมาใช้งาน แสดงดังภาพที่ 3 สำหรับเซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5/10 ได้เลือกใช้ Sensirion Particulate Matter Premium Sensor (SPS30) ซึ่งใช้ในการตรวจจับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก ตัวอุปกรณ์มีขนาดกะทัดรัด มีคุณภาพสูง และได้รับการรับรองมาตรฐานสากล ใช้หลักการทำงานแบบ laser scattering มีอายุการใช้งานมากกว่า 8 ปี ตามที่ผู้ผลิตกำหนด เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับอนุภาคได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยขนาดอนุภาคที่ตรวจจับได้คือ PM1.0, PM2.5, PM4 และ PM10 ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ตรวจจับได้คือ 0.3 μm ที่สำคัญคือ สามารถต่อเชื่อม SPS30 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่นำมาใช้งาน แสดงดังภาพที่ 4 เซ็นเซอร์ทุกตัวที่นำมาใช้งานมีโมดูลที่แปลงค่าก๊าซหรือค่าฝุ่นละอองที่วัดได้มาเป็นค่ามาตรฐานในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่สามารถนำมาคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศได้ การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศรายวันของสารมลพิษทางอากาศแต่ละประเภท คำนวณจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยมีระดับของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ระดับต่าง ๆ การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศภายในช่วงระดับเป็นสมการเส้นตรง ดังสมการที่ (1)

กำหนดให้

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i} (X - X_i) + I_i \quad (1)$$

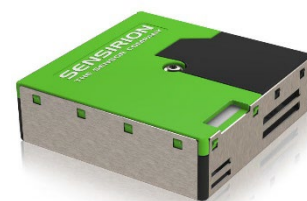
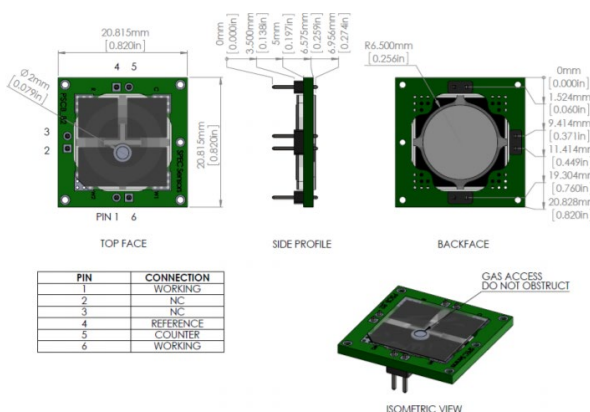
เมื่อ

I = ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

X = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัด

X_i, X_j = ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

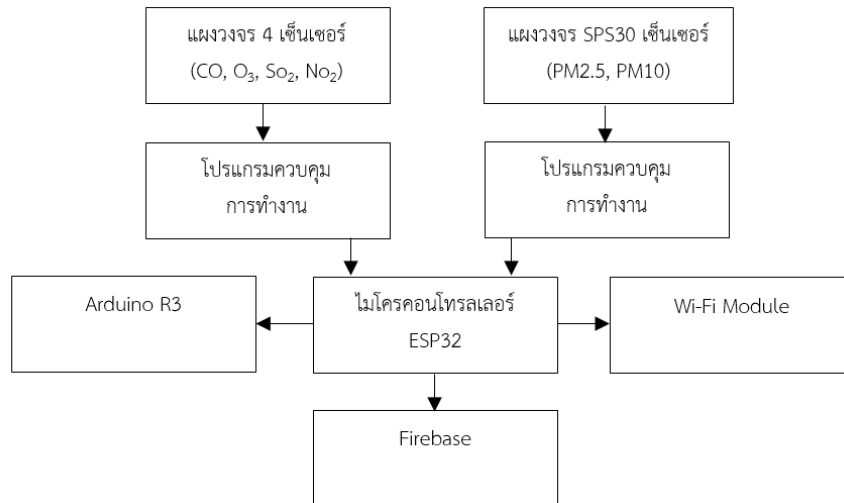
I_i, I_j = ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรงกับช่วงความเข้มข้น X จากค่าดัชนีย่อยที่คำนวณได้ สารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าดัชนีสูงสุด จะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ณ ช่วงเวลานั้น



ภาพที่ 4 เซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (SPS30)

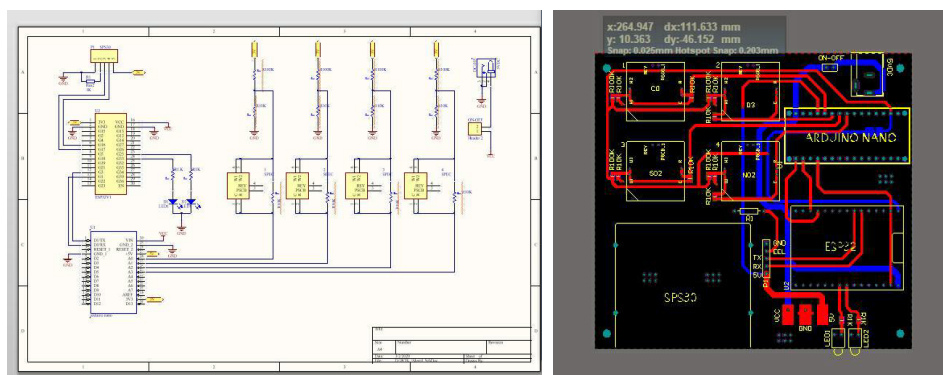
ภาพที่ 3 ตัวอย่างเซ็นเซอร์วัดค่า CO, O₃, SO₂, NO₂ ของ SPEC

2. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่างๆ จากนั้นดำเนินการออกแบบระบบการทำงานของโมดูลวัดคุณภาพอากาศ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 5

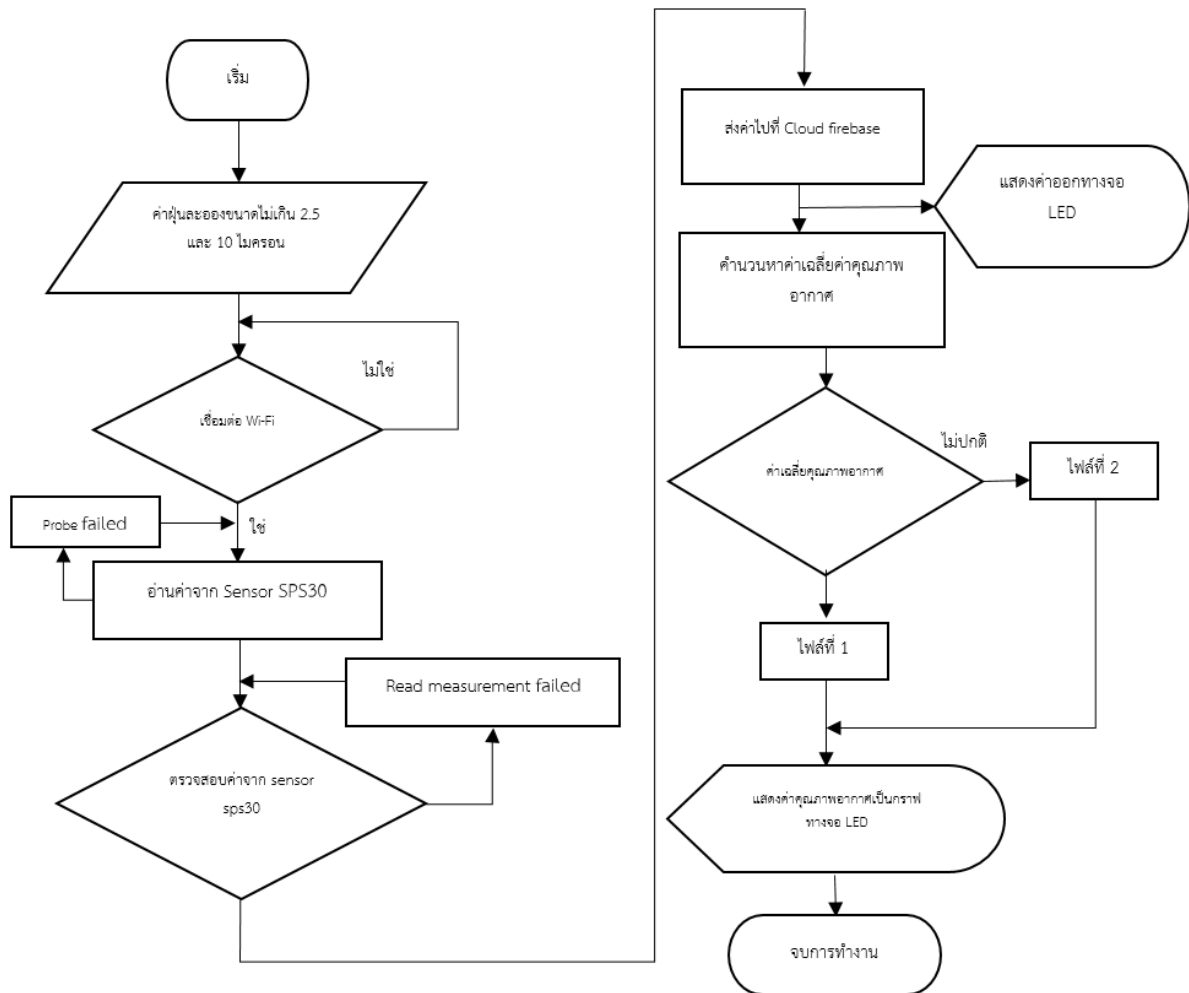


ภาพที่ 5 การทำงานของโมดูลวัดคุณภาพอากาศ

โมดูลวัดคุณภาพอากาศจะรับค่าก๊าซต่างๆ ได้แก่ CO, O₃, SO₂, NO₂ และค่าฝุ่นละออง PM2.5/10 เข้ามายังแผงวงจรแล้วทำการตรวจสอบโดยผ่านโปรแกรมควบคุม จากนั้นจะนำค่าที่ตรวจวัดได้ไปเก็บในตัวแปรของบอร์ดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน R3 โดยแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบของ String แล้วส่งค่าไปยังบอร์ดประมวลผล ESP32 และส่งข้อมูลขึ้นไปยังฐานข้อมูล Firebase บนระบบคลาวด์ผ่านเครือข่ายไร้สาย จากนั้นทำการดึงข้อมูลทั้ง 6 ค่ามาแสดงผลในรูปแบบกราฟและแผนที่ผ่านแดชบอร์ดบนเว็บ เมื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ รวมถึงการเชื่อมต่อกับ Firebase แล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบแผงวงจรเพื่อสั่งทำบอร์ด PCB ให้มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถรองรับการติดตั้งเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโมดูลได้ ภาพที่ 6 และ 7 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการทำงานของเซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5/10 ไมครอน ซึ่งเซ็นเซอร์แบบอื่นๆ ก็ทำงานในรูปแบบขั้นตอนที่เหมือนกัน

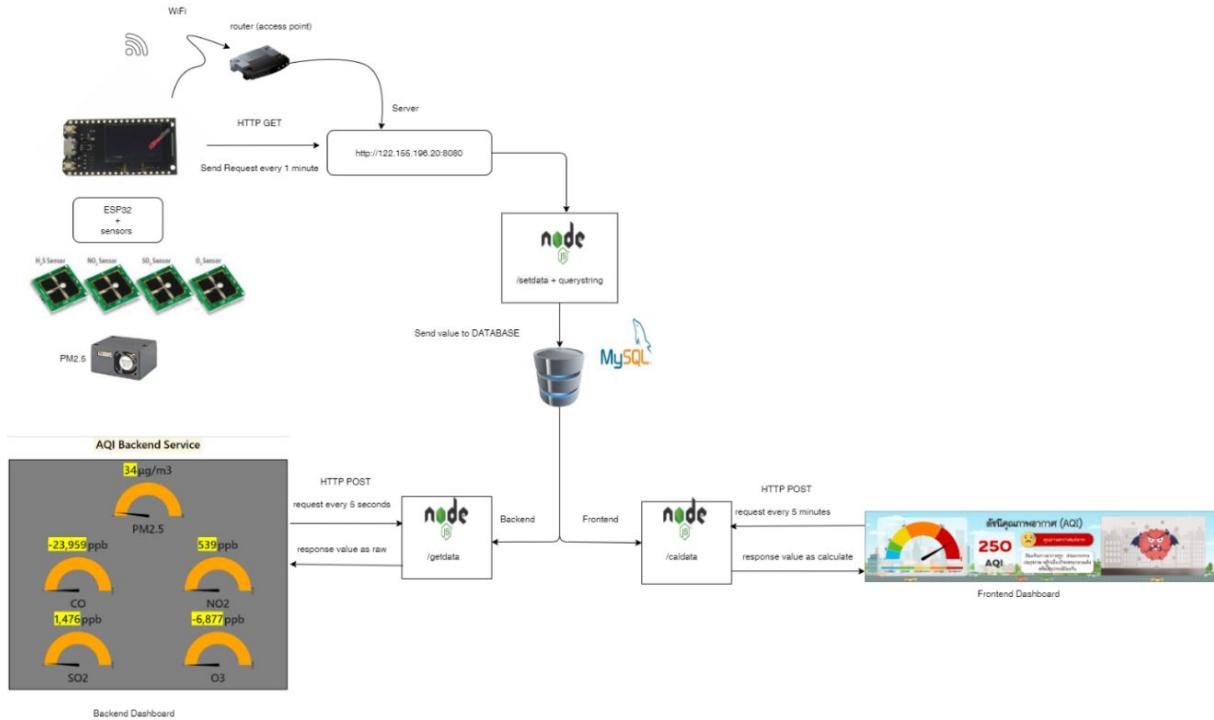


ภาพที่ 6 แผงวงจรโมดูลวัดคุณภาพอากาศ



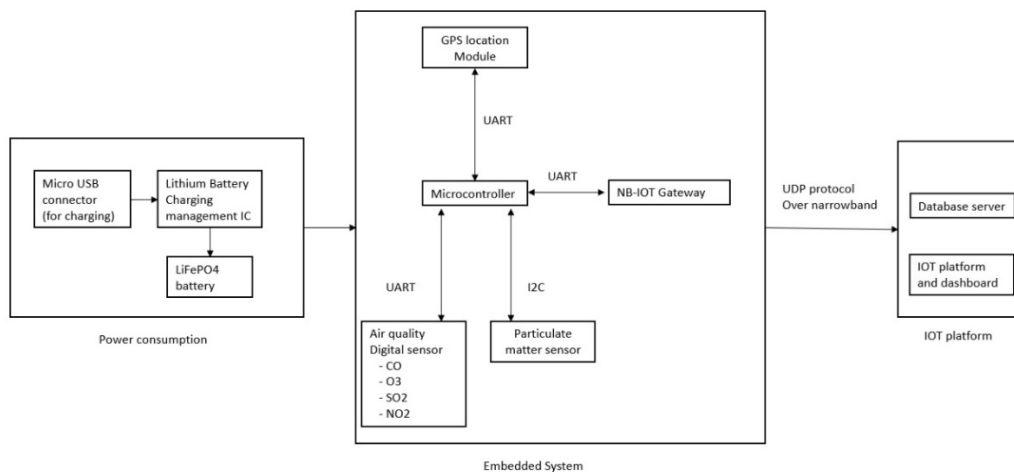
ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของเซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5/10 ไมครอน

3. ออกแบบไดอะแกรมภาพรวมของระบบที่ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศขนาดเล็ก การพัฒนาในส่วน Front-End และ Back-End รวมถึงการรับ-ส่งข้อมูล แสดงดังภาพที่ 8



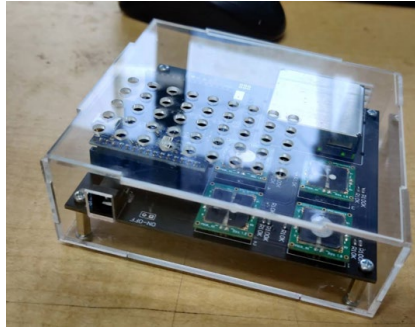
ภาพที่ 8 ไดอะแกรมภาพรวมของระบบที่พัฒนา

ระบบใช้ Nodejs ทำงานในรูปแบบเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้โปรโตคอล HTTP (GET method) ในการส่งข้อมูลทุกๆ 1 นาที ค่าที่วัดได้จะถูกส่งออกมาจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ทั้ง 5 ตัว ได้แก่ CO, NO₂, O₃, SO₂, PM2.5/10 และส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไปจัดเก็บในฐานข้อมูลในคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ระบบ Back-End ถูกพัฒนามาบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลทุกๆ 5 วินาที นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดระยะเวลาในการดึงข้อมูลได้ผ่านจอแสดงผลแบบแอนิเมชัน โปรแกรมที่พัฒนาจะดึงข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลมาคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI เมื่อได้ระดับค่า AQI แล้วจะทำการแปรผลและดึงข้อมูลกราฟฟิคทั้งในรูปแบบภาพนิ่งและไฟล์วิดีโอที่จัดเตรียมไว้เพื่อไปแสดงผล โดยโปรแกรมสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไปยังจอแสดงผลที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ภาพที่ 9 แสดงองค์ประกอบของระบบที่ได้พัฒนาในส่วน power consumption, embedded system และส่วน IoT แพลตฟอร์ม



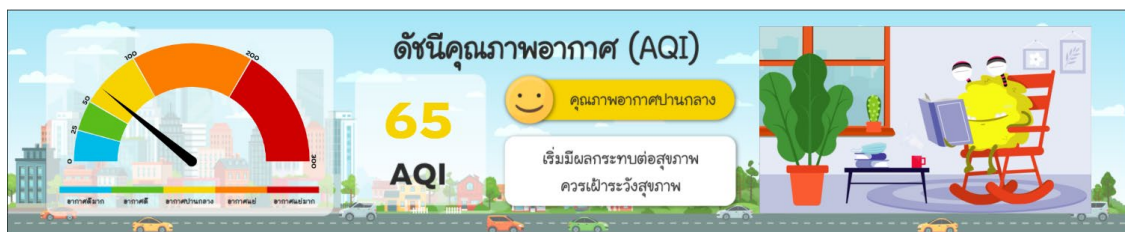
ภาพที่ 9 การพัฒนาส่วน Power Consumption, Embedded System และ IoT Platform

4. อุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็กที่ได้พัฒนาแสดงดังภาพที่ 10



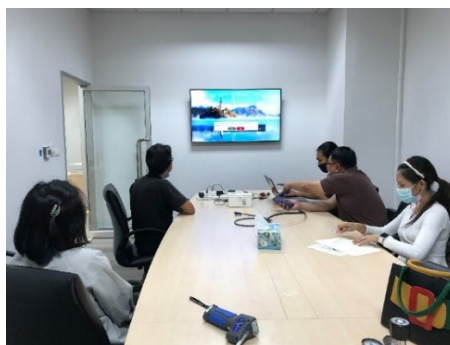
ภาพที่ 10 อุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็ก

5. พัฒนาแดชบอร์ดหลักในส่วน Front-End ที่ประกอบด้วยเกจวัดแสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) แสดงค่าพร้อมตัวเลข ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ คำแนะนำสำหรับการปฏิบัติ และวิดีโอแอนิเมชันเพื่อสร้างการรับรู้ ดึงดูดความสนใจ ผู้วิจัยได้พัฒนารูปแบบการนำเสนอข้อมูลที่แตกต่างกัน จำนวน 5 รูปแบบหรือระดับตามมาตรฐานการแบ่งช่วงระดับคุณภาพอากาศ ตามเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย ข้อมูลตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แดชบอร์ดหลักในส่วน Front-End สำหรับการแสดงผล

6. ทำการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของชุดอุปกรณ์ แสดงดังภาพที่ 12 โดยทำการสอบเทียบชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่กับอุปกรณ์วัดค่าก๊าซมาตรฐาน ณ สถาบันมาตรวิทยา ผลการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยพัฒนานั้นสามารถวัดค่าได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ชุดสอบเทียบ ค่า PM2.5/10 ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าก๊าซอื่นๆ ในหน่วย ส่วนในพันล้านส่วน หรือ ppb และส่วนในล้านส่วน หรือ ppm



ภาพที่ 12 ทดสอบความถูกต้องแม่นยำของชุดอุปกรณ์

7. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และระบบติดตามบนคลาวด์ในพื้นที่จริง บริเวณสยามสแควร์ ปทุมวัน จำนวน 3 จุด และทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากในพื้นที่กับค่าที่ได้จากสถานีรายงานรายงานคุณภาพอากาศที่ใกล้ที่สุดที่รายงานโดยกรมควบคุมมลพิษ การติดตั้งและทดสอบการใช้งานอุปกรณ์และการทำงานของระบบ รวมถึงส่วนเชื่อมต่อกับจอแสดงผลแอลอีดี แสดงดังภาพที่ 13



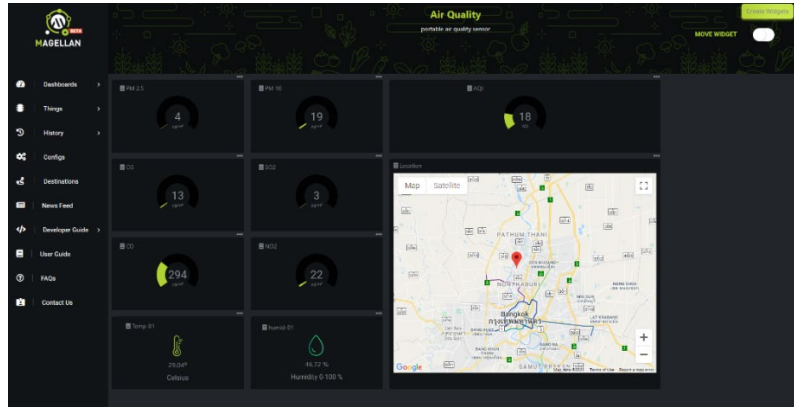
ภาพที่ 13 การติดตั้งและทดสอบการใช้งานอุปกรณ์และระบบในพื้นที่จริง

8. รายงานข้อมูลคุณภาพอากาศผ่านจอโฆษณาแอลอีดีขนาดใหญ่ แสดงดังภาพที่ 14 สถานีจอโฆษณาแอลอีดีถูกออกแบบให้เชื่อมต่อกับระบบคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อดึงข้อมูลกราฟฟิกและแอนิเมชันมาแสดงผล เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่ได้ทราบข้อมูลคุณภาพอากาศ ณ เวลาปัจจุบัน วิธีการปฏิบัติตนเองเพื่อระวัง ป้องกัน หรือหลีกเลี่ยงเมื่อคุณภาพอากาศเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ผู้วิจัยเน้นสื่อสารข้อมูลที่มีความน่าสนใจ เข้าใจง่าย เกิดการรับรู้และบอกต่อ ซึ่งดำเนินการตามข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจจากประชาชนในพื้นที่ในขั้นตอนแรกของงานวิจัย



ภาพที่ 14 การทดสอบติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ในพื้นที่จริง

9. ในส่วน Back-End บนคลาวด์ได้พัฒนาแดชบอร์ดสำหรับรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศโดยแสดงผลข้อมูลแบบเวลาจริง และใช้แผนที่สำหรับระบุตำแหน่งหรือพื้นที่ที่มีการวัดและรายงานข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์ สภาพแวดล้อมบนคลาวด์ประกอบด้วย ซีพียู 2 vCPU, RAM 4 GB และพื้นที่จัดเก็บข้อมูล 50 กิกะไบต์ ภาพที่ 15 แสดงแดชบอร์ดรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศบนระบบคลาวด์



ภาพที่ 15 แดชบอร์ดรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศบนระบบคลาวด์

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่ที่มีขนาดเล็ก สามารถวัดข้อมูลคุณภาพอากาศและค่าก๊าซต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ สามารถพกพาไปกับรถยนต์หรือหน่วยเคลื่อนที่ได้ สามารถวัดข้อมูลคุณภาพอากาศในพื้นที่เฉพาะจุดและรายงานข้อมูลได้แบบเวลาจริง ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายและส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์ ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถแสดงแผนที่คุณภาพอากาศเฉพาะตำแหน่งที่เจาะจงหรือเฉพาะจุดที่เข้าทำการตรวจวัดได้ แสดงผลข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์แบบเวลาจริง ทั้งในส่วน Back-End และ Front-End สามารถต่อเชื่อมกับจอแสดงผลที่ติดตั้งอยู่ที่ใดก็ได้ ข้อมูลจะถูกส่งจากระบบ Back-End บนคลาวด์กลับไปยังจอแสดงผลที่เชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่าย ด้วยวิธีการนี้ ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จะได้ทราบข้อมูลคุณภาพอากาศที่เป็นจริง ณ เวลาปัจจุบัน ทราบถึงระดับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับตนเอง ตลอดจนทราบคำแนะนำและวิธีการป้องกันตนเองจากปัญหามลพิษในอากาศหาวิธีการป้องกันหรือหลีกเลี่ยงเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาหามลภาวะทางอากาศในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น พื้นที่อุตสาหกรรม ชุมชนแออัด พื้นที่การจราจรคับคั่ง ซึ่งประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่หรือผู้สัญจรไปมาเป็นประจำไม่ทราบข้อมูลคุณภาพอากาศ ณ เวลาปัจจุบัน ทำให้ไม่ทราบถึงระดับผลกระทบที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ส่งผลให้ไม่ได้เฝ้าระวัง หลีกเลี่ยง ไม่ได้ป้องกันตนเองอย่างถูกต้องเหมาะสม ปัญหาจากความไม่รู้จึงส่งผลกระทบต่อประชาชนในวงกว้าง งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศและระบบติดตามข้อมูล เพื่อให้เป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศดิจิทัลของ การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ สามารถสนับสนุนข้อมูลคุณภาพอากาศในพื้นที่สำคัญเฉพาะจุดที่เป็นปัญหา ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญให้กับหน่วยงานภาครัฐหรือหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในงานที่เกี่ยวข้องได้

ข้อเสนอแนะ

ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดสำหรับพัฒนาระบบรายงานคุณภาพอากาศในพื้นที่เสี่ยง พื้นที่ที่มีมลภาวะอากาศเป็นพิษ สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศในเชิงพื้นที่ได้ นอกจากนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเชื่อมต่อข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

เอกสารอ้างอิง

- Aekkanat, et al. (2019). Data Predictive Model of Thai Air Quality Using Data Visualization Based on national Ambient Air Quality Standards. *The Proceedings of the 4th International RMUTR Conference*, 26-28 June 2019, 1-10. (in Thai)
- Chirdsiri, et al. (2017). The Study of Indoor Air Quality Affect on The Sick Building Syndrome of Photocopier Operators. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 9(3), 106-120.
- Dayanand, S. T., et al. (2020). Arduino Uno Based Air Quality Monitoring and Filtering System. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 10(2), 24556-24560.
- JunHo, J., et al. (2020). Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform. *Journal of Sensors*, 20(1), 1-14.
- Maturod, et al. (2018). Indoor Air Quality in Hotel Buildings and Sick Building Syndrome of Hotel Staffs, Surat Thani Province. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 20(3), 64-73.
- Mohit et al. (2019). Air Quality Index Prediction of Delhi using LSTM. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, 8(5), 59-68.
- Morawska, L. et al. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?. *Environ International Journal*, 116, 286–299. doi:10.1016/j.envint.2018.04.018.
- Nurul, A.Z. et al. (2018). Wireless Internet of Things-Based Air Quality Device for Smart Pollution Monitoring. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(11), 65-69.
- Orawan et al. (2017). Measuring Dust System in the Air on Smartphone Devices. *Journal of Information Science and Technology*, 10(1), 1-9. (in Thai)
- Patricia, A.V. (2019). *Accessibility Evaluation of Mobile Applications for Monitoring Air Quality*. Springer Nature Switzerland AG 2019, 918, 638–648. doi.org/10.1007/978-3-030-11890-7_61.
- Ratanachuchock, P., (2019). Development of Water Quality Measurement Systems Using IoT to Monitor Water Quality through an Application. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11, 78-92. (in Thai)
- Senthil Rajan, M.E. et al. (2020). IoT BASED AIR QUALITY MONITORING SYSTEM. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(7), 2812-2819.
- Yaeseul, S. et al. (2019). Development of a Smart Air Quality Monitoring System and its Operation. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 13(1), 30-38.

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง และค่าความเข้มของสีบนชิ้นงานพลาสติกโดยใช้วิธีทาгуชิ

มนัส เจริญกิจ^{1,*}, วัชร ลายลักษณ์², วรณา รอดภัย³, สถาพร ขาตาม⁴

^{1,2,3,4}ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Received: 22 January 2022

Revised: 10 November 2022

Accepted: 10 November 2022

บทคัดย่อ

การฉีดพลาสติกที่มีส่วนผสมของเส้นใยเสริมแรงนั้นมักจะถูกใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงและใช้ทดแทนชิ้นงานที่ผลิตจากโลหะในบางครั้ง แต่ในการผลิตชิ้นงานดังกล่าวนี้มักจะประสบปัญหาในการผลิตเช่นคุณภาพของผิวชิ้นงานไม่ได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติก การเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงภายในชิ้นงานและการตั้งค่าเงื่อนไขในการฉีดที่ไม่เหมาะสม ในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ในการฉีดพลาสติกที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาгуชิ โดยมีปัจจัย 3 ปัจจัยด้วยกันคือ อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก อุณหภูมิแม่พิมพ์และความดันฉีด พลาสติกที่ใช้คือ Polyamide การแสดงผลการเรียงตัวของไฟเบอร์นั้นจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ผลค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยเสริมแรงภายในชิ้นงานและการวัดค่าความเข้มของสีนั้นจะใช้วิธีการ Colorimeter เพื่อแสดงค่าความเข้มสีที่ได้ จากผลการทดลองนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยเสริมแรงและค่าความเข้มสีมากที่สุดนั้น คือ ความดันฉีดพลาสติกและอุณหภูมิแม่พิมพ์ตามลำดับ ผลการทดลองวิเคราะห์ค่าการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงและค่าความเข้มสีภายหลังจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทาгуชินั้นเท่ากับ 75.62% และ 23.12

คำสำคัญ: เส้นใยเสริมแรง การฉีดพลาสติก ความเข้มของสี วิธีทาгуชิ

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: manat.h@cit.kmutnb.ac.th

Effects of temperature and pressure to fiber orientation and color intensity of plastic part by using Taguchi method

Manat Hearunyakij^{1,*}, Vatchara Layluk², Wanna Rodpai³, Sathaporn Chatakorn⁴

^{1,2,3,4}Department of Mechanical Engineering, College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Received: 22 January 2022

Revised: 10 November 2022

Accepted: 10 November 2022

Abstract

Plastic injection parts with fiber reinforce always use for applications of high-strength injection parts and sometimes for replacement of metal parts. However, part surface problems were concerned due to limitations of material property, fiber orientation in plastic parts, and improper injection conditions. This research aimed to study the process parameters that affected fiber orientation and color intensity of plastic parts. Taguchi method was applied for the design of experiment (DOE) to analyze the results of average fiber length and color intensity for the injection part. The main parameters which were melt temperature, mold temperature, and injection pressure were investigated as injection condition settings in DOE. Plastic flow analysis software was used for the investigation of average fiber length and colorimeter equipment was used for color intensity indicating. From the results, the parameters that affected highly to average fiber length and color intensity were injection pressure and mold temperature respectively. The average fiber length and color intensity results after improvement with the Taguchi method were 75.62% and 23.12 respectively.

Keywords: Fiber Reinforced, Plastic Injection, Color Intensity, Taguchi Method

* Corresponding Author; E-mail: manat.h@cit.kmutnb.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการฉีดพลาสติกที่มีการผสมเส้นใยเสริมแรง (Fiber reinforced) นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของพลาสติกและใช้ทดแทนชิ้นส่วนโลหะในอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งข้อดีของการผลิตชิ้นงานจากวัสดุดังกล่าวนี้ก็คือ ชิ้นงานที่ได้จะมีความแข็งแรงกว่าพลาสติกทั่วไปและมีน้ำหนักเบากว่าโลหะ ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนได้ดี โดยในปัจจุบันได้มีการใช้ในอุตสาหกรรมหลายๆ ประเภทเช่น การผลิตรถยนต์ การผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและชิ้นส่วนอากาศยาน (Li et al., 2017) เป็นต้น พลาสติกที่นิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานที่มีส่วนผสมของเส้นใยเสริมแรงนั้นเช่น Polyamide (PA) Polyoxymethylene (POM) และ Polypropylene (PP) โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและทดลองผลิตเส้นใยเสริมแรงหลากหลายประเภททั้งในส่วน of เส้นใยสังเคราะห์เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fiber reinforcement) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) (Kausar, 2019) หรือเส้นใยจากธรรมชาติเช่น เส้นใยกัญชง (Hemp fiber) (Antoine et al., 2020) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตชิ้นงานจากวัสดุดังกล่าวนี้ มักประสบกับปัญหาการบิดตัวของชิ้นงาน การเกิดรอยแตกบนชิ้นงาน (Tanaka et al., 2014) ปัญหาผิวชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ (Wang et al., 2013) รวมถึงปัญหาการเกิดรอยเงาและความเข้มของสีที่ไม่เท่ากันบนผิวชิ้นงาน (Gloss transition and color intensity defect) (Gim et al., 2020) ซึ่งปัญหาดังกล่าวนั้น มักจะเกิดจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพหรือการตั้งค่าเงื่อนไขในการฉีดเช่น อุณหภูมิของพลาสติกเหลว (Melt temperature) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold temperature) และความเร็วในการฉีด (Flow front speed) ที่ไม่เหมาะสม (Chacinski and Sutowski, 2021) ซึ่งการแก้ไขปัญหาผิวชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพนั้นอาจต้องแก้ไขด้วยการพ่นสี (Painting) หรือการชุบ (Coating) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนและระยะเวลาเป็นอย่างมาก

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการใช้เครื่องมือทางสถิติ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกเข้ามาช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิและความดันที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยและความเข้มของสีบนผิวชิ้นงานที่ได้ โดยชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือชิ้นส่วนโครงหลังคาของรถกระบะที่ผลิตจากพลาสติกประเภท PA ที่มีส่วนผสมของเส้นใยเสริมแรง 30%

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความดันที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง (Fiber orientation)
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความดันที่ส่งผลต่อความเข้มของสี (Color intensity) บนชิ้นงานฉีดพลาสติก
3. เพื่อพัฒนาวิธีการใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของพลาสติกร่วมกับวิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์การฉีดพลาสติกที่มีส่วนผสมของเส้นใยเสริมแรง

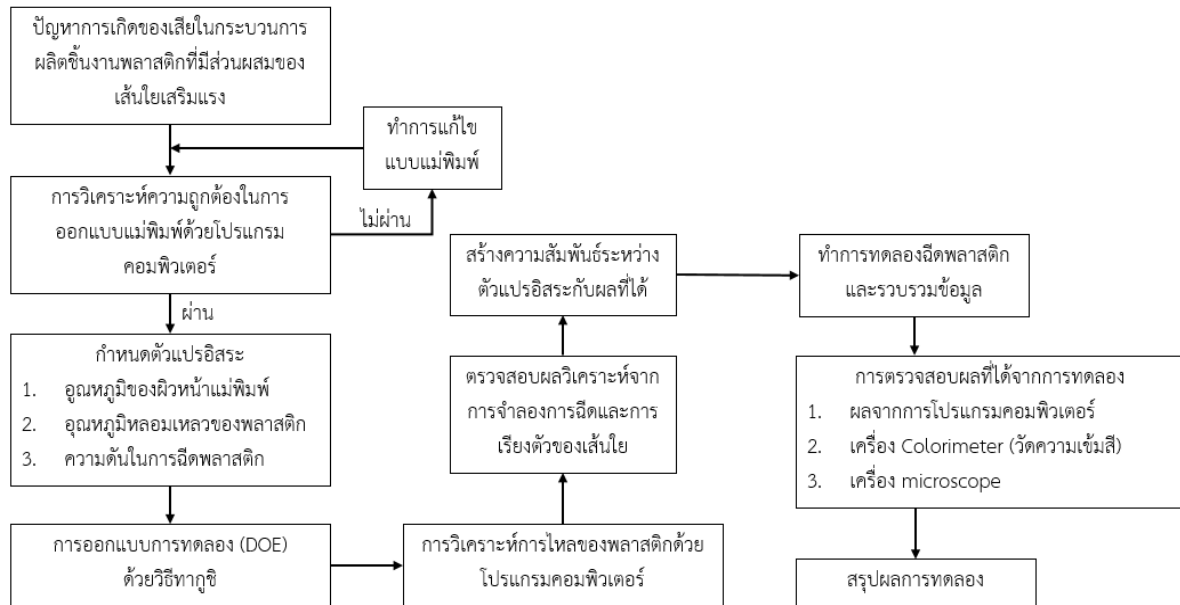
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเงื่อนไขในการฉีดพลาสติกที่ส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานพลาสติกนั้น ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากอุณหภูมิที่ผิวหน้าแม่พิมพ์ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของชิ้นงานพลาสติกประเภท HDPE ชิ้นงานถูกทดลองฉีดด้วยอุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันออกไปและนำไปทดสอบค่า

คุณสมบัติเชิงกล ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Karagoz and Tuna, 2021) เงื่อนไขในการฉีดพลาสติกเช่น อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันได้ถูกทดลองเพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานพลาสติกประเภท PP และวิธีทาคุชิ (Taguchi method) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงการเรียงตัวของเส้นใย ในการวิจัยนั้นได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติก จากผลที่ได้ทำให้ทราบว่าเวลาที่ใช้ในการเติมเต็ม ความดันและความเร็วในการฉีดนั้น ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงอย่างมีนัยสำคัญ (Li et al., 2017) ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของการไหลของพลาสติกที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของไฟเบอร์และคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานพลาสติก (Huang et al., 2021) แม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดชิ้นงานจะถูกออกแบบให้มีทางเข้าของน้ำพลาสติก (Gate) ที่แตกต่างกันและชิ้นงานจากการทดลองถูกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าพลาสติกที่มีส่วนผสมของเส้นใยมีคุณสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นและรูปแบบการไหลของพลาสติกส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และเครื่องมือทางสถิติเข้ามาช่วยเพื่อวิเคราะห์และศึกษาปัญหาจากการฉีดพลาสติก โปรแกรม Moldex3D ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเรียงตัวของเส้นใย โดยทำการเปรียบเทียบจากการสร้าง Mesh ที่แตกต่างกัน ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองจริง (Foss et al., 2014) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังได้เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การเรียงตัวของเส้นใยในงานฉีดแบบหลายวัสดุ (Huang et al., 2020) ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเรียงตัวของเส้นใยที่ใกล้เคียงกับผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากการศึกษเกี่ยวกับผลของการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงต่อคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานแล้วนั้น ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบดังกล่าวต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน (Roo et al., 2022) โดยศึกษากับพลาสติกประเภท PA และ PBT ที่มีส่วนผสมของเส้นใย 30% ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเรียงตัวของเส้นใยนั้นส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและความหยาบผิวของชิ้นงาน อุณหภูมิที่ผิวหน้าแม่พิมพ์และการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงได้ถูกศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพผิวที่ได้ของชิ้นงาน เช่น รอยเชื่อมชน ความหยาบผิวและความแตกต่างของสีบนผิวชิ้นงานพลาสติก (Wang et al., 2013) โดยอุณหภูมิที่ผิวหน้าแม่พิมพ์นั้นจะส่งผลโดยตรงต่อความหยาบผิวและความเข้มสีบนผิวของชิ้นงาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา การศึกษาการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงมักจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาสมบัติเชิงกล ซึ่งยังขาดการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบดังกล่าวต่อคุณภาพอื่นๆ ของชิ้นงาน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1 จะศึกษาตัวแปรอิสระ 3 ตัวคือ อุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์ อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกและความดัน ที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงภายในชิ้นงานพลาสติก ในการออกแบบการทดลองนั้นจะใช้วิธีการทางสถิติที่เรียกว่าวิธีทากูชิ เพื่อลดขั้นตอนและระยะเวลาในการทดลอง ในการจำลองพฤติกรรมของการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงและเงื่อนไขในการฉีดจากวิธีทากูชินั้น จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในแสดงผลและนำค่าที่ดีที่สุดไปทำการทดลองฉีดจริง การตรวจสอบชิ้นงานจะใช้เครื่องวัดค่าความเข้มสีและกล้องจุลทรรศน์เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบการทดลอง

ในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองผลการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงและการทดลองฉีดพลาสติกเพื่อวัดค่าความเข้มของสีนั้นจะใช้วิธีการทากูชิ เพื่อออกแบบการทดลองแบบเมตริกซ์ตามตาราง Orthogonal array แบบ L-9 (3^3) ซึ่งประกอบด้วย 3 ตัวแปรคือ อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์และความดันฉีด โดยในแต่ละตัวแปรนั้นมี 3 ระดับดังแสดงในตารางที่ 1 ในการใช้อัตราส่วนแบบ Signal-to-noise (S/N) ของวิธีทากูชิเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ใช้วัดผลกระทบของปัจจัย Noise ตามรูปแบบของสมรรถนะตัวแปรและทำการวัดค่า ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองจะพิจารณาจากค่าตัววัดของทากูชิที่ทำให้ผลของค่า Average fiber range มีค่ามากที่สุด (Larger-is-better) ตามสมการที่ 1 โดยค่าดังกล่าวนี้จะแสดงผลอัตราส่วนความยาวของเส้นใยหลังจากการฉีดพลาสติกซึ่งจะแสดงผลเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่สูงจะแสดงว่าความยาวของเส้นใยเฉลี่ยภายในชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกันมาก

$$S / N_s = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

ในขณะที่การทดลองวัดค่าความเข้มของสีนั้นจะพิจารณาจากค่าตัววัดของทากูชิที่ทำให้ผลของค่าเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด (Smaller-is-better) ตามสมการที่ 2 ซึ่งหมายความว่าค่าความเข้มสีมากที่สุด ส่วนตัวแปรที่ไม่ได้กำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเนื่องจากปัจจัยภายนอกเกิดขึ้นน้อยที่สุดเช่น ประสิทธิภาพเครื่องจักร สภาพอากาศหรือผู้ปฏิบัติงาน

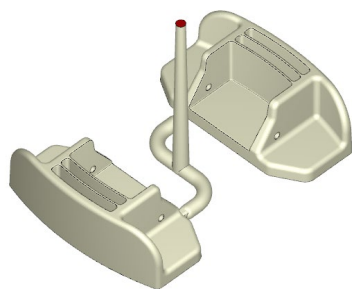
$$S / N_s = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

ตารางที่ 1 ค่าปัจจัยและระดับที่ใช้ในการออกแบบการทดลองและการฉีดพลาสติก

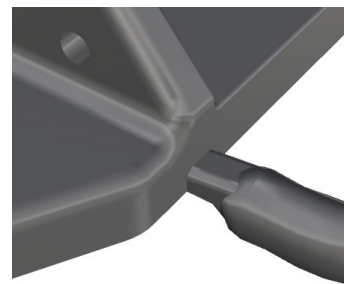
ระดับ	อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	ความดันฉีด (Mpa)
1	260	70	90
2	270	80	100
3	280	90	110

การวิเคราะห์การไหลของพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการทดลองฉีดพลาสติก

ในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกจะใช้เงื่อนไขตามการทดลองในตารางที่ 2 ขึ้นงานในการทดลองนั้นถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 2 (ก) โดยมีขนาด 80.0 × 118.0 × 27.0 (มม.) มีทางเข้าแบบสี่เหลี่ยมขนาด 4.0 × 4.0 × 2.0 (มม.) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) วัสดุทำแม่พิมพ์คือ เหล็กเกรด P20 และพลาสติกที่ใช้คือ PA-MXD6 เกรด RENY 1301 ของ Mitsubishi-Engineering ซึ่งมีอัตราส่วนของเส้นใยเสริมแรง (Glass fiber) ต่อน้ำหนักอยู่ที่ 30% อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกมีค่า 250-300 °C อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ใช้ได้มีค่า 60-100 °C อุณหภูมิปลดของชิ้นงาน (Ejection temperature) 188 °C และอุณหภูมิต่ำสุด (Freezing temperature) 208 °C ขนาดของแม่พิมพ์ (Mold base) มีขนาด 350 × 350 × 200 มม.



(ก)

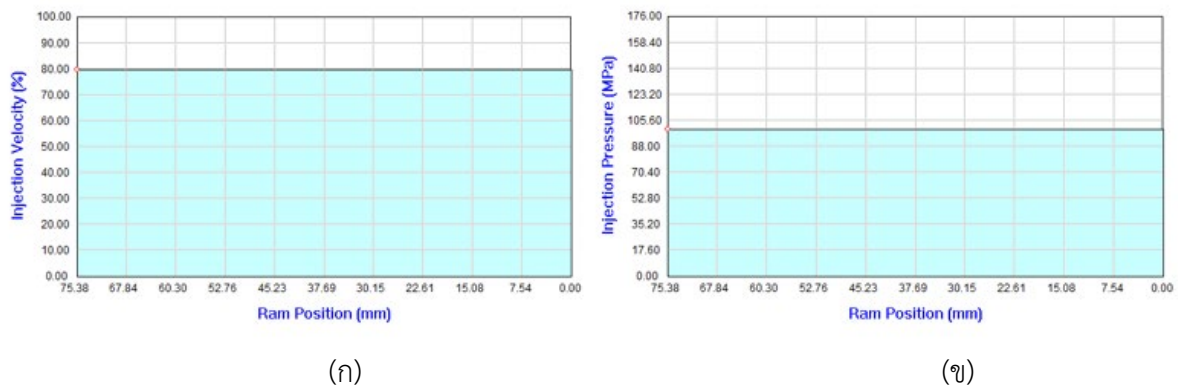


(ข)

ภาพที่ 2 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองฉีดพลาสติก (ก) และทางเข้าของพลาสติกเหลว (ข)

เงื่อนไขในการฉีดนั้นจะทำการตั้งค่าความเร็วในการฉีด (Injection velocity) ที่ 80 % ของค่าสูงสุดของเครื่องฉีดตามภาพที่ 3 (ก) และทำการตั้งความดันในการฉีดคงที่ตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ตามตัวอย่างในภาพที่ 3 (ข) เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในการวิเคราะห์และการทดลองฉีดจริงนั้นเลือกใช้เครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ NISSEI

รุ่น NEX110-12E-B275 ซึ่งมีแรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) สูงสุดที่ 110 ตัน ปริมาณพลาสติกสูงสุดที่ฉีดได้ (Shot weight) 116 กรัมและความดันสูงสุดที่ฉีดได้ 176 MPa



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการตั้งค่าความเร็วในการฉีดที่ 80 % (ก) และความดันที่ 100 MPa (ข)

การจำลองการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง (Fiber orientation)

ในการวิเคราะห์การเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงภายในชิ้นงานพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น จะใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ Fiber orientation ภายในโปรแกรม Moldex3D (Peter H. Foss, 2014) เพื่อแสดงผลรูปแบบการเรียงตัวและค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\dot{A} = \dot{A}^{HD} + \dot{A}^{iARD}(C_I, C_M) + \dot{A}^{RPR}(\alpha) \quad (2)$$

โดยสมการที่ (2) นั้นจะเป็นสมการที่ได้มาจากการรวมของ 3 เทอมด้วยกันคือ Jeffery Hydrodynamics (HD), improved anisotropic rotary diffusion (iARD) และ Retardant Principal Rate (RPR) โดยที่ iARD นั้นจะแทนที่ด้วยค่าตัวแปรสองตัวคือ $\dot{A}^{iARD}$ และ D_r แทนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) อื่นๆ ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4);

$$\dot{A}^{iARD} = \dot{\gamma} [2(D_r) - 2tr(D_r)A - 5D_r \cdot A - 5A \cdot D_r + 10A_4 : D_r] \quad (3)$$

$$D_r = C_I(I - C_M \frac{D^2}{\|D^2\|}) \quad (4)$$

ค่า $\dot{A}^{iARD}$ จะประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์ C_I และ C_M โดยที่ค่า $\dot{\gamma}$ คือค่าความเค้นเฉือน (Shear rate) ค่า D_r คือ Anisotropic rotary diffusion tensor ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า $2tr$ ซึ่งคือค่า The square of the rate of the deformation tensor ค่า D คือ The rate of deformation tensor ค่า A คือ The second-order orientation order ค่า A_4 คือ The fourth-order orientation tensor และค่า I คือ Identity matrix

เมื่อ $D = \frac{1}{2}(L^T + L)$ คือ Symmetric part of the velocity-gradient tensor L โดยที่ L คือ The velocity gradient tensor และค่าสเกลาร์ $\|D^2\| = \sqrt{\frac{1}{2}D^2 : D^2}$ คือ norm of tensor D^2 สำหรับค่า RPR นั้นจะอธิบายถึงการหน่วงความเร็วของเส้นใยเสริมแรงตลอดการไหลของพลาสติก (The slow-down of fiber rotation along the flow) ซึ่งอธิบายได้จากสมการที่ (5);

$$\dot{A}^{RPR} = -R \cdot \dot{A}^{IOK} \cdot R^T \quad (5)$$

และ

$$\dot{A}_{ii}^{IOK} = \alpha \dot{\lambda}_i \quad i, j, k = 1, 2, 3 \quad (6)$$

เมื่อ $\dot{A}^{RPR}$ คือค่า Similarity transformation of linear algebra, $\dot{A}^{IOK}$ และ R คือค่า Diagonal และ Rotational matrix ค่า R^T คือค่า Transpose ของ R และค่า T คือค่า Transpose operator of a matrix ค่า $\dot{A}_{ii}^{IOK}$ คือ The material derivative of a particular diagonal tensor และค่า Superscript คือผลรวมของ The intrinsic orientation kinetics (IOK) ค่า $R = [e_1, e_2, e_3]$ คือค่า The rotation matrix และ $\lambda_i (\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3)$ คือค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalues) ของ A

ค่า C_I , C_M และ α คือค่าพารามิเตอร์ของปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเสริมแรง (Fiber-fiber interaction) และถูกกำหนดค่าไว้ที่ $0 < C_I < 0.1$, $0 < C_M < 1$, $0 < \alpha < 1$

การตรวจสอบค่าความเข้มของสีบนชิ้นงาน

การตรวจสอบค่าความเข้มสี (Color intensity) จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Colorimeter ยี่ห้อ CHN spec (Model: CS-10, Sensor: Photodiode array, Color space: CIELAB, Illumination system: 8°/diffused illumination) ในการวัดค่าความเข้มสีนั้นจะอ้างอิงตามมาตรฐาน International Commission on Illumination (Souad et al., 2019) เครื่อง Colorimeter ที่ใช้ในการวัดค่านั้นถูกแสดงในภาพที่ 4 (ก) โดยมีช่วงของการวัด (L^*) ในช่วง 0-100 โดยค่า 0 จะหมายถึงสีดำและค่า 100 จะหมายถึงสีขาว ในการวัดค่านั้นจะทำการวัดที่ตำแหน่งบนชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 4 (ข) จำนวน 3 ตำแหน่งด้วยกันและนำค่าที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อตรวจสอบค่าความเข้มของสีบนชิ้นงาน



(ก)



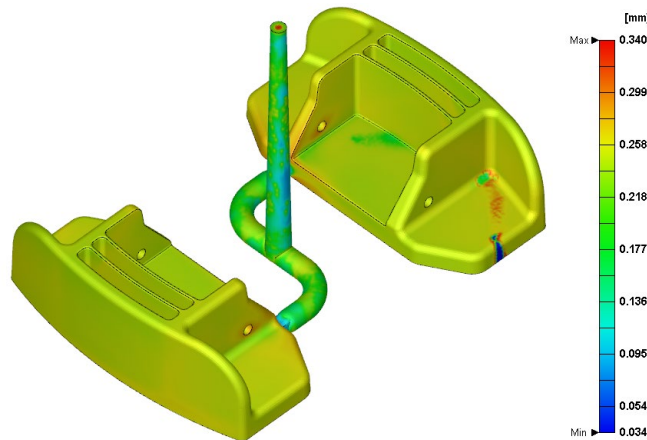
(ข)

ภาพที่ 4 เครื่อง Colorimeter สำหรับวัดค่าความเข้มของสี (ก) และตำแหน่งที่วัดบนชิ้นงาน (ข)

การตรวจสอบลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงด้วยกล้องจุลทรรศน์

ในการตรวจสอบการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงภายในชิ้นงานนั้นจะทำการเตรียมชิ้นงานด้วยวิธีการกัด (Milling) จากผิวชิ้นงานลงไป 0.5 มม. เพื่อดูความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานในแต่ละเงื่อนไข ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองด้วยเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากวิธีทางสถิติในตารางที่ 3 จะถูกเปรียบเทียบกับชิ้นงานจากการทดลองด้วยเงื่อนไขที่ 9 จากตารางที่ 2 ในการตรวจสอบนั้นจะใช้กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล (Digital microscope) ยี่ห้อ HIROX

มีกำลังขยายสูงสุด 10000 เท่าในการตรวจสอบ ในการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบที่ตำแหน่งหมายเลข 2 บนชิ้นงานพลาสติกดังแสดงในภาพที่ 4 (ข)



ภาพที่ 5 ผลการจำลองค่า Filling average fiber range

ผลการการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์การเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงจากวิธีทาทุชิ

ผลการทดลองการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้เงื่อนไขการทดลองด้วยวิธีทาทุชิถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2 ผลของค่าเฉลี่ยการเรียงตัวของไฟเบอร์ที่ดีที่สุดจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นได้รับการทดลองที่ 9 โดยมีค่า 72.34 % ซึ่งแสดงถึงอัตราความยาวเฉลี่ยของเส้นใยเสริมแรงทั้งหมดภายในชิ้นงานโดยมีเงื่อนไขการฉีดดังนี้ อุณหภูมิหลอมเหลว 280 °C อุณหภูมิแม่พิมพ์ 90 °C และความดันฉีด 100 MPa ตัวอย่างผลการจำลองการเรียงตัวของไฟเบอร์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 7 และมีค่าความยาวมากที่สุดที่ 0.34 มม. อัตราส่วน S/N ของค่า Average fiber range มีค่าระหว่าง 35.03-37.19 โดยมีค่าเฉลี่ยของ S/N ที่ 35.95

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาทุชิและผลของ Average fiber range

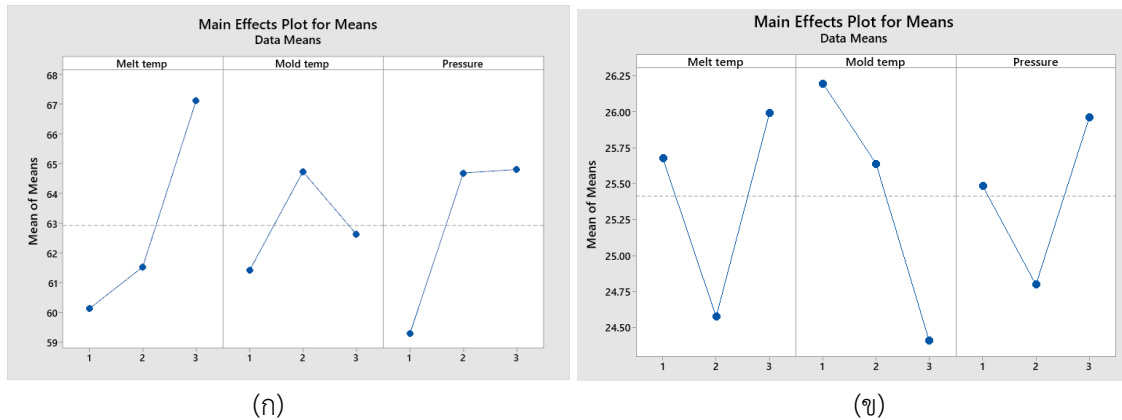
Run	อุณหภูมิหลอมเหลวของ พลาสติก (°C)	อุณหภูมิผิวหน้า แม่พิมพ์ (°C)	ความดันฉีดพลาสติก (Mpa)	Average fiber range (%)	S/N
1	260 (1)	70 (1)	90 (1)	58.73	35.38
2	260 (1)	80 (2)	100 (2)	71.56	37.10
3	260 (1)	90 (3)	110 (3)	59.13	35.44
4	270 (2)	70 (1)	100 (2)	70.21	36.93
5	270 (2)	80 (2)	110 (3)	68.98	36.77
6	270 (2)	90 (3)	90 (1)	56.40	35.03
7	280 (3)	70 (1)	110 (3)	66.30	36.43
8	280 (3)	80 (2)	90 (1)	62.70	35.95
9	280 (3)	90 (3)	100 (2)	72.34	37.19
Average					35.95

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิและผลความเข้มของสี

Run	อุณหภูมิหลอมเหลวของ พลาสติก (°C)	อุณหภูมิผิวหน้า แม่พิมพ์ (°C)	ความดันฉีดพลาสติก (Mpa)	ค่าความเข้มของสี (L*)	S/N
1	260 (1)	70 (1)	90 (1)	26.31	-28.40
2	260 (1)	80 (2)	100 (2)	25.42	-28.10
3	260 (1)	90 (3)	110 (3)	25.31	-28.06
4	270 (2)	70 (1)	100 (2)	24.83	-27.89
5	270 (2)	80 (2)	110 (3)	25.12	-28.00
6	270 (2)	90 (3)	90 (1)	23.77	-27.52
7	280 (3)	70 (1)	110 (3)	27.46	-28.77
8	280 (3)	80 (2)	90 (1)	26.38	-28.42
9	280 (3)	90 (3)	100 (2)	24.14	-27.65
Average					-28.09

2. ผลการทดลองวัดค่าความเข้มของสีบนผิวชิ้นงานจากวิธีทากูชิ

ผลการทดลองวัดค่าความเข้มของสีจากชิ้นงานที่ได้จากการทดลองฉีด โดยใช้เงื่อนไขการทดลองด้วยวิธีทากูชิ ถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 3 ผลของวัดค่าความเข้มของสีที่ดีที่สุดได้จากการทดลองที่ 6 โดยมีค่าความเข้มของสีที่ 27.52 ซึ่งค่านี้น้อยกว่าหมายถึงมีความเข้มมากกว่า (Smaller-is-better) โดยได้รับจากเงื่อนไขการฉีดดังนี้ อุณหภูมิหลอมเหลว 270 °C อุณหภูมิแม่พิมพ์ 90 °C และความดันฉีด 90 MPa อัตราส่วน S/N ของค่าความเข้มของสีมีค่าระหว่าง -27.52 ถึง -28.77 โดยมีค่าเฉลี่ยของ S/N ที่ 25.42 จากผลการทดลองตามตารางที่ 2 นั้นเมื่อนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลตามวิธีของทากูชิเพื่อกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับค่า Average fiber range ตามตารางที่ 4 นั้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าดังกล่าวมากที่สุดก็คือ ความดันฉีด อุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิหลอมเหลวตามลำดับ ซึ่งเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกที่ระดับ 3 อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ระดับ 2 และความดันฉีดที่ระดับ 2 สำหรับกราฟแสดงผลตอบสนองจากผลวิเคราะห์ของทากูชิเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยเสริมแรงนั้นถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 6 (ก) สำหรับผลตอบสนองต่อค่าความเข้มของสีบนผิวชิ้นงานนั้นจะถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 5 โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าดังกล่าวมากที่สุดนั้นคือ อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิหลอมเหลวและความดันตามลำดับ ซึ่งเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกที่ระดับ 2 ความดันฉีดพลาสติกที่ระดับ 3 และอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ระดับ 2 สำหรับกราฟแสดงผลตอบสนองจากผลวิเคราะห์ของทากูชิเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเข้มของสีนั้นจะถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 6 (ข)



ภาพที่ 6 การแสดงผลตอบสนองของปัจจัยต่อค่าเฉลี่ยความยาวของไฟเบอร์ (ก) และค่าความเข้มของสี (ข)

ในการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกเพื่อยืนยันผลการทดลองจากวิธีทางขึ้นนี้จะทำการกำหนดปัจจัยในการฉีดที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขที่ได้รับจากผลการทดลองก่อนหน้านี้ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 และ 4 โดยทำการกำหนดเงื่อนไขคือ อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก 280 °C อุณหภูมิแม่พิมพ์ 80 °C และความดันฉีด 110 MPa โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะถูกแสดงในภาพที่ 8 และค่าเฉลี่ยความยาวของไฟเบอร์นั้นมีค่า 75.62 % ซึ่งดีกว่าการทดลองก่อนหน้านี้

ตารางที่ 4 ผลตอบสนองของค่า Average fiber range ต่อปัจจัยที่ระดับต่างๆ

ระดับปัจจัย	อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	ความดันฉีด (Mpa)
1	63.14	65.08	59.28
2	65.20	67.75	71.37
3	67.11	62.62	64.8
ผลต่าง	3.97	5.12	12.09
ลำดับ	3	2	1

ตารางที่ 5 ผลตอบสนองของค่าเฉลี่ยความเข้มของสีบนผิวชิ้นงานต่อปัจจัยที่ระดับต่างๆ

ระดับปัจจัย	อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)	ความดันฉีด (Mpa)
1	25.68	26.2	25.49
2	24.57	25.64	24.8
3	25.99	24.41	25.96
ผลต่าง	1.42	1.79	1.17
ลำดับ	2	1	3

ในขณะที่การทดลองฉีดขึ้นงานเพื่อยืนยันผลการทดลองจากตารางที่ 4 นั้น จะทำการตั้งค่าเงื่อนไขคือ อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก 270 °C อุณหภูมิแม่พิมพ์ 90 °C และความดันฉีด 100 MPa โดยขึ้นงานที่ได้จากการทดลองนั้นถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 7 และค่าความเข้มของสีที่วัดได้เท่ากับ 23.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อ

ทำการทดสอบความถูกต้องด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ในการทดลองนี้กำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) ผลของ ANOVA สำหรับค่า Average fiber range และค่าความเข้มของสีถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยค่าความเชื่อมั่น (R^2) ของ Average fiber range อยู่ที่ 96.13 % ในขณะที่ค่าความเชื่อมั่นของความเข้มสีอยู่ที่ 97.83 % สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Average fiber range อย่างมีนัยสำคัญ (P -value < 0.05) คือ ค่าความดันฉีด ในขณะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มของสีบนผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 7 ชิ้นงานพลาสติกจากทดลองฉีดตามเงื่อนไขของทางอุทก

ตารางที่ 6 ANOVA ของค่า Average fiber range

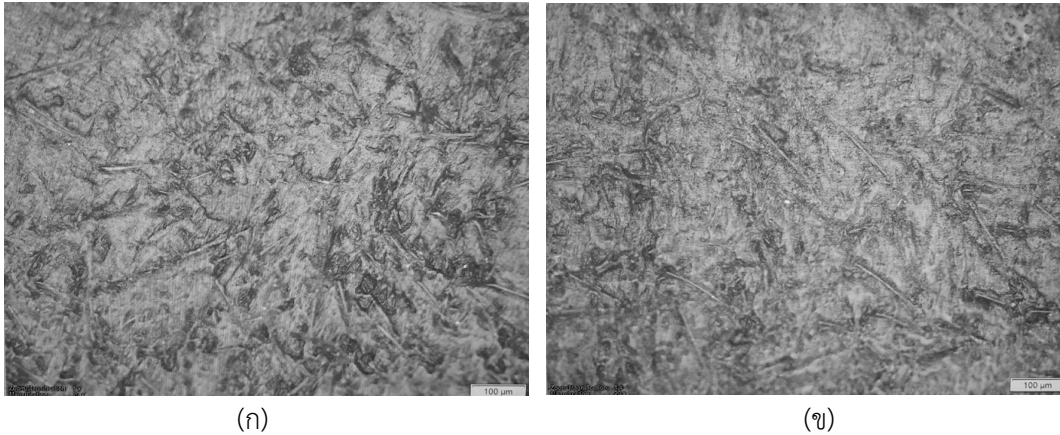
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
อุณหภูมิหลอมเหลว	2	23.69	11.845	2.08	0.325
อุณหภูมิแม่พิมพ์	2	39.39	19.697	3.46	0.224
ความดันฉีด	2	219.91	109.957	19.29	0.049
Error	2	11.40	5.701		
Total	8	294.40			
S=0.3404		R-sq=96.13 %		R-sq(adj) = 84.51 %	

ตารางที่ 7 ANOVA ของค่าความเข้มของสีบนผิวชิ้นงาน

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
อุณหภูมิหลอมเหลว	2	3.3393	1.6696	14.41	0.065
อุณหภูมิแม่พิมพ์	2	5.0508	2.5254	21.79	0.044
ความดันฉีด	2	2.0644	1.0322	8.91	0.101
Error	2	0.2318	0.1159		
Total	8	10.6862			
S=0.3404		R-sq = 97.83%		R-sq(adj) = 91.33%	

3. ผลการตรวจสอบลักษณะการเรียงตัวของไฟเบอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ในการตรวจสอบโครงสร้างของเส้นใยเสริมแรงภายในชิ้นงานนั้น การเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงจากการทดลองฉีดด้วยเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากทากูชินั้นถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 8 (ก) และการทดลองฉีดจากเงื่อนไขที่ 9 ตามตารางที่ 2 นั้นถูกแสดงอยู่ในภาพที่ 8 (ข)



ภาพที่ 8 การเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงจากผลของทากูชิ (ก) และการทดลองที่ 9 (ข)

ชิ้นงานที่ได้จากเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากวิธีทากูชิแสดงให้เห็นถึงปริมาณการเรียงตัวของเส้นใยที่หนาแน่นกว่าการทดลองที่ 9 ซึ่งความหนาแน่นของเส้นใยเสริมแรงนั้นจะส่งผลต่อความแข็งแรงและคุณภาพผิวที่ได้ของชิ้นงาน

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการฉีดซึ่งได้แก่ อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์และความดันฉีดที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงนั้น ทำให้ทราบได้ว่า (1) ความดันฉีดของพลาสติกส่งผลต่อค่า Average fiber range ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานมากที่สุด เนื่องจากค่าความดันฉีดที่สูงจะทำให้ความยาวเฉลี่ยของเส้นใยภายในชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่า (2) อุณหภูมิแม่พิมพ์ส่งผลต่อค่าความเข้มข้นมากที่สุด ซึ่งค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การไหลของพลาสติกเหลวที่บริเวณติดกับผิวแม่พิมพ์ (Mold surface) นั้นสามารถไหลตัวได้ดีขึ้นและมีค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) ที่ลดลงจากผลวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (3) การตั้งค่าเงื่อนไขการฉีดที่เหมาะสมสำหรับค่า Average fiber range และค่าความเข้มข้น ควรตั้งค่าความดันฉีดและอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้มีค่าสูงกว่าปกติเพื่อเพิ่มอัตราการไหลตัวของพลาสติก และ (4) การตั้งค่าเงื่อนไขในการฉีดพลาสติกที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความหนาแน่นและลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยอย่างเห็นได้ชัดจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

เอกสารอ้างอิง

- Antoine, D., Jean-Jacques, P., Paulo, F. and Gilles, R. (2020). Fiber Orientation and Concentration in an Injection-Molded Ethylene-Propylene Copolymer Reinforced by Hemp. *Polymers*, 12(12), 1-20.
- Chacinski, T. and Sutowski, P. (2021). Common Defects in Injection Molding of Plastic Products and Their Influence on Product Quality. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 5(45), 7-14.

- Foss, P. H., Tseng, H. C., Snawerdt, J., Chang, Y., Yang, W. H. and Hsu, C. H. (2014). Prediction of Fiber Orientation Distribution in Injection Molded Parts Using Moldex3D Simulation. *Polymer Composites*, 35(4), 671-680.
- Gim, J., Han, E., Rhee, B., Friesenbichler, W. and Gruber, D. P. (2020). Causes of the Gloss Transition Defect on High-Gloss Injection-Molded Surfaces. *Polymers*, 12(9), 2100.
- Huang, C. T., Chen, X. W. and Fu, W. W. (2020). Investigation on the Fiber Orientation Distributions and Their Influence on the Mechanical Property of the Co-Injection Molding Products. *Polymers*, 12(1), 1-19
- Huang, C. T., Chu, J. H., Fu, W. W., Hsu, C. and Hwang, S. J. (2021). Flow-induced Orientations of Fibers and Their Influences on Warpage and Mechanical Property in Injection Fiber Reinforced Plastic (FRP) Parts. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 8(3), 917-934.
- Karagoz, I. and Tuna, O. (2021). Effect of melt temperature on product properties of injection-molded high-density polyethylene. *Polymer Bulletin*, 78, 6073-6091.
- Kausar, A. (2019). Advances in carbon fiber reinforced polyamide-based composite materials. *Advances in materials science*, 19(4), 67-82.
- Li, K., Yan, S. L., Pan, W. F. and Zhao, G. (2017). Optimization of fiber-orientation distribution in fiber-reinforced composite injection molding by Taguchi, back propagation neural network, and genetic algorithm–particle swarm optimization. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(9), 1-11.
- Li, X., Gong, N., Gao, Z. and Yang, C. (2017). Fiber orientation in melt confluent process for reinforced injection molded part. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 1457-1463.
- Mbarek, S., Baccouch, Z., Eterradosi, O., Perrin, D., Monasse, B., Garay, H. and et al. (2019). Effect of Recycling and Injection Parameters on Gloss Properties of Smooth Colored Polypropylene Parts: Contribution of Surface and Skin Layer. *Polymer engineering and science*, 59(6), 1288-1299.
- Roo, T. V., Kolling, S., Dillenberger, F. B. and Amberg, J. (2022). On short glass fiber reinforced thermoplastics with high fiber orientation and the influence of surface roughness on mechanical parameters. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 41(7-8), 296-308.
- Tanaka, K., Kitano, T. and Egami, N. (2014). Effect of fiber orientation on fatigue crack propagation in short-fiber reinforced plastics. *Engineering Fracture Mechanics*, 123, 44-58.
- Wang, G., Zhao, G. and Wang, X. (2013). Effects of cavity surface temperature on reinforced plastic part surface appearance in rapid heat cycle moulding. *Materials and Design*, 44, 509–520.

ระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร

จิตาภรณ์ พอบุตรดี*

คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

Received: 9 July 2021

Revised: 12 November 2022

Accepted: 14 November 2022

บทคัดย่อ

การถอดปริมาณงานก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหาต้นทุนงานก่อสร้างซึ่งเป็นงานที่สำคัญในงานด้านวิศวกรรมโยธา ถึงแม้ว่าการถอดปริมาณงานก่อสร้างเป็นกระบวนการที่มีลักษณะการกระทำซ้ำและในแต่ละการกระทำซ้ำนั้นมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน แต่การถอดปริมาณงานก่อสร้างก็เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาค่อนข้างมาก การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้จะช่วยพัฒนาระบบงานให้มีประสิทธิภาพขึ้นได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารด้วยภาษาไพทอน โดยใช้ไลบรารีหลัก 3 ไลบรารี คือ (1) Speech Recognition 3.8.1 (2) gTTS 2.2.2 และ (3) Playsound 1.2.2 ทำการพัฒนาการป้อนข้อมูลโดยใช้เสียงใน 2 รูปแบบ ได้แก่ (1) การป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อ และ (2) การป้อนข้อมูลโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว ผลการวิจัยพบว่า โปรแกรมสามารถรับข้อมูลองค์อาคารจากเสียงพูดได้ดี โดยการป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อให้ความถูกต้องสูงกว่าแต่ใช้เวลาในการทำงานนานกว่า โดยมีค่าอัตราค่าผิดพลาดของค่าอยู่ระหว่าง 12.36 และ 22.45 ในขณะที่รูปแบบโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียวมีค่าอัตราค่าผิดพลาดของค่าอยู่ระหว่าง 20.54 และ 28.76 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำให้การทำงานสะดวกสบายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การถอดปริมาณงาน การก่อสร้าง ปัญญาประดิษฐ์

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: titaporn.pob@ku.th

Voice Assistant System for Construction Quantity Take-off

Titaporn Pobutdee*

Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University
Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus

Received: 9 July 2021

Revised: 12 November 2022

Accepted: 14 November 2022

Abstract

Quantity take-off is a critical step in determining construction costs, which is an important task in civil engineering. Although the quantity take-off is a repetitive procedure and each iteration has a simple task, quantity take-off is a time-consuming process. The application of artificial intelligence technology will help develop more efficient work systems. The objective of this research is to develop a voice assistant for construction quantity take-off with Python. The three main libraries were used: (1) Speech Recognition 3.8.1, (2) gTTS 2.2.2, and (3) playsound. 1.2.2. The voice input was developed in two types: (1) Information of the building member input one-by-one (2) Data entry by giving all information of the building member one time. The results showed that the program was able to receive the building member information from the sound of speech. Information of the building member input one-by-one gives higher accuracy but takes longer time. The input one-by-one method provides word error rate between 12.36 and 22.45, while all information of the building member one time method provides word error rate between 20.54 and 28.76. The developed program will make the work more comfortable and efficient.

Keywords: Construction Estimation, Construction, Artificial Intelligent

* Corresponding Author; E-mail: titaporn.pob@ku.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การถอดปริมาณงานก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหาต้นทุนงานก่อสร้าง ซึ่งเป็นงานที่เกี่ยวข้องทั้งในการดำเนินการกำหนดราคากลางงานก่อสร้างของผู้ว่าจ้างและการกำหนดราคาเพื่อยื่นประมูลงานก่อสร้างของผู้รับเหมา ทั้งนี้การถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารดำเนินการด้วยวิธีการหลัก 2 วิธี ได้แก่ (1) การถอดปริมาณงานด้วยมือซึ่งดำเนินการโดยการอ่านแบบ 2 มิติ แล้วทำการคำนวณโดยใช้เครื่องคิดเลข หรืออาจจะใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ รวมทั้งในบางกรณีอาจใช้อุปกรณ์ดิจิทัลเทอร์หรือการสแกนแบบก่อสร้างเข้าสู่โปรแกรมเขียนแบบ (CAD) เพื่อช่วยในการหาขนาดองค์อาคาร และ (2) การถอดปริมาณงานจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ซึ่งเป็นแบบจำลอง 3 มิติ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทั้ง 2 วิธีการดังกล่าวเฉพาะในขั้นตอนการถอดปริมาณงานก่อสร้างจะพบว่าการถอดปริมาณงานจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เป็นวิธีการที่มีความสะดวกรวดเร็วมากกว่า แต่หากพิจารณาขั้นตอนโดยรวมจะพบว่า หากเริ่มต้นจากแบบก่อสร้าง 2 มิติ การถอดปริมาณงานจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่า รวมทั้งต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูงกว่าและบุคลากรที่มีประสบการณ์มากกว่า

อย่างไรก็ตาม การถอดปริมาณงานด้วยมือต้องใช้เวลาในการทำงาน โดยเวลาที่ใช้ในการถอดแบบจะขึ้นอยู่กับขนาดและรายละเอียดของอาคาร ดังนั้น เพื่อช่วยให้การทำงานสะดวกสบายมากขึ้นจึงได้มีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการถอดปริมาณงานแทนการใช้เครื่องคิดเลขคำนวณ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจะพบว่าการใช้งานโปรแกรมยังต้องมีขั้นตอนการป้อนข้อมูลรายละเอียดขององค์อาคารซึ่งยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้าข้อมูลผ่านทางคีย์บอร์ด โดยผู้ถอดปริมาณงานต้องอ่านแบบและต้องคีย์ข้อมูลที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยขององค์อาคารแต่ละชั้นในเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ผู้ใช้งานยังไม่ได้รับความสะดวกนัก

การพัฒนาระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียง (Voice Assistant) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) สำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารเป็นช่องทางหนึ่งในการพัฒนาวิธีการถอดปริมาณงานก่อสร้างด้วยมือ โดยการใช้ประโยชน์จากปัญญาประดิษฐ์ที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับเข้าข้อมูลจากเสียงของมนุษย์ สำหรับตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนถึงความสะดวกสบายของการสั่งงานด้วยเสียงคือการพิมพ์งานด้วยเสียงผ่านโปรแกรม Google Docs ซึ่งทำให้การพิมพ์เอกสารทำได้ง่ายกว่าแต่เดิมมาก ผู้ใช้งานสามารถแต่งผลงานได้ในทุกอริยบทโดยไม่จำเป็นต้องนั่งพิมพ์ผ่านคีย์บอร์ดที่หน้าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ตั้งอยู่บนโต๊ะเหมือนเช่นในอดีต

สำหรับการพัฒนาระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับงานวิจัยนี้จะทำให้ผู้ที่ทำการถอดปริมาณงานสามารถอ่านแบบและป้อนข้อมูลองค์อาคารด้วยเสียงแทนการป้อนข้อมูลผ่านทางคีย์บอร์ด ทำให้การทำงานซึ่งแต่เดิมต้องจดจ้องแบบก่อสร้าง จอคอมพิวเตอร์และคีย์บอร์ดกลายเป็นการทำงานที่ใช้เสียงสั่งการเป็นหลัก โดยยังคงรักษาข้อดีของวิธีการทำงานถอดปริมาณงานก่อสร้างด้วยมือที่สามารถดำเนินการได้ง่ายและสามารถใช้บุคลากรที่มีประสบการณ์ไม่มาก รวมทั้งคอมพิวเตอร์สำหรับรองรับการทำงานของโปรแกรมเป็นเพียงคอมพิวเตอร์รุ่นปกติที่ใช้งานตามสำนักงานทั่วไป ดังนั้น การพัฒนาระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารจะเป็นการปรับปรุงการทำงานการถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารด้วยมือให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารด้วยภาษาไพทอน โดยมีขอบเขตการถอดปริมาณงานขององค์อาคารจำนวน 7 ประเภท ได้แก่ (1) ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส (2) ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า (3) เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (4) เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (5) คาน (6) พื้นทางเดียว และ (7) พื้นสองทาง และจำกัดเฉพาะการนำเข้าข้อมูลองค์อาคารและการคำนวณปริมาณงานคอนกรีต ไม้แบบ และ เหล็กเสริม

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในอดีตพบว่า การถอดปริมาณงานด้วยการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ให้ผลของปริมาณงานในหมวดงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและหมวดงานสถาปัตยกรรมมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 3 (Sukhamwang et al., 2019) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Microsoft Excel ในการคำนวณถอดปริมาณวัสดุแบบทั่วไป และใช้โปรแกรม Autodesk Revit (Free Software for Students & Educators Revit Autodesk) ทำการวางแผนการตัดขนาดวัสดุ (Bar-Cut List) พบว่าระบบสารสนเทศของอาคารสามารถทำได้ดีกว่าระบบเดิมที่สามารถถอดปริมาณเหล็กเสริมได้สูงสุดร้อยละ 17 (Tibodee et al., 2021) อย่างไรก็ตาม การใช้ระบบ BIM ยังต้องใช้ทรัพยากรในการดำเนินการค่อนข้างมากทั้งซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพง รวมทั้งจากการวิจัยของ Chunhamaneewat and Tuntisewee (2020) ได้ให้ความเห็นว่าในประเทศไทยมีฝ่ายและหน่วยงานที่สามารถใช้ BIM ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพได้น้อยอันมีผลมาจากความพร้อมของบริษัทด้านบุคลากรที่จะสามารถใช้งานแบบจำลองสารสนเทศได้จากงานวิจัยของ Suriyamongkol and Tuntisewee (2020) พบว่า การขาดแคลนอุปกรณ์ software hardware และระบบอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสมเป็นอุปสรรคในการนำระบบ BIM มาใช้ ดังนั้น การถอดปริมาณงานก่อสร้างจากแบบ 2 มิติที่ดำเนินการด้วยคนยังคงเป็นวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและในอนาคตอีกระยะหนึ่ง

การพัฒนาการถอดปริมาณงานด้วยมือโดยการพัฒนาระบบการนำเข้าข้อมูลแบบก่อสร้างเข้าสู่คอมพิวเตอร์ด้วยเสียงจะช่วยให้การทำงานมีความสะดวกสบายมากขึ้น ทั้งนี้ระบบสั่งงานด้วยเสียงมีการพัฒนาขึ้นมาหลายระบบโดยผู้พัฒนาหลายรายและมีการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ รวมทั้งมีงานวิจัยที่ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ อาทิ (1) Julius เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น (Lee and Kawahara, 2009) (2) Microsoft Speech API (SAPI) พัฒนาขึ้นโดยบริษัทไมโครซอฟท์ (Sharma, 2013) (3) CMU Sphinx เป็นระบบที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยคาร์เนกีเมลลอน (Plonkowski and Urbanovich, 2014) (4) Kaldi เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สเขียนขึ้นด้วยภาษา C++ (Ali et. al, 2014) (5) Google Cloud Speech API ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยกูเกิล (Anggraini, 2018) (6) IBM® (Speech to Text) ซึ่งให้บริการบนระบบคลาวด์ของไอบีเอ็ม และ (7) WIT ซึ่งพัฒนาโดย Facebook ทั้งนี้แต่ละระบบมีประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างกันและรองรับภาษาที่แตกต่างกัน

ประสิทธิภาพของระบบสั่งงานด้วยเสียงถูกวัดในรูปของความถูกต้องของการแปลงข้อความเสียงเป็นข้อความซึ่งมีวิธีการวัดได้หลายวิธี Xu et al. (2021) นำเสนอวิธีการวัดความถูกต้องของระบบประกอบด้วย (1) อัตราค่าผิดพลาดของคำ (Word error rate, WER) (2) อัตราค่าผิดพลาดของการจับคู่ (Match error rate, MER) (3) การสูญเสียข้อมูลของคำ (Word information lost, WIL) และ (4) การรักษาข้อมูลของคำ (Word information preserve,

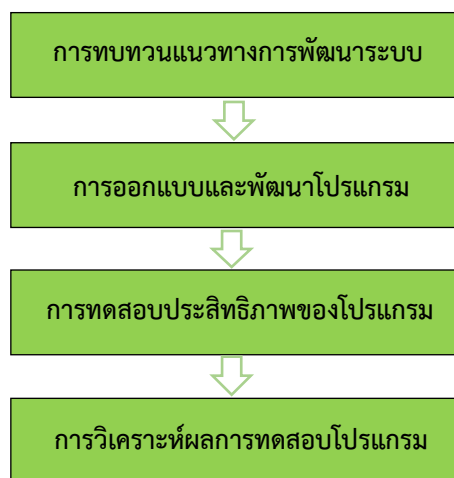
WIP) ทั้งนี้ Lancu (2019) กล่าวว่า วิธีการที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ วิธีอัตราค่าผิดพลาดของคำ (word error rate) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบจำนวนคำที่ผิดกับจำนวนคำทั้งหมด

สำหรับงานวิจัยด้านการประยุกต์ใช้ระบบสั่งงานด้วยเสียงในประเทศไทยมีไม่มากนัก Muangpool et al. (2015) ใช้เครื่องมือกูเกิลเอพีไอพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อแปลงเสียงคำพูดออกมาเป็นข้อความตัวอักษรผ่านทางโทรศัพท์หรือแท็บเล็ตบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ในรูปแบบของการแปลงข้อความที่เป็นการอ่านบทความ และการแปลงบทสนทนาในชีวิตประจำวัน Namahoot (2014) พัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการสืบค้นข้อมูลการท่องเที่ยวในจังหวัดพิษณุโลกโดยใช้เสียงในการค้นหาข้อมูล ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถอดปริมาณงานก่อสร้าง ได้แก่ Olanrewaju et al. (2020) พัฒนาระบบสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิกในการพัฒนา อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวนี้พัฒนาเฉพาะการสั่งงานด้วยเสียงเพื่อเรียกใช้คำสั่งต่างๆ เช่น การเปิดเครื่องคิดเลข การเปิดเว็บไซต์ ยังไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกรอกข้อมูลรายละเอียดขององค์อาคาร

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การทบทวนแนวทางการพัฒนาระบบ (2) การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม (3) การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม และ (4) การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การทบทวนแนวทางในการพัฒนา

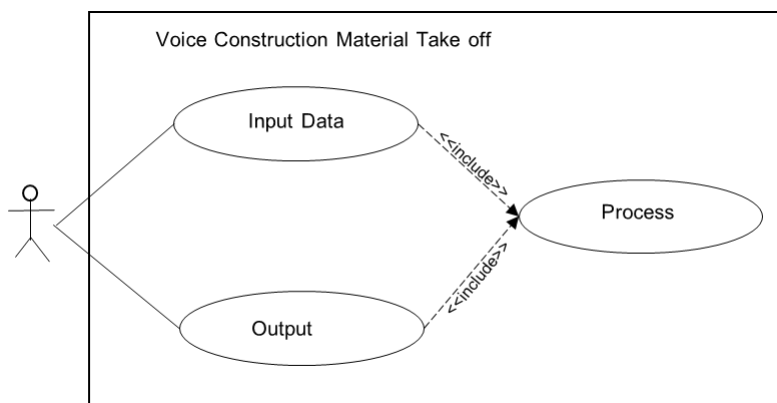
เทคโนโลยีการสั่งงานด้วยเสียงทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างอุปกรณ์กับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งเป็นการอำนวยความสะดวกในการติดต่อระหว่างมนุษย์กับอุปกรณ์ในขณะที่มือหรือสายตาไม่ว่าง หรือต้องการความคล่องตัวในการทำกิจกรรมอื่น รวมทั้งไม่ต้องการใช้คีย์บอร์ดในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (Department of Special Investigation, 2021) การพัฒนาระบบสั่งงานด้วยเสียงสามารถดำเนินการโดยใช้ภาษาในการพัฒนาได้หลากหลาย เช่น ภาษาซี ภาษาเบสิก รวมทั้งภาษาไพทอน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากภาษาไพทอนเป็นซอฟต์แวร์เสรี

(Open source software) ดังนั้น จึงได้รับความนิยมในปัจจุบันและมีการพัฒนาความสามารถขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งมีไลบรารีมาตรฐานจำนวนมาก ทำให้สามารถใช้โปรแกรมไพทอนสำหรับพัฒนาทางซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย โดยเฉพาะการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณทางด้านวิศวกรรมรวมทั้งทางการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning)

การพัฒนาระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงด้วยภาษาไพทอนเป็นการเรียกใช้งาน API ทั้งนี้ กูเกิลเอพีไอ (Google API) เป็น API หนึ่งที่มีความนิยม โดยกูเกิลเอพีไอที่เกี่ยวข้องกับการสั่งงานด้วยเสียง ประกอบด้วย Google Speech To Text API เป็น API ที่นำเสียงพูดที่ได้จากการบันทึกผ่านไมโครโฟนหรือช่องทางอื่นๆ แปลงเป็นข้อความ โดยถูกพัฒนาขึ้นใน ปี ค.ศ.2008 เพื่อให้งานการค้นหาคำด้วยเสียงสำหรับไอโฟนและพัฒนาขึ้นสู่ระบบคลาวด์ใน ปี ค.ศ. 2017 โดยพัฒนาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่และใช้วิธีการการเรียนรู้ของเครื่อง รองรับหลากหลายภาษารวมทั้งภาษาไทย โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง (1) Google Cloud Speech API (2) IBM® (Speech to Text) และ (3) WIT พบว่า Google Cloud Speech API ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด (Filippidou and Moussiades, 2020) นอกจากนี้ยังมี Google Text To Speech API เป็น API ที่ใช้สำหรับสังเคราะห์เสียงพูดจากข้อความที่กำหนดไว้ ทั้งนี้สำหรับภาษาไพทอน API ที่ใช้สำหรับสังเคราะห์เสียงพูด ได้แก่ gTTS ซึ่งเป็นโมดูลที่เรียก Google TTS (Text-to-Speech) API เข้ามาใช้งาน โดยจะสร้างไฟล์เสียงสังเคราะห์ขึ้นมาในรูปแบบไฟล์ mp3 ไม่จำกัดความยาว รองรับภาษาต่างๆ รวมทั้งภาษาไทย

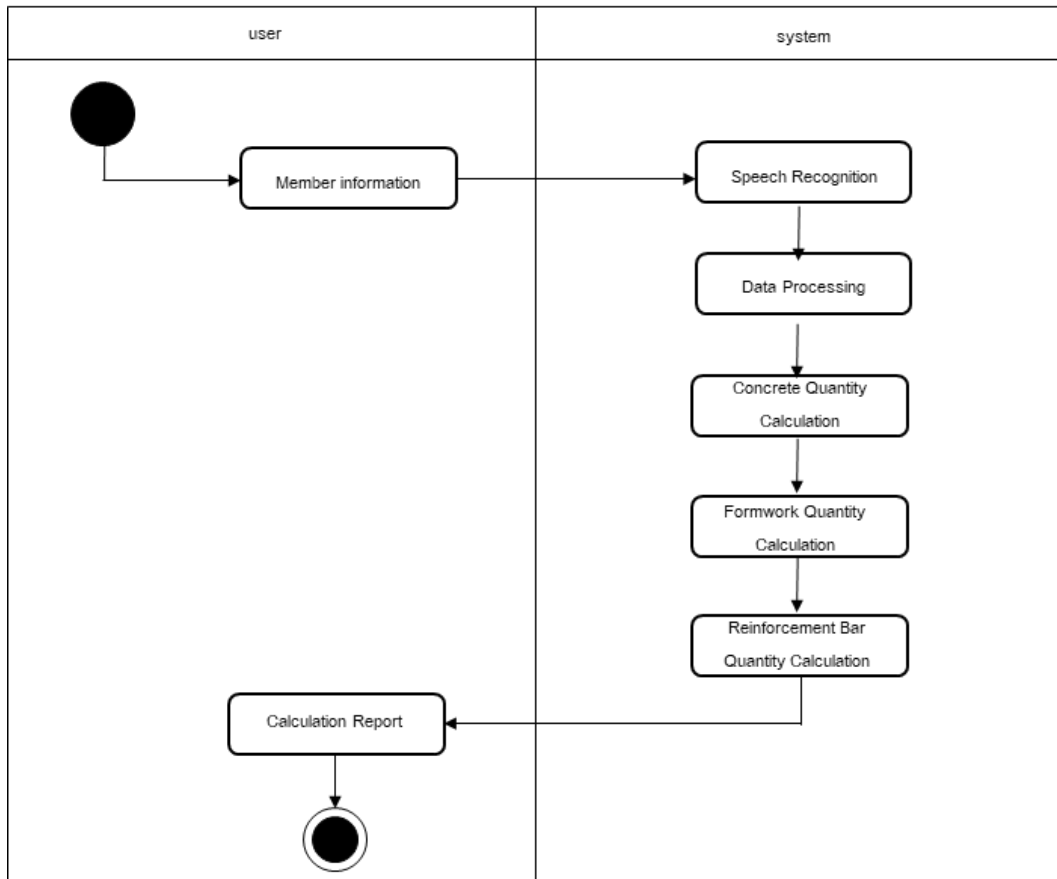
การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

1. การวิเคราะห์ระบบงาน Use case diagram โดย Actor ได้แก่ ผู้ใช้ และ use case ประกอบด้วย (1) การนำเข้าข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับองค์อาคาร (2) การประมวลผล และ (3) การรายงานผลการทำงาน โดยผู้ใช้นำเข้าข้อมูลองค์อาคารในระบบ จากนั้นระบบจะทำการประมวลผลข้อมูลเสียงและทำการคำนวณปริมาณงาน ได้แก่ ปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม และไม้แบบ จากนั้นระบบจะแสดงผลการประมวลผลให้ผู้ใช้ทราบ ดังแสดงในภาพที่ 2



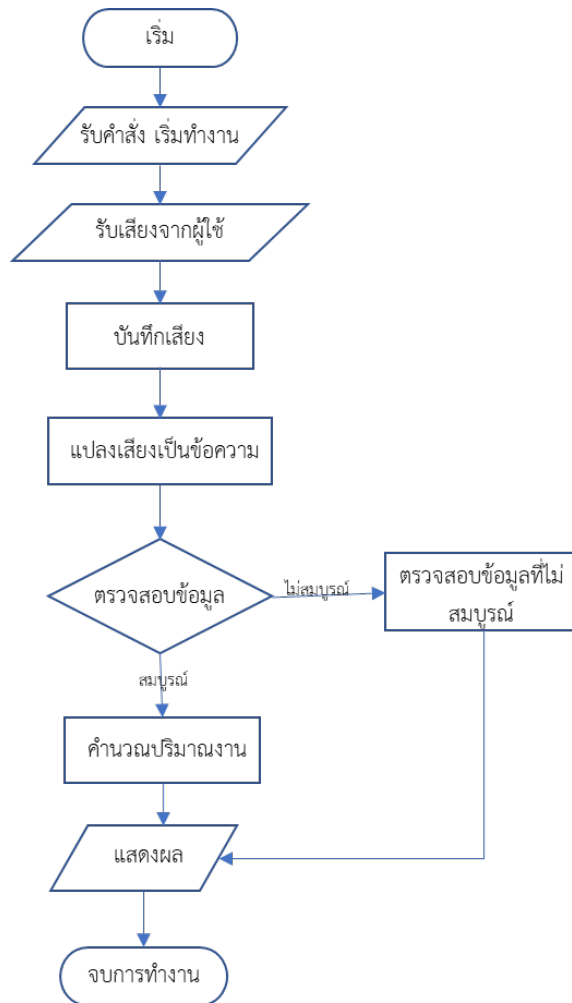
ภาพที่ 2 Use case diagram ของโปรแกรม

2. Activity Diagram แสดงรายละเอียดฟังก์ชัน การทำงานของโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยเมื่อผู้ใช้งานเรียกใช้โปรแกรม ผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลองค์อาคาร ระบบจะทำการแปลงเสียงพูดเป็นตัวอักษร จากนั้นทำการประมวลผลข้อความ และจึงทำการคำนวณปริมาณงานคอนกรีต ไม้แบบ และเหล็กเสริม สำหรับข้อมูลองค์อาคาร และแสดงผลการคำนวณปริมาณงาน



ภาพที่ 3 Activity diagram ของโปรแกรม

3. การพัฒนาระบบสั่งงานด้วยเสียงโดยใช้ไลบรารีหลัก 3 ไลบรารี คือ (1) Speech Recognition 3.8.1 สำหรับแปลงเสียงพูดเป็นตัวอักษร (2) gTTS 2.2.2 สำหรับแปลงข้อความเป็นไฟล์เสียง และ (3) playsound 1.2.2 สำหรับเล่นไฟล์เสียงที่สังเคราะห์ขึ้น โดยมีขั้นตอนหลักในการทำงานดังแสดงในภาพที่ 4 โดยการทำงานของโปรแกรมเริ่มจากรับคำสั่งให้เริ่มทำงานโดยผู้ใช้คลิกที่ปุ่มสั่งงาน โปรแกรมจะเริ่มบันทึกเสียง โดยตั้งค่าให้หยุดบันทึกเมื่อไม่มีเสียงเป็นเวลา 2 วินาที จากนั้นโปรแกรมจะแปลงเสียงเป็นข้อความเก็บไว้ในตัวแปร ขั้นตอนต่อมาคือการตรวจสอบข้อมูล ทั้งนี้โปรแกรมได้ถูกออกแบบให้นำเข้าข้อมูลใน 2 ลักษณะคือ (1) การป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลที่ละข้อ (2) การป้อนข้อมูลโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว ดังนั้น ขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลของทั้ง 2 รูปแบบจึงมีความแตกต่างกัน ผลจากการตรวจสอบหากพบว่าข้อมูลไม่สมบูรณ์ระบบจะแสดงผลถึงข้อมูลที่ขาดหายไป ส่วนกรณีที่ข้อมูลสมบูรณ์โปรแกรมจะทำการคำนวณปริมาณงาน ได้แก่ ปริมาณคอนกรีต ปริมาณไม้แบบ และปริมาณเหล็กเสริม



ภาพที่ 4 รูปแบบการทำงานของระบบสั่งงานด้วยเสียง

การตรวจสอบข้อมูลข้อความเสียง แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ตามลักษณะของการนำเข้าสู่ข้อมูลสำหรับกรณีป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อ ระบบจะทำการตรวจสอบข้อความเสียงว่าข้อมูลที่ผู้ใช้งานเข้ามามีความครบถ้วนและมีความถูกต้องหรือไม่ เช่น ข้อมูลขนาดขององค์อาคารต้องเป็นข้อมูลตัวเลข ชนิดเหล็กเสริมเป็นข้อความประเภทเหล็กเสริม เป็นต้น ส่วนกรณีการป้อนข้อมูลโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว ระบบจะทำการประมวลผลชุดข้อมูลที่ได้จากการแปลงข้อมูลเสียงเป็นข้อความ จากนั้นจึงทำการประมวลผลข้อมูลข้อความเพื่อหาคำสำคัญที่แสดงรายละเอียดขององค์อาคาร เช่น คาน กว้าง ยาว ลึก เหล็กบน เหล็กล่าง เป็นต้น จากนั้นจึงทำการตัดข้อมูลข้อความดังกล่าวนี้ไว้ในตัวแปรที่บันทึกรายละเอียดขององค์อาคาร แล้วจึงทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเช่นเดียวกับกรณีป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อ เมื่อตรวจสอบข้อมูลแล้วเสร็จ หากไม่พบข้อผิดพลาดระบบจะทำการประมวลผลต่อไป สำหรับการเตรียมรูปแบบการสนทนาพิจารณาจากลักษณะการทำงานของกรอบแบบก่อสร้างขององค์อาคารแต่ละประเภท ทั้งนี้ Namahoot (2014) พบว่าในสภาวะแวดล้อมแบบไม่มีเสียงรบกวนคำสั่งที่สั้นมีความถูกต้องมากกว่าคำสั่งที่ยาว ส่วนในสภาวะแวดล้อมแบบมีเสียงรบกวน คำสั่งที่สั้นจะมีความถูกต้องน้อยกว่าคำสั่งที่ยาว ดังนั้น การเตรียมรูปแบบของบทสนทนาจึงต้องพิจารณาให้มีความกระชับ และมีการโต้ตอบที่เหมาะสมรวมทั้งคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการกรอกข้อมูลแต่ละประเภท

4. การพัฒนาโปรแกรมส่วนติดต่อกับผู้ใช้ใช้การอินเทอร์เฟซแบบกราฟิกโดยใช้ Tkinter ซึ่งเป็นโมดูลที่ได้รวบรวมฟังก์ชันต่างๆ ให้นำมาใช้สร้างคอมโพเนนต์ได้อย่างหลากหลาย (Thearmontree, 2020) โดยกำหนดให้มีทั้งส่วนเมนู (Menu) และส่วนปุ่มกด (Button) และให้แสดงผลตามประเภทขององค์อาคาร

การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ได้แก่ ชาย 5 คน และหญิง 5 คน โดยให้ทดลองสั่งงานโปรแกรมสำหรับแต่ละองค์ประกอบขององค์อาคารคนละ 3 ครั้ง ทั้ง 2 รูปแบบ ซึ่งจะทำให้ได้ผลการทดสอบสำหรับองค์อาคารแต่ละประเภทและรูปแบบการป้อนข้อมูลจำนวน 30 ตัวอย่าง โดยผู้ทำการทดสอบแต่ละคนจะได้ทดลองใช้โปรแกรมก่อนในแต่ละองค์อาคารเป็นจำนวนคนละ 3 ครั้ง

การวิเคราะห์ผลการทดสอบโปรแกรม ทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าอัตราค่าผิดพลาดของคำ (word error rate) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

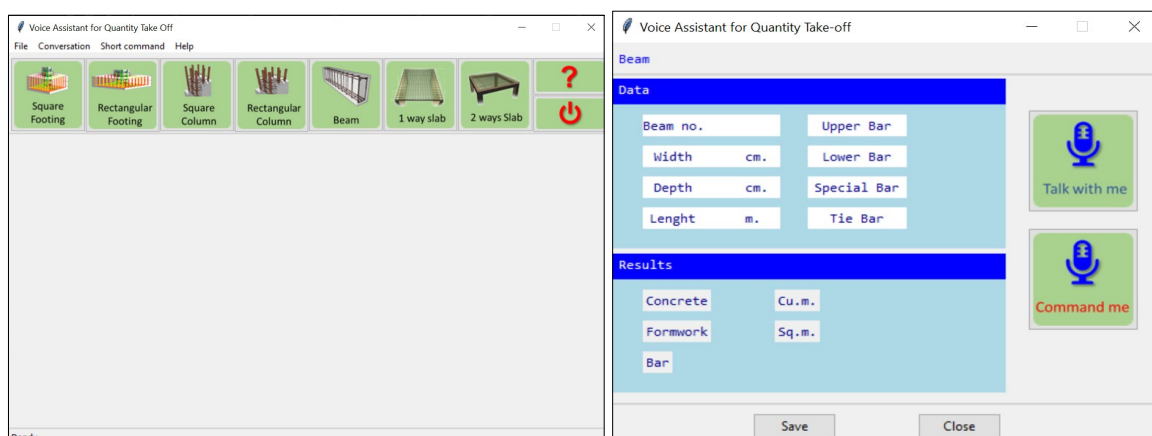
$$WER = (I + D + S) / N \quad (1)$$

โดยที่ I หมายถึง คำที่ถูกแทรกขึ้นมาจากข้อความเดิม (Inserted words), D หมายถึง คำที่หายไปจากข้อความเดิม (Deleted words), S หมายถึง คำที่ถูกแทนที่ไปจากคำเดิม (Substituted words) และ N หมายถึง จำนวนคำทั้งหมด ทั้งนี้อัตราค่าผิดพลาดของคำจะแสดงในหน่วยร้อยละ โดยค่าอัตราค่าผิดพลาดของคำมีค่าสูงจะแสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพต่ำ

ผลการวิจัย

1. การพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้

การพัฒนาโปรแกรมในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ใช้งานได้ง่าย จึงได้ออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้ในรูปแบบเมนูและเรียกใช้ได้จากปุ่มกด โดยในเนื้อหาเมนูนอกจากจะเป็นการเรียกใช้งานเพื่อกรอกข้อมูลแล้ว ยังมีส่วนของรายละเอียดวิธีการป้อนข้อมูลของแต่ละองค์อาคารให้ผู้ใช้ทราบถึงรายละเอียดของข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หน้าจอหลักของโปรแกรม

2. การเตรียมรูปแบบของบทสนทนา

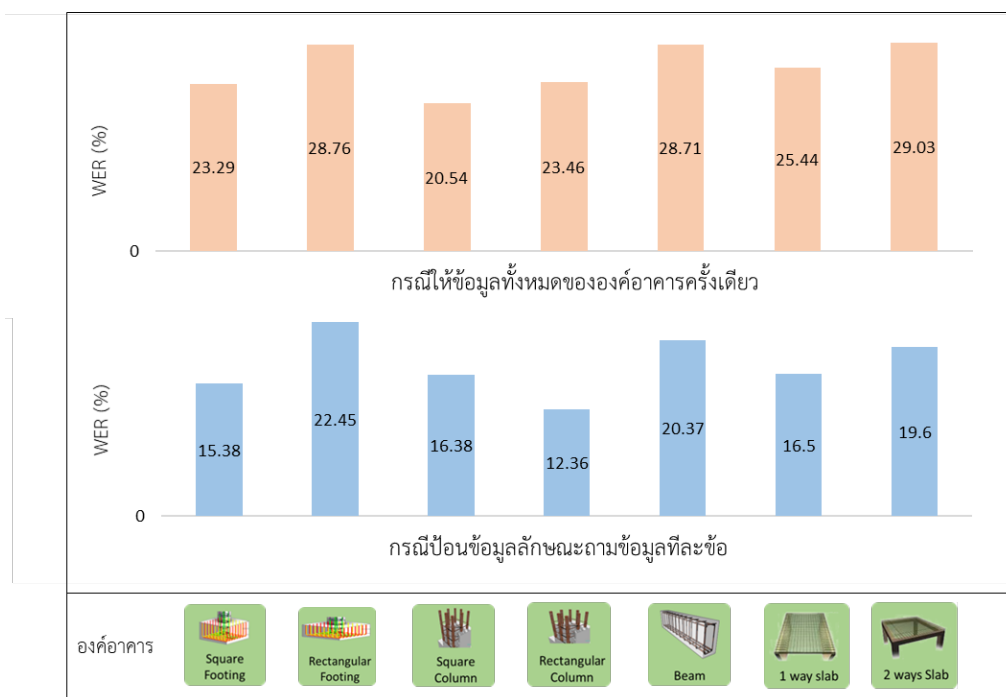
งานวิจัยนี้ได้แบ่งรูปแบบการสนทนาออกเป็น 2 รูปแบบ คือ (1) การป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อ (2) การป้อนข้อมูลโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมในการตอบสนองที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การตอบโต้ของระบบเป็นประโยคที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ตัวอย่าง เช่น (1) หมายเลขคานเป็นเท่าไรคะ (2) คานชื่ออะไรคะ (3) คานหมายเลขอะไรคะ และ (4) ขอหมายเลขคานด้วยคะ โดยระบบจะเลือกรูปแบบการตอบสนองที่แตกต่างกันในแต่ละบทสนทนาเพื่อให้การสนทนามีลักษณะเป็นธรรมชาติมากกว่าการโต้ตอบด้วยประโยคเดิมซ้ำๆ แต่เนื่องจากบทสนทนาแต่ละรูปแบบจะใช้ระยะเวลาในการแสดงผลที่แตกต่างกัน ดังนั้น งานวิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ระยะเวลาของบทสนทนาแต่ละบทเพื่อพิจารณาว่าการรวมบทสนทนาย่อยเข้าด้วยกันจะมีระยะเวลารวมเท่าใด โดยพบว่าเวลารวมของฐานรากจัตุรัสมีรูปแบบการสนทนาทั้งหมด 256 รูปแบบ โดยระยะเวลาของบทสนทนามีค่าน้อยกว่า 13000 มิลลิวินาที ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรูปแบบการสนทนาทั้งหมด 4096 รูปแบบและระยะเวลามีค่าน้อยกว่า 20000 มิลลิวินาที เสาจัตุรัสมีรูปแบบการสนทนาทั้งหมด 1024 รูปแบบ โดยมีระยะเวลาสูงสุดประมาณ 16000 มิลลิวินาที เสาสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรูปแบบการสนทนาทั้งหมด 4096 รูปแบบ มีระยะเวลาน้อยกว่า 18500 มิลลิวินาที คานมีรูปแบบการสนทนาทั้งหมด 65536 รูปแบบ มีค่าน้อยกว่า 24500 มิลลิวินาที และพื้นมีรูปแบบการสนทนาทั้งหมด 4096 รูปแบบ มีค่าน้อยกว่า 19000 มิลลิวินาที การตอบสนองของระบบจะทำการสุ่มรูปแบบของบทสนทนาย่อยเพื่อโต้ตอบกับผู้ใช้ งาน โดยผลรวมของระยะเวลาในการโต้ตอบของระบบสูงสุดคือองค์อาคารประเภทคานมีระยะเวลาโต้ตอบของระบบน้อยกว่า 24500 มิลลิวินาที สำหรับรูปแบบการป้อนข้อมูลโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การป้อนข้อมูลโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว

องค์อาคาร	บทสนทนา	
	ระบบ	ผู้ใช้
1) ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส	ขอข้อมูลฐานราก	ฐานราก <เช่น F1> ขนาด <เช่น 120 > ลึก <เช่น 30 > เหล็กเสริม <เช่น 6 DB 16>
2) ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า	ขอข้อมูลฐานราก	ฐานราก <เช่น F1> กว้าง <เช่น 80 > ยาว <เช่น 120 > ลึก <เช่น 30 > เหล็กเสริมยาว <เช่น 6 DB 16> เหล็กเสริมสั้น <เช่น 8 DB 16>
3) เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส	ข้อมูลเสาด้วยค้	เสา <เช่น C1> ขนาด <เช่น 30> สูง <เช่น 3> เหล็กแกน <เช่น 4 DB 16> ปลอก <เช่น 1 RB 6>
4) เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	ข้อมูลเสาด้วยค้	เสา <เช่น C1> กว้าง <เช่น 40> หนา <เช่น 30> สูง <เช่น 3> เหล็กแกน <เช่น 4 DB 16> ปลอก <เช่น 1 RB 6>
5) คาน	ข้อมูลคานด้วยค้	คาน <เช่น B1> กว้าง <เช่น 20> ลึก <เช่น 40> ยาว <เช่น 3> เหล็กบน <เช่น 2 DB 16> เหล็กล่าง <เช่น 2 DB 16> ปลอก <เช่น 1 RB 6>
6) พื้นทางเดียว	ขอข้อมูลพื้นทางเดียว	พื้น <เช่น S1> กว้าง <เช่น 200> ยาว <เช่น 400> หนา <เช่น 10> เหล็กยาว <เช่น RB 9 @ 20> เหล็กสั้น <เช่น RB 9 @ 20>
7) พื้นสองทาง	ขอข้อมูลพื้นสองทาง	พื้น <เช่น S1> กว้าง <เช่น 200> ยาว <เช่น 400> หนา <เช่น 10> เหล็กยาว <เช่น RB 9 @ 20> เหล็กสั้น <เช่น RB 9 @ 20>

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม พบว่ารูปแบบการป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อให้คำอัตราค่าผิดพลาดของคำอยู่ระหว่าง 12.36 และ 22.45 ทั้งนี้ความผิดพลาดส่วนใหญ่เป็นกรณีคำที่ถูกแทนที่ไปจากคำเดิม เช่น การใช้คำว่า “RB” และ “DB” แทนชนิดของเหล็กทำให้การแปลผลผิดพลาด เนื่องจากการแปลข้อมูลเสียงเป็นข้อความโปรแกรมแปลเป็นภาษาไทย เช่น “อาบี” หรือ “ดีบี” หรือผิดไปจากคำเดิม เช่น “บีบี” สำหรับรูปแบบโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว พบว่า ให้คำอัตราค่าผิดพลาดของคำอยู่ระหว่าง 20.54 และ 28.76 โดยคำอัตราค่าผิดพลาดของคำของรูปแบบโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียวมีค่ามากกว่ารูปแบบการป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อ เนื่องจากการป้อนรูปแบบโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียวข้อมูลมีความยาวมากกว่า ดังนั้น ผลของการออกเสียงและการเว้นจังหวะในการพูดมีผลต่อการแปลผลซึ่งสอดคล้องกับ Namahoot (2014) ซึ่งพบว่าในสภาวะแวดล้อมแบบไม่มีเสียงรบกวนคำสั่งที่สั้นมีความถูกต้องมากกว่าคำสั่งที่ยาว นอกจากนี้ปัญหานี้ในการแปลผลข้อมูลเสริมซึ่งมีความถูกต้องน้อยที่สุดเนื่องจากการใช้คำว่า “RB” และ “DB” เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการป้อนรูปแบบการป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลทีละข้อ รวมทั้งผลการทดสอบยังสอดคล้องกับ Lancu (2019) ซึ่งทำการทดสอบประสิทธิภาพของ Google Speech-to-Text API โดยพบว่าคำอัตราค่าผิดพลาดของคำร้อยละ 9.93 ถึง 57.19 ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพของโปรแกรม

คำอัตราค่าผิดพลาดของคำเป็นค่าที่สะท้อนถึงความถูกต้องของการแปลผลข้อมูลจากรูปแบบเสียงเป็นข้อความสำหรับการประมวลผลซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณงานหากมีการนำข้อมูลผิดพลาดไปประมวลผลอย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการดำเนินการถอดปริมาณงานก่อสร้าง ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบผลการแปลงเสียงเป็นข้อความก่อนที่จะนำไปประมวลผล หากพบว่าการแปลผลผิดผู้ใช้งานต้องทำการป้อนข้อมูลใหม่ เมื่อถูกต้องแล้วจึงนำไป

ประมวลผลต่อไป ดังนั้น ความถูกต้องของการแปลผลข้อมูลจากรูปแบบเสียงเป็นข้อความจึงไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของการถอดปริมาณงานก่อสร้าง แต่จะส่งผลต่อเวลาการทำงานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องป้อนข้อมูลใหม่

เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารที่พัฒนาขึ้น และการถอดปริมาณงานก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ในประเด็นต่างๆ หากพิจารณาในภาพรวมจะพบว่าระบบผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคารที่พัฒนาขึ้นใช้ทรัพยากรในการทำงานน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานเชิงปริมาณ เช่น เวลาที่ใช้ในการทำงาน เวลาในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ไม่อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการใช้งานระบบและการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM)

ประเด็นเปรียบเทียบ	แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM)	ผู้ช่วยสั่งงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร
แบบก่อสร้างที่ใช้สำหรับถอดปริมาณงาน	3 มิติ ต้องเปิดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	2 มิติ ทั้งรูปแบบกระดาษและไฟล์คอมพิวเตอร์
ประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้	ประสิทธิภาพสูงและควรมีการดจอ	เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป
ความยากง่ายในการเรียนรู้	ต้องสามารถใช้งานโปรแกรมในการทำงาน เช่น autodesk revit	เรียนรู้ได้ง่าย
ประสบการณ์ในการถอดแบบก่อสร้าง	สามารถใส่บุคลากรที่มีประสบการณ์ในการถอดแบบก่อสร้างไม่มาก แต่ต้องเข้าใจการกำหนดพารามิเตอร์ในโปรแกรมอย่างดี และผู้ตรวจสอบควรเข้าใจการทำงานของโปรแกรมเพื่อตรวจสอบว่าการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ถูกต้องหรือไม่	สามารถใส่บุคลากรที่มีประสบการณ์ไม่มากทำการอ่านแบบและสั่งการด้วยเสียงเพื่อนำเข้าข้อมูลและมีผู้ที่มีประสบการณ์ในการถอดแบบก่อสร้างตรวจสอบ

อภิปรายผล

การถอดปริมาณงานก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาในการดำเนินการค่อนข้างมาก ถึงแม้จะมีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการถอดแบบแล้วก็ตาม ผู้ที่ทำการถอดปริมาณงานยังคงต้องอ่านแบบก่อสร้างและป้อนข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางคีย์บอร์ด ซึ่งหากทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานานทำให้เกิดความเมื่อยล้าและเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ง่าย งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบสั่งการด้วยเสียง (Voice Assistant) สำหรับประยุกต์ใช้ในการถอดปริมาณงานก่อสร้างด้วยภาษาไพทอนโดยใช้ไลบรารีหลัก 3 ไลบรารี คือ (1) Speech Recognition 3.8.1 สำหรับแปลงเสียงพูดเป็นตัวอักษร (2) gTTS 2.2.2 สำหรับแปลงข้อความเป็นไฟล์เสียง และ (3) playsound 1.2.2 สำหรับเล่นไฟล์เสียงที่สังเคราะห์ขึ้น โดยทำการทดสอบการป้อนข้อมูลด้วยรูปแบบการสนทนา 2 รูปแบบ คือ (1) การป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลที่ละเอียด (2) การป้อนข้อมูลโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียว ผลการทดสอบพบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมพบว่ารูปแบบการป้อนข้อมูลลักษณะถามข้อมูลที่ละเอียดให้ค่าอัตราค่าผิดพลาด

ของคำอยู่ระหว่าง 12.36 และ 22.45 ในขณะที่รูปแบบโดยการให้ข้อมูลทั้งหมดขององค์อาคารครั้งเดียวให้คำอัตราค่าผิดพลาดของคำอยู่ระหว่าง 20.54 และ 28.76 ทั้งนี้ความผิดพลาดส่วนใหญ่เป็นกรณีคำที่ถูกแทนที่ไปจากคำเดิม ทั้งนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การทำงานสะดวกมากขึ้น โดยผู้ใช้งานสามารถอ่านแบบก่อสร้างและป้อนข้อมูลโดยการพูดแทนการคีย์ข้อมูลผ่านทางคีย์บอร์ด รวมทั้งระบบที่พัฒนาขึ้นรองรับการทำงานด้วยภาษาไทยทำให้การใช้งานง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ระบบที่พัฒนาขึ้นยังเป็นเพียงต้นแบบ ยังต้องมีการปรับปรุงระบบการสนทนาระหว่างเครื่องและผู้ใช้งานให้มีความกระชับมากยิ่งขึ้น เพื่อลดเวลาในการทำงานและลดข้อผิดพลาดของการแปลผลคำพูดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นสำหรับการถอดแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและรูปแบบของอาคารเป็นรูปแบบทั่วไป ยังไม่ครอบคลุมองค์อาคารที่มีรูปร่างพิเศษและองค์อาคารประเภทคอนกรีตอัดแรง

1.2 เสี่ยงรบกวนเป็นประเด็นที่ต้องพิจารณาในขณะที่ใช้โปรแกรมซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของโปรแกรม ดังนั้นการทำงานในพื้นที่ที่มีเสียงรบกวนต่ำหรือใช้อุปกรณ์เช่นไมโครโฟนจะทำให้การแปลผลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรพัฒนาประสิทธิภาพของโปรแกรมในการประมาณราคาในส่วนของการสถาปัตยกรรมซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญขององค์ประกอบหนึ่งในการประมาณราคางานอาคาร

2.2 ควรพัฒนาโปรแกรมให้ทำงานร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อสรุปปริมาณงานและคำนวณราคาก่อสร้างจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Ali, A., Zhang, Y., Cardinal, P., Dahak, N., Vogel, S. and Glass, J. (2014). A complete KALDI recipe for building Arabic speech recognition systems. *The Proceedings of 2014 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT)*, 7-10 December 2014 at South Lake Tahoe (USA), 525-529.
- Anggraini, N., Kurniawan, A., Wardhani, L.K. and Hakiem, N. (2018). Speech Recognition Application for the Speech Impaired using the Android-based Google Cloud Speech API. *TELKOMNIKA*, 16(6), 2733-2739.
- Chunhamaneewat, S. and Tuntisewee, K. (2020) . A study of process to use 3D model (BIM) for design and take off quantities material of complementary wall. *The Proceedings of the 25th National Convention on Civil Engineering*, 15-17 July 2020 at Chonburi, 1-9. (in Thai)
- Department of Special Investigation, Ministry of Justice. (2021) The Study of The Speech Recognition [Online]. Retrieved April 10, 2021, from: <http://www.dsi.go.th/Files/25620919/การศึกษาระบบรู้จำเสียงพูดอัตโนมัติ.pdf>. (in Thai)
- Filippidou, F. and Moussiades, L. (2020). A Benchmarking of IBM, Google and Wit Automatic Speech Recognition Systems. *Artificial Intelligence Applications and Innovations*, 583, 73–82.

- Iancu, B. (2019). Evaluating Google Speech-to-Text API's Performance for Romanian e-Learning. *Informatica Economică*, 23(1), 17-25.
- Lee, A. and Kawahara, T. (2009). Recent development of open-source speech recognition engine julius. *The Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, 2009 Annual Summit and Conference (APSIPA ASC 2009)*, 5 October 2009 at Hokkaido University (Japan), 131-137.
- Muangpool, T., Intharasomba, O. and Maneechot, A. (2015). Voice to Text Translation Application for Deafness using Google API. *The Proceedings of the National and International Conference*, 3-4 December 2015 at Uttaradit Rajabhat University, 1-8. (in Thai)
- Namahoot, S.J. (2014). Tourist Information Searching System by Speech. *MUT Journal of Business Administration*, 11(2), 1-20. (in Thai)
- Olanrewaju, O.L., Sandanayake, M., and Babarinde, S.A. (2020). Voice Assisted Key-In Building Quantities Estimation System. *Journal of Engineering Project and Production Management*, 10(2), 114-122.
- Plonkowski, M. and Urbanovich, P. (2014). Tuning a CMU Sphinx-III Speech Recognition System for Polish Language. *Przegląd Elektrotechniczny*, 90(4), 181-184.
- Sharma, K., Prasad, T.V. and Prasad, S.V.A.V. (2013). Hindi speech enabled windows application using Microsoft SAPI. *International journal of computer engineering & technology (IJCET)*, 4(2), 425-436.
- Sukhamwang, A., Nusen, S., Nusen, P., and Kaewmoracharoen, M. (2019). Guideline of Construction Quantity Takeoff on BIM-based Model According to Master Format Categories. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 19(2), 92-105. (in Thai)
- Suriyamongkol, S. and Tuntisewee, K. (2020). Factors Influencing Adoption of Building Information Modeling in Government Sector : A Case Study of Construction Department, Ministry of Defense. *The Proceedings of the 25th National Convention on Civil Engineering*, 15-17 July 2020 at Chonburi, 1-9. (in Thai)
- Thearmontree, S. (2020). *PYTHON Programming Language guide*. Nonthaburi: IDC Premier. (in Thai)
- Tibodee, P., Sudsin, T. and Thodsakai, T. (2021). The Apply of Using Building Information Modeling (BIM) to Present Material Takeoff: Case Study Educational Building. *Journal of Architecture Design and Construction*, 3(1), 57-68. (in Thai)
- Xu, B., Tao, C., Feng, Z., Raqui, Y. and Ranwez, S. (2021). A Benchmarking on Cloud based Speech-To-Text Services for French Speech and Background Noise Effect. *The Proceedings of 6th National Conference on Practical Applications of Artificial Intelligence*, 2021 at France, 1-6.

**การระบุและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)
และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) จากเครื่องยนต์เรือ ในมุมมองภาครัฐสำหรับอุตสาหกรรม
การขนส่งทางทะเลของไทย: แนวทางการจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ**

สหชัย แสงเรือง¹, เดชรัตน์ สัมฤทธิ์^{2,*}
^{1,2}กลุ่มสาขาวิชาโลจิสติกส์และระบบขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Received: 24 January 2022

Revised: 14 November 2022

Accepted: 14 November 2022

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อระบุและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อผลการลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) จากเครื่องยนต์เรือ ในมุมมองของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเดินเรือไทย การศึกษานี้เลือกใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง เพื่อยืนยันความถูกต้องและเพิ่มเติมประเด็นอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จากการทบทวนวรรณกรรม ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ในด้านอุตสาหกรรมเดินเรือไทย มลพิษทางอากาศ และวิศวกรรมทางทะเล จากองค์กรภาครัฐที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 หน่วยงาน เพื่อระบุอุปสรรคที่เกิดขึ้นในบริบทของประเทศไทย และประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) เพื่อสร้างความเข้าใจความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันตามลำดับความสำคัญของอุปสรรค และนำผลลัพธ์ของเทคนิค ISM ไปใช้ในการจัดหมวดหมู่ของอุปสรรคโดยเทคนิค Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC) ผลการวิจัย พบว่า อุปสรรคที่สำคัญที่สุดของกลไกในการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์นั้น คือ การมีต้นทุนที่สูงด้านเทคโนโลยีและการดำเนินการลดก๊าซ NO_x และ SO_x และการขาดความตระหนักด้านการปฏิบัติตามกฎระเบียบของภาครัฐ โดยการศึกษาครั้งนี้สามารถเป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการเดินเรือไทยและผู้กำหนดนโยบายในการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศในทะเล

คำสำคัญ: อุปสรรค แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ การจัดหมวดหมู่ของอุปสรรค มลพิษทางอากาศในทะเล

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: dettoy999@gmail.com

Identifying and Ranking the Obstacles of Nitrogen Oxides (NO_x) and Sulphur Oxides (SO_x) Emission Reductions from Marine Engines in Government Agencies' Perspectives on Thai Maritime Transportation Industry: Using Interpretive Structural Modeling Approach

Sahachai Sangruang¹, Detcharat Sumrit^{2,*}

^{1,2}The Cluster of Logistics and Rail Engineering,
Faculty of Engineering, Mahidol University

Received: 24 January 2022

Revised: 14 November 2022

Accepted: 14 November 2022

Abstract

The objective of this research was to identify and rank the barriers of reduction of nitrogen oxides (NO_x) and sulfur oxides (SO_x) emissions from marine engines in perspectives of government agencies which relevant to Thai maritime transportation industry. This study chose semi-structured interview to confirm the validity and added more related issues from the literature review. Purposive Sampling was a technique used for selecting samples with the criterions of knowledge, expertise, and experience in maritime transportation industry, air pollution and marine engineering. The samplings were experts selected from three government organizations which relevant to Thai maritime transportation industry to identify obstacles in Thailand's context. There was also used "Interpretive Structural Modeling: ISM" to understand the relationship between the priorities of obstacles. The results of the ISM technique were then applied to classify of obstacles by technique of "Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC)". The findings indicated that the most significant obstacles of reducing mechanisms of NO_x and SO_x were high Technology capital and operational cost of Nitrogen Oxides and Sulphur Oxides reduction solutions and are not aware compliance with regulation in Government. This study can be useful for Thai shipowners and policymakers to manage the problem of maritime air pollution.

Keywords: Obstacle Interpretive structural modeling (ISM) Cross-Impact Matrix Multiplication
Applied to Classification (MICMAC) Maritime air pollution

* Corresponding Author; E-mail: dettoy999@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเดินเรือมีส่วนทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เรือเดินทะเลส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์หลัก (Zhou et al., 2021) เครื่องยนต์ดีเซลใช้น้ำมันเชื้อเพลิง Heavy Fuel Oil (HFO) ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ส่วนใหญ่ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน ออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และฝุ่นละออง (PM) (European Environment Agency: EEA, 2019) กฎระเบียบด้านมลพิษทางอากาศที่เข้มงวดขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ผู้ประกอบการแบกรับภาระต้นทุนที่สูงขึ้นไม่สามารถทำกำไรได้ จนในที่สุดผู้ประกอบการต้องปิดกิจการหรือส่งผลให้ลูกค้าสนใจการขนส่งทางเรื่อน้อยลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ลูกค้าอาจเปลี่ยนไปใช้การขนส่งโหมดอื่นๆ เช่น การขนส่งทางถนน ทางรถไฟหรือทางอากาศมากขึ้น (Lindstad et al., 2015)

งานวิจัยนี้ได้หารือหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเดินเรือไทย เกี่ยวกับปัญหาการลดมลพิษทางอากาศจากการเดินเรือทางทะเลของผู้ประกอบการเดินเรือไทย มุ่งเน้นการลดก๊าซ NO_x และ SO_x ซึ่งเป็นมลพิษหลักที่เกิดจากเครื่องยนต์เรือ เนื่องจากองค์การเดินเรือระหว่างประเทศภายใต้ข้อบังคับของ MARPOL Annex VI ได้กำหนดให้เรือต้องลดการปลดปล่อยก๊าซ SO_x ลงเป็น 0.1% (Sulfur Limit in Fuel (% m/m)) ในเขตควบคุมการปล่อยก๊าซ SO_x และ 0.5% สำหรับพื้นที่อื่นๆ นอกเขตควบคุม ส่วนการลดก๊าซ NO_x ให้ทำตามที่กำหนดใน NO_x Technical Code 2008 (www.imo.org) ทำให้เรือที่ต้องขนส่งสินค้าระหว่าง ประเทศจำเป็นต้องปฏิบัติตามข้อบังคับผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะเลือกวิธีที่เสียผลประโยชน์น้อยที่สุด ซึ่งเป็นความท้าทายสำหรับผู้กำหนดนโยบายในการหาจุดสมดุลในการแก้ปัญหา ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสุขภาพของประชาชน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อระบุอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ สำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย
2. เพื่อจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือสำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย นำผลลัพธ์จัดทำข้อเสนอแนะให้แก่หน่วยงานภาครัฐ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยแบ่งการทบทวนวรรณกรรมออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ อุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) และ การจัดหมวดหมู่ปัจจัย โดยใช้วิธี Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. อุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ผู้วิจัยได้รวบรวมอุปสรรคในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ตามที่ได้มีการวิจัยและเผยแพร่ในฐานข้อมูล Web of Science, Emerald และ Science-Direct ช่วงปี ค.ศ. 2015-2022 ข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 1
2. แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) แนวคิดพื้นฐานเทคนิค ISM คือการใช้ประสบการณ์และความรู้ของผู้เชี่ยวชาญในการแปลงระบบที่ซับซ้อนเป็นระบบย่อยหลายระบบและ

สร้างแบบจำลองโครงสร้างหลายระดับ เพื่อให้สามารถเข้าใจความสัมพันธ์โดยตรงและโดยอ้อม นอกจากนี้วิธีการ ISM ได้ถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ เช่น การค้นหาปัจจัยความสำเร็จที่สำคัญในองค์กรและภาคอุตสาหกรรม (Artpairin and Pinmanee, 2022)

3. การจัดหมวดหมู่ปัจจัย โดยใช้วิธี Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC) ผลลัพธ์ของ ISM ถูกใช้เป็นอินพุตในการวิเคราะห์ MICMAC เพื่อระบุพลังการขับเคลื่อนและการพึ่งพาของปัจจัย

ตารางที่ 1 อุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือที่ปรากฏในฐานข้อมูล

รหัส	อุปสรรค	อ้างอิง
B1	ขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน	Svanberg et al., (2018)
B2	ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม	Animah et al., (2018)
B3	กลไกในการลด NO _x และ SO _x มีต้นทุนสูง	Ross and Orestis, (2019)
B4	ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ	Lindstad and Bo, (2018)
B5	ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบ และรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล	Animah et al., (2018)
B6	ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ	Chu Van et al., (2019)
B7	ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO โดยเฉพาะ	Animah et al., (2018)
B8	ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG	Animah et al., (2018)
B9	ขาดความตระหนัก	Animah et al., (2018)
B10	บริษัทขนส่งและอุตสาหกรรมแก้ปัญหาหมลพิษแบบต่างคนต่างทำ	Zhu et al., (2017)
B11	ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง	Lee and Nam, (2017)
B12	ขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรมภายในประเทศ	Lee and Nam, (2017)

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การระบุอุปสรรคและหาความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคด้วยวิธี ISM ผสมกับการจัดกลุ่มของอุปสรรคตามกำลังขับเคลื่อนและการพึ่งพาด้วยวิธี MICMAC เริ่มจากการค้นหาอุปสรรคปัญหาต่างๆ ผ่านการทบทวนวรรณกรรม นำส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องโดยการสัมภาษณ์และการตอบแบบสอบถาม เพื่อหาข้อสรุปอุปสรรคตามบริบทประเทศไทย จัดลำดับและสร้างโครงสร้างลำดับชั้นเพื่อแสดงให้เห็นภาพความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคด้วยวิธี ISM สุดท้ายจัดหมวดหมู่และวิเคราะห์อุปสรรคตามวิธีการ MICMAC

ประชากรและตัวอย่าง

แนวทางการศึกษาเลือกใช้ การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi Structured Interview) และการสำรวจแบบสอบถาม การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นการสุ่มโดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีความรู้ ความชำนาญและมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเลใน

ประเทศไทย เรียกว่า ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) มาจาก 3 องค์การภาครัฐได้แก่ กรมเจ้าท่า (Marine Department) จำนวน 3 ท่าน การท่าเรือแห่งประเทศไทย (Port Authority of Thailand) จำนวน 3 ท่าน และกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department) จำนวน 8 ท่าน ผ่านการหารือและตรวจสอบความถูกต้องภายในองค์กร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การระบุอุปสรรคและจัดลำดับความสัมพันธ์ของอุปสรรค การลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ สำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย ใช้แนวทางการจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (ISM) ผสมกับการจัดกลุ่มของอุปสรรคด้วยวิธี MICMAC

ขั้นตอนการวิจัย

ผู้วิจัยเสนอวิธีดำเนินการวิจัย 7 ขั้นตอน ประยุกต์ตามแนวทางของ (Sumrit, 2021) ดังนี้

1. การระบุอุปสรรค จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า มีอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ที่อ้างถึงมากที่สุด 12 รายการ ตามตารางที่ 1 อุปสรรคเหล่านี้ได้รับการตรวจสอบอีกครั้งจากผู้เชี่ยวชาญ

2. กำหนดและตีความความสัมพันธ์ตามบริบท กำหนดความสัมพันธ์ตามบริบทระหว่างอุปสรรค เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความสัมพันธ์ โดยใช้คำว่า “ส่งผลให้เกิด” ในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคที่ละคู่ ตัวอย่างเช่น หาก B1 ส่งผลให้เกิด B2 หมายความว่า “เกิด B1 จะส่งผลให้เกิด B2”

3. สร้างตารางความสัมพันธ์ SSIM นำความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่ระบุในขั้นตอนที่ (2) มาสร้างตารางความสัมพันธ์ SSIM ระหว่างอุปสรรค (i, j) ซึ่ง “i” หมายถึง อุปสรรคใน “แถว” และ “j” หมายถึงอุปสรรคใน “คอลัมน์” โดยใช้ 4 สัญลักษณ์ V, A, O และ X ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสองอุปสรรค ซึ่งความหมายของสัญลักษณ์ คือ

V หมายถึง อุปสรรค i ส่งผลให้เกิดอุปสรรค j แต่อุปสรรค j ไม่ส่งผลให้เกิดอุปสรรค i

A หมายถึง อุปสรรค j ส่งผลให้เกิดอุปสรรค i แต่อุปสรรค i ไม่ส่งผลให้เกิดอุปสรรค j

X หมายถึง อุปสรรค i ส่งผลให้เกิดอุปสรรค j และอุปสรรค j ส่งผลให้เกิดอุปสรรค i

O หมายถึง อุปสรรคไม่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน

4. สร้างตารางความสัมพันธ์ Reachability Matrix สร้าง Initial Reachability Matrix ขึ้นเริ่มต้น โดยนำข้อมูลจากตารางความสัมพันธ์ SSIM ที่เป็นสัญลักษณ์มาแปลงเป็นตัวเลข โดยกำหนดให้สัญลักษณ์ที่นำมาแปลงเป็นตัวเลขนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 2 จากนั้นสร้าง Final Reachability Matrix ขั้นสุดท้าย ตามกฎการเปลี่ยนแปลงของเทคนิค ISM คือ ถ้า “i” ส่งผลต่อ “j” และ “j” ส่งผลต่อ “k” จะทำให้เกิดความสัมพันธ์ทางอ้อมขึ้นระหว่าง “i” และ “k” ทำให้ “i” ส่งผลต่อ “k” ในตารางเมทริกซ์จะเปลี่ยนแปลงเลข 0 เป็นเลข 1* ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ทางอ้อมที่ละคู่อุปสรรค การตรวจสอบแบบนี้ก็เพื่อเติมเต็มช่องว่างจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ Final Reachability Matrix ขั้นสุดท้ายแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การแปลงสัญลักษณ์จากตาราง SSIM ให้เป็นตัวเลข

สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์ i ต่อ j (i, j)	ความสัมพันธ์ j ต่อ i (j, i)
V	1	0
A	0	1
X	1	1
O	0	0

5. หา Level Partition ของอุปสรรค เพื่อให้ทราบถึงระดับความสัมพันธ์ของแต่ละอุปสรรค จึงทำการแบ่งกลุ่มของอุปสรรคจาก ตาราง Final Reachability Matrix ออกเป็น 2 เซต ดังนี้

(1) Reachability Set คือ การจัดกลุ่มของอุปสรรคแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์กับอุปสรรคอื่นๆ ในแนวนอน (i) เลือกอุปสรรคที่มีความสัมพันธ์เป็นเลข 1 หรือ 1* ให้อยู่กลุ่มเดียวกัน ทำแบบนี้ให้ครบทุกอุปสรรค

(2) Antecedent Set คือ การจัดกลุ่มของอุปสรรคแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์กับอุปสรรคตัวอื่นๆ ในแนวตั้ง (j) เลือกอุปสรรคที่มีความสัมพันธ์เป็นเลข 1 หรือ 1* ให้อยู่กลุ่มเดียวกัน ทำแบบนี้ให้ครบทุกอุปสรรค ผลการหา Level Partition ของอุปสรรค แสดงไว้ในตารางที่ 4

6. สร้าง ISM Model โดยนำข้อมูลที่ได้จากการหา Level Partition ของอุปสรรค มาสร้าง ISM Model ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคแต่ละอุปสรรคและถูกจัดเรียงเป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงระดับความสำคัญและการเชื่อมโยงกันอย่างมีนัยสำคัญของอุปสรรคต่างๆตามความสำคัญของอุปสรรคที่วิเคราะห์ได้จาก Reachability Matrix โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคจะแสดงโดยสัญลักษณ์ลูกศร ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 3 Final Reachability Matrix

Final Reachability Matrix													
รหัส (i)	รหัส(j)												Driving Power
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	
B1	1	1*	1	1	1*	1	1*	1	0	1*	1*	1*	11
B2	1	1	1	1	1	1	1	1*	1	1*	1*	1*	12
B3	1	1*	1	1	1*	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	12
B4	0	0	1	1	0	1*	1*	0	0	1*	1	1	7
B5	1*	1	1*	1	1	1	1	1*	1*	1*	1*	1	12
B6	1	1	1*	1	1	1	1	1	1*	1	1	1*	12
B7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
B8	1	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	0	1*	1*	0	10
B9	1*	1*	0	1*	1*	1	1*	1*	1	1	1*	1	11
B10	0	0	0	1*	0	1*	0	0	0	1	1	0	4
B11	1*	1*	1*	1	1*	1	1*	1*	0	1	1	1*	11
B12	1*	1*	1*	1	1*	1	1*	1*	0	1*	1*	1	11
Dependence Power	10	10	10	12	10	12	11	10	6	12	12	10	

7. การจัดหมวดหมู่ของอุปสรรคโดยวิธี MICMAC โดย MICMAC คือการสร้างกราฟสำหรับการจัดหมวดหมู่ขององค์ประกอบต่างๆ ออกตามปัจจัย 2 ชนิด คือ Driving Power และ Dependence Power โดยการนำข้อมูลจากตารางความสัมพันธ์ Reachability Matrix มาใช้ โดยค่าที่จะใช้พล็อตกราฟ Conical Matrix จะถูกคำนวณจากการรวมตัวเลขใน Reachability Matrix ค่า Driving Power ของแต่ละอุปสรรคจะได้มาจากผลรวมของตัวเลขในแต่ละแถว และค่า Dependence Power ของแต่ละอุปสรรคจะได้มาจากผลรวมของตัวเลขในแต่ละคอลัมน์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 จากนั้นนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟที่แบ่งเป็น 4 Quadrant ดังรูปที่ 2 โดยทั้ง 4 Quadrant ในกราฟจะแสดงถึงกลุ่มที่แตกต่างกัน 4 กลุ่มด้วยกัน ดังนี้ (Sandbhor and Botre, 2014) Quadrant 1: กลุ่มที่เกิดขึ้นเอง (Autonomous) Quadrant 2: กลุ่มที่ต้องพึ่งพา (Dependent) Quadrant 3: กลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) Quadrant 4: กลุ่มอิสระ (Independent)

จากวิธีดำเนินการวิจัยทั้ง 7 ขั้นตอนตามลำดับ จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย การระบุอุปสรรคและจัดลำดับความสำคัญในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตาม 7 ขั้นตอนที่ระบุไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ได้ผลการวิจัยดังนี้

1. การระบุอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ผลจากการตอบแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า 67% ของผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยว่าการขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงาน เชื้อเพลิงทดแทน ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG บริษัทขนส่งและอู่ต่อเรือแก้ปัญหาเฉพาะแบบต่างคนต่างทำ ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้องเป็นอุปสรรค นอกจากนี้มีเพียงประมาณ 21% ของผู้ตอบแบบสอบถามไม่เห็นด้วยว่า การขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ การขาดความตระหนักและการขาดศักยภาพการให้บริการของอู่ต่อเรือภายในประเทศเป็นอุปสรรค ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด มีความเห็นพ้องกันว่า กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง การขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล เป็นอุปสรรคที่สำคัญ

2. แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) ผลจากการใช้วิธี ISM วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรค แบ่งตามลำดับขั้นดังนี้

Level I ประกอบด้วยอุปสรรค ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ (B4) ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ (B6) บริษัทขนส่งและอู่ต่อเรือแก้ปัญหาเฉพาะแบบต่างคนต่างทำ (B10) ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง (B11)

Level II ประกอบด้วยอุปสรรค การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน (B1) ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม (B2) ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล (B5) ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO (B7) ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG (B8)

Level III ประกอบด้วยอุปสรรค ขาดศักยภาพการให้บริการของผู้อู่ต่อเรือ (B12) เป็นอุปสรรคที่ส่งผลให้เกิดอุปสรรคในระดับ II และเกิดจากอุปสรรคที่เหลืออีกสองอุปสรรค

Level IV ประกอบด้วยอุปสรรค การขาดความตระหนัก (B9) ส่งผลโดยตรงให้เกิดการขาดศักยภาพการให้บริการของผู้อู่ต่อเรือ (B12) และส่งผลทางอ้อมให้เกิดอุปสรรคทั้งเก้าอุปสรรคในโครงสร้างลำดับขั้นด้านบน

Level V ประกอบด้วยอุปสรรค กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง (B3) เป็นอุปสรรคลำดับสุดท้ายของโครงสร้างลำดับขั้น มีความสำคัญมากที่สุด

ตารางที่ 4 แสดงผลการหา Level Partition ของอุปสรรค

อุปสรรค	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection	Level
B4	B3,B4,B6, B7,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B3,B4,B6, B7,B10,B11,B12	I
B6	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	I
B10	B4,B6,B10,B11	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B4,B6,B10,B11	I
B11	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B10,B11,B12	I
B1	B1,B2,B3,B5,B7,B8,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5,B7,B8,B12	II
B2	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	II
B5	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	II
B7	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	II
B8	B1,B2,B3,B5,B7,B8	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5,B7,B8	II
B12	B3,B12	B3,B9,B12	B3,B12	III
B9	B9	B3,B9	B9	IV
B3	B3	B3	B3	V

3. การจัดหมวดหมู่โดยใช้วิธี MICMAC ผลจากการจัดหมวดหมู่ตามกำลังขับเคลื่อนและการพึ่งพาของแต่ละอุปสรรค จากกราฟ Conical Matrix (รูปที่ 2) พบว่าอุปสรรคแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มที่ต้องพึ่งพา (Dependent) อุปสรรคที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ การที่บริษัทขนส่งและผู้อู่ต่อเรือแก้ปัญหามลพิษแบบต่างคนต่างทำ

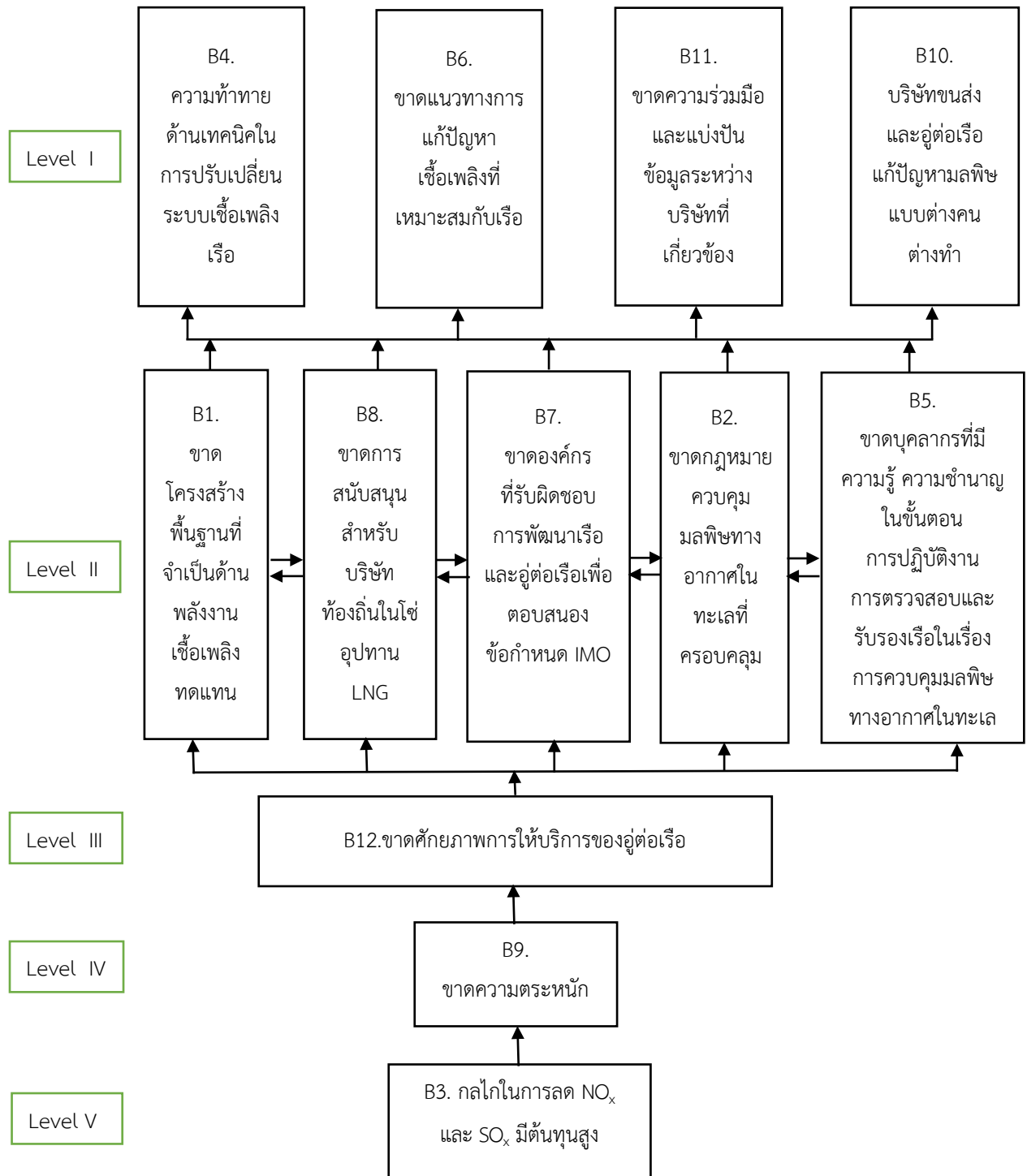
2. กลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) ได้แก่ การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน การขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้องและขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรม

3. กลุ่มอิสระ (Independent) เป็นอุปสรรคที่มีกำลังขับเคลื่อนมากและมีการพึ่งพาน้อย ได้แก่ การขาดความตระหนัก

อภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ ISM ตามรูปที่ 1 พบปัจจัยที่เป็นอุปสรรคคือ กลไกในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง (B3) อยู่ที่ยี่ดำนล่างสุดของระดับโครงสร้างลำดับชั้น (ระดับ V) เป็นอุปสรรคที่สำคัญที่สุดอันดับแรกตามมาด้วยการขาดความตระหนัก (ระดับ IV) และการขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรม (ระดับ III) ซึ่งหมายความว่าอุปสรรคเหล่านี้เป็นสามอุปสรรคที่สำคัญที่สุด กลไกในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูงและการขาดความตระหนัก ผลลัพธ์นี้ได้รับการสนับสนุนโดย (Animah et al., 2018) ซึ่งระบุว่ากลไกในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูงและการขาดความตระหนัก เป็นปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการลดการปล่อยก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือที่เกิดขึ้นในประเทศสาธารณรัฐเกาหลีและประเทศสาธารณรัฐแคนาดา อุปสรรคอันดับที่สาม การขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรม ผลลัพธ์นี้ได้รับการสนับสนุนโดย (Lee and Nam., 2017) ทำการศึกษาการจัดส่งสินค้าทางเรือที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในประเทศเกาหลีใต้ในมุมมองของอุตสาหกรรม ผลการศึกษพบว่า การขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรมคือปัญหาที่สำคัญหนึ่งในหกข้อในการจัดส่งสินค้าทางเรือที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในประเทศเกาหลีใต้

ผลการวิเคราะห์ MICMAC แสดงในรูปที่ 2 พบว่า การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน (B1) ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม (B2) กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง (B3) ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ (B4) ขาดบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุม



Liquefied Natural Gas: LNG

International Maritime Organization: IMO

ภาพที่ 1 แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความของอุปสรรค การลดก๊าซ NO_x , SO_x จากเครื่องยนต์เรือ

Driving Power		Quadrant 4 (Independent)						Quadrant 3 (Linkage)					
	12										B2,B3,B5	B7	B6
	11						B9				B1,B12		B11
	10										B8		
	9												
	8												
	7												B4
	6												
	5												
	4												B10
	3												
	2												
	1												
		Quadrant 1 (Autonomous)						Quadrant 2 (Dependent)					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dependence Power												

ภาพที่ 2 กราฟ Conical Matrix

มลพิษทางอากาศในทะเล (B5) ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ (B6) ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO (B7) ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG (B8) ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง (B11) ขาดศักยภาพการให้บริการของอู่ต่อเรือ (B12) อยู่ในกลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) ควรให้ความสำคัญในการกำจัดอุปสรรคเหล่านี้ด้วยความระมัดระวัง ต้องศึกษาผลกระทบครอบคลุมรอบด้านในการแก้ไขอุปสรรคเหล่านี้ จากผลการวิเคราะห์จะสังเกตได้ว่าค่า (B4) อยู่ตรง Border Lines ระหว่าง Quadrant 2 และ 3 อธิบายได้ว่า ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือแม้จะจัดอยู่ในกลุ่มเชื่อมโยง แต่ก็ยังเป็นอุปสรรคที่มีกำลังขับเคลื่อนไม่สูงนัก ควรแก้ไขอุปสรรคตัวอื่นๆ ในกลุ่มเชื่อมโยงก่อนอุปสรรคนี้ กลุ่มอิสระ (Independent) ได้แก่ การขาดความตระหนัก (B9) เป็นอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่ออุปสรรคอื่นๆ และได้รับผลกระทบจากอุปสรรคอื่นๆ น้อย จะสังเกตได้ว่าค่า (B9) ถึงแม้ว่าจะอยู่ตรง Border Lines ระหว่าง Quadrant 3 และ 4 แต่ก็ยังมีค่าการพึ่งพิงที่น้อย แสดงว่าการขาดความตระหนัก ยังไม่ได้เป็นการขาดแบบชนิดที่ไม่รู้อะไรเลย แต่ยังคงมีความตระหนักในระดับหนึ่งซึ่งถูกอิทธิพลจากอุปสรรคอื่นมากระทบได้ ถึงแม้ว่าจะน้อยก็ตาม ทำให้จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการแก้ไขอุปสรรคนี้เป็นอันดับแรกในการแก้ไขอุปสรรคในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ

สรุปผลการวิจัย

การระบุอุปสรรค เพื่อหาอุปสรรคที่สำคัญตามบริบทประเทศไทย ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุปสรรคในการลดก๊าซ จากเครื่องยนต์เรือ ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้เชี่ยวชาญจาก 3 องค์กรภาครัฐ ที่มีส่วนได้ส่วนเสียเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย

การสร้างแบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (ISM) และการจัดหมวดหมู่ของอุปสรรคโดยวิธี MICMAC นำมาใช้เพื่อตรวจสอบผล การระบุอุปสรรคและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรค การลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ สำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย ผลของการจัดอันดับแสดงให้เห็นว่าการขาดความตระหนัก และกลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง เป็นอุปสรรคที่อยู่ระดับล่างและอยู่ในกลุ่มที่มี Driving Power สูง การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง ขาดศักยภาพการให้บริการของอู่ต่อเรือ เป็นอุปสรรคที่อยู่ระดับบนถัดขึ้นไปและอยู่ในกลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) ดังนั้นการใช้วิธี ISM และ MICMAC ในการศึกษาได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ภาครัฐควรนำผลของการวิจัยนี้ ไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจ กำหนดนโยบายและวางแผนงานอย่างเป็นระบบ การกำหนดนโยบายของภาครัฐมีความสำคัญในการกำหนดทิศทางการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเล จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ต้นทุน ผลประโยชน์ ทางเลือกและผลกระทบทั้งระบบ เพื่อสร้างแนวทางการนำไปปฏิบัติที่เหมาะสม

2. การวิจัยในครั้งนี้มีข้อควรสังเกตที่ควรได้รับการแก้ไข คือควรเก็บข้อมูลจากผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเล ซึ่งเป็นผู้ได้รับผลกระทบโดยตรงมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อให้การกำหนดนโยบายระยะสั้นและระยะยาวถูกต้องตามความเป็นจริง ขอบเขตของการศึกษาที่ดำเนินการเฉพาะในบริบทประเทศไทย และการใช้เทคนิค ISM อาจยังไม่เพียงพอสำหรับการตัดสินใจแก้ไขอุปสรรค ดังนั้นการศึกษาวิจัยในอนาคต ควรทำการศึกษาในบริบทประเทศต่างๆ เพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกันและอาจใช้แนวทางการประเมินเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory: DEMATEL) หรือกระบวนการระดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Fuzzy AHP) ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์สำหรับการพัฒนาแผนการลดการปล่อยก๊าซ NO_x และ SO_x สำหรับอุตสาหกรรมเดินเรือทั่วโลกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Animah, I., Addy-Lampsey, A., Korsah, F., and Sackey, J. (2018). Compliance with MARPOL Annex VI regulation 14 by ships in the Gulf of Guinea sub-region: Issues, challenges, and opportunities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 441-455.
- Artpairin, A., and Pinmanee, S. (2022). Critical success factors in the management of petrochemical construction projects for contractors and subcontractors during the COVID-19 pandemic. [Online]. Retrieved February 09, 2022, from: <https://www.tandfonline.com/loi/tjcm20>.
- Chu Van, T., Ramirez, J., Rainey, T., Ristovski, Z., and Brown, R.J. (2019). Global impacts of recent IMO regulations on marine fuel oil refining processes and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 70, 123-134.
- European Environment Agency (EEA). (2019). *EMAS Environmental statement 2018*. [Online]. Retrieved May 15, 2019, from: <https://www.eea.europa.eu>.
- International Maritime Organization. (2021). *MARPOL Annex VI*. *Imo.org*. [Online]. Retrieved November 14, 2021, from: <https://www.imo.org>.
- Lee, T., and Nam, H. (2017). A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33, 253-262.
- Lindstad, E., and Bo, T. (2018). Potential power setups, fuels, and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 276-290.
- Lindstad, H., Sandaas, I., and Stromman, A.H. (2015). Assessment of cost as a function of abatement options in maritime emission control areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 38, 41-48.
- Ross, H.H., and Schinas, O. (2019). Empirical evidence of the interplay of energy performance and the value of ships. *Ocean Engineering*, 190, 106403.
- Svanberg, M., Ellis, J., Lundgren, J., and Landalv, I. (2018). Renewable methanol as a fuel for the shipping industry. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 94, 1217-1228.
- Sandbhor, S., and Botre, R. (2014). Applying total interpretive structural modeling to study factors affecting construction labour productivity. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 14, 20-31.
- Sumrit, D. (2021). What are the obstacles hindering digital transformation for small and medium enterprise freight logistics service providers? An interpretive structural modeling approach. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(3), 719-730.

- Zhou, X., Li, T., and Yi, P. (2021). The similarity ratio effects in design of scaled model experiments for marine diesel engines. *Energy*, 231, 121116.
- Zhu, M., Li, K. X., Shi, W., and Lam, J. S. L. (2017). Incentive policy for reduction of emission from ships: A case study of China. *Marine Policy*, 86, 253–258.

การศึกษาคุณสมบัติเส้นใยผ้าในสภาวะฝ่งกลบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ร่วมกับสเปกโทรสโคปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

ฐิติกาญจน์ อนวัชสกุล¹, ปริญา สีสานนท์^{2,*}

^{1,2}คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

Received: 21 May 2022

Revised: 16 November 2022

Accepted: 16 November 2022

บทคัดย่อ

การตรวจพิสูจน์ประมาณระยะเวลาการเกิดเหตุในทางนิติวิทยาศาสตร์ขึ้นกับหลายปัจจัย พลวัตรของพยานหลักฐานเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการแปรผล วัตถุพยานแวดล้อมและเครื่องแต่งกายสามารถช่วยให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเส้นใยผ้าจากการฝ่งกลบที่ระยะเวลาและในดินที่ต่างกันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโคปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้เส้นใยธรรมชาติ (ผ้าฝ้าย) และเส้นใยสังเคราะห์ (พอลิเอสเตอร์) ฝ่งดินที่ความลึก 50 เซนติเมตร เปรียบเทียบที่ระยะเวลานานจนถึง 30 วัน ผลการวิจัยพบว่า เส้นใยผ้าฝ้ายหลุดลอกและฉีกขาดจนมีลักษณะไม่เรียบเมื่อฝ่งในดินที่เป็นกรดและที่ระยะเวลาต่างกัน เส้นใยพอลิเอสเตอร์ไม่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ชัด จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผ้าพบว่า ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าแตกต่างกัน และมีลักษณะความจำเพาะที่ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าผ้าฝ้ายมีความทนทานน้อยกว่าผ้าพอลิเอสเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการประมาณระยะเวลาการถูกฝ่งกลบของผ้าเพื่อใช้ประกอบการหลักการทางนิติวิทยาศาสตร์ในการตรวจพิสูจน์ข้อเท็จจริงของเหตุการณ์ได้

คำสำคัญ : กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ การฝ่งกลบ นิติวิทยาศาสตร์

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: parinya.se@rpca.ac.th

The Study of Fiber Properties in Burial Conditions by Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy for Forensic Examination

Thitikan Anawatsakun¹, Parinya Seelanan^{2,*}

^{1,2}Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

Received: 21 May 2022

Revised: 16 November 2022

Accepted: 16 November 2022

Abstract

The estimation of incident period for forensic examination depends on several factors. Evidence dynamics is of particular problem in the incident clarification. Evidences from the environment and clothing can be associated for more accurate and reliable examination. The aim of this research was to study the change of physical and chemical properties for the fabric fibers under simulated burial conditions using Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) technique. Experimental research on the comparison study between natural fiber (cotton) and synthetic fiber (polyester) was performed. The selected fabric fibers were buried in different physical characteristics and acidity sandy loam soil at a depth of 500 mm and then recorded for a total period of 30 days. The results showed that peeling and tearing marks were physically observed in the cotton fibers. The fibers buried in acidic soil at different periods demonstrated a rough surface under SEM/EDX whereas polyester fibers were unable to be physically distinguished under tested conditions. From the chemical properties examination, the fabric fibers buried in soil at different periods were found to be significantly different at the 0.05 significance level. Therefore, it can be concluded that the cotton fiber is less durable than the polyester fiber. Moreover, the results can be used as a guideline for estimation of the burial period in order to support related scientific proof of evidence.

Keywords: Scanning Electron Microscope, Natural Fiber, Synthetic Fiber, Burial, Forensic Science

* Corresponding Author; E-mail: parinya.se@rpca.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการตรวจพิสูจน์อาชญากรรมที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน จะมีการนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ตรวจพิสูจน์ข้อเท็จจริง เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงคนร้าย เหตุ เช้ากับสถานที่เกิดเหตุเพื่ออธิบายและพิสูจน์ทราบการกระทำ ความผิดด้วยคนร้ายมักทิ้งร่องรอยและพยานหลักฐานไว้ในที่เกิดเหตุทั้งโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจ ตามหลักการและทฤษฎีการแลกเปลี่ยนวัตถุที่ทุกการสัมผัสจะมีการทิ้งร่องรอยไว้เสมอ หรือ Locard's Theory (Petherick, 2010) พยานหลักฐานที่พบในสถานที่เกิดเหตุ เช่น ลายนิ้วมือแฝงและฝ่าเท้าแฝง พยานวัตถุทางชีววิทยา และอาวุธที่ใช้ในการก่อเหตุ เป็นต้น จำเป็นต้องถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชื่อมโยงเข้ากับพฤติกรรม สาเหตุ และตัวผู้กระทำความผิด (Kozłowski, 2012) อย่างไรก็ตามในด้านนิติวิทยาศาสตร์นั้น ความเป็นพลวัตรหรือความไม่หยุดนิ่งของพยานหลักฐานเป็นปัญหาและอุปสรรคที่ส่งผลให้คุณค่าของพยานหลักฐานลดลง พลวัตรที่เด่นชัด เช่น การเปลี่ยนแปลงเพราะระยะเวลา การเปลี่ยนแปลงเพราะสภาพสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแปลผล ทำให้การสืบสวนและการพิสูจน์ทราบสาเหตุและข้อเท็จจริงนั้นคลี่คลายได้ยาก (Suebpong Siri, 2015)

วัตถุพยานประเภทเส้นใย เป็นวัตถุพยานอีกประเภทที่สามารถนำมาใช้เชื่อมโยงเข้ากับคนร้ายได้ เนื่องจากเส้นใยใช้เป็นส่วนประกอบของสิ่งทอ เช่น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม และสิ่งทอต่างๆ พยานหลักฐานทางเส้นใยสามารถใช้ศึกษาในกรณีการนำศพไปฝังกลบในดินซึ่งเป็นวิธีการอำพรางคดี เสื้อผ้าที่เหยื่อสวมใส่ รวมถึงผ้าที่คนร้ายใช้ห่อศพ มักจะถูกฝังไปพร้อมกับศพด้วย โดยในทางนิติวิทยาศาสตร์การประมาณระยะเวลาจากการชันสูตรศพเพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถประมาณเวลาที่เสียชีวิตได้แน่ชัดในทุกกรณี แต่อาจสามารถใช้วัตถุพยานที่พบกับร่างของศพ เช่น เสื้อผ้า นำมาศึกษาเพื่อประมาณระยะเวลาเบื้องต้น ในการศึกษาวัตถุพยานประเภทผ้าจึงต้องตรวจลักษณะกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีประกอบกัน เพื่อช่วยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเส้นใยผ้าได้ (Mahacharoen, 2020) ผู้วิจัยจึงคำนึงถึงประโยชน์ของวัตถุพยานประเภทเส้นใยที่สามารถส่งผลต่อการแปลผลและประมาณหาระยะเวลาการเสียชีวิต ทำให้เส้นใยผ้าเป็นวัตถุพยานที่มีคุณค่าและสามารถนำมาใช้ในการสืบสวนตรวจพิสูจน์ทางคดีเพื่อเชื่อมโยงเหยื่อกับผู้ต้องสงสัย รวมถึงสามารถใช้ประกอบการประมาณระยะเวลาการก่อเหตุร่วมกับคำให้การของผู้ต้องหาและพฤติการณ์ในคดีได้ นอกจากนี้ รายงานการศึกษาในต่างประเทศพบว่า เสื้อผ้าที่ทอด้วยเส้นใยขนสัตว์ที่ถูกฝังกลบในดินจะย่อยสลายจนหมดภายในระยะเวลาประมาณ 5-6 สัปดาห์ (Gubala and Kochan, 2000) รวมถึงการศึกษาปัจจัยของดินที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของเส้นใยจากศพที่ถูกฝัง (Lowe et al., 2013) และการทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของเส้นใยผ้าหลังจากถูกฝังกลบในดิน (Mitchell et al., 2012) จากปัจจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์เส้นใยจึงก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนางานนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้เป็นการหลักการพิสูจน์ข้อเท็จจริงและเชื่อมโยงเข้ากับการกระทำความผิด

วัตถุพยานประเภทเส้นใยผ้าสามารถทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางกล้องจุลทรรศน์ เทคนิควิธี Attenuated Total Reflectance (ATR-FTIR) และ Raman Spectroscopy (Cardell and Guerra, 2016) รวมถึงการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ในการวิเคราะห์ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้เพื่อการเปรียบเทียบกับวัตถุพยานอ้างอิง รวมถึงพิจารณาจากความจำเพาะทางเคมีและทางกายภาพ และพบว่าการศึกษาเบื้องต้นนี้ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าในกรณีถูกฝังกลบในดิน โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโกปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน หรือ Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเส้นใยผ้าในสภาวะฝังกลบในดิน

(Mahacharoen, 2020 ; Ruangksa, 2021) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณความแตกต่างของธาตุองค์ประกอบทางเคมีเส้นใยผ้าแต่ละชนิด จากปัจจัยที่มีผลต่อเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบในดินที่ระยะเวลาแตกต่างกันและดินที่มีคุณสมบัติต่างกัน โดยใช้ SEM/EDX เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุและองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงไป และเพื่อให้เป็นแนวทางในการประมาณระยะเวลาใน การก่อคดีอาชญากรรมได้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการวิจัย

การตรวจพิสูจน์เส้นใยทางนิติวิทยาศาสตร์จะศึกษาจากโครงสร้างทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแต่ละชนิดที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล จำแนกเส้นใย และพิสูจน์ข้อเท็จจริง ร่องรอยการกระทำผิดที่เกิดขึ้น การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยและการตรวจสอบความเสียหายของเส้นใย ทำได้โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ในการพิจารณาเพื่อทำการเปรียบเทียบความเสียหายกับวัตถุพยานอ้างอิง และเพื่อการพิจารณาจากความจำเพาะของคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ โดยประเภทความเสียหายที่เกิดขึ้นของเส้นใยมีหลายแบบ หนึ่งในความเสียหายของเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบในดินโดยส่วนใหญ่ คือผลกระทบจากย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย และรา เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเส้นใยธรรมชาติมากกว่าเส้นใยสังเคราะห์ (Robertson, Roux and Wiggins, 1999) นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของผ้าแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน สำหรับผ้าฝ้ายโดยส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นเส้นใยเซลลูโลสเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงยาว ซึ่งเรียกว่า cellobiose และมีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ผ้าฝ้ายจะถูกทำลายได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพความเป็นกรด ซึ่งกรดจะเข้าไปทำลายพันธะที่บริเวณ glucoside oxygen atom ที่เชื่อมอยู่ระหว่างน้ำตาลกลูโคสทั้งสองตัวของ cellobiose จนทำให้เกิดการแตกตัวได้ ส่วนโครงสร้างทางเคมีของผ้าพอลิเอสเตอร์ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์ประกอบไปด้วยหมู่ Ester, carbonyl oxygen, benzene ring และ methylene ที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงและทนทาน และสามารถทนต่อกรดได้มากกว่าเส้นใยผ้าฝ้าย (Gohl and Vilensky, 1980)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยที่เกิดการเปลี่ยนแปลง สามารถตรวจวัดด้วยสัญญาณทางสเปกโตรสโคปีจากการคายพลังงานเมื่อเส้นใยเกิดการสลายตัว โดยใช้ SEM/EDX การแยกแยะสัญญาณเอกซ์เรย์ลักษณะเฉพาะ (characteristic X-rays) ของธาตุที่แตกต่างกันด้วยสเปกตรัมเชิงพลังงาน ส่งผลให้สามารถระบุธาตุที่เป็นส่วนผสมของวัตถุหรือพื้นผิวนั้น การวิเคราะห์สัญญาณเอกซ์เรย์ลักษณะเฉพาะของธาตุด้วยสเปกตรัมที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในหน่วย keV (แกน X) กับจำนวนสัญญาณเอกซ์เรย์ที่ตรวจจับได้ (แกน Y) สัญญาณฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในสเปกตรัมจะสอดคล้องกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบบนตัวอย่าง (Cardell and Guerra, 2016) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุในเชิงปริมาณ โดยบอกเป็น % ของธาตุที่มีอยู่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tepdacha (2013) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบระยะเวลาต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของผ้าแต่ละชนิด พบว่าเส้นใยทุกชนิดได้รับความเสียหายหรือเสื่อมสภาพหลังจากฝังกลบทั้งในดินเหนียวและดินทราย เส้นใยผ้าธรรมชาติเสื่อมสภาพมากกว่าเส้นใยผ้าสังเคราะห์ และพบว่า

เส้นใยที่ฝักรวมเป็นระยะเวลาสั้นจะได้รับความเสียหายมากกว่า และยังพบว่าชนิดของผ้าและระยะเวลาที่ฝักรวมส่งผลต่อค่าความต้านแรงฉีกขาดอย่างมีนัยสำคัญ โดยผ้าทุกชนิดมีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดลดลงหลังจากฝักรวมขึ้น แสดงให้เห็นว่าผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาฝักรวมต่างกันส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเชิงกลของเส้นใยผ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้การศึกษาในต่างประเทศ (Lowe et al., 2013) และ Ueland et al. (2019) เส้นใยผ้าแต่ละชนิดที่ถูกฝักรวมในดินโดยไม่คำนึงถึงชนิดและลักษณะของเนื้อดินพบว่าระยะเวลาที่ถูกฝักรวมมีผลต่อการเสื่อมสภาพของเส้นใย และงานวิจัยของ Ruangkasa (2021) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในสภาวะการฝักรวมด้วยดินเหนียว และดินทรายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เวลาแตกต่างกัน พบว่าสามารถจำแนกประเภทเส้นใยจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบแต่ละประเภทได้ และพบว่าเส้นใยผ้าฝ้ายจะหดตัวในสภาวะกรดได้มากกว่าในสภาวะด่าง นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Mahacharoen (2020) ได้นำเสนอการวิเคราะห์ลักษณะทางพื้นผิวและธาตุองค์ประกอบในเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธี SEM/EDX ในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยศึกษาและจำแนกคุณสมบัติทางเคมีแบบเฉพาะเจาะจงของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์และนำองค์ประกอบทางเคมีไปใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยทั้งสองชนิด พบว่า SEM/EDX สามารถใช้เป็นแนวทางการตรวจเส้นใยที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำโดยการจำแนกคุณสมบัติทางแสงของเส้นใย อีกทั้งเป็นวิธีที่ไม่ทำลายวัตถุพยานและสามารถตรวจวิเคราะห์ซ้ำเพื่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้นได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยผ้าแต่ละชนิดจากการฝักรวมในดินที่ระยะเวลาแตกต่างกันและดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโตรสโคปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน หรือ Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) ในการตรวจเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานและธาตุองค์ประกอบในเส้นใยของผ้าแต่ละชนิด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ลักษณะของผ้าที่ใช้ศึกษา คือ ผ้าที่ทอด้วยเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) และเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ โพลีเอสเตอร์ (Polyester)
2. คุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษา ได้แก่ ลักษณะทางสัณฐานของสภาพพื้นผิวเส้นใยผ้า
3. คุณสมบัติทางเคมีที่ศึกษา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของธาตุและองค์ประกอบของเส้นใยผ้า
4. ดินที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดินร่วนปนทรายที่มีลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีต่างกัน โดยกำหนดดินชนิดที่ 1 เป็นดินชนิด A และดินชนิดที่ 2 เป็นดินชนิด B
5. เครื่องมือที่ใช้ศึกษา ได้แก่ เครื่องวัดค่า pH และค่าความชื้นของดิน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM /EDX) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น SU 1000

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

1. ผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มประชากรเป้าหมายกลุ่มตัวอย่างผ้า คือ ผ้าที่ทอด้วยเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากกลุ่มของผ้าที่ทอด้วยเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์อย่างละ 1 ชนิด ได้แก่ ฝ้าย (Cotton) และพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ซึ่งเป็นที่นิยมในการนำมาตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่มเพื่อการบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศ

2. ดินที่ใช้ฝังกลบชิ้นส่วนผ้าตัวอย่าง กำหนดใช้ดินร่วนปนทรายซึ่งพบมากในประเทศไทย ดินที่นำมาศึกษาเป็นชุดดินระยอง กลุ่มชุดดินที่ 43 (Department of Land Development, 2014) ในเขตพื้นที่ตำบลทุ่งควายกิน กำหนดดินในการทดลองเป็น 2 ชนิด ดังแสดงตามภาพที่ 1 โดยดินชนิดแรกกำหนดเป็น ดินชนิด A มีลักษณะทางกายภาพที่หยาบคล้ายเม็ดทรายและมีสีเหลืองแดง (รหัสสีดิน 5YR 5/8) โดยเทียบสีกับ Munsell soil color chart (Color, 1994) มีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 4-6 และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 81.92% และดินชนิดที่สองกำหนดเป็น ดินชนิด B มีลักษณะทางกายภาพเป็นก้อน สีเทา (รหัสสีดิน 5YR 6/2) และมีเนื้อทรายผสมอยู่ มีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 6-7 และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 80.91%



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของดินร่วนปนทราย สำหรับการทดลองการฝังกลบผ้า (1) ดินชนิด A (2) ดินชนิด B

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

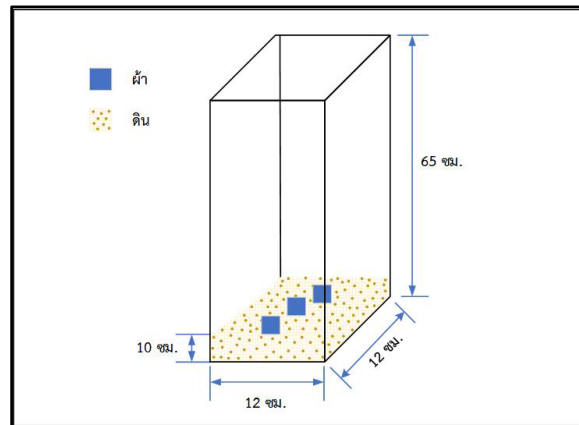
1. การเตรียมตัวอย่างผ้า ทำโดยการตัดชิ้นตัวอย่างผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ ให้มีขนาดประมาณ กว้าง x ยาว ประมาณ 3.0 x 3.0 เซนติเมตร เลือกใช้ผ้าสีขาวเพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ บันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างผ้าแต่ละชนิด

2. การเตรียมกล่องกระดาษสำหรับบรรจุดินและใช้สำหรับฝังกลบ ทำโดยการจำลองสภาวะคล้ายสภาพฝังกลบจริง จัดเตรียมกล่องขนาด กว้าง x ยาว x สูง เป็น 12 x 12 x 65 เซนติเมตร จำนวน 4 กล่อง วางกล่องกระดาษไว้ในพื้นที่ปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมให้อยู่ในสภาวะเดียวกัน ดำเนินการทดลองการฝังกลบด้วยกล่องกระดาษสภาวะเหมือนจริงในดินชนิด A และดินชนิด B โดยทำการวัดค่า pH และอุณหภูมิดิน และความชื้นตลอดการทดลอง

3. บรรจุดินลงในกล่องกระดาษที่เตรียมไว้โดยให้ความสูงขึ้นมาจากข้างใต้กล่อง 10 เซนติเมตร จากนั้นวางตัวอย่างผ้าและบรรจุดินลงไปลงในกล่องกระดาษให้มีระดับความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร ฝังกลบเป็นระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน ตัวอย่างสภาพจำลองการฝังกลบแสดงดังภาพที่ 1

4. เมื่อทำการฝังกลบครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำผ้าตัวอย่างออกมาจากกล่องและสับผ้าจำนวน 3 ครั้ง เพื่อกำจัดดินส่วนเกินออกก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดย SEM/EDX โดยไม่มีการชักล้างผ้าเพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อเส้นใยผ้าในสภาวะฝังกลบให้เสมือนจริง

5. สแกนด้วย SEM/EDX (Hitachi รุ่น SU1000) โดย Backscattered-Electron mode ที่ 20 kV กำลังขยายที่ 500 และ 1,000 เท่า ให้ปรากฏภาพ SEM และยิงเลเซอร์จำนวน 3 ครั้ง ที่บริเวณเส้นใยผ้าที่ตำแหน่งไม่ซ้ำกัน



ภาพที่ 2 ภาพจำลองการฝังกลบตัวอย่างเส้นใยผ้าด้วยดินในภาชนะกล่องกระดาษ

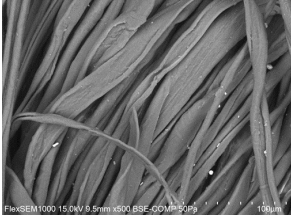
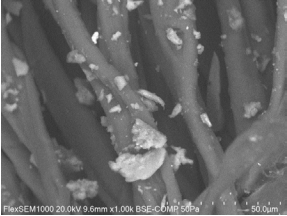
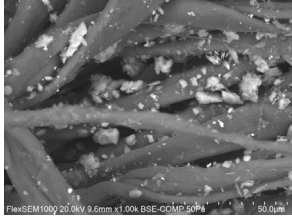
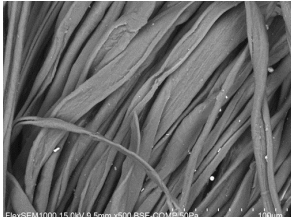
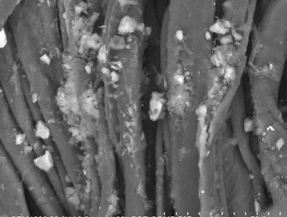
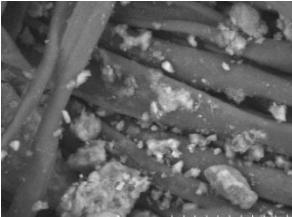
การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยแต่ละชนิดในสภาวะแวดล้อมและระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิค SEM/EDX และใช้สถิติอ้างอิง ได้แก่ การวิเคราะห์ Independent Sample t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างเส้นใยผ้าตัวอย่างแต่ละชนิดที่ได้รับผลจากชนิดของดินและระยะเวลาในการฝังกลบ

ผลการวิจัย

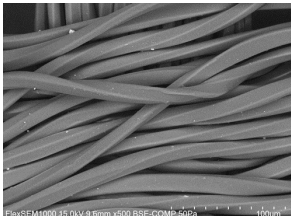
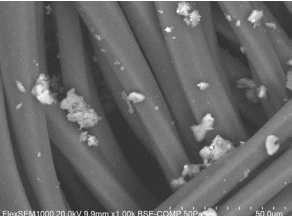
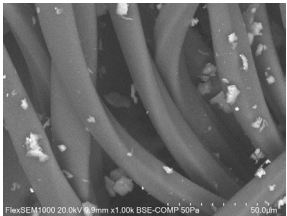
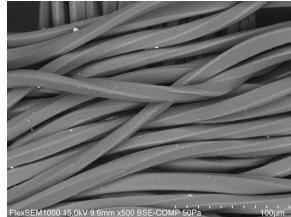
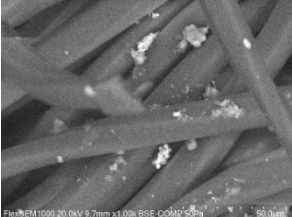
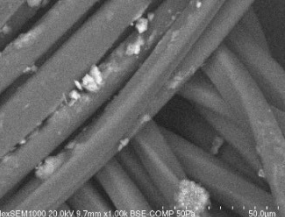
จากผลการศึกษาวิจัยเส้นใยผ้าฝ้ายและเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่ฝังกลบในดินร่วนปนทรายแต่ละชนิดที่ระยะเวลาแตกต่างกัน มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้วยเทคนิค SEM/EDX โดยการตรวจลักษณะทางสัณฐานของสภาพพื้นผิวเส้นใยผ้า สังเกตและวิเคราะห์โครงสร้างการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า พิจารณาภาพขยายเส้นใยผ้าบริเวณที่พบการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยโดยการเปรียบเทียบที่มาตรวัดเท่ากันขนาด 20 ไมครอน (μm) วิเคราะห์กับปัจจัยระยะเวลาการฝังกลบที่แตกต่างกัน ผลการทดลองที่ได้ปรากฏรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ลักษณะทางสัณฐานของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ก่อนและหลังการฝังกลบในดินโดยใช้ SEM/EDX

ประเภทของดิน	ระยะเวลา		
	ก่อนการฝังกลบ	ฝังกลบ 15 วัน	ฝังกลบ 30 วัน
ดินชนิด A			
ดินชนิด B			

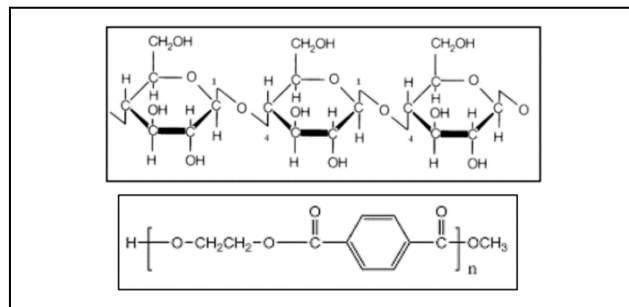
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ระยะเวลาต่างกัน เมื่อฝังกลบในดินชนิด A พบว่าลักษณะของเส้นใยมีความแตกต่างกัน พื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้าย ที่ระยะเวลา 30 วัน เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน จนมีลักษณะไม่เรียบ แต่พื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ระยะเวลา 15 วัน มีลักษณะเรียบ ไม่มีการหลุดลอกหรือฉีกขาด และเมื่อพิจารณาทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผ้าฝ้ายในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่า พื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายฝังกลบในดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน จนมีลักษณะไม่เรียบมากกว่าเส้นใยผ้าฝ้ายที่ฝังกลบในดินชนิด A ในขณะที่ระยะเวลา 30 วัน จะพบว่าลักษณะของเส้นใยไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งพื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายฝังกลบในดินร่วนปนทรายชนิด A และดินชนิด B เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน

ตารางที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ก่อนและหลังการฝังกลบในดินโดยใช้ SEM/EDX

ประเภทของดิน	ระยะเวลา		
	ก่อนการฝังกลบ	ฝังกลบ 15 วัน	ฝังกลบ 30 วัน
ดินชนิด A			
ดินชนิด B			

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ ผังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่าลักษณะทางสัณฐานของพื้นผิวเส้นใยไม่มีความแตกต่างกัน และไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

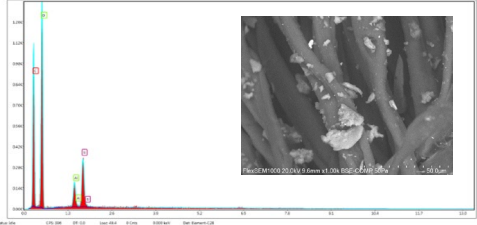
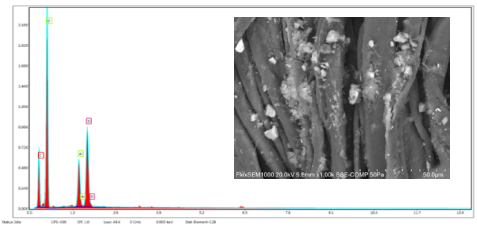
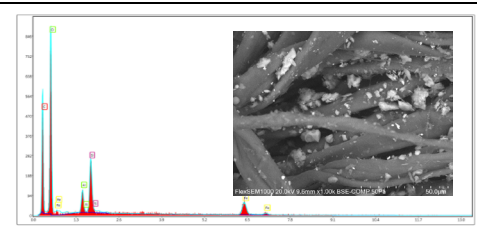
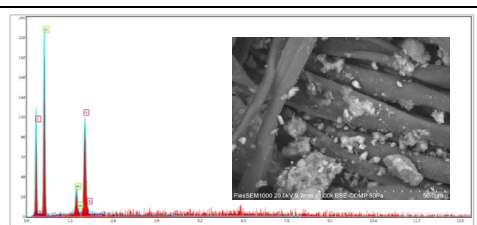
จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เครื่อง SEM/EDX เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเส้นใยผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเตอร์ ที่ถูกผังกลบที่ระยะเวลาและในดินที่ต่างกัน จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทั้งสองชนิด พบว่ามีธาตุองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน (C) และธาตุออกซิเจน (O) สอดคล้องกับโครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานทางเคมีของเส้นใยซึ่งแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานทางเคมีของเส้นใยผ้าฝ้าย (บน) และเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ (ล่าง)
ที่มา: Ruangkasa (2021)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยผ้าฝ้ายโดยการเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบในหน่วยร้อยละโดยมวล (Wt%) ของปริมาณธาตุของเส้นใยผ้าฝ้าย ก่อนผังกลบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 38.83 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 57.06 เมื่อนำไปผังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่า เมื่อผังกลบในดินชนิด A ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 27.99 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงที่เวลาก่อนการผังกลบและระยะเวลา 15 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 27.92% ส่วนปริมาณธาตุ O พบเท่ากับ 50.85 มีค่าลดลงคิดเป็น 10.88% และเมื่อผังกลบในดินชนิด B ปริมาณธาตุ C เท่ากับ 33.81 ซึ่งคิดเป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่พบก่อนการผังกลบเทียบกับที่ระยะเวลา 15 วัน ลดลงเท่ากับ 12.92% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 57.47 ซึ่งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.71% รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%) ของเส้นใยฝ้ายหลังฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน
จากเทคนิค SEM/EDX

ชนิดเส้นใย	ระยะเวลา	ชนิดของดินที่ฝังกลบ	ผลการวิเคราะห์และสเปกตรัมของเส้นใย	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%)	
				C	O
ฝ้าย	15 วัน	ดินชนิด A		27.99	50.85
		ดินชนิด B		33.81	57.47
	30 วัน	ดินชนิด A		28.46	48.38
		ดินชนิด B		36.08	52.63

จากการศึกษาปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าฝ้าย ก่อนฝังกลบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 38.83 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 57.06 เมื่อนำไปฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่าเมื่อฝังกลบในดินชนิด A ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 28.46 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบเทียบกับที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 26.71% สำหรับปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 48.38 มีค่าลดลงเท่ากับ 15.21% และเมื่อฝังกลบในดินชนิด B ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 36.08 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบกับที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 7.08% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 52.63 มีค่าลดลงเท่ากับ 7.76%

การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ ก่อนฝังกลบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 57.87 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 41.90 เมื่อทำการฝังกลบในดินที่มีสภาวะแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%) ของเส้นใยหลังฝังกลบด้วยดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน ผลการทดลองที่ได้มีรายละเอียดแสดงดัง ตารางที่ 4 โดยปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ เมื่อทำการฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่าเมื่อฝังกลบในดินชนิด A ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 50.21 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลงก่อนฝังกลบเทียบกับระยะเวลา 15 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 12.39% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 41.75 มีค่าลดลงเท่ากับ 9.43% เมื่อฝังกลบในดินชนิด B ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 53.14 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบกับที่ระยะเวลา 15 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 15.60% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 39.20 มีค่าลดลงเท่ากับ 1.41%

เส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ ก่อนฝังกลบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 57.87 และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 41.90 เมื่อถูกฝังกลบในดินชนิด A วิเคราะห์ที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่า ปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 42.14 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบเทียบกับที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 32.66% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 46.28 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 14.80% สำหรับการฝังกลบในดินชนิด B พบปริมาณธาตุ C มีค่าเท่ากับ 56.64 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการฝังกลบจากที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเท่ากับ 9.75% และปริมาณธาตุ O มีค่าเท่ากับ 43.36 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5.18%

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเส้นใยผ้าใน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ independent t-test ผ่านโปรแกรม SPSS ของข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีภายในเส้นใยผ้าแต่ละชนิดหลังจากการถูกฝังกลบในดินร่วนปนทรายที่สภาวะแวดล้อมต่างกัน ทำการเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบจากสถิติที่ใช้เพื่อสามารถยืนยันความแตกต่างของผลลัพธ์ในแต่ละสภาวะการทดลอง (Tepdacha, 2013) หลังจากทีเส้นใยผ้าฝ้ายถูกฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน ปริมาณธาตุ C ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินคนละชนิดกันไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณธาตุ O ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินคนละชนิดกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อผ้าฝ้ายถูกฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณธาตุ C และธาตุ O ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน สำหรับการทดลองโดยใช้ผ้าพอลิเอสเตอร์ฝังกลบในดินทั้งสองชนิด พบว่าที่ระยะเวลา 15 วัน ปริมาณธาตุ C และปริมาณธาตุ O ของเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกฝังกลบในดินทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อผ้าพอลิเอสเตอร์ถูกฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณธาตุ C และปริมาณธาตุ O ของเส้นใยผ้าที่ถูกฝังกลบในดินที่ต่างกันั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%) ของเส้นใยพอลิเอสเตอร์หลังฝังกลบด้วยดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน ด้วยเทคนิค SEM/EDX

ชนิดเส้นใย	ระยะเวลา	ชนิดของดินที่ฝังกลบ	ผลการวิเคราะห์และสเปกตรัมของเส้นใย	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%)	
				C	O
พอลิเอสเตอร์	15 วัน	ดินชนิด A		50.70	37.95
		ดินชนิด B		48.84	41.31
	30 วัน	ดินชนิด A		40.94	48.10
		ดินชนิด B		53.23	44.07

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าฝ้ายและเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยผ้าที่สภาวะก่อนและหลังการฝังกลบในดินที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน โดยใช้ข้อมูลปริมาณธาตุองค์ประกอบที่วิเคราะห์โดยเทคนิค SEM/EDX มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราส่วนองค์ประกอบของเส้นใยผ้าฝ้ายและเส้นใยผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลาต่างกัน

ชนิดของเส้นใยผ้า	ระยะเวลา	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (Wt%)					
		ธาตุ C		ธาตุ O		อัตราส่วน (C:O)	
		ดินชนิด A	ดินชนิด B	ดินชนิด A	ดินชนิด B	ดินชนิด A	ดินชนิด B
ผ้าฝ้าย	ก่อนฝังกลบ (0 วัน)	38.83	38.83	57.06	57.06	0.68	0.68
	15 วัน	27.99	33.81	50.85	57.47	0.54	0.59
	30 วัน	28.46	36.08	48.38	52.63	0.59	0.69
ผ้าพอลิเอสเตอร์	ก่อนฝังกลบ (0 วัน)	57.87	57.87	41.90	41.90	1.38	1.38
	15 วัน	50.70	48.84	37.95	41.31	1.34	1.18
	30 วัน	40.94	53.23	48.10	44.07	0.85	1.21

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยโดยการวิเคราะห์ภาพสแกน SEM ในช่วงมาตราวัดขนาดเท่ากันที่ระยะ 20 μm เพื่อเปรียบเทียบเส้นใยผ้า พบว่า เส้นใยผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B พบการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลานานขึ้น โดยที่ระยะเวลา 30 วัน เกิดการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วน ลักษณะไม่เรียบ มัดเส้นใยมีการขยายตัวออกมากกว่าเมื่อเทียบกับการถูกฝังกลบที่ระยะเวลา 15 วัน เนื่องจากดินชนิด A มีความเป็นกรดมากกว่าดินชนิด B จึงพบว่าลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายในดินชนิด B มีความแตกต่างกันกับในดินชนิด A อย่างชัดเจน สำหรับการวิเคราะห์ทางสัณฐานของพื้นผิวเส้นใยสังเคราะห์ พบว่า ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกฝังกลบในดินชนิด A และดินชนิด B ไม่พบลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนของเส้นใยเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้น การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อระบุความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเส้นใยผ้าสังเคราะห์ที่ฝังกลบในดินตัวอย่างภายในระยะเวลาที่กำหนดนั้น ยังไม่สามารถระบุจากการวิเคราะห์ภาพสแกน SEM เพียงอย่างเดียวได้

การศึกษาคูณสมบัติทางเคมีของผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์หลังการฝังกลบ พบว่ามีการสลายตัวของเส้นใยผ้าเกิดขึ้น โดยผลที่ได้จากธาตุ C และ ธาตุ O มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง โดยในดินชนิด A ซึ่งมีความเป็นกรดจะพบการสลายตัวของปริมาณธาตุ C ทั้งในผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ แต่สำหรับธาตุ O จะพบปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่น่าเชื่อ แต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของธาตุ C:O ในตัวอย่างผ้าทั้งสองชนิด พบว่ามีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาในดินชนิด B จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุ C และธาตุ O ในผ้าทั้งสองชนิด ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก พบปริมาณธาตุ C เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราส่วนองค์ประกอบธาตุ C:O ทั้งผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ มีอัตราส่วนลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการฝังกลบ และจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนที่ช่วงระยะเวลา 15 วันของการฝังกลบ แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของเส้นใยจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีสอดคล้องกับการสลายตัวตามผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ จากผลการวิจัยทำให้สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกฝังกลบในดินมีการเสื่อมสลายที่แตกต่างกันตามปัจจัยสภาวะของดินและระยะเวลาที่ใช้ในการฝังกลบ สามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบในกรณีที่พบวัตถุพยานประเภทเสื้อผ้าซึ่งเกี่ยวข้องกับการฝังกลบ และเป็นแนวทางในการพิจารณาพร้อมกับข้อมูลทางพฤติการณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อประมาณระยะเวลาที่วัตถุพยานถูกฝังกลบช่วงระยะเวลาภายใน 30 วันได้

อภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยผ้าแต่ละชนิดจากการฝังกลบในดินที่ระยะเวลาแตกต่างกันและดินต่างชนิดกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโกปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) พบว่า ลักษณะการจัดเรียงตัว โครงสร้างและคุณสมบัติของเส้นใยผ้าทั้งสองชนิดแตกต่างกัน และลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้ายแสดงให้เห็นการหลุดลอกและฉีกขาดบางส่วนจนมีลักษณะไม่เรียบเมื่อถูกฝังกลบในดินชนิด A ที่ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ในขณะที่เส้นใยผ้าฝ้ายเมื่อถูกฝังกลบในดินชนิด B ที่ระยะเวลาแตกต่างกันกลับไม่พบความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพอย่างเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากดินชนิด A มีความเป็นกรดมากกว่าดินชนิด B เมื่อตัวอย่างผ้าถูกฝังกลบในดินที่มีสภาวะกรดจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเส้นใยผ้าฝ้ายเกิดการเสียสภาพและหดตัวลง เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างและความชื้นที่มีอยู่ภายในดิน ส่งผลทำให้เส้นใยผ้าเกิดการเสื่อมสภาพ (Tepdacha, 2013) อีกทั้งมีรายงานผลการศึกษาว่าเส้นใยผ้าฝ้ายจะหดตัวในสภาวะกรดได้มากกว่าในสภาวะด่าง (Ruangkasa, 2021) ในขณะที่ผลการศึกษาเส้นใยโพลีเอสเตอร์เมื่ออยู่ในดินที่มีสภาวะต่างกันและระยะเวลาต่างกันยังไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ สอดคล้องกับงานวิจัย Ueland et al. (2019) ซึ่งพบว่าผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติสลายตัวเร็วกว่าผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ และขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการถูกฝังกลบในดิน รวมไปถึงงานวิจัย Komkleow et al. (2014) ซึ่งอธิบายว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของเส้นใยผ้าฝ้ายนั้นสูงกว่าในผ้าโพลีเอสเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เกิดแนวทางในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในเส้นใยผ้าโดยใช้ SEM/EDX ร่วมกับการศึกษาลักษณะทางกายภาพเพื่อจำแนกความแตกต่างของผ้าในสภาวะต่างๆ

เมื่อศึกษาปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยผ้าแต่ละชนิด ผลจากการศึกษาพบว่าปริมาณธาตุ C และปริมาณธาตุ O ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยผ้า เมื่อนำไปฝังกลบในดินที่มีสภาวะแตกต่างกัน คือ ดินชนิด A และดินชนิด B ที่ระยะเวลา 15 วัน และ 30 วัน มีค่าองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahacharoen (2020) ที่ศึกษาลักษณะเส้นใยผ้าและธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค SEM พบว่า เส้นใยฝ้ายและเส้นใยโพลีเอสเตอร์ มีธาตุองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) เช่นกัน และยังพบว่าผ้าฝ้ายที่ถูกฝังกลบในดินที่มีสภาวะต่างกันในช่วงระยะเวลาก่อนฝังถึงระยะเวลาที่ฝังแล้ว 15 วัน ปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยผ้าฝ้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเส้นใยผ้าที่ฝังกลบในดินนานถึงระยะเวลา 30 วัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงธาตุองค์ประกอบของเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์นั้นมีปริมาณการลดลงที่น้อยกว่าในเส้นใยฝ้ายในช่วงระยะเวลาเดียวกัน แสดงให้เห็นได้ว่าผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์มีการย่อยสลายได้ยากกว่าผ้าฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ อีกทั้งยังสอดคล้องตรงกับงานที่ผู้วิจัยศึกษาโดยใช้ดินตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้น

จากผลการวิจัยทำให้ยืนยันว่าเส้นใยผ้าจากธรรมชาติ คือ ผ้าฝ้าย มีลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเส้นใยผ้าสังเคราะห์ คือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ แต่จากปัจจัยอื่น เช่น ความชื้นและปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกี่ยวข้อง ทำให้ปริมาณของธาตุออกซิเจนที่มีในเส้นใยทั้งสองชนิดไม่คงที่ Tepdacha (2013) และพบว่าคุณสมบัติของเส้นใยผ้าแต่ละชนิดมีผลโดยตรงต่อผ้าที่ผลิตจากเส้นใยนั้น เส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีจะส่งผลให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำและความชื้นได้มากกว่า ส่วนผ้าที่ทำจากเส้นใยที่แข็งแรงก็จะมี ความหนาแน่นกว่าด้วย รวมถึงค่า pH ภายในดินชนิด A ที่ความเป็นกรดมากกว่าดินชนิด B ส่งผลให้ปริมาณของธาตุองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทั้งสองชนิดลดลงอย่างแตกต่างกัน นอกจากนี้การใช้ SEM/EDX ยังเป็นเทคนิคที่สามารถจำแนกชนิดและลักษณะของเส้นใย

ได้โดยไม่ทำลายวัตถุพยาน มีประโยชน์ต่อการตรวจพิสูจน์ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เนื่องจากข้อได้เปรียบในการเก็บวัตถุพยานสำหรับการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผ้าชนิดที่นิยมนำมาใช้ในงาน งานวิจัยต่อไปควรศึกษาปัจจัยชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องสำหรับการฝังกลบในดิน เช่น จุลินทรีย์ในดิน ความชื้น สภาพอากาศ จำนวนในการซักล้างผ้าแต่ละชนิด เป็นต้น เพื่อให้เกิดรูปแบบการวิเคราะห์ (profile) ที่ครอบคลุมและเกิดประโยชน์ในการพัฒนาวิธีการตรวจเปรียบเทียบวัตถุพยานต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 การวิจัยนี้ศึกษาผลจากการฝังกลบในดินที่มีต่อชนิดของผ้า (เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์) ในการประมาณระยะเวลาควรคำนึงถึงคุณสมบัติทางโครงสร้าง ลายผ้า การถักทอ และการยึดจับของเส้นใยเพิ่มเติมเพื่อสามารถประมาณระยะเวลาหลังการฝังกลบได้แม่นยำยิ่งขึ้น

1.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของผ้าแต่ละชนิดอาจคลาดเคลื่อนหากสภาวะที่ใช้แตกต่างกัน ควรควบคุมสภาวะการฝังกลบ สภาพอากาศ เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ ให้ใกล้เคียงกัน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรใช้ระยะเวลาการฝังกลบที่นานขึ้น และศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการฝังกลบให้ครอบคลุมเพื่อเป็น การควบคุมสภาวะการฝังกลบให้ใกล้เคียงสภาพจริง เช่น ความเป็นด่าง และจุลินทรีย์

2.2 ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อเส้นใยผ้า และเกิดขึ้นปกติในชีวิตประจำวัน เช่น การซักล้าง หรือการใช้น้ำยาทางเคมี

เอกสารอ้างอิง

- Cardell, C. and Guerra, I. (2016). An overview of emerging hyphenated SEM-EDX and Raman spectroscopy systems: Applications in life, environmental and materials sciences. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 77, 156-166.
- Color, M. (1994). *Munsell soil color charts, revised edition*. New Windsor, New York: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation.
- Department of Land Development. (2010). *62 soil group series* [Online]. Retrieved March 1, 2020, from: https://ladd.go.th/thaisoils_museum/62_soilgroup/main_62soilgroup.htm. (in Thai)
- Gohl, E. and Vilensky, L. (1980). *Textile science: An Explanation of Fibre Properties*. Sydney, Australia: Longman Cheshire.
- Gubala, J. and Kochan, R. (2000). The biodegradation of the fabric of soldiers' uniforms. *Science & Justice*, 40(1), 15-20.

- Komkleow, S., Whalley, A., Karnchanatat, A. and Sihanonth, P. (2014). *Decomposition of cotton and polyester fabrics in soil and related fungi*. Thesis of the Degree of Master of Science Program in Biotechnology. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Kozłowski, R. (2012). *Identification of natural textile fibres*. In *Woodhead Publishing Series in Textiles (Eds)*. Handbook of Natural Fibres. (pp. 314-344). Australia: Woodhead Publishing.
- Lowe, A. et al. (2013). The effect of soil texture on the degradation of textiles associated with buried bodies. *Forensic Science International*, 231, 331-339.
- Mahacharoen, T. (2020). The Classification of Natural and Synthetic Fibers in Thailand for Forensic Purpose by Using Surface and Elemental Analysis from Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy. *CRMA Journal*, 18, 32-46. (in Thai)
- Mitchell, J., Carra, D., Niven, B., Harrison, K. and Girvan, E. (2012). Physical and mechanical degradation of shirting fabrics in burial conditions. *Forensic Science International*, 222, 94-101.
- Petherick, W., Turvey, B. and Ferguson, C. (2010). *Forensic Criminology*. London: Elsevier Academic Press.
- Robertson, J., Roux C. and Wiggins, K. (1999). *Forensic Examination of Fibres*. London, UK: Taylor and Francis.
- Ruangkasa, S. (2021). A Study of Physiological Structure and Element Composition of Fibers at Burial with Different pH Values. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, 20(2), 2773-9473. (in Thai)
- Suebpongsiri, S. (2015). Crime Reconstruction in Forensic Science Approach. *Journal of Criminology and Forensic Science*, 1, 7-16. (in Thai)
- Tepdacha, W. (2013). *A Study of physical and mechanical properties of fabrics within burial conditions*. Thesis of the Master of Science Program in Forensic Science. Silpakorn University. (in Thai)
- Ueland, M., Forbes, S. L., and Stuart, B. H. (2019). Understanding clothed buried remains: the analysis of decomposition fluids and their influence on clothing in model burial environments. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 15(1), 3-12.

การออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟควบคุมโดยผ่านสมาร์ทโฟน

พัชรินทร์ อินทมาส¹, วีรพล ปานศรีนวล², กันตินันท์ สกฤไพศาล³,

กริชา สุขทั้ง⁴, ศรัณย์ ฉัตรธัญญกิจ⁴, พรหมพัชร์ บุญรักษา^{4,*}

¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

²สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Received: 12 July 2021

Revised: 21 November 2022

Accepted: 21 November 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟน ซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ เพื่อพัฒนาเครื่องสีเมล็ดกาแฟและออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน เพิ่มความสะดวก รวดเร็ว ในการสีเมล็ดกาแฟ ลดเวลาและเพิ่มผลผลิตมากยิ่งขึ้น และมีขอบเขตของโครงการดังนี้ ออกแบบปรับเครื่องสีเมล็ดกาแฟแบบเดิมให้สะดวกและทันสมัยกว่าเดิมและออกแบบระบบเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนที่สามารถเปิด ปิด เครื่องและแจ้งเตือนเมื่อปริมาณเมล็ดกาแฟหมด รวมถึงสามารถบอกปริมาณเมล็ดกาแฟเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยส่งงานผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนได้อีกด้วย เครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน มีขนาด โครงสร้างของเครื่องสีเมล็ดกาแฟ ความยาว 60 เซนติเมตร ความกว้าง 40 เซนติเมตร ความสูง 110 เซนติเมตร การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) การทดสอบสมรรถนะ การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน ผลสรุปได้ว่าเครื่องสามารถสีเมล็ดกาแฟได้ปริมาณมากที่สุด ที่ 830 กรัม ความเร็วรอบที่ 750 RPM ในเวลา 5 นาที (2) ทำการทดสอบเพื่อหาความผิดพลาดของระบบ พบว่า ระบบสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ และสรุปผลการทดลอง และ (3) เก็บผลการศึกษาความพึงพอใจในการใช้เครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบ ทำการสรุปค่าความพึงพอใจการใช้งานเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบ มีความพึงพอใจเฉลี่ยรวม คือ มากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.44)

คำสำคัญ: เครื่องสีเมล็ดกาแฟ แอปพลิเคชัน Blynk เปอร์เซนต์ค่าความแม่นยำ

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: promphak.boo@bkkthon.ac.th

Designing and Building a Coffee bean Polishing machine using a Smartphone controller

Patcharin Intamas¹, Weerapol Pansrinaun², Kantinan Sakulpaisan³,
Kreeta Sukthang⁴, Saran Chattunyakit⁴, Promphak Boonraksa^{4,*}

¹ Industrial Arts Department, Faculty of Industrial Technology,
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

² Industrial Technology Department, Faculty of Industrial Technology,
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

³ Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Bangkok Thonburi University

⁴ School of Electrical Engineering Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Received: 12 July 2021

Revised: 21 November 2022

Accepted: 21 November 2022

Abstract

This research presents the design and construction of a coffee bean polishing machine controlled by a smartphone. The objectives are as follows: to develop a designed and built coffee bean polishing machine that can be controlled via a smartphone to reduce time and increase productivity. The scope of the project is as follows: Designed a coffee bean polishing machine that can be controlled via a smartphone that can turn on and off the machine and notify when the amount of coffee beans runs out Including being able to tell the number of coffee beans as a percentage by ordering through a smartphone as well. The structure of the coffee bean polishing machine is 60 centimeters long, 40 centimeters wide, and 110 centimeters high. The experiment was divided into 3 parts: (1) Testing the performance of the coffee bean color machine, ordered via a smartphone. The results concluded that the machine was able to mill the maximum amount of coffee beans at 830 grams at a speed of 750 RPM in 5 minutes. (2) Testing for system failures. It was found that the system was able to alert users according to the purpose and summarize the results of the experiment and (3) To collect the results of a study on the satisfaction of using a coffee bean milling machine controlled by a prototype smartphone. Summarize the satisfaction values of using the coffee bean milling machine controlled via the prototype smartphone. The overall average satisfaction was the highest ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.44)

Keywords: Polishing Machine, Blynk Application, Percentage Accuracy

* Corresponding Author; E-mail: promphak.boon@bkkthon.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กาแฟเป็น เครื่องดื่มที่ทำจากเมล็ดซึ่งได้จากต้นกาแฟแล้วนำมาคั่ว โดยทั่วโลกมีการปลูกกาแฟมากกว่า 70 ประเทศ ถือว่าเป็นสินค้าทางการเกษตรซึ่ง มีการซื้อขายกันมาก (Pendergrast, 2009) กาแฟมีส่วนประกอบของ คาเฟอีน 1,3,7-trimethylxanthine ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของยาขยายหลอดลม theophylline caffeine สามารถพบได้ใน หลายชนิด ได้แก่ เมล็ดคา เมล็ดกาแฟ ใบชา โคลา ซึ่งเมื่อดื่มกาแฟเข้าไป กาแฟจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วหลังจาก ที่เรารดื่มน้ำ และจะถูกขับออกปัสสาวะหนึ่งครั้งหนึ่งในเวลาประมาณ 4 ชั่วโมงกาแฟจะไม่สะสมในร่างกายโดยจะถูกทำลายและ ขับออกหมดกาแฟจะออกฤทธิ์โดยการกระตุ้นสมองทำให้รู้สึกสดชื่นและมีสมาธิจึงมีสรรพคุณชูกำลังในมนุษย์ (Sekthira and Angkasithom, 1994) ทำให้กาแฟเป็นเครื่องดื่มซึ่งได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก (Villanueva, 2006)

ในปัจจุบันแหล่งปลูกกาแฟที่สำคัญของประเทศไทย เกือบร้อยละ 80 ของพื้นที่ปลูกและผลผลิตรวม ทั้งประเทศอยู่ในภาคใต้ เช่น จังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี ฯลฯ โดยปลูกกาแฟโรบัสต้า อีกประมาณร้อยละ 20 อยู่ใน พื้นที่สูงเขตภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน น่าน ฯลฯ นิยมปลูกกาแฟอาราบิก้า (Horticultural Research Institute Department of Agriculture, 2019) นอกจากนี้ยังมีการปลูกในพื้นที่ภาคอื่นบ้าง เช่น ภาคตะวันตก ที่จังหวัดกาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ฯลฯ ภาคตะวันออก ที่จังหวัดจันทบุรี ฉะเชิงเทรา ฯลฯ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่จังหวัดนครราชสีมา เลย ฯลฯ ปัจจุบันผลผลิตในประเทศไทยไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานแปรรูปในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกาแฟโรบัสต้า (Department of Agricultural Extension, 2014)

แม้ว่าจะสามารถปลูกกาแฟไทยเพิ่มได้เพราะมีตลาดผู้บริโภครองรับ แต่ก็มีประเด็นกาแฟนำเข้าที่นำจับตามอง ซึ่งในช่วงเดือนตุลาคมปี 2562 จนถึงเดือนมีนาคม 2563 จะเป็นฤดูเก็บเกี่ยวกาแฟไทยปี 2562/2563 ราคาผลผลิต ไกลเคียงกับปี 2562 อยู่ที่ 67-68 บาท/กก. และราคาสูงสุดอยู่ที่ 70 บาท/กก. ขณะที่ราคากาแฟจากต่างประเทศ อย่างเวียดนาม สปป.ลาว จะต่ำกว่าไทยอยู่ประมาณ 10 บาท/กก. เพราะต้นทุนการผลิตกับอัตราค่าแรงงานต่ำ พื้นที่ ปลูกก็อุดมสมบูรณ์แตกต่างจากไทยที่ต้นทุนการผลิตสูงกว่าถึง 80% บริษัทผู้นำเข้าจะได้ส่วนต่างประมาณ 5 บาท/ กก. อาจเกิดผลกระทบต่อตลาดกาแฟไทย (Regional Economy, 2019)



ภาพที่ 1 ต้นกาแฟที่มีผลแก่จัด (Regional Economy, 2019)

เมล็ดกาแฟกว่าจะมาเป็นกาแฟใน 1 ถ้วยที่เราดื่ม ต้องผ่านกระบวนการถึง 9 ขั้นตอนในการผลิตกาแฟ และ ใช้เวลาอย่างยาวนาน เริ่มมาตั้งแต่การเพาะเมล็ด ปลูก ดูแลรักษา เก็บเกี่ยว ทำให้แห้ง ขัดสี ทดสอบ คั่ว บด เมื่อคณะผู้วิจัยลงพื้นที่ศึกษาชาวสวนกาแฟ ใน อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร พบว่าเมื่อชาวสวนกาแฟเก็บผลผลิต

เมธิดาแพได้แล้วนั้น ชาวสวนจะต้องจ้างแรงงานคนแทนเมธิดาแพ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ในกรณีที่บางครัวเรือนมีเครื่องสีเมธิดาแพที่ใช้อยู่จำเป็นต้องมีการเติมเมธิดาแพอยู่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้ชาวสวนนั้นไม่สามารถไปทำภารกิจอื่นได้ (Kaewwichit, 2019) และในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าหลายงานวิจัยได้พยายามที่จะสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกให้เกษตรกร (2021)

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องสีเมธิดาแพส่งการโดยผ่านสมาร์ตโฟน (Smartphone) เนื่องจากสมาร์ตโฟน เป็นอีกหนึ่งปัจจัยของมนุษย์และเป็นที่ยอมรับว่าเป็นอุปกรณ์สื่อสารที่มีความจำเป็นต่อการดำเนินชีวิต ด้วยความสามารถในการติดต่อสื่อสารและความสะดวกสบายในการพกพาเคลื่อนที่ไปได้ทุกที่ ทำให้ลดข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและสถานที่ในการติดต่อสื่อสารได้อย่างแท้จริง (Wiphatthaprated, 2016) ในปัจจุบันประชากรในประเทศไทยมีสถิติการใช้สมาร์ตโฟนเพิ่มมากขึ้นทุกปี (Thongchuepong, 2016) อีกทั้งในระบบสมาร์ตโฟน (Smartphone) เป็นระบบที่ชาญฉลาด จึงได้มีการประยุกต์ใช้งานในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติกันอย่างแพร่หลาย การออกแบบและสร้างเครื่องสีเมธิดาแพส่งการโดยผ่านสมาร์ตโฟน (Smartphone) ในงานวิจัยนี้สร้างขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในครัวเรือน ซึ่งเครื่องสีเมธิดาแพนี้สร้างขึ้นมาเพื่อให้สะดวกในการควบคุมใช้งานและข้อจำกัดด้านระยะเวลา และลดปริมาณคนและลดต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานคนแทนเมธิดาแพ และยังเป็นการสนับสนุนให้ผู้ปลูกกาแฟใน อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร ให้สามารถพึ่งพาตนเองได้และมีรายได้เพิ่มขึ้นจากอาชีพหลัก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบเครื่องสีเมธิดาแพแบบอัตโนมัติควบคุมโดยสมาร์ตโฟนเพื่อใช้ในครัวเรือน
2. เพื่อพัฒนาเครื่องสีเมธิดาแพใช้งานโดยควบคุมผ่านโทรศัพท์สมาร์ตโฟน
3. เพื่อลดต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายของชาวสวนกาแฟในการจ้างแรงงานคนแทนเมธิดาแพ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องสีเมธิดาแพ

เมธิดาแพกว่าจะมาเป็นกาแฟใน 1 ถ้วยที่เราดื่ม ต้องผ่านกระบวนการถึง 9 ขั้นตอนในการผลิตกาแฟ ขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ คือการสีเมธิดาแพ จะต้องใช้เครื่องที่มีคุณภาพเครื่องสีรุ่นเก่า ผุพังและเกิดสนิมง่าย การใช้เครื่องสีที่มีราคาถูก ไม่ได้มาตรฐาน ใช้ไปนานๆ จะเกิดการชำรุด เครื่องเกิดสนิมเหล็ก ทำให้ผลผลิตกาแฟที่ได้ไม่มีคุณภาพ เพื่อช่วยเหลือวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตและแปรรูปกาแฟ มีการใช้เหล็กกล้าเกรดทำอาหารมาทำเป็นส่วนประกอบของเครื่องสีเมธิดาแพ เพื่อไม่ทำให้เกิดสนิมเหล็ก ผลผลิตมีคุณภาพ พร้อมทั้งได้ศึกษาทดสอบระยะเวลา อัตราการสีในการสีแต่ละครั้ง ผลปรากฏว่าทำการสีได้ปริมาณมากกว่า ใช้เวลาน้อยกว่า ช่วยร่นระยะเวลาการสีได้ ร้อยละ 16.97 กว่าเครื่องสีทั่วไป (Imthup, 2019)

และมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาสมรรถนะเครื่องสีเปลือกสดกาแฟอาราบิก้า เมื่อ เครื่องสีเปลือกสดกาแฟอาราบิก้า เป็นเครื่องจักรกลที่สำคัญในกระบวนการผลิตสารกาแฟ อาราบิก้า มีหลักการทำงานที่สำคัญคือการปอกเปลือกผลกาแฟแยกออกจากเมล็ดสารกาแฟ โดยมี เกณฑ์ในการทดสอบสมรรถนะคือ อัตราการสีเปอร์เซ็นต์การสีเปอร์เซ็นต์การแตกหักเมล็ดสาร การปนเปื้อนของเมล็ดสารและเปลือกการใช้พลังงานต้นกำลังและการใช้น้ำในขั้นตอนการสี

โดยใช้เครื่อง สปีดล็อกสติกกาแพอร่าบิก้า แบบลูกสี่ทรงกรวยตัดแนวตั้ง ขนาดกรวยเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 240 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่าง 260 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร มีช่องป้อนการสี 4 ช่องทาง มอเตอร์ ต้นกำลัง 1.50 กิโลวัตต์โดยทดสอบที่ ความเร็วรอบลูกสี่ต่างๆ คือ 250, 300, 350, 400 และ 450 รอบ/นาทีตามลำดับ พบว่า ความเร็วรอบที่ 450 รอบ/นาที สามารถสปีดล็อกเมล็ดกาแฟได้มากที่สุด (Akornchi et al., 2014)

ขอบเขตของการวิจัย

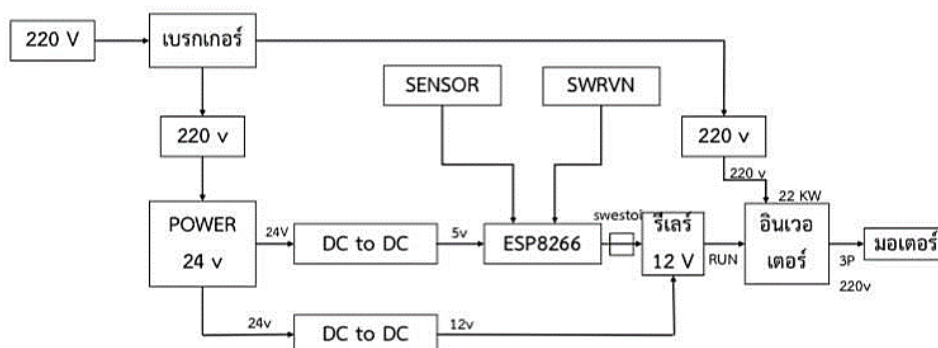
1. งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบเครื่องสปีดล็อกกาแฟแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในครัวเรือนใช้งานโดยควบคุมผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนผ่าน Application (แอปพลิเคชัน) Blynk โดยระบบจะแจ้งปริมาณกาแฟตั้งแต่เริ่มต้นเดินเครื่อง จนกาแฟหมด ก็จะทำให้การแจ้งเตือนผู้ใช้งาน โดยออกแบบต้นแบบเครื่องสปีดล็อกกาแฟเหมาะสมกับปริมาณเมล็ดกาแฟ 5 กิโลกรัม และทำการประเมินผลประสิทธิภาพ โดยการหาความแม่นยำของการสั่งการด้วยสมาร์ทโฟน ด้วยการหาค่าความแม่นยำ

2. ทำการประเมินความพึงพอใจการใช้งานของเครื่องผ่านแบบประเมินความพึงพอใจการออกแบบเครื่องสปีดล็อกกาแฟควบคุมโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบเพื่อประเมินความพึงพอใจของชาวสวนกาแฟใน อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร จำนวน 50 คน แบบประเมินความพึงพอใจ ใช้โดยค่าทางสถิติคือ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ประเมินตามแบบมาตรฐานประเมินค่าระดับ (Rating Scale) คือพึงพอใจมากที่สุด พึงพอใจมาก พึงพอใจปานกลาง พึงพอใจน้อย และพึงพอใจน้อยที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบเครื่องสปีดล็อกกาแฟ

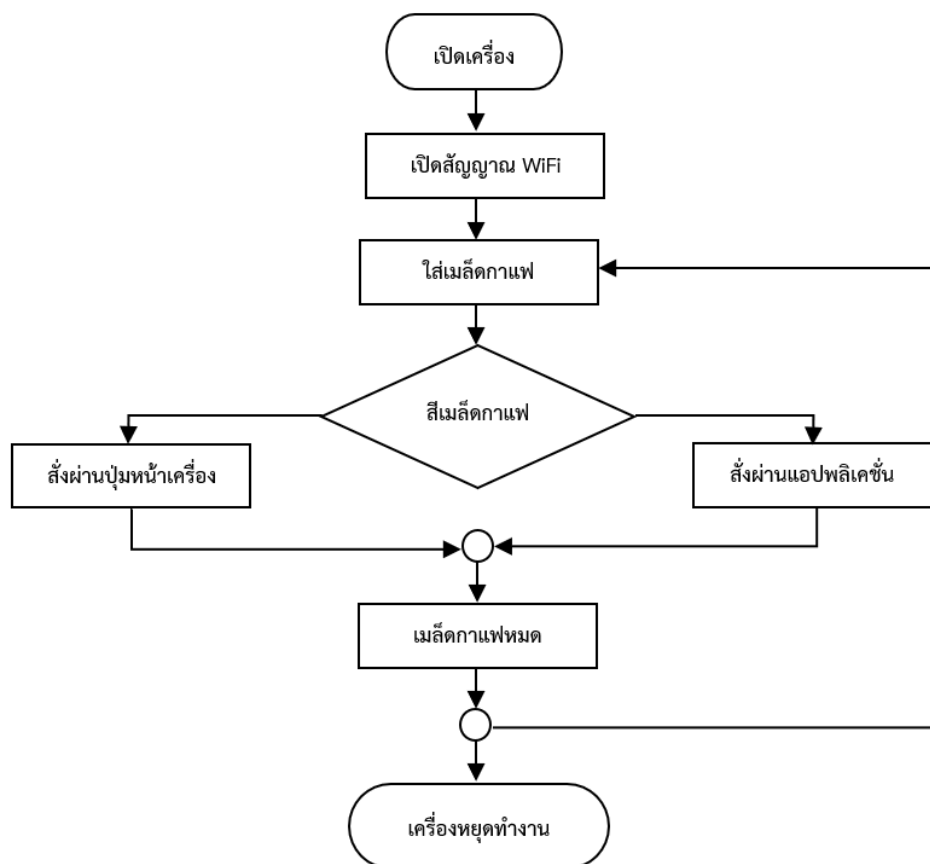
การออกแบบทำงานของเครื่องสปีดล็อกกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน จะเริ่มจากออกแบบแหล่งจ่ายแรงดัน โดยจะต้องทำการแปลงแรงดันกระแสสลับ 220 V จาก 1 เฟส เป็น 3 เฟส เข้าไปยังมอเตอร์ จากนั้นแรงดัน 24 V เข้าวงจร DC to DC Converter ปรับแรงดันจาก 24 V เป็น 12 V และ 5 V โดยแรงดัน 12 V จะจ่ายแรงดันไปยังรีเลย์ (Relay) และ 5 V ไปยังบอร์ด ESP8266 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องสปีดล็อกกาแฟแบบอัตโนมัติแสดงดังภาพที่ 2



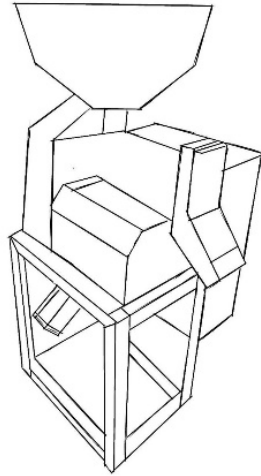
ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบเครื่องสปีดล็อกกาแฟแบบอัตโนมัติ

เริ่มต้นการทำงานโดยการเปิดเครื่อง และเปิด wifi ในสมาร์ทโฟน นำเมล็ดกาแฟที่ต้องการชดสีใส่เข้าไปในเครื่อง จากนั้นเครื่องก็จะเข้าสู่กระบวนการสีเมล็ดกาแฟ โดยสั่งผ่านแอปพลิเคชัน และเมื่อเมล็ดกาแฟหมดก็จะมี การแจ้งเตือน และทำการใส่เมล็ดกาแฟใหม่เข้าไป โดย Flow chat เครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน แสดงดังภาพที่ 3

ลักษณะโครงสร้างของเครื่องสีกาแฟอัตโนมัติจะออกแบบมาสำหรับใช้สีเมล็ดกาแฟโดยสั่งการจากสมาร์ตโฟน และโครงสร้างของเครื่องสีกาแฟอัตโนมัติจะแบ่งเป็น 2 โครงสร้างได้แก่ (1) โครงสร้างตู้คอนเทนเนอร์สำเร็จรูป จะมีความกว้างอยู่ที่ 17 เซนติเมตร ความยาวอยู่ที่ 35 เซนติเมตรและความสูงอยู่ที่ 52 เซนติเมตร (2) โครงสร้างของเครื่องสีกาแฟที่สร้างเรียบร้อยแล้วจะมีขนาดของเครื่องความยาว 60 เซนติเมตรความกว้าง 40 เซนติเมตร ความสูง 110 เซนติเมตร มีลักษณะดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 Flow chat เครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน



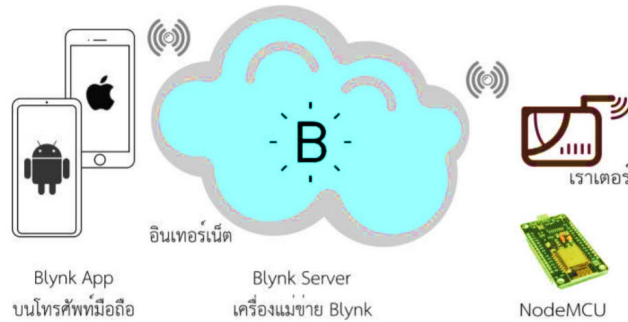
ภาพที่ 4 ลักษณะโครงสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน

ทำการติดตั้งตู้ควบคุมเข้ากับโครงสร้าง ทำการติดตั้งตู้ควบคุมสำหรับใส่วงจรต่างๆ ลงภายในตู้โดยจะเป็นตู้หลัก สามารถเปิดหรือปิดประตูได้ แสดงดังภาพที่ 5



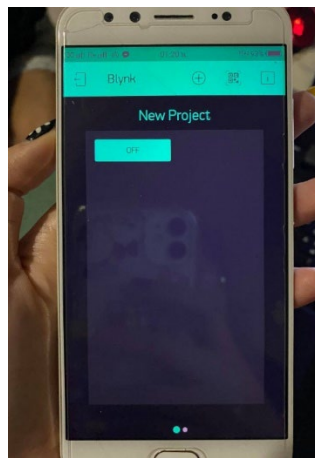
ภาพที่ 5 ติดตั้งตู้ควบคุมเข้ากับเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน

ทดสอบทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิก โดยการใส่เมล็ดกาแฟลงไปเครื่องสีกาแฟอัตโนมัติแล้วสังเกตว่ามีการแจ้งเตือนหรือไม่เมื่อเมล็ดกาแฟในเครื่องสีกาแฟอัตโนมัติหมด โดยทำการทดสอบแอปพลิเคชัน ทดสอบแอปพลิเคชัน โดยการสั่งการสั่งการเปิดปิดการทำงานของเครื่องสีกาแฟอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชัน และสามารถรับการแจ้งเตือนเมื่อเมล็ดกาแฟหมดได้หรือไม่ ภาพรวมของระบบ Network Blynk แสดงดังภาพที่ 6 และทดสอบแอปพลิเคชัน Blynk สั่งการผ่านสมาร์ทโฟน แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ภาพรวมของระบบ Network Blynk (Narong Bubthong,2020)

Blynk คือ Application สำเร็จรูปสำหรับงาน IOT มีความน่าสนใจคือการเขียนโปรแกรมที่ง่าย ไม่ต้องเขียน App เองสามารถใช้งานได้อย่าง Real time สามารถเชื่อมต่อ Device ต่างๆ เข้ากับ Internet ได้อย่างง่ายดาย ไม่ว่าจะเป็น Arduino, Esp8266, Esp32, Nodemcu, Raspberry pi นำมาแสดงบน Application ได้อย่างง่ายดาย แล้วที่สำคัญ Application Blynk ยังฟรี และรองรับในระบบ IOS และ Android (Narong Bubthong, 2020) วิธีการทำงานของ Blynk เริ่มจาก อุปกรณ์ เช่น Arduino esp8266 Esp32 Raspberry Pi เชื่อมต่อไปยัง Server ของ Blynk โดยตรง สามารถรับส่งข้อมูลหากันได้ (Phurahong and Klangwicha, 2018)



ภาพที่ 7 ทดสอบแอปพลิเคชันสั่งการผ่านสมาร์ทโฟน

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรและตัวอย่าง ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) ในการเลือกกลุ่มตัวอย่างได้กลุ่มตัวอย่างเป็นชาวสวนกาแฟ ใน อำเภอพิงใต้ จังหวัดชุมพร จำนวน 50 คน (n=50) เพื่อประเมินความพึงพอใจ เครื่องสีเมล็ดกาแฟควบคุมโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบ

ผลการวิจัย

ในหัวข้อผลการวิจัยแบ่งผลการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการทดสอบสมรรถนะ (Performance) การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน และผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน โดยมีผลการทดลองดังนี้

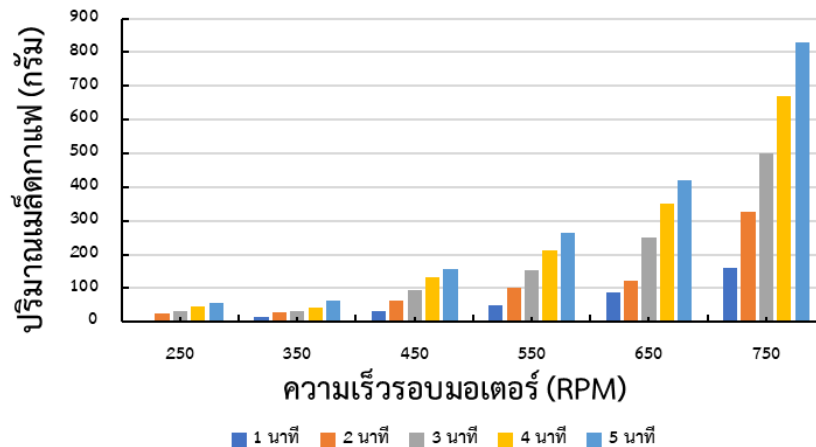
1. ผลการทดสอบสมรรถนะ (Performance) การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมรรถนะ (Performance) การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน โดยการปรับความเร็วมอเตอร์ให้อยู่ที่ 250 - 750 RPM และใส่เมล็ดกาแฟครั้งละ 5 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	ผลการทดลอง		
	ปรับความเร็วรอบมอเตอร์	ปริมาณของเมล็ดกาแฟ	เวลาที่ใช้ในการสี
1	250 RPM	5 กิโลกรัม	7 ชั่วโมง 24 นาที
2	350 RPM	5 กิโลกรัม	4 ชั่วโมง 2 นาที
3	450 RPM	5 กิโลกรัม	2 ชั่วโมง 40 นาที
4	550 RPM	5 กิโลกรัม	1 ชั่วโมง 40 นาที
5	650 RPM	5 กิโลกรัม	1 ชั่วโมง
6	750 RPM	5 กิโลกรัม	30 นาที

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมรรถนะ (Performance) การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนโดยการปรับความเร็วมอเตอร์ให้อยู่ที่ 250, 350, 450, 550, 650 และ 750 RPM และใส่เมล็ดกาแฟครั้งละ 5 กิโลกรัม จากการทดลอง พบว่าการทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนเมื่อปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ปริมาณเมล็ดกาแฟเพิ่มขึ้น

และทำการปรับความเร็วรอบในระดับ 250, 350, 450, 550, 650 และ 750 RPM ตามลำดับจากนั้นเปรียบเทียบปริมาณกาแฟที่ได้จากเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนในเวลา 1-5 วินาทีพบว่า ที่ความเร็วรอบ 750 RPM สามารถสีเมล็ดกาแฟมากที่สุด และที่ 250 RPM นั้นสามารถสีเมล็ดกาแฟได้น้อยที่สุด ภาพแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณกาแฟที่ได้ในระดับความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องสีเมล็ดกาแฟที่เปลี่ยนไปในเวลา 1-5 นาที แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ปริมาณกาแฟที่ได้ในระดับความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องสีเมล็ดกาแฟที่เปลี่ยนไปในเวลา 1-5 นาที

2. ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน จากที่คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟ และเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน เป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนนี้ออกแบบให้สามารถ เปิด ปิด ระบบ และสามารถบอกปริมาณเมล็ดกาแฟได้ รวมถึงมีการแจ้งเตือนเมื่อปริมาณเมล็ดกาแฟที่ทำการสีหมดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ในการตรวจสอบความหาค่าความแม่นยำ(Accuracy) ของการทำงานของเครื่องในการสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน คณะผู้วิจัยเลือกใช้สมการพื้นฐาน(Roselin Petagon, Oranuch Pantho,2020) ดังนี้

$$\%Accuracy = 100 - \%Relative Error \quad (1)$$

โดยร้อยละ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) ดังนี้

$$\%Relative Error = \left[\frac{|X_{mea} - X_{t}|}{X_t} \right] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ X_{mea} คือ จำนวนครั้งที่เครื่องทำงานได้ตามคำสั่ง

X_t คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบทั้งหมด

ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องโดยใช้ปริมาณเมล็ดกาแฟเริ่มต้น 5 กิโลกรัม ทำการทดสอบให้เครื่องเปิด-ปิด ระบบการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟนผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 และทำการสรุปค่าความแม่นยำของการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสังการโดยผ่านสมาร์ทโฟนในการเปิด-ปิดการทำงานของระบบ และการแจ้งเตือนเมื่อเมล็ดกาแฟหมด

การทดลองครั้งที่	ผลการทดลอง						
	ปริมาณของเมล็ด กาแฟเริ่มต้น	ในสถานะ เปิดการทำงาน		ในสถานะ ปิดการทำงาน		เมื่อเมล็ดกาแฟหมด	
		สั่งการ ได้	สั่งการ ไม่ได้	สั่งการ ได้	สั่งการ ไม่ได้	แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
1	5 กก.	✓		✓		✓	
2	5 กก.	✓		✓		✓	
3	5 กก.	✓		✓		✓	
4	5 กก.	✓		✓		✓	
5	5 กก.	✓		✓		✓	
6	5 กก.	✓		✓			✓
7	5 กก.	✓		✓		✓	
8	5 กก.	✓		✓		✓	
9	5 กก.	✓		✓		✓	
10	5 กก.	✓		✓		✓	

ตารางที่ 3 ตารางสรุปค่าความแม่นยำของการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสังการโดยผ่านสมาร์ทโฟน

กรณีการทำงานของเครื่อง	จำนวนครั้งที่ใช้ทดสอบทั้งหมด	จำนวนครั้งที่เครื่องทำงานได้แม่นยำ	ค่าความแม่นยำ (%)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
สถานะเปิดการทำงาน	10	10	100	0
สถานะปิดการทำงาน	10	10	100	0
แจ้งเมื่อเมล็ดกาแฟหมด	10	9	90	10

จากตารางสรุปค่าความแม่นยำของการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสังการโดยผ่านสมาร์ทโฟน โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 กรณี พบว่า เมื่อสั่งการให้เครื่องเปิดการทำงานผ่านสมาร์ทโฟน พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้มีค่าความแม่นยำ 100% และเมื่อสั่งการให้เครื่องปิดการทำงานผ่านสมาร์ทโฟน พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้มีค่าความแม่นยำ 100% กรณีที่ 3 ต้องการให้เครื่องแจ้งเมื่อเมล็ดกาแฟหมดเครื่องสามารถทำงานได้มีค่าความแม่นยำ 90% เครื่องทำงานผิดพลาด 1 ครั้ง คิดเป็น 10%

3. ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องสีเมล็ดกาแฟสังการโดยผ่านสมาร์ทโฟน

คณะผู้วิจัยได้ทำการในการใช้งานประเมินความพึงพอใจเครื่องสีเมล็ดกาแฟสังการโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบ เพื่อให้ทราบถึงความพึงพอใจและข้อเสนอแนะที่จะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงพัฒนาเครื่องสีเมล็ดกาแฟสังการโดยผ่านสมาร์ทโฟนในงานวิจัยครั้งต่อไป โดยเลือกประเมินจำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 50 คน (n=50)

แสดงผลการประเมินความพึงพอใจเครื่องสี่เมล์ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบ ดังตารางที่ 4 โดยกำหนดระดับผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจแบ่งออกเป็นดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00 - 1.49 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.50 - 2.49 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจน้อย

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.50 - 3.49 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.50 - 4.49 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.50 - 5.00 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจเครื่องสี่เมล์ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบ

แบบประเมินความพึงพอใจเครื่องสี่เมล์ดกาแฟ สั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบ	ระดับความพึงพอใจ (N=50)	
	$\bar{X}$	S.D.
1) การออกแบบระบบเหมาะสมกับการใช้งาน	4.80	0.40
2) ใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน	4.90	0.30
3) เพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งาน	4.40	0.49
4) เพิ่มผลผลิตแก่ผู้ใช้งาน	4.30	0.46
5) ลักษณะโครงสร้างเหมาะสมกับผู้ใช้งาน	4.25	0.53
ค่าเฉลี่ยรวม	4.53	0.44
ระดับความพึงพอใจ	มากที่สุด	

จากตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจเครื่องสี่เมล์ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบ โดยประชากรและกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 คน แบบประเมินแบ่งเป็น 5 ข้อ ข้อ (1) เป็นการประเมินการออกแบบระบบเหมาะสมกับการใช้งาน ผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X} = 4.80$, S.D. = 0.40) ข้อ (2) เป็นการประเมินการนำเครื่องสี่เมล์ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบในลักษณะการนำไปใช้แล้วใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน ผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X} = 4.90$, S.D. = 0.30) ข้อ (3) เป็นการประเมินเพื่อให้ทราบว่าเครื่องสี่เมล์ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบเพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งานมากน้อยเพียงใด ผลการประเมินพบว่าอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.49) ข้อ (4) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ว่าเครื่องสี่เมล์ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบสามารถเพิ่มผลผลิตมากกว่าการใช้แรงงานคน ผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X} = 4.30$, S.D. = 0.46) และข้อ (5) ประเมินลักษณะโครงสร้างเหมาะสมกับผู้ใช้งาน ผลแสดงค่าความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = 0.53) ทำการสรุปค่าความพึงพอใจการใช้งานเครื่องสี่เมล์ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์โฟนต้นแบบ มีความพึงพอใจเฉลี่ยรวม คือ พึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.44)

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยในการออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟน ซึ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการทดสอบสมรรถนะ (Performance) การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน และผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน

อภิปรายผลการทดสอบสมรรถนะ (Performance) การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน โดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ให้อยู่ที่ 250, 350, 450, 550, 650 และ 750 RPM และใส่เมล็ดกาแฟครั้งละ 5 กิโลกรัม จากการทดลอง พบว่าการทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนเมื่อปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ปริมาณเมล็ดกาแฟเพิ่มขึ้น แต่การปรับความเร็วที่เกินพิกัดของมอเตอร์จะทำให้มอเตอร์ทำงานเกินพิกัดกำลังและทำให้เกิดความเสียหายกับมอเตอร์ได้ แต่ในทางตรงกันข้ามกับถ้าปรับความเร็วรอบมอเตอร์ต่ำเกินไป จะทำให้เครื่องทำงานช้าและเสียเวลาในการสีมากส่งผลให้ได้ผลผลิตลดลงและทำการปรับความเร็วรอบในระดับ 250, 350, 450, 550, 650 และ 750 RPM ตามลำดับจากนั้นเปรียบเทียบปริมาณกาแฟที่ได้จากเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนในเวลา 1-5 วินาทีพบว่า ที่ความเร็วรอบ 750 RPM สามารถสีเมล็ดกาแฟมากที่สุด และที่ 250 RPM นั้นสามารถสีเมล็ดกาแฟได้น้อยที่สุด

อภิปรายผลการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน จากตารางสรุปค่าความแม่นยำของการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 กรณี พบว่า เมื่อสั่งการให้เครื่องเปิดการทำงานผ่านสมาร์ทโฟน พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้มีค่าความแม่นยำ 100% และเมื่อสั่งการให้เครื่องปิดการทำงานผ่านสมาร์ทโฟน พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้มีค่าความแม่นยำ 100% กรณีที่ 3 ต้องการให้เครื่องแจ้งเมื่อเมล็ดกาแฟหมดเครื่องสามารถทำงานได้มีค่าความแม่นยำ 90% เครื่องทำงานผิดพลาด 1 ครั้ง คิดเป็น 10% เนื่องจากเกิดความผิดพลาดของสัญญาณของโทรศัพท์มือถือ

อภิปรายผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน โดยประชากรและกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 คน แบบประเมินแบ่งเป็น 5 ข้อ ผลการประเมินทั้ง 5 ข้อ ผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมากและ ผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด เนื่องจากเครื่องสีเมล็ดกาแฟที่คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนั้นสามารถควบคุมการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟน ทำให้เกษตรกรชาวสวนกาแฟสีเมล็ดกาแฟได้ปริมาณเมล็ดกาแฟเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ช่วยเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร ทำให้เกษตรกร มีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากการทำการออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ เพื่อพัฒนาเครื่องสีเมล็ดกาแฟและออกแบบและสร้างเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน เพิ่มความสะดวก รวดเร็ว ในการสีเมล็ดกาแฟ ลดเวลาและเพิ่มผลผลิตมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้เป็น การออกแบบและสร้างระบบเครื่องสีเมล็ดกาแฟแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในครัวเรือนใช้งานโดยควบคุมผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนผ่าน Application (แอปพลิเคชัน) Blynk โดยระบบจะแจ้งปริมาณกาแฟตั้งแต่เริ่มต้นเดินเครื่อง จนกาแฟหมด ก็ทำการแจ้งเตือนผู้ใช้งาน โดยออกแบบต้นแบบเครื่องสีเมล็ดกาแฟเหมาะกับปริมาณเมล็ดกาแฟ 5 กิโลกรัม และการทดสอบสมรรถนะ (Performance) การทำงานของเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟน ผลสรุปได้

ว่าเครื่องสามารถสีเมล็ดกาแฟได้ปริมาณมากที่สุด ที่ 830 กรัม ความเร็วรอบที่ 750 RPM ในเวลา 5 นาที จากนั้นทำการประเมินผลประสิทธิภาพ โดยการหาความแม่นยำของการสั่งการด้วยสมาร์ทโฟน ด้วยการหาค่าความแม่นยำพบว่า ระบบเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟนทำงานมีความแม่นยำ 90% และทำการประเมินความพึงพอใจการใช้งานของเครื่องผ่านแบบประเมินความพึงพอใจการออกแบบเครื่องสีเมล็ดกาแฟควบคุมโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบเพื่อประเมินความพึงพอใจของชาวสวนกาแฟใน อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร จำนวน 50 คน แบบประเมินความพึงพอใจ ใช้โดยค่าทางสถิติคือ ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ประเมินตามแบบมาตรฐานประเมินค่าระดับ (Rating Scale) คือ พึงพอใจมากที่สุด พึงพอใจมาก พึงพอใจปานกลาง พึงพอใจน้อย และพึงพอใจน้อยที่สุด ผลการศึกษาความพึงพอใจในการใช้เครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบ ทำการสรุปค่าความพึงพอใจการใช้งานเครื่องสีเมล็ดกาแฟสั่งการโดยผ่านสมาร์ทโฟนต้นแบบ มีความพึงพอใจเฉลี่ยรวม คือ พึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.44)

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้ประกอบการที่สนใจสามารถผลิตเครื่องสีเมล็ดกาแฟเพื่อจัดจำหน่ายได้
2. ผู้ที่สนใจศึกษาสามารถพัฒนาเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานผ่านระบบอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวก

ยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการให้ติดตั้งและบันทึกผลการวิจัย รวมทั้งสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Akornchi, W., et al. (2014). Study On Performance of Arabica Coffee Pulping Machine. *Journal of Agricultural Science and Management*, 1-10. (in Thai)
- Boonchouytan,W., et al.(2021). The Development of Splitting Flesh and Fibers Palmyra Fruit Machine. *Wichcha Journal*, 40(1), 76-90. (in Thai)
- Bubthong,N. (2020). *Using Blynk App*. [Online]. Retrieved July 4, 2021, from: <http://narong.ece.engr.tu.ac.th/ei444/document/blynk.pdf>. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2014). *Increasing the efficiency of coffee production*. Bangkok: Agricultural Cooperative Society of Thailand Limited Printing House. (in Thai)
- Horticultural Research Institute Department of Agriculture. (2019). *Arabica Coffee Production Management Handbook*. 2nd ed. Nonthaburi: GUARANTEE Publishing House. (in Thai)

- Imthup,S. and Phumpuang,T. (2019). *Modified quality coffee bean milling machine for coffee farmers in Nan*. [Online]. Retrieved August 20, 2021, from:
https://www.technologychaoban.com › article_116661. (in Thai)
- Kaewwichit, T., Bunyasophon, T., Tubtim, W. and Ploypansang,P.(2019).Machine Sort of Color and Size for Roasted Coffee Using Digital Image. *The Proceedings of Academic Conference Rajamangala University of Technology Rattanakosin 4th and International Conference Rajamangala University of Technology Rattanakosin No. 1 "Elevating Research to Drive Sustainable Economy and Society*, 26 - 28 June 2019 at Royal River Hotel Bangkok,1-8 (in Thai)
- Pendergrast, M.H.(2009). Coffee second only to oil. *Tea & Coffee Trade Journal*, 181(1), 38-41. [Online]. Retrieved July 7, 2021. from: https://www.researchgate.net/publication/284620486_Coffee_Second_to_oil TY - JOUR
- Petagon, R. and Pantho, O. (2020). Drone for Detecting Forest Fires using Deep Learning Technique. *Sripatum Review of Science and Technology*, 12, 65-78. (in Thai)
- Phurahong, K. and Klangwicha, N. (2018). *Application Check Status Battery*. Bangkok: Attawit Commercial College of Technology. (in Thai)
- Prachachat.net. (2019).*Regional Economy*. [Online]. Retrieved July 4, 2021, from:
<https://www.prachachat.net/local-economy/news>. (in Thai)
- Sekhira,A. and Angkasithom,P. (1994). *Planting and producing coffee on highland*. Chiang Mai: Coffee Research and Development Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. (in Thai)
- Thongchuepong,P. (2016). Factors and effects of smartphone addiction on work performance Fear of not having a smartphone. *Journal of Business Information Systems (JISB)*, 2(3), 40-54. (in Thai)
- Villanueva, C. (2006). Total and specific fluid consumption as determinants of bladder cancer risk. *International Journal of Cancer*, 118(8), 2040–2047.
- Wiphatthaprated, Y. (2016). Smartphone use behavior in the classroom of Dhurakij Pundit University students. *Suthiparitat Journal*, 30(95), 48-58. (in Thai)

กำลังของผนังคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่

เลิศภพ จันทรเที่ยง^{1*}, ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Received: 7 April 2022

Revised: 14 December 2022

Accepted: 15 December 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงกำลังของผนังคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ โดยการย่อขนาดผนังให้เหลือกำลังเท่ากับ 1/3 ของกำลังรับน้ำหนักจริงแล้วทำการทดสอบ ขึ้นทดสอบมีขนาด กว้าง 175 ซม. สูง 175 ซม. และหนา 7 ซม. จำนวน 2 ชิ้น โดยชิ้นที่หนึ่งเป็นผนังทึบ ชิ้นที่สองมีช่องเปิดขนาด 45% ทดสอบโดยการให้น้ำหนักในแนวตั้งแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวผนัง และให้แรงกระทำเอียงศูนย์เท่ากับ 1/6 ของความหนา ผลการทดสอบพบว่าผนังที่ไม่มีช่องเปิดรับกำลังได้ 78.43 ตัน โดยวิบัติแบบโก่งเดาะ ซึ่งมีค่าความแตกต่างจากมาตรฐานสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย เท่ากับ 2.4% และ 14.1% ตามลำดับ ส่วนผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่วิบัติเป็นแบบแรงอัดเป็นหลักและมีความสามารถในการรับน้ำหนักลดลง 47% และเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของผนังที่มีช่องเปิด โดยคำนวณจากสมการที่ถูกพัฒนาที่มีในปัจจุบันซึ่งจำกัดขนาดช่องเปิดไว้เพียง 27% พบว่ามีความแตกต่างจากการทดสอบ 7.4% จากสมการนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาเพื่อทำนายกำลังผนังคอนกรีตรับน้ำหนักที่มีช่องเปิดใหญ่เท่ากับ 45% และทำให้มีความแตกต่างน้อยลงเหลือ 2.3% ซึ่งสามารถใช้ในการทำนายกำลังของผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ในอนาคตได้

คำสำคัญ: กำลังของผนังรับน้ำหนัก ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป กำลังของผนังที่มีช่องเปิด ช่องเปิดในผนัง ช่องเปิดขนาดใหญ่

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: Lertpob_1699@hotmail.co.th

Strength of Precast Concrete Bearing Walls with Large Opening

Lertpob Janteang^{1,*}, Nuttawat Chutarat²

^{1,2}Civil Engineering and Urban Development School of Engineering,
Faculty of Engineering, Sripatum University

Received: 7 April 2022

Revised: 14 December 2022

Accepted: 15 December 2022

Abstract

This research studied the strength of precast concrete bearing walls with large opening. The size of specimens was reduced to get the strength of 1/3 of the actual nominal wall's strength. Two specimens were constructed with the dimensions of 175 cm wide, 175 cm high and 7 cm thick. One of which was a solid wall, the other had a 45% opening. Tests were performed by applying the uniformly distributed load at the upper edge along the length of the wall. Test results showed that the wall without opening had a load carrying capacity of 78.43 tons with a buckling mode of failure. The ultimate testing load was found to be 2.4% and 14.1% different from the theoretical values according to the ACI and AS standard, respectively. For the wall with large opening, the failure mode was flexural failure with compression control. The load carrying capacity was 47% decrease. This experimental value compared to the theoretical value suggested was found to be 7.4% different. The discrepancy may result that the theoretical value was formulated by the test results of wall with opening less than 27%. Therefore, from this research of wall with very large or 45% opening, the Empirical formula was developed using test results both of equations that are currently and researchers. The proposed formula can decrease the degree of discrepancy to be less than 2.3% which suitable for strength prediction of walls with large opening.

Keywords: The Strength of The Load-Bearing Wall, Precast Concrete Wall, Strength of Walls with Openings, Opening in The Wall, Large Opening

* Corresponding Author; E-mail: Lertpob_1699@hotmail.co.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประชากรในเมืองใหญ่ๆ มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ ส่งผลให้ความต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อความรวดเร็วในการก่อสร้างอุตสาหกรรมงานก่อสร้างได้มีการเลือกใช้วัสดุโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป (Pre-Cast) มาเป็นระบบในการก่อสร้างและติดตั้ง ยกตัวอย่าง เช่น ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป คานคอนกรีตสำเร็จรูป และเสาคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น (Fragomeni et al., 2012) เนื่องจากโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนี้มีข้อดี เช่น ประหยัดเวลาในการก่อสร้างเพราะชิ้นส่วนสามารถยกประกอบติดตั้งได้ สามารถคำนวณปริมาณวัสดุได้อย่างแม่นยำ สามารถควบคุมคุณภาพการผลิตได้ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดีชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปก็มีข้อจำกัด เพราะชิ้นส่วนแต่ละชิ้นได้มีการออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยเฉพาะกล่าวคือ ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นได้มีการคำนวณ ออกแบบ การรับกำลังตามวัตถุประสงค์ของวิศวกรผู้ออกแบบ ทำให้เมื่อมีการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปในอาคารจะไม่สามารถดัดแปลงหรือเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งได้ (Popescu et al., 2016)

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในระบบผนังทางเดียว (One-Way Walls) (Saheb and Desayi, 1990) ที่มีการจำลองการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่ซึ่งคิดเป็น 45% ของพื้นที่ผนังโดยอ้างอิงจากผนังแบ่งหน่วยการใช้งานของอาคารที่พักอาศัย 2 ชั้นเพื่อให้สองหน่วยที่พักที่ติดกันใช้งานร่วมกันได้ โดยพิจารณาที่ผนังชั้นที่ 1 ซึ่งเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปปรับแรงในแนวดิ่งเพราะในผนังในส่วนนี้จะรับน้ำหนักที่กระทำจากชั้นบนจึงเป็นจุดที่จะใช้พิจารณาในการทดสอบ ทางผู้วิจัยคาดว่างานวิจัย “กำลังของผนังคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่” นี้จะเป็นจุดสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง ในระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษากำลังของผนังคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปเนื่องจากผลของการเจาะช่องเปิดสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ ณ บริเวณกึ่งกลางความยาวผนัง
2. สร้างสมการทำนายกำลังในผนังคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปที่เจาะช่องเปิดขนาดใหญ่

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในงานนี้จะเป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยกำลังรับน้ำหนักของผนังที่ไม่มีช่องเปิดซึ่งกล่าวไว้ในมาตรฐาน ACI Code และมาตรฐาน AS Code ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเป็นงานวิจัยที่แสดงผลของการทดสอบผนังที่มีช่องเปิดและไม่มีช่องเปิด รายละเอียดดังแสดงดังต่อไปนี้

1. มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

การหาลำดับผนังคอนกรีตรับแรงซึ่งในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงมาตรฐานของ ACI 318-19 และ AS-3600-2009 โดยการคำนวณกำลังผนังคอนกรีตเสริมเหล็กที่พิจารณาตาม ACI ดังสมการที่ 1

$$\phi P_{nw} = 0.55 \phi f_c A_g \left[1 - \left(\frac{k l_c}{32 h} \right)^2 \right] \quad (1)$$

กำหนดให้ P_{nw} คือ Nominal Strength หรือ กำลังระบุ (kg), A_g คือ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของผนัง $= h l_w$

h คือ ความหนาของผนัง (cm), l_w คือ ความยาวของผนังในแนวนอน (cm)

l_c คือ ความสูงประสิทธิภาพของผนัง (cm), ϕ คือ ตัวคูณลดกำลัง, k คือ ตัวคูณประกอบความสูงประสิทธิภาพของผนัง

f'_c คือ กำลังรับแรงอัดระบุของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน (kg/cm^2)

ในส่วนถัดมาจะเป็นการคำนวณกำลังของผนังรับแรงตามแนวดิ่งโดยมาตรฐานของ AS-3600-2009 จะมีการพิจารณาผลของระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงที่กระทำ (e) โดยมีระยะเยื้องศูนย์กลางวัดจากศูนย์กลางความหนาของผนัง แต่ทั้งนี้ระยะเยื้องศูนย์กลางต้องไม่เกินกว่าหนึ่งในหกของความหนาผนัง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\phi N_u = \phi (t_w - 1.2e - 2e_a) 0.6 f'_c \quad (2)$$

กำหนดให้ N_u คือ กำลังรับแรงของผนังในแนวดิ่ง (N/mm), t_w คือ ความหนาของผนังคอนกรีต (mm), e คือ ระยะเยื้องศูนย์กลางโดยวัดจากศูนย์กลางความหนาของผนัง (mm) โดยระยะเยื้องศูนย์กลางจะต้องไม่น้อยกว่า $0.05 t_w$, f'_c คือ ค่ากำลังรับแรงอัดระบุของคอนกรีต (N/mm^2), H_{we} คือ ความสูงประสิทธิภาพของผนัง (mm) $= k H_w$, $e_a = H_{we}^2 / (2500 t_w)$, $\phi = 0.6$, H_w คือ ความสูงของผนัง, L คือ ความยาวของผนัง

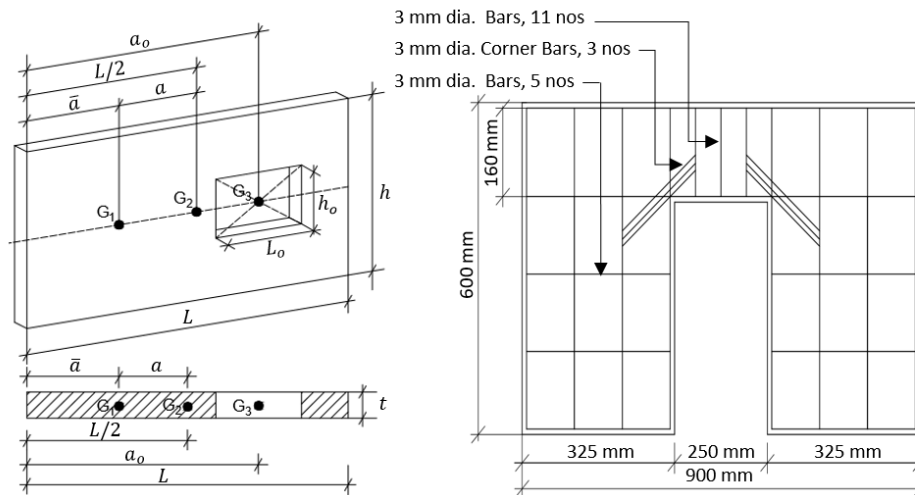
ในระบบผนังทางเดียว $k = 0.75$ (เมื่อถูกจำกัดการหมุนด้านบนและด้านล่างของผนัง)
 $k = 1.0$ (เมื่อไม่ถูกจำกัดการหมุนด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน)

ระบบผนังสองทางถูกค้ำยัน 3 ด้าน $k = \frac{1}{1 + \left(\frac{H_w}{3L}\right)^2} \geq 0.3$

ระบบผนังสองทางถูกค้ำยัน 4 ด้าน $k = \frac{1}{1 + \left(\frac{H_w}{L}\right)^2}$ (สำหรับ $H_w \leq L$), $k = \frac{L}{2H_w}$ (สำหรับ $H_w > L$)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Saheb and Desayi, 1990) ได้ทดสอบผนังทั้งหมด 12 ชิ้น โดยผนังมีรูปแบบของช่องเปิดที่แตกต่างกัน 6 โดยการคำนวณพิจารณาจากตัวแปรใน ภาพที่ 1 ซึ่งแบบแยกเป็น แบบ One-way action 6 ชิ้น และ Two-way action 6 ชิ้น จากการทดสอบรอยร้าวที่เกิดขึ้นของผนัง one-way action เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกอยู่ระหว่าง 33% - 72% ของกำลังประลัย รอยร้าวที่เกิดขึ้นของผนัง two-way action เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกอยู่ระหว่าง 34% - 80% ของกำลังประลัย ความเครียดที่ผิวหน้าและการโก่งตัวทางด้านข้างพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการใช้น้ำหนักเพิ่มเป็น 60% - 70% ของน้ำหนักประลัยสูงสุดของชิ้นทดสอบ และพบว่าผนังแบบ two-way action มีประสิทธิภาพในการรับแรงที่มากกว่าแบบ one-way action และได้เสนอค่า k จากการทดสอบแบบ one-way action คือ $k_1 = 1.25$ และ $k_2 = 1.22$ แสดงในสมการที่ 3 พร้อมทั้งเสนอค่ากำลังระบุของผนังที่บ (P_{uc}^c) ดังสมการที่ 4 (Popescu et al., 2016) ได้ทำการทดสอบผนัง



ภาพที่ 1 แสดงตัวแปรของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิด Saheb และ Desayi (1990)

$$P_{uo}^c = (k_1 - k_2 \alpha) P_{uc}^c \quad (3)$$

กำหนดให้ P_{uo}^c คือ กำลังของผนังที่มีช่องเปิดจากการคำนวณ (kg), P_{uc}^c คือ กำลังของผนังทึบ (kg)

$$\alpha = \frac{A_0}{A} + \frac{a}{L}, \quad A_0 = L_0 t, \quad A = L t, \quad a = \left[\left(\frac{L}{2} - \bar{a} \right) \right]$$

$$\bar{a} = [(L^2 t / 2 - L_0 t a_0) / (L t - L_0 t)]$$

โดยที่ กำลังของผนังทึบ (P_{uc}^c) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$P_{uc}^c = 0.55 \phi [A f_c' + (f_{yu} - f_c') A_{sv}] \left[1 - \left(\frac{h}{32t} \right)^2 \right] \left[1.20 - \left(\frac{h}{10L} \right) \right] \quad (4)$$

คอนกรีตรับน้ำหนักจำนวน 3 ชั้นทดสอบ คือ ผนังทึบ (Solid wall) ผนังที่มีช่องเปิดขนาดเล็ก (Wall with small opening) ผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ (Wall with large opening) ผลของการลดขนาดหน้าตัด 25% และ 40% ของพื้นที่ผนังโดยการตัดช่องเปิดนำไปสู่การรับน้ำหนักที่ลดลง 36% และ 50% ตามลำดับ ทั้งหมดทั้งมวลขนาดของช่องเปิดที่มีขนาดเล็กจะแข็งแรงกว่าช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่ (Doh et al., 2006) ได้ดำเนินการทดสอบผนังคอนกรีต 12 ชั้นที่มีช่องเปิดในพฤติกรรม One-way และ Two-way action โดยมีขนาดช่องเปิดไม่เกิน 16% และได้พัฒนาสมการของน้ำหนักประลัยซึ่งเปรียบเทียบกับผลการทดสอบมีค่า $R^2=0.985$ สำหรับผนังคอนกรีตที่มีช่องเปิดโดยมีอัตราส่วนความละเอียดเท่ากับ 30 (Doh et al., 2010) ได้เสนอผลจากการศึกษาการทดสอบผนังคอนกรีตรับกำลัง 6 ชั้นโดยใช้ 1/2 มาตรฐานจริงในผนังคอนกรีตรับกำลังที่มีฐานรองรับ 3 ด้านจากผลการทดสอบ ช่องเปิดที่มีขนาดเล็กผนังจะมีกำลังประลัยที่มากกว่าช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่, ช่องเปิดที่เอียงไปทางขวาใกล้กับผนังด้านที่ไม่มีฐานรองรับจะมีกำลังประลัยที่มากกว่าช่องเปิดที่เอียงไปทางซ้ายจากศูนย์กลาง (Fragomeni et al., 2012) ได้ศึกษาผนังคอนกรีตรับกำลังจำนวน 47 ตัวอย่างที่มีที่มีแรงกระทำเอียงศูนย์เท่ากับ $tw/6$ เป็นการทดสอบโดยใช้ 1/2 Scale โดยมีการกำหนดการทดสอบเป็น One-Way Action และ Two-way Action ซึ่งมีค่า Slenderness ratio 30,35,40 โดยทำการศึกษา รูปแบบของรอยร้าว รูปแบบการวิบัติ และการโก่งตัวเนื่องจากน้ำหนักโดยมีการทดสอบ

จนวิบัติ โดยมีการคำนวณกำลังตามมาตรฐาน Australian standard ในการออกแบบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักวิบัติที่ลดลงเมื่อมีช่องเปิดที่เพิ่มขึ้นจากหนึ่งช่องเป็นสองช่อง นอกจากนี้อัตราส่วนความแข็งแรงตามแนวแกนของผนัง One-way action และ Two-way action ค่อยๆ ลดลงเมื่ออัตราส่วนความขรุขระเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 40 (Hatami et al., 2014) ได้วิเคราะห์กำลังของผนังคอนกรีตโดยใช้โปรแกรม LUSAS เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของผนังที่มีช่องเปิดขนาดที่ต่างกันโดยมีพื้นที่คอนกรีตเหนือช่องเปิดที่ต่างกันคือ 20, 30, และ 40 cm จากแบบจำลอง ผนังมีการวิบัติบริเวณคอนกรีตเหนือช่องเปิดเสมือนคานซึ่งมีพื้นที่คอนกรีตค่อนข้างน้อยและได้เสนอสมการในการคำนวณกำลัง

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าการศึกษาการรับกำลังของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดที่มีขนาดเกิน 40% นั้นยังไม่มีการศึกษาและทดสอบ ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาทางด้านการก่อสร้างจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

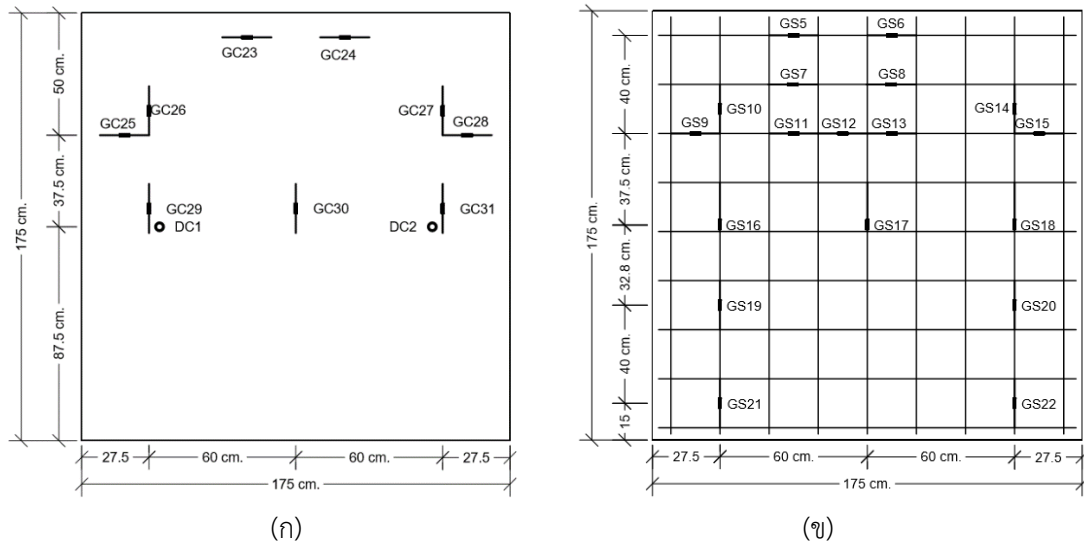
วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

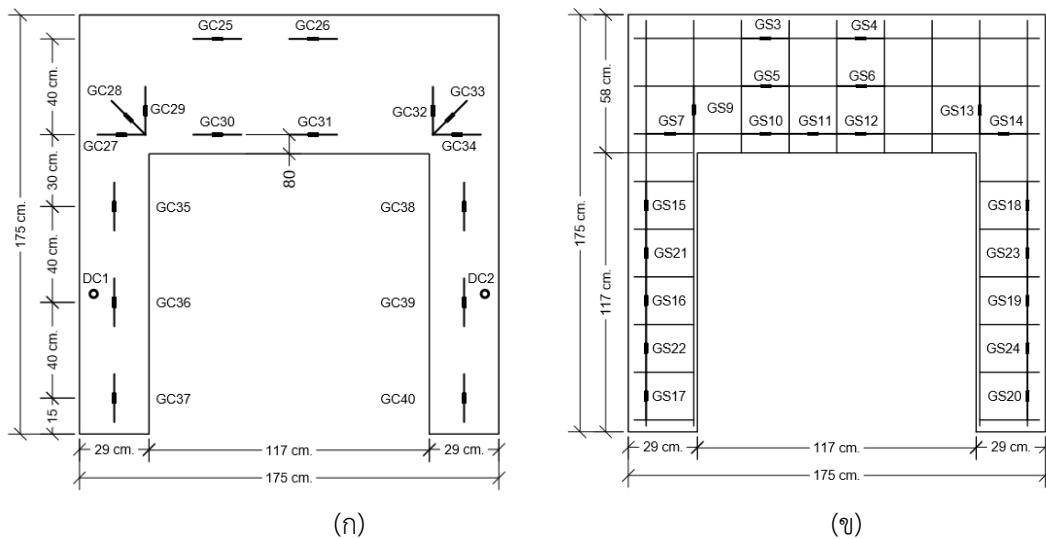
ในงานวิจัยนี้ใช้ผนังคอนกรีตรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ทั้งหมด 2 ชั้นโดยลดขนาดเท่ากับ 1/3 ของกำลังประลัย โดยทั้งหมดมีพฤติกรรมเป็นผนังทางเดียว (one-way action) แบบไม่ถูกจำกัดการหมุนทั้ง 2 ด้าน มีขนาดเท่ากันทุกชั้น คือ ความยาว 175 เซนติเมตร ความสูง 175 เซนติเมตร และหนา 7 เซนติเมตร และเสริมด้วยเหล็กตะแกรงไวร์เมช (Wire mesh) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของผนัง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ระยะห่าง 20 เซนติเมตร ที่ผลิตตามมาตรฐาน มอก. 737-2549 ซึ่งตามข้อกำหนด ACI 318-19 ระบุว่าปริมาณเหล็กเสริมไวร์เมชต่อพื้นที่หน้าตัดคอนกรีต (ρ) สำหรับเหล็กตามแนวดิ่งและเหล็กตามแนวขวางต้องไม่น้อยกว่า 0.001 ในผนังหล่อสำเร็จรูปชั้นที่ 1 ออกแบบเป็นผนังควบคุมซึ่งจะเป็นผนังทึบ (Control Wall), CW ชั้นที่ 2 เจาะช่องเปิดขนาด 45 เปอร์เซ็นต์บริเวณกึ่งกลางผนัง (Wall with Opening), WO เนื่องจากผนังชั้นนี้จำลองเสมือนว่าเป็นผนังทึบที่เจาะช่องเปิดฉะนั้นจึงไม่พิจารณาเหล็กเสริมพิเศษที่มุมช่องเปิด

การติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า

อุปกรณ์วัดค่าประกอบด้วย Strain gauges ที่ใช้วัดค่าหน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม และ Dial gauges ใช้วัดค่าการโก่งตัว ซึ่งในผนัง CW มีการติดตั้ง Strain gauges ที่ผิวคอนกรีตจำนวน 9 ตัว ใช้สัญลักษณ์เป็น GC23-GC31 ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) ส่วนที่ติดตั้งที่เหล็กเสริมนั้นให้สัญลักษณ์เป็น GS5-GS22 ซึ่งมีจำนวน 18 ตัวดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) ส่วน Dial gauges ใช้วัดระยะการโก่งตัวของผนังจำนวน 2 ตัวกำหนดเป็น DC1 และ DC2 โดยจะติดตั้งที่กึ่งกลางความสูงของผนังดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) ในทำนองเดียวกันในผนัง WO มีการติดตั้ง Strain gauge ผิวคอนกรีตจำนวน 16 ตัวจะใช้สัญลักษณ์เป็น GC25-GC40 ดังแสดงในภาพที่ 3 (ก) ส่วนที่ติดตั้งที่เหล็กเสริมนั้นจะให้สัญลักษณ์เป็น GS3-GS20 มีจำนวน 21 ตัวดังแสดงในภาพที่ 3 (ข) ส่วน Dial gauges มีจำนวน 2 ตัวจะกำหนดเป็น DC1 และ DC2 โดยจะติดตั้งที่กึ่งกลางความสูงของช่องเปิดดังแสดงในภาพที่ 3 (ก)



ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าในผนัง CW, (ก) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าที่ผิวคอนกรีตด้านรับแรงอัด, (ข) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าที่เหล็กเสริม



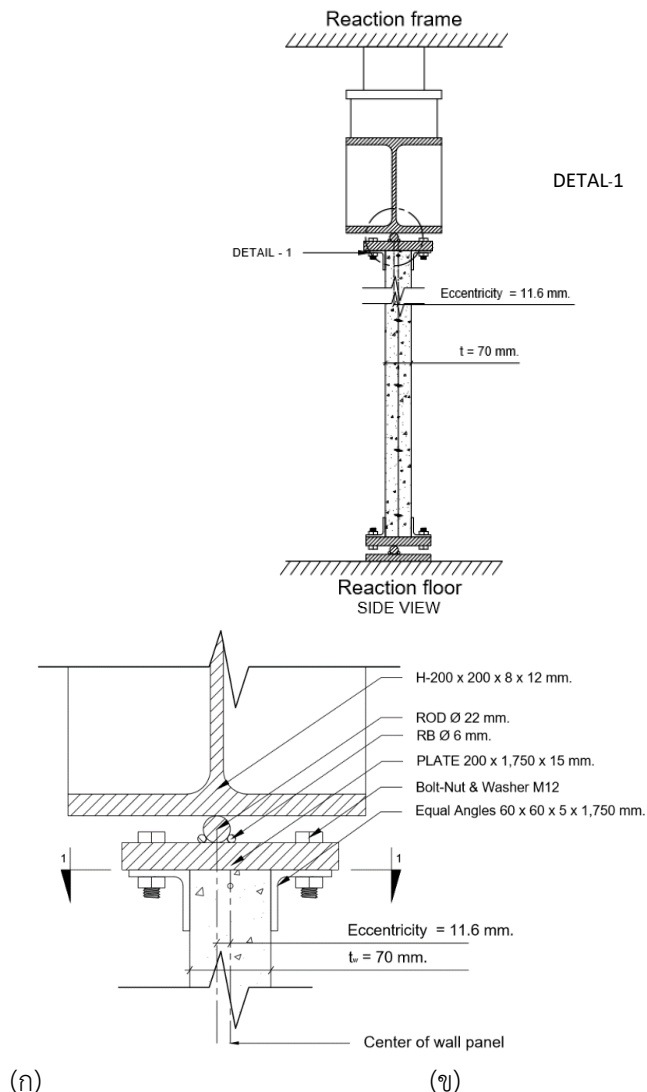
ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าในผนัง WO, (ก) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าที่ผิวคอนกรีตด้านรับแรงอัด, (ข) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าที่เหล็กเสริม

การทดสอบ

นำผนังขึ้นติดตั้งเพื่อเตรียมการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4 (ก) โดยให้แรงกระทำเป็นบริเวณตามความยาวของผนัง (Uniformly Distributed Line Load) ซึ่งให้แรงกระทำเยื้องศูนย์กลางเท่ากับ $1/6$ ของความหนาของผนัง ดังแสดงในภาพที่ 4 (ข) พร้อมทั้งติดตั้ง Dial gauges เพื่อวัดการโก่งตัวของผนังและตรวจสอบระบบส่งสัญญาณของเครื่องอ่านค่าที่ต่อเชื่อมกับกับอุปกรณ์วัดค่า ดังแสดงในภาพที่ 5 และทำการทดสอบผนังโดยการให้น้ำบรรทุกกระทำต่อผนังเพิ่มน้ำหนักทีละ 1,000 kg พร้อมบันทึกค่า การโก่งตัวของผนังและค่า Strain ในเหล็กเสริมและคอนกรีตระหว่างที่ให้น้ำหนักบรรทุกจะบันทึกรอยร้าวที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงน้ำหนักที่กระทำ ทดสอบจนกระทั่งผนังนั้นวิบัติ

วัสดุที่ใช้ในงานทดสอบ

คอนกรีตที่ใช้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จกำลังอัดที่ 28 วันโดยมีค่ากำลังอัดระบุรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm สูง 30 cm ที่ออกแบบไว้เท่ากับ 240 kg/cm^2 ค่าการยุบตัวเท่ากับ $10 \pm 2.5 \text{ cm}$ ซึ่งในการทดสอบผนัง CW และผนัง WO มีค่า f_c เท่ากับ 306 kg/cm^2 (ลูกปูนชุดที่ 1) และ 286 kg/cm^2 (ลูกปูนชุดที่ 2) ตามลำดับ และหน่วยการหัดตัวสูงสุดของคอนกรีตขณะวิบัติ $\epsilon_{cu} = -0.0014$ และ -0.0012 ตามลำดับ (— หมายถึงหน่วยการหัดตัว) ส่วนเหล็กไวร์เมชมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm ระยะห่าง 20 cm ที่ผลิตตามมาตรฐาน มอก. 737-2549 มีกำลังที่จุดประลัยเท่ากับ $4,275 \text{ kg/cm}^2$ ค่าหน่วยการยืดตัวสูงสุด $\epsilon_{su} = 0.0023$ และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ $1,961,538 \text{ kg/cm}^2$



ภาพที่ 4 (ก) แสดงการติดตั้งขึ้นทดสอบ (ข) แสดงการจับยึดผนังในการทดสอบแบบเยื้องศูนย์

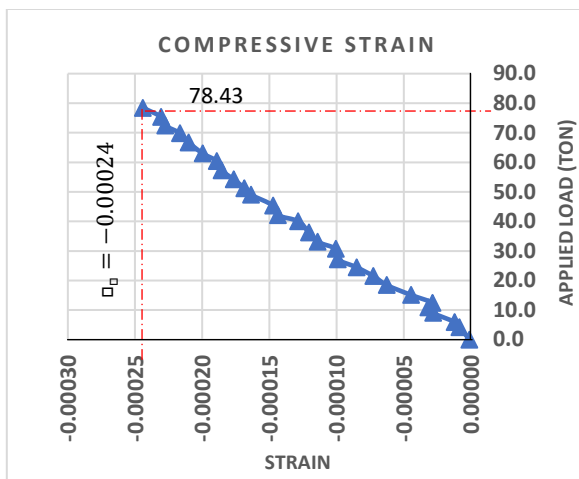


ภาพที่ 5 แสดงอุปกรณ์วัดค่าที่ถูกติดตั้ง

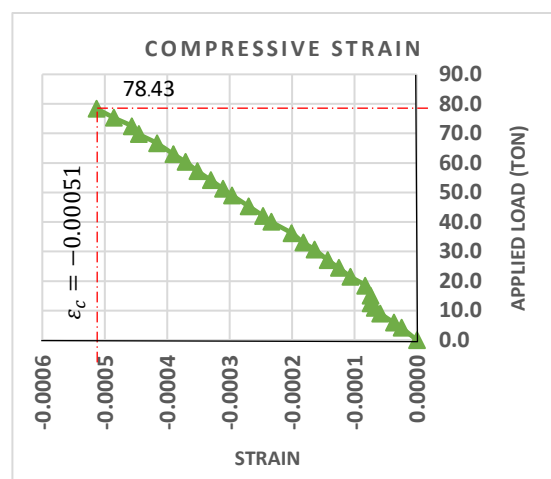
ผลการวิจัย

ผนัง CW

จากการทดสอบเมื่อให้น้ำหนักบรรทุกพบว่าผนังมีการโก่งตัวแต่ไม่เกิดรอยร้าวจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 78.43 ตัน ผนังจึงวิบัติโดยเป็นการวิบัติแบบโก่งเดาะ (Buckling Failure) ในทันทีทันใดจึงสิ้นสุดการทดสอบ โดยค่าเฉลี่ย Strain gauge หมายเลข GS16 GS17 และ GS18 ที่ติดตั้งที่เหล็กไวร์เมชบริเวณกึ่งกลางผนังขณะวิบัติเท่ากับ $\varepsilon_s = -0.00024$ ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก) และที่ผนังคอนกรีตด้านรับแรงอัดมีค่า Strain เฉลี่ยขณะวิบัติเท่ากับ $\varepsilon_c = -0.00051$ จากค่าเฉลี่ย Strain gauge หมายเลข GC29 GC30 และ GC31 ดังแสดงในภาพที่ 6 (ข) ส่วนการโก่งตัวสูงสุดที่กลางผนังเท่ากับ 4 mm ดังแสดงในภาพที่ 7



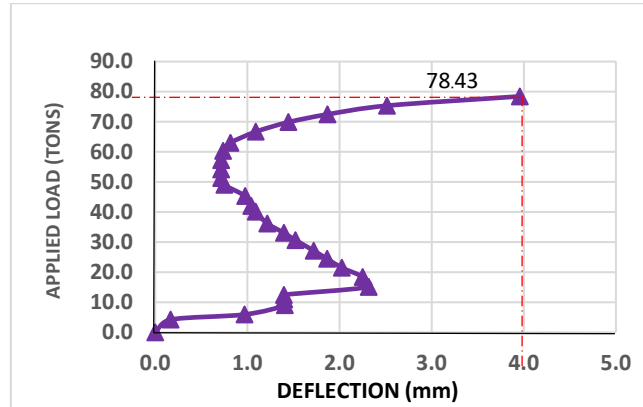
(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 (ก) แสดงค่าเฉลี่ย Strain (GS16 GS17 GS18) ของไวร์เมชที่กึ่งกลางผนัง CW

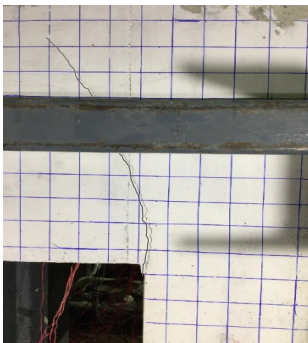
(ข) แสดงค่าเฉลี่ย Strain (GC29 GC30 GC31) ของคอนกรีตด้านรับแรงอัดที่กึ่งกลางผนัง CW



ภาพที่ 7 แสดงค่าการโก่งตัวด้านข้าง (Lateral Deflection) ของผนัง CW

ผนัง WO

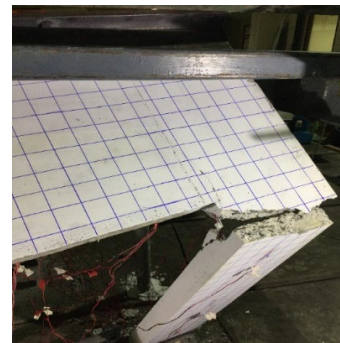
จากการทดสอบผนัง WO พบ first crack ที่แรงกด 27 ตัน บริเวณมุมบนด้านขวาของช่องเปิด ขึ้นไปในแนวตั้งและค่อยๆเอียงเข้าหาบริเวณกึ่งกลางของยอดบนสุดของผนัง เนื่องจากผนังไม่ได้ถูกออกแบบให้มีช่องเปิดจึงไม่มีเหล็กเสริมพิเศษรับแรงเฉือนที่มุม ทำให้เกิดรอยร้าวที่บริเวณมุมของช่องเปิดเนื่องจากแรงเฉือน



(ก)

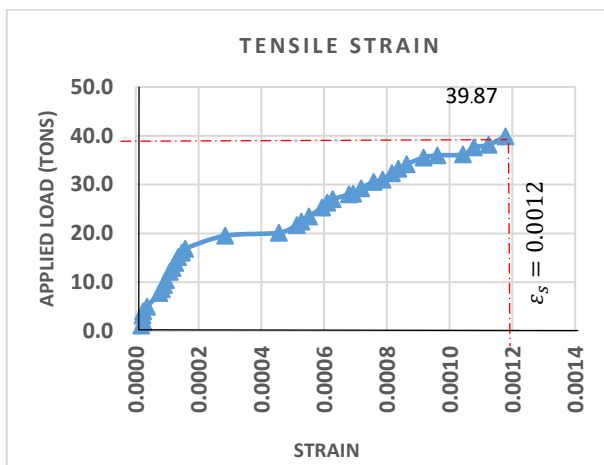


(ข)

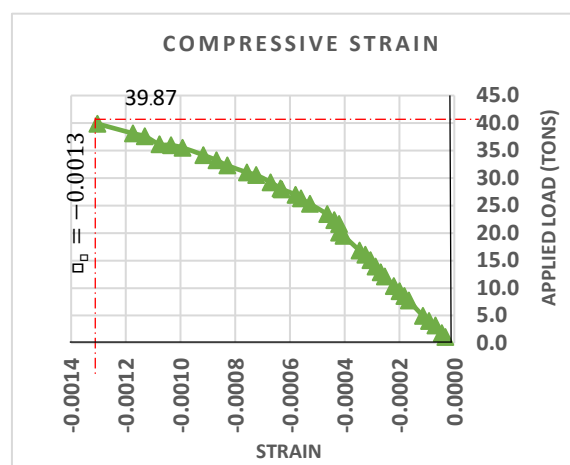


(ค)

ภาพที่ 8 (ก) แสดงรอยร้าวที่เกิดของผนัง WO, (ข)-(ค) แสดงลักษณะการวิบัติของผนัง WO



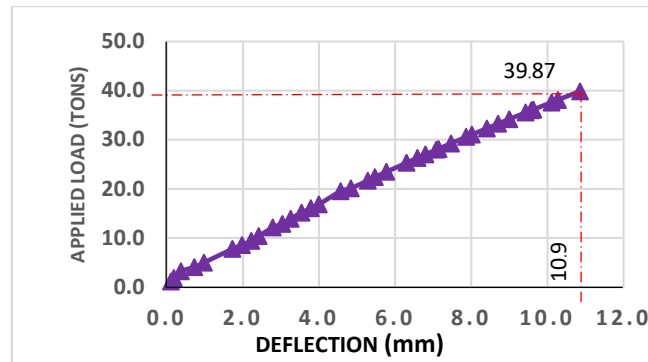
(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 (ก) แสดงค่า Strain (GS15) ของไวร์เมชในผนัง WO, (ข) แสดงค่า Strain (GC35) ของคอนกรีตในผนัง WO ด้านรับแรงอัด

ร่วมกับแรงดัดที่เกิดจากการที่ผนังมีการโก่งตัว ทำให้อยู่ราวปรากฏชัดเจนนมากขึ้นเมื่อมีแรงกดที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 8(ก) เมื่อเพิ่มแรงกดถึง 39.87 ตัน ผนังจึงเกิดการวิบัติโดยผนังก็เกิดการวิบัติเป็นแบบแรงอัดเป็นหลัก (Compression failure) ที่บริเวณขาทั้งสองด้านของช่องเปิด จึงสิ้นสุดการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 8(ข), (ค) โดยค่า Strain ขณะวิบัติ ณ GS15 มีค่าเท่ากับ $\varepsilon_s = 0.0012$ ดังแสดงในภาพที่ 9 (ก) และที่ผนังคอนกรีตด้านรับแรงอัดมีค่า Strain ขณะวิบัติเท่ากับ $\varepsilon_c = -0.0013$ จาก Strain gauge หมายเลข GC35 ดังแสดงในภาพที่ 9(ข) และการโก่งตัวสูงสุดของผนัง WO มีค่าเท่ากับ 10.9 mm ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงค่าการโก่งตัวด้านข้าง (Lateral Deflection) ของผนัง WO

อภิปรายผล

จากการทดสอบผนัง CW เกิดการวิบัติแบบ โกงเดาะ (Buckling Failure) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเหล็กที่วัดได้ กล่าวคือขณะที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดนั้นหน่วยการหดตัวเฉลี่ยในคอนกรีตของ GC29 GC30 และ GC31 เกิดเท่ากับ $\varepsilon_c = -0.00051$ ซึ่งยังไม่ถึงหน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตขณะวิบัติที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกชุดที่ 1 ($\varepsilon_{cu} = -0.0014$) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ภายใต้แรงอัดซึ่งดูได้จากหน่วยการหดตัวของเหล็กจาก GS16 GS17 และ GS18 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\varepsilon_s = -0.00024$ เปรียบเทียบกับผนัง WO ซึ่งวิบัติโดยแรงอัดเป็นหลักที่ขณะวิบัติจะมีหน่วยการยืดตัวในเหล็กจาก GS15 เท่ากับ 0.0012 เทียบเท่าหน่วยแรงดึง $2,350 \text{ kg/cm}^2$ ยังไม่ถึงจุดคราก ขณะที่ Strain สูงสุดที่เกิดจาก GC35 มีค่าเท่ากับ -0.0013 ซึ่งมีค่ามากกว่าหน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตขณะวิบัติที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกชุดที่ 2 ($\varepsilon_{cu} = -0.0012$) จึงสรุปได้ว่าเป็นการวิบัติโดยแรงอัดเป็นหลัก (Compression failure)

จากผลการทดสอบพบว่าผนัง CW สามารถรับกำลังที่ได้จากการทดสอบเท่ากับ 78.43 ตัน แต่เมื่อคำนวณตามสมการของ ACI Code, AS Code และงานวิจัยของ (Saheb and Desayi, 1990) ได้กำลังเท่ากับ 80.33 ตัน 67.34 ตัน และ 90.74 ตัน เท่ากับมีความแตกต่างจากผลการทดสอบที่ 2.4%, 14.1% และ 15.7% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจากการทดสอบกับค่าที่ได้จากทฤษฎีของผนัง CW

	Experiment	ACI 318-19 Eq.1	AS-3600-2009 Eq.2	Saheb and Desayi Eq.4
Load capacity (P_{nw})	78.43	80.33	67.34	90.74
Different (%)	-	2.4	14.1	15.7

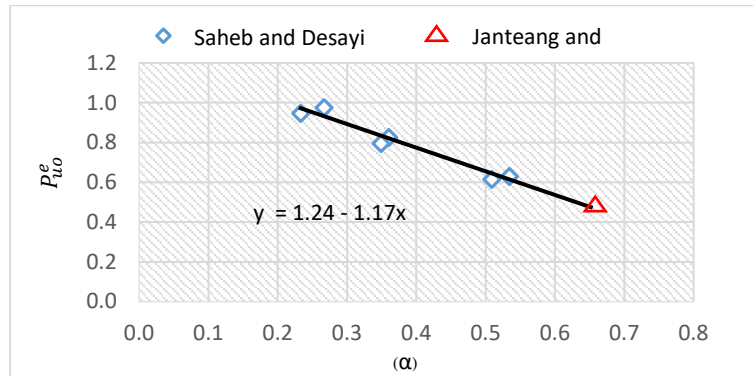
หมายเหตุ: (P_{nw}) คือ Nominal Strength หรือ กำลังระบุของผนัง (ton) โดยไม่ได้คูณตัวลดกำลัง (ϕ),

$k = 1$ เมื่อไม่มีการจำกัดการหมุนด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน

ดังนั้นจากผลการทดสอบนี้จึงสรุปได้ว่าสมการที่ใช้ทำนายกำลังผนังที่ไม่มีช่องเปิดที่ใช้งานได้ดีที่สุด คือ มาตรฐาน ACI 318-19 ซึ่งได้จากสมการที่ 1

เนื่องจากการหล่อผนังทั้ง 2 ชั้น เป็นการเทคอนกรีตไม่พร้อมกันทำให้ f_c ของผนัง CW และ WO มีค่าต่างกันคือ 306 และ 286 kg/cm² ตามลำดับ ดังนั้นในการพิจารณาผลของช่องเปิดจึงต้องคำนวณกำลังผนังที่มีกำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 286 kg/cm² ซึ่งคำนวณตามมาตรฐาน ACI Code ได้กำลังเท่ากับ 75.08 ตัน จากผลการทดลองพบว่าผนัง WO รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ 39.87 ตัน เท่ากับกำลังลดลง 47% แต่ค่าทางทฤษฎีที่เสนอโดย (Saheb and Desayi, 1990) สามารถคำนวณกำลังของผนังที่มีช่องเปิดได้เท่ากับ 36.91 ตัน โดยมีความแตกต่างจากการทดสอบอยู่ที่ 7.4% ซึ่งยังมีค่าที่สูง เปรียบเทียบกับความต่างนี้อาจเป็นผลมาจากที่มาของสมการถูกสร้างจากขนาดของช่องเปิดที่ถูกจำกัดไว้ไม่เกิน 27% อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้ประมาณกำลังของผนังที่มีช่องเปิดขนาด 45% โดยใช้สมการที่ 1 กล่าวคือพิจารณาผนังบริเวณด้านข้างของช่องเปิด 1 ชั้นเสมือนกับเป็นผนังที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 29 cm และหนา 7 cm จากการคำนวณพบว่าเมื่อกำหนดค่า $l_c = 175$ cm (เท่ากับความสูงผนัง) และ $l_c = 117$ cm (เท่ากับความสูงช่องเปิด) ตามลำดับ ซึ่งคำนวณกำลังระบุได้เท่ากับ $P_{nw} = 12.44$ ตัน และ 23.22 ตัน ตามลำดับและมีความแตกต่างจากการทดสอบเท่ากับ 37.6% และ 16.5% ตามลำดับ โดยผนัง WO รับกำลังรับน้ำหนักจริงที่ได้จากการทดสอบเท่ากับ 39.87/2 หรือเท่ากับ 19.93 ตัน จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ความต่างยังสูงทำให้การคำนวณกำลังโดยอาศัยสมการที่ 1 ยังไม่เพียงพอต่อการทำนายกำลังของผนัง WO

ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้เพิ่มเติมผลการทดสอบจากที่ได้ทดสอบมาซึ่งมีช่องเปิดขนาดใหญ่ถึง 45% และเสนอปรับแก้สมการ Empirical formula โดยเพิ่มผลการทดสอบของผู้วิจัยซึ่งเป็นผลของการทดสอบผนังที่มีช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นร่วมกับผลทดสอบของ (Saheb and Desayi, 1990) จากผลการทดสอบกำลังของผนังคอนกรีตที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ (P_{uo}^e) สามารถสร้างความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างกำลังของผนังที่มีช่องเปิดที่ได้จากการทดสอบ (P_{uo}^e) ส่วนด้วยกำลังของผนังทึบ (P_{uc}^e) จะมีค่าเท่ากับ 0.469 และค่าความแข็งของหน้าตัด (α) เท่ากับ 0.668 ดังแสดงในภาพที่ 11 จากภาพซึ่งประกอบด้วยผลการทดสอบของ (Saheb and Desayi, 1990) จำนวน 6 จุด และจากทางผู้วิจัย 1 จุด สามารถสร้างสมการเพื่อทำนายกำลังผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่จากเดิม 27% เป็น 45% ได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากการทดสอบเท่ากับ 2.3%



ภาพที่ 11 แสดงกราฟที่ได้จากการรวมผลการทดสอบ

สรุปผลการวิจัย

1. ผนังคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปที่ไม่มีช่องเปิดสามารถทำนายกำลังได้จากสมการของ ACI Code มีความแตกต่างจากผลการทดสอบที่ 2.4% ดังนั้นการคำนวณกำลังของผนังที่ไม่มีช่องเปิดสามารถใช้มาตรฐานของ ACI ในการคำนวณกำลังของผนังที่ปิดได้อย่างเหมาะสม
2. ผนังคอนกรีตรับน้ำหนักที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่มากถึง 45% สามารถรับกำลังได้ 39.87 ตัน หรือมีความสามารถในการรับกำลังลดลงเท่ากับ 47% เมื่อเทียบกับผนังที่ไม่มีช่องเปิด
3. เสนอสมการทำนายกำลังผนังที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่หรือมีขนาด 45% โดยปรับแก้ Empirical formula ซึ่งใช้ข้อมูลจากทางผู้วิจัยและของ Saheb and Desayi ได้สมการ $P_{uo} = (1.24 - 1.17 \alpha)P_{uc}$ ซึ่งมีความแตกต่างจากผลการทดสอบเพียง 2.3%

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 เนื่องจากการหาค่ากำลังของผนังที่มีช่องเปิดนั้นยังไม่มีมาตรฐานรองรับในการคำนวณฉะนั้นสมการที่ใช้คำนวณผนังที่มีช่องเปิดในงานวิจัยนี้จะใช้เพื่อประมาณค่าโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมาและผลการทดสอบในงานวิจัยนี้เท่านั้น

1.2 จากสมการการคำนวณกำลังของผนังที่มีช่องเปิดในงานวิจัยนี้ได้จำกัดขนาดของช่องเปิดไว้ไม่เกิน 45%

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 จากงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาการหาค่ากำลังของผนังที่เจาะช่องเปิดในรูปแบบต่างๆ หรือการพัฒนาการเสริมกำลังของผนังคอนกรีตที่เจาะช่องเปิดในรูปแบบวัสดุผสมเพื่อเพิ่มค่า Stiffness ให้มากขึ้น

2.2 จากค่าการโก่งตัวของผนังที่มีช่องเปิดสามารถนำไปพัฒนาการคำนวณกำลังของผนังโดยพิจารณาการโก่งตัวที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดและพิจารณาเสมือนเสารับแรงเยื้องศูนย์ที่มีความชะลูดก็อาจทำนายกำลังของผนังได้อีกรูปแบบหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆมาโดยตลอด ขอขอบคุณ Smart and Bright Co.,Ltd. ที่ให้การสนับสนุนการทดสอบ และ Asian Institute of Technology ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือทดสอบรวมทั้งบุคลากรจนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- ACI318-19. (2019). *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. Detroit, USA: American Concrete Institute.
- AS3600-2009. (2009). *Concrete Structures, Standards Australia*, Sydney, Australia: Standards Association of Australia.
- Doh, J.H., Fragomeni, S., Loo, Y.C.; and Lee, D.J. (2006). Design formula for walls with openings. *Advances in Structural Engineering*, 9(1), 103-115.
- Doh, J.H., Loo, Y.C., and Fragomeni, S. (2010). Concrete walls with and without openings supported on three sides. *Advances in Structural Engineering*, 1-6.
- Fragomeni, S., Doh, J.H., and Lee, D.J. (2012). Behavior of axially loaded concrete wall panels with openings: An experimental study. *Advances in Structural Engineering*, 15(8), 1345-1358.
- Hatami, S., Abdullah, R., and Marsono, A.K. (2014). Parametric Study of Concrete Load Bearing Wall with Opening Based on Stress Criterion. *J. Teknologi (Sciences & Engineering)*, 69(3), 119–124.
- Lima, M.M., Doh, J.H., and Hadi, M.N.S. (2019). Experimental study on RC walls with opening strengthened by Externally Bonded CFRP. *J. Compos. Constr.*, 23(2), 04016106.
- Popescu, C., Sas, G., Sabău, C., and Blanksvärd, T. (2016). Effect of cut-out openings on the axial strength of concrete walls. *J. Struct. Eng.*, 142(11), 04016100.
- Saheb, SM., Desayi, P. (1990). Ultimate strength of RC wall panels with openings. *J. Struct. Eng.*, 116(6), 1565–77.

Project-specific Characteristics Reduction to Reduce Processing Time for Sub-classification Analysis of Smart Community Projects Using Data Mining Techniques

Tipaporn Supamid^{1,*}, Surasak Mungsing²

^{1,2}Information Technology, School of Information Technology, Sripatum University

Received: 17 September 2021

Revised: 14 December 2022

Accepted: 15 December 2022

Abstract

Smart City projects have a large number of project-specific characteristics to be used in the analysis for classifying smart-project types. The processing time depends on the quantity of project-specific characteristics used in the analysis. This research investigated the correlation of project-specific characteristics, using data mining techniques, and selected essential project-specific characteristics for the analysis in order to reduce the processing time. The results showed that the quantity of project-specific characteristics was reduced by 33.65%, the processing time was reduced by 28.53%, while accuracy decreased by 1.17%.

Keywords: Data Reduction, Project Characteristics, Smart City, Smart Community, Data Mining

* Corresponding Author; E-mail: tuk_ta12@hotmail.com

Introduction

Smart City projects have a large number of project-specific characteristics to be used in the analysis for classifying smart-project types. The type of smart project can be classified in to seven categories: Smart Mobility, Smart Economy, Smart Environment, Smart Governance, Smart Energy, Smart living, and Smart People by Supamid and Mungsing, (2020). In each project there are many project-specifics characteristics to be used for smart-category classification. The project-specific characteristics are correlated among smart project categories. Therefore, a project can be classified as more than one category (hybrid). The processing time for smart project classification depends on the quantity of project-specific characteristics used in the analysis. The analysis process may take hours depending on the amount of the project-specific characteristics used. The challenge to select the number of the project-specific characteristics to reduce the computation time with no significant decreasing in accuracy. Investigating a correlation of project-specific characteristics among smart categories can speed up the classification process. Correlation analysis is a statistical method used to evaluate the strength of relationship between two quantitative variables. A high correlation means that two or more variables have a strong relationship with each other, while a weak correlation means that the variables are hardly related. Investigation the correlation of project-specific characteristics helps reducing number of project-specific characteristics by selecting common and strong relationship between smart project categories to be used for smart-project category analysis. With the smaller number of project-specific characteristics the processing time would be faster.

Research Objective

This research aims to study the following information.

1. The study a conceptual framework by smart city and smart community.
2. The project-specific characteristics reduction.
3. The researcher created a tool to test the project.
4. The comparing classification methods for data mining is K-Nearest Neighbors (KNN), Neural Networks, and Support Vector Machine (SVM).

Research Framework

The conceptual framework for project-specific characteristics reduction in order to reduce processing time for sub-classification analysis of smart community projects figure 1.



Figure 1 Conceptual framework for project-specific characteristics and smart community sub-classification analysis processing time

According to figure 1, Conceptual framework for project-specific characteristics and smart community sub-classification analysis processing time. There are procedures for studying and researching information in the work. and a system for analyzing and classifying features specific to the Smart Community project by Pichet (2017). The resulting in a more accurate understanding of the working system of the smart community smart project selection system Which has analyzed the needs of the decision-making system for smart community projects. After the development of the program is completed and can study the details of the steps under the topic research process.

Research Methodology

Correlation analysis Rule mining algorithm

1.1 Correlation analysis and Regression Analysis

Correlation analysis and regression analysis is the study of the relationship of variables. The main objective of regression analysis is estimating the value of a variable, which is called the dependent variable, commonly denoted by Y, based on knowledge of other variables called independent variables, commonly denoted by X. or in other words We use knowledge If only one variable X is used in estimating Y and the relation of Y and X is linear, we call it simple linear regression. The relationships It is the study of the degree or magnitude of the linear relationship between two variables corresponding to Kolozali, Bermudez-Edo, Farajidavar, Barnaghi, Gao, Intizar Ali, Mileo, Fischer, Iggena, Kuemper, Tonjes (2019). It is a symbolic aggregate estimation to reduce the size of a data stream and perform a quality analysis taking into account both single and multi-stream data streams. However, the measuring tool is called correlation of commonly shown in the following equation. $\text{corr}(X, Y) = \text{corr}(Y, X)$ lower letter. When r is measured as a number between -1 and 1. r is close to 1 from the two variables are highly related and have the same direction. X is large, Y is also large, and r is close to -1 from then the two variables are also very related, but in opposite directions, that is, if X is large, or X is large, Y is smaller or X is small. Then, X and Y are less

correlated and the correlation coefficient r is closest to 0. However, A key mathematical property of the pearson correlation coefficient is that it is invariant under separate changes in location and scale in the two variables. That is, we may transform X to $a + bX$ and transform Y to $c + dY$, where a , b , c , and d are constants with $b, d > 0$, without changing the correlation coefficient. (This holds for both the population and sample Pearson correlation coefficients.) Note that more general linear transformations do change the correlation: see § Decorrelation of n random variables for an application of this.

1.2 Rule mining algorithm

Rule mining algorithm is an algorithm to search for correlation from big data to be used for the results of the analysis will be the answer to the problem. In which this type of analysis is used "Relationship Rules" (Association Rule) to find the correlation of information. There are several ways to have this relationship consistent with Datta, Mali and Roy (2017). It is an algorithmic data mining as a result of traditional mining, many rules are often created, including less or less important ones, which users expect is follow in the most important association rules.

Research Process

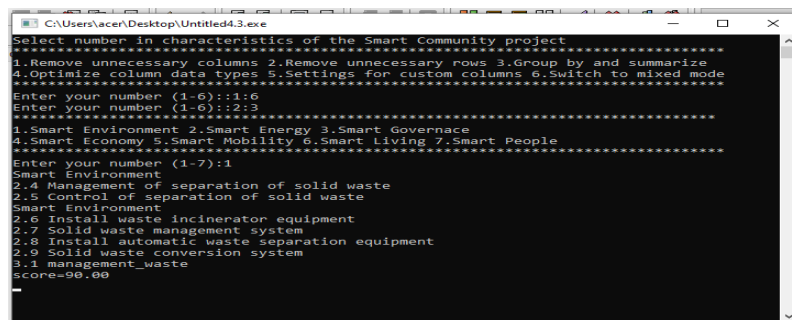
The research conducted in six steps as follows:

Step 1: Define all project-specific characteristics to be used for smart community classification. Study a research work by Supamid and Mungsing (2020), which defined project-specific characteristics for Smart Mobility, Smart Economy, Smart Environment, Smart Governance, Smart Energy, Smart living, and Smart People. These project-specific characteristics are to be used as the before-reduction input data. From the method of selecting the characteristics of the smart city project, the characteristics of various types such as Smart Energy are electric power sources to make use of various electrical devices in height and freedom. In general, more details can be studied in section 1. Smart city project specific characteristics.

Step 2: Perform correlation of those project-specific characteristics. The project-specific characteristics from in step 1 are used as input for correlation analysis, using WE-KA and MATLAB. Only strong relationship of characteristics will be considered. In general, more details can be studied in section 2. project specific characteristics correlation analysis.

Step 3: Select essential characteristics to be used for smart community sub-classification analysis. Therefore, when choosing a project, there are criteria to be considered as follows: (1) Knowledge, skills, experience, aptitude and interest in the selected project. (2) The project is appropriate and consistent with the community. (3) The project is suitable for local or community conditions. (4) The project is suitable for gender, age, capacity and the community budget (5) The duration of the project should not be too short and not more than 1 year. (6) It should be a project

that can research additional information from various sources. Can show the results of project analysis from any type of Smart Community examination at figure 2.



```
Select number in characteristics of the Smart Community project
*****
1.Remove unnecessary columns 2.Remove unnecessary rows 3.Group by and summarize
4.Optimize column data types 5.Settings for custom columns 6.Switch to mixed mode
*****
Enter your number (1-6)::1:6
Enter your number (1-6)::2:3
*****
1.Smart Environment 2.Smart Energy 3.Smart Governance
4.Smart Economy 5.Smart Mobility 6.Smart Living 7.Smart People
*****
Enter your number (1-7)::1
Smart Environment
2.4 Management of separation of solid waste
2.5 Control of separation of solid waste
Smart Environment
2.6 Install waste incinerator equipment
2.7 Solid waste management system
2.8 Install automatic waste separation equipment
2.9 Solid waste conversion system
3.1 management_waste
score=98.88
```

Figure 2 The results of the project analysis based on the criterion of Smart Community

According to figure 2 the results of the project analysis based on the criterion of Smart Community. Which the audit is finding information based on the likelihood, likeness or syntax of each Smart community database, and community suitability, etc. However, the selection method can be studied how to select it. project-specific characteristics. Which can study details in section 3. Select essential project specific characteristics.

Step 4: Perform classification using selected project-specific characteristics with data mining technique. It is a hybrid function estimation technique for creating a continuous working model with a value used to indicate the level of relationship. Researchers were able to analyze the data using tools that were used for data mining, such as Decision Tree, Naïve Bayes, and K-NN correspond to Supamid and Mungsing (2020), studied the genetic coefficient for learning algorithm in imbalanced data of software quality: A case study of the decision-making system for selecting the Smart project for initiating projects based on the concept of Smart City In general, more details can be studied in section 4. perform smart city classification using data mining techniques.

Step 5: Comparing processing time and accuracy before and after project-specific characteristics reduction. Therefore, the cleaning of time is important because the time from the action results to be used in the analysis of community smart project data in the attribute institution has to be used for cleaning. The timing of the data or the search for defects with the optimization of the interval data may occur or the area changes over time. In general, more details can be studied in section 5. Record and observe processing time and efficiency.

Project Analysis and Classification of Smart Community or Smart City Projects

1. Smart city project specific characteristics

The specific books (project characteristics) of the SmartCity project can be described as follows. (1) Smart Energy is a source of electricity to make use of various electrical equipment such as machine Heat, beauty, light etc. (2) Smart living is a city that has developed facilities based on the principle of civil architecture (Universal Design) to provide people with good health and quality of life and safe and happy in life. (3) Smart Economy is an economic system that allows individuals to make decisions on economic activities based on their abilities and opportunities based on markets and prices. (4) Smart Environment is a city that focuses on improving quality and increasing efficiency. management effectiveness and monitoring systematic environment and environment. (5) Smart People is a city that aims to develop knowledge, skills and environment. conducive to lifelong learning Reduce social and economic inequalities and open up for creativity, innovation and public participation. (6) Smart Mobility is a city that focuses on increasing convenience, efficiency and safety in travel and transportation. and environmentally friendly. (7) Smart Governance is a city that focuses on developing service systems to allow people to access government services conveniently and quickly, increasing channels for public participation. Including allowing the public to access information, resulting in transparency and verifiability.

2. project specific characteristics correlation analysis

Correlation analysis is the study of the relationship of 2 or more variables that they are related or not. How much they are related to each other the correlation analysis is divided into two types: (1) Simple Correlation Analysis. (2) Multiple Correlation Analysis.

3. Select essential project specific characteristics

Project features refer to a project that is a systematic organization of activities for the performance of organizational duties to achieve the goals effectively. Which a good project will make the efficiency of the operation and returns that the organization or agency will receive worthwhile This will bring about the development of that department. The summarized the good characteristics of the project as follows: (1) Able to meet the needs or solve problems of the organization or department. (2) Have clear objectives and goals. Able to operate and perform. (3) Project descriptions must be consistent and interrelated, that is, the project objectives must be consistent with principles and rationale. Operational methods must be consistent with the objectives, etc. (4) The details of the project can be easily understood. Convenient for implementing the project. (5) It is a project that can be put into action. Consistent with the main program of the organization and can be monitored and evaluated. (6) Projects must be based on factual information and it is information that has been analyzed carefully. (7) The project must have support in terms

of resources and management appropriately. (8) The project must have a period of time to implement. That is, must specify the start date and end of the project.

4. perform smart city classification using data mining techniques

It is a hybrid function estimation technique for creating a continuous working model with a value used to indicate the level of relationship. Moreover, it should know what kind of value relationships are structured in rule form and how to implement a set of instructions or rules of structure to create rules which can be structured in a rule form by using the equation and the relationship of an attribute display for the measure. The equation that ① from the equation of Correlation analysis is $I = i_1 \dots i_m$ and $D = t_1 \dots t_m$ ①. The equation that ② from the equation of Linear regression (Regression Analysis) is $Z_Y = B_1 Z_x$ ②. The equation that ③ from the Multiple Linear Regression equation is $g(x) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$ ③. The equation that ④ from the equation of Correlation Analysis is $r = \frac{\sum Z = (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$.

5. Record and observe processing time and efficiency

Recording is a record of the processing to examine information that may make the information that is not inaccurate or inaccurate. Which method this result helps to observe and may be represented by symbols in long messages. Observe the processing time for the analysis of processing time, it is a method used to analyze data or observations that have changed in chronological order that occurred or changed in a variable over time. The nature of the change may or may not have a pattern. But if time shows up in a pattern that has changed over a certain period of time in the past in the past, it will be possible to predict in the future what kind of change should be in the future and able to forecast future data changes. Therefore, the analysis of time data is based on historical time changes. Efficiency to optimize the analysis results: (1) the amount of work is too large to exceed the capabilities of other methods, (2) the result is needed in a short time, (3) the nature of the work, has a repetitive workflow; When the processing is complicated.

6. Program (program smart community)

6.1 the screen design of the program

1. Login monitor screen the sign of the site used to login to use the system. The channel user has input user name and password to login show as figure 3 (a).

2. Main menu screen served as the center of use of the user to use functions of the website, you can add customers with button add project and the details of the customer to stay in the system show as figure 3 (b).



Figure 3. (a) login (b) main menu

3. Add Customer Information screen serves to add customer information, after pressing the ADD PROJECT button, there will be a space for the user to enter the customer's information to select a community project. Show as shown in figure 4 (a).

4. Screen showing the results of the considered projects acts to show a list of projects that have been considered with details. Show as shown in figure 4 (b).



Figure 4. (a) The screen shows adding information to the customer who wants to locate the distribution point. (b) The screen shows the approved project

Findings

This research is a data analysis to reduce the amount of characteristic data in the Smart Community project for initiating projects based on the concept of Smart City. Besides, the researcher used the specific data for comparison of classification methods with data mining in the form of algorithms, data reduction analysis, characterization of smart community projects, results of time analysis of project-specific data and results of data reduction methods. In this case, it is relating with the specific information of the Smart Community project, and the results of the reduction analysis and the characteristics of the Smart Community project. As the result, the researcher performed an analysis to show the results according to Figure 5-10.

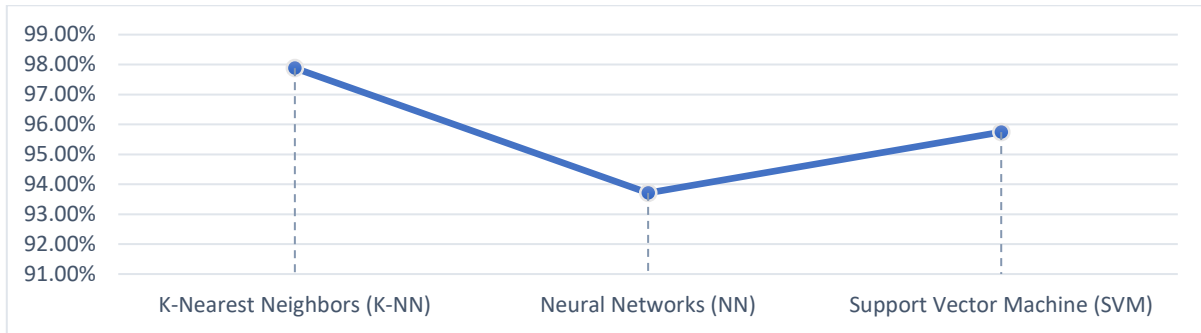


Figure 5. Comparison of Classification Methods

According to figure 5. it represented to the results of a comparison of classification methods. The techniques used in the comparison are as follows: K-Nearest Neighbors (KNN), Neural Networks and Support Vector Machine (SVM). Which class will represent a new condition or case? It was possible that the K-Nearest Neighbors (KNN) technique had a maximum accuracy of 97.88%.

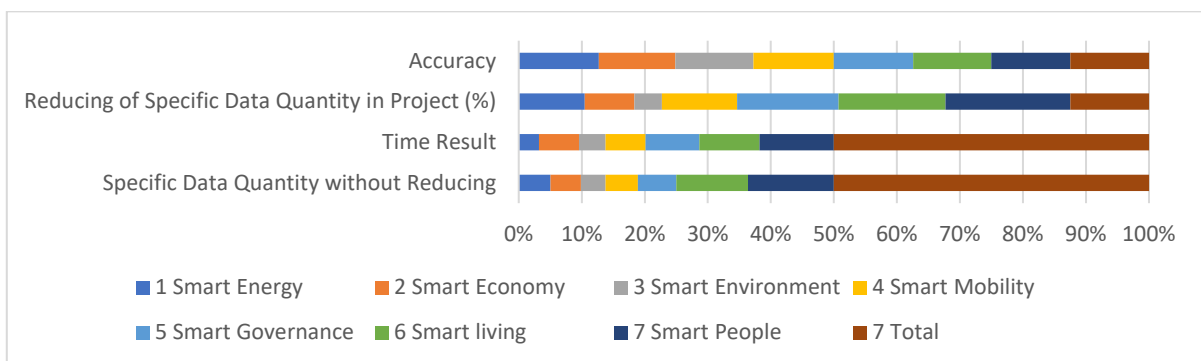


Figure 6. Reduction Analysis Results for the Smart Community Project Characteristics with the Percentage of Data Reduction in Each Feature

According to Figure 6, it represented to the results of the reduction analysis for the characteristics of the Smart Community Project with the percentage of data reduction in each feature. In this case, according to the result of data analysis it is based on the six project-specific data reduction segmentation methods to be compared: delete unnecessary columns and rows, group by and summarize, adjust column data types. optimize and set up for custom columns. As the result, it showed that researchers could use a variety of methods to obtain the most accuracy in reducing the amount of project-specific data.

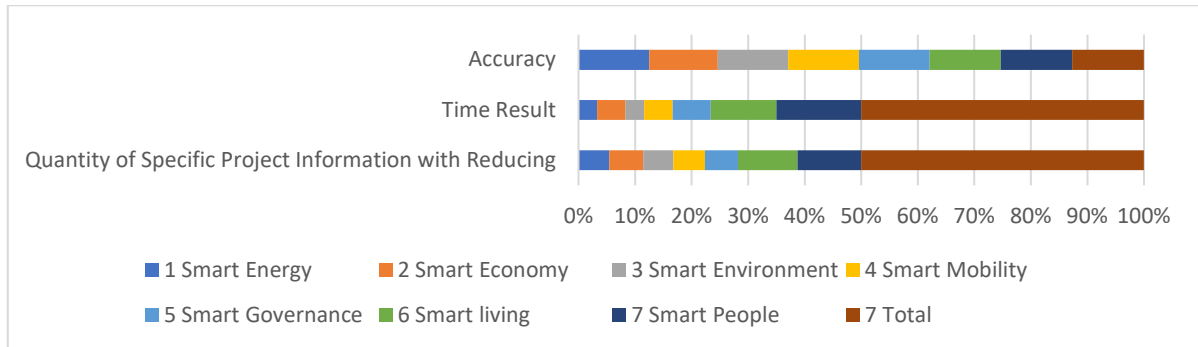


Figure 7. Project-Specific Analysis Results of Processing Time

According to figure 7, the results of the analysis of the specific processing time of the project. It is the result of data analysis from reducing the amount of information already. In order to analyze the time required for analyzing project-specific data, it was found that the time it took to process was better when the project-specific data was downgraded to the most accurate at 0:30:51 and the accuracy value at an average of 97.62% of the specifics of the projects that have already been reduced in 4702 attributes the properties (attributes).

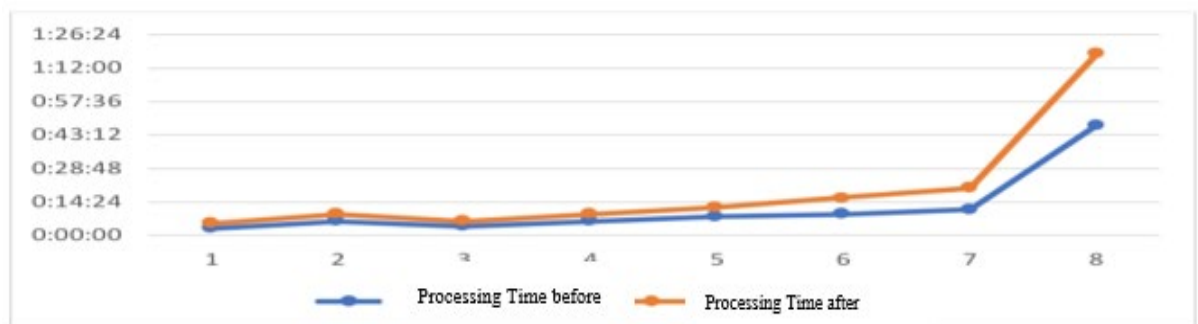


Figure 8. Compare processing times

According to figure 8, the results of the analysis of the specific processing time of the project, it was found that the time it took to process was better when the project-specific data was downgraded to the most accurate at 0:30:51.

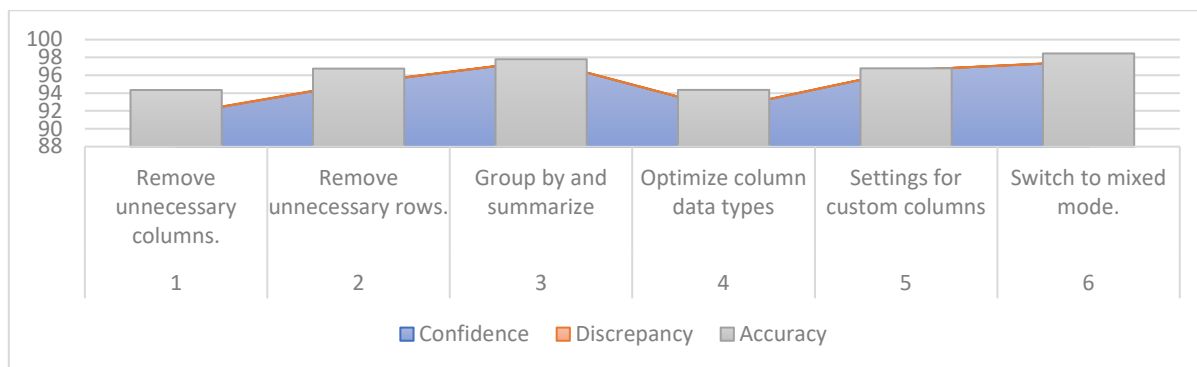


Figure 9. Reducing Method Effects of Data on the Characteristics of the Smart Community Project

According to Figure 9, the results of the reduction method on the characteristics of the Smart Community project. According to the result of data analysis and volume reduction method from the comparison of classification methods, the researchers compared the six data segmentation methods: delete unnecessary columns, delete unnecessary rows, group by and summarize, optimize column data types, and settings for custom columns and switch to mixed mode. The results showed that the follow-and-summation method gave the most accuracy at 98.45%.

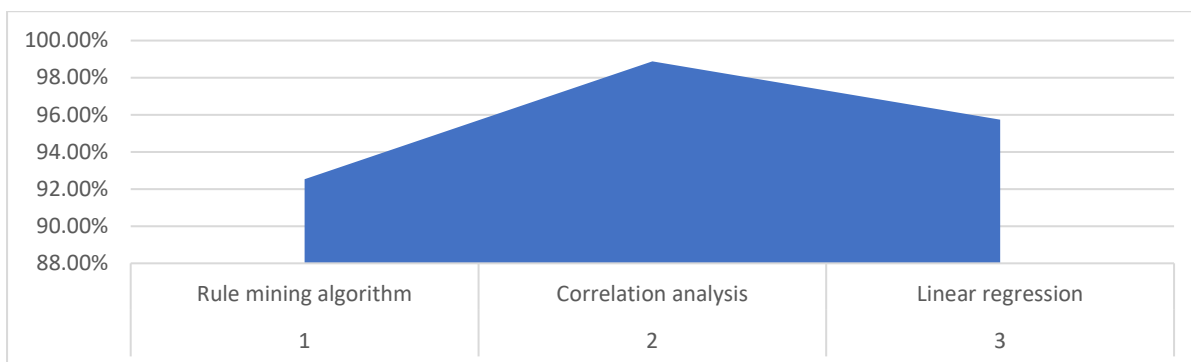


Figure 10. Reduction Analysis Results of Characteristics for the Smart Community Project from the Data Correlation

According to Figure 10, it represented to the results of reduction analysis from the characteristics of the Smart Community Project with finding of correlation data. Besides, it is the result of data analysis from the comparison of the relational value with the specific information. In this case, the researchers have compared the relationship to classify the segments with three ways for rule mining algorithm, such as rule mining, correlation analysis (Correlational), and linear regression (regression analysis). Thus, it was found a correlation analysis (Correlational) to gives the highest accuracy at 98.88%.

Discussion

The results of the research were divided into 4 categories: (1) The results of teaching comparison of classification methods, including K-Nearest Neighbors (KNN), Neural Networks and Support Vector Machine (SVM). The most accurate value of 97.88%, the Kenia Raseber data segmentation method that gave the highest accuracy was not old, used with Supamid and Mungsing (2020). described the Project-specific information conference rooms and project studies from the study of data segmentation methods, as well as Datta, Mali and Roy (2017), say that organizing links are based on the importance of knowledge discovery. (2) Analysis of data reduction of characteristics of the smart community project in 6 ways. It was found that researchers were able to use a variety of methods to obtain the most accuracy in reducing the amount of agency-specific information with Datta, Mali and Roy (2017). Efficient data and cleaning results that saddle up of data. It uses design aggregation estimation to reduce data size and automated validation methods, all single and multi-model data in reducing the amount of data. (3) Project-Specific analysis results of processing time. It was found that the time it took to perform the effect was 16.69, from the data before the reduction 7087 attribute, the time spent 47.20 downgraded the data volume 4702, the attribute (the attribute), the time used 30:51. According to Mutani, Todeschi and Nuvoli (2019), each attainment test is based on pattern data and different volumes of data and the degree of cleanliness. Availability of information and a wide range of response times. 4) Reducing Method Effects of data on the characteristics of the smart community project. The data was divided into six unnecessary elimination methods such as remove unnecessary columns, remove unnecessary rows, group by and summarize, optimize column data types, settings for custom columns and switch to mixed mode. The researchers can use a variety of methods to obtain the most accurate measurements. Reduce the amount of information for the specific project, it was found that the method for grouping according to and sentences gave the most accuracy at 97.80%. In accordance with Nattawutthisit, Sukvaree and Sincharoonsak (2016), described the testing methodology for the construction of train track indicators and the patterns of the train track and smart city, as well as Rudolf and Haindlmaier (2010), said that monitoring and manipulation to mitigate more or less conflicts depends on the information and response times on which the display is available different. (5) The reduction analysis the results of the feature for the smart community project from data correlation were found that the correlation analysis gave the most accurate at 98.88%. explains how the use of technology/tools to understand the needs of the community for training, systems, development and implementation. According to the results of the study for the project-specific factors, it represented to the analysis of 4702 attributes with showing of seven attribute features to be divided into seven groups, and each of different features has been shown in figure 6. According to the reduction results for the data

amount, it represented to the factors used in the analysis with the data characteristics for reducing of the data amount as shown in figure 5. According to the results of the processing time before and after the reduction as the data amount characteristics, it was found the good significance. According to the results of the analysis accuracy before and after reducing for the data amount characteristics, it showed of no significance including of the future research to be analyzed with the quality for the relationship rule.

Suggestion

1. Suggestion for Research Utilization

The data analysis to reduce the amount of information on the characteristics of community projects, it is involving with the initiating projects based on the concept of Smart City. In addition, it was found that the community project selection method for initiatives is based on the concept idea of Smart City by K-Nearest Neighbors method give the most accuracy to the selection and the resulting in speed and convenient for the operator and users of the program to decide on a smart community project So that the user can use the model most effective.

2. Suggestion for Future Research

In future research, the researcher would like to develop a system for analyzing and characterizing the smart community project. The system provides feedback and recommendations based on project-specific features that can enable users to immediately improve project documents in the event that the user's project does not use Smart Community 100 percent and researchers want to develop a system to receive and analyze project data in real-time analytics.

Reference

- Rudolf, G. and Haindlmaier, G. (2010). Smart cities ranking: an effective instrument for positioning of the cities. *ACE: Architecture, City and Environment*, 4, 7-26.
- Mutani, G. Todeschi, V. and Nuvoli, G. (2019). Energy Communities in Piedmont Region (IT). The case study in Pinerolo territory. *The Proceedings of 13th the IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, 07-11 October 2018 at Turino in Italy, 1-8.
- Digital Economy and Society Development. (2017). *Digital Economy Promotion Agency*. [Online]. Retrieved December 9, 2022, from: <http://www.depa.or.th>. (in Thai)
- Kolozali, S. Bermudez-Edo, M. Farajidavar, N. Barnaghi, P. Gao, F. Intizar Ali, M. Mileo, A. Fischer, M. Iggena, T. Kuemper, K. Tonjes, D. (2019). Observing the Pulse of a City: A Smart City Framework for Real-time Discovery, Federation, and Aggregation of Data Streams. *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2651–2668.

- Datta, S. Mali, K. and Roy, P. (2018). Ranking of association rules toward smart decision for smart city. *The Proceedings of 12th International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 22-24 March 2017 at Chennai in India, 1398-1403.
- Nattawutthisit, S. Sukvaree, T. and Sincharoonsak, T. (2016). Analysis and Designing of Measurement for Smart Community in Thailand. *The Proceedings of the 11th National and International Academic Conference at Sripatum University (SPUCON2016)*, 21 December 2016 at Sripatum University (Bangkhen Campus) in Thailand, 1729-1738. (in Thai)
- Supamid, T. and Mungsing, S. (2020). Integration of techniques with data mining for community project data analysis from project specific characteristics. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 13, 737-750.

คำแนะนำในการเตรียมและการส่งต้นฉบับ

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม มีความยินดีที่จะรับบทความจากทุกท่าน เพื่อตีพิมพ์และเผยแพร่ในวารสาร เพื่อความสะดวกในการพิจารณา จึงขอแนะนำแนวทางการเตรียมต้นฉบับและส่งต้นฉบับ ดังนี้

ประเภทของบทความ

- บทความวิจัย (Research Article)** หมายถึง เป็นการนำเสนอผลการวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย การดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ
- บทความวิชาการ (Academic Article)** หมายถึง งานเขียนซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึง ความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ แนวทางการแก้ปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล เช่น หนังสือวารสารวิชาการ อินเทอร์เน็ต ประกอบการวิเคราะห์ วิจัย เสนอแนวทางการแก้ไข
- บทความปริทัศน์ (Review Article)** หมายถึง งานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้า มีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ ทั้งทางกว้างและทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อวิพากษ์ที่ชี้ให้เห็นแนวโน้มที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป
- บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)** หมายถึง บทความที่วิพากษ์วิจารณ์เนื้อหาสาระ คุณค่า และคุณภาพ ของหนังสือ บทความ หรือผลงานสิ่งประดิษฐ์ โดยใช้หลักวิชาและดุลพินิจ อันเหมาะสม

องค์ประกอบของบทความ

- บทความวิจัย (Research Article)**
บทความวิจัย ประกอบด้วยหน้าชื่อเรื่อง บทคัดย่อ และเนื้อหาของบทความ โดยมีข้อมูลตามลำดับดังนี้ ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลล์ ของผู้เขียนสำหรับติดต่อ ในส่วนบทคัดย่อต้องระบุถึงแบบแผนการวิจัย วัตถุประสงค์ ประการและตัวอย่าง เครื่องมือวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และผลการวิจัย ความยาวไม่เกิน 250 คำ ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (Keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ ในส่วนเนื้อหาของบทความ ให้เริ่มต้นจากความ เป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ กรอบแนวคิดในการวิจัย (ถ้ามี) สมมติฐานการวิจัย (ถ้ามี) วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ และกิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

- บทความวิชาการ (Academic Article)**
บทความวิชาการ ประกอบด้วยชื่อเรื่อง บทคัดย่อ และเนื้อหาของบทความ โดยเรียงลำดับดังนี้ ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลล์ของผู้พิมพ์ สำหรับติดต่อ ในส่วนบทคัดย่อ ต้องระบุถึงวัตถุประสงค์ หัวข้อที่น่าสนใจ สรุป และข้อเสนอแนะ โดยเนื้อหาในบทคัดย่อความยาวไม่เกิน 250 คำ ในกรณีที่ต้นฉบับเป็น

ภาษาไทย ให้เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (Keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ ในส่วนเนื้อหาของบทความ ให้เริ่มต้นจากบทนำ ที่แสดงเหตุผลหรือที่มาของประเด็นที่ต้องการอธิบายหรือวิเคราะห์ ในส่วนเนื้อหาสาระ จะเป็นการอธิบายหรือวิเคราะห์ประเด็นตามหลักวิชาการ โดยมีการสำรวจเอกสารหรืองานวิจัย เพื่อสนับสนุนจนสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ในประเด็นนั้นได้ อาจเป็นการนำความรู้จากแหล่งต่างๆ มาประมวลร้อยเรียงเพื่อวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยผู้เขียนสามารถแสดงทัศนะทางวิชาการของตนเองไว้อย่างชัดเจนด้วย ส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนสรุปและข้อเสนอแนะ มีการเขียนเอกสารอ้างอิงที่ครบถ้วนสมบูรณ์

3. บทความปริทัศน์ (Review Article)

บทความปริทัศน์ ประกอบด้วยชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลของผู้เขียน สำหรับติดต่อ บทความปริทัศน์เป็นการนำเสนอภาพรวมของเรื่องที่น่าสนใจ ในส่วนของเนื้อหาของบทความ ต้องมีบทนำ เพื่อกล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่น่าสนใจก่อนเข้าสู่เนื้อหาในแต่ละประเด็น และต้องมีบทสรุปเรื่องที่เสนอ พร้อมข้อเสนอแนะจากผู้เขียนเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวสำหรับให้ผู้อ่านได้พิจารณาประเด็นที่น่าสนใจต่อไปผู้เขียนควรตรวจสอบเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนออย่างละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อหาที่ใหม่ที่สุด ข้อมูลที่นำเสนอจะต้องไม่จำเพาะเจาะจงเฉพาะผู้อ่านที่อยู่ในสาขาของบทความเท่านั้น แต่ต้องนำเสนอข้อมูลที่ซึ่งผู้อ่านในสาขาอื่นสามารถเข้าใจได้

4. บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)

บทวิจารณ์หนังสือ ประกอบด้วยชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สังกัด (ภาควิชา คณะ สถาบัน) และอีเมลของผู้เขียน สำหรับติดต่อ ชื่อเรื่องของบทวิจารณ์หนังสือควรเรียกถึงความสนใจของผู้อ่านและสื่อความหมายได้ชัดเจน เช่น ตั้งชื่อตามชื่อหนังสือที่ต้องการวิจารณ์ ตั้งชื่อตามจุดมุ่งหมายของเรื่อง ตั้งชื่อด้วยการให้ประเด็น ขวนคิด ขวนสงสัย เป็นต้น ในส่วนบทนำ เป็นการเขียนนำเกี่ยวกับหนังสือที่จะวิจารณ์ ในส่วนเนื้อหา เป็นส่วนแสดงความคิดเห็นและรายละเอียด ในการวิจารณ์ โดยนำเสนอจุดเด่น และจุดบกพร่องของเรื่องอย่างมีหลักเกณฑ์และมีเหตุผล และส่วนสุดท้ายเป็นบทสรุป เป็นการเขียนสรุปความคิดทั้งหมดที่วิจารณ์และให้แง่คิด หรือข้อสังเกตที่เป็น ประโยชน์ต่อผู้อ่าน นอกจากนี้บทสรุปยังช่วยให้ผู้อ่านได้บทวน ประเด็นสำคัญของเรื่องและความคิดสำคัญของผู้วิจารณ์ แม้ว่าผู้อ่านอาจจะไม่ได้อ่านบทวิจารณ์ทั้งบท แต่ได้อ่านบทสรุปก็สามารถทราบเรื่องของหนังสือที่นำมาวิจารณ์ รวมทั้งความคิดเห็นของผู้วิจารณ์ที่มีต่อหนังสือเรื่องนั้นได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ขนาดของบทความ: ควรจัดพิมพ์บทความด้วย Microsoft Word บนกระดาษขนาด A4 หน้าเดียว ประมาณ 26 บรรทัด ต่อ 1 หน้า แบบแนวตั้ง (Portrait) รูปแบบตัวอักษร (Font) ให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร (Font size) เท่ากับ 16 และใส่เลขหน้าตั้งแต่ต้นจนจบบทความที่ด้านบนขวาของกระดาษ (ยกเว้นหน้าแรก) ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า สำหรับการตั้งค่าหน้ากระดาษ (Page setup) และส่วนระยะขอบ (Margins) กำหนดดังนี้

ด้านบน (Top)	2.54 ซม.	ด้านล่าง (Bottom)	2.54 ซม.
ด้านซ้าย (Left)	2.54 ซม.	ด้านขวา (Right)	2.54 ซม.
หัวกระดาษ (Header)	1.25 ซม.	ท้ายกระดาษ (Footer)	1.25 ซม.

2. ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน และสังกัด (Title, Author's name, Author's affiliation): ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษจัดกึ่งกลาง ให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 18 ตัวหนา ส่วนชื่อ-นามสกุลผู้เขียน และสังกัด ให้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ทั้งนี้ ชื่อผู้เขียนให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวหนา และไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ เช่น นาย นาง นางสาว ดร. ผศ. รศ. ศ. เป็นต้น ส่วนสังกัดให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวหนา ให้ระบุสาขาวิชา ภาควิชา คณะ สถาบัน หรือหน่วยงานที่สังกัด พร้อมอีเมลในการติดต่อ ทั้งนี้ กรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน ให้ระบุด้วยว่าใคร คือ ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

3. บทคัดย่อ (Abstract): หัวข้อบทคัดย่อให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 18 ตัวหนา และขีดซ้าย ส่วนเนื้อความในบทคัดย่อและคำสำคัญให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวธรรมดา หากเป็นบทความภาษาไทยให้เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากเป็นบทความภาษาอังกฤษให้เขียนบทคัดย่อเป็นภาษาอังกฤษ (หรืออาจมีบทคัดย่อภาษาไทยด้วยหรือไม่ก็ได้) ทั้งนี้ บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ รวมกันไม่ควรเกิน 1 หน้ากระดาษ A4 ให้จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ มีความยาวประมาณ 250 คำ จะต้องพิมพ์คำสำคัญในบทคัดย่อภาษาไทย และพิมพ์ Keywords ในบทคัดย่อภาษาอังกฤษของบทความเรื่องนั้นด้วยจำนวนไม่เกิน 5 คำ

4. เนื้อหา (Content): หัวข้อให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 18 ตัวหนาและขีดซ้าย ส่วนเนื้อความในแต่ละหัวข้อให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดของตัวอักษร 16 ตัวธรรมดา

5. รูปภาพและตารางประกอบ: ควรมีภาพที่ชัดเจน ถ้าเป็นรูปถ่ายควรมีภาพถ่ายจริงแนบมาด้วย หากเป็นภาพที่คัดลอกมาจากแหล่งอื่นควรเขียนแหล่งอ้างอิงนั้นด้วยตามหลักวิชาการ กรณีรูปภาพให้ใช้คำว่า “ภาพที่” กรณีตารางให้ใช้คำว่า “ตารางที่”

6. เอกสารอ้างอิง (References): การเขียนอ้างอิงให้ใช้ระบบ APA โดยมีเงื่อนไขดังนี้

6.1 เอกสารที่นำมาอ้างอิงต้องมีไม่เกิน 20 รายการ และไม่ควรมีอายุเกิน 10 ปี ยกเว้นแนวคิดหรือทฤษฎีที่เกิดขึ้นก่อน 10 ปีและในปัจจุบันยังมีส่วนนำมาใช้ อนุโลมให้นำมาใช้อ้างอิงได้

6.2 ให้จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ และเรียงตามลำดับตัวอักษร

6.3 ต้องมีการอ้างอิงบทความที่มีการตีพิมพ์ในวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ อย่างน้อย 1 บทความ

6.4 การอ้างอิงในเนื้อหา ใช้ระบบนามปี [นามสกุล, ปี หรือ นามสกุล (ปี)] และอ้างอิงโดยใช้นามสกุลภาษาอังกฤษเท่านั้น เช่น Yurarach (2017) หรือ (Yurarach, 2017) เป็นต้น ทั้งนี้ หากมีผู้แต่ง 2 คน ให้ใส่นามสกุลทั้งสองคน เช่น Yurarach and Yoothanom (2017) หรือ (Yurarach and Yoothanom, 2017) หากมีผู้แต่งมากกว่า 2 คน ให้ใส่นามสกุลของผู้แต่งคนแรก และตามด้วย “et al.” เช่น Yurarach et al. (2017) หรือ (Yurarach et al., 2017) เป็นต้น

6.5 เอกสารอ้างอิงฉบับภาษาไทยต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด โดยมีแนวทางดังนี้

(1) ต้องแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ โดยยังคงเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเดิมไว้ด้วย เขียนจัดเรียงคู่กัน โดยให้เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษที่แปลขึ้นก่อนและตามด้วยเอกสารอ้างอิงภาษาไทย และเดิมคำว่า “(in Thai)” ต่อท้ายเอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษที่แปลจากภาษาไทย

(2) การเรียงลำดับเอกสารอ้างอิง กรณีเอกสารอ้างอิงที่แปลจากภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ และรายการเอกสารอ้างอิงทุกรายการ หากมีผู้เขียนไม่เกิน 6 คน ให้ใส่ชื่อให้ครบทุกคน แต่หากมีมากกว่า 6 คน ให้ใส่ชื่อทั้ง 6 คน หลังจากคนที่ 6 ให้ตามด้วย “และคณะ” หรือ “et al”

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

ตัวอย่างที่ 1 หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อหนังสือ. พิมพ์ครั้งที่ (ถ้ามี). สถานที่พิมพ์ (เมือง): สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

Iamsiriwong, O. (2008). *Database Systems*. Bangkok: SE-Education. (in Thai)

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2551). *ระบบฐานข้อมูล*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น.

ตัวอย่างที่ 2 วารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่ (ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

Jitsakul, W. and Sodsri, S. (2017). Text Classification Analysis by Stability Comparison of Algorithms. *Sripatum Review of Science and Technology*, 9, 19-31. (in Thai)

วัชรวิวัฒน์ จิตต์สกุล และสุนันทา สดสี. (2559). การวิเคราะห์การจำแนกข้อความด้วยการเปรียบเทียบความเสถียรของอัลกอริทึม. *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 9, 19-31.

ตัวอย่างที่ 3 เว็บไซต์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ วัน เดือน ปี, จาก: URL.

Wikipedia free encyclopedia. (2018). *Globalization* [Online]. Retrieved May 23, 2018, from: <http://th.wikipedia.org/wiki/Globalization>. (in Thai)

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). *โลกาภิวัตน์* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2561, จาก : <http://th.wikipedia.org/wiki/Globalization>.

ตัวอย่างที่ 4 รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ (ชื่อเอกสาร), วัน เดือน ปี สถานที่จัด, หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

Chaksupa, T. and Bunditwattanawong, T. (2015). An Ontology for Quality Hands-on Examination Development in Information Technology. *The Proceedings of the 10th National Sripatum University Conference (SPUCON2015)*, 22 December 2015 at Sripatum University (Bangkhen Campus), 1581-1589. (in Thai)

ทนวงศ์ จักขุพา และเทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์. (2558). “ออนโทโลยีปัจจัยคุณภาพสำหรับออกข้อสอบภาคปฏิบัติสาขาไอที.” รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10 ประจำปี 2558, วันที่ 22 ธันวาคม 2558 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 1581-1589.

ตัวอย่างที่ 5 วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์. ระดับปริญญาของวิทยานิพนธ์, ชื่อมหาวิทยาลัย.

Chaksupa, T. (2015). *Ontology Development for Recommender System with Qualitative Factors for Hands-on Examination Selection in Information Technology*. Thesis of the Degree of Doctor of Philosophy Program in Information Technology. Sripatum University. (in Thai)

ทนวงศ์ จักขุพา. (2559). การพัฒนาออนไลน์ปัจจัยเชิงคุณภาพสำหรับระบบค้นหาเชิงความหมาย ในการออกข้อสอบภาคปฏิบัติสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

7. บทความทุกเรื่องที่ส่งให้กองบรรณาธิการพิจารณา ต้องไม่ได้รับการเผยแพร่ที่ใดมาก่อน หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาเผยแพร่ของวารสารอื่นๆ

8. การส่งต้นฉบับบทความ (Submission)

8.1 ส่งต้นฉบับบทความ (Manuscript) ที่จัดเตรียมตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับและตามรูปแบบการอ้างอิงที่วารสารกำหนด (นามสกุล .docx และ .pdf) และส่งผ่านระบบ ThaiJo โดยให้ผู้เขียนเข้าไปลงทะเบียนและทำตามขั้นตอนของระบบ โดยสามารถเข้าไปดำเนินการได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/spurst>

8.2 กรณีที่บทความไม่ผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ ผู้เขียนไม่จำเป็นต้องจ่ายค่าดำเนินการใดๆ แต่กรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเบื้องต้นแล้วเห็นว่า ควรส่งผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewers) จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบและประเมินคุณภาพของบทความ ผู้เขียนจะต้องจ่ายค่าดำเนินการ (Operation fee) ในอัตรา 6,000 บาท ต่อ 1 บทความ โดยใช้วิธีการโอนเงินเข้าบัญชีธนาคารและส่งสลิปเงินโอนมาที่กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผ่านช่องทางอีเมล research@spu.ac.th หรือทางไปรษณีย์

(1) ชื่อบัญชีธนาคาร

ธนาคารกรุงเทพ สาขามหาวิทยาลัยศรีปทุม

ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยศรีปทุม ประเภทบัญชี ออมทรัพย์

เลขที่บัญชี 006-8-07686-8

(2) กองบรรณาธิการ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม

เลขที่ 2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0-2579-1111 ต่อ 1331, 1252, 1155 โทรสาร ต่อ 2187

นโยบายและเงื่อนไขในการพิจารณาบทความ (Editorial Policy)

1. บทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ต้องเป็นผลงานที่อยู่ในสาขาวิชาใดวิชาหนึ่งตามวัตถุประสงค์ของวารสาร ได้แก่ (1) General Computer Science (2) General Energy (3) General Engineering (4) Architecture และ (5) General Environmental Science

2. บทความที่ส่งมาต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ที่วารสารใดมาก่อนและต้องไม่อยู่ระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่น

3. บทความที่ส่งมาจะได้รับการประเมินคุณภาพเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการก่อน โดยจะพิจารณาถึงความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสาร โดยการพิจารณาแยกเป็น 2 กรณี คือ

3.1 ในกรณีที่บทความไม่ผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ บรรณาธิการจะแจ้งปฏิเสธการรับตีพิมพ์บทความ (Reject) พร้อมเหตุผล ข้อเสนอแนะ หรือข้อสังเกตสั้นๆ ให้ผู้ส่งบทความได้รับทราบ ทั้งนี้ ผู้เขียนไม่จำเป็นต้องจ่ายค่าดำเนินการใดๆ

3.2 ในกรณีที่บทความผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ ผู้เขียนจะต้องจ่ายค่าดำเนินการ (Operation fee) ในอัตรา 6,000 บาท ต่อ 1 บทความ และบรรณาธิการจะส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewers) ในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนลงตีพิมพ์ โดยผู้ประเมินไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมินบทความ (Double-blind peer review) ทั้งนี้ การจ่ายเงินค่าดำเนินการให้จ่ายผ่านระบบการโอนเข้าบัญชีธนาคารเท่านั้น

4. เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิได้พิจารณากลับกรองบทความเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการจะพิจารณาว่าบทความนั้นๆ ควรได้ลงตีพิมพ์ (Accept) หรือควรส่งคืนให้ผู้เขียนแก้ไขเพื่อพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง (Major/Minor Revision) หรือควรแจ้งปฏิเสธการลงตีพิมพ์ (Reject)

5. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตัดสินใจตีพิมพ์บทความในวารสาร และจะไม่คืนเงินไม่ว่าในกรณีใดๆ

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณานำลงวารสารศรีปทุมปริทัศน์

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เรียน บรรณาธิการ

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ตำแหน่ง.....อาจารย์ประจำสาขาวิชา/ภาควิชา.....

คณะ.....มหาวิทยาลัย.....

ขอส่ง () บทความวิจัย () บทความวิชาการ

() บทความหนังสือ () บทความปริทัศน์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ)

คำสำคัญ (ภาษาไทย)

Keywords (ภาษาอังกฤษ)

ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทย)

ชื่อผู้เขียน (ภาษาอังกฤษ)

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวกหมู่ที่.....ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....อำเภอ/เขต.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรศัพท์มือถือ.....โทรสาร.....E-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้

() เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

() เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

บทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำไปเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารอื่นๆ อีก นับจากวันที่ข้าพเจ้าได้ส่งบทความฉบับนี้มายังกองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์

ลงนาม

(.....)



NATIONAL AND
INTERNATIONAL
SRIPATUM
UNIVERSITY
CONFERENCE
2023

บทความวิจัย

- 07** การพัฒนาโมเดลโดยใช้นิวโรฟิชสำหรับการคัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นพหุคูณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างงานก่อสร้างชลประทาน
: อนุพงศ์ พงุนิก, ไพจิตร พาวิน
- 21** แบบจำลองการคัดเลือกชิ้นบัญชีเป็นพหุคูณสมบัติเบื้องต้นในการจ้างก่อสร้างงานชลประทาน
: สุมิตร สุรพันธ์ไพโรจน์, ไพจิตร พาวิน
- 38** การศึกษาอิทธิพลการไหลของพอลิเมอร์โดยใช้ระบบสุญญากาศช่วยในการกระบวนการขึ้นรูป
: ประสิทธิ์ มาปากจั่น, สกภาพร ชาทาคม
- 52** ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางทะเลตามการเกษตรอำเภอเขาชัย จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนไลน์
: ยุภา คำทะพล
- 67** การจำแนกภาพเมล็ดข้าววัชพืชจากภาพโพรงศัพทศาสตร์ที่ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีการถ่ายโอนความรู้
: นฤมิตร กิตติเวช, ธนาธิย สุคนธ์พันธุ์, อานนท์ ศักดิ์วรวิเศษ
- 81** กรอบนโยบายการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภาครัฐสู่เกษตรกรในประเทศไทย
: เมธา ศิริกุล, นลินภัทร บำเพ็ญเพียร, ชนนิทานต์ รอดมรณ์
- 95** การพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณภาพอากาศแบบเคลื่อนที่และระบบติดตามบนคลาวด์แบบเวลาจริง
: นิพัทธ์ จงสวัสดิ์, อนุชา ตุงคะชื้อ
- 111** การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่ส่งผลต่อการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงและค่าความชื้นของสีย้อมขึ้นงานพลาสติก
โดยใช้วิธีทางเคมี
: มนัส ทรัพย์กิจ, วัชร: ลายลักษณ์, วรธนา รอดภัย, สกภาพร ชาทาคม
- 125** ระบบช่วยสร้างงานด้วยเสียงสำหรับถอดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร
: ฐิตาภรณ์ พอบุตรดี
- 139** การระบุและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SOx)
จากเครื่องยนต์เรือ ในมุมมองภาครัฐสำหรับอุตสาหกรรม การขนส่งทางทะเลของไทย: แนวทางการจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ
: สหชัย แสงเรือง, เดชรัตน์ สัมฤทธิ์
- 153** การศึกษาคุณสมบัติเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ผลิตจากพืชกลบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับสเปกโทรสโกปีรังสีเอกซ์
แบบกระจายพลังงานเพื่อการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์
: ฐิตาภรณ์ อนุวัชรกุล, ประณิษา สีลาพันธ์
- 169** การออกแบบและสร้างเครื่องสไลด์ภาพควมคมโดยผ่านสมาร์ตโฟน
: พชรินทร์ อภิบาล, วิมล ปานศรีนวล, กันตนิษฐ์ สกุลไพศาล, กริธา สุขทัง, ศรัณย์ ฉัตรธัญกิจ,
พรหมพิตร บุณรักษา
- 184** กำลังของพื้งคอนกรีตรับน้ำหนักสำเร็จรูปที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่
: เลิศภพ จันทร์เที่ยง, ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์
- 193** Project-specific characteristics reduction to reduce processing time for sub-classification analysis
of smart community projects using data mining techniques
: Tipaporn Supamid, Surasak Mungsing