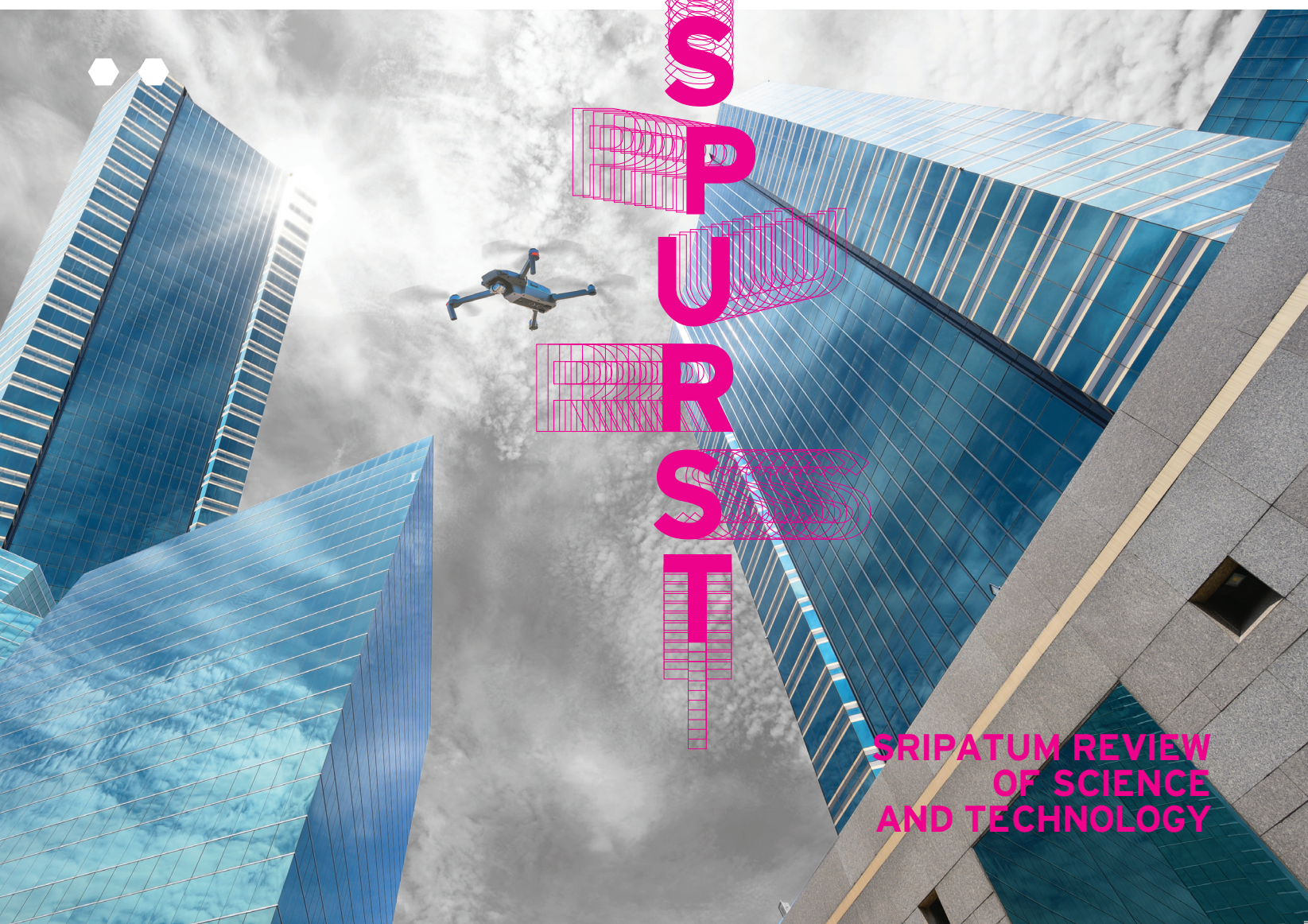


วารสาร SPU ศรีปทุม ปริทัศน์

ปีที่ 12 มกราคม – ธันวาคม 2563
Vol.12 January - December 2020

ISSN 2228 – 8724 E-ISSN 2672 – 9970

SRIPATUM REVIEW



วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารทางวิชาการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการแก่บุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคม ส่งเสริม และกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย (1) วิทยาศาสตร์กายภาพ และชีวภาพ (2) วิศวกรรมศาสตร์ (3) สถาปัตยกรรมศาสตร์ และ (4) เทคโนโลยีสารสนเทศ โดยจัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 1 ฉบับ ในเดือนธันวาคมของทุกปี โดยจัดส่งให้ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (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 12 ประจำเดือน มกราคม-ธันวาคม 2563 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) เพื่อให้วารสารฉบับนี้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับระดับชาติและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงสำหรับวารสารฉบับนี้ ประกอบด้วย บทความวิจัยจำนวน 13 เรื่อง เช่น “การวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนคนงานที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนต” “โดรนสำหรับการตรวจสอบการเกิดไฟป่าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก” “การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัล” เป็นต้น และบทความวิชาการจำนวน 1 เรื่อง คือ “การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการถดถอยที่แกร่งด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดและวิธีประมาณค่าเอส”

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

Phaiboon Panyakopa

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป)

บรรณาธิการ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่อาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคมทั่วไป
2. เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ ทางด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย (1) วิทยาศาสตร์กายภาพและชีวภาพ (2) วิศวกรรมศาสตร์ (3) สถาปัตยกรรมศาสตร์ และ (4) เทคโนโลยีสารสนเทศ

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ ปัญญาคะโป

บรรณาธิการผู้พิมพ์ผู้โฆษณา

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ ปัญญาคะโป

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.นวลตล เหล่าศิริพจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
นาวาอากาศเอก ศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ประณีตพลกรัง	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ศาสตราจารย์ ดร.มลิวรรณ บุญเสนอ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.อัศม์เดช วานิชชินชัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ จันทน์ เพชรานนท์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ 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

นายสุรัตน์ชัย ชื่นตา

ฝ่ายพิสูจน์อักษร

รองศาสตราจารย์ สมทรง สิตาลัย

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 1 ฉบับ ประจำเดือน มกราคม – ธันวาคม

สถานที่จัดพิมพ์

บริษัท สยามพรินท์ จำกัด โทร. 0 2509 0068-9

CONTENTS

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

บทความวิจัย

- 07 ตัวแบบพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์
: **คชินทร์ โกกนุทาภรณ์**
- 21 การวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนคนงานที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรม
อุตสาหกรรมในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนต
: **อนจ ชัยมณี, รัตนา ชั่วทอง**
- 37 การเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น
ผสมจำนวนเต็ม: กรณีศึกษาธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่ม
: **ณัฐธินัย สุพัฒน์ธนานนท์, ปณัฏพร เรืองเชิงชุม**
- 51 การฝึกทักษะการใช้ภาษาญี่ปุ่นบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับพนักงานในโรงงาน
อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารในเขตจังหวัดลพบุรี
: **สรารัฐ แผลงศร**
- 65 โดรนสำหรับการตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
: **รสลิน เพตะกร, อรรนุช พันโท**
- 79 โมเดลสมการโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรม
การสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน
: **ชัยพร ทบแป, ประสงค์ ปราณีตพลกรัง, นิเวศ จิระวิชิตชัย**
- 93 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัล
: **เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ, ฐาปนัต บัวภิบาล, อานนท์ ศรีประเสริฐ**
- 106 พฤติกรรมการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของร่องลื่นเพลากลมอากาศ
: **อภิชาติ ฉัตรพงศ์เจริญ, ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว, เจษฎา พานิชกรณ**
- 121 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาโรคพืชที่
เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่
: **อรรนุช พันโท, รสลิน เพตะกร, สารุ่ง ตันตระกูล**
- 135 แอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง
: **ดวงจันทร์ สีหาราช, ยุภา คำตะพล, ฐิณากัญท์ นิธิวิทย์, ศรัณญา ตรีทศ**
- 149 การแก้ปัญหาคุณภาพผิวชิ้นงานของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลวง
โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
: **ธวัชชัย ไหมด้วง, สถาพร ชาดาคม**
- 164 แอปพลิเคชันส่งเสริมการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุผ่านสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์
: **น้ำเพ็ญ พรหมประสิทธิ์, สุภาวดี มากอ้น, สมชาย ตูละ**
- 176 การพัฒนาตัววัดและตัวบ่งชี้ระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่สามารถ
และมีความยั่งยืน
: **สุนิษา คิดใจเดียว, ประสงค์ ปราณีตพลกรัง, นิเวศ จิระวิชิตชัย**

บทความวิชาการ

- 190 การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการถดถอยที่แกร่งด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด
และวิธีประมาณค่าเอส
: **นิธิภัทร กมลสุข**

ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความ

Reviewers

ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร์ หิรัญลาม
ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์ ดร.สันทัต ศิริอนันต์ไพบูลย์
ศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ยกส้าน
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยุพาพิน

รองศาสตราจารย์ ดร.กมล บุชบา
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย ธนทรัพย์สิน

รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.ชิต เหล่าวัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน
รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติวดี ชัยวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง

รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา วสุศรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช

รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เจริญกิจการ
รองศาสตราจารย์ ดร.บดีรินทร์ รัศมีเทศ
รองศาสตราจารย์ ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุกนธสุขกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินทวิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนา อนุรักษพงษ์ศธร
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.พิรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสง่า
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปัญญาอะโป
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บรรเทงจิตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรศมี บุญดาว
รองศาสตราจารย์ ดร.เรืองรอง สุลีสิทธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์

รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชูติมาสกุล

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
สถาบันเทคโนโลยีจิดรลดา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ บุญจริง

รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธิจิรวินิช

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวาพร ลงยันต์

รองศาสตราจารย์ ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

รองศาสตราจารย์ ดร.สมโพธิ์ วิวิธเกยุรวงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยดาว วินิจนันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล สัจจาณิชย์

รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ ศรีวิหค

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งพัฒนา

รองศาสตราจารย์ ดร.อมร พิมานมาศ

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล

รองศาสตราจารย์ ชาลี ตระกูลการ

รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ

รองศาสตราจารย์ ศิริชัย พงษ์วิชัย

รองศาสตราจารย์ สถาพร ขาตาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.อ.อ. ดร.เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รัตนจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชัยรัตนวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณศ พันธุ์สวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรอุฒิกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล ยวงใย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร ยวงเงิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย วรเดชจำเริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพจน์ เวศพันธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จงสวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญอ้อม โฉมทิ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาพรณ เกษราพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ กิรติวินทร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยสยาม

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูกิจ พานิชกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวณูช กุลาคี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนัฐมพงษ์ คงแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ วงศ์โดยหวัง ศิริเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพร อุษณวสิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐชัย ชัยสนิทด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพักตรา สุทธสุภา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒนตรา ศรีญาณลักษณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรกิจ ท่วมเพิ่มทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มั่งสิงห์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศิษฐ์ ไรจนันต์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรฆ ชันชะวณะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัศม์เดช วานิชชินชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุนิติ พิณโสภณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชียง เกาจิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพชร นันทิวัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย บุญวาส
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรเช์ เครือรัฐติกาล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ วังจัน
พันเอก ดร.พิศุทธิ์ ดารารัตน์
ดร.จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์
ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน
ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล
ดร.ชาลี วรกุลพิพัฒน์

ดร.ประกอบ ขาติภักดิ์
ดร.ประภาพร รัตนธารัง
ดร.พระพิพัฒน์ ภาสบุตร
ดร.พีรเดช ณ น่าน
ดร.มงคล อัสวติลภฤต
ดร.วรพงษ์ ลีวัฒนกิจ
ดร.สมรักษ์ เพชรราตรี
ดร.สิรินธร ลัมปนาท
ดร.สุคนทิพย์ สุภาจันทร์
ดร.อภิบาล พุกษานูบาล

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยนครพนม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยมหิดล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และ
คอมพิวเตอร์แห่งชาติ สวทช.
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
กสท.โทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กสท.โทรคมนาคม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

คชินทร์ โกกนุทาภรณ์*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Received: 10 October 2019

Revised: 15 January 2020

Accepted: 16 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยใช้ข้อมูลจากสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2540-2562 จำนวน 23 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่ปีการศึกษา 2540-2559 จำนวน 20 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยงานวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีการพยากรณ์ 7 วิธี คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 ปีการศึกษา วิธีสมการแนวโน้มเชิงเส้น วิธีสมการแนวโน้มพาราโบลา วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแคม และข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่ปีการศึกษา 2560-2562 จำนวน 3 ค่า เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ ด้วยเกณฑ์ที่พิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแคมมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่สุด โดยแนวโน้มของนักศึกษาใหม่มีแนวโน้มลดลง

คำสำคัญ : การพยากรณ์ จำนวนนักศึกษาใหม่ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบตามค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: kachin@vru.ac.th

Forecasting Method for Number of New Students Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

Kachin Goganutapon*

Program in Applied Mathematics, Faculty of Science and Technology,
Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

Received: 10 October 2019

Revised: 15 January 2020

Accepted: 16 January 2020

ABSTRACT

The purpose of this research was to construct the appropriate forecasting model for the number of new students of Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage. The data consisting of 23 values was gathered from the Academic Affairs and Registration Office of Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage during the 1997-2019 academic years. The researchers divided the data into two sets. The first set consisted of 20 values from the 1997-2016 academic years to be used for constructing the forecasting model. Seven forecasting methods were used in this research, namely, the simple moving average of three academic years method, the linear trend equations method, the parabola trend equations method, the single exponential smoothing method, the Holt's exponential smoothing method, the Brown's exponential smoothing method, and the Damped trend exponential smoothing method. The second set consisted of 3 values from the 2017-2019 academic years to be used for comparing the efficiency of the forecasting methods via the criteria of the lowest mean absolute deviation and mean absolute percentage error. The results showed that the Damped trend exponential smoothing method was the most efficient forecasting method, with the forecasting that the number of new students had the tendency to decrease.

Keywords: Forecasting, Number of new students, Damped trend exponential smoothing method, Absolute percent error mean

* Corresponding Author; E-mail: kachin@vru.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันจำนวนนักเรียนที่ต้องการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษามีแนวโน้มลดลง ซึ่งสาเหตุมาจากจำนวนประชากรการเกิดลดลง จึงทำให้จำนวนนักเรียนที่สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ลดลง และยังมีสาเหตุมาจากการตอบรับการเข้าเรียนในมหาวิทยาลัยแล้วในระบบโดยตรง โควตา ฯลฯ อีกด้วย ทำให้นักเรียนมีการแข่งขันเพื่อช่วงชิงที่นั่งในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐที่มีชื่อเสียง และบางส่วนไม่เข้าศึกษาต่อในสถาบันอุดมศึกษาเพราะต้องการเข้าสู่ตลาดแรงงาน หรือต้องการทำงานหาประสบการณ์ก่อน หรือเพราะวิกฤตเศรษฐกิจของครอบครัว เป็นต้น และปัจจุบันมีทางเลือกเรียนที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการศึกษานอกระบบทำให้นักศึกษาเข้ามาเรียนในมหาวิทยาลัยลดลง (campus-star, 2019) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (มทร.) ธัญบุรี พบปัญหาจำนวนนักเรียนที่สมัครเข้าเรียนต่อในระดับอุดมศึกษาด้วยระบบ TCAS ประจำปีการศึกษา 2561 พบว่ามีเด็กที่จบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สมัครเข้าเรียนต่อในมหาวิทยาลัยต่างๆ กว่า 8 หมื่นคน ในขณะที่สถาบันอุดมศึกษาต่างๆ สามารถรับนักศึกษาได้กว่า 1.2 แสนคน ซึ่งตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปีนี้จะมีเด็กที่จะเข้าสู่การเรียนระดับอุดมศึกษาลดลง ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ที่อาจจะมีเด็กจำนวนหนึ่งที่หันเข้าสู่อาชีพก่อนก็ได้ ซึ่งสถานการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ย่อมส่งผลกระทบต่อทั้งมหาวิทยาลัยรัฐและเอกชนจะขาดแคลนหรือมีตัวเลขเด็กที่จะเข้ามาเรียนลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยเอกชน เพราะส่วนใหญ่แล้วนักเรียนจะมุ่งเข้าสู่มหาวิทยาลัยของรัฐก่อน โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยที่ชื่อเสียงและค่าเล่าเรียนที่ถูก (Pinprathomrat, 2018) ดังนั้น สถานการณ์การศึกษาต้องปรับตัว เพื่อรองรับจำนวนประชากรที่ลดลง โดยการพัฒนาและสร้างความแตกต่างเพื่อให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ เป็นที่สนใจของผู้เข้าศึกษามากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งที่ตระหนักถึงความสำคัญของจำนวนนักศึกษาใหม่ที่จะเข้ามาศึกษาต่อเช่นกัน ซึ่งปัจจุบันจำนวนนักศึกษาของมหาวิทยาลัยมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย ทำให้การจัดการศึกษาต้องมีการปรับตัวให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน เนื่องจากจำนวนนักศึกษามีผลต่อการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนของงบประมาณในแต่ละปีงบประมาณ จึงทำให้การพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ล่วงหน้าในแต่ละภาคการศึกษาของปีงบประมาณนั้นๆ มีความสำคัญและมีความจำเป็นด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ (ศึกษาในเวลาราชการ) ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยใช้วิธีการพยากรณ์เชิงสถิติ เนื่องจากการพยากรณ์ด้วยกระบวนการทางสถิติเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญ ให้ผลการพยากรณ์น่าเชื่อถือสามารถนำผลการพยากรณ์เป็นข้อมูลในการตัดสินใจวางแผนในการของบประมาณในการจัดการศึกษา และการวางแผนการรับนักศึกษาในปีการศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งข้อมูลจำนวนนักศึกษาใหม่ นำมาจากสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2540 ถึงปีการศึกษา 2562 จำนวน 23 ค่า (Administrative Affairs and Registration of Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, 2019) ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่ปีการศึกษา 2540 ถึง ปีการศึกษา 2559 จำนวน 20 ค่า สำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ ด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 ปีการศึกษา วิธีสมการแนวโน้มเชิงเส้น วิธีสมการแนวโน้มพาราโบลา วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์ วิธีทำให้เรียบแบบเท็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ และวิธีทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบตาม ชุดที่ 2 ตั้งแต่ปีการศึกษา 2560 ถึงปีการศึกษา 2562 จำนวน 3 ค่า เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์พิจารณา ค่า MAPE และ MAD ที่ต่ำที่สุด

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเป็นการพิจารณาในเบื้องต้นว่าอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใด มีส่วนประกอบของอนุกรมเวลาใดบ้าง (แนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร หรือ เหตุการณ์ที่ผิดปกติ) โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา เพื่อความเหมาะสมของการเลือกใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป (Bowerman and O'Connell, 1993)

การทดสอบแนวโน้มแบบเครื่องหมาย

การทดสอบแนวโน้มแบบเครื่องหมายเป็นการทดสอบแนวโน้มที่ตัวทดสอบสถิติได้จากการพิจารณาค่าสังเกตในอนุกรมเวลาที่อยู่ในตำแหน่งติดกันว่ามีความต่างกันทางบวกหรือลบ นั่นคือพิจารณาว่าค่าสังเกต Y_t มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าสังเกต Y_{t-1} หรือพิจารณาเครื่องหมายของผลต่างครั้งที่หนึ่งของค่าสังเกต ($Y_t - Y_{t-1}$) ถ้าจำนวนผลต่างเป็นบวกมากแสดงว่าอนุกรมเวลามีแนวโน้มขึ้น และถ้าเป็นลบมากแสดงว่าอนุกรมเวลามีแนวโน้มลง กำหนด V เป็นจำนวนครั้งที่หนึ่งค่าของค่าสังเกตเป็นบวก (Taesombat, 2006) ขั้นตอนของการทดสอบแนวโน้มแบบเครื่องหมายมีดังนี้

1. กำหนด H_0 : อนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้ม กับ

H_1 : อนุกรมเวลามีแนวโน้มขึ้นหรือลง

2. สำหรับอนุกรมเวลาขนาดใหญ่ หรือ $n \geq 20$ ตัวสถิติ V มีการแจกแจงประมาณแบบปกติมีค่าเฉลี่ย

μ_V และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_V ใช้ตัวทดสอบสถิติ $Z = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V}$ เมื่อ $\mu_V = \frac{n}{2}$ และ $\sigma_V = \sqrt{\frac{n}{4}}$ ที่ระดับ

นัยสำคัญ α มีช่วงวิกฤติ $CR: |Z| \geq Z_{\alpha/2}$ ซึ่ง $Z_{\alpha/2}$ เป็นค่าวิกฤติ

การทดสอบความแปรผันตามฤดูกาลด้วยวิธีการทดสอบของ ครัสคาล-วัลลิส

การทดสอบของ ครัสคาล-วัลลิส นำมาประยุกต์กับการทดสอบอนุกรมเวลาที่จำกัดค่าแนวโน้มแล้วมีความแปรผันตามฤดูกาลหรือไม่ การทดสอบนี้จะใช้ลำดับของข้อมูลอนุกรมเวลาที่จำกัดแนวโน้มแล้ว การทดสอบตามวิธีนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาข้อมูลอนุกรมเวลาที่จำกัดแนวโน้มทั้งหมด แล้วเรียงลำดับข้อมูลดังกล่าวจากค่าต่ำสุด (ให้เป็นอันดับที่ 1) และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนครบข้อมูลทุกตัว ซึ่งจะเท่ากับ n เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. ตั้งสมมติฐานหลักและสมมติฐานทางเลือก ดังนี้

H_0 : อนุกรมเวลาไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล

H_1 : อนุกรมเวลามีความผันแปรตามฤดูกาล

3. ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ $H = \frac{12}{n(n+1)} \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right] - 3(n+1)$ เมื่อ K แทนจำนวนฤดูกาล R_i แทนผลรวมของอันดับข้อมูลในฤดูกาลที่ i , n_i แทนจำนวนข้อมูลในฤดูกาลที่ i โดยที่ $n = \sum_{i=1}^n n_i$

4. กาดัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ถ้า $n_1 \leq K, K \leq 5, n \leq 15$ จะใช้ตาราง Kruskal-Wallis แต่ถ้า $n_i > 5$ จะใช้ตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นไคกำลังสองโดยปฏิเสธ (H_0) เมื่อ $H > \chi_{\alpha, K-1}^2$ (Ket-iam, 2005)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษา 7 วิธี ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 ปี การศึกษา วิธีสมการแนวโน้มเชิงเส้น วิธีแนวโน้มสมการพาราโบลา วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบรวาน และวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแฉก ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

การพยากรณ์โดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average method: SMAK)

เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวอยู่ในระดับคงที่ หรือข้อมูลค่อนข้างราบเรียบตามแนวนอน (horizontal data) และเหมาะสมกับการพยากรณ์ระยะสั้น (short term) การพยากรณ์วิธีนี้จะนำข้อมูลจำนวน 3 ค่า หรือ 5 ค่า มาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งการเฉลี่ยนี้เป็นการเฉลี่ยที่ให้น้ำหนักกับค่าสังเกตแต่ละค่าเท่ากัน สำหรับจำนวนค่าสังเกต ที่นำมาหาค่าเฉลี่ยนั้น ถ้าข้อมูลมีการเคลื่อนไหวมากควรใช้จำนวนค่าสังเกตมาก และในทางกลับกันถ้าข้อมูลค่อนข้างเรียบควรใช้ค่าสังเกตน้อยลงตามลำดับ สำหรับตัวแบบ ของข้อมูลที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวอยู่ในระดับคงที่ จะมีตัวแบบดังนี้

$$Y_t = \beta_0 + \varepsilon_t \quad (1)$$

เมื่อ Y_t คือ ข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา t , β_0 คือ ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t สำหรับสูตรที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-k+1}}{K} \quad (2)$$

โดยที่ $\hat{Y}_{t+1}$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + 1$, Y_t คือ ค่าสังเกตหรือข้อมูล ณ เวลา t , K คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

การพยากรณ์โดยสมการแนวโน้มเชิงเส้น (Linear trend equations method: Linear)

รูปแบบสมการคือ $\hat{Y} = a + bX$ (3)

จะได้สมการปกติดังนี้ $\sum Y = na + b \sum X$

$$\sum XY = a \sum X + b \sum X^2$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ Y แทน ค่าจริงของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ $\hat{Y}$ แทน ค่าแนวโน้มของข้อมูล X แทน เวลาของข้อมูล n แทน จำนวนข้อมูลอนุกรมเวลาทั้งหมด (Ket-iam, 2005)

การพยากรณ์โดยสมการแนวโน้มพาราโบลา (Parabola trend equations method: Parabola)

รูปแบบสมการคือ $\hat{Y} = a + bX + cX^2$ (4)

จะได้สมการปกติดังนี้ $\sum Y = na + b \sum X + c \sum X^2$

$$\sum XY = a \sum X + b \sum X^2 + c \sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ Y แทน ค่าจริงของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ $\hat{Y}$ แทน ค่าแนวโน้มของข้อมูล X แทน เวลาของข้อมูล n แทน จำนวนข้อมูลอนุกรมเวลาทั้งหมด (Ket-iam, 2005)

การพยากรณ์โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Simple exponential smoothing method: Simple)

เป็นวิธีที่ใช้หลักการของการหาค่าเฉลี่ยวิธีหนึ่งโดยให้น้ำหนักความสำคัญกับข้อมูลใหม่มาก ค่าพยากรณ์จะตอบสนองกับข้อมูลใหม่เป็นหลัก เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงและคาดเดาได้ยาก ในการนี้จะกำหนดน้ำหนักข้อมูลล่าสุดเป็น α โดยให้ค่า α อยู่ระหว่าง 0 – 1 ถ้าค่า $\alpha = 1$ แสดงว่าให้น้ำหนักกับข้อมูลล่าสุด แต่ถ้า α มีค่าน้อยหมายความว่ายึดข้อมูลพยากรณ์ในอดีตเป็นหลักโดยไม่คำนึงถึงข้อมูลปัจจุบัน การหาค่าพยากรณ์คำนวณได้จากสมการ (Theeraviriya, 2017)

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t \quad (5)$$

โดยที่ F_{t+1} แทน ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาถัดไป F_t แทน ค่าพยากรณ์ของช่วงเวลาปัจจุบัน A_t แทน ความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลา t , α แทน ค่าถ่วงน้ำหนักปรับเรียบ

การพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ (Holt's exponential smoothing method: Holt)

การทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล มีค่าคงที่การทำให้เรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าระดับ (Level: α) และค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชัน (Trend: γ) ตัวแบบเขียนได้ดังสมการที่ (6) และตัวแบบพยากรณ์เขียนได้ดังสมการที่ (7) (Manmin, 2006)

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m) \quad (7)$$

เมื่อ Y_t แทน อนุกรมเวลา ณ เวลา t , β_0 และ β_1 แทน พารามิเตอร์ของตัวแบบแสดงระยะตัดแกน และความชันของแนวโน้ม ตามลำดับ ε_t แทน อนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกัน ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา $\hat{Y}_{t+m}$ แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า a_t และ b_t แทน ค่าประมาณ ณ เวลา t ของ พารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$, α และ γ แทน ค่าคงที่การทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \gamma < 1$, t แทน ช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

การสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ (Brown's exponential smoothing method: Brown)

การทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล เช่นเดียวกับการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ด้วยวิธีของโฮลต์ แต่มีการกำหนดให้ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าระดับและค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชันเท่ากัน ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์เป็นกรณีพิเศษของการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ ตัวแบบพยากรณ์เขียนได้ดังนี้ (IBM Corporation, 2014)

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[(m - 1) + \frac{1}{\alpha} \right] \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m แทน จำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า a_t และ b_t แทน ค่าประมาณ ณ เวลา t ของพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)a_{t-1}$, $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha)b_{t-1}$, α แทน ค่าคงที่การทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, t แทน ช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n , n แทน จำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

การสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแดม (Damped trend exponential smoothing method: Damped)

การทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแฉก มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล และมีอัตราการเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) เปลี่ยนแปลงช้ากว่าการเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) ของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง มีค่าคงที่การทำให้เรียบ 3 ตัว คือ ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าระดับ (α) ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชัน (γ) และค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชันแบบแฉก (Damped Trend) (Φ) ตัวแบบพยากรณ์เขียนได้ดังนี้ (IBM Corporation, 2014)

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \Phi^i \quad (9)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m แทน จำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า a_t และ b_t แทน ค่าประมาณ ณ เวลา t ของ พารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + \Phi b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1 - \gamma)\Phi b_{t-1}$, α, γ และ Φ แทนค่าคงที่การทำให้เรียบโดยที่ $0 < \alpha < 1, 0 < \gamma < 1$ และ $0 < \Phi < 1$, t แทน ช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n , n แทน จำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาจำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยการเปรียบเทียบค่า MAD และ MAPE จากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่า MAD และ RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ MAD และ MAPE (Ket-iam, 2005) ดังนี้

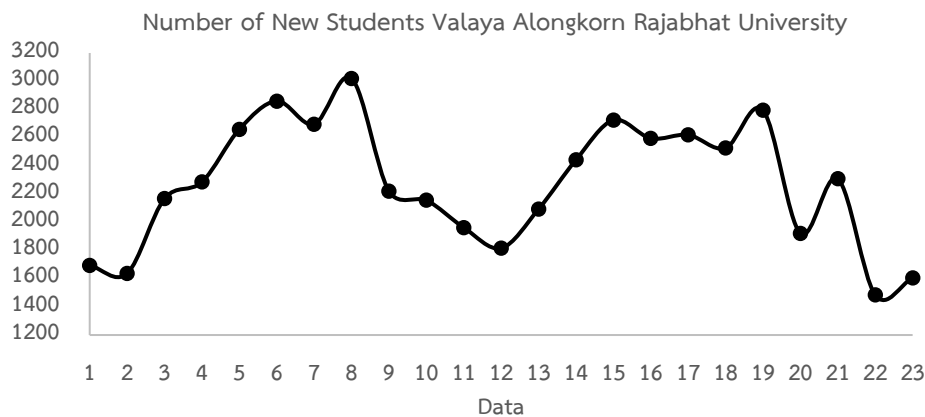
$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t| \text{ และ } MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \quad (10)$$

เมื่อ Y_t แทน ค่าของข้อมูลจริง ณ เวลา t , $\hat{Y}_t$ แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t , n แทน จำนวนข้อมูล

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาของจำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2540 ถึงปีการศึกษา 2562 จำนวน 23 ค่า นำมาสร้างแผนภาพการกระจาย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพการกระจายลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาจำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2540 ถึงปีการศึกษา 2562

จากภาพที่ 1 อนุกรมเวลาจำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2540 ถึงปีการศึกษา 2562 จำนวน 23 ค่า ชุดนี้ไม่มีแนวโน้มและส่วนประกอบของฤดูกาล

การตรวจสอบแนวโน้มด้วยวิธีการทดสอบเครื่องหมาย (sign test) กำหนดสมมติฐานหลักและรองดังนี้ H_0 : อนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้ม กับ H_1 : อนุกรมเวลามีแนวโน้มขึ้นหรือลง เมื่อ จำนวนเครื่องหมายของผลต่างที่เป็นบวก (V) คือ 12 ค่าตัวทดสอบสถิติ คือ $Z = 0.2085$ เมื่อ $\mu_V = 11.5, \sigma = 2.3979$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีช่วงวิกฤติ $CR: |Z| \geq Z_{\alpha/2} = 1.96$ พบว่า $-Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}$ จึงยอมรับ H_0 สรุปได้ว่าอนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้ม

2. ผลการพยากรณ์โดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 ปีการศึกษา

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 ปีการศึกษามีค่า $MAD = 373.43$ และค่า $MAPE = 16.04$ เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าความคลาดเคลื่อน มีการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk $Z = 0.929$, $p\text{-value} = 0.213$) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: $Z = -0.488$, $p\text{-value} = 0.626$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.44$, $p\text{-value} = 0.333$) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Static = 1.875, $p\text{-value} = 0.191$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม นั่นคือ จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2560-2562 มีค่าประมาณ 2413 คน

3. ผลการพยากรณ์โดยวิธีสมการแนวโน้มเส้นตรง

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีสมการแนวโน้มเชิงเส้น ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}(t) = 2155 + 18.0143t \quad (11)$$

เมื่อ $\hat{Y}(t)$ แทน ค่าพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ณ เวลา t โดยวิธีสมการแนวโน้มเส้น t แทน ช่วงเวลาที่พยากรณ์ $t = 21$ ถึง 23 (ปีการศึกษา 2560 ถึง 2562) มีค่า $MAD = 318.95$ $MAPE = 14.3666$ เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk $Z=0.96$, $p\text{-value}=0.553$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.02$, $p\text{-value} = 0.4995$) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Static = 0.575, $p\text{-value} = 0.458$) แต่มีการเคลื่อนไหวไม่เป็นอิสระกัน (Runs Test: $Z = -2.527$, $p\text{-value} = 0.006$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ยังไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากมีข้อสมมติไม่เป็นจริงบางข้อจึงไม่ควรนำไปพยากรณ์

4. ผลการพยากรณ์โดยวิธีสมการแนวโน้มพาราโบลา

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีสมการแนวโน้มพาราโบลาตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}(t) = 1872.557 + 95.0442t - 3.6681t^2 \quad (12)$$

เมื่อ $\hat{Y}(t)$ คือ ค่าพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ณ เวลา t โดยวิธีสมการแนวโน้มพาราโบลา t แทน ช่วงเวลาที่พยากรณ์ $t = 21$ ถึง 23 (ปีการศึกษา 2560 ถึง 2562) มีค่า $MAD = 319.65$ $MAPE = 14.22$ เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อน จากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk $Z=0.963$, $p\text{-value}=0.606$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.001$, $p\text{-value} = 0.5$) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Static = 0.015, $p\text{-value} = 0.903$) แต่มีการเคลื่อนไหวไม่เป็นอิสระกัน (Runs Test: $Z = -2.527$, $p\text{-value} = 0.006$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ยังไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากมีข้อสมมติไม่เป็นจริงบางข้อจึงไม่ควรนำไปพยากรณ์

5. ผลการพยากรณ์โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 11.909 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 25.29, $p\text{-value} = 0.088$) มีค่า $MAD = 268.65$ และ $MAPE = 11.76$ เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk $Z=0.893$, $p\text{-value}=0.031$) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: $Z=0.00$, $p\text{-value} = 1.00$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.211$, $p\text{-value} = 0.4175$) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Static = 0.008, $p\text{-value} = 0.929$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม นั่นคือ จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2560 – 2562 มีค่าประมาณ 1998 คน โดยมีค่าคงที่การปรับเรียบของค่าระดับ $\alpha = 0.9079$

6. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 11.909 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 25.35, $p\text{-value} = 0.064$) มีค่า $MAD = 268.70$ และค่า $MAPE = 11.83$ เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk $Z=0.894$, $p\text{-value}=0.032$) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: $Z=-0.230$, $p\text{-value} = 0.818$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์

($t = -0.02$, $p\text{-value} = 0.492$) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Static = 0.006, $p\text{-value} = 0.939$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 1998.46 - 56.99m \quad (13)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ คือ ค่าพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ณ เวลา $t + m$ โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลต์ m แทน ช่วงเวลาที่พยากรณ์ $m = 1$ ถึง 3 (ปีการศึกษา 2560 ถึง 2562) α และ γ มีค่าเท่ากับ 0.9000283 และ 0.0000066 ตามลำดับ

7. ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 12.081 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 19.09, $p\text{-value} = 0.323$) มีค่า MAD = 277.40 และ MAPE = 12.41 เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk $Z = 0.913$, $p\text{-value} = 0.072$) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: $Z=0.00$, $p\text{-value} = 1.00$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = -0.698$, $p\text{-value} = 0.247$) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Static = 0.061, $p\text{-value} = 0.808$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 2224.59 - 257.28 \left[(m - 1) + \frac{1}{0.6106} \right] \quad (14)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ คือ ค่าพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ณ เวลา $t + m$ โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ m แทน ช่วงเวลาที่พยากรณ์ $m = 1$ ถึง 3 (ปีการศึกษา 2560 ถึง 2562) α มีค่าเท่ากับ 0.6101

8. ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแฉก

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแฉก พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 12.081 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 12.281, $p\text{-value} = 0.087$) มีค่า MAD= 264.5 และ MAPE = 11.59 เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Shapiro-Wilk $Z=0.901$, $p\text{-value}=0.043$) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: $Z=-0.23$, $p\text{-value} = 0.818$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.004$, $p\text{-value} = 0.4985$) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Static = 0.002, $p\text{-value} = 0.969$) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = 2238.95 - 451.22 \sum_{i=1}^m 0.5531^i \quad (15)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ คือ ค่าพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ณ เวลา $t + m$ โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบผสม t แทน ช่วงเวลาที่พยากรณ์ $m = 1$ ถึง 3 (ปีการศึกษา 2560 ถึง 2562) α, γ และ ϕ มีค่าเท่ากับ 0.6194, 0.999 และ 0.5531 ตามลำดับ

9. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบพยากรณ์ ทั้ง 7 วิธี สำหรับการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 คือจำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2560–2562 ได้ค่าพยากรณ์ ค่า MAPE และค่า MAD แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าจริงและค่าพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2560 - 2562 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAD)

Academic year	Number of new students	Number of students from forecasting by method						
		SMA3	Linear	Parabola	Simple	Holt	Brown	Damped
2560	2308	2413	2533	2251	1998	1941	1803	1989
2561	1484	2413	2551	2188	1998	1884	1546	1851
2662	1604	2413	2569	2118	1998	1827	1288	1775
MAPE		39.20	47.29	27.33	24.21	18.92	15.25	16.40
MAD		614.33	752.65	425.15	406.00	330.00	294.33	285.67

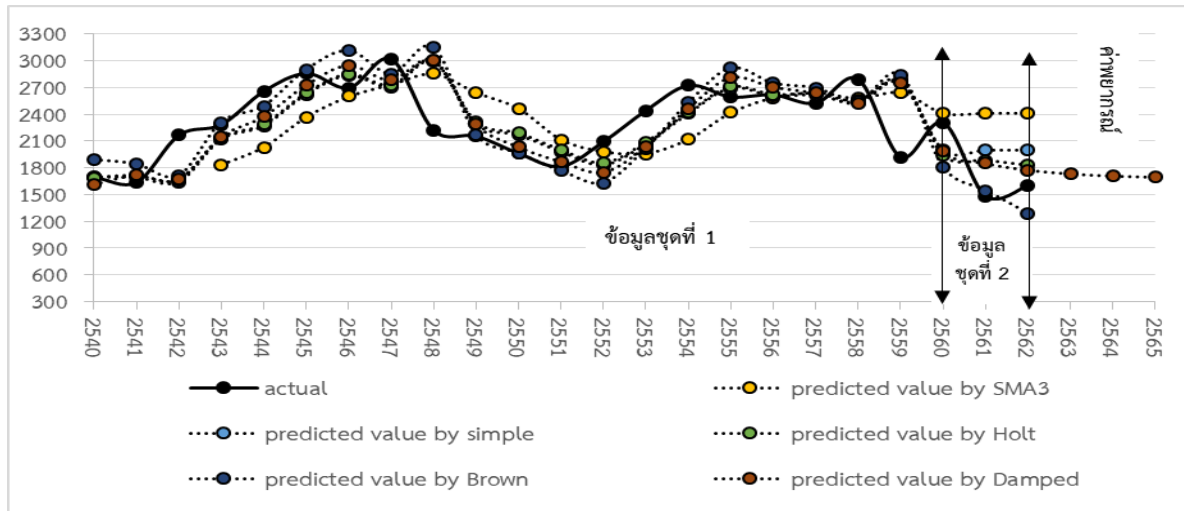
จากตารางที่ 1 พบว่าจากการศึกษาวิธีการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ภายใต้เกณฑ์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) วิธีทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ มีประสิทธิภาพที่สุด ขณะที่ภายใต้เกณฑ์พิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAD) วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบผสม มีประสิทธิภาพที่สุด

อภิปรายผล

การสร้างตัวแบบพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผลการวิจัยพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี ภายใต้เกณฑ์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ มีประสิทธิภาพที่สุด ขณะที่ภายใต้เกณฑ์พิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบผสม มีประสิทธิภาพที่สุด อย่างไรก็ตาม ค่าพยากรณ์ของทั้งสองวิธี มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.065$) เมื่อนำมาพิจารณาด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) พบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบผสม มีค่า RMSE = 297.596 น้อยกว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

ด้วยวิธีของบราวน์ มีค่า RMSE = 345.796 ดังนั้น วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีแนวโน้มแบบแตรมี จึงมีความเหมาะสมสามารถนำตัวแบบไปพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ต่อไป

การเปรียบเทียบอนุกรมเวลาจำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมทั้ง 5 วิธี แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบอนุกรมเวลาจำนวนนักศึกษาใหม่

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมทั้ง 5 วิธี

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าจำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยการพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีแนวโน้มแบบแตรมี มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของศาสตราจารย์คลินิก นพ.อุดม คชินทร รัฐมนตรีช่วยว่าการกระทรวงศึกษาธิการ ปาฐกถาพิเศษเรื่อง “ฝ่าวิกฤตการศึกษาไทยด้วยคุณภาพ” ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านการประกันคุณภาพการศึกษา ครั้งที่ 1 ได้กล่าวว่า ผู้เรียนมีจำนวนลดลง ทั้งในภาพรวมของมหาวิทยาลัยรัฐ ลดลงร้อยละ 10-15 และในมหาวิทยาลัยเอกชนทั้งมหาวิทยาลัยเอกชนขนาดใหญ่ ที่นักศึกษาลดลงร้อยละ 20-30 และกลุ่มมหาวิทยาลัยเอกชนขนาดเล็ก ที่นักศึกษาลดลงมากถึงร้อยละ 50-70 (Ramasuta, 2019)

ข้อเสนอแนะ

วิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแตรมี ที่ใช้พยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่สุดและมีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาในลักษณะที่คล้ายกันได้ แต่การศึกษาจำนวนนักศึกษาใหม่ครั้งต่อไปควรศึกษาจำนวนผู้สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 และอัตราการเกิดของประชากรควบคู่ไปด้วย โดยนำวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบแตรมี มาพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ในปีการศึกษา 2563 มีจำนวน 1733 คน ปีการศึกษา 2564 มีจำนวน 1709 คน ปีการศึกษา 2565 มีจำนวน 1696 คน ปีการศึกษา 2566 มีจำนวน 1689 คน และปีการศึกษา 2567 มีจำนวน 1685 คน พบว่ามีแนวโน้มของจำนวนนักศึกษาใหม่ลดลง

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จึงควรเพิ่มการประชาสัมพันธ์เชิงรุก หรือควรพัฒนาหลักสูตรที่ตรงความต้องการของตลาดแรงงาน หรือควรพัฒนาหลักสูตรระยะสั้น เพื่อเพิ่มความสนใจของนักเรียน นักศึกษาเลือกเข้ามาศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Administrative Affairs and Registration of Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage. (2019). *Student number statistics*. [Online]. Retrieved June 24, 2019, from: http://acad.vru.ac.th/about_acad/ac_StudentActive.php (in Thai)
- Campus-star. (2019). *Critical! Students apply Universities nationwide decreased by 10-15%* [Online]. Retrieved December 11, 2019 from: <https://campus.campus-star.com/education/95239.html> (in Thai)
- IBM Corporation. (2014). *IBM SPSS Statistics Information Center*. [Online]. Retrieved August 22, 2019, from: <http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/spssstat/v20r0m0/index.jsp?>
- Ket-iam, S., (2005). *Forecasting Technique*, 2nd ed., Thaksin University, Songkhla. (in Thai) pp. 9.
- Manmin, M. (2006). *Time Series and Forecasting*. Bangkok: Four Printing Co., Ltd. (in Thai)
- Pinprathomrat, K. (2018). *Revealing the top student enrollment for TCAS, little to worry about both public-private universities affecting Suggest to accelerate to adjust to teach courses for future careers*. [Online]. Retrieved December 11, 2019 from: <http://www.pr.rmutt.ac.th/news/14716> (in Thai)
- Ramasuta, N. (2019). *Break through the crisis of Thai education with quality*. [Online]. Retrieved August 22, 2019, from: <https://www.egov.go.th/th/content/10301/6552/> (in Thai)
- Taesombat, S. (2006). *Quantitative Forecasting*, Kasetsart University, Bangkok, 15 pp. (in Thai)
- Theeraviriya, C. (2017). A Comparison of the Forecasting Method for Electric Energy Demand in Nakhonphanom Province. *Naresuan University Journal: Science and Technology*. 25(4), 124-137. (in Thai)

การวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนคนงานที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนต

อนจ ชัยมณี^{1*}, รัตนา ชั่วทอง²

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Received: 15 October 2019

Revised: 17 January 2020

Accepted: 20 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตกระจกลามิเนตโดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์หาจำนวนพนักงานที่เหมาะสม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตภาพแรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมของกระบวนการผลิต และลดต้นทุนค่าแรงงาน การดำเนินงานเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตและจำนวนแรงงานในสภาวะการทำงานปัจจุบัน เพื่อหาเวลามาตรฐานและรอบเวลาการผลิตของกระบวนการ นำไปสู่การคำนวณผลผลิตภาพแรงงาน ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวม และต้นทุนค่าแรงงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ หลังจากนั้นเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ คือ แผนผังกิจกรรมพหุคูณและแผนภูมิยามาซุมิ ถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาภาระงานของพนักงานแต่ละคน นำไปสู่การลดจำนวนพนักงานลง จากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานพบว่าจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในโหลตหน้า และห้องประกบ คือ 2 คน และ 3 คน ตามลำดับ ทำให้พนักงานทั้งหมดในกระบวนการลดลงเหลือ 7 คน จากเดิม 11 คน ผลการวิจัยพบว่าผลผลิตภาพแรงงานและประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 57.14 และ 17.01 ตามลำดับ ต้นทุนค่าแรงงานในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนตลดลง 581,250 บาทต่อปี

คำสำคัญ: เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ผลผลิตภาพแรงงาน ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวม ต้นทุนค่าแรงงาน

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: anotchaimanee@hotmail.com

The Analysis to Determine Appropriate Number of Labors by Industrial Engineering Tools in Laminate Glass Production Process

Anot Chaimanee^{1,*}, Rattana Khuadthong²

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

Received: 15 October 2019

Revised: 17 January 2020

Accepted: 20 January 2020

Abstract

This research is to study laminate glass production process with the emphasis on the analysis to determine appropriate number of labors. The objectives of this research are to increase labor productivity and overall labor efficiency, and to reduce labor cost. The research process started with studying the production process and number of labors in the current situation in order to find the standard time and the production cycle of the process leading to the calculation of labor productivity, the overall labor efficiency and the labor cost before process improvement. Then, industrial engineering tools, namely, the multiple activity chart and Yamuzumi Chart, were used for considering work load of each employee, resulting in reducing the number of labors. From the work performance process analysis, it was found that the proper number of labors in the First Load and the Splice Room were 2 and 3 persons, respectively. The number of labors was therefore decreased to 7 from 11 persons in aggregate. The study result shows that the labor productivity and the overall labor efficiency increase 57.14 percent and 17.01 percent, respectively, and the labor cost in the laminate glass production process decreases by 581,250 baht per year.

Keywords: Industrial engineering tools, Labor productivity, Overall labor efficiency, Labor cost

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

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท ทรนศึกษา ในงานวิจัยนี้เป็นบริษัทผลิตผลิตภัณฑ์กระจก ซึ่งมีสายการผลิตสินค้าหลายรูปแบบและมีความแตกต่างของคุณลักษณะกระจกตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ในปัจจุบันอัตราการผลิตสินค้าแต่ละแบบมีปริมาณที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสม แต่ปัญหาที่พบในหลายสายการผลิต คือ การจัดสรรกำลังคนที่ไม่สอดคล้องกับอัตราการผลิต ทำให้เกิดการทำงานที่ไม่เต็มอรรถประโยชน์ ซึ่งในปัจจุบันยังขาดการวางแผนและวิเคราะห์กระบวนการทำงานของพนักงานแต่ละคนอย่างละเอียด ที่จะนำไปสู่การหาจำนวนคนงานอย่างเป็นระบบ เพื่อจัดสรรภาระงานที่เหมาะสมแก่พนักงานแต่ละคนในสายการผลิตแสดงให้เห็นถึงการใช้ทรัพยากรการผลิตให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Sirisomphol, 2011) และเป็นการกำจัดความสูญเปล่าทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น (Saranpracha, 2013) บริษัท ทรนศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์กระบวนการทำงานของพนักงานอย่างละเอียด เพื่อนำไปสู่การหาจำนวนคนงานที่เหมาะสม และสร้างดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้กระบวนการผลิตกระจกลามิเนตเป็นกรณีศึกษาโดยมุ่งเน้นการจัดสรรจำนวนพนักงานที่เหมาะสม เนื่องจากมีการสั่งซื้อจากลูกค้าค่อนข้างมาก และในปัจจุบันพนักงานในสายการผลิตกระจกลามิเนตมีทั้งหมด 11 คน แต่ละคนมีภาระงานที่แตกต่างกัน ซึ่งตามมาตรฐานการคิดค่าแรงงานของโรงงานสามารถคิดค่าแรงงานได้ 1,598,437.50 บาทต่อปี จากการพิจารณาการปฏิบัติงานสังเกตได้ว่าพนักงานในสายการผลิตกระจกลามิเนตมีการว่างงานหลายตำแหน่ง มีแนวโน้มการทำงานที่ไม่เต็มอรรถประโยชน์ แสดงให้เห็นว่ามีต้นทุนค่าแรงที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น จากเป้าหมายและสถานะปัญหาดังกล่าวข้างต้น ส่งผลให้งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการวิเคราะห์การปฏิบัติงานของพนักงานอย่างละเอียด เพื่อจัดภาระงานใหม่ให้แก่พนักงาน ทำให้ได้จำนวนพนักงานที่เหมาะสม โดยใช้ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน คือ ผลิตภาพแรงงาน และประสิทธิภาพโดยรวมของพนักงาน เพื่อชี้วัดว่าพนักงานมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น นำไปสู่การลดต้นทุนค่าแรงงานที่ไม่จำเป็นในสายการผลิต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

หาจำนวนแรงงานที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลิตภาพแรงงาน และประสิทธิภาพโดยรวมของพนักงาน นำไปสู่การลดต้นทุนค่าแรงงานในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนต

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตปัจจุบัน ซึ่งต้องเก็บข้อมูลเวลาการทำงานของกระบวนการย่อย เพื่อคำนวณหาเวลาปกติและเวลามาตรฐาน นำไปสู่การปรับปรุงผลิตภาพแรงงาน รวมถึงประสิทธิภาพแรงงานโดยรวม สมการที่ใช้คำนวณจำนวนข้อมูลที่เหมาะสม (N) และการหาเวลามาตรฐาน (Kanjapanyakom, 2009) เริ่มจากสมการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงของค่าเฉลี่ย ($\sigma_{\bar{x}}$) แสดงดังสมการที่ (1)

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\frac{1}{n} \sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

โดย x_i = ค่าเวลาที่ i ของงานย่อย, n = จำนวนข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง, N = จำนวนข้อมูลแท้จริงของการศึกษางานย่อย

จากสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดมากกว่า 30 ข้อมูล จะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ค่าการแจกแจงปกติมาตรฐานของค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ที่ระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ คือ $Z_{\alpha/2} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$ โดยทั่วไปการศึกษาเวลาการทำงานจะทำให้ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$ นั่นคือ $|\bar{x} - \mu| = 0.05\bar{x}$ ดังนั้น $0.05\bar{x} = Z_{0.975} \times \sigma_{\bar{x}}$ ($Z_{0.975} = 1.96 \approx 2$) ดังนั้นจึงเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดังสมการที่ (2)

$$0.05 \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 2\sigma_{\bar{x}} \quad (2)$$

แทนค่า $\sigma_{\bar{x}}$ จากสมการที่ (1) ลงในสมการที่ (2) จึงสามารถสร้างสมการหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสม คือ

$$N = \left[40 \frac{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}{\sum_{i=1}^n x_i} \right]^2 \quad (3)$$

ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Relative Accuracy; *rel.acc.*) แสดงดังสมการที่ (4)

$$rel.acc. = \frac{Z_{\alpha/2} \times \sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4)$$

ถ้าหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมจากสมการที่ (3) แล้วค่า N มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนข้อมูลตัวอย่าง แสดงว่าจำนวนข้อมูลตัวอย่างมีความเหมาะสมที่ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ในระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อทำการทดสอบข้อมูลผ่านแล้วจึงนำไปใช้ในการคำนวณหาเวลาปกติ (Normal Time; NT) ของกระบวนการ แสดงดังสมการที่ (5)

$$NT = RT \times RF \quad (5)$$

โดย RT = เวลาตัวแทนของกระบวนการ, RF = ค่าปรับความเร็ว

ค่าปรับอัตราเร็วจะใช้วิธีการ Westinghouse เป็นการให้คะแนนองค์ประกอบเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน คือ ทักษะ (Skill) มีคะแนนในช่วง $[-0.22, +0.15]$ ความพยายาม (Effort) มีคะแนนในช่วง $[-0.17, +0.13]$ สภาพการทำงาน (Conditions) มีคะแนนในช่วง $[-0.07, +0.06]$ และความคงเส้นคงวา (Consistency) มีคะแนนในช่วง $[-0.04, +0.04]$ ทั้งนี้ถ้าคะแนนองค์ประกอบเป็นลบแสดงว่าพนักงานทำงานล่าช้า คะแนนเป็นศูนย์แสดงว่าพนักงานทำงานอยู่ที่ค่าเฉลี่ย คะแนนเป็นบวกแสดงว่าพนักงานทำงานเร็วกว่าปกติ หลังจากนั้นจึงนำเวลาปกติไปคำนวณเวลามาตรฐาน (Standard Time; $STD.T$) ของกระบวนการแสดงดังตารางที่ (6)

$$STD.T = NT + (NT \times AF) \quad (6)$$

โดย AF = เวลาเฟื่อ

เวลาเพื่อแสดงถึงเวลาสำหรับการเกิดความล่าช้าในการทำงานซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ค่าเผื่อส่วนบุคคล (Personal Allowance) ค่าเผื่อสำหรับความเครียด (Fatigue Allowance) และค่าเผื่อสำหรับความล่าช้า (Delay Allowance) เมื่อได้ค่าเวลามาตรฐานของกระบวนการแล้วจึงคำนวณหาผลิตภาพแรงงานแสดงดังสมการที่ (7) และการคำนวณประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมซึ่งประยุกต์มาจากการหาประสิทธิภาพสายการผลิตโดยรวม (Lalitaporn, 2013) แสดงดังสมการที่ (8)

$$\text{ผลิตภาพแรงงาน} = \frac{\text{ผลผลิต}}{\text{จำนวนแรงงาน}} \quad (7)$$

$$\text{ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวม} = \frac{\text{เวลาการดำเนินงานรวม}}{\text{รอบเวลาการผลิต} \times \text{จำนวนคนงาน}} \times 100\% \quad (8)$$

ในอดีตมีงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการที่หลากหลาย Sirisomphol (2011) ใช้หลักการ ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิตในการประกอบแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่น ทำให้ลดความสูญเสียจากเวลาว่างงานของพนักงานลงได้ Fiallo & Howell (2012) ใช้รอบเวลาการผลิต (Takt Time) เข้ามาใช้พิจารณาเพื่อแก้ปัญหาเรื่องอัตราการผลิตไม่ตรงกับเป้าหมาย ผลการดำเนินงานพบว่าปริมาณการผลิตสินค้าในแต่ละวันตรงตามเป้าหมายที่วางไว้มากขึ้น Veerasuksawad et al. (2012) ใช้หลักการ ECRS จัดการของพนักงานให้สมดุลและเพิ่มอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการทำงานของกระบวนการบรรจุตัวหมึกพิมพ์เลเซอร์ทำให้สามารถลดเวลาในการบรรจุตัวหมึกลงได้ Saranpracha (2013) ใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบโตโยต้าร่วมกับเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ วิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตขึ้นส่วนเบาะที่นั่งรถยนต์ ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดพนักงานและพื้นที่ของกระบวนการผลิตลงได้ Sriwarom et al. (2014) ได้วิจัยเพื่อแก้ปัญหาด้านกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานเมื่อมีความต้องการสินค้าเพิ่มมากขึ้น การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ตรงกับความต้องการ แนวคิดวิศวกรรมคุณค่าเพื่อให้ผลการผลิตยังคงคุณค่าของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ผลการวิจัยพบว่าอัตราการผลิตและคุณภาพของสินค้าตรงกับความต้องการของลูกค้า Phannikul et al. (2014) ใช้การศึกษางาน และเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการลดต้นทุนด้านเวลาและแรงงานสำหรับกระบวนการผลิตจักรยาน และทำให้รอบเวลาการผลิตลดลง Mounghmoon (2016) จัดทำเวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตกล่องลูกฟูกเพื่อหาคอขวดของกระบวนการ และใช้หลักการ ECRS เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต ผลการศึกษาสามารถลดเวลาในกระบวนการคอขวดได้ Poonikom (2017) ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อมาวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการของโรงงานผลิตน้ำดื่มทำให้สามารถลดเวลาสูญเสียในการทำงานลงได้ Athikulrat (2017) ใช้การศึกษางานและหลักการเคลื่อนไหวของมือเพื่อปรับปรุงการทำงานของสายการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดรอบเวลาการผลิตและเพิ่มอัตราการผลิตของกระบวนการ Sriyom et al. (2018) ใช้แผนภูมิการไหลเพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน ทำให้ลด ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำงาน และลดเวลาการผลิตลงได้ Cheewaworanontree et al. (2018) ใช้เทคนิคการศึกษาเวลาและการเคลื่อนไหว เพื่อหาเวลามาตรฐานของกระบวนการทดสอบความดันระยะสั้นของท่อพีวีซีแข็งซึ่งเป็นคอขวดของกระบวนการผลิต หลักการ ECRS ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงการผลิต ผลการวิจัยพบว่าจำนวนงานย่อยลดลงและสามารถลดเวลาของกระบวนการคอขวดลงได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาขั้นตอนการทำงานปัจจุบันและการหาเวลามาตรฐาน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาจำนวนแรงงานที่เหมาะสม จึงต้องทำการศึกษาระบวนการผลิตและจำนวนแรงงานในสภาวะการทำงานปัจจุบัน เพื่อหาเวลามาตรฐานและรอบเวลาการผลิต (Takt Time) นำไปสู่การหาผลิตภาพแรงงาน และประสิทธิภาพแรงงานโดยรวม ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ จากการศึกษากระบวนการผลิตกระจกลามิเนต พบว่ามี 24 ขั้นตอน ประกอบด้วยพนักงานทั้งหมด 11 คน แบ่งเป็น 3 กระบวนการหลัก คือ 1) โหลดหน้า (First Load) ประกอบด้วย 8 กระบวนการย่อย มีพนักงาน 4 คน 2) ห้องประกบ (Splice Room) ประกอบด้วย 12 กระบวนการย่อย มีพนักงาน 5 คน และ 3) โหลดหลัง (Last Load) ประกอบด้วย 4 กระบวนการย่อย มีพนักงาน 2 คน การวิเคราะห์กระบวนการเริ่มจากเก็บข้อมูลเวลาการผลิตของแต่ละขั้นตอน และทดสอบความพอเพียง โดยใช้สมการที่ (3) การจับเวลาการผลิตของแต่ละงานย่อยเริ่มจาก 30 ข้อมูล พบว่ามีอยู่ 1 กระบวนการที่ข้อมูลไม่พอเพียง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเก็บข้อมูลเวลาของแต่ละงานย่อยจำนวน 40 ค่า แล้วทดสอบความพอเพียงของข้อมูลใหม่ หลังจากนั้นจึงคำนวณหาเวลาปกติและเวลามาตรฐานจากสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างขั้นตอนการคำนวณหาเวลามาตรฐานของกระบวนการลบคมกระจก จากการจับเวลาการทำงาน 40 ข้อมูล พบว่า $\bar{x} = 14.70$, $\sum_{i=1}^n x_i^2 = 8730.90$ และ $\sum_{i=1}^n x_i = 588.07$ สามารถคำนวณจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมได้ คือ

$$N = \left(40 \frac{\sqrt{40(8730.90) - (588.07)^2}}{588.07} \right)^2 = 15.78$$

จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าจำนวนข้อมูล 40 ค่ามีความพอเพียง ดังนั้นจึงสามารถใช้เวลาการทำงานเฉลี่ยเป็นเวลาตัวแทนได้ โดยค่าปรับความเร็วจากการประเมินของหัวหน้าแผนกกระจกลามิเนต คือ skill = 0.08, effort = 0.08, Conditions = 0.02, Consistency = 0.01 ให้คะแนนรวมค่าปรับความเร็ว คือ 0.19 หมายความว่าพนักงานทำงานเร็วกว่าปกติร้อยละ 19 ทำให้สามารถคำนวณเวลาปกติได้ คือ

$$\text{เวลาปกติ} = 14.70 \times 1.19 = 17.49 \text{ วินาที}$$

เมื่อได้เวลาปกติแล้วจึงหาเวลามาตรฐาน โดยกำหนดค่าเผื่อบุคคลร้อยละ 5 ค่าเผื่อความเครียดร้อยละ 4 (Kanjapanyakom, 2009) และค่าเผื่อความล้าช้าร้อยละ 5 ทั้งนี้ในกระบวนการง่ายๆ เช่น การกดปุ่มให้เครื่องจักรทำงานจะไม่คำนึงถึงค่าเผื่อความเครียด

$$\text{เวลามาตรฐาน} = 17.49 + (17.49 \times 0.14) = 19.94 \text{ วินาที}$$

การหาเวลามาตรฐานของแต่ละกระบวนการย่อยสามารถคำนวณได้ในลักษณะเดียวกันกับกระบวนการลบคมกระจก ผลการหาเวลามาตรฐานแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการคำนวณเวลามาตรฐานของแต่ละกระบวนการย่อย

ลำดับ	โหนดหน้า	$\bar{x}$	RF	NT	AF	STD.T
1	เปิดผ้าคลุมกระจกออก/แกะเชือก	3.25	1.00	3.25	14.00%	3.71
2	เคลื่อนย้ายกระจกจากรถเข็นไปโต๊ะพัก	5.18	1.19	6.17	14.00%	7.03
3	ลบคมกระจก	14.70	1.19	17.49	14.00%	19.94
4	ตรวจสอบรอยบนกระจก	24.55	1.00	24.55	14.00%	27.99
5	เคลื่อนย้ายกระจกจากโต๊ะพักไปโต๊ะโหลด	5.43	1.19	6.46	14.00%	7.36
6	จัดตำแหน่งกระจกบนโต๊ะโหลด	4.95	1.00	4.95	14.00%	5.64
7	โหลดกระจกก่อนเข้าเครื่องล้าง	29.09	1.00	29.09	10.00%	32.00
8	เข้าเครื่องล้างกระจกเพื่อทำความสะอาด	94.87	1.00	94.87	10.00%	104.36
	ห้องประกอบ					
9	เคลื่อนย้ายกระจกแผ่นที่ 1 เพื่อไปจุดพักกระจก	29.45	1.00	29.45	10.00%	32.40
10	เคลื่อนย้ายกระจกไปโต๊ะพักเพื่อเตรียมปูฟิล์ม	23.18	1.00	23.18	10.00%	25.50
11	วัดขนาดกระจก (แผ่นที่ 1)	11.79	1.14	13.44	14.00%	15.32
12	ขีดกระจก (แผ่นที่ 1)	25.63	1.14	29.22	14.00%	33.31
13	ปูฟิล์มบนกระจก	13.07	1.14	14.90	14.00%	16.98
14	รีดฟิล์ม	9.17	1.14	10.46	14.00%	11.92
15	เคลื่อนย้ายกระจกแผ่นที่ 2 เพื่อไปจุดพักก่อนไปประกอบ	27.98	1.00	27.98	14.00%	31.90
16	ดูดกระจก (แผ่นที่ 2)	7.25	1.00	7.25	10.00%	7.97
17	กดปุ่มปล่อยกระจกแผ่นที่ 2 ไปประกอบกระจกแผ่นที่ 1 และขีดกระจก	49.20	1.14	56.09	14.00%	63.94
18	ปรับขอบกระจกให้ตรงกัน	4.70	1.00	4.70	14.00%	5.36
19	ตัดขอบฟิล์ม	13.26	1.28	16.98	14.00%	19.35
20	ปล่อยกระจกเข้าเครื่องรีดแอล	15.84	1.00	15.84	10.00%	17.43
	โหลดหลัง					
21	โหลดให้ความร้อนกระจก	320.09	1.00	320.09	10.00%	352.10
22	เคลื่อนย้ายกระจกไปยังโต๊ะเอียง	198.33	1.00	198.33	10.00%	218.16
23	กดปุ่มปล่อยกระจกเพื่อโหลดกระจกเข้าโต๊ะเอียง	8.38	1.00	8.38	10.00%	9.22
24	ยกกระจกขึ้นแร็คเพื่อเตรียมเข้าเตา Auto Clave	57.84	1.27	73.46	14.00%	83.74

จากตารางที่ 1 พบว่าเวลารวมของงานย่อยคือ 1152.63 วินาที และขั้นตอนที่ 21 เป็นกระบวนการคอขวด (Bottleneck Process) มีเวลาการผลิต คือ 352.10 วินาที ซึ่งเป็นตัวกำหนดรอบเวลาการผลิตของกระบวนการ จากเวลาการปฏิบัติงานและสภาวะการทำงานปัจจุบัน ทำให้ทราบอัตราการผลิตต่อหนึ่งวันทำงาน (11 ชั่วโมง) เท่ากับ $(1/352.10) \times 3600 \times 11 = 112.47$ ชิ้น ทั้งนี้ในแต่ละเดือนมีจำนวนวันทำงานเฉลี่ย 25 วัน ดังนั้นอัตราการผลิตต่อหนึ่งปี เท่ากับ $112.47 \times 25 \times 12 = 33,741$ ชิ้น ข้อมูลจากกระบวนการผลิตปัจจุบัน ทำให้สามารถคำนวณผลิตภาพแรงงาน และประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมได้ คือ

$$\text{ผลิตภาพแรงงาน} = \frac{33,741}{11} = 3,067.36 \text{ ชิ้น/คน/ปี}$$

$$\text{ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวม} = \frac{1152.63}{352.10 \times 11} \times 100\% = 29.76\%$$

สามารถคำนวณต้นทุนค่าแรงงานต่อปีจากกระบวนการผลิตปัจจุบันได้ คือ

ค่าแรงงานต่อปี = (ค่าแรงต่อคนต่อวัน) x (จำนวนพนักงาน) x (จำนวนวันทำงานเฉลี่ย/เดือน) x (จำนวนเดือน/ปี)

ค่าแรงปกติต่อวันคือ 310 บาท และค่าแรงล่วงเวลาเท่ากับ 1.5 เท่าของค่าแรงปกติ จากหนึ่งวันทำงาน 11 ชั่วโมง แบ่งเป็นเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมง และล่วงเวลา 3 ชั่วโมง จะสามารถคำนวณค่าแรงงานต่อปีได้ คือ

$$\text{ค่าแรงงานต่อปี} = [310 + (3 \times 1.5 \times \frac{310}{8})] \times 11 \times 25 \times 12 = 1,598,437.50 \text{ บาท/ปี}$$

จากผลิตภาพแรงงานและประสิทธิภาพแรงงานโดยรวม พบว่าพนักงาน 1 คน สามารถผลิตกระจกลามิเนตได้ 33,741 ชิ้นต่อปี ซึ่งโดยรวมแล้วคนงานมีการทำงานร้อยละ 29.76 และเป็นการว่างงานร้อยละ 70.24 และมีค่าแรงงานเท่ากับ 1,598,437.50 บาทต่อปี ถ้าพิจารณาประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมจะเห็นว่ามียอรรถประโยชน์การว่างงานสูง งานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์การทำงานของพนักงานเพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมทำให้ผลิตภาพแรงงานและประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมเพิ่มขึ้น รวมถึงเป็นการลดต้นทุนค่าแรงงาน

การวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสม

การวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมเริ่มจากการพิจารณาภาระงานของพนักงานแต่ละคนอย่างละเอียด จากแผนผังกิจกรรมพหุคูณ (Multiple Activity Chart) แสดงดังตารางที่ 2 ถึง 4 พื้นที่แรเงาสีเทาแสดงการทำงานร่วมกันระหว่างคนกับเครื่องจักร พื้นที่แรเงาสีดำแสดงการทำงานอิสระระหว่างคนและเครื่องจักร พื้นที่สีขาวแสดงการว่างงานของพนักงาน

ตารางที่ 2 แผนผังกิจกรรมพหุคูณของการทำงานของโหลตหน้าก่อนการปรับปรุง

พนักงาน								เครื่องจักร	เวลา (วินาที)
พนักงานคนที่ 1	เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 2	เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 3	เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 4	เวลา (วินาที)		
1.เปิดฝักคลุมกระจกและแกะเชือก	4.55	1.เปิดฝักคลุมกระจกและแกะเชือก	5.10	1.คอย	57.17	1.คอย	14.36	เครื่องจักรทำงานตลอดเวลา	
2.เดิน	5.26	2.เดิน	6.22			2.ลบคมกระจก	20.30		
3.วางกระจกบนโต๊ะพัก	3.38	3.วางกระจกบนโต๊ะพัก	3.04			3.ตรวจสอบรอยบนกระจก	20.42		
4.คอย	40.72	4.คอย	40.72			4.คอย	2.09		
5.ยกกระจกจากโต๊ะพัก	2.09	5.ยกกระจกจากโต๊ะพัก	1.78			5.เดิน	4.03		
6.เดิน	3.57	6.เดิน	5.12	2.เดิน	4.98	6.เปิดฝักคลุมกระจกและแกะเชือก	4.13		
7.วางกระจกบนโต๊ะโหลต	3.67	7.วางกระจกบนโต๊ะโหลต	3.19	3.เปิดฝักคลุมกระจก/แกะเชือก	4.23	7.เดิน	5.56		
8.จัดตำแหน่งกระจกบนโต๊ะโหลต	5.76	8.จัดตำแหน่งกระจกบนโต๊ะโหลต	7.59	4.เดิน	5.72	8.วางกระจกบนโต๊ะพัก	2.68		
9.คอย	3.13	9.คอย	3.13	5.วางกระจกบนโต๊ะพัก	3.13	9.ลบคม	20.30		
10.เดิน	5.56	10.เดิน	5.56	6.คอย	34.74	10.คอย	29.18		
11.ตรวจสอบรอยบนกระจก	29.18	11.ตรวจสอบรอยบนกระจก	24.11	7.ยกกระจกจากโต๊ะพัก	2.74	11.ยกกระจกจากโต๊ะพัก	2.25		
12.คอย	18.14	12.คอย	18.14	8.เดิน	5.25	12.เดิน	4.97		
				9.วางกระจกบนโต๊ะโหลต	4.35	13.วางกระจกบนโต๊ะโหลต	3.62		
				10.คอย	5.80	14.จัดตำแหน่งกระจกบนโต๊ะโหลต	5.80		

ตารางที่ 3 แผนผังกิจกรรมพหุคูณของการทำงานของห้องประกบก่อนการปรับปรุง

พนักงาน											เครื่องจักร	เวลา (วินาที)		
พนักงานคนที่ 5	เวลา (วินาที)		พนักงานคนที่ 6	เวลา (วินาที)		พนักงานคนที่ 7	เวลา (วินาที)		พนักงานคนที่ 8	เวลา (วินาที)			พนักงานคนที่ 9	เวลา (วินาที)
1.กดปุ่มปล่อยกระชก	25.01		1.คอย	39.94		1.คอย	39.94		1.คอย	39.94		1.คอย	25.01	
2.คอย	14.93											2.วัดขนาดกระชก	14.93	
3.เขັดกระชกแผ่นที่ 1	42.35		2.เขັดกระชกแผ่นที่ 1	48.47		2.เขັดกระชกแผ่นที่ 1	42.13		2.เขັดกระชกแผ่นที่ 1	39.09		3.เดิน	4.35	
												4.เขັคขนาดที่สี่	31.54	
												5.เดินไปวางที่สี่	5.71	
												6.วางที่สี่	2.91	
4.หยิบที่สี่	14.42		3.คอย	14.42		3.คอย	14.42		3.คอย	14.42		7.เขียนข้อมูล	35.48	
5.ปูที่สี่บนกระชก	16.16		4.ปูที่สี่บนกระชก	17.10		4.ปูที่สี่บนกระชก	9.58		4.ปูที่สี่บนกระชก	21.26		8.เดิน	4.29	
6.รีดที่สี่	17.70		5.รีดที่สี่	19.06		5.คอย	23.62		5.คอย	23.62		9.คอย	95.94	
7.เดิน	5.26	6.เดิน	4.56											
8.กดปุ่มกระชกแผ่นที่ 2 มาประกบ	14.87		7.เขັดกระชกแผ่นที่ 2	46.02		6.เขັดกระชกแผ่นที่ 2	40.50		6.เขັดกระชกแผ่นที่ 2	39.66				
9.คอย	35.16													
10.ปรับขอบกระชก	7.85		9.ปรับขอบกระชก	6.41		8.ปรับขอบกระชก	6.32		8.ปรับขอบกระชก	6.61				
11.ตัดขอบที่สี่	15.10		10.ตัดขอบที่สี่	12.35		9.ตัดขอบที่สี่	13.11		9.ตัดขอบที่สี่	16.58				

ตารางที่ 4 แผนผังกิจกรรมพหุคูณของการทำงานของโหลดหลังก่อนการปรับปรุง

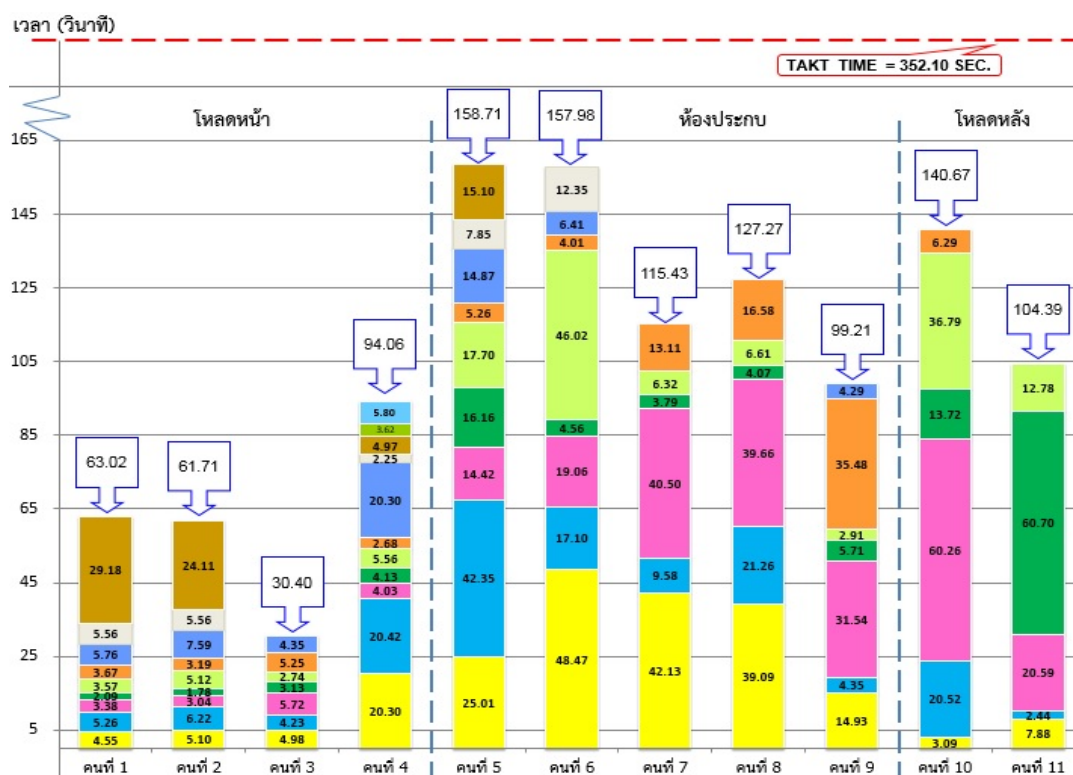
พนักงาน						เครื่องจักร	เวลา
พนักงานคนที่ 10	เวลา		พนักงานคนที่ 11	เวลา			
	วินาที			วินาที			
1.คอย	7.88		1.กดปุ่มปล่อยกระชกไหลไปโต๊ะเอียง	7.88		เครื่องจักร ทำงาน ตลอดเวลา	
2.ยกกระชกจากโต๊ะเอียง	3.09		2.ยกกระชกจากโต๊ะเอียง	2.44			
3.เดินไปเก็บกระชกยังรถเข็น	20.52		3.เดินไปเก็บกระชกยังรถเข็น	20.59			
4.วางกระชกบนรถเข็น Rack A	60.26		4.วางกระชกบนรถเข็น Rack A	60.70			
5.เดินกลับมายังโต๊ะคอมพิวเตอร์	13.72		5.เดินกลับมายังโต๊ะโหลด	12.78			
6.เขียนข้อมูลที่รีดแอลเสร็จ	36.79		6.คอย	43.08			
7.เดินไปยังโต๊ะโหลด	6.29						

จากแผนผังกิจกรรมพหุคูณสามารถหาค่าอัตราประโยชน์ของพนักงานได้ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราประโยชน์ของพนักงานก่อนการปรับปรุง

	โหลดหน้า				ห้องประกบ					โหลดหลัง	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	คนที่ 8	คนที่ 9	คนที่ 10	คนที่ 11
เวลาร่างงาน (วินาที)	61.99	61.99	97.71	45.63	50.09	54.35	77.97	77.97	120.95	7.88	43.08
เวลาทำงาน (วินาที)	63.02	61.71	30.40	94.06	158.71	157.98	115.43	127.27	99.21	140.67	104.39
เวลาทั้งหมด (วินาที)	125.01	123.70	128.11	139.69	208.80	212.33	193.41	205.24	220.16	148.55	147.47
สัดส่วนการทำงาน (ร้อยละ)	50.41	49.89	23.73	67.33	76.01	74.40	59.68	62.01	45.06	94.70	70.79

จากแผนผังกิจกรรมพหุคูณและอรรถประโยชน์พนักงาน พบว่าพนักงานแต่ละคนมีภาระงานแตกต่างกัน บางขั้นตอนมีการทำงานร่วมกันจากพนักงานตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป เช่น การเปิดผ้าคลุมกระจกและแกะเชือก การเช็ดกระจก เป็นต้น บางขั้นตอนปฏิบัติงานใช้พนักงานเพียง 1 คน เช่น ลบคมกระจก ตรวจสอบรอยบนกระจก เป็นต้น การผลิตหลายขั้นตอนเป็นการปฏิบัติงานที่ต่อเนื่องไม่สามารถทำขนานกันได้และเกิดจากการทำงานของพนักงานคนละคน เช่น เปิดผ้าคลุมกระจกและแกะเชือก หลังจากนั้นจึงลบคมและตรวจสอบรอยบนกระจก เป็นต้น ทั้งนี้จากแผนผังกิจกรรมพหุคูณจะเห็นว่าการว่างงานของพนักงานเกิดขึ้น ส่งผลให้อรรถประโยชน์ของพนักงานพบว่าส่วนใหญ่มีค่าที่ไม่สูงมากนัก จึงวิเคราะห์ได้ว่าสามารถเพิ่มผลิตภาพแรงงานและประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมจากกระบวนการทำงานปัจจุบันได้ แผนภูมียามาซุมิถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานแต่ละคนเปรียบเทียบกับเวลาของกระบวนการคอดแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมียามาซุมิก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต

แผนภูมียามาซุมิเป็นการยืนยันว่าสามารถจัดการงานใหม่แก่พนักงานได้เนื่องจากเวลาการทำงานยังมีค่าน้อยกว่ารอบเวลาการผลิต นำไปสู่การหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในสายการผลิตได้

การหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสม

ก่อนดำเนินการปรับภาระงานของพนักงาน Why-Why Analysis แสดงดังตารางที่ 6 ถูกนำมาใช้เพื่อการพิจารณาหาสาเหตุของเวลาว่างงานในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 6 Why-Why Analysis

ทำไม	คำถาม	คำตอบ
Why 1	ทำไมพนักงานถึงมีเวลาว่างงาน	- รอการทำงานของกระบวนการก่อนหน้าจากการปฏิบัติงานของพนักงานอีกคน - รอการทำงานของเครื่องจักร
Why 2	ทำไมพนักงานต้องรอการทำงานของกระบวนการก่อนหน้า	- เพราะเป็นงานต่อเนื่องไม่สามารถทำขนานกันได้
Why 3	สามารถเพิ่มความเร็วเครื่องจักรได้หรือไม่เพื่อให้พนักงานเกิดการรอคอยสั้นลง	- ไม่ได้เนื่องจากความเร็วเครื่องจักรถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐาน

การวิเคราะห์จาก Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุของการว่างงานของพนักงานเกิดจากการรอคอยงานจากพนักงานอีกชุดหนึ่ง (1 คนหรือมากกว่า) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วงานที่ต่อเนื่องกันนั้นสามารถปฏิบัติได้จากพนักงานชุดเดียวกันได้ ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการทำงานจะใช้แนวคิดการรวมงาน (Combination) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิธี ECRS เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิมาซุมิ พบว่า **โหลตหน้า** สามารถกระจายภาระงานของพนักงานคนที่ 3 และ 4 ให้พนักงานคนที่ 1 และ 2 ได้ **ห้องประกอบ** สามารถกระจายภาระงานของพนักงานคนที่ 7 และ 8 ให้กับพนักงานคนที่ 5 และ 6 ได้ **โหลตหลัง** ไม่มีการเปลี่ยนแปลงภาระงาน เนื่องจากต้องใช้พนักงานอย่างน้อย 2 คน ในการปฏิบัติงานซึ่งเป็นข้อจำกัดของกระบวนการผลิต การปรับภาระงานของพนักงานจะได้แผนผังกิจกรรมพหุคูณดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 แผนผังกิจกรรมพหุคูณของการทำงานของโหลตหน้าหลังการปรับปรุง

พนักงาน				เครื่องจักร	เวลา (วินาที)
พนักงานคนที่ 1	เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 2	เวลา (วินาที)		
1. เปิดผ้าคลุมกระจก/แกะเชือก	4.55	1. เปิดผ้าคลุมกระจก/แกะเชือก	5.10	เครื่องจักรทำงานตลอดเวลา	
2. เดิน	5.26	2. เดิน	6.22		
3. วางกระจกบนโต๊ะพัก	3.38	3. วางกระจกบนโต๊ะพัก	3.04		
4. คอย	20.30	4. ลบคมกระจก	20.30		
5. ตรวจสอบรอยบนกระจก	29.18	5. คอย	29.18		
6. ยกกระจกจากโต๊ะพัก	2.09	6. ยกกระจกจากโต๊ะพัก	1.78		
7. เดิน	3.57	7. เดิน	5.12		
8. วางกระจกบนโต๊ะโหลต	3.67	8. วางกระจกบนโต๊ะโหลต	3.19		
9. จัดตำแหน่งกระจกบนโต๊ะโหลต	5.76	9. จัดตำแหน่งกระจกบนโต๊ะโหลต	7.59		
10. เดิน	5.56	10. เดิน	5.56		
11. เปิดผ้าคลุมกระจก/แกะเชือก	4.23	11. เปิดผ้าคลุมกระจก/แกะเชือก	4.13		
12. เดิน	5.72	12. เดิน	5.56		
13. วางกระจกบนโต๊ะพัก	3.13	13. วางกระจกบนโต๊ะพัก	2.68		
14. คอย	22.98	14. ลบคม	20.30		
15. ยกกระจกจากโต๊ะพัก	2.74	15. ตรวจสอบรอยบนกระจก	24.11		
16. เดิน	5.25	16. ยกกระจกจากโต๊ะพัก	2.25		
17. วางกระจกบนโต๊ะโหลต	4.35	17. เดิน	4.97		
18. คอย	5.80	18. วางกระจกบนโต๊ะโหลต	3.62		
		19. จัดตำแหน่งกระจกบนโต๊ะโหลต	5.80		

ตารางที่ 8 แผนผังกิจกรรมพหุคูณของการทำงานของห้องประคบหลังการปรับปรุง

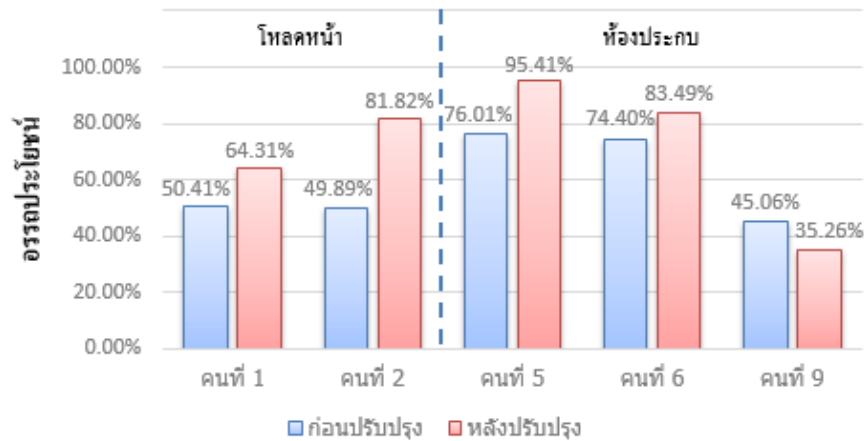
พนักงาน							เครื่องจักร	เวลา (วินาที)		
พนักงานคนที่ 5	เวลา (วินาที)		พนักงานคนที่ 6	เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 9	เวลา (วินาที)				
1. กดปุ่มปล่อยกระจก	25.01		1. คอย	39.94	1. คอย	25.01	เครื่องจักร ทำงาน ตลอดเวลา			
2. คอย	14.93				2. วัดขนาดกระจก	14.93				
3. เช็ดกระจกแผ่นที่ 1	82.43		2. เช็ดกระจกแผ่นที่ 1	88.55		3. เดิน		4.35		
						4. เช็ดขนาดฟิล์ม		31.54		
						5. เดินไปวางฟิล์ม		5.71		
						6. วางฟิล์ม		2.91		
4. หยิบฟิล์ม	14.42		3. คอย	14.42		7. เขียนข้อมูล		35.48		
5. ปูฟิล์มบนกระจก	31.58		4. ปูฟิล์มบนกระจก	32.52		8. เดิน		4.29		
6. รีดฟิล์ม	17.70		5. รีดฟิล์ม	19.06	9. คอย	157.13				
7. เดิน	5.26		6. เดิน	4.56						
8. กดปุ่มกระจกแผ่นที่ 2 มาประกบ	14.87	7. เช็ดกระจกแผ่นที่ 2	86.10							
9. เช็ดกระจกแผ่นที่ 2	71.23									
10. เดิน	3.79	8. เดิน	4.01							
11. ปรับขอบกระจก	14.31	9. ปรับขอบกระจก	12.87							
12. ตัดขอบฟิล์ม	29.97	10. ตัดขอบฟิล์ม	27.22							

จากแผนผังกิจกรรมพหุคูณหลังการปรับปรุงพบว่าช่วงเวลาว่างงานของพนักงานลดลง ค่าอรรถประโยชน์ของพนักงานหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 อรรถประโยชน์ของพนักงานก่อนการปรับปรุง

	โหลดหน้า		ห้องประคบ		
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 9
เวลาว่างงาน (วินาที)	49.08	29.18	14.93	54.35	182.14
เวลาทำงาน (วินาที)	88.44	131.32	310.56	274.89	99.21
เวลาทั้งหมด (วินาที)	137.52	160.50	325.49	329.24	281.35
สัดส่วนการทำงาน (ร้อยละ)	64.31	81.82%	95.41	83.49	35.26

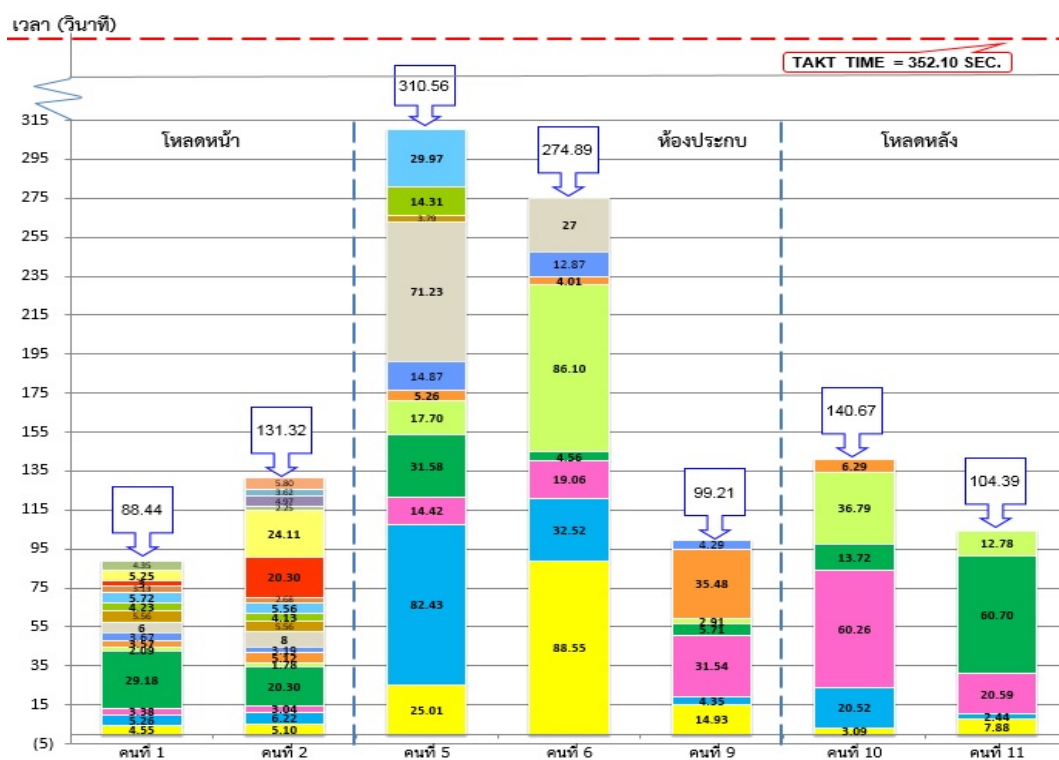
จากตารางที่ 9 อรรถประโยชน์สำหรับพนักงานที่ถูกเพิ่มภาระงานมีค่ามากขึ้น ยกเว้นพนักงานคนที่ 9 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ของพนักงานก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภูมิเปรียบเทียบสัดส่วนการทำงานของพนักงานก่อนและหลังปรับปรุง

จากภาพที่ 2 พบว่าอรรถประโยชน์ของพนักงานคนที่ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.90 และร้อยละ 31.93 ตามลำดับ อรรถประโยชน์ของพนักงานคนที่ 5 และ 6 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 19.40 และร้อยละ 9.09 ตามลำดับ เนื่องจากพนักงานคนที่ 5 และ 6 มีภาระงานเพิ่มขึ้นทำให้พนักงานคนที่ 9 เกิดการรอคอยมากขึ้น ทำให้อรรถประโยชน์ลดลงจากเดิมร้อยละ 9.80 ทั้งนี้ไม่สามารถแบ่งภาระงานของพนักงานคนที่ 9 ให้พนักงานคนอื่นได้ เนื่องจากเป็นหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งต้องใช้ความชำนาญถือเป็นข้อจำกัดของกระบวนการ

ทั้งนี้เวลาการทำงานรวมของพนักงานแต่ละคนต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตของกระบวนการ ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยแผนภูมิมายาซุมิแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภูมิมายาซุมิหลังการปรับปรุงการทำงาน

จากภาพที่ 3 พบว่าเวลาการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น และไม่เกินเวลาการผลิตของกระบวนการคอกวด แสดงว่าไม่กระทบต่ออัตราการผลิตของกระบวนการ

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสม โดยนำเทคนิคและเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ เข้ามาวิเคราะห์กระบวนการผลิต และการปฏิบัติงานของพนักงานอย่างละเอียด พบว่าสามารถลดจำนวนพนักงาน เหลือ 7 คน จากเดิม 11 คน ทำให้ประสิทธิภาพแรงงานในด้านต่างๆ ดีขึ้น ตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

ร้อยละผลิตภาพที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละผลิตภาพแรงงานที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\text{ผลิตภาพหลังปรับปรุง} - \text{ผลิตภาพก่อนปรับปรุง}}{\text{ผลิตภาพก่อนปรับปรุง}} \times 100\%$$

$$\text{ร้อยละผลิตภาพแรงงานที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\left(\frac{33,741}{7}\right) - \left(\frac{33,741}{11}\right)}{\left(\frac{33,741}{11}\right)} \times 100\% = 57.14\%$$

ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมที่เพิ่มขึ้น = ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมหลังปรับปรุง - ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมหลังปรับปรุง

$$\text{ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมที่เพิ่มขึ้น} = \left[\left(\frac{1152.63}{352.10 \times 7} \right) - \left(\frac{1152.63}{352.10 \times 11} \right) \right] \times 100\% = 46.77\% - 29.76\% = 17.01\%$$

จากจำนวนพนักงานที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถคำนวณต้นทุนค่าแรงงานที่ลดลง ได้ดังนี้

ค่าแรงงานต่อปีที่ลดลง = ค่าแรงงานก่อนปรับปรุง - ค่าแรงงานหลังปรับปรุง

$$\text{ค่าแรงงานต่อปีที่ลดลง} = \left\{ \left[310 + \left(3 \times 1.5 \times \frac{310}{8} \right) \right] \times 11 \times 25 \times 12 \right\} - \left\{ \left[310 + \left(3 \times 1.5 \times \frac{310}{8} \right) \right] \times 7 \times 25 \times 12 \right\} = 581,250 \text{ บาท}$$

จากการปรับลดจำนวนคนงานที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผลิตภาพแรงงาน และประสิทธิภาพแรงงาน โดยรวมเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าแรงงานต่อปีลดลง โดยไม่เกิดผลกระทบต่อการผลิตต่อปีเพื่อตอบสนอง ความต้องการของลูกค้า

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกระจกلاميเนตเนื่องจากพบว่ามี การทำงานที่ไม่เต็มอัตราประโยชน์ การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการศึกษาการทำงานและจำนวนพนักงานในสภาวะ ปัจจุบัน เพื่อหาเวลามาตรฐานของการทำงาน นำไปสู่การหาผลิตภาพแรงงาน ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมของ พนักงาน และต้นทุนค่าแรงงาน ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งพบว่าผลิตภาพแรงงาน และประสิทธิภาพแรงงาน โดยรวมมีค่าเท่ากับ 3067.36 ขึ้น/คน/ปี และร้อยละ 29.76 ตามลำดับ โดยมีต้นทุนค่าแรงงาน คือ 1,598,437.50 บาท จากประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมแสดงให้เห็นว่าพนักงานมีเวลาว่างงานค่อนข้างสูงทำให้เกิดการเกิดต้นทุน ค่าแรงงานที่ไม่จำเป็น หลังจากนั้นแผนผังกิจกรรมพหุคูณถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์การปฏิบัติงานของพนักงานแต่ละ คนอย่างละเอียด และนำแผนภูมิยามาซูมิมาใช้เพื่อพิจารณาภาระงานของพนักงาน นำไปสู่การหาจำนวนพนักงานที่

เหมาะสม หลังจากปรับภาระงานแล้วทำให้จำนวนพนักงานในกระบวนการผลิตเหลือ 7 คน จากเดิม 11 คน ส่งผลให้ผลิตภาพแรงงานเท่ากับ 4820.14 ชิ้น/คน/ปี เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 57.14 ประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมเท่ากับร้อยละ 46.77 เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 17.01 ทำให้ค่าแรงงานลดลง 581,250 บาทต่อปี ทั้งนี้การปรับลดจำนวนคนงานไม่เกิดผลกระทบต่ออัตราการผลิตต่อปี

ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าพิจารณาอย่างละเอียดพบว่าประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมก่อนและหลังจากปรับปรุงกระบวนการมีค่าร้อยละ 29.76 และร้อยละ 46.77 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงมากนัก แสดงให้เห็นว่ายังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมให้มากกว่านี้ได้ อาจทำได้โดยการเพิ่มทักษะการทำงานที่หลากหลายให้แก่พนักงานเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้หลายหน้าที่ทำให้สามารถลดจำนวนพนักงานลงได้อีก ซึ่งจะส่งผลดีต่อบริษัทในการโยกย้ายพนักงานไปช่วยในแผนกอื่นที่ต้องการเพิ่มอัตราการผลิตแต่มีจำนวนพนักงานไม่เพียงพอ ทั้งนี้งานวิจัยในอนาคตอาจมุ่งเน้นการปรับปรุงสายการผลิตในด้านอื่นๆ เช่น การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดรอบเวลาของกระบวนการทำให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น หรือการใช้จำลองสถานการณ์เพื่อหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตที่หลากหลายต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Athikulrat, K. (2017). Productivity Improvement by Fundamental of Hand Motions: A Case Study of Assembly Line in an Electronics Company. *RMUTP Research Journal*, 11(1), 165-176.
(in Thai)
- Cheewaworanontree, W., Rontlaong, P. and Boonrak, N. (2018). Motion and Time Study: A Case Study on A Short-Time Hydrostatic Failure Pressure Testing Process of Rigid PVC. *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat Univeristy*, 6(1), 26-38.
- Fiallo, C. M. and Howell, G. (2012). Using Production System Design and Takt Time to Improve Project Performance. *The Proceedings of 20th Conference of the International Group for Lean Construction 2012*.
- Kanjanapanyakom, R. (2009). *Industrial Work Study*. Bangkok: Top Publishing. (in Thai)
- Lalitaporn, P. (2013). *Production Planning and Control*. Bangkok: SE-ED. (in Thai)
- Phannikul, T. Sangkamanee, D. and Ngamsanga, P. (2014). Efficiency Improvement in Manufacturing Process by Industrial Engineering Tools Case Study: Bicycle Assembly Factory. *The Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2014*, 30-31 October 2014 at Novotel Hotel Samutprakarn. (in Thai)

- Poonikom, K. (2017). Efficiency Improvement in Manufacturing Process by Improvement Technique Case Study: Drinking Water Bai-Pai-Keaw. *The Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2017*, 12-15 July 2017 at The Empress Hotel Chiangmai, 150-155. (in Thai)
- Saranpracha, S. (2013). Capacity Improvement of Car-Seat Part Production Line with Toyota Production System Concept. *Engineering Journal*, 5 (1), 11 – 27. (in Thai)
- Sirisomphol, S. (2011). *Standard Operators for Assembly Process Case Study: Assembly Production Line Electronics Part Factory: Flexible Print Circuit*. An Independent Study of the Degree of Master of Engineering in Industrial Development. Bangkok: Thammasat University. (in Thai)
- Sriwarom, T., Counaphonwiwat, T. and Manisri, C. (2014). Productivity Improvement for Dishwashing Liquid Product by Quality Function Deployment and Value Engineering. *Sripatum Review of Science and Technology*, 6, 57 – 67.
- Sriyom, K., Chantawee, P. and Petcharat, S. (2018). The Reduction in the Loss of Rubber Latex Process by Flow Process Chart. *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat Univeristy*, 6(2), 13 – 23. (in Thai)
- Veerasuksawad, V. Silsong, S. Khongthanasub, P. and Soontravanich, C. (2012). An Improvement of the Efficiency of Toner Cartridge Packing Process. *The Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2012*, 17-19 December 2012 at Methavalai Hotel Chaam Phetchaburi, 201 – 206. (in Thai)
- Moungmoon, K., Kartea, N. and Chaikumpun, M. (2016). The Standard Time Study of Carton Corrugated Productions: Case Study Ruengchana Packing Limited Partnership. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 6(1), 107 – 121.

การเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม: กรณีศึกษาธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่ม

ณัฐดนัย สุพัฒน์ธนานนท์¹, ปณัทร เรืองเชิงชุม^{2,*}

^{1, 2}วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Received: 25 March 2020

Revised: 19 August 2020

Accepted: 20 August 2020

บทคัดย่อ

การเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมสามารถช่วยลดต้นทุนขนส่งสินค้าลงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยเก็บและรวบรวมข้อมูลจากคู่ค้าทางธุรกิจของกรณีธุรกิจกระจายสินค้า จำนวน 30 ราย ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 ร่วมกับการวิเคราะห์หาต้นทุนขนส่งสินค้าที่ต่ำ ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าเก็บรักษาสินค้า ค่าจ้างพนักงานขับรถบรรทุก ค่าเสื่อมราคา และค่าบำรุงรักษารถบรรทุก ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาการกระจายสินค้านี้เป็นลักษณะ NP-Hard เนื่องจากการพิจารณาหลายศูนย์กระจายสินค้า ลูกค้านหลายแห่ง และรถบรรทุกหลายขนาด ผู้วิจัยจึงเสนอรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยทดลองจากข้อมูลความต้องการสินค้าจริงจำนวน 5 ชุด ของธุรกิจกรณีศึกษา พบว่าตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง ทำให้ธุรกิจกรณีศึกษาสามารถเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าเครื่องดื่มที่เหมาะสม ส่งผลทำให้สามารถลดต้นทุนขนส่งสินค้ามากถึง 72.85 ล้านบาทต่อปี หรือคิดเป็น ร้อยละ 58.90

คำสำคัญ: การกระจายสินค้า ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม รถบรรทุกหลายขนาด ต้นทุนขนส่งสินค้า การขนส่งแบบขนส่งตรง

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: rpanut@kku.ac.th

The Optimal Selection of Distribution Model with Mixed Integer Programming: A Case Study of Beverage Distribution Firm

Natdhanai Supattananon¹, Panutporn Ruangchoengchum^{2,*}

^{1, 2}College of Graduate Study in Management, Khonkaen University

Received: 25 March 2020

Revised: 19 August 2020

Accepted: 20 August 2020

Abstract

The selection of suitable product distribution model leads to the reduction of transportation costs. This research aims to study the suitable product distribution model with the application of a mixed integer programming model. Data from business partners of 30 distribution business cases in the Northeastern region was collected and analyzed by the mixed integer programming model. The LINGO 11.0 Program was applied together with the analysis of low transportation costs, including fuel cost, storage cost, truck driver wage, depreciation cost, and truck maintenance cost. The results showed that the problem of product distribution was that of NP-hard problem because there were multi distribution centers, multi customers, and multi-truck sizes. The researcher therefore proposed the proper distribution model by the application of the mixed integer programming model. The experiment was conducted with five sets of data on real production demand of the case study business. It was found that the generated mathematical model was accurate, which enabled the case study business to select the suitable beverage distribution model. As a result, the transportation costs decreased by up to 72.85 million baht per year or 58.90 percent.

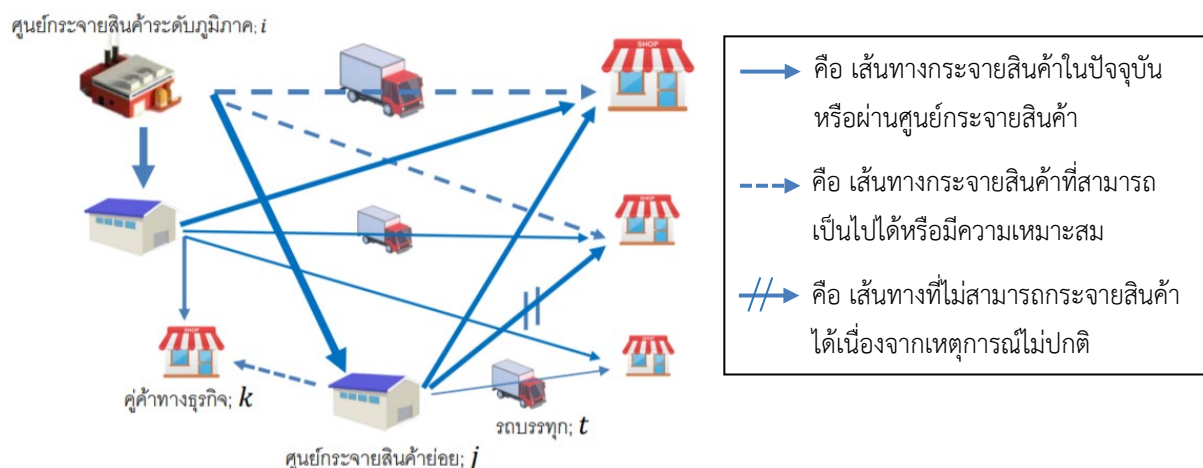
Keywords: Product distribution, Mixed integer programming model, Multi truck sizes, Transportation cost, Direct shipment

*Corresponding Author; E-mail: rpanut@kku.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันธุรกิจหรือหน่วยงานต่างๆ มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งธุรกิจผู้ผลิตสินค้าประเภทอาหารและเครื่องดื่ม (GSB Research, 2019; Yongpisanphob, 2019) ซึ่งให้ความสำคัญกับการลดต้นทุนการกระจายสินค้า (Phongthong, 2018) เนื่องจากต้นทุนการกระจายสินค้ามีมูลค่ามากกว่า 1 ใน 3 หรือคิดเป็นร้อยละ 30-40 ของมูลค่าสินค้า (Khucharoenphaisan, 2009) และการลดต้นทุนการกระจายสินค้าสามารถสร้างกำไรให้กับธุรกิจได้ (Apiprachyasakul, 2014) เพื่อสร้างความได้เปรียบทางธุรกิจ (Tuzkaya, Onut, and Tuzkaya, 2014) หลายธุรกิจจึงพัฒนารูปแบบการกระจายสินค้าให้มีประสิทธิภาพเพื่อการลดต้นทุนการกระจายสินค้าและกำหนดให้เป็นปัญหาเชิงกลยุทธ์ (Cosma, Pop, and Dănciulescu, 2020)

ธุรกิจกรณีศึกษาประกอบธุรกิจการกระจายสินค้าเครื่องดื่มในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ของประเทศไทย มีการกระจายสินค้าจากโรงงานผลิตในเขตพื้นที่ภาคกลางไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ผ่านศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาค (Regional Distribution Center: RDC) และศูนย์กระจายสินค้าย่อย (Sub Distribution Center: SDC) ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ต่างๆ ทั่วภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด 30 ราย ตามคำสั่งของฝ่ายแผนงาน จากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลของธุรกิจกรณีศึกษาเพื่อหาปัญหาที่ก่อให้เกิดต้นทุนสูงเปล่าของการกระจายสินค้า พบว่า ต้นทุนสูงเปล่าเกิดจากการจัดรถบรรทุก การคัดเลือกเส้นทาง และรูปแบบการกระจายสินค้าไม่เหมาะสม เนื่องจาก มีรถบรรทุกหลายขนาด มีคู่ค้าทางธุรกิจหรือลูกค้าย่อยหลายราย และมี SDC หลายแห่ง จึงทำให้การจัดการกระจายสินค้าโดยใช้ประสิทธิภาพของพนักงานส่งผลกระทบต่อนต้นทุน ยกตัวอย่างเช่น คู่ค้าทางธุรกิจ A ตั้งอยู่ระหว่างเส้นทาง RDC กับ SDC แต่ความต้องการสินค้าของคู่ค้าทางธุรกิจดังกล่าวได้รับการให้บริการจาก SDC ทำให้เกิดการเดินทางทับซ้อนและมากเกินความจำเป็น ซึ่งระยะทางดังกล่าวมีค่าเท่ากับระยะทางไปกลับระหว่าง SDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจนั้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปัญหาการกระจายสินค้า

จากภาพที่ 1 เมื่อพิจารณารูปแบบการกระจายสินค้าในปัจจุบัน พบว่า การกระจายสินค้าถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับ หรือทางด้านโลจิสติกส์เรียกว่า 2 เซน ได้แก่ 1) การกระจายสินค้าจาก RDC ไปยัง SDC ซึ่งธุรกิจกระจายสินค้าขนาดใหญ่ในประเทศไทยนิยมตั้งศูนย์กระจายสินค้าในพื้นที่ที่เป็นศูนย์กลางของภูมิภาคต่างๆ เช่น จังหวัด

นครราชสีมาเป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคอีสาน จังหวัดปทุมธานีเป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคกลาง จังหวัดสงขลาเป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคใต้ และจังหวัดเชียงใหม่เป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคเหนือ เป็นต้น และ 2) การกระจายสินค้าจาก SDC ไปยังธุรกิจลูกค้าทางธุรกิจหรือลูกค้า เป็นต้น

การกระจายสินค้าด้วยรูปแบบการขนส่งตรงถูกพิจารณาเมื่อลูกค้าทางธุรกิจมีความต้องการสินค้าแบบเต็มคันรถ (Full Truck Load: FTL) ซึ่งสามารถจำลองด้วยปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) และแก้ไขได้ด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed Integer Programming: MIP) (Holzapfel, et al., 2018) โดยทั่วไป ปัญหาดังกล่าวมีเป้าหมายในการหาระยะทางที่สั้นที่สุด หรือลดต้นทุนการขนส่งสินค้า เพื่อให้ต้นทุนการกระจายสินค้ามีมูลค่าต่ำที่สุดและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าทางธุรกิจ (Arkararungraingkul, et al., 2019) แต่หลายกรณีที่เส้นทางที่สั้นที่สุดที่กำหนดให้ไม่สามารถเดินทางผ่านได้หรือจำกัดไว้ เนื่องจากเส้นทางนั้นเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น ภัยธรรมชาติ (Zhang, et al., 2019, Wisetjindawat, et al., 2019, Esper Angillieri, 2020) การจราจรหรือสภาพถนนไม่เอื้ออำนวย (Wisetjindawat, et al., 2019; He, et al., 2017; Yap, et al., 2020; Bassolas, et al., 2020) เหตุก่อการร้าย (Solano-Charris, 2014) และเงื่อนไขของลูกค้าทางธุรกิจหรืออิทธิพลของสังคม (Yun, et al., 2020; Orlis, et al., 2020) เป็นต้น

ดังนั้น ผู้เขียนจึงศึกษาการลดต้นทุนด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกระจายสินค้าแบบผสม ที่มีการจำกัดเส้นทาง: กรณีศึกษาธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่ม ที่ดำเนินการกับโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 ซึ่งจะทำให้ธุรกิจกรณีศึกษาสามารถพัฒนาระบบการจัดการกระจายสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีต้นทุนการกระจายสินค้าที่ต่ำลง

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บและรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ รูปแบบการกระจายสินค้า ข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ยานพาหนะที่ใช้กระจายสินค้า และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (ตามภาพที่ 2) โดยศึกษาจากธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่มขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศไทยเป็นธุรกิจกรณีศึกษา ในส่วนของข้อมูลทุติยภูมิ ผู้วิจัยศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ (1) รูปแบบการกระจายสินค้า (2) ต้นทุนค่าขนส่ง (3) ข้อจำกัดด้านการขนส่ง (4) การสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ และ (5) โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™ i5-5200U CPU @2.20GHz RAM 4.00 เพื่อสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ โดยกำหนดตัวแปรและพารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ รวมถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ดังนี้

ตัวแปรและพารามิเตอร์:

- | | |
|-----|---|
| i | คือ เซตของ RDC ; $i \in \{1\}$ |
| j | คือ เซตของ SDC ; $j \in \{1, 2, 3\}$ |
| k | คือ เซตของลูกค้าทางธุรกิจหรือลูกค้าย่อย ; $k \in \{1, 2, \dots, 30\}$ |

t คือ เซตของรถบรรทุก ; $t \in \{1, 2, \dots, 324\}$ ซึ่งเป็นการลดจำนวนตัวแปร โดยรวมรถบรรทุกทั้ง 3 ขนาด เข้าด้วยกันแล้วกำหนดให้รถบรรทุกขนาดที่ 1 (รถบรรทุก 18 ล้อ) มีค่า $t \in \{1, 2, \dots, 84\}$ รถบรรทุกขนาดที่ 2 (รถบรรทุก 10 ล้อ) มีค่า $t \in \{85, 86, \dots, 184\}$ และรถบรรทุกขนาดที่ 3 (รถบรรทุก 6 ล้อ) มีค่า $t \in \{185, 186, \dots, 324\}$ เพื่อให้ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สามารถดำเนินการด้วยเวลาที่สั้นลง (Arkarakungrainkul, et al., 2019)

DIK_{ik} คือ ระยะทางระหว่าง RDC ที่ i ไปยังลูกค้าทางธุรกิจ k (กิโลเมตร)

DIJ_{ij} คือ ระยะทางระหว่าง RDC ที่ i ไปยัง SDC ที่ j (กิโลเมตร)

DJK_{jk} คือ ระยะทางระหว่าง SDC ที่ j ไปยังลูกค้าทางธุรกิจ k (กิโลเมตร)

$FCOST_t$ คือ ต้นทุนคงที่ของรถบรรทุก t เมื่อรถบรรทุกเดินทาง 1 เที่ยว (บาท)

$VCOSTF_t$ คือ ต้นทุนผันแปรของรถบรรทุก t เมื่อรถบรรทุกเดินเที่ยวเปล่า (บาท/กม.)

$VCOSTW_t$ คือ ต้นทุนผันแปรของรถบรรทุก t เมื่อรถบรรทุกขนส่งสินค้า (บาท/พาเลท/กม.)

$INVCOST_j$ คือ ต้นทุนผันแปรของ SDC ที่ j เมื่อมีการขนส่งผ่าน SDC (บาท/พาเลท)

CAP_t คือ ปริมาณการบรรทุกสินค้าสูงสุดของรถบรรทุก t (พาเลท)

$Demand_k$ คือ ความต้องการสินค้าของลูกค้าทางธุรกิจ k (พาเลท)

ตัวแปรตัดสินใจ: กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจหลักเป็นตัวแปรแบบไบนารี ซึ่งมีเท่ากับ 1 หรือ 0 เท่านั้น โดยค่าคำตอบที่ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงการตัดสินใจดำเนินการ และเท่ากับ 0 หมายถึงไม่ดำเนินการ ดังนี้

$$X_{tik} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อตัดสินใจขนส่งจาก } i \text{ ไปยัง } k \text{ ด้วยรถบรรทุก } t \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$Y_{tij} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อตัดสินใจขนส่งจาก } i \text{ ไปยัง } j \text{ ด้วยรถบรรทุก } t \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$Z_{tjk} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อตัดสินใจขนส่งจาก } j \text{ ไปยัง } k \text{ ด้วยรถบรรทุก } t \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: เป็นค่าคำตอบของการจัดการกระจายสินค้าไปยังลูกค้าทางธุรกิจโดยผ่าน SDC และพิจารณาการขนส่งตรงจาก RDC เพื่อให้ต้นทุนการกระจายสินค้าที่ต่ำที่สุด ดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Min} = & \sum_t \sum_i \sum_k ((2DIK_{ik}VCOSTF_t + FCOST_t) + (CAP_tVCOSTW_tDIK_{ik})) X_{tik} \\ & + \sum_t \sum_i \sum_j ((2DIJ_{ij}VCOSTF_t + FCOST_t) + (CAP_tVCOSTW_tDIJ_{ij})) Y_{tij} \end{aligned} \quad (1)$$

$$+ \sum_t^{324} \sum_i^1 \sum_j^3 (CAP_t INVCOST_j) Y_{tij} \\ + \sum_t^{324} \sum_j^3 \sum_k^{30} ((2DJK_{jk} VCOSTF_t + FCOST_t) + (CAP_t VCOSTW_t DJK_{jk})) Z_{tjk}$$

จากสมการวัตถุประสงค์ พบว่า ต้นทุนการกระจายสินค้าของรถบรรทุกถูกพิจารณาด้วยปริมาณสินค้าแบบเต็มคันรถ เนื่องจากเป็นนโยบายของธุรกิจกรณีศึกษา เกี่ยวกับการกระจายสินค้าให้มากกว่าหรือเท่ากับความต้องการของคู่ค้าทางธุรกิจแต่ไม่เกินความสามารถสูงสุดในการบรรทุกของรถบรรทุกคันนั้น ดังนั้นสมการวัตถุประสงค์จึงหาต้นทุนค่ากดทับจากสินค้าด้วย CAP_t นอกจากนี้ พจน์ที่มีความสัมพันธ์กับระยะทางจะถูกคูณด้วย 2 เนื่องจากเป็นการคิดระยะทางการกระจายสินค้าทั้งขาไปและกลับด้วยเส้นทางเดิมของรถบรรทุก เช่น $2DIK_{ik}$ หมายถึงระยะทางทั้งขาไปและกลับของการเดินทางจาก RDC i ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ k และกลับมาที่จุดเดิม

สมการข้อจำกัด:

$$\sum_i^1 \sum_k^{30} X_{tik} \leq 1 \quad \forall_t \quad (2)$$

$$\sum_i^1 \sum_j^3 Y_{tij} \leq 1 \quad \forall_t \quad (3)$$

$$\sum_j^3 \sum_k^{30} Z_{tjk} \leq 1 \quad \forall_t \quad (4)$$

$$\sum_i^1 \sum_k^{30} X_{tik} + \sum_i^1 \sum_j^3 Y_{tij} + \sum_j^3 \sum_k^{30} Z_{tjk} \leq 1 \quad \forall_t \quad (5)$$

$$\sum_t^{324} \sum_i^1 CAP_t X_{tik} + \sum_t^{324} \sum_j^3 CAP_t Z_{tjk} \geq Demand_k \quad \forall_k \quad (6)$$

$$\sum_t^{324} \sum_i^1 CAP_t Y_{tij} = \sum_t^{324} \sum_k^{30} CAP_t Z_{tjk} \quad \forall_j \quad (7)$$

$$\sum_i^1 \sum_k^{30} X_{tik} = 0 \quad \forall_{t \in \{185, 186, \dots, 324\}} \quad (8)$$

$$\sum_t^{324} X_{tik} = 0 \quad \forall_{i=1, k=18} \quad (9)$$

$$X_{tik}, Y_{tij}, Z_{tjk} \in \{0, 1\} \quad \forall_{tijk} \quad (10)$$

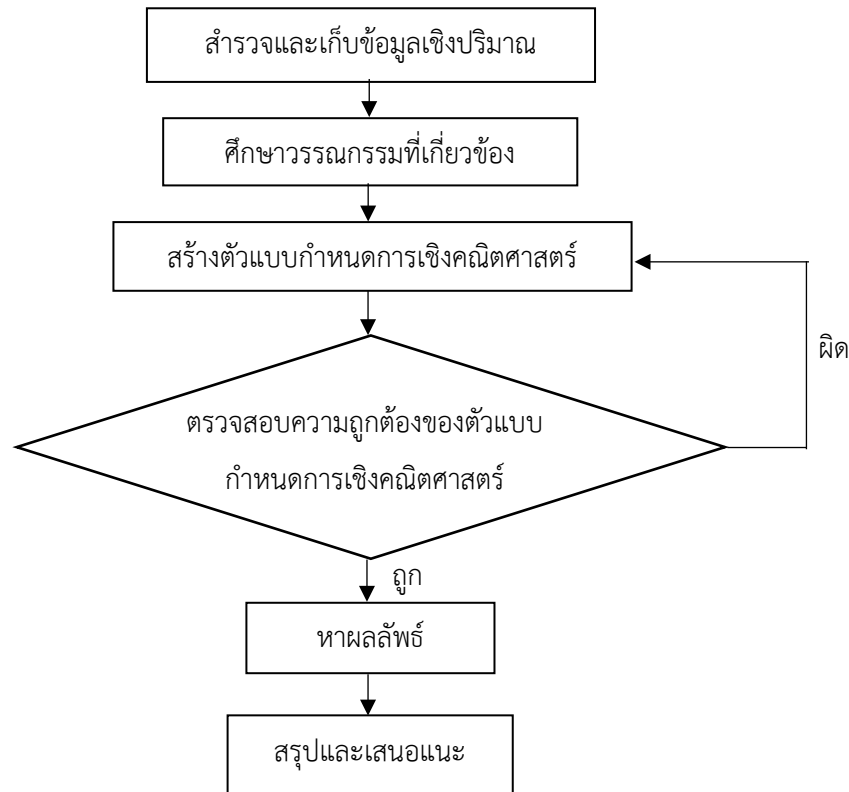
สมการที่ (2) ถึง (4) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคันสามารถขนส่งได้วันละหนึ่งเที่ยว สมการที่ (5) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคันสามารถขนส่งได้ในเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น กล่าวคือ ขนส่งตรงจาก RDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ หรือขนส่งตรงจาก RDC ไปยัง SDC หรือขนส่ง SDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ ทางใดทางหนึ่งเท่านั้น สมการที่ (6) หมายถึง การตัดสินใจขนส่งสินค้าด้วยการขนส่งผ่าน SDC รวมกับการขนส่งตรงต้องเพียงพอต่อความต้องการของคู่ค้าทางธุรกิจ สมการที่ (7) หมายถึง ปริมาณสินค้าใน SDC ต้องได้รับการเติมเต็มจาก RDC เท่ากับปริมาณสินค้าที่คู่ค้าทางธุรกิจได้รับจาก SDC นั้น สมการที่ (8) หมายถึง รถบรรทุก 6 และ 10 ล้อ ไม่สามารถขนส่งแบบส่งตรงจาก RDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจได้ เนื่องจากเป็นเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษา สมการที่ (9) หมายถึง ข้อจำกัดด้านเส้นทางการขนส่งสินค้า ซึ่งเกิดจากเหตุการณ์ไม่ปกติและธุรกิจกรณีศึกษากำหนด (โดยทั่วไปจะพิจารณาเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น น้ำท่วม การชุมนุม และการปิดเส้นทางอื่นๆ) งานวิจัยนี้จะปิดเส้นทางระหว่าง RDC กับคู่ค้าทางธุรกิจที่ 18 (บจก. เดอะมอลล์ นครราชสีมา) เนื่องจากเหตุการณ์ก่อการร้าย ในทางตรงกันข้ามตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์นี้สามารถจำกัดให้คู่ค้าทางธุรกิจใดๆ ให้รับสินค้าจาก SDC แห่งใดแห่งหนึ่งได้จากสมการนี้ โดยกำหนดให้ $\sum_t^{324} Z_{tjk}$ เท่ากับ 1 และสมการที่ (10) หมายถึง กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจหลักเป็นตัวแปรแบบไบนารีที่มีค่าคำตอบเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของข้อมูล ตั้งแต่วิธีการดำเนินงานวิจัย รวมถึงตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยตรวจสอบการออกแบบตามตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์รวมถึงตามข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษาเพื่อเป็นตัวอย่างประกอบการวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้ หากตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความผิดพลาด หรือมีความคลาดเคลื่อน โดยไม่สามารถหาคำตอบได้ หรือคำตอบที่ได้ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ หรือคำตอบที่ได้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของกรณีศึกษา หรือคำตอบของต้นทุนการกระจายสินค้ามากกว่าวิธีเดิมของกรณีศึกษา ผู้วิจัยจะตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของข้อมูล โดยย้อนกลับไปดำเนินการในขั้นตอนก่อนหน้า (ตามขั้นตอนออกแบบตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์) อีกครั้ง แต่ในกรณีที่ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง ผู้วิจัยจะดำเนินการหาผลลัพธ์จากข้อมูลความต้องการจริงของกรณีศึกษาและสรุปผลการวิจัยตามลำดับต่อไป

ขั้นตอนการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ ผู้เขียนจึงออกแบบการศึกษาวิจัยโดยนำเสนอเป็นขั้นตอนดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิจัย

จากภาพที่ 2 พบว่า การศึกษาวิจัยเริ่มต้นจากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ รูปแบบการกระจายสินค้า ข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ยานพาหนะที่ใช้กระจายสินค้า และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดให้ธุรกิจกระจายสินค้าขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศไทยเป็นธุรกิจกรณีศึกษา หลังจากนั้นผู้เขียนศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ 1) รูปแบบการกระจายสินค้า 2) ต้นทุนค่าขนส่ง 3) ข้อจำกัดด้านการขนส่ง 4) การสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ และ 5) โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการดำเนินงานวิจัย ต่อมาจึงเริ่มออกแบบตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ตามข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษา เพื่อเป็นตัวอย่างประกอบการศึกษาวิจัยนี้ก่อนตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนนี้ ถ้าตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความผิดพลาด กล่าวคือ ไม่สามารถหาคำตอบได้หรือคำตอบที่ได้ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ หรือคำตอบที่ได้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของกรณีศึกษา หรือคำตอบของต้นทุนการกระจายสินค้ามากกว่าวิธีเดิมของกรณีศึกษาผู้เขียนจะย้อนกลับไปดำเนินการในขั้นตอนการออกแบบตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์อีกครั้ง แต่ในกรณีที่ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความถูกต้องจะดำเนินการหาผลลัพธ์จากข้อมูลความต้องการจริงของกรณีศึกษาและสรุปผลการวิจัยตามลำดับ

ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษารูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ภายใต้ข้อมูลความต้องการสินค้า (เครื่องดื่ม) จริงของคู่ค้าทางธุรกิจของ ธุรกิจกรณีศึกษา ซึ่งพิจารณาการกระจายสินค้าจาก RDC 1 แห่ง ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจรวม 30 ราย พบว่าสามารถแบ่ง คู่ค้าทางธุรกิจออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ 4 ราย ขนาดกลาง 13 ราย และขนาดเล็ก 13 ราย เป็นต้น (ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย) นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการกระจาย สินค้าพบว่า เป็นแบบผสมระหว่างสองรูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการกระจายสินค้าแบบผ่าน SDC และแบบส่งตรงจาก RDC

อย่างไรก็ตาม พบว่า ในกรณีที่ตัดสินใจเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าแบบขนส่งผ่าน SDC คู่ค้าทางธุรกิจ สามารถเลือกรับสินค้าจาก SDC ทั้ง 3 แห่ง หรือแห่งใดแห่งหนึ่ง โดยการวางแผนกระจายสินค้าจะต้องคัดเลือก รถบรรทุกที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการ รวมถึงเส้นทางและมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจาก รถบรรทุก 3 ขนาด ที่มีต้นทุนในการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกัน รวมทั้งหมด 320 คัน พบว่า สามารถยกตัวอย่างผลลัพธ์ ที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 1 ดังภาพที่ 3

ซึ่งจากภาพที่ 3 พบว่า ข้อมูลชุดที่ 1 ให้ค่าคำตอบแบบ Feasible ที่ต้นทุน 1,278,173 บาท นั่นคือ ค่าคำตอบ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการ ซึ่งเกิดจากการที่ฝ่ายแผนงานของธุรกิจหยุดเวลาก่อนที่จะค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุด หรือ Global Optimal เนื่องจาก ข้อจำกัดด้านเวลาในการหาค่าคำตอบ (ธุรกิจกรณีศึกษากำหนดให้ใช้เวลาในการหา ค่าคำตอบไม่เกิน 240 นาที) อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยพบว่าค่าคำตอบดังกล่าวต่างจากค่าขอบล่างของวัตถุประสงค์ (Objective Bound) เท่ากับ ร้อยละ 1.41 ดังนั้น ค่าคำตอบจึงมีความเหมาะสม โดยสามารถอ่านค่าให้อยู่ในรูปของ ตารางการจัดการขนส่งสินค้าได้ ดังตัวอย่างในตารางที่ 1

Solver Status		Variables	
Model Class:	ILP	Total:	39855
State:	Feasible	Nonlinear:	0
Objective:	1.05867e+006	Integers:	39852
Infeasibility:	6162.77	Constraints	
Iterations:	13151772	Total:	1471
		Nonlinear:	0
Extended Solver Status		Nonzeros	
Solver Type	B-and-B	Total:	193092
Best Obj:	1.27817e+006	Nonlinear:	0
Obj Bound:	1.26015e+006	Generator Memory Used (K)	
Steps:	258588	6375	
Active:	32685	Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
		04:12:31	

ภาพที่ 3 ผลลัพธ์จากโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งสินค้าด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 กับรูปแบบเดิม

ค่า ทาง ธุรกิจ	รูปแบบเดิม			รูปแบบที่นำเสนอ		
	รูปแบบการ ขนส่งสินค้า	รถขนาด (พาเลท: คัน)	ต้นทุน (บาท)	รูปแบบการขนส่ง สินค้า	รถขนาด (พาเลท: คัน)	ต้นทุน (บาท)
1	ผ่าน SDC 1	20: 19	152,897.87	ตรงจาก RDC	20: 15, 12: 2	70,750.67
3	ผ่าน SDC 1	20: 21	56,848.89	ตรงจาก RDC	12: 35	10,967.95
5	ผ่าน SDC 2	12: 9	179,095.80	ผ่าน SDC 1	20: 3,12: 4	68,179.36
7	ผ่าน SDC 1	12: 10	53,274.40	ผ่าน SDC 1	12: 10	53,274.40
9	ผ่าน SDC 2	12: 11	147,188.89	ตรงจาก RDC	20: 5, 12: 2	86,951.94
				ผ่าน SDC 2	6: 1	9,400.96
18	ผ่าน SDC 1	6: 6	14,530.50	ผ่าน SDC 1	12: 3	7,190.32
30	ผ่าน SDC 3	6: 5	78,697.25	ผ่าน SDC 3	20: 1, 6: 1	30,908.64

จากตารางที่ 1 พบว่า ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นถูกต้อง เนื่องจากมีค่าคำตอบตรงตามเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษา กล่าวคือ ใช้งานรถบรรทุกแต่ละขนาดไม่เกินจำนวนที่มีอยู่ รวมถึงค่าทางธุรกิจทุกรายได้รับบริการจาก RDC หรือ SDC ตามปริมาณความต้องการ นอกจากนี้ เส้นทางที่ถูกจำกัดไว้ในสมการไม่มีรถบรรทุกคันใดเดินทางผ่าน และ SDC ได้รับเต็มเต็มสินค้าทุกครั้งที่ทำให้บริการลูกค้าทางธุรกิจ เป็นต้น ดังนั้น ต้นทุนการกระจายสินค้าด้วยรูปแบบที่นำเสนอมีค่าต่ำกว่ารูปแบบเดิมของธุรกิจกรณีศึกษา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งสินค้าระหว่างรูปแบบเดิมและรูปแบบที่นำเสนอ

ข้อมูล ชุดที่	ความต้องการรวม (พาเลท)	ต้นทุนการขนส่งสินค้า (บาท)		ผลต่าง (บาท)	% ผลต่าง (ร้อยละ)
		รูปแบบเดิม	รูปแบบที่นำเสนอ		
1	2,514.00	3,235,776.36	1,278,173.00	1,957,722.36	60.50
2	2,474.00	2,850,469.46	1,467,505.00	1,382,964.46	48.52
3	1,745.00	2,323,461.15	1,086,409.00	1,237,052.15	53.24
4	2,271.00	4,015,305.83	1,352,443.00	2,662,862.83	66.32
5	2,145.00	3,949,339.72	1,345,119.00	2,604,220.72	65.94
เฉลี่ย	2,229.80	3,274,870.50	1,305,906.00	1,968,964.50	58.90

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษารูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม พบว่าการกระจายสินค้าเครื่องดื่มให้ต้นทุนที่ต่ำลงควรพิจารณาการออกแบบการขนส่งสินค้าแบบผสมระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าร่วมกับการขนส่งแบบขนส่งตรง เมื่อวิเคราะห์จากการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด พบว่าแผนการกระจายสินค้าใหม่ควรออกแบบให้ตอบสนองต่อธุรกิจที่มีศูนย์กระจายสินค้าทั้ง 4 แห่ง และควรมีรถบรรทุก 3 ขนาด รวมถึงมีค่าทางธุรกิจรวม 30 ราย นอกจากนี้ ควรพิจารณา

ต้นทุนอย่างครบถ้วน ได้แก่ ต้นทุนค่าพลังงานหรือเชื้อเพลิง รวมถึงต้นทุนค่าเก็บรักษา ต้นทุนค่าบำรุงรักษาและค่าเสื่อมสภาพรถบรรทุก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลพบว่า ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง ดังนั้นค่าคำตอบของต้นทุนการกระจายสินค้าที่ได้จึงต่ำกว่ารูปแบบเดิม จึงสรุปว่าตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น สามารถช่วยให้ต้นทุนการกระจายสินค้าของธุรกิจกรณีศึกษา ลดลงเฉลี่ย 1.96 ล้านบาทต่อสัปดาห์ หรือคิดเป็นร้อยละ 58.90 หรือคิดเป็นเงิน 72.85 ล้านบาทต่อปี (เมื่อทำงาน 37 สัปดาห์/ปี)

อภิปรายผล

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่า ต้นทุนการกระจายสินค้าที่ได้จากรูปแบบที่นำเสนอด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 มีค่าต่ำกว่ารูปแบบเดิมของธุรกิจกรณีศึกษาทุกชุดข้อมูล เนื่องจากการวางแผนกระจายสินค้าด้วยรูปแบบที่นำเสนอถูกผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่าน SDC กับการขนส่งแบบขนส่งตรง นอกจากนี้ จากตารางที่ 1 พบว่า ธุรกิจกรณีศึกษาให้บริการลูกค้าทางธุรกิจรายที่ 9 มีรูปแบบการกระจายสินค้าเครื่องดื่มด้วยการขนส่งสินค้าจาก RDC ผ่าน SDC ที่ 2 ด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 11 คัน ส่งผลทำให้เกิดต้นทุนค่าขนส่ง 3 ส่วน ได้แก่ 1) ต้นทุนค่าขนส่งขาเข้า SDC (ขนส่งจาก RDC ไปยัง SDC ที่ 2 ระยะทาง 270 กิโลเมตร) จำนวน 141,997.03 บาท 2) ต้นทุนค่าจัดเก็บสินค้าเท่ากับ 1,109.40 บาท และ 3) ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าขาออก (ขนส่งจาก SDC ที่ 2 ไปยังลูกค้าทางธุรกิจที่ 9 ระยะทาง 7 กิโลเมตร) จำนวน 4,082.46 บาท ดังนั้น ต้นทุนรวมจึงเท่ากับ 147,188.89 บาท และขนส่งด้วยระยะทางรวมเท่ากับ 277 กิโลเมตร ในขณะที่ต้นทุนจากรูปแบบที่นำเสนอใช้การกระจายสินค้าแบบผสมระหว่างการขนส่งแบบขนส่งตรงด้วยรถบรรทุกสองขนาด คือ 1) รถบรรทุก 18 ล้อ จำนวน 5 คัน และ 2) รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยรถบรรทุกทั้ง 2 ขนาด ขนส่งสินค้าจาก RDC ไปยังลูกค้าทางธุรกิจที่ 9 ด้วยระยะทาง 230 กิโลเมตร เกิดต้นทุน 86,951.94 บาท และการกระจายสินค้าผ่าน SDC ที่ 2 ด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 1 คัน เพื่อให้บริการลูกค้าทางธุรกิจที่ 9 ตามปริมาณความต้องการสินค้าที่เหลือ ด้วยระยะทางขนส่งรวม 277 กิโลเมตร ทำให้เกิดต้นทุน 9,400.96 บาท ดังนั้น ต้นทุนรวมจึงเท่ากับ 96,352.90 บาท

ผลจากการวิจัยข้างต้น พบว่า ความแตกต่างของรูปแบบการกระจายสินค้าเครื่องดื่ม ควรพิจารณาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. ผู้ประกอบการควรมีรูปแบบการกระจายสินค้าแบบผสม ขณะที่การขนส่งแบบขนส่งตรงควรพิจารณาในกรณีที่ลูกค้าทางธุรกิจมีความต้องการสินค้าจำนวนมาก หรือระยะทางระหว่าง RDC กับลูกค้าทางธุรกิจมีระยะทางสั้นกว่าการส่งผ่าน SDC อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยพบว่า การให้บริการลูกค้าทางธุรกิจรายที่ 9 ได้ใช้รูปแบบที่นำเสนอ ทำให้สามารถลดระยะทางได้ถึง 47 กิโลเมตร เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าทางธุรกิจที่ 9 อยู่ระหว่าง RDC และ SDC ที่ 2 ดังนั้น รูปแบบการกระจายสินค้าแบบส่งตรงจึงมีความเหมาะสมมากกว่าการส่งผ่าน SDC ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม รูปแบบการกระจายสินค้าควรส่งผ่าน SDC สำหรับความต้องการที่เหลือ เนื่องจากการขนส่งแบบขนส่งตรง จะใช้เฉพาะรถบรรทุก 18 และ 10 ล้อ เท่านั้น ดังนั้น ในกรณีที่ต้องใช้รถบรรทุก 6 ล้อ ควรต้องส่งผ่าน SDC ตามเงื่อนไขของบริษัทกรณีศึกษา

2. ผู้ประกอบการควรทำการคัดเลือกรถบรรทุกที่เหมาะสม เนื่องจาก ผลการวิจัยจากตารางที่ 1 พบว่ารูปแบบการกระจายสินค้าที่นำเสนอแนะนำให้ธุรกิจกรณีศึกษาควรให้บริการลูกค้าทางธุรกิจรายที่ 30 ด้วยรถบรรทุก 2 ขนาด ได้แก่ รถบรรทุก 18 ล้อ จำนวน 1 คัน และ รถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 1 คัน เพื่อรองรับความต้องการสินค้าไม่เกิน 26 พาเลท แทนการใช้รถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 5 คัน ที่รองรับความต้องการสินค้า 30 พาเลท เนื่องจากมีความเหมาะสมมากกว่า ขณะที่ลูกค้าทางธุรกิจรายที่ 30 มีความต้องการสินค้า 26 พาเลท เท่านั้น นอกจากนี้ การใช้รถบรรทุก 18 ล้อ ทั้งที่มีต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับรถบรรทุก 10 และ 6 ล้อ ของรูปแบบการกระจายสินค้าที่นำเสนอมีความเหมาะสมกว่ารูปแบบเดิม เนื่องจากใช้รถน้อยลงเพียง 3 คัน แต่ให้บริการได้เท่ากัน จึงสามารถลดต้นทุนขนส่งที่ไม่จำเป็นและทำให้สามารถลดระยะทางและต้นทุนการใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงในการขนส่งเครื่องดื่มซึ่งเป็นต้นทุนหลักของค่าขนส่งได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Eiamworawutthikul, et al., (2018) ที่ยืนยันว่าต้นทุนขนส่งที่ไม่จำเป็นควรถูกกำจัดออกจากต้นทุนค่าขนส่งเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการกระจายสินค้าเครื่องดื่มได้ต่อไป อย่างไรก็ตาม ธุรกิจกรณีศึกษาควรพิจารณาถึงการต้องมี SDC อยู่ เพื่อสามารถให้บริการลูกค้าทางธุรกิจที่มีความต้องการแบบแปรผันหรือไม่แน่นอน หรือป้องกันการเสียโอกาสในการเข้าถึงลูกค้าทางธุรกิจต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถปรับปรุงให้เหมาะสมกับธุรกิจที่ดำเนินธุรกิจใกล้เคียงกันได้ แต่การหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่ากรณีศึกษาของงานวิจัยนี้อาจจะใช้เวลามากขึ้น หรือไม่สามารหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ทันเวลา

1.2 วิจัยนี้พิจารณาเฉพาะต้นทุนเท่านั้น เนื่องจากธุรกิจกรณีศึกษามีจำนวนรถบรรทุกที่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานและมีกำลังในการจัดเตรียมสินค้าที่ทันเวลา ดังนั้น ถ้าธุรกิจที่ใกล้เคียงกันจะนำไปประยุกต์ใช้ควรพิจารณาเงื่อนไขของหน้าต่างเวลาเพิ่มเติม

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ในกรณีที่มีปัญหาขนาดใหญ่ควรพิจารณาด้วยวิธีการอื่น เช่น วิธีทางฮิวริสติกส์ และวิธีอัลกอริทึมอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งอาจจะให้คำตอบที่ดีที่สุด ณ ช่วงเวลา หรือ Local Optimum เท่านั้น

2.2 ในอนาคตสามารถออกแบบให้ดึงข้อมูล (Input) จากโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ทั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Apiprachyasakul, K. (2014). *Goods Transportation in Logistics Works*. Bangkok: Focus Media and Publishing. (in Thai)
- Arkararungraingkul, R., Supattananon, N., and Pimpatchim, A. (2019). The Mixed Integer Programming Model for Outbound Truck Arrangement: A Case Study of Beverage Distribution Firm. *Journal of Industrial Technology*, 9 (1), 41-54. (in Thai)

- Bassolas, A., Gallotti, R., Lamanna, F., Lenormand, M., and Ramasco, J.J. (2020). Scaling in the recovery of urban transportation systems from massive events. *Scientific Reports*, 10(2746), 1-20.
- Cosma, O., Pop, P.C., and Dănciulescu, D. (2020). A novel matheuristic approach for a two-stage transportation problem with fixed costs associated to the routes. *Computers and Operations Research*, 118(106906), 1-10.
- Eiamworawutthikul, C., Manisri, C., Promwattanapakdee, T., and Jenkarn, W. (2018). Guidelines for the Calculation of Specific Energy Consumption (SEC) as Energy Performance Indicator in Transportation Operations. *Sripatum Review of Science and Technology*, 9(1), 118-127.
- Esper Angillieri, M.Y. (2020). Debris flow susceptibility mapping using frequency ratio and seed cells, in a portion of a mountain international route, Dry Central Andes of Argentina. *Catena*, 189(104504), 1-9.
- GSB Research. (2019). Food and beverage industry. *Industry Update*, 2562(1), 1-3. (in Thai)
- He, Y., Qin, J., and Hong, J. (2017). Comparative analysis of quantitative efficiency evaluation methods for transportation networks. *PLoS ONE*, 12(4), 1-8.
- Holzapfel, A., Kuhn, H., and Sternbeck, M.G. (2018). Product Allocation to Different Types of Distribution Center in Retail Logistics Networks. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 948-966.
- Khucharoenphaisan, R. (2009). *Marketing Channels of Distribution and Logistics*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Orlis, C., Laganá, D., Dullaert, W., and Vigo, D. (2020). Distribution with Quality of Service Considerations: The Capacitated Routing Problem with Profits and Service Level Requirements. *Omega (United Kingdom)*, 93(102034), 1-15.
- Phongthong, P. (2018). Logistics Management for the Competitive Advantage in the Pallet Renting Business. *Journal of Humanities and Social Sciences, Rajapruk University*, 4(1), 91-100. (in Thai)
- Solano-Charris, E.L., Prins, C., and Santos, A.C. (2014). Heuristic approaches for the robust vehicle routing problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 8596, 384-395.
- Supattananon, N., Supattananon, N.D., and Arkararungrainkul, R. (2019). Distribution Model Improvement with Direct Shipment Using a Mixed Integer Linear Programming. *The Proceedings of the First National and International Conference of Kalasin University*, Kalasin: Kalasin University, 185-197. (in Thai)

- Tuzkaya, U.R., Onut, S., and Tuzkaya, G. (2014). A strategic planning methodology for the multimodal transportation systems: A case study from Turkey. *Journal of Applied Mathematics*, 2014(931456), 1-24.
- Wisetjindawat, W., Wilson, R.E., Bullock, S., and de Villafranca, A.E.M. (2019). Modeling the Impact of Spatial Correlations of Road Failures on Travel Times during Adverse Weather Conditions. *Transportation Research Record*, 2673(7), 157-168.
- Yap, M., Cats, O., and van Arem, B. (2020). Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 16(1), 23-42.
- Yongpisanphob, W. (2019). Beverage industry. *Krungsri Research*, 2562(1), 1-13. (in Thai)
- Yun, Y., Chuluunsukh, A., and Gen, M. (2020). Sustainable closed-loop supply chain design problem: A hybrid genetic algorithm approach. *Mathematics*, 8(84), 1-18.
- Zhang, M., Hu, X., and Wang, J. (2019). A method to assess and reduce pollutant emissions of logistic transportation under adverse weather. *Sustainability*, 11(5961), 1-19.

การฝึกทักษะการใช้ภาษาญี่ปุ่นบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับพนักงานในโรงงาน อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารในเขตจังหวัดลพบุรี

สรารุธ แผลงศร*

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Received: 21 November 2019

Revised: 27 August 2020

Accepted: 28 August 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมที่เหมาะสมกับการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นสำหรับพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารแช่เยือกแข็งในเขตจังหวัดลพบุรี และเพื่อหาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจของผู้ใช้เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น ตัวอย่างในการวิจัยเป็นหัวหน้างานบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จำนวน 52 คน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบที ผลการวิจัยพบว่า (1) เว็บไซต์สำหรับฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นสำหรับพนักงานประกอบด้วย 4 บทเรียน ได้แก่ ภาษาญี่ปุ่นเบื้องต้น ขึ้นส่วนไก่ ผลิตภัณฑ์ไก่ปรุงสุก และวัฒนธรรมญี่ปุ่น ประสิทธิภาพของเว็บไซต์เท่ากับ 81.70/83.63 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และ (2) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อเว็บไซต์อยู่ในระดับมาก ทั้งด้านฟังก์ชันการใช้งาน ประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ รวมถึงการตอบสนองต่อผู้ใช้งานเว็บไซต์ และผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนพบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน มีค่าสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน ($\bar{X} = 25.09$, $t = -9.295$, $df = 46$) แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมทักษะภาษาญี่ปุ่นที่พัฒนาขึ้นนี้ทำให้พนักงานมีทักษะภาษาญี่ปุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งตอบสนองกับความต้องการใช้ภาษาญี่ปุ่นสื่อสารในการทำงานสำหรับของภาคอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรม ทักษะภาษาญี่ปุ่นสำหรับพนักงาน โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารแช่เยือกแข็ง

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: sarawut.pla@mail.pbru.ac.th

Japanese Language skills training on the internet for employees in food processing factories in Lopburi province

Sarawut Plaengsorn*

Faculty of Information Technology, Phetchaburi Rajabhat University

Received: 21 November 2019

Revised: 27 August 2020

Accepted: 28 August 2020

ABSTRACT

The objectives of this research were to develop an appropriate website for Japanese language skills training for employees in frozen food processing industrial factories in Lop Buri province, and to evaluate learning achievement and satisfactory of users of the website for Japanese language skills training. The research sample consisted of 52 employees at the foreman level of the B. Foods Product International Company in Lop Buri province. The data was collected and statistically analyzed using the mean, standard deviation, and t-test. The results were as follows: (1) the developed website for Japanese language skills training for employees comprised 4 lessons: Japanese for the Beginners, Parts of Chicken, Processed Cooked Chicken Products, and Japanese Culture; the efficiency of the website was at 81.70/83.63, which was higher than the pre-determined criterion; and (2) regarding the evaluation results, it was found that the website users were satisfied with the website at the high level in all aspects including the aspects of its functional work usage, its efficiency, its reliability, and its responsiveness to the website users; as for the learning achievement of the website users, it was found that the post-learning mean score of the users was significantly higher than its pre-learning counterpart mean score ($\bar{X} = 25.09$, $t = -9.295$, $df = 46$) indicating that this developed website for Japanese language skills training could significantly increase the users' Japanese language skills at the .05 level of statistical significance, which responded to the needs of using Japanese language in communication for employees in the industrial sector.

Keywords: web-based training, Japanese language skills for employees, frozen food processing industrial factory

* Corresponding Author; E-mail: sarawut.pla@mail.pbru.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ญี่ปุ่นเป็นประเทศหนึ่งที่มีปริมาณการลงทุนในประเทศไทยมากเป็นอันดับต้นๆ มาอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน หรือ Board of Investment (BOI) พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศญี่ปุ่นมีโครงการยื่นขอส่งเสริมการลงทุนต่อสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน มากถึง 31,740 ล้านบาท ถือเป็นปริมาณเงินลงทุนสูงที่สุดในกลุ่มการลงทุนจากต่างประเทศ เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นเองมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร ไม่สามารถผลิตอาหารได้เพียงพอกับความต้องการบริโภคภายในประเทศได้ ทำให้นักธุรกิจชาวญี่ปุ่นเลือกลงทุนอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปอาหารทะเล รวมถึงไก่แปรรูปแช่เยือกแข็งในประเทศไทย ซึ่งช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร และเป็นแหล่งแรงงานส่วนใหญ่ของภาคอุตสาหกรรมไทยด้วย (The Office of Industrial Economics, 2017)

อุปสรรคสำคัญในการทำงานร่วมกันระหว่างลูกจ้างคนไทย กับหัวหน้างานหรือลูกค้าชาวญี่ปุ่นเป็นเรื่องการสื่อสาร เนื่องจากชาวญี่ปุ่นส่วนใหญ่ไม่สันถการใช้ภาษาอังกฤษมากนักเช่นเดียวกับชาวไทย ชาวญี่ปุ่นจึงมักสื่อสารด้วยภาษาอังกฤษผสมกับภาษาญี่ปุ่น ส่งผลให้พนักงานหรือลูกจ้างชาวไทยไม่เข้าใจการสนทนานั้นๆ (Kochhunanan, 2016) จึงมีโอกาสให้การทำงานผิดพลาดได้ แม้ในบางบริษัทจะมีวิธีการพัฒนาทักษะภาษาญี่ปุ่น เช่น การสอนภาษาญี่ปุ่นภายในโรงงาน การมีล่ามภาษาญี่ปุ่นประจำบริษัทแล้วก็ตาม การพัฒนาทักษะความสามารถทางภาษาญี่ปุ่นไม่บรรลุผลเท่าที่ควร เนื่องด้วยมีข้อจำกัดด้านเวลาของทั้งผู้สอนและผู้เรียน ระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางไปเรียน

จากอุปสรรคและข้อจำกัดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงนำซอฟต์แวร์ประยุกต์มาใช้ในการผลิตสื่อเว็บไซต์เพื่ออบรมให้ความรู้ด้านภาษาญี่ปุ่นสำหรับการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารแช่เยือกแข็ง โดยทำการอบรมผ่านระบบเครือข่ายหรือที่เรียกว่าเว็บสำหรับฝึกอบรม (Web-Based Training-WBT) ผสมผสานข้อมูลทั้งที่เป็นคำศัพท์ ข้อความ ภาพนิ่ง เสียง ภาพเคลื่อนไหวเกี่ยวกับการทำงานจริงในโรงงาน สามารถโต้ตอบมีปฏิสัมพันธ์กับบทเรียนได้ด้วย (Education Technology Center, 2004) ซึ่งจะช่วยให้พนักงานสามารถพัฒนาทักษะภาษาญี่ปุ่นได้ทุกที่ทุกเวลา (Chinnery, 2006; Rosell-Aguilar, 2007; Kim, 2013) อันจะนำไปสู่การทำงานที่ราบรื่นและมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ด้านจิตวิทยาและทฤษฎีการเรียนรู้ภาษาที่สอง วิธีการเรียนรู้ภาษาที่สอง รวมถึงเว็บไซต์และขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

จิตวิทยาการสอนภาษาที่สองนั้น Finocchiaro กล่าวว่า การจัดลำดับเนื้อหาในการสอนเป็นสิ่งสำคัญมาก ควรเรียนเนื้อหาที่รู้ไปยังเนื้อหาที่ไม่รู้ และจากง่ายไปหายากตามลำดับ การฝึกหลายๆ ครั้ง เป็นสิ่งจำเป็นมาก เพราะการเรียนรู้ภาษาเป็นการสร้างนิสัยการเรียนรู้ทักษะใดๆ จะเกิดขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการฝึกซ้ำกับทักษะนั้น

วิธีการเรียนรู้ภาษาที่สองแบบธรรมชาติหรือแบบการซึมซับภาษา (Language acquisition) เป็นวิธีการเรียนที่คล้ายกับการเรียนภาษาแรก ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้แบบไม่รู้ตัว คือผู้เรียนต้องได้รับข้อมูลการใช้จริงทางภาษา หรือผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการใช้ภาษา แล้วผู้เรียนค่อยสรุปกฎเกณฑ์ไวยากรณ์ทางภาษาขึ้นเองจากพื้นฐานทางทฤษฎีรู้คิด (The Cognitive Approach) ที่ผู้เรียนต้องใช้สติปัญญาในการเรียนรู้ภาษาในบางช่วงของ

พัฒนาการและในบางเรื่อง ต้องเข้าใจความหมายของสรรพสิ่ง พฤติกรรม และความคิดเชิงนามธรรม โดยเน้นการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งต่างๆ รอบตัวด้วยการใช้สื่อและอุปกรณ์การสอนภาษา (Teaching Aids) ในการทำให้ผู้เรียนเข้าใจความหมายอย่างถูกต้อง และช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และประทับใจ เกิดความสนใจอยากเรียน ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีกิจกรรมมากยิ่งขึ้น

สื่อสำหรับสอนภาษาในปัจจุบันเป็นสื่อออนไลน์อยู่บนเว็บไซต์ต่างๆ ในอินเทอร์เน็ต เว็บไซต์ (Website) มีลักษณะเป็นกลุ่มของเว็บเพจ (Webpage) หรือหน้าเว็บเพจหลายๆ หน้ารวมกัน มีโฮมเพจเป็นหน้าหลักของเว็บไซต์ และสามารถลิงค์เชื่อมโยงไปยังหน้าเว็บเพจอื่นภายในเว็บไซต์ มีขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์ด้วยการวางแผนกำหนดหัวเรื่อง รวบรวมข้อมูลและสื่อมัลติมีเดีย สร้างผังความสัมพันธ์ข้อมูล กำหนดชื่อไฟล์เอกสาร ออกแบบโครงสร้างเว็บไซต์ สร้างโลกคอลเลกต์หรือพื้นที่ใช้เก็บไฟล์เอกสาร พัฒนาและทดสอบ อัปเดตเว็บไซต์ ปรับปรุงแก้ไข และสุดท้ายทำการประชาสัมพันธ์เว็บไซต์ ตัวอย่างของสื่อการเรียนรู้ภาษาจากเว็บไซต์ เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อเรียนรู้ภาษาญี่ปุ่น โดยพบว่า แอปพลิเคชันเรียนรู้ภาษาญี่ปุ่นที่ได้นี้ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ได้จริง และเป็นประโยชน์ในการทบทวนบทเรียนด้วยตนเองได้เป็นอย่างดี หรือการพัฒนาชุดฝึกอบรมออนไลน์เพื่อหาผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนซึ่งพบว่าการเรียนรู้ที่ใช้ชุดฝึกอบรมออนไลน์ สามารถทำให้ผู้เรียนเกิดการมีส่วนร่วมระหว่างเรียนได้เป็นอย่างดี (Promdang and Thepnuan, 2018)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมที่เหมาะสมกับการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นสำหรับพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารแช่เยือกแข็งในเขตจังหวัดลพบุรี
2. เพื่อหาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจของผู้ใช้เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น

สมมติฐานการวิจัย

1. เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการพัฒนาทักษะการสื่อสารของพนักงาน
2. ผู้ใช้เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นที่สร้างขึ้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีความพึงพอใจมากต่อเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น

ขอบเขตของการวิจัย

1. เนื้อหา เป็นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยเอกสารการปฏิบัติงาน คู่มือการทำงานของฝ่ายผลิตของบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี
2. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยหัวหน้างานฝ่ายผลิต ของโรงงานอาหารแปรรูปแช่เยือกแข็งบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี จำนวน 120 คน (B. Foods Product International Co., Ltd, 2018)

3. ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยหัวหน้างานฝ่ายผลิตของโรงงานอาหารแปรรูปแช่เยือกแข็งบริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี จำนวน 92 คน วุฒิกการศึกษาตั้งแต่ปริญญาตรีขึ้นไป โดยสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายโดยวิธีจับฉลาก

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยโดยอาศัยทฤษฎีการเรียนรู้ของครอนบาค (Cronbach, 1962) ซึ่งเสนอสภาพการณ์ที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้ของบุคคลว่าประกอบด้วยลำดับขั้น 7 ขั้น คือ สถานการณ์ ลักษณะประจำตัวของบุคคล เป้าหมาย การแปลความหมาย การลงมือกระทำ ผลที่ได้รับ ปฏิกริยาต่อความล้มเหลวเมื่อผู้เรียนประสบความล้มเหลวในการแสวงหา ดังภาพ



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

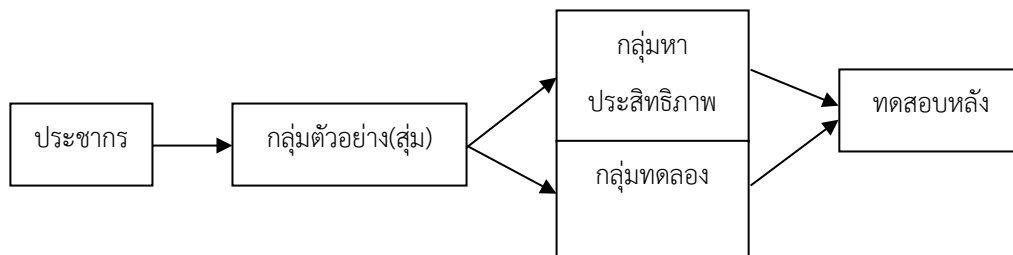
จากภาพผู้วิจัยได้นำองค์ประกอบที่มีส่วนในการตัดสินใจต่อการใช้อินเทอร์เน็ตของผู้ใช้งานเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น ได้แก่ สภาพแวดล้อม รวมถึงลักษณะประจำตัวของผู้ใช้แต่ละบุคคล โดยมีสิ่งที่คาดหวังว่าจะได้จากการใช้งานเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น มาช่วยในการบริหารงานและตัดสินใจในการพัฒนาทักษะการสื่อสารภาษาญี่ปุ่นของพนักงานให้ได้ตามเกณฑ์ของแต่ละบทเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้มีแนวทางในการศึกษาประสิทธิภาพของเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น โดยการนำข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตภัณฑอาหารปรุงสุกแช่เยือกแข็งส่งออกนี้ มาวิเคราะห์ วางแผน และออกแบบระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ตามระเบียบวิธีการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ซึ่งมีกระบวนการวิจัยและพัฒนาขั้นที่ 1 พัฒนาด้านแบบ ขั้นที่ 2 ทดลองใช้นวัตกรรม และขั้นที่ 3 สรุปผลการวิจัยและพัฒนา เขียนรายงาน โดยการสร้างต้นแบบนวัตกรรม ตรวจสอบและปรับปรุงต้นแบบนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง (Document for training, academic research and development course Sukhothai Thammathirat Open University, 2009)

แบบแผนการวิจัย

ผู้วิจัยใช้การวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งเป็นการวิจัยที่ค้นหาความจริง ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Documentation for basic education research courses Mahasarakham University, 2011) ในกลุ่มตัวอย่างซึ่งเลือกจากกลุ่มประชากรเดียวกัน



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงการทดลองแบบสองกลุ่มทดสอบหลัง

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยหัวหน้างานฝ่ายผลิต ของโรงงานอาหารแปรรูปแช่เยือกแข็งบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี จำนวน 120 คน วุฒิการศึกษาตั้งแต่ปริญญาตรีขึ้นไป (B. Foods Product International Co., Ltd, 2018)

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยหัวหน้างานฝ่ายผลิตของโรงงานอาหารแปรรูปแช่เยือกแข็งบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี จำนวน 92 คน โดยสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายโดยวิธีจับฉลาก ดำเนินการตามตารางสำหรับพิจารณาขนาดกลุ่มตัวอย่างตามทฤษฎีของเคร์คกีและมอร์แกน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Krejcie and Morgan, 1970)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วย เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น แบบประเมินลักษณะคุณภาพเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ และแบบประเมินความพึงพอใจเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น ซึ่งมีเนื้อหาประกอบไปด้วยคำศัพท์ขึ้นส่วนไ้ คำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในโรงงาน ส่วนวนและรูปประโยคภาษาญี่ปุ่นที่มักพบในโรงงานเช่น ตามบรรจุภัณฑ์อาหาร ป้ายบ่งชี้ตามจุดต่างๆ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงประกอบ ซึ่งนำเสนอเนื้อหาแบบสอน (Tutorial)

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบทดสอบจากการวิเคราะห์คำศัพท์ ส่วนวน และรูปประโยคภาษาญี่ปุ่นที่พบในโรงงาน เพื่อเป็นการกำหนดกรอบโครงสร้างเนื้อหาที่จะสอบวัด โดยโครงสร้างเนื้อหาจะต้องมีความครบถ้วนตามที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ ภาษาญี่ปุ่นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบคุณภาพ แล้วนำข้อบกพร่อง ข้อเสนอแนะที่ได้รับไปแก้ไขและปรับปรุงให้ถูกต้อง

แบบประเมินความพึงพอใจเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น ผู้วิจัยดำเนินการจัดทำเครื่องมือ โดยศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในการใช้เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรม จากนั้นนำเสนอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ เพื่อแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ เพื่อนำไปประเมินกับกลุ่มตัวอย่าง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยในครั้งนี้ได้นำเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมที่สร้างขึ้นทำการทดลองกับหัวหน้างานฝ่ายผลิตของโรงงานอาหารแปรรูปแช่เยือกแข็ง บริษัท บี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี จำนวน 92 คน เพื่อพัฒนาทักษะการใช้ภาษาญี่ปุ่น ในด้านคำศัพท์ สำนวนและประโยค โดยก่อนที่ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น ผู้วิจัยอธิบายการใช้เว็บไซต์แก่กลุ่มตัวอย่างเป็นเวลา 4 วันๆ ละ 25 คน หลังจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างกลับฝึกเข้าใช้เว็บไซต์ด้วยตนเองเป็นระยะเวลา 1 เดือน เมื่อเสร็จการทดลองใช้เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรม นำผลคะแนนทั้งก่อนเรียน (pre-test) และหลังเรียน (post-test) ที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ t-test แบบ Independent หาผลสัมฤทธิ์ของการใช้เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมจากกลุ่มทดลอง กลุ่มตัวอย่างทำแบบประเมินความพึงพอใจ จากนั้นนำผลคะแนนความพึงพอใจที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถูกต้องของเนื้อหาภาษาญี่ปุ่นในเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมภาษาญี่ปุ่นและแบบประเมินคุณลักษณะของเว็บสำหรับฝึกอบรมภาษาญี่ปุ่นประกอบด้วยสถิติที่ใช้ในการหาความตรงตามเนื้อหา ดำเนินการใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมภาษาญี่ปุ่นทำโดยการหาประสิทธิภาพของขบวนการเป็นคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ตอบถูกจากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ (E1)

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100$$

และประสิทธิภาพของผลลัพธ์เป็นคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ตอบถูกจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนคิดเป็นร้อยละแบบทดสอบหลังเรียนของ (E2) ที่ได้จากการวิจัยตามเกณฑ์ 80/80

$$E_2 = \frac{\frac{\sum F}{N}}{B} \times 100$$

สถิติพื้นฐาน คือ ค่าเฉลี่ย และค่าร้อยละ (Pannee Leikitwathana, 2550)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

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

สถิติเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยเว็บสำหรับฝึกอบรมภาษาญี่ปุ่นใช้สูตร t-test (Dependent) (Leikitwathana, 2550)

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}$$

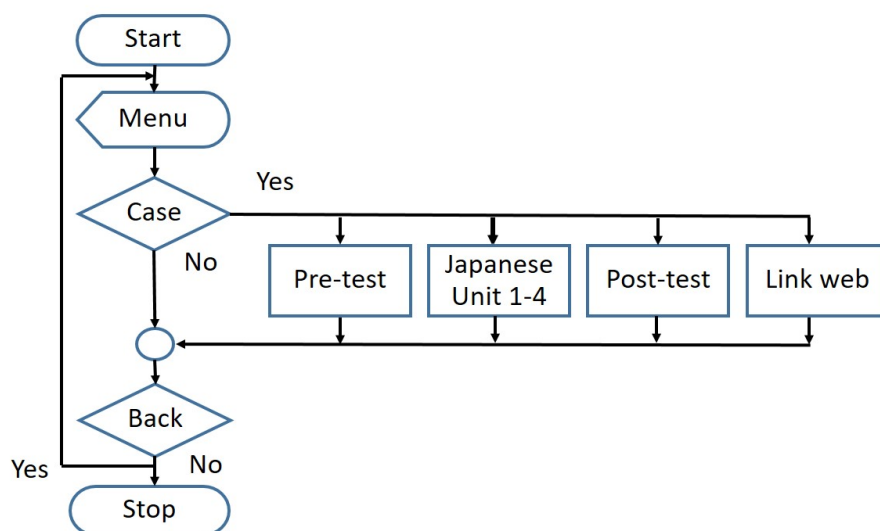
ผู้วิจัยนำวัฏจักรการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์หรือ SDLC (System Development Life Cycle) มาใช้ดำเนินการ แต่ละขั้น ดังนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบ (System analysis) ผู้วิจัยทำความเข้าใจกระบวนการผลิตอาหารแปรรูปของโรงงานซึ่งส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นจากผู้บริหารและหัวหน้างานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงสอบถามผู้บริหาร หัวหน้างานถึงปัญหาในการสื่อสารภาษาญี่ปุ่นกับลูกค้า แล้วหาความต้องการในการพัฒนาทักษะการสื่อสารภาษาญี่ปุ่นเบื้องต้น กำหนดกลุ่มเป้าหมายเป็นหัวหน้างานฝ่ายผลิต สำหรับใช้ทดลองเครื่องมือวิจัย



ภาพที่ 3 คณะผู้วิจัยประชุมร่วมกับผู้บริหาร และหัวหน้างานของโรงงาน

2. ขั้นตอนการออกแบบระบบ (System design) ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรวมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นสองส่วนสำคัญ ประกอบด้วยส่วนแรก ทำการออกแบบเชิงหน้าที่ (Functional design) ได้แก่ เนื้อหา (content) ที่อยู่ในเว็บไซต์สำหรับฝึกภาษาญี่ปุ่น รวมถึงข้อสอบสำหรับใช้ประเมินจำนวน 30 ข้อ ขณะเดียวกัน ผู้วิจัยออกแบบประเมินลักษณะคุณภาพของเว็บไซต์แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (Item-Objective Congruence Index : IOC) จากนั้นส่วนที่สองผู้วิจัยทำการออกแบบเชิงเทคนิค (Technical design) เป็นผังงานสำหรับใช้สร้างเว็บไซต์ และจัดทำสตอรี่บอร์ดของเว็บไซต์ (Program design)



ภาพที่ 4 ผังงานสำหรับใช้สร้างเว็บไซต์ฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น

3. ขั้นตอนการดำเนินการระบบ (System implementation) นำเอาข้อมูล และภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว หรือเอกสารจากการออกแบบมาพัฒนาเป็นระบบสารสนเทศ นำเอาการออกแบบมาเขียนโปรแกรมโดยใช้ ภาษาคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม construct2 ที่สามารถสร้างภาพจำลองได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 5 การบันทึกเสียงคำศัพท์ต่างๆ ลงเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมทักษะภาษาญี่ปุ่น

4. ขั้นตอนการทดสอบระบบ (System testing) ผู้วิจัยทำการทดสอบเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะ ภาษาญี่ปุ่น 3 ระดับ ได้แก่ Unit test, Integration test และ System test

5. ขั้นตอนการผลิตงานระบบ (System production) เป็นกระบวนการนำเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึก ทักษะภาษาญี่ปุ่นซึ่งผ่านการทดสอบแล้วไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง



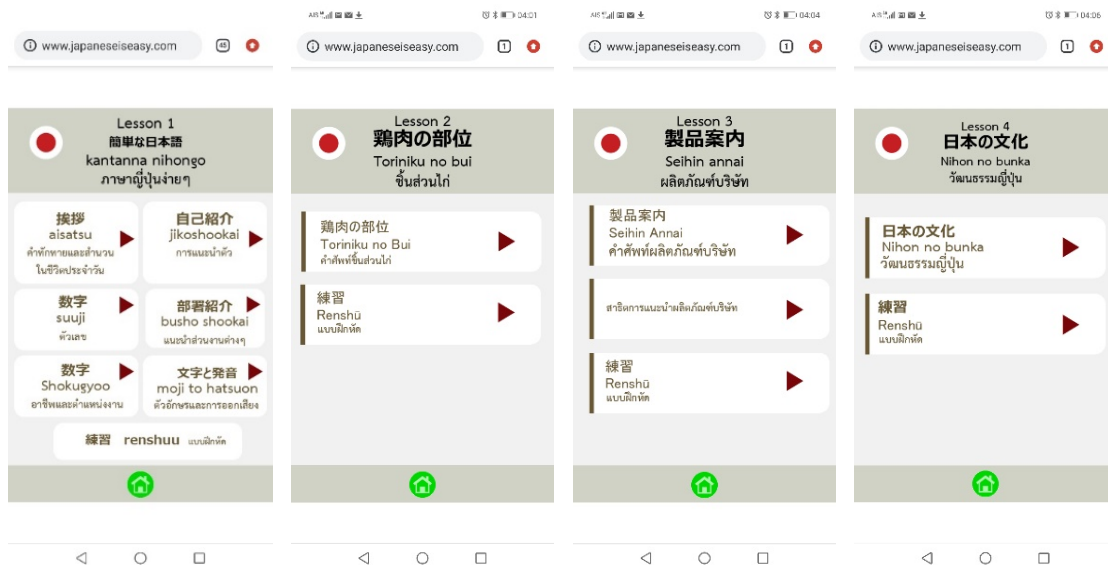
ภาพที่ 6 การทดสอบเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น

6. ขั้นตอนการปรับปรุงดูแลระบบ (System maintenance) ภายหลังจากที่มีการใช้งานเว็บไซต์ฝึกทักษะ ภาษาญี่ปุ่น พบว่ายังมีอุปสรรคการเข้าถึงหน้าเว็บไซต์จากภายนอกหน่วยงานในวันทำการ และเร็วขึ้นในวันหยุด คณะผู้วิจัยทำการปรับปรุงข้อผิดพลาดการเข้าถึงเว็บไซต์ให้มีความเสถียร และปรับแต่งขีดความสามารถในการทำงาน ของเว็บฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นให้รองรับการเข้าใช้งานในทุกบทเรียนของหัวหน้านงาน และปรับปรุงเว็บฝึกทักษะ ภาษาญี่ปุ่นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นตลอดช่วงเวลาที่ทำวิจัย

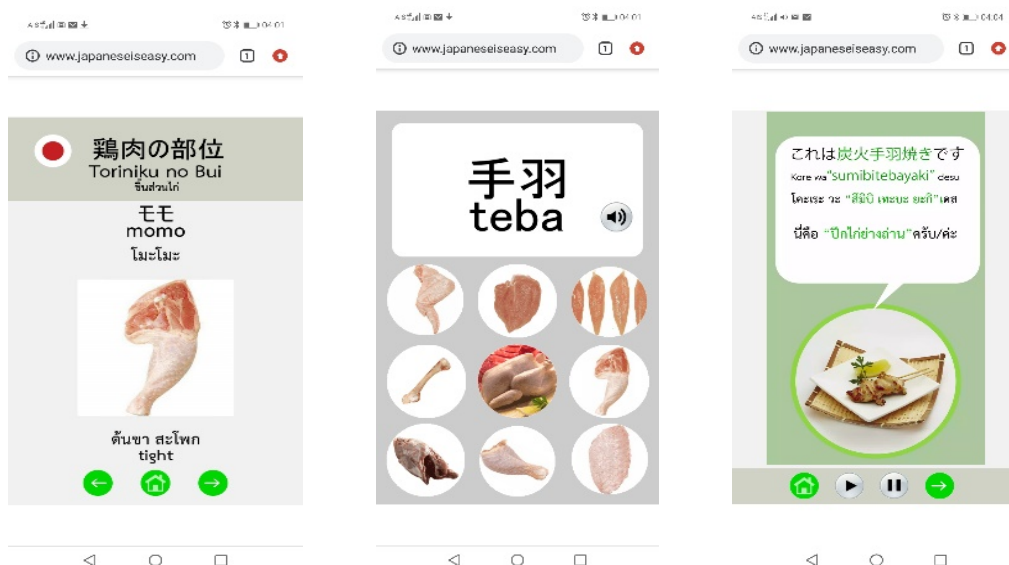
ผลการวิจัย

ภายหลังจากที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยในแต่ละกระบวนการด้วยเครื่องมือวิจัยต่างๆ แล้ว สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ดังนี้

1. เว็บไซต์สำหรับการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารแช่เยือกแข็งในเขตจังหวัดลพบุรี ที่ประกอบด้วยบทเรียน 4 บท ได้แก่ ภาษาญี่ปุ่นง่ายๆ ขึ้นส่วนไก่ ผลิตภัณฑ์บริษัท และวัฒนธรรมญี่ปุ่น



ภาพที่ 7 ตัวอย่างหน้าจอของบทเรียนต่างๆ ภายในเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น



ภาพที่ 8 ตัวอย่างภาพขึ้นส่วนไก่ ภาพผลิตภัณฑ์สินค้าส่งออก และแบบทดสอบภายในเว็บไซต์

เว็บไซต์การฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่น มีประสิทธิภาพระหว่างเรียน/ประสิทธิภาพหลังเรียนเท่ากับ 81.70/83.63 หมายถึงผู้เรียนมีประสิทธิภาพระหว่างเรียนและหลังเรียนผ่านเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรบทักษะภาษาญี่ปุ่น สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 เว็บไซต์สามารถนำไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพทักษะภาษาญี่ปุ่นได้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรบทักษะภาษาญี่ปุ่น

จำนวนผู้เรียน	ระหว่างเรียน		หลังเรียน	
	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
47 คน	24.51	81.70	25.09	83.63

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพระหว่างเรียนและหลังเรียนทักษะภาษาญี่ปุ่นผ่านเว็บไซต์

E1 (ประสิทธิภาพระหว่างเรียน)	E2 (ประสิทธิภาพหลังเรียน)	เกณฑ์การประเมิน
81.70	83.63	80/80

2. ผลการประเมินการยอมรับเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรบทักษะภาษาญี่ปุ่นสำหรับพนักงาน พบว่าผู้เข้ารับการอบรมทักษะภาษาญี่ปุ่นโดยใช้เว็บไซต์ Japanese is easy มีความพึงพอใจต่อเว็บไซต์ อยู่ในระดับมากทุกด้าน ทั้งด้านฟังก์ชันของการทำงานเว็บไซต์ ประสิทธิภาพของเว็บไซต์ ความน่าเชื่อถือที่มีต่อเว็บไซต์ และการตอบสนองต่อผู้ใช้งานเว็บไซต์

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรบทักษะภาษาญี่ปุ่น

เรื่องที่ประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ฟังก์ชันของการทำงานเว็บไซต์ Japanese is easy			
(1) ความไม่ยุ่งยากในการป้อนข้อมูลในเว็บไซต์ Japanese is easy	4.38	.51	มาก
(2) ฟังก์ชันต่างๆ ของเว็บไซต์ Japanese is easy ใช้งานง่าย	4.44	.45	มาก
(3) ปุ่มต่างๆ บนหน้าจอเว็บไซต์ Japanese is easy มีปฏิกิริยาสนองตอบเมื่อผู้ใช้ใช้งาน	4.36	.49	มาก
(4) เว็บไซต์ Japanese is easy เรียนรู้ง่ายต่อการเล่นครั้งต่อไป	4.46	.45	มาก
2. ประสิทธิภาพของเว็บไซต์ Japanese is easy			
(1) เมื่อป้อนข้อมูลในเว็บไซต์ Japanese is easy หน้าจอมีการสนองตอบในทันที	4.47	.42	มาก
(2) ปุ่มให้คำแนะนำ ในเว็บไซต์ Japanese is easy อธิบายชัดเจนและเข้าใจได้ทันที	4.54	.44	มากที่สุด
(3) ไม่มีการหยุดการทำงานของเว็บไซต์ Japanese is easy ขณะทำการใช้งาน	4.53	.44	มากที่สุด
3. ความน่าเชื่อถือที่มีต่อเว็บไซต์ Japanese is easy			
(1) เนื้อหาในแต่ละหน้าจอในเว็บไซต์ Japanese is easy สมจริงและถูกต้องตามหลักไวยากรณ์	4.47	.42	มาก
(2) คำศัพท์แต่ละคำในเว็บไซต์ Japanese is easy เหมาะสมตรงกับภาพประกอบตามความเป็นจริง	4.14	.44	มาก
(3) ในเว็บไซต์ Japanese is easy เมื่อเรียนบทใดบทหนึ่งแล้ว หากกลับมาเรียนใหม่อีกครั้ง และทำแบบทดสอบใหม่ ต้องให้ผลลัพธ์เหมือนกันกับที่เรียนในครั้งก่อน	4.43	.44	มาก

ตารางที่ 3 (ต่อ)

เรื่องที่ประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
4. การตอบสนองต่อผู้ใช้งานเว็บไซต์ Japanese is easy			
(1) เว็บไซต์ Japanese is easy นำออกผลลัพธ์ถูกต้องตามข้อมูลป้อนเข้าได้	4.46	.45	มาก
(2) เมื่อผู้ใช้งาน ใส่ข้อมูลผิดพลาด เว็บไซต์ Japanese is easy จะมีการให้ผลตอบกลับแก่ผู้ใช้งานที่ถูกต้องเชื่อถือได้	4.45	.46	มาก
(3) สถานการณ์ต่างๆ แต่ละบทเรียนในเว็บไซต์ Japanese is easy ตอบสนองต่อผู้ใช้งานทั้งภาพและเสียงอย่างชัดเจน	4.46	.43	มาก
ความพึงพอใจโดยรวม	4.43	.46	มาก

3. ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนด้วยบทเรียนบนเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรบทักษะภาษาญี่ปุ่น พบว่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 25.09 มีค่าสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนโดยทดสอบด้วย t-test for paired data พบว่ามีค่าเท่ากับ -9.295 ที่ระดับค่าชดเชยความผิดพลาดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 46 (df. = 46) แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรบทักษะภาษาญี่ปุ่นที่พัฒนาขึ้นนี้มีผลทำให้ผู้เข้าอบรมมีทักษะภาษาญี่ปุ่นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผู้เข้ารับการอบรมมีความพึงพอใจต่อเว็บไซต์ทุกๆ ด้าน ทั้งฟังก์ชันของการใช้งานเว็บไซต์ ประสิทธิภาพของเว็บไซต์ ความน่าเชื่อถือที่มีต่อเว็บไซต์ รวมไปถึงการตอบสนองต่อผู้ใช้งานเว็บไซต์

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเรียนด้วยเว็บไซต์สำหรับฝึกอบรบทักษะภาษาญี่ปุ่น

รายการ	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	t	p
ก่อนเรียน	30	20.06	2.97	-9.295*	0.000
หลังเรียน	30	25.09	1.94		

* p < 0.05

สรุปได้ว่าเว็บไซต์สำหรับการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นของพนักงานที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารและพัฒนาทักษะภาษาญี่ปุ่นในตัวพนักงานแต่ละคนให้สูงขึ้นได้ถูกต้อง เว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีผลทำให้ผู้เข้าอบรมมีคะแนนหลังเรียนเพิ่มขึ้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผล

1. อภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ผลการวิจัยในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างระดับหัวหน้างานฝ่ายผลิตสามารถใช้เว็บไซต์สำหรับการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นเป็นเครื่องมือสนับสนุนในการสนทนาภาษาญี่ปุ่นเบื้องต้นในหน้าที่ตนเองปฏิบัติงานอยู่ได้ ทั้งยังสามารถใช้เป็นกรณีประเมินความรู้พื้นฐานด้านภาษาของผู้ปฏิบัติงานเอง ผู้วิจัยเห็นว่าเป็นผลมาจากการทำความเข้าใจกับผู้บริหารโรงงาน และเกิดจากการสอบถามความต้องการของผู้ใช้งานก่อนที่จะพัฒนาเว็บไซต์ฝึกภาษาญี่ปุ่นนี้ ซึ่งแตกต่างจากเว็บไซต์ฝึกภาษาญี่ปุ่นทั่วไปที่มีได้เจาะจงเนื้อหาในที่ทำงาน

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

2. อภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เว็บไซต์สำหรับฝึกอบรมทักษะภาษาญี่ปุ่นที่พัฒนาขึ้นทำให้ผลสัมฤทธิ์ของผู้เข้าอบรมเพิ่มสูงขึ้น ผู้วิจัยเห็นว่าเกิดจากการให้คำแนะนำเว็บไซต์ก่อนที่ผู้ใช้จะไปฝึกด้วยตนเอง ผู้ใช้ได้ฝึกเรียนรู้ และเห็นพฤติกรรมการใช้งานของเพื่อนที่เข้าอบรม จึงกระตุ้นให้เกิดความตั้งใจที่จะฝึกฝนอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับผลการวิจัยของ พชรินทร์ พรหมแดง และนฤมล เทพนวลที่เห็นว่าชุดฝึกอบรมออนไลน์ที่เน้นการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ให้เกิดขึ้นกับผู้รับการฝึกอบรม (Promdang and Thepnuan, 2018) ในส่วนที่ผู้ใช้เว็บไซต์มีความพึงพอใจต่อเว็บไซต์ ผู้วิจัยเห็นว่าเป็นผลมาจากเนื้อหาที่อยู่ในเว็บไซต์เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพนักงานโดยตรง ซึ่งทำให้การฝึกฝนด้วยตนเองเกิดประโยชน์ สอดคล้องกับงานวิจัยของคุณานท์ มารยาท ที่พบว่าแอปพลิเคชันเรียนรู้ภาษาญี่ปุ่นช่วยส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ได้จริง และเป็นประโยชน์ในการทบทวนบทเรียนด้วยตนเองได้เป็นอย่างดี (Marayart, 2014)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 เชิงนโยบาย ในการขยายผลจากงานวิจัยครั้งนี้ ผู้บริหารโรงงานสามารถนำเว็บไซต์สำหรับการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นไปปรับใช้ฝึกอบรมพนักงานในแต่ละส่วนงาน และแสดงผลการเข้าใช้งานไปแสดงออกหรือปรากฏบนเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้บริหารในส่วนงานนั้น หรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสนับสนุนศักยภาพของพนักงาน ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริหารสะดวกในการได้รับข้อมูลที่เป็นจริงของพนักงานแต่ละคน

1.2 ในการพัฒนาบุคลากรของบริษัทนอกเหนือจากการประเมินสมรรถนะด้านการสื่อสารภาษาญี่ปุ่นพื้นฐานของพนักงานแล้ว ควรต้องมีการประเมินการสื่อสารภาษาญี่ปุ่นระดับที่สูงขึ้น เพื่อยกระดับให้การทำงานของบุคลากรมีคุณภาพสูงเป็นไปตามมาตรฐานและประสิทธิภาพของงานที่กำหนดไว้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในด้านการวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการนำเว็บไซต์สำหรับการฝึกทักษะภาษาญี่ปุ่นไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง เพื่อให้การฝึกภาษาญี่ปุ่นเชื่อมโยงไปยังแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ที่มีอยู่มากมายตามสื่อสังคมออนไลน์ หากสามารถพัฒนาเว็บไซต์ที่ผสานเข้ากับสื่อเสมือนจริงได้มากขึ้น จะช่วยให้ผู้ใช้งานรับรู้เนื้อหาและจดจำได้ดีขึ้น เพราะประสิทธิภาพของมัลติมีเดียที่ดีจะสร้างความสนใจของผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท พี.ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และบุคลากรเพื่อการเก็บข้อมูลวิจัย ด้วยผลของการวิจัยที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างนักวิจัยกับผู้บริหาร รวมถึงพนักงานของบริษัทในการพัฒนาตนเอง ซึ่งสำคัญและจำเป็นต่อการเติบโตของธุรกิจ ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ผลักดันให้ผู้วิจัยได้โครงการวิจัยนี้ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- B. Foods Product International Co., Ltd. (2018). *Human Resource Monthly Report December 2018*. Lopburi: Human Resource Department. (in Thai)
- Chinnery, G.M. (2006). Going to the MALL: Mobile assisted language learning. *Language Learning and Technology*, 10, 9-16.
- Education Technology Center. (2004). *The report quality of assessment's lesson on website*. Bangkok: Office of Non-Formal Education Administration Office of the Permanent Secretary for Education. (in Thai)
- Kim, H. (2013). Emerging mobile apps to improve English listening skills. *Multimedia-Assisted Language Learning*, 16, 11-30.
- Kochhunanan, K. (2016). The use of English for communication of Thai engineers : a case study Japanese companies in Amata Nakorn industrial estate. *Sutthipritusna Journal*, 30(93), 146-159. (in Thai)
- Krejcie, R. V. and Morgan, D. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30 (3), pp. 607-610. [Online]. Retrieved September 21, 2019, from: https://home.kku.ac.th/sompong/guest_speaker/KrejcieandMorgan_article.pdf
- Marayart, K. (2014). *Android Application for Learning Language. Independent Study of the Degree of Bachelor of Science Program in Computer Science*. Bangkok: Siam University. (in Thai)
- Office of Industrial Economic. (2017). *10 target industries economic driving mechanism for the future*. Bangkok: Public Relations and Library Services, Office of Industrial Economics. (in Thai)
- Promdang, P. and Thepnuan, N. (2018). The Development of online Training Package on Basic Occupation Health and Safety for Industrial Factory Workers. *Sripatum review of science and technology*, 10, 44. (in Thai)
- Rosell-Aguilar, F. (2007). Top of the pods-In search of a podcasting “pedagogy” for language learning. *Computer Assisted Language Learning*, 20, 471-492.
- Tsubosaka, K. (2012). *Japanese language education in University in Thailand – the gap of knowledge of learners and real abilities used in Japanese companies*. Collections of Education essays Japanese, 21, 34-42.

โดรนสำหรับการตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

รสนลิน เพตะกร^{1,*}, อรุณ พันโท²

^{1,2}ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Received: 3 March 2020

Revised: 6 October 2020

Accepted: 7 October 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ข้อ คือ (1) เพื่อพัฒนาต้นแบบโดรนตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (2) เพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบภาพไฟฟ้าได้อัตโนมัติ และ (3) เพื่อพัฒนาระบบการแจ้งเตือนการเกิดไฟฟ้า โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ได้มีการเตรียมภาพตัวอย่างที่ถ่ายจากโดรนนำมาใช้ในการทดสอบ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มภาพที่เกิดไฟฟ้ามี่จำนวน 100 ภาพ และภาพที่ไม่เกิดไฟฟ้าจำนวน 100 ภาพ ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำภาพตัวอย่างมาฝึกสอนระบบโดยใช้ไลบรารีของเทนเซอร์โฟร์เพื่อสร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกในการตรวจสอบไฟฟ้า ขั้นสุดท้ายขั้นตอนการแสดงผลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาความพึงพอใจ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และผู้ใช้ทั่วไปจำนวน 27 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) แอปพลิเคชันตรวจสอบการเกิดไฟฟ้า และ (2) แบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าความถูกต้อง ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าผลลัพธ์ของค่าความถูกต้องของระบบในการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไม่มีไฟ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 100 สำหรับการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไฟฟ้า มีค่าความถูกต้องร้อยละ 90 และการตรวจสอบสถานที่กลางแจ้งมีค่าความถูกต้องร้อยละ 80 และผลการประเมินความพึงพอใจของระบบโดยผู้ใช้งานอยู่ในระดับพึงพอใจระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13

คำสำคัญ : โดรน ไฟฟ้า การเรียนรู้เชิงลึก

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: roselin@cmru.ac.th

Drone for Detecting Forest Fires using Deep Learning Technique

Roselin Petagon^{1,*}, Oranuch Pantho²

^{1,2} Computer Department, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

Received: 3 March 2020

Revised: 6 October 2020

Accepted: 7 October 2020

ABSTRACT

The objectives of this research are (1) to develop a prototype drone for monitoring forest fires using deep learning techniques; (2) to develop an automatic system for detecting the forest fire images; and (3) to develop a warning system for a forest fire. The research process comprised 3 main steps. The first step was the preparation of images for processing. In this step 100 forest fire images and 100 non-fire images captured by drones were collected. The second step was the taking of the collected images to be used as a training set for training the system by forming the deep learning models using the Tensor Flow library for detecting a forest fire. The third step was the result display step. The research sample for studying the satisfaction with the model consisted of 5 experts and 27 general users. The research tools were (1) the application for forest fire detection, and (2) a questionnaire to assess satisfaction. The statistics used in this research were the accuracy index, mean, and standard deviation. The results show that there is 100 percent of accuracy for the non-forest fire sample image set; for the sample image set of forest fire, there is 90 percent of accuracy; the accuracy for outdoor detection is 80 percent; and the result of the satisfaction assessment by the general users is at the high level, with the satisfaction rating mean of 4.13.

Keywords: Drone, Forest fire, Deep learning

*Corresponding Author; Email: roselin@cmru.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฟป่าเป็นเพลิงไหม้ที่ปราศจากการควบคุม สามารถลุกลามได้อย่างอิสระ เผาผลาญเชื้อเพลิงธรรมชาติในป่า ครอบคลุมอาณาเขตกว้างขวาง ลุกลามอย่างรวดเร็ว สาเหตุของไฟป่าอาจจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้น โดยสถิติกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช พบว่าจังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีการเกิดไฟป่าทำให้พื้นที่ป่าเสียหายจากไฟไหม้ป่าสูงที่สุดในประเทศไทย สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟป่า เผยตัวเลขการดับไฟป่า ปีงบประมาณ 2559 จ.เชียงใหม่ ลำดับของพื้นที่ที่เกิดไฟป่า มีพื้นที่ป่าเสียหายสูงสุดในประเทศไทย โดยปี 2559 เกิดไฟป่ามากกว่าปี 2558 เกือบร้อยละ 50 ขณะที่พื้นที่ป่าเสียหายนับแสนไร่เพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัว ภาคเหนือ 16 จังหวัด ดับไฟป่าแล้ว 4,376 ครั้ง พื้นที่ถูกไฟไหม้เสียหาย 67,906 ไร่ มีการดับไฟป่าสูงสุดที่จังหวัดเชียงใหม่จำนวน 1,602 ครั้ง เสียหาย 22,975 ไร่ ในการตรวจสอบพื้นที่ไฟไหม้อาจจะใช้วิธีการตรวจสอบด้วยการประยุกต์เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลเพื่อประเมินหาพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกไฟไหม้บริเวณพื้นที่ป่าอนุรักษ์ (Academic Division of Forest Fire Control Division, 2011) ซึ่งการเกิดไฟป่าเป็นพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากจึงได้นำโดรนมาช่วยในการสำรวจ โดรน หรือ UAV (Unmanned Aerial Vehicle) หรือ อากาศยานไร้คนขับ ที่สามารถควบคุมระยะไกลได้ด้วยรีโมทให้บินปฏิบัติการได้ตามที่ผู้ควบคุมต้องการ และยังมีการนำโดรนมาประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย งานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเช่น งานด้านการเกษตร การบินสำรวจพื้นที่หาจุดเสี่ยงภัยต่างๆ รวมทั้งมีการใช้โดรนมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมือง (Boonlua et al., 2018) ด้วยเช่นกัน การใช้โดรนทำการบินสำรวจพื้นที่ที่เกิดไฟป่าในปัจจุบัน ผู้ควบคุมโดรนจะมีหน้าที่ควบคุมการบินพร้อมตรวจสอบภาพ ถ้าผู้ควบคุมโดรนพบภาพมีไฟป่า ผู้ควบคุมจะทำการแจ้งพิกัดการเกิดไฟป่าให้เจ้าหน้าที่เข้าควบคุมไฟป่าให้เข้าพื้นที่ที่เกิดไฟป่า ซึ่งผู้ควบคุมโดรนต้องคอยตรวจสอบภาพการเกิดไฟป่าตลอดเวลาว่ามีการเกิดไฟป่าที่พิกัดไหนบ้างซึ่งขาดการประมวลผลแบบอัตโนมัติจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาระบบที่สามารถตรวจสอบภาพไฟป่าได้อัตโนมัติโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เข้ามาช่วย โดยระบบการเรียนรู้เชิงลึกเป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียนรู้ข้อมูล เพื่อตัดสินใจต่อปัญหาต่างๆ ได้ด้วยตนเอง ทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากๆ ได้โดยใช้ประโยชน์จากความเร็วของการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบัน ซึ่งในการพัฒนาการเรียนรู้เชิงลึก นิยมใช้ไลบรารีของเทนเซอร์โฟลว์ (TensorFlow) ที่ใช้งานได้ง่าย

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบโดรนสำหรับตรวจสอบการเกิดไฟป่า โดยให้โดรนบินตรวจสอบภาพหาจุดที่เกิดไฟป่าได้อัตโนมัติ โดยใช้หลักการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และสร้างระบบเพื่อแจ้งเตือนให้กับผู้ใช้ให้ได้รับข้อมูลการเกิดไฟป่า เพื่อสามารถตรวจสอบการเกิดไฟป่าได้อย่างรวดเร็ว ทันทีที่ แม้นในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบโดรนตรวจสอบการเกิดไฟป่าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
2. เพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบภาพไฟป่าได้อัตโนมัติ
3. เพื่อพัฒนาระบบการแจ้งเตือนการเกิดไฟป่าในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากและสามารถแก้ปัญหาได้อย่างทัน่วงที

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การตรวจไฟป่า (Academic Division of Forest Fire Control Division, 2011) กล่าวว่า การตรวจหาพื้นที่ไฟไหม้ป่าสามารถประยุกต์เทคนิคการรับรู้ระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยการนำข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-TM มาผลิตเป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม กรองแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน และแปลความภาพจากดาวเทียมของพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกไฟไหม้ แล้วนำข้อมูลภาพมาทำการประมวลผลภาพเพื่อจำแนกข้อมูลภาพโดยวิธีแบบไม่กำกับดูแลแล้วนำจุดความร้อน (Hotspot) มาเป็นจุดตรวจสอบ

2. โดรน หรือ อากาศยานไร้คนขับ มีหลักการทำงานโดยควบคุมด้วยวิทยุบังคับหรือรีโมทจากผู้ควบคุม ที่อยู่บนสถานีภาคพื้นให้ทำงานตามภารกิจที่ต้องการ ได้มีการนำโดรนมาประยุกต์ใช้หลายด้าน เช่น การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกในการจำแนกข้อมูลถนนจากภาพถ่าย Drone เพื่อการสำรวจถนนในเขตชนบท (Yongying, 2019) การใช้โดรนมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมือง (Boonlua et al., 2018)

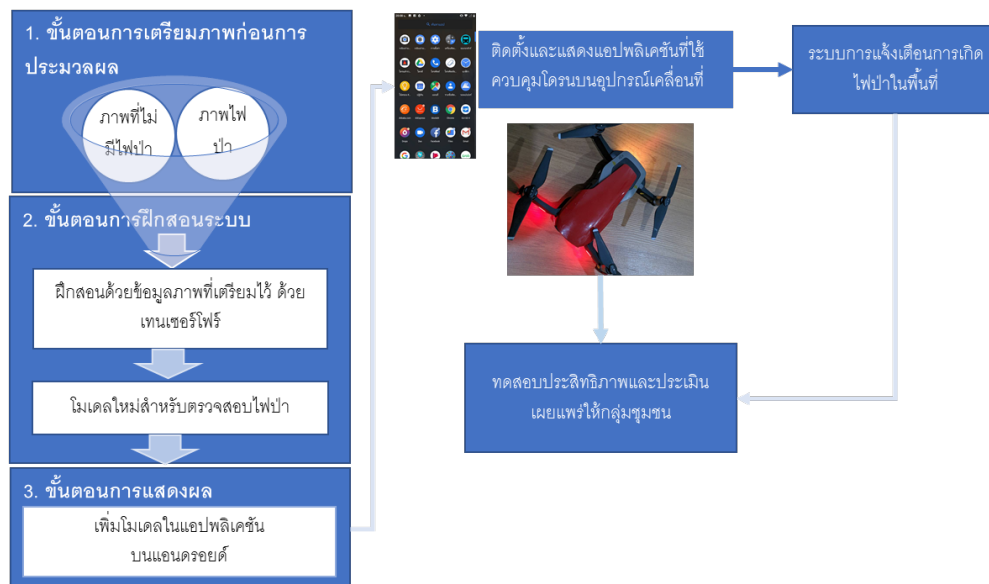
3. การเรียนรู้เชิงลึก (Carrio et al., 2017) เป็นเทคนิคหนึ่งทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นความสามารถในการใช้งานระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อเรียนรู้จากข้อมูลโดยถูกแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) เป็นรูปแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอนโดยทั่วไป จะอยู่ในลักษณะการทำนายผลลัพธ์ ถัดมาการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนหรือข้อมูลมาสอนก่อน นั่นคือให้คอมพิวเตอร์สังเกตรูปร่าง ลักษณะ แยกตามขนาด น้ำหนัก และส่วนสูงข้อมูลไหนมีลักษณะใกล้เคียงกันก็ทำการจับกลุ่ม จะไม่รู้คำตอบที่แน่ชัด แต่ต้องการให้เครื่องตามหาโครงสร้างข้อมูลที่ไม่รู้จัก (Unknown Structure) และการเรียนรู้แบบเสริมแรง (Reinforcement Learning) เป็นตัวแทนของ AI ใช้ได้ตอบกับสภาพแวดล้อมจริงหรือจำลอง การปฏิสัมพันธ์จะเตรียมผลสะท้อนกลับระหว่างระบบการเรียนรู้และประสบการณ์ในการโต้ตอบซึ่งเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในงานที่กำลังทำการเรียนรู้ มีการนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกไปประยุกต์ดังนี้ Hongboonmee et al. (2019) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันช่วยระบุธนบัตรไทยด้วยเสียงสำหรับผู้พิการทางสายตาผ่านสมาร์ตโฟนบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก โดยใช้โปรแกรม Android Studio ภาษา JAVA และไลบรารี Text to Speech สำหรับการแปลงข้อความเป็นเสียง และ Pholberdee (2018) ได้ศึกษาการแยกพื้นที่บาดแผลจากภาพถ่ายด้วยการเรียนรู้เชิงลึกและการขยายข้อมูลแบบต่างๆ

4. เทนเซอร์โฟลว์ (TensorFlow) เป็นไลบรารีที่ใช้ในการพัฒนา Machine Learning ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Google ซึ่ง เทนเซอร์โฟลว์นั้นจะเป็น Open source ที่จะใช้ python ในการเขียน รองรับเวอร์ชันทั้ง python2 และ Python3 โดย TensorFlow สามารถทำงานบน CPU และ GPUs รองรับระบบปฏิบัติการ Linux, macOS, Windows และ Android

จากเอกสารและผลงานวิจัยข้างต้นการเรียนรู้เชิงลึกเป็นตัวแทนการเรียนรู้จากข้อมูลที่ซับซ้อนที่ได้มาในสภาพแวดล้อมจริงในขณะเดียวกันยานพาหนะทางอากาศแบบไม่ใช้คน (โดรน) กำลังถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางสำหรับงานทั่วไป ผู้วิจัยจึงสนใจนำโดรนและเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจสอบไฟป่าได้อย่างอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพและมีคุณภาพสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึก และโดรน เพื่อพัฒนาโดรนสำหรับสำรวจไฟฟ้าอัตโนมัติ เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ที่มีขั้นตอนการพัฒนา 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ขั้นต่อไปเป็นการนำภาพตัวอย่างมาฝึกสอนระบบโดยใช้ไลบรารีของเทนเซอร์โฟร์เพื่อสร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกในการตรวจสอบไฟฟ้า ขั้นสุดท้ายขั้นตอนการแสดงผล แล้วทำการติดตั้งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เมื่อโดรนบินสำรวจจะสามารถตรวจสอบพร้อมแจ้งเตือนตำแหน่งผ่านระบบการแจ้งเตือน ทำการทดสอบประสิทธิภาพและประเมินผลการใช้งาน ควบคู่ไปกับการสร้างความรู้ให้คนในชุมชนมีความรู้ในการรับมือกับปัญหาไฟฟ้า ดังกรอบแนวความคิดของการวิจัยภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ประชาชนในเขตชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ และอาจารย์ นักวิชาการ นักศึกษา ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ คัดเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Selection) และแบบสุ่มอย่างง่าย เพื่อให้ได้บุคคลที่สามารถให้ข้อมูลตรงตามที่ต้องการและกระจายอยู่ในขอบเขตของการศึกษา จำนวน 27 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้เครื่องมือในการพัฒนา และวัดประสิทธิภาพของต้นแบบโดรนตรวจสอบไฟฟ้าดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาต้นแบบโดรนตรวจสอบไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของโดรนเพื่อใช้ในการส่งภาพ โดยใช้โดรนรุ่น Mavic Air และส่วนของซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio) ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ภาษาจาวา (Java) ใช้เขียนคำสั่งในการทำงานของ

แอปพลิเคชัน เอ็กซ์เอ็มแอล (Xml) ใช้ในการควบคุมการแสดงผลบนหน้าจอ และไลบรารีของเทนเซอร์โฟร์ ใช้ในการฝึกสอนระบบให้สามารถตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพ ระบบฐานข้อมูลไฟล์เบส (Firebase Database) ใช้เก็บข้อมูลภาพไฟฟ้า กลุ่มไลน์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบการแจ้งเตือน โดยแอปพลิเคชันสามารถติดตั้งได้บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2. เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลการใช้งานต้นแบบโดรนสำหรับตรวจสอบการเกิดไฟฟ้า เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

การประเมินผลการใช้ระบบ

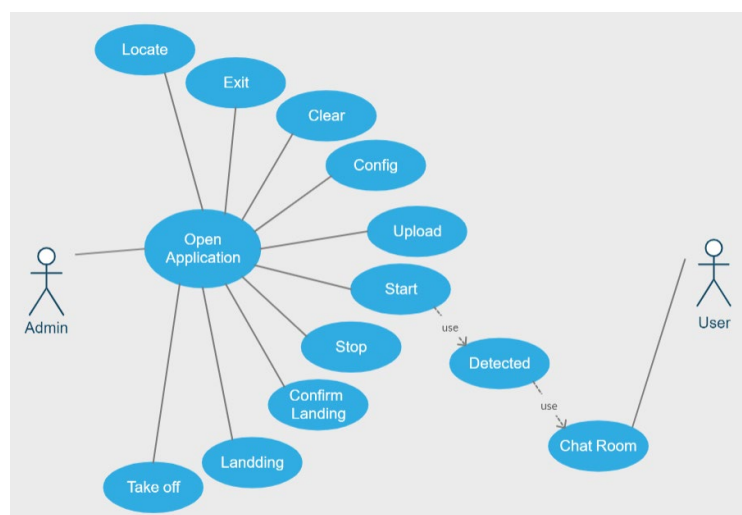
การประเมินผลการใช้ระบบ ได้มีการนำแอปพลิเคชันติดตั้งบนคลาวด์ จัดกิจกรรมกลุ่มเชิญผู้เชี่ยวชาญเพื่อนำเสนอระบบการตรวจสอบไฟฟ้า ผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์ หลังจากทำการปรับปรุงระบบจัดอบรมการใช้งานระบบ ให้ประชากรกลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานและทำการประเมินผลระบบ ทำการสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยการหาความถูกต้อง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบตรวจสอบไฟฟ้าอัตโนมัติ ประกอบด้วย ผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบ การตรวจสอบไฟฟ้า ผลการสร้างโมเดลสำหรับตรวจสอบไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับระบบตรวจสอบไฟฟ้า ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพ และผลการประเมินการใช้งานระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบการตรวจสอบไฟฟ้า

การวิเคราะห์และออกแบบระบบการตรวจสอบไฟฟ้าแบ่งบุคคลที่เกี่ยวข้อง 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ (Admin) และผู้ใช้ (User) ที่จะได้รับการแจ้งเตือน เมื่อเปิดการทำงานของโดรน และแอปพลิเคชัน (Open Application) แอปพลิเคชันจะสามารถควบคุมโดรนผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ดังรายละเอียดในภาพที่ 2 ต่อไปนี้



ภาพที่ 2 ยูสเคสไดอะแกรมของระบบตรวจสอบการเกิดไฟฟ้า

Locate : เพื่อกำหนดตำแหน่งในการบิน

Exit : เพื่อทำการออกจากแอปพลิเคชัน

Clear : เพื่อทำการยกเลิก ในกรณีที่มีข้อผิดพลาดในการเลือกตำแหน่งให้

Config : เพื่อกำหนดความเร็วในการบิน

Upload : เมื่อผู้ดูแลระบบต้องการอัปโหลดตำแหน่งให้โดรน

Start : เริ่มบินตรวจสอบในพื้นที่ป่าตามตำแหน่งที่ได้ตั้งไว้ เมื่อตรวจสอบพบภาพไฟฟ้า (Detected) จะทำการส่งภาพไฟฟ้าและพิกัด ส่งการแจ้งเตือนการเกิดไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ในห้องแชท (Chat Room)

Stop : เพื่อให้หยุดบิน

Take off : เพื่อให้ขึ้นบินโดยไม่กำหนดตำแหน่ง

Landing : เพื่อให้ลงจอด

Confirm Landing : เพื่อยืนยันการลงจอด

2. ผลการสร้างโมเดลสำหรับตรวจสอบไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

การสร้างโมเดลสำหรับตรวจสอบไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก มีขั้นตอนการทำ 3 คือขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ขั้นตอนการฝึกสอนระบบ และขั้นตอนการแสดงผล



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพจากโดรน (ก) ภาพที่มีไฟไหม้ และ (ข) ภาพไม่มีไฟไหม้

(1) ขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ในการเตรียมภาพที่ใช้ในการสร้างโมเดลตรวจสอบไฟฟ้าโดยใช้ภาพจากโดรนที่บินในระดับความสูง 20 เมตร ภาพที่ได้จะมีขนาด 5000×2812624.6 KB ซึ่งภาพที่บันทึกนั้นจะเป็นไฟล์นามสกุล JPG และภาพที่ได้นั้นจะใช้ในการจำลองการเกิดไฟฟ้างดังตัวอย่างภาพที่ 3 ภาพที่นำมาใช้ในการเรียนรู้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มภาพที่เกิดไฟฟ้ามี่จำนวน 100 ภาพ และภาพที่ไม่เกิดไฟฟ้าจำนวน 100 ภาพ นำภาพจากโดรนมาผ่านขั้นตอนการปรับปรุงภาพโดยการแยกส่วนพื้นหลังที่ไม่ต้องการออก ภาพที่นำมาใช้ทดลอง

ทั้งหมดจำนวน 100 ภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาพที่นำมาใช้ฝึกสอนระบบ (Train Data Set) จำนวน 90 ภาพ และภาพที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพ หรือชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data Set) จำนวน 10 ภาพ

(2) ขั้นตอนการฝึกสอนระบบ ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลภาพที่เตรียมไว้มาทำการประมวลผลเพื่อฝึกสอน (Train Data) และสร้างโมเดลเพื่อใช้ในการตรวจสอบไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานได้แก่ ไลบรารีเทนเซอร์โฟร์สำหรับพัฒนาโมเดลและใช้ภาษาไพธอน ในการฝึกสอนและสร้างโมเดลใหม่ ในการฝึกสอนและสร้างโมเดลใหม่จะดำเนินการทั้งหมดจำนวน 500 รอบ ดังแสดงในภาพที่ 4 เมื่อทำการฝึกสอนจนครบแล้วจะได้ไฟล์โมเดลสำหรับการตรวจสอบไฟฟ้าจำนวน 2 ไฟล์ได้แก่ retrained_labels.txt และ stripped_retrained_labels.pb

```
root@77228b54b670:/tensorflow# python tensorflow/examples/image_retraining/retrain.py \
> --bottleneck_dir=tf_files/bottlenecks \
> --how_many_training_steps 500 \
> --model_dir=tf_files/imagenet \
> --output_graph=tf_files/retrained_graph.pb \
> --output_labels=tf_files/retrained_labels.txt \
> --image_dir /tf_files/images

W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45] The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE3 instructions, but these are available on your machine; use --enable_sse3 for an optimized build
W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45] The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.1 instructions, but these are available on your machine; use --enable_sse41 for an optimized build
W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45] The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.2 instructions, but these are available on your machine; use --enable_sse42 for an optimized build
W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45] The TensorFlow library wasn't compiled to use AVX instructions, but these are available on your machine; use --enable_avx for an optimized build

Looking for images in 'fire'
Looking for images in 'none'
100 bottleneck files created.
200 bottleneck files created.
300 bottleneck files created.
2019-01-27 03:58:42.195169: Step 0: Train accuracy = 59.0%
2019-01-27 03:58:42.195395: Step 0: Cross entropy = 0.635891
2019-01-27 03:58:42.684793: Step 0: Validation accuracy = 51.0% (N=100)
2019-01-27 03:58:47.731798: Step 10: Train accuracy = 95.0%
2019-01-27 03:58:47.731917: Step 10: Cross entropy = 0.395901
2019-01-27 03:58:48.213380: Step 10: Validation accuracy = 100.0% (N=100)
2019-01-27 03:58:53.569714: Step 20: Train accuracy = 92.0%
2019-01-27 03:58:53.569851: Step 20: Cross entropy = 0.323366
2019-01-27 03:58:54.124919: Step 20: Validation accuracy = 98.0% (N=100)
2019-01-27 03:58:59.868780: Step 30: Train accuracy = 98.0%
2019-01-27 03:58:59.868951: Step 30: Cross entropy = 0.241551
2019-01-27 03:59:09.839480: Step 30: Validation accuracy = 100.0% (N=100)
2019-01-27 03:59:07.306784: Step 40: Train accuracy = 97.0%
2019-01-27 03:59:07.306912: Step 40: Cross entropy = 0.218886
```

ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างโค้ดการฝึกสอนข้อมูลภาพไฟฟ้า

(3) ขั้นตอนการแสดงผล เป็นขั้นตอนการนำไฟล์โมเดลตรวจสอบการเกิดไฟฟ้า ไปไว้ในโปรเจกต์ที่สร้างด้วยโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอเพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถแสดงผลในการตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าได้อัตโนมัติ

3. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับระบบตรวจสอบไฟฟ้า

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับระบบตรวจสอบไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือผลการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ใช้ในการตรวจสอบไฟฟ้า และผลการพัฒนาระบบการแจ้งเตือนผู้ใช้แอปพลิเคชันเมื่อเกิดไฟฟ้า

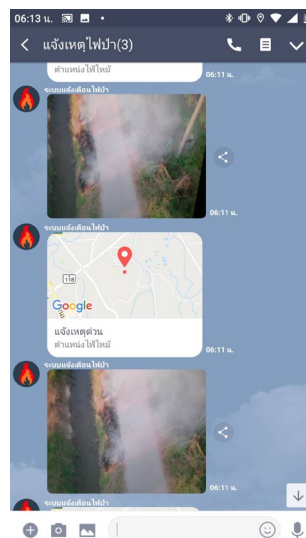
3.1 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ใช้ในการตรวจสอบไฟฟ้า จะมีหน้าจอควบคุมจะแสดงผลการตรวจสอบว่า None (เมื่อตรวจสอบภาพไม่พบไฟฟ้า) หรือ Fire (เมื่อตรวจสอบภาพพบไฟฟ้า) ตามค่าน้ำหนักที่คำนวณได้ ผู้ใช้จะทำการตรวจสอบค่า Fire ถ้ามีค่าน้ำหนักมากกว่า 0.75 จะทำการบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูล Firebase Database แล้วทำการแจ้งเตือนพิกัดและภาพไปยังไลน์แชทให้ผู้ใช้ระบบต่อไป ส่วนหน้าจอแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ควบคุมโดรนตรวจสอบไฟฟ้างแสดงภาพที่ 5 โดยมีขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการใช้ปุ่ม ADD สร้าง Waypoint หรือการสร้างตำแหน่งที่ต้องการให้โดรนบินตรวจสอบแล้วทำการกดปุ่ม UPLOAD เพื่อทำการอัปโหลดตำแหน่งให้โดรนในกรณีที่มีข้อผิดพลาดในการเลือกตำแหน่งให้กดปุ่ม CLEAR เพื่อทำการยกเลิก แต่ถ้าไม่มีข้อผิดพลาดให้กดปุ่ม START เพื่อสั่งให้โดรนเริ่มบินไปตรวจสอบไฟฟ้าตามตำแหน่งที่ได้ตั้งไว้ เมื่อทำการตรวจสอบพบไฟฟ้าระบบจะทำการส่งภาพและพิกัดเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้ที่อยู่ในไลน์กลุ่มทราบ หรือหากบินตามพิกัดต่างๆ ที่ได้ตั้งไว้ ไม่พบไฟฟ้า คือโดรนบินรอบตำแหน่งที่ตั้งไว้ครบแล้วโดรนก็จะบินกลับมายังจุดที่ขึ้นเริ่มต้นและเริ่มลงจอดในตำแหน่งที่ขึ้นไป



ภาพที่ 5 แสดงภาพจากระบบตรวจสอบไฟฟ้าในกรณี
(ก) โดรนตรวจไม่พบว่าเกิดไฟฟ้า และ (ข) โดรนตรวจพบว่าเกิดไฟฟ้า

3.2 ผลการพัฒนาระบบการแจ้งเตือนผู้ใช้แอปพลิเคชันเมื่อเกิดไฟฟ้า

ระบบการแจ้งเตือนจากการบินตรวจสอบไฟฟ้าอัตโนมัติของโดรนจะมีการสร้างกลุ่มไลน์ เพื่อใช้ในการรับผลการแจ้งเตือน โดยการแจ้งเตือนเมื่อตรวจสอบพบไฟฟ้าจะทำการส่งภาพและพิกัดให้ผู้ใช้ที่เป็นสมาชิกในกลุ่มโดยผู้ดูแลระบบจะเป็นผู้เพิ่มผู้ใช้ที่ต้องการได้รับผลการแจ้งเตือน เมื่อโดรนทำการบินแล้วตรวจสอบพบไฟฟ้าจะทำการส่งภาพและพิกัดแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ ผู้ใช้สามารถเข้าไปในกลุ่มไลน์เพื่อพูดคุย สอบถาม นัดหมายรายละเอียดต่างๆ ในการเดินทางไปดับไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่ได้ส่งมาจากโดรน ดังแสดงรายละเอียดของกลุ่มไลน์ในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงหน้าไลน์กลุ่มที่ใช้ในการแจ้งเตือนให้กับผู้ใช้ระบบ

4. ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพ

การตรวจสอบประสิทธิภาพของโดรนสำหรับตรวจสอบไฟฟ้าโดยการบันทึกค่าที่ได้จากภาพชุดทดสอบจำนวน 10 ภาพ เมื่อระบบตรวจสอบพบไฟที่มีค่าน้ำหนักมากกว่าและเท่ากับ 0.75 ขึ้นไปจะมีการส่งภาพ และพิกัดเพื่อทำการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานผ่านไลน์กลุ่ม หรือกรณีที่มีค่าน้ำหนักน้อยกว่า 0.75 ก็ไม่มีการส่งการแจ้งเตือนในการตรวจสอบความหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) โดยใช้สมการดังนี้

$$\%Accuracy = 100 - \%Relative Error$$

โดยที่ร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) ดังนี้

$$\%Relative Error = [(|X_{mea} - X_t|) / X_t] \times 100$$

เมื่อ X_{mea} คือ จำนวนครั้งที่ตรวจสอบภาพและส่งพิกัดแจ้งเตือนถูกต้อง

X_t คือ จำนวนครั้งที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

ในการทดสอบประสิทธิภาพได้ทดสอบระบบโดยใช้ภาพชุดทดสอบจำนวน 10 ภาพแบ่งเป็นในกรณีภาพชุดทดสอบที่มีไฟจำนวน 10 ภาพ จะต้องมีการส่งผลภาพและพิกัดเพื่อแจ้งเตือน สำหรับกรณีภาพชุดทดสอบที่ไม่มีไฟจำนวน 10 ภาพ จะต้องไม่มีการส่งผลภาพและพิกัดเพื่อแจ้งเตือน จากผลการบันทึกการทดลองตารางที่ 1 พบว่าในการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไฟนั้นสามารถตรวจสอบส่งภาพไฟฟ้าได้ถูกต้องจำนวน 9 ครั้ง และผิดจำนวน 1 ครั้ง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 90 หรือมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10 ต่อมาเป็นการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไม่มีไฟพบว่าสามารถตรวจสอบการส่งภาพได้ถูกต้องจำนวน 10 ครั้ง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 100 หรือไม่มีค่าความคลาดเคลื่อน และการตรวจสอบสถานที่กลางแจ้ง สามารถตรวจสอบการส่งภาพได้ถูกต้องจำนวน 8 ครั้ง และผิดจำนวน 2 ครั้ง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 80 หรือมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 20

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลองการส่งค่าภาพในการตรวจสอบไฟ

สถานที่	จำนวนครั้งที่ใช้ทดสอบทั้งหมด	จำนวนครั้งที่ตรวจสอบถูกต้อง	ค่าคลาดเคลื่อน (%)	ค่าความถูกต้อง (%)
ชุดภาพตัวอย่างไฟ	10	9	10	90
ชุดภาพตัวอย่างไม่มีไฟ	10	10	0	100
สถานที่กลางแจ้ง	10	8	20	80

5. ผลการประเมินการใช้งานระบบ

จากการพัฒนาโดรนสำหรับการตรวจสอบไฟฟ้า ได้นำไปใช้ทดสอบกับกลุ่มผู้ใช้ทั่วไปจำนวน 27 คน ผลการประเมินการใช้งานระบบแสดงได้ดังนี้

ผลการศึกษาความพึงพอใจนี้ ได้วิเคราะห์จากแบบสอบถาม เพื่อศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายที่ใช้งานโดรนสำหรับตรวจสอบไฟฟ้า เพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อไป ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจความพึงพอใจโดยแบ่งระดับคะแนนความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

5 หมายถึง มากที่สุด

4 หมายถึง มาก

3 หมายถึง ปานกลาง

2 หมายถึง น้อย

1 หมายถึง น้อยที่สุด

กำหนดค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจเป็น 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับคะแนนเฉลี่ย 4.51 – 5.00 ความพึงพอใจระดับมากที่สุด
- ระดับคะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.50 ความพึงพอใจระดับมาก
- ระดับคะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50 ความพึงพอใจระดับปานกลาง
- ระดับคะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50 ความพึงพอใจระดับน้อย
- ระดับคะแนนเฉลี่ย 0.00 – 1.50 ความพึงพอใจระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ 2 แสดงคะแนนความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง (n = 27)

ความพึงพอใจ	$\bar{X}$	SD	แปลผล
1. ด้านเครื่องมือ (โดรน) ตรวจสอบไฟฟ้า			
1.1 เครื่องมือสามารถใช้งานได้ง่าย	4.18	0.833	มาก
1.2 เครื่องมือสามารถตรวจภาพไฟฟ้าได้	4.18	0.962	มาก
1.3 ค้นหาข้อมูลได้ตรงความต้องการ	3.85	0.907	มาก
1.4 การทำงานของระบบมีความรวดเร็ว	4.00	1.00	มาก
1.5 ภาษาเข้าใจง่าย รูปแบบตัวอักษรอ่านได้ง่าย และสวยงาม	4.07	0.828	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.05	0.772	มาก
2. ด้านระบบการแจ้งเตือน			
2.1 ข้อมูลที่นำเสนอครบถ้วนตรงกับความต้องการ	4.37	0.838	มาก
2.3 ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4.33	0.919	มาก
2.3 ความถูกต้องของการแจ้งค่าผิดปกติ	4.14	0.769	มาก
2.4 ความถูกต้องของส่งภาพไฟฟ้า	4.18	0.878	มาก
2.5 การทำงานของระบบมีความรวดเร็ว	4.00	1.000	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.20	0.749	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.13	0.760	มาก

จากตารางที่ 2 สอบถามความพึงพอใจการใช้งานระบบของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อโดรนตรวจสอบไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น ด้านเครื่องมือ (โดรน) ตรวจสอบไฟฟ้า พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นเกี่ยวกับด้านความพึงพอใจเครื่องมือสามารถใช้งานได้ง่ายมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.18 เครื่องมือสามารถตรวจภาพไฟฟ้าได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.18 โดยรวมผลการประเมินด้านเครื่องมือ (โดรน) ตรวจสอบไฟฟ้า ค่าเฉลี่ย 4.05 ระดับมาก ด้านระบบการแจ้งเตือนของโดรนตรวจสอบไฟฟ้า พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นเกี่ยวกับด้านความพึงพอใจมากที่สุดคือข้อมูลที่นำเสนอครบถ้วนตรงกับความต้องการ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 รองลงมาได้แก่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 โดยรวมผลการประเมินด้านระบบการแจ้งเตือน ค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับมาก สรุปความคิดเห็นโดยรวมของกลุ่มตัวอย่างต่อโดรนตรวจสอบไฟฟ้าเห็นว่าเป็นความเหมาะสมมาก ค่าเฉลี่ย 4.13

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาโดรนเพื่อใช้ในการตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าได้อย่างอัตโนมัติมีการทำงานโดยโดรนจะทำการบินเพื่อตรวจสอบภาพส่งภาพมาทำการประมวลผลโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก เมื่อตรวจพบภาพไฟฟ้าจะทำการส่งผลการแจ้งเตือนให้กับผู้ใช้ระบบ โดยการเก็บรวบรวมภาพตัวอย่างที่ถ่ายจากโดรนจำนวน 200 ภาพ แบ่งเป็นภาพไฟฟ้าจำนวน 100 ภาพ และภาพไม่มีไฟฟ้าจำนวน 100 ภาพ นำมาสร้างโมเดลตรวจสอบไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก โดยใช้เครื่องมือของไลบรารีเทนเซอร์โฟร์และภาษาไพธอน ทำการแบ่งชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนจำนวนร้อยละ 90 และชุดข้อมูลทดสอบ ร้อยละ 10 ทำการฝึกสอนจำนวน 500 รอบ หลังจากนั้นนำโมเดลตรวจสอบไฟฟ้าที่ได้ไปพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ใช้ได้บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยใช้โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอและภาษาจาวา ส่วนการพัฒนาการแจ้งเตือนของผู้ใช้ทำการบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลของ Firebase Database และทำการส่งพิกัดและภาพเพื่อแจ้งเตือนโดยใช้ไลน์กลุ่มของผู้ใช้งาน

ในขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพของโดรนตรวจสอบไฟฟ้าพบว่าในการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไฟฟ้ามี่ค่าความถูกต้องร้อยละ 90 ส่วนการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไม่มีไฟ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และการตรวจสอบสถานที่กลางแจ้ง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 80 ในส่วนของความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อโดรนสำหรับตรวจสอบไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นจากผู้ใช้งานจำนวน 27 คน พบว่าความพึงพอใจด้านเครื่องมือ (โดรน) ตรวจสอบไฟฟ้า มีผลการประเมินมีค่าเฉลี่ย 4.05 ระดับมาก ความพึงพอใจด้านระบบการแจ้งเตือนของโดรนตรวจสอบไฟฟ้า มีผลการประเมินมีค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับมาก สรุปความพึงพอใจโดยรวมของกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ย 4.13 เห็นว่ามีความเหมาะสมมาก

อภิปรายผล

การพัฒนาโดรนเพื่อใช้ในการตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าได้อย่างอัตโนมัติพบว่าผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของโดรนสำหรับตรวจสอบไฟฟ้ามีค่าความถูกต้องสูงสุดเป็นการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไม่มีไฟ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 100 รองลงมาเป็นการตรวจสอบชุดภาพตัวอย่างไฟ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 90 และการตรวจสอบสถานที่กลางแจ้ง มีค่าความถูกต้องร้อยละ 80 ผลการทดสอบในสถานที่กลางแจ้งมีค่าความถูกต้องน้อยที่สุดอาจจะเนื่องจากการทดสอบการบินในช่วงเวลาที่มีแสงสว่างมากหรือเกิดการสะท้อนแสง ทำให้ผลในการตรวจสอบภาพนั้นเป็นภาพที่มีไฟซึ่งทำให้การส่งผลลัพธ์การแจ้งเตือนที่ผิดพลาดตามไปด้วย ซึ่งผลการตรวจสอบประสิทธิภาพสอดคล้องกับงานวิจัยของ Academic Division of Forest Fire Control Division (2011) เป็นการศึกษาเพื่อควบคุมไฟฟ้าโดยการตรวจสอบไฟฟ้าใช้วิธีการนำ hotspot จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมีผลของความถูกต้องร้อยละ 95 ในส่วนของ Jaroenjit et al. (2018) เป็นระบบแยกประเภทไข่มุก ด้วยวิธีการประมวลผลภาพโดยการหาสี ขนาดและความกลมของไข่มุก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไข่มุกและช่วยในการเลือกซื้อไข่มุก ซึ่งระบบให้ความถูกต้องประมาณร้อยละ 90 สำหรับ Hongboonmee et al. (2019) พัฒนาแอปพลิเคชันช่วยระบุอันตรายด้วยเสียงสำหรับผู้พิการ ทางสายตาผ่านสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก พบว่าแอปพลิเคชันสามารถจำแนกและระบุชนิดอันตรายได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 84.00 และ Fuangpian et al. (2011) ก็ได้นำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจจับคุณลักษณะสำคัญเพื่อการวินิจฉัยความเสียหายบนผิวงานฮาร์ดดิสก์โดยมีผลลัพธ์การทดสอบภาพตัวอย่างได้ผลลัพธ์ถูกต้องร้อยละ 100

ส่วนผลลัพธ์ความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อโดรนสำหรับตรวจสอบไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น ด้านเครื่องมือ (โดรน) ตรวจสอบไฟฟ้า พบว่าโดยรวมผลการประเมินมีค่าเฉลี่ย 4.05 ระดับมาก ด้านระบบการแจ้งเตือนของโดรนตรวจสอบไฟฟ้าพบว่าโดยรวมผลการประเมินมีค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับมาก สรุปความคิดเห็นโดยรวมของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ย 4.13 เห็นว่ามีความเหมาะสมมาก สอดคล้องกับงานวิจัย (Hongboonmee et al., 2019) ผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันจากผู้ใช้งาน อยู่ในระดับเหมาะสมมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 และงานวิจัยการพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยใช้ IoT เพื่อติดตามคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชัน (Rattanachuchok, 2019) ผลการประเมินความพึงพอใจ อยู่ในระดับเหมาะสมมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ปีงบประมาณ พ.ศ.2561

เอกสารอ้างอิง

- Academic Division of Forest Fire Control Division. (2011). *Application of remote sensing techniques in order to assess the burning forest area Forest conservation area*. Bangkok: Bureau of Forest Fire Suppression and Control, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. (in Thai)
- Boonlua, T. (2018). Applying Drone for Generated Building Information Modeling (BIM) for Urban Architecture, the Case study of That Phanom District, Nakhon Phanom Province. *Journal of Faculty of Architecture*, 26, 137-148. (in Thai)
- Carrio, A. Sampetro, C. Rodriguez-Ramos, A. and Campoy, P. (2017). A Review of Deep Learning Methods and Applications for Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Sensors*, 2, 1-13.
- Fuangpian, T. Muneesawang, P. and Yammen, S. (2011). An Algorithm for Detection of Solder Balls on HGA. *Naresuan University Journal*, Special Issue, 24-32. (in Thai)
- Hongboonmee, N. and Sangtan, K. (2019). Development Application for Identify Thai Banknote by Voice for Blindness via Smartphone. *Journal of Information Science and Technology*, 2, 24-34. (in Thai)
- Jaroenjit, J., Panpanasakul A., Chaisri P., Promduang P. and Prompongusawa S., (2018). Classification pearls using image processing. *The Proceedings of the 9th Hatyai National and International Conference*, Faculty of Business Administration Building Hat Yai University, 20-21 July 2018, 1679-1691. (in Thai)
- Rattanachuchok, P.(2019). Development of Water Quality Measurement Systems Using IoT to Monitor Water Quality through an Application. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11, 7-22. (in Thai)

- Yongying, N. (2019). *A Deep Learning Approach on Road Detection from Unmanned Aerial Vehicle-Based Images in Rural Road Monitoring*. Thesis of the Degree of Master of Science in Geography. Pitsanulok: Naresuan University. (in Thai)
- Pholberdee, N. (2018). *Wound-Region Segmentation from Image by Using Deep Learning and Various Data Augmentation Methods*. Thesis of the Degree of Master of Science in Information Technology. Nakhon Pathom: Silpakorn University. (in Thai)

โมเดลสมการโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยน เอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

ชัยพร ทบแป^{1,*}, ประสงค์ ประณีตพลกรัง², นิเวศ จิระวิจิตชัย³

^{1, 2, 3} คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Received: 11 April 2020

Revised: 6 October 2020

Accepted: 7 October 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน (2) เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ของโมเดลสมการโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน เป็นการศึกษาเชิงปริมาณ ด้วยการสุ่มแบบกลุ่ม กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผู้ใช้งานธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์จากหน่วยงานภาครัฐ 20 กระทรวง จำนวน 500 ชุด ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง ผลการวิจัย พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชนทางตรงมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านยุทธศาสตร์/นโยบาย รองลงมา คือ ปัจจัยด้านเทคโนโลยี ปัจจัยด้านสังคมและวัฒนธรรม ปัจจัยด้านบรรทัดฐานตามลำดับ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชนทางอ้อมมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านสังคมและวัฒนธรรมผ่านปัจจัยด้านยุทธศาสตร์/นโยบาย รองลงมา คือ ปัจจัยด้านเทคโนโลยีผ่านปัจจัยด้านบรรทัดฐาน และปัจจัยด้านยุทธศาสตร์/นโยบายผ่านปัจจัยด้านบรรทัดฐานตามลำดับ สรุปปัจจัยด้านยุทธศาสตร์/นโยบาย ปัจจัยด้านสังคมและวัฒนธรรม ปัจจัยด้านเทคโนโลยี และปัจจัยด้านบรรทัดฐานเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

คำสำคัญ: บล็อกเชน รอบสถาปัตยกรรม การสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: chaiporn.tho@gmail.com

A Structural Equation Modeling of Factors Affecting the Implementation of Architecture Framework for Electronic Transaction Documents Interchange Using Blockchain Technology

Chaiporn Thoppae^{1,*}, Prasong Praneetpolgrang², Nivet Jirawichitchai³

^{1, 2, 3} School of Information Technology, Sripatum University

Received: 11 April 2020

Revised: 6 October 2020

Accepted: 7 October 2020

ABSTRACT

The objectives of this research were (1) to analyze factors affecting the implementation of architecture framework for electronic transaction documents interchange using Block chain Technology; and (2) to analyze the goodness-of-fit with empirical data of the developed structural equation model of factors affecting the implementation of architecture framework for electronic transaction documents interchange using Block chain Technology. This study was a quantitative research. The sample was selected based on cluster random sampling. The sample of this study consisted of 500 electronic transaction users from 20 ministries. The total number of 500 copies of a questionnaire was used as the data collecting instruments. Data collected were then analyzed using structural equation modeling (SEM). The results of this study indicated that the most direct influential factor for implementation of architecture framework for electronic transaction documents interchange using Block chain Technology was the strategy/policy factor, followed by the technology factor, the society and culture factor, and the semantics factor, respectively. In contrast, the most indirect influential factor for implementation of architecture framework for electronic transaction documents interchange using Block chain Technology was the society and culture factor through the strategy/policy factor, followed by the technology factor through the semantics factor, and the strategy/policy factor through the semantics factor, respectively. In conclusion, the strategy/policy factor, society and culture factor, technology factor, and semantics factor were factors influencing the implementation of architecture framework for electronic transaction documents interchange using Block chain Technology.

Keywords: Block chain, Architecture framework, Electronic transaction document interchange

*Corresponding Author; Email: chaiporn.tho@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับจากอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันการติดต่อสื่อสารภาคราชการของประเทศไทยมีปัญหาเป็นอย่างมาก ทั้งการติดต่อประสานงานในหน่วยงานของภาครัฐด้วยกันเอง การดำเนินงานของภาครัฐ ภาคธุรกิจ การดำเนินชีวิตของภาคประชาชน ขาดความสะดวก ใช้เวลาค่อนข้างนาน แท้จริงแล้ว ตามแนวทางที่รัฐบาลประสงค์จะให้เกิดภาพของการหลอมรวมเชื่อมต่อการทำงานภาครัฐให้เสมือนเป็นองค์กรเดียว (One Government) อีกประการหนึ่งคือการเชื่อมต่อสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐปัจจุบันยังเป็นระบบเดิมที่มีการเชื่อมต่อแบบรวมเข้าสู่ศูนย์กลาง แม้ว่า ภาครัฐบาลพยายามทำให้มีระบบบริการอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐแบบเบ็ดเสร็จจากช่องทางเดียว (National Single Window: NSW) อันเป็นระบบที่ให้บริการเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในการนำเข้าและส่งออกเท่านั้น หากแต่ ยังพบว่าการเชื่อมต่อการทำงานภาครัฐให้เสมือนเป็นองค์กรเดียวแบบบูรณาการยังไม่สมบูรณ์อย่างแท้จริง กลไกการสับเปลี่ยนเอกสารสำหรับการทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐในโครงการบูรณาการงานบริการภาครัฐเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและระบบบริการอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐแบบเบ็ดเสร็จจากช่องทางเดียว (National Single Window) ยังขาดการเชื่อมโยงการทำงานภาครัฐให้เสมือนเป็นองค์กรเดียวแบบบูรณาการอย่างแท้จริง หากแต่เป็นเพียงการเชื่อมโยงและสับเปลี่ยนข้อมูลพื้นฐานซึ่งไม่อาจจะเพียงพอและยังขาดหลักการออกแบบที่เป็นสากล (Universal Design) เนื่องจากขาดคุณสมบัติอันนำไปสู่การเป็นรัฐบาลดิจิทัลที่สำคัญยิ่ง อันได้แก่ การหลอมรวมเชื่อมต่อให้เสมือนเป็นองค์กรเดียว ความโปร่งใส (Transparency) ความไว้วางใจ (Trust) และความมั่นคงปลอดภัย (Security) Ministry of Digital Economy and Society (2010) และด้วยขั้นตอนการทำงานของภาครัฐที่มีขั้นตอนอย่างมากมาย การที่ไม่สามารถติดตามตรวจสอบกระบวนการทำงานว่าอยู่ในกระบวนการใดแล้ว การใช้เอกสารประกอบการติดต่อหรือประสานงานกับหน่วยงานภาครัฐซึ่งในเอกสารบางรายการรัฐมีเอกสารอยู่แล้ว (Office of the Public Sector Development Commission, 2017) ด้วยเหตุนี้การดำเนินงานของภาครัฐ ภาคธุรกิจและการดำเนินชีวิตของภาคประชาชน จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนบริบททางเศรษฐกิจและสังคมที่กำลังเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุคดิจิทัล สำหรับประเทศไทยแล้วไม่ใช่เรื่องใหม่แต่อย่างใด หากแต่เป็นการต่อยอดการพัฒนาเพื่อปรับแก้ไขให้ดียิ่งขึ้นไป เช่น กรณีตัวอย่างที่ทางสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (ก.พ.ร.) ยกขึ้นจากผู้ประกอบการรายหนึ่งที่มีความประสงค์จะประกอบกิจการต้องติดต่องานเพื่อยื่นคำขอและรับใบอนุญาตไม่น้อยกว่า 8 หน่วยงาน และจะต้องเดินทางไปติดต่อไม่น้อยกว่า 22 ครั้ง จึงจะสามารถได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการจากภาครัฐ ระยะเวลาในการดำเนินการจากหน่วยงานรัฐใช้เวลาอันมากกว่า 3 เดือน

เทคโนโลยีบล็อกเชนเป็นหนึ่งในแนวทางแก้ปัญหาการเชื่อมต่อระหว่างหน่วยงานภาครัฐด้วยข้อดีในหลักการทำงานของบล็อกเชน คือฐานข้อมูลได้ถูกแบ่งปันให้กับทุกโหนดที่อยู่ในเครือข่าย การทำงานของบล็อกเชนจะไม่มีเครื่องใดเครื่องหนึ่งเป็นศูนย์กลาง เครื่องแม่ข่ายเป็นการทำงานแบบกระจายศูนย์ เครือข่ายไม่ถูกควบคุมด้วยคนเพียงคนเดียว แต่ทุกโหนดจะได้รับสำเนาฐานข้อมูลเก็บไว้ มีการปรับปรุงฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติ เมื่อมีข้อมูลใหม่เกิดขึ้นตลอดเวลาที่มีการปรับปรุงข้อมูล ทำให้สำเนาฐานข้อมูลของทุกคนในเครือข่ายจะต้องถูกต้อง ตรงกันกับของสมาชิกคนอื่นๆ ในเครือข่าย ซึ่งถือว่าเป็นหลักการสำคัญของบล็อกเชน

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำเอาบล็อกเชนมาใช้ในการพัฒนาสถาปัตยกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย และได้้นำการเชื่อมต่อการทำงานภาครัฐแบบเบ็ดเสร็จจากช่องทางเดียวเสมือนเป็นองค์กรเดียวแบบบูรณาการให้เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรมอีกทั้ง ผู้วิจัยยังได้ศึกษาโมเดลสมการโครงสร้างของ

ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดทำสถาปัตยกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชนอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน
2. เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ของโมเดลสมการโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำรอบสถาปัตยกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อปี 1970 Dr. Ralph Markle ได้นำเสนอ Markle Tree หรือ Hash Tree อันเป็นการเริ่มพัฒนาบล็อกเชนที่มีการจดสิทธิบัตรในปี 1979 ประกอบด้วยการสร้าง leaf Node และ Non-leaf Node เป็น Tree Diagram ในเมื่อทุกๆ Leaf Node จะมีค่าบล็อกข้อมูลกับใน Non-leaf Node ทำการบันทึกค่า Cryptographic Hash ของค่าบล็อกข้อมูลของ Leaf Node Child (Merkle, 1970) ของตัวมันเอง ในปี 1991 Stuart Haber และ W. Scott Stornetta เริ่มพัฒนาแนวคิดในการทำบล็อกเชนขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงได้นำเอา Markle Tree มาผสมผสานเข้ากับแนวคิดของตนจนกลายเป็น “บล็อกเชน” (Haber and Stornetta, 1991) ต่อมา Satoshi Nakamoto นำไปเป็นพื้นฐานในการสร้าง Cryptocurrency ในปี 2008 เกิดเป็น Bitcoin (Nakamoto, 2008) บล็อกเชนมีการกล่าวถึงกันเป็นอย่างมากว่าเป็นเทคโนโลยีอุบัติใหม่ที่สามารถปฏิวัติโลก บล็อกเชนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทโดยพิจารณาจากข้อกำหนด ในการเข้าร่วมเป็นสมาชิกของเครือข่าย คือ บล็อกเชนแบบเปิดสาธารณะ (Public Blockchain) บล็อกเชนแบบปิด (Private Blockchain) บล็อกเชนแบบเฉพาะกลุ่ม (Consortium Blockchain) (Chirapunya, 2018; Swan, 2015) บล็อกเชนสร้างความน่าเชื่อถือมากที่สุด เพราะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลในรายการได้ สร้างความโปร่งใส หลักการสำคัญของบล็อกเชน มีทั้งหมด 7 ประการ ตามที่ Don และ Alex Tapscott ได้กำหนดไว้ ประกอบด้วย (1) ความถูกต้องของเครือข่าย (2) การกระจายอำนาจ (3) การใช้มูลค่าเป็นสิ่งที่จูงใจ (4) ความมั่นคงปลอดภัย (5) ความเป็นส่วนตัว (6) การดำรงสิทธิ และ (7) การมีส่วนร่วม (Tapscott and Tapscott, 2015) (Thoppae and Praneetpolgrang, 2018)

แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ได้แก่ ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (2561-2580) กรอบนโยบายเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ระยะ พ.ศ. 2554-2563 นโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วย แผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม (พ.ศ. 2561-2580) แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560-2564) รวมทั้งมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ มาตรฐานสำหรับการบริหารจัดการงานบริการ หรือ ISO/IEC 20000 มาตรฐานด้านความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล หรือ ISO/IEC 27001 และมาตรฐานด้านการจัดการความเสี่ยงหรือ ISO/IEC 27005

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (Office of the Public Sector Development Commission, 2005) ทำการศึกษาผลกระทบต่อภาคธุรกิจ และประชาชน รวมถึงนักท่องเที่ยวที่ใช้บริการภาครัฐ

พบว่าส่วนใหญ่แล้วมักประสบปัญหาความไม่สะดวก ไม่รวดเร็ว และความปลอดภัย ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงของผู้รับบริการ ได้แก่ ประชาชน นักธุรกิจ และนักท่องเที่ยวดังกล่าว ทั้งนี้ ก.พ.ร. ได้จำแนกปัญหาสำคัญของการให้บริการภาครัฐจำนวน 6 ข้อ ดังนี้ (1) การมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและไม่ชัดเจน (2) การไม่ได้รับความสะดวกเพราะต้องติดต่อหลายหน่วยงานและต้องมาด้วยตนเอง (3) การขอข้อมูลหรือเอกสารเป็นจำนวนมากทั้งที่ภาครัฐก็มีอยู่แล้ว (4) การให้บริการมักใช้เวลานานและขาดกรอบเวลาแล้วเสร็จ (5) การติดตามสถานะการให้บริการทำได้ยาก และ (6) การขาดมาตรการป้องกันความเสี่ยงต่อการทุจริต

Keretho (2014) ได้เสนอกรอบสำหรับการเชื่อมต่อข้อมูลหน่วยงานภาครัฐและภาคธุรกิจ (G2G, G2B และ B2B) ใน Single Window Planning and Implementation Guide, UNESCAP/UNECE มีประเด็นการเสนอกรอบแนวคิดการเชื่อมต่อข้อมูลแบบเบ็ดเสร็จช่องทางเดียว จัดโครงสร้างการทำนายออกเป็น 5 ประเด็นกล่าวคือ ประเด็นเรื่องตัวขับเคลื่อนธุรกิจ ประเด็นปัจจัย 4 ประการที่ประสบความสำเร็จ มีความคิดริเริ่มของระบบการให้บริการแบบเบ็ดเสร็จเป็นความร่วมมือส่วนใหญ่ระหว่างหน่วยงานภาครัฐจากประเทศที่เข้าร่วมไม่ว่าจะเป็นในระดับทวิภาคีหรือพหุภาคี

Gem (2017) และ Tierion (2017) กล่าวว่าเทคโนโลยีบล็อกเชนใช้เทคโนโลยีการยืนยันตัวตนหลายขั้นตอน (Multi-Factor Authentication: MFA) ระบบที่ให้ผู้ใช้งานการยืนยัน ตัวตนอีกครั้ง กรณีมีผู้ใช้งานอื่นเป็นเจ้าของร่วมกันจำเป็นต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าของร่วมกันด้วย เพื่อให้ข้อมูลมีความปลอดภัยสูง โปร่งใส จากงานวิจัยได้มีการใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการปกป้องข้อมูลส่วนตัวและเก็บรักษาข้อมูลของบุคคล แบ่งปันหรือแชร์ข้อมูลส่วนตัวกันแบบไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

Meijer, Middendorp, Raes and Tubbing (2017) ได้วิจัยและพัฒนาระบบ e-Passports ที่ใช้ระบบบล็อกเชนมาช่วยในการระบุตัวตน และระบุการทำธุรกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น มีความน่าเชื่อถือ ตรวจสอบได้ ลดขั้นตอนการทำงานของบุคคลเพื่อยืนยันตัวตน เกิดความรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้สุ่มตัวอย่างด้วยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) จากผู้ใช้งานธุรกรรมด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นบุคลากรในภาครัฐ กระทรวงต่างๆ จำนวน 20 กระทรวง กรม หน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้นำเอารอบสถาปัตยกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ ประกอบด้วยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) โรงพยาบาลหาดใหญ่ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สำนักข่าวกรองแห่งชาติ กรมการทหารสื่อสารทหารบก บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) และบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผู้บริหาร คือบุคลากรที่อยู่ในตำแหน่งบริหารระดับสูงในกระทรวง กรม หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย

กลุ่มที่ 2 ผู้บริหารด้านเทคโนโลยีดิจิทัล และเจ้าหน้าที่ คือบุคลากรที่ทำหน้าที่จัดการด้านเทคโนโลยีและสนับสนุนงานทางด้านเทคโนโลยี ในกระทรวง กรม หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย

กลุ่มที่ 3 พนักงานเจ้าหน้าที่ คือบุคคลที่เป็นผู้ให้บริการแก่บุคคลภายนอกของกระทรวง กรม หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถาม (Questionnaire) แบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มีค่า IOC ตั้งแต่ .60 ถึง 1.00 มีความเชื่อมั่นทั้งฉบับ (α -Coefficient) เท่ากับ 0.82

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยเครื่องมือที่เป็นแบบสอบถามดังตารางที่ 1 เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) แจกแบบสอบถามรวมทั้งหมด 700 ฉบับ มีผู้ตอบแบบสอบถามกลับมาและใช้ได้จริง 500 ฉบับ คิดเป็นอัตราการตอบกลับที่ร้อยละ 71.43 ถือว่าเป็นขนาดตัวอย่างที่อยู่ในระดับที่ดีสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Comrey and Lee, 2013) ทั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุปสรรคการปรับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพและมั่นคงปลอดภัยสูงด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์จากแบบสอบถามที่เป็นความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้งานธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์จากหน่วยงานภาครัฐ 20 กระทรวง โดยใช้ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) ผ่านทางการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LISREL ผู้วิจัยได้นำค่าอิทธิพลมาพิจารณาเป็นปัจจัย ใช้เกณฑ์พิจารณาว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นเป็นโมเดลที่มีโครงสร้างและมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ อย่างไร เกณฑ์การประเมินของ Hair และคณะ (2017) มีค่าตามค่าสถิติดังต่อไปนี้คือ ดัชนีวัดความเป็นปกติ (Normed Fit Index : NFI) ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.90 ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนเปรียบเทียบ หรือ CFI ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.90 ดัชนีวัดระดับความกลมกลืน หรือ GFI ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.90 ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ หรือ AGFI ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.90 ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ หรือ RMSEA ควรมีค่าไม่เกิน 0.05 อัตราส่วนระหว่างค่าไคสแควร์ต่อองศาอิสระ (χ^2/df) ควรมีค่าไม่เกิน 2.00 (Hair et al., 2017)

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรในโมเดลสมการโครงสร้าง (n=500)

ตัวแปร	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
A1	1																							
A2	.58**	1																						
A3	.17**	.42**	1																					
B1	.36**	.46**	.23**	1																				
B2	.11**	.29**	.13**	.34**	1																			
B3	.20**	.37**	.24**	.43**	.38**	1																		
B4	.19**	.32**	.39**	.31**	.20**	.37**	1																	
C1	.20**	.24**	.22**	.23**	.22**	.28**	.53**	1																
C2	.13**	.28**	.26**	.12**	.17**	.15**	.37**	.39**	1															
C3	.21**	.20**	.15**	.15**	.23**	.24**	.28**	.14**	.49**	1														
C4	.21**	.17**	.03	.08**	.07**	.17**	.23**	.21**	.35**	.46**	1													
C5	.33**	.32**	.27**	.19**	.03	.06	.27**	.28**	.30**	.30**	.30**	1												
C6	.17**	.24**	.06	.10**	.08**	.07	.18**	.26**	.23**	.16**	.31**	.52**	1											
D1	.00	.12**	.06	-.03	.06	.09*	.18**	.14**	.35**	.27**	.41**	.25**	.41**	1										
D2	.14**	.09*	.09*	.05	-.05	.10**	.10*	.12**	.24**	.25**	.34**	.32**	.19**	.27**	1									
D3	.10*	.10*	.07	.08*	.08*	.14**	.09*	.08*	.07	.19**	.19**	.28**	.27**	.37**	.53**	1								
D4	.24**	.23**	.07	.31**	.12**	.22**	.14**	.15**	.02	-.05	.01	.16**	.23**	.11**	.26**	.44**	1							
E1	.24**	.10*	.13**	.18**	.18**	.24**	.22**	.20**	.16**	.22**	.30**	.23**	.12**	.21**	.35**	.24**	.44**	1						
E2	.23**	.18**	.23**	.06	.06	.05	.36**	.32**	.31**	.24**	.28**	.46**	.38**	.13**	.22**	.03	.27**	.54**	1					
E3	.39**	.35**	.28**	.17**	-.11**	.17**	.11**	-.00	.17**	.19**	.18**	.39**	.27**	.12**	.22**	.17**	.28**	.23**	.47**	1				
E4	.32**	.32**	.28**	.23**	-.01	.14**	.19**	.24**	.13**	.01	-.02	.51**	.28**	-.05	.21**	.16**	.27**	.11**	.29**	.36**	1			
E5	.24**	.25**	.32**	.22**	.01	.13**	.35**	.19**	.26**	.08*	.07	.40**	.16**	.02	.24**	.08*	.23**	.20**	.31**	.25**	.66**	1		
E6	.10**	.18**	.24**	.28**	.10*	.31**	.24**	.21**	.21**	-.01	.14**	.20**	.22**	.13**	.11**	.06	.35**	.23**	.21**	.21**	.36**	.54**	1	
E7	.03	-.06	-.11**	.08*	.05	-.02	.05	.15**	.15**	.07	.18**	.12**	.27**	.27**	.30**	.21**	.27**	.19**	.23**	.17**	-.03	.04	.57**	1

* $p < .05$, ** $p < .01$

จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตทุกคู่ที่ได้ทำการศึกษาในโมเดลสมการโครงสร้างด้วยการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน พบว่าตัวแปรสังเกตได้แต่ละคู่มีความสัมพันธ์กันทั้งในทิศทางบวกอยู่ระหว่าง .30 ถึง .66 อย่างมีนัยสำคัญที่ .01 พบว่ามีตัวแปรสังเกตจำนวน 7 คู่มีความสัมพันธ์มากกว่า .50 ได้แก่

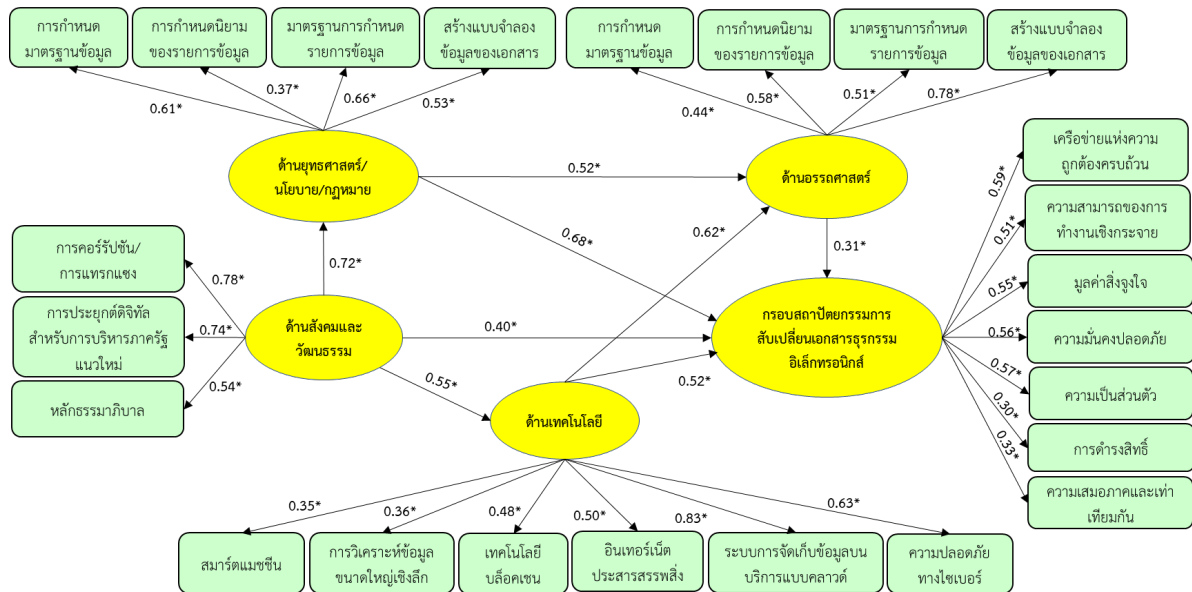
ความมั่นคงปลอดภัย (E4) กับความเป็นส่วนตัว (E5) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .66 การทุจริต/การแทรกแซง (A1) กับการประยุกต์ดิจิทัลสำหรับการบริหารภาครัฐแนวใหม่ (A2) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .58 การดำรงสิทธิ (E6) กับความเสมอภาค และเท่าเทียมกัน (E7) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .57 ความเป็นส่วนตัว (E5) กับการดำรงสิทธิ (E6) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .54 สมาร์ทแมชชีน (C1) กับการใช้ประโยชน์จากระบบบริการภาครัฐสะดวกรวดเร็ว (B4) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .53 ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ (C6) กับระบบการจัดเก็บข้อมูลบนบริการแบบคลาวด์ (C5) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .52 มาตรฐานการกำหนดข้อมูลรายการข้อมูล (D3) กับการกำหนดนิยามของรายการข้อมูล (D2) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .53

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบความสัมพันธ์ของโมเดลสมการโครงสร้าง

ดัชนี	เกณฑ์	ความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์	
		ก่อนปรับโมเดล	หลังปรับโมเดล
χ^2	-	119.81	80.50
df	-	98.8	88.00
χ^2/df	< 2.00	19.81	0.91
p-value	> 0.05	0.01	0.70
GFI	> 0.90	1.00	0.99
AGFI	> 0.90	0.99	0.97
RMSEA	< 0.05	0.05	0.00

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลสมการโครงสร้างพบว่า การวิจัยนั้นยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มีค่าดัชนีวัดความสอดคล้องแต่ละตัวมีรายละเอียดดังนี้ ค่าไคสแควร์มีค่าเท่ากับ 119.81 ค่าองศาอิสระเท่ากับ 98.8 อัตราส่วนระหว่างค่าไคสแควร์ กับค่าองศาอิสระมีค่าเท่ากับ 19.81 เมื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติพบว่า มีระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.01 หมายความว่าโมเดลสมการโครงสร้างตามสมมติฐานนั้นแตกต่างจากข้อมูลเชิงประจักษ์ เมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์ดัชนีวัดความกลมกลืน (GFI) มีค่าเท่ากับ 1.00 ดัชนีวัดความกลมกลืนแบบปรับแก้ (AGFI) มีค่าเท่ากับ 0.99 ดัชนีกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSEA) มากกว่า 0.05 เป็นการยืนยันว่าโมเดลนั้นยังขาดความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ต้องทำการปรับแก้โมเดล

ผลการปรับโมเดลหลังจากเพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนในโมเดล พบว่าโมเดลสมการโครงสร้างมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดีมาก พบดัชนีวัดความสอดคล้องดังนี้ ค่าไคสแควร์ มีค่าเท่ากับ 80.50 ค่าองศาอิสระเท่ากับ 88.00 อัตราส่วนระหว่างค่าไคสแควร์ กับค่าองศาอิสระมีค่าเท่ากับ 0.91 เมื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติพบว่า มีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.70 หมายความว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษานั้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์ดัชนีวัดความกลมกลืน (GFI) มีค่าเท่ากับ 0.99 ดัชนีวัดความกลมกลืนแบบปรับแก้ (AGFI) มีค่าเท่ากับ 0.97 ดัชนีกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSEA) น้อยกว่า 0.00 เป็นการยืนยันว่าโมเดลนั้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์เป็นอย่างดี แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ (Effect Coefficient) และค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) ของโมเดล
สมการโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำกรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรม
อิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อกรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุด คือด้านสังคมและวัฒนธรรม มีผลต่อด้านยุทธศาสตร์/นโยบายโดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.72 รองลงมาด้านเทคโนโลยี มีผลต่อด้านเศรษฐศาสตร์โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.62 อันดับสามด้านเทคโนโลยี โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.55 มีผลต่อกรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.52 พบว่า

1. ตัวแปรแฝงภายนอกด้านสังคมและวัฒนธรรม ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดได้แก่ ตัวแปรสังเกต การทุจริต/การแทรกแซง (A1) โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.78 รองลงมา ตัวแปรสังเกตการประยุกต์ดิจิทัล สำหรับการบริหารภาครัฐแนวใหม่ โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.74 ตัวแปรสังเกตหลักธรรมาภิบาล โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.54

2. ตัวแปรแฝงภายนอกด้านยุทธศาสตร์ นโยบาย ปัจจัยที่มีผลมากที่สุด ได้แก่ ตัวแปรสังเกตการส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนเข้ามามี ส่วนร่วมพัฒนา โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.66 ตัวแปรสังเกตการเข้าถึงข้อมูลจากระบบบริการอย่างทั่วถึง โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.61 ตัวแปรสังเกตการใช้ประโยชน์จาก ระบบบริการภาครัฐ สะดวกและรวดเร็วเท่ากับ 0.53 ตัวแปรสังเกตลดความเหลื่อมล้ำ สร้างโอกาสให้ประชาชน โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.53

3. ตัวแปรแฝงภายนอกด้านเทคโนโลยี ปัจจัยที่มีผลมากที่สุด ตัวแปรสังเกตระบบการจัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์ (0.83) ตัวแปรสังเกตความปลอดภัยทางไซเบอร์ โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.63 ตัวแปรสังเกตอินเทอร์เน็ตประชารัฐโดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.50 ตัวแปรสังเกตเทคโนโลยีบล็อกเชน โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.48 ตัวแปรสังเกตการวิเคราะห์ข้อมูล ขนาดใหญ่เชิงลึกโดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.36 ตัวแปรสังเกตสมาร์ทแมชชีน โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.35

4. ตัวแปรแฝงภายนอกด้านอรรถศาสตร์ ปัจจัยที่มีผลมากที่สุด ตัวแปรสังเกตสร้างแบบจำลอง ข้อมูลของเอกสารโดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.78 ตัวแปรสังเกตการกำหนดนิยามของรายการข้อมูล โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.58 ตัวแปรสังเกตมาตรฐานการกำหนดรายการข้อมูล โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.51 ตัวแปรสังเกตการกำหนด มาตรฐานข้อมูล โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.44

5. ตัวแปรแฝงภายในกรอบสถาปัตยกรรมกรรมกรรมกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจัยที่มีผลมากที่สุด ตัวแปรสังเกตเครือข่ายแห่งความถูกต้อง โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.59 ตัวแปรสังเกตความเป็นส่วนตัวโดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.57 ตัวแปรสังเกตความมั่นคงปลอดภัย โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.56 ตัวแปรสังเกตมูลค่าสิ่งจูงใจโดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.55 ความสามารถในการทำงานเชิงกระจายโดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.51 ความเสมอภาคและเท่าเทียมกัน โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.33 และ การดำรงสิทธิ โดยมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.30

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปได้ว่าโมเดลสมการโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำกรอบสถาปัตยกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชนได้ การจะทำให้การสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถพัฒนาได้อย่างเป็นรูปธรรม จะต้องให้ความสำคัญ กับปัจจัยด้านสังคมและวัฒนธรรมในระบบบล็อกเชน ด้านยุทธศาสตร์/นโยบายระบบบล็อกเชน ด้านเทคโนโลยีบล็อกเชน ด้านอรรถศาสตร์ในระบบบล็อกเชน หากเมื่อขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่ไม่สอดคล้องหรือไม่เป็นทิศทางเดียวกันแล้วนั้น จะทำให้ขาดความสมบูรณ์ในการพัฒนากรอบสถาปัตยกรรมการสับเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน ด้านเครือข่ายแห่งความถูกต้องครบถ้วนในระบบบล็อกเชน กล่าวคือ ระบบสามารถตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ของเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Data Integrity) คือ ระบบสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากทุกคนหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ด้านความสามารถของการทำงานเชิงกระจายในระบบบล็อกเชน กล่าวคือ ระบบมีการเชื่อมต่อระบบสารสนเทศของหน่วยงานเป็นการทำงานแบบการกระจายอำนาจ ระบบเชื่อมโยงข้อมูล มีการกำหนดผู้รับผิดชอบในแต่ละส่วนงานให้อำนาจ

ด้านมูลค่าเป็นสิ่งจูงใจในระบบบล็อกเชน ประกอบด้วย ระบบสามารถทำให้เอื้อผลประโยชน์ด้านการบริหารจัดการได้อย่างชัดเจน สามารถกำหนดค่าธรรมเนียม การให้บริการได้ สามารถกำหนดค่าดำเนินการให้บริการได้

ด้านความมั่นคงปลอดภัยในระบบบล็อกเชน กล่าวคือ ระบบมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลมาตรฐานสากล ที่สามารถระบุตัวบุคคล สามารถรักษาความลับ สามารถตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ของเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ สามารถตรวจสอบ ป้องกันการปฏิเสธ ความรับผิดชอบสำหรับการทำธุรกรรมเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ สามารถตรวจสอบสถานภาพของใบรับรองอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างอัตโนมัติ สามารถรองรับการยืนยันตัวบุคคลด้วยลายเซ็น พร้อมใช้มีการใช้เทคโนโลยีสนับสนุนการสื่อสารอย่างปลอดภัยระหว่างโหนดด้วย Transport Layer Security (TLS)

ด้านความเป็นส่วนตัวในระบบบล็อกเชน กล่าวคือ ระบบมีการคำนึงถึงหลักพื้นฐานความลับมีการเข้ารหัส มีการเข้ารหัสแบบหลายขั้นตอนทำให้สะท้อนถึงความเป็นส่วนตัว

ด้านการดำรงสิทธิในระบบบล็อกเชน กล่าวคือ ระบบมีการกำหนดการดำรงสิทธิในการเข้าถึงได้ตามสิทธิที่กำหนด มีการรับรองการกำหนดสิทธิใช้งาน การร้องขอต้องได้รับการยินยอมจากเจ้าของเอกสารการดำรงสิทธินั้นๆ

ด้านความเสมอภาคเท่าเทียมกันในระบบบล็อกเชน กล่าวคือทำให้เกิดการกระจายทรัพยากรโอกาสที่ทั่วถึงเท่าเทียม เป็นธรรมยิ่งขึ้น อีกทั้งสร้างโอกาสความเท่าเทียมในการเข้าถึง ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดิจิทัล สำหรับประชาชน

อภิปรายผล

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลโมเดลสมการโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำกรอบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน มีประเด็นน่าสนใจนำมาอภิปรายผล ดังนี้

1. ด้านสังคมและวัฒนธรรม เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ส่งผลทำให้ด้านยุทธศาสตร์ นโยบายและกฎหมายสามารถยกระดับประสิทธิภาพ ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดิจิทัลลดความเหลื่อมล้ำ สร้างโอกาสให้ประชาชนได้รับการพัฒนาอย่างเท่าเทียมกัน ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนเข้ามามีส่วนร่วม สอดคล้อง Srupsrisopa (2018) ที่พบว่าบล็อกเชน คือ เครือข่ายการจัดเก็บข้อมูลแบบกระจายอำนาจ (Decentralized) ที่ทุกคนสามารถเข้าถึงและตรวจสอบได้ อีกทั้งสามารถป้องกันไม่ให้เกิดการทุจริต

2. ด้านยุทธศาสตร์ นโยบายและกฎหมาย เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลเนื่องจากด้านยุทธศาสตร์/นโยบาย/กฎหมายของประเทศไทยในปัจจุบัน กำหนดว่าต้องสามารถเข้าถึงข้อมูลจากระบบบริการอย่างทั่วถึงลดความเหลื่อมล้ำ สร้างโอกาส และการมีส่วนร่วม สอดคล้องกับ Thailand Digital Government 2021 (2017-2021) ในการยกระดับขีดความสามารถด้านดิจิทัลของภาครัฐไทยสู่การเป็นรัฐบาลดิจิทัล

3. ด้านเทคโนโลยีของระบบบล็อกเชน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี เพราะระบบเทคโนโลยีประมวลผลที่ฉลาดขึ้น มีความเป็นอัตโนมัติ สอดคล้องกับ Meijer, Middendorp, Raes and Tubbing (2017) ที่ได้ใช้ระบบบล็อกเชนเข้ามาช่วยในการระบุตัวตน ระบุการธุรกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น มีความน่าเชื่อถือตรวจสอบได้ อีกทั้งยังช่วยลดขั้นตอนการทำงานของบุคคลเพื่อใช้ยืนยันตัวตน ทำให้เกิดความรวดเร็วประหยัดค่าใช้จ่ายได้

4. ด้านบรรทัดฐาน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลเนื่องจากการพัฒนาสถาปัตยกรรมบล็อกเชนนั้นจะต้องคำนึงถึงการกำหนดมาตรฐานระบบสืบเปลี่ยนข้อมูลสำหรับนำไปสู่การพัฒนาระบบเชื่อมต่อให้ข้อมูลพร้อมๆ กันหลายหน่วยงาน การสร้างบริการร่วมแบบเบ็ดเสร็จมีความสอดคล้องกับศูนย์คาดการณ์เทคโนโลยี ที่เป็น หน่วยงานภายใต้กำกับของสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ National Science Technology and Innovation Policy Office (2017) ที่ได้กล่าวว่า เทคโนโลยีบล็อกเชนในการจัดเก็บข้อมูล และใช้ประโยชน์จากเครือข่าย ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้อง ลดภาระการพึ่งพาคนกลางในการทำธุรกรรม ภายใต้ความปลอดภัยที่มีความน่าเชื่อถือ

5. ด้านเครือข่ายแห่งความถูกต้องครบถ้วน ประกอบด้วย ระบบสามารถตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ของเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Data Integrity) สอดคล้องกับ Chirapunya (2018) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค ทางกฎหมายในการนำ “บล็อกเชน” มาใช้ป้องกัน การออกหนังสือแสดงสิทธิในที่ดินโดยมิชอบ ผลการวิจัยพบว่าบล็อกเชนมีข้อดีในด้านความโปร่งใสในการทำธุรกรรม เนื่องจากระบบดังกล่าวเมื่อได้รับฉันทามติจากทุก

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแล้ว เจ้าหน้าที่ไม่สามารถเข้าไปแก้ไขธุรกรรมดังกล่าวได้ รวมทั้งสามารถตรวจสอบขั้นตอนกระบวนการออกหนังสือแสดงสิทธิในที่ดินว่าเจ้าหน้าที่ได้ปฏิบัติตามขั้นตอนของกฎหมายหรือไม่

6. ด้านความสามารถของการทำงานเชิงกระจาย ประกอบด้วย ระบบมีการเชื่อมต่อบริการสารสนเทศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กับระบบของหน่วยงานภายนอก เป็นการทำงานแบบการกระจายอำนาจ ระบบเชื่อมโยงข้อมูล มีการกำหนดผู้รับผิดชอบในแต่ละส่วนงานและให้อำนาจ สอดคล้องกับ Srupsrisopa (2018) บล็อกเชน คือ เครือข่ายการจัดเก็บข้อมูลแบบกระจายอำนาจ (Decentralized) ทุกคนสามารถเข้าถึง ตรวจสอบได้ ในการทำงานทำให้เกิดความเป็นธรรมเกิดประโยชน์ต่อสังคมมากที่สุด สอดคล้องกับ Swan (2015) ได้มีแนวคิดการใช้พื้นที่เก็บข้อมูลแบบกระจาย แนวคิดนี้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมด้านสุขภาพ ดนตรีสำหรับการใช้งานด้านสุขภาพ บล็อกเชนมีโครงสร้างสำหรับจัดเก็บข้อมูลด้านสุขภาพหรือเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์ (EMRs) ไว้บนบล็อกเชน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ แต่ยังคงเป็นแบบส่วนตัวและประหยัด

7. ด้านมูลค่าเป็นสิ่งจูงใจ ประกอบด้วย ระบบสามารถทำให้เอื้อผลประโยชน์ด้านการบริหารจัดการได้อย่างชัดเจน สามารถกำหนดค่าธรรมเนียมการให้บริการได้ และสามารถกำหนดค่าดำเนินการให้บริการได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Popatchai (2018) ที่กล่าวว่า ประเทศไทยได้ใช้ระบบการจัดเก็บข้อมูลสารสนเทศ การนำระบบคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตมาให้บริการสาธารณะกับประชาชนเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการบริหารจัดการ หน้าที่หลักที่สำคัญอย่างหนึ่งของภาครัฐคือ “การสร้างแรงจูงใจ” ให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายให้ความสำคัญกับการหาจุดสมประโยชน์ระหว่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการทำงานหรือการประสานงานระหว่างหน่วยงานของรัฐด้วยกันเอง หรือระหว่างภาครัฐกับภาคเอกชนก็ตาม โดยเฉพาะ ในยุคที่มีการตรวจสอบการประพฤติมิชอบ และการใช้ทรัพยากรของรัฐเกิน หรือไม่เหมาะสมอย่างเข้มงวดด้วยแล้ว หากมีเทคโนโลยีใดก็ตามที่สามารถเสนอทางออกให้ภาครัฐด้วยการลดต้นทุนการทำงานของภาครัฐและการจัดการกับความไม่มีประสิทธิภาพของการทำงานได้จริงด้วยแล้วก็เป็นเรื่องที่น่าที่ผู้ที่เกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากการศึกษาวิจัยชี้ให้เห็นว่า “บล็อกเชน” เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการพัฒนาระบบสถาปัตยกรรมการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยคุณลักษณะสำคัญ คือ ข้อมูลหรือเอกสารที่จัดเก็บบนบล็อกเชนจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลง (Immutable) ไม่ถูกลบหาย (Indelible) ไปได้ ดังนั้น ธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ใดๆ ที่เอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ถูกจัดเก็บไว้บนบล็อกเชน จะได้รับการรับรอง มีหลักประกันการทำธุรกรรมอัตโนมัติที่สามารถตรวจสอบยืนยันได้ในภายหลัง ระบบการสืบเปลี่ยนเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้บล็อกเชนในงานวิจัยนี้จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทำธุรกรรมในทุกกิจกรรมระหว่างหน่วยผู้ให้บริการกับผู้รับบริการ ระหว่างหน่วยงานรัฐ หน่วยงานรัฐ ระหว่างหน่วยงานรัฐและเอกชน ระหว่างประชาชนกับประชาชน สามารถรักษาความเป็นส่วนตัว (Privacy) ของข้อมูลในเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สืบเปลี่ยนกันได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

บล็อกเชนเป็นนวัตกรรม ที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในการให้บริการภาครัฐอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นเพียงการหาสถาปัตยกรรมที่ประสิทธิภาพและมีความมั่นคงปลอดภัยสูง

แต่ยังขาดการทำวิจัยต่อยอดในหลายส่วน ได้แก่ การยอมรับเทคโนโลยีบล็อกเชน โมเดลธุรกิจความสามารถในการใช้งานบล็อกเชน การใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการปกป้องข้อมูลส่วนตัว และเก็บรักษาข้อมูลของบุคคล หรือ แม้แต่การใช้งานร่วมกับอินเทอร์เน็ตประสาทรพลสิ่งเพื่อให้มีการนำเข้าสู่ข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติที่สามารถลดความผิดพลาดของการนำเข้าสู่ข้อมูลจากมนุษย์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนาวิจัยรุ่นใหม่ ตาม ทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณปี 2562 ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chirapunya, K. (2018). *Technical and Legal Feasibility Study of Using “Blockchain” For Preventing the Illegal Issuing Land Right Documents*. Thesis of the Degree of Doctor of Philosophy in Criminology and Criminal Justice. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Comrey, A. L. and Lee, H. B. (2013). *A first course in factor analysis*. 2nd ed. New York: Psychology Press.
- Gem. (2017). *Blokchain Healthcare 2016 Report – Promise and Pitfalls*. [Online]. Retrieved May 23, 2018, from: <https://gem.co>.
- Hair, J. F. J., Hult, G. T. M., Ringle, C. M. and Sarstedt, M. (2017). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. 2nd ed. CA: Sage.
- Haber, S., and Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3(2). 99-111.
- Keretho, S. (2017). Cross-border Single Window Interoperability (based on a new UNNEXt Guide). *The Proceedings of the International conference on Cross-border Paperless Trade, Single Window in the context of the New Technology Wave, Moscow, Russian Federation*, 7-8 December 2017, 6-8.
- Meijer, W. K., Middendorp, D., Raes, J. M. and Tubbing, R. (2017). *Digital Voting Pass*. Thesis of the Degree of Bachelor in Science. Netherlands: Delft University of Technology.
- Merkle, R. C. (1988). A Digital Signature Based on a Conventional Encryption Function. *Advances in Cryptology - CRYPTO*, 87, 369-378.
- Ministry of Digital Economy and Society. (2010). *Thailand Digital Economy and Society Development Plan (2018-2037)*. [Online]. Retrieved February 2, 2019, from: https://www.dga.or.th/upload/download/file_9fa5ae40143e13a659403388d226efd8.pdf. (in Thai)

- National Science Technology and Innovation Policy Office. (2017). *Digital Government Technology Roadmap*. [Online]. Retrieved Jan 10, 2017, from: <https://www.dga.or.th/th/content/920/13589>.
- NIST. (2014). *Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity* [Online]. Retrieved Feb 2, 2019, from: <http://22www.nist.gov/cyberframework>.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer to peer electronic cash system*. [Online]. Retrieved January 10, 2017, from: <http://www.bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- Office of the Public Sector Development Commission. (2005). *Report of Sector Development Commission year 2005*. Bangkok: Office of the Public Sector Development Commission.
- Popatchai. (2018). *Digital Money – Blockchain* [Online]. Retrieved January 10, 2017, From: <https://www.prachachat.net/columns/news-127289>.
- Santhanam, T. and Ramayah, T. (2012). Continued Usage Intention of E-Filing: The Role of Optimism Bias. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 65(1), 397–403.
- Srupsrisopa. (2018). *Importance and investment in the blockchain evolution*. [Online]. Retrieved January 27, 2018, from: <https://www.marketingoops.com/insiders>.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. (Vol. 6). California: O'Reilly Media.
- Tapscott, D., and Tapscott, A. (2015). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies is Changing the World*. New York: Penguin Pub.
- Thoppae, C. and Praneetpolgrang, P. (2018). The Investigation and Design of Blockchain Architecture for Secure Nation e-Transaction Services. *The Proceedings of the International Conference of Robotics, Informatics, and Intelligent control Technology (RIIT2018), Bangkok Thailand On September, 5-6, 2018*, 68-73.
- Tierion. (2017). *Blockchain Healthcare 2016 Report – Promise & Pitfalls*. [Online]. Retrieved May 23, 2018, <https://tierion.com/blog/blockchain-healthcare-2016-report/>.

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัล

เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ^{1*}, ฐาปนัต บัวภิบาล², อานนท์ ศรีประเสริฐ³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการการบิน กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Received: 14 April 2020

Revised: 6 October 2020

Accepted: 7 October 2020

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัญหาความละเอียดเชิงพื้นที่ของแผนที่ใช้งานจากการให้บริการฟรีบนอินเทอร์เน็ต และปัญหาค่าใช้จ่ายในการได้มาของแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่มีความเที่ยงตรงสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง โดยใช้พื้นที่ส่วนหนึ่งของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชเป็นพื้นที่ศึกษา โดยการรวบรวมข้อมูลแบ่งเป็นสองส่วน คือ ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ และข้อมูลเชิงบรรยายของสิ่งที่ปรากฏบนพื้นที่การศึกษา งานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ Drone Deploy ในการวางแผนการบิน และประมวลผลในระบบการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆเพื่อผลิตภาพถ่ายออร์โธ รวมถึงการใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกเพื่อกำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน และงานวิจัยนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ QGIS เป็นเครื่องมือในกระบวนการสร้างแปลงสำรวจลงบนแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ ซึ่งผลที่ได้คือแผนที่ดิจิทัลที่สามารถแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยายในรูปแบบตารางคุณสมบัติ และมีความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่สูงกว่าแอปพลิเคชันแผนที่ Google map และ Google earth ดังนั้นแผนที่ดิจิทัลจึงนำไปใช้วิเคราะห์และช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : อากาศยานไร้คนขับ ภาพถ่ายทางอากาศ ภูมิสารสนเทศ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แผนที่ดิจิทัล

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: kiatkulchai@rtaf.mi.th

Applying aerial imagery from Unmanned Aerial Vehicle for digital maps

Kiatkulchai Jitt-Aer^{1,*}, Thapanat Buaphiban², Anon Sriprasert³

^{1,2,3}Industrial Engineering and Aviation Management Department, Faculty of Mechanical
Engineering and Industrial Engineering
Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

Received: 14 April 2020

Revised: 6 October 2020

Accepted: 7 October 2020

ABSTRACT

Due to the problem of area resolution of maps freely obtained from the Internet and the problem of costs for producing aerial photography with high quality, this research has the objective to use a small unmanned aerial vehicle (UAV) for aerial photography in combination with the use of geo-informatics technology to create high resolution digital maps. An area of Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Thai Airforce Academy was used as the case study area. Compiling data was divided into two parts. The first part was an acquisition of aerial photographs using UAV, and the second part was an extraction of earth-surface features in a case study area from which the descriptive data was collected. With regard to data processing, the Drone Deploy platform was used for both managing UAV flight planning, and processing aerial images through the platform to produce ortho-photographs. Furthermore, the use of Global Positioning System (GPS) technology was necessary in this research for determining ground control points, which were later used for a geo-referencing operation to yield an orthomosaic map using QGIS software. A case study of Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy (NKRAFA) illustrates the proposed methodology. As a result, in the QGIS environment, the surface features are digitized on such the base map with their attribute tables. The digital map can be manipulated and shows higher resolution than Google maps and Google earth that supports decision makings regarding spatial issues more efficiently.

Keywords: UAV, Aerial photography, Geo-informatics, GIS, Digital map

*Corresponding Author; Email: kiatkulchai@rtaf.mi.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แผนที่มีความสำคัญ คือเป็นเครื่องช่วยในการดำเนินงานหรือประกอบกิจการต่างๆ ในทุกภาคส่วน โดยในทางภูมิศาสตร์นั้นแผนที่ถือเป็นศูนย์รวมข้อมูลปริภูมิหรือข้อมูลที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ทั้งทาง เศรษฐกิจ สังคม การเมือง และการทหาร ปัจจุบันแผนที่ถูกนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนทั้ง การวางผังเมืองให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการขยายตัวของชุมชน และเพื่อป้องกันภัยพิบัติทางธรรมชาติ ประกอบ กับในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology) ที่สามารถนำมาพัฒนาไป เป็นระบบแผนที่ที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่า แผนที่ดิจิทัล (Digital map) ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่นำมาใช้ ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถนำมาวิเคราะห์หรือสืบค้นข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ง่ายและรวดเร็ว

โดยกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์สามารถกำหนดข้อมูลสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นที่อยู่ในรูปแบบของภาพแผนที่ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงอธิบาย (Attribute data) หรือฐานข้อมูลของชุดแผนที่ได้ด้วย (Thongtip, 2012) โดยการเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าด้วยกัน จะทำให้ผู้ใช้งานแสดงข้อมูลทั้งสองประเภทได้พร้อมๆ กัน เช่น การสอบถามรายละเอียดของตำแหน่งที่ต้องการ โดยข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกอ้างอิงถึงตำแหน่งที่มีอยู่จริงบนพื้นโลกได้โดยอาศัยระบบพิกัดทาง ภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System: GCS) ซึ่งจะสามารถอ้างอิงได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม

โดยปกตินั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ถูกนำมาวิเคราะห์โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะมีที่มาจากเทคโนโลยีด้านการรับรู้ระยะไกล (Remote sensing) เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ โดยใช้อากาศยานหรือได้จากดาวเทียม ซึ่งมีค่าใช้จ่าย ค่อนข้างสูงมากในการได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเชิงแผนที่ยังสามารถหาได้จากแหล่งบริการฟรีบน อินเทอร์เน็ต เช่น แอปพลิเคชันแผนที่ Google maps หรือ Google earth ซึ่งมีความละเอียดและความเที่ยงตรงใน ระดับหนึ่งเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กมาใช้เพื่อเก็บข้อมูลภาพบนพื้นโลกใน การสร้างแผนที่แทนการใช้อากาศยานขนาดใหญ่หรือดาวเทียม ซึ่งการใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับการสร้างแผนที่ ของพื้นที่ขนาดย่อมจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าภาพถ่ายดาวเทียมหรือภาพถ่ายจากอากาศยาน (Matese et al., 2015) และ นำแผนที่ที่ได้นั้นมาทดลองเปรียบเทียบข้อมูลเชิงพื้นที่กับแอปพลิเคชัน Google maps และ Google earth โดยงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มีใช้งานอยู่ในหน่วยงานของคณะผู้วิจัย และซอฟต์แวร์ต่างๆ ที่ใช้ การดำเนินงานวิจัยนี้จะเป็นฟรีซอฟต์แวร์ที่ไม่จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อจัดหา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประยุกต์อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการสร้างแผนที่ดิจิทัล
2. เพื่อเปรียบเทียบความละเอียดและคุณสมบัติของแผนที่ดิจิทัลที่ให้บริการฟรีบนอินเทอร์เน็ตกับแผนที่ดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

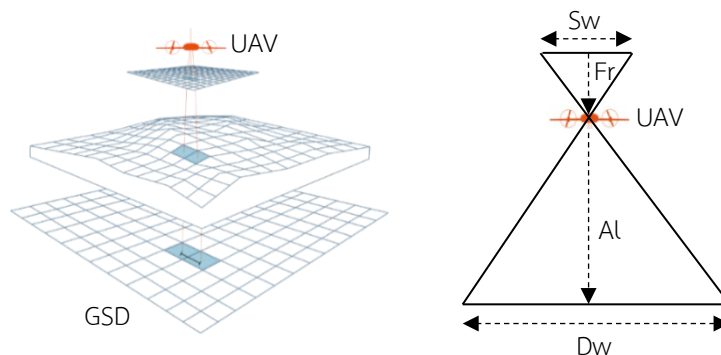
ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการการสร้างแผนที่ดิจิทัลในงานวิจัยนี้ได้ใช้พื้นที่ส่วนหนึ่งของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินท กษัตริยาธิราชเป็นกรณีศึกษา ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 20,278 ตารางเมตร โดยใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กชนิด 4 ใบพัด ยี่ห้อ DJI phantom 4 Pro ในการถ่ายภาพทางอากาศ

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศ (Areal imagery) คือ การถ่ายภาพนิ่งโดยมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพกับอากาศยานประเภทต่างๆ (Phrommas, 2016) ซึ่งการวางแผนการบินของอากาศยานไร้คนขับนั้นจะต้องกำหนดค่าการทับซ้อนของภาพอย่างเหมาะสม โดยแต่ละแนวบินจะต้องถ่ายภาพที่มีส่วนทับซ้อน (Frontlap) ไม่น้อยกว่า 60% และส่วนซ้อนของภาพในแนวบินข้างเคียงจะต้องมีส่วนซ้อนด้านข้าง (Sidelap) อยู่ในช่วง 20 – 40% (National Resources Canada, 2016) เพื่อให้แน่ใจว่าทั้งภาพและส่วนของภาพที่มีส่วนซ้อนทับกันนี้จะต้องใช้ในการรังวัดและการสร้างค่าพิกัดในสามมิติ และนอกจากนี้ ระยะสูงการบินของอากาศยานก็ส่งผลต่อพื้นที่การถ่ายภาพ ยิ่งบินสูงก็ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างมากกว่าการบินต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ยิ่งบินสูงรายละเอียดเชิงพื้นที่ของจุดภาพยิ่งน้อย (Boonlua, 2014) ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของแผนที่ทางอากาศที่นำไปผลิตแผนที่ฐาน (Base map) ดังนั้นการกำหนดความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ต้องการจึงมีความจำเป็นต่อการวางแผนการบินถ่ายภาพทางอากาศ



ภาพที่ 1 ระยะระหว่างกลางจุดภาพที่ติดกันและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
(Wingtra, 2019)

โดยความละเอียดเชิงพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความละเอียดของจุดภาพต่อพื้นที่ (Ground sample distance: GSD) ซึ่งมีความหมายคือ ค่าเฉลี่ยของระยะทางบนพื้นโลกระหว่างจุดภาพ (Image pixel) ที่อยู่กึ่งกลางของภาพสองภาพที่อยู่ติดกัน ดังแสดงตามภาพที่ 1 จึงกล่าวได้ว่าหากค่า GSD ยิ่งมาก ความละเอียดเชิงพื้นที่ก็ยิ่งน้อย ดังนั้น ค่า GSD จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญของการได้ภาพถ่ายทางอากาศที่มีคุณภาพ (Stensaas, 2007) นอกจากระยะความสูงการบินของอากาศยานไร้คนขับ ค่า GSD ของภาพถ่ายทางอากาศจะสัมพันธ์กับอุปกรณ์ถ่ายภาพหรือคุณสมบัติของกล้องของอากาศยานไร้คนขับที่ประกอบไปด้วยตัวรับภาพ (Sensor) และเลนส์กล้อง (Camera lens)

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับค่า GSD คือ ความกว้างของตัวรับภาพ (Sensor width: Sw) ระยะห่างระหว่างเลนส์กับตัวรับภาพ (Real focal length: Fr) ระยะสูงการบิน (Flight altitude: Al) และขนาดความกว้างของภาพถ่ายหนึ่งๆ บนพื้น (Footprint direction width: Dw) ดังแสดงในภาพที่ 1 ค่า GSD สามารถคำนวณได้จากสมการคณิตศาสตร์ที่ (1) ดังนี้

$$GSD = \frac{P \times Al}{Fr} \quad (1)$$

โดยที่ P = ขนาดของจุดภาพ, Al = ระยะสูงของการบินถ่ายภาพ, Fr = ระยะเลนส์กับตัวรับภาพ และจากสมการที่ (1) ระยะเลนส์กับตัวรับภาพ (Fr) สามารถคำนวณได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ (2) ดังนี้

$$Fr = \frac{F_{35} \times Sw}{34.6} \quad (2)$$

โดยที่ F_{35} = ระยะโฟกัสเลนส์ที่เทียบเท่า 35 mm, Sw = ความกว้างของตัวรับภาพ

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

Jirakajohnkool (2012) ได้อธิบายความหมายของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศไว้ คือ หลักวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีพิภพอ้างอิงบนผิวโลก ประกอบด้วยเทคโนโลยีที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ คือ การรับรู้ระยะไกล ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เพื่อสนับสนุนการรวบรวมข้อมูล การจัดการข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลเพื่ออธิบายคุณลักษณะหรือข้อมูลเชิงอรรถาธิบายของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ โดย Jeefoo (2018) ได้อธิบายว่าข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นรูปลักษณะที่ปรากฏบนพื้นโลกเป็นส่วนเท่าที่มีและเท่าที่เห็น ส่วนข้อมูลเชิงอรรถาธิบายเป็นข้อมูลส่วนที่เพิ่มเติม ปรับปรุง และแก้ไขเท่าที่ต้องการของผู้จัดทำข้อมูลภูมิสารสนเทศ ดังนั้นในการผลิตแผนที่ดิจิทัลจะต้องอาศัยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ซึ่งต้องอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ดังต่อไปนี้

การรับรู้ระยะไกล

การรับรู้ระยะไกล คือวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุหรือพื้นที่ที่ปรากฏบนผิวโลกจากเครื่องมือบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสกับวัตถุเป้าหมาย และอาศัยพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อกลาง (Suksabai and Nakhapakorn, 2014) โดยการจัดทำแผนที่จะต้องใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล คือ ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลภาพถ่ายทางดาวเทียมซึ่งสามารถนำมาจัดทำแผนที่ที่มีรูปทรงและขนาดของพื้นที่ที่มีความถูกต้องสูงและใช้เวลาที่รวดเร็วมากขึ้นกว่าในอดีต (Jirakajohnkool, 2012) ในการศึกษาการรับรู้ระยะไกลจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับกับฐานของโลก (Geodesy) หรือพื้นผิวที่ใช้อ้างอิง ซึ่งการอ้างอิงตำแหน่งของจุดต่างๆ จึงใช้รูปทรงที่ห่อหุ้มด้วยผิวระดับที่ต่อเนื่องกัน โดย Yiengveerachon (2016) ได้อธิบายฐานโลกไว้ 3 ลักษณะคือ ฐานโลกทางกายภาพหรือภูมิประเทศจริง ฐานโลกจีโออยด์ (Geoid) และฐานโลกรูปทรงรีหรืออีลิปซอยด์ (Ellipsoid)

พื้นหลักฐานอ้างอิงและระบบพิกัด

การกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่มีความถูกต้องนั้นจะต้องอาศัยพื้นหลักฐานอ้างอิง (Reference datum) ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงการหาตำแหน่งบนฐานโลกดังกล่าว จากข้อมูลของ Royal Thai Survey Department (2015) ในส่วนของประเทศไทยนั้น ได้กำหนดให้ใช้พื้นหลักฐานท้องถิ่น (Local datum) ที่ชื่อว่าอินเดีย 1975 (Indian 1975 datum) แต่ใช้พื้นหลักฐานสากลที่ทำให้สามารถอ้างอิงได้ทั่วโลก เรียกว่า พื้นหลักฐาน World Geodetic System 1984 (WGS 84) ส่งผลให้การสำรวจในยุคปัจจุบันต้องปรับเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS 84 ดังนั้น ค่าพิกัดที่ได้จากอุปกรณ์ GPS ในพื้นที่ประเทศไทยจะเป็นค่าที่อ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS 84

การอ้างอิงและบอกตำแหน่งบนโลกจะต้องอ้างอิงโดยอาศัยระบบพิกัด Kriangkraipetch and Liengwanpon (2016) อธิบายระบบพิกัดไว้ด้วยกัน 2 ระบบ คือ ระบบพิกัดภูมิศาสตร์หรือ GCS และอีกระบบ คือ พิกัดแบบกริด (Universal Transverse Mercator: UTM) โดยที่ระบบ GCS เป็นระบบพิกัดที่กำหนดตำแหน่งต่างๆ บนผิวโลก ด้วยวิธีการอ้างอิงละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ส่วนระบบพิกัดแบบ กริดเป็นการอ้างอิงค่าพิกัดโดยอาศัยตารางกริดในการกำหนดตำแหน่งต่างๆ บนพื้นโลก ซึ่งพิกัดกริดจะบอกตัวเลขและตัวอักษรอ้างอิงที่ครอบคลุม เช่น 47N หมายถึงเลขกำกับพื้นที่ที่อยู่ในแนวตั้งที่ 47 และแนวนอนที่ N โดยประเทศไทยมีพื้นที่ครอบคลุม 2 โซนคือ โซน 47 และ 48 โดยการจัดทำแผนที่ในระบบคอมพิวเตอร์ในส่วนของผู้ใช้พื้นที่ในกรุงเทพมหานคร จะต้องกำหนดระบบพิกัดแผนที่ที่ใช้มาตรฐานอ้างอิงแบบ WGS 84/UTM zone 47P (Yiengveerachon, 2016)

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

Boochayan, Pahanich and Sartsin (2018) ได้ระบุไว้ว่า ระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) คือ ระบบที่ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกโดยใช้ตัวรับสัญญาณเพื่อประมวลผลเชิงตำแหน่ง ณ จุดที่อุปกรณ์รับสัญญาณตั้งอยู่ ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาระบบนำทางด้วยดาวเทียมขึ้นมาหลายระบบ เช่น GPS (ประเทศสหรัฐอเมริกา) GLONASS (ประเทศรัสเซีย) Galileo (สมาพันธ์ยุโรป) BeiDou (ประเทศจีน) QZSS (ประเทศญี่ปุ่น) เป็นต้น โดยคณะผู้วิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกแบบ GPS เพราะสามารถเข้าถึงระบบได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่ง GPS นำทางด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง ที่โคจรรอบโลกวันละ 2 รอบ เป็นผลทำให้สามารถนำข้อมูลการรับสัญญาณ GPS ไปคำนวณหาตำแหน่งและความสูงได้ตลอดเวลา 24 ชั่วโมงทุกแห่งบนโลก ในระดับความถูกต้องเป็นเซนติเมตรถึง 20 เมตร ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครื่องรับสัญญาณและวิธีการวัด (Mongkolkeha, 2007)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิชาภูมิศาสตร์ มีนักวิชาการหลายท่านได้ให้ความหมายของคำว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น Jeefoo (2018) ได้ให้ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการนำเข้า จัดเก็บ จัดเตรียม ดัดแปลง แก้ไข วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่กำหนดไว้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังหมายถึงกลุ่มของระบบสารสนเทศกลุ่มหนึ่ง ที่มีความแตกต่างจากระบบสารสนเทศอื่นๆ โดยที่องค์ประกอบที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ชี้ให้เห็นถึงความแตกต่าง คือ ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับการอ้างอิงตำแหน่งบนโลกที่เรียกว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ ฉะนั้นระบบสารสนเทศจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาความรู้ในแขนงสาขาต่างๆ ที่เกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งสิ้น (Maneeekhat, 1997 cited in Thitisawan, 2001) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลลักษณะต่างๆ ในพื้นที่ที่สนใจจะถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ระบบสารสนเทศรูปแบบหนึ่ง ที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์กับการอ้างอิงตำแหน่งบนโลก ใช้เก็บข้อมูลในลักษณะเฉพาะเรื่อง เพื่อนำเอาข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ประมวลผลร่วมกัน เพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ และสามารถแสดงผลหลากหลายรูปแบบ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวางแผนพัฒนาพื้นที่ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ การเก็บข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงบรรยายและการถ่ายภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์สร้างแผนที่ดิจิทัล และเปรียบเทียบข้อมูลเชิงพื้นที่ของแผนที่ดิจิทัลกับแอปพลิเคชันแผนที่ Google maps และ Google earth

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้อาศัยอุปกรณ์และเครื่องมือที่มีใช้งานอยู่แล้วในหน่วยงาน รวมถึงการใช้งานฟรีซอฟต์แวร์ในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. อากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ DJI Phantom 4 Pro ที่มีรายละเอียดอุปกรณ์ของระบบการถ่ายภาพดังนี้ คือ เซนเซอร์ขนาด 1" CMOS (12.8 x 9.6mm) เลนส์แบบ FOV 84°, 8.8mm/24mm (35mm format equivalent) และให้ความละเอียดภาพสูงสุด 16:9 Aspect Ratio: 5472x3078 pixel
2. อุปกรณ์รับวัดเก็บค่าพิกัดดาวเทียม GNSS ยี่ห้อ KQGEO รุ่น M8 Pro
3. ซอฟต์แวร์และแพลตฟอร์ม Drone deploy (Free trial version) และซอฟต์แวร์ QGIS

การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ และการรวบรวมข้อมูลเชิงบรรยายสำหรับเพื่อใช้สร้างเป็นฐานข้อมูลในแผนที่ดิจิทัล

1. การเตรียมการถ่ายภาพทางอากาศ เป็นการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อการได้มาของแผนที่ฐานที่มีความละเอียดสูง

1.1 การเตรียมจุดควบคุมพิกัดอ้างอิง เป็นการกำหนดจุดควบคุมพิกัดอ้างอิง (Ground Control Point: GCP) โดยทำการกำหนดจุดเป้าที่วางบนพื้นที่ที่จะทำการถ่ายภาพจากอากาศยานไร้คนขับ จุดควบคุมพิกัดอ้างอิงเป็นสิ่งที่บ่งชี้ตำแหน่งของพิกัดบนภาพถ่ายที่อ้างอิงกับพิกัดของพื้นหลักฐาน ดังนั้นจุดดังกล่าวจำเป็นต้องเด่นชัดเพื่อจะจะได้บนภาพ อาจใช้เป้าที่ประดิษฐ์ขึ้นเองหรือเป่าตามภูมิประเทศก็ได้ (Lilitwarangkul, 2005) คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้แผ่นเป้าที่มีสีเด่นชัดและมีเครื่องหมายกากบาทตรงกลางเพื่อใช้เป็นจุดควบคุมพิกัดอ้างอิง ดังแสดงตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เตรียมเป็นจุดควบคุมพิกัดอ้างอิงบนพื้น

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

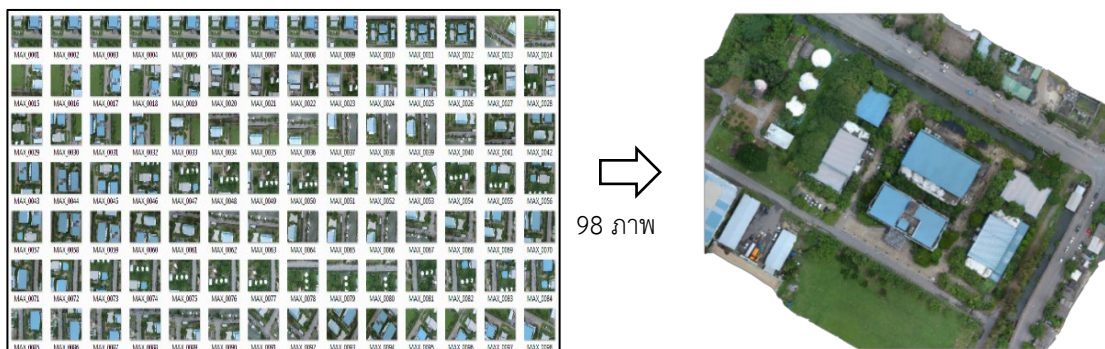
1.2 การกำหนดแผนการบิน จะต้องคำนึงถึงค่า GSD ที่ต่ำที่สุดถึงในระดับเซนติเมตร เพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เพื่อการแยกแยะวัตถุต่างๆ บนพื้นโลกได้ดีในขั้นตอนการผลิตแผนที่ดิจิทัล และเมื่อสามารถกำหนดระยะความสูงของการบินที่ให้ค่า GSD ตามที่ต้องการแล้ว คณะผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ Drone deploy สำหรับการวางแผนการบิน

2. การเตรียมข้อมูลเชิงบรรณานุกรม ซึ่งคณะผู้วิจัยทำการเตรียมข้อมูลเพื่อนำมาทำเป็นตารางฐานข้อมูลของแปลงสำรวจในแผนที่ดิจิทัล เช่น ข้อมูลของอาคารสถานที่ ข้อมูลถนน และข้อมูลพื้นที่จอดรถ โดยข้อมูลที่ถูกจัดเรียงเป็นหมวดหมู่แล้วนี้ถูกนำไปออกแบบเป็นฐานข้อมูลแบบเอ็กเซล (Excel) ในระบบคอมพิวเตอร์ และจะถูกนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลของแปลงสำรวจในแผนที่ดิจิทัลต่อไป

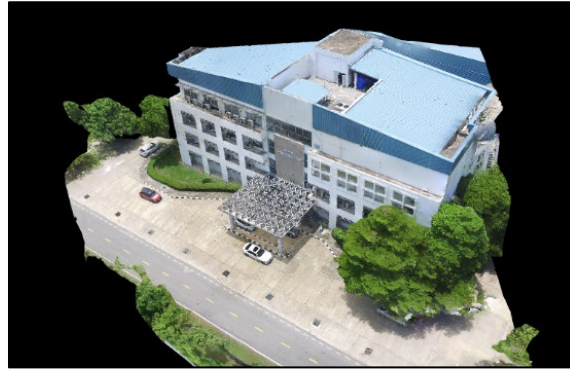
การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้ใช้แพลตฟอร์ม Drone deploy และซอฟต์แวร์ QGIS เป็นเครื่องมือในการจัดการข้อมูล GIS ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ขั้นตอนนี้เป็นการประมวลผลภาพโดยนำไปผ่านกระบวนการปรับแก้ภาพ (Orthorectification) รวมถึงตำแหน่งของจุดภาพ (Lilitwarangkul, 2005) และกระบวนการนำภาพถ่ายทางอากาศประกอบซ้อนเข้าด้วยกันเป็นภาพถ่ายออร์โธ (Orthomosaic) ดังแสดงตามภาพที่ 3 โดยใช้การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud processing) ของแพลตฟอร์ม Drone deploy ซึ่งเป็นการใช้งานโดยการใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ร่วมกัน ทำให้เกิดการทำงานแบบขนานได้ตามความต้องการ (Huapai and Banditwattanawong, 2017) โดยการประมวลผลผ่านแพลตฟอร์ม Drone deploy นั้น ทำให้ได้ภาพจำลองสามมิติ (3D model) ดังแสดงตามภาพที่ 4

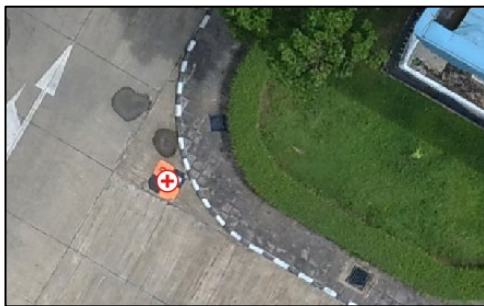


ภาพที่ 3 ภาพถ่ายออร์โธ



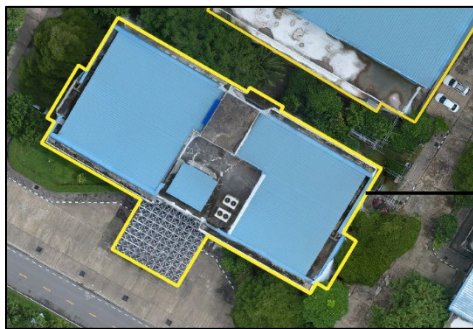
ภาพที่ 4 ภาพจำลองสามมิติ

2. กำหนดค่าพิกัดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ เป็นการทำให้ภาพถ่ายออร์โธที่ยังไม่มีค่าพิกัดเป็นภาพถ่ายออร์โธที่มีพิกัดบนพื้นโลก โดยการนำภาพออร์โธไปยึดตรึงกับจุดที่ทราบพิกัดจริงซึ่งก็คือจุด GCPs หรือเรียกว่าการทำ Georeferencing โดยภาพถ่ายออร์โธที่ผ่านการกำหนดค่าพิกัดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์แล้วก็คือแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ (Ortho map) ดังแสดงตามภาพที่ 5 ซึ่งต่อไปจะนำไปเป็นแบบพิมพ์เขียวเพื่อทำการสร้างแปลงสำรวจต่างๆ



ภาพที่ 5 แผนที่ภาพถ่ายออร์โธ

3. การนำเข้าข้อมูลปริภูมิจะกระทำโดยวิธีการดิจิทัล (Digitizing) ในซอฟต์แวร์ QGIS โดยการสร้างแปลงสำรวจขึ้นมาใหม่ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) คือ จุด เส้น และพื้นที่ปิด โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการดิจิทัลแปลงสำรวจตามสิ่งที่ปรากฏบนพื้นโลก และสร้างฐานข้อมูลอรรถาธิบายที่เชื่อมโยงกับแปลงสำรวจในรูปแบบของตารางคุณสมบัติที่แสดงถึงข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะตัวของแปลงสำรวจนั้น ดังแสดงตามภาพที่ 6



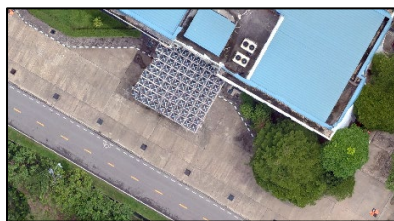
(ก) ข้อมูลแบบเวกเตอร์ของอาคาร

ID	BName	ConDate	RoomID	RoomFcn	RoomAre	Floor
1	41 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๑	ห้องว่าง	36.0000	4
2	42 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๒	ห้องสัมมนา ๓...	72.0000	4
3	43 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๓	ห้องว่าง	72.0000	4
4	44 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๔	ห้องศึกษาวิจัย ส...	36.0000	4
5	45 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๕	ห้องศึกษาวิจัย ส...	36.0000	4
6	46 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๖	ห้องเก็บของ	7.2150	4
7	47 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๗	ห้องรวมคน	22.5000	4
8	48 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๘	ห้องประชุม	16.6000	4
9	49 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๔๑๙	ห้องประชุม	7.2150	4
10	32 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๑	ห้องเรียน ภาส. อ...	72.0000	3
11	33 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๒	ห้องเรียน	72.0000	3
12	34 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๓	ห้องว่าง	8.6025	3
13	35 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๔	ห้องศึกษา ภาส...	36.0000	3
14	36 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๕	ห้องศึกษา ภาส...	72.0000	3
15	37 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๖	ห้องเก็บของ	7.2150	3
16	38 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๗	ห้องประชุม	22.5000	3
17	39 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๘	ห้องประชุม	16.6000	3
18	40 อาคารวิศวกรรม...	2548	อวส.๓๐๙	ห้องประชุม	7.8400	3

(ข) ตารางข้อมูลเชิงบรรณานุกรมของอาคาร

ภาพที่ 6 การแสดงข้อมูลบรรณานุกรมของพื้นที่บนแผนที่ดิจิทัล

4. การเปรียบเทียบข้อมูลเชิงพื้นที่ระหว่างแผนที่ดิจิทัลที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้กับแอปพลิเคชันแผนที่ Google maps และ Google earth ของพื้นที่การศึกษาที่มาตราส่วน 1 : 1,000 ดังแสดงตามภาพที่ 7



(ก) แผนที่ดิจิทัล



(ข) แผนที่ Google maps



(ค) แผนที่ Google earth

ภาพที่ 7 เปรียบเทียบแผนที่ดิจิทัลและแผนที่จากแอปพลิเคชัน Google maps และ Google earth

ผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัล คณะผู้วิจัย คำนวณค่า GSD โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ที่ (1) และ (2) โดยใช้ระยะการบินความสูงที่ 45 เมตร (สูงกว่าอาคารที่สูงที่สุดอีกระยะ 10 เมตร ด้วยเหตุผลทางด้านความปลอดภัย) และใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์การรับรู้ระยะไกลของอากาศยานไร้คนขับ โดยได้ผล GSD เท่ากับ 1.2 เซนติเมตร และผลจากการกำหนดค่าพิกัดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ตามจุด GCPs บนภาพถ่ายออร์โธโดยใช้ซอฟต์แวร์ QGIS ทำให้ได้ภาพแผนที่ภาพถ่ายออร์โธที่มีพิกัดตรงกับพื้นโลกที่ใช้หลักพื้นฐานอ้างอิง WGS 84 นอกจากนี้การสร้างแผนที่ดิจิทัลด้วยซอฟต์แวร์ QGIS โดยใช้ข้อมูลภาพแผนที่ภาพถ่ายออร์โธหรือแผนที่ฐานนั้น กระทำโดยการนำเข้าข้อมูลปริภูมิด้วยวิธีการสร้างแปลงสำรวจตามสิ่งที่ปรากฏบนพื้นที่ฐาน และนำเข้าฐานข้อมูลเชิงบรรณานุกรมมาเชื่อมโยงกับแปลงสำรวจต่างๆ โดยสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาดัดแปลง แก้ไข วิเคราะห์ทั้งเชิงสถานที่ เส้นทาง สำรวจแบบมุ่งเน้นรายละเอียด แบบจำลองสถานการณ์ (What if) และแสดงผลตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ทั้งภาพถ่ายแผนที่ทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับยังสามารถ

แสดงผลในรูปแบบจำลองพื้นที่เป็นสามมิติ ซึ่งแตกต่างจากแอปพลิเคชัน Google maps และ Google earth ที่เน้นการสืบค้นตำแหน่งของสถานที่และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้นทางเท่านั้น

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัลโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ และเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผนที่ดิจิทัลกับแอปพลิเคชันแผนที่ Google maps และ Google earth ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กถ่ายภาพทางอากาศแทนการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานหรือจากดาวเทียม และเน้นการใช้ซอฟต์แวร์ในการดำเนินการวิจัย ทำให้ใช้ต้นทุนในการทำวิจัยที่ต่ำกว่าการใช้อากาศยานขนาดใหญ่หรือดาวเทียม ซึ่งสอดคล้องกับ Matese et al. (2015) ที่ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการทำแผนที่โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศยาน และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

โดยผลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้คือแผนที่ดิจิทัลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงกว่าแอปพลิเคชัน Google maps และ Google earth ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Semuagngam (2018) ที่ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กในการเก็บข้อมูลเพื่อการวางแผนและผังพัฒนาพื้นที่ในจังหวัดนครราชสีมา แต่แผนที่ดิจิทัลที่ได้จากงานวิจัยนี้แตกต่างจาก Semuagngam (2018) คือ สามารถจัดการข้อมูลเชิงอรรถาธิบายที่แนบเป็นคุณสมบัติของสิ่งที่ปรากฏบนแผนที่ด้วย ทั้งยังสามารถใช้แผนที่ในระบบ GIS สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่และแสดงผลทั้งในรูปแบบตัวเลขและกราฟิกแผนที่

ข้อเสนอแนะ

การผลิตแผนที่ดิจิทัลในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญ คือ การใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ต่อมาคือกระบวนการกำหนดพิกัดภูมิศาสตร์อ้างอิงที่ทำให้ภาพออร์โธกลายเป็นแผนที่ภาพออร์โธหรือแผนที่ฐาน และกระบวนการสุดท้ายคือการผลิตแผนที่ดิจิทัลโดยการสร้างแปลงสำรวจต่างๆ ที่เกิดจากการดิจิทัลแปลงแผนที่ฐาน ซึ่งข้อมูลของแปลงสำรวจเป็นข้อมูลประเภทเวกเตอร์ที่สามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงอรรถาธิบายที่บ่งบอกคุณลักษณะของแปลงสำรวจบนแผนที่ฐาน แผนที่ดิจิทัลที่พัฒนามีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงและมีความแม่นยำตามพิกัดภูมิศาสตร์ โดยผู้ใช้งานแผนที่สามารถใช้งานได้หลากหลายจุดมุ่งหมายนอกเหนือจากการใช้งานแอปพลิเคชันแผนที่ Google maps หรือ Google earth เช่น งานการสำรวจ โดยวัดระยะทางระหว่างจุดใดๆ ของแปลงสำรวจตามพิกัดภูมิศาสตร์บนพื้นโลกจริง หรือการหาพื้นที่รูปเรขาคณิตของสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏในแผนที่ และผลจากการทดสอบข้อมูลเชิงอรรถาธิบายที่เชื่อมโยงเป็นคุณสมบัติของแปลงสำรวจใดๆ นั้น จะทำให้ผู้ใช้งานแผนที่สามารถทำการวิเคราะห์หรือสืบค้นข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แม้แผนที่ดิจิทัลที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้จะมีคุณสมบัติทั้งเรื่องความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่และความสามารถในการจัดการข้อมูลดังกล่าว การแสดงผลและการจัดการข้อมูลยังมีความจำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ QGIS ดังนั้นจึงเสนอแนะให้งานวิจัยต่อยอดในด้านการพัฒนาแผนที่ดิจิทัลที่สามารถใช้งานได้ในแพลตฟอร์มที่ง่ายต่อผู้ใช้งานมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Boochayan, A., Pahanich, W., and Sartsin, P. (2018). Geo-information technology and geo-literacy. *Humanities and Social Sciences Surindra Rajabhat University Journal*, 20(2), 385-397. (in Thai)
- Boonlua, T. (2014). The adaptive use of Unmanned Aerial Vehicle in aerial photography for urban design: a case study of Mahasarakham University, Khamreing Campus. *Academic Journal of Architecture*, 63, 55-68. (in Thai)
- Huapai, S., and Banditwattanawong, T. (2017). The use of ontological engineering principle to develop a knowledge base for interoperability of multi-cloud computing platforms. *Sripatum Review of Science and Technology*, 9, 45-56. (in Thai)
- Jeefoo, P. (2018). *Application development for web-based GIS*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Jirakajohnkool, S. (2012). *ArcGIS 10.1 for desktop*. Nonthaburi: A.P. Graphic design & Printing Ltd. (in Thai)
- Kiangkraipetch, S., and Liengwanpon, C. (2016). *Geographic Techniques*. Bangkok: Darnsutha Press Ltd. (in Thai)
- Lilitwarangkul, T. (2005). Digital photogrammetry surveying technique. *Thaksin University Journal*, 8(1), 69-73. (in Thai)
- Matese, A., Toscano, P., Gennaro, S. F. D., Genesio, L., Vaccari, F. P., Primicerio, J. *et al* (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing*, 7, 2971-2990.
- Mongkolkeha, O. (2007). Global positioning system (GPS) towards global innovations of IT era. *Advanced Sciences Journal*, 7(2), 6-18. (in Thai)
- National Resources Canada. (2016). *Concepts of aerial photography*. [Online]. Retrieved 23 June 2019, from: <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/>
- Phrommas, R. (2016). Aerial photography: an alternative endorsement of brand advertising. Research and Innovation and National Development. *The Proceedings of the 12th Naresuan Research Conference*, 21-22 July 2016 at Naresuan University, 2094-2105. (in Thai)
- Royal Thai Survey Department, Royal Thai Armed Force Headquarters. (2015). *The evolution of surveying in Thailand from the past to the present*. [Online]. Retrieved 9 July 2019, from: <https://www.rtsd.mi.th/main/2015> (in Thai)
- Stensaas, G.L. (2007). *U.S. Geological survey digital aerial mapping camera certification and quality assurance plan for digital imagery*. In: Fritsch, D (ed) *Photogrammetric week '07*. Wichmann, Heidelberg, 107-116.

- Suksabai, K., and Nakhapakorn, K. (2014). Fire detection using LANDSAT thermal data: in Saiyok district, Kanchanaburi province, Thailand. *Thai Science and Technology Journal*, 22(4), 462-473. (in Thai)
- Thitisawan, V. (2001). *The application of a geographic information system to carbonate rock resources management, Ratchaburi province*. Thesis of the Degree of Master of Science in Technology of Environmental Management. Nakhon Pathom: Mahidol University. (in Thai)
- Semuagngam, A. (2018). Using sUAV for data collection in planning: a case study of Jompol road, Nakhon Ratchasima. *RMUTI Journal Science and Technology*, 11(2), 25-39. (in Thai)
- Thongtip, U. (2012). *Geographic information system for a local study*. Bangkok: Phranakhon Rajabhat University. (in Thai)
- Wingtra. (2019). *How ground sample distance (GSD) relates to accuracy and drone ROI*. [Online]. Retrieved 28 July 2019, from: <https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/>
- Yiengveerachon, V. (2016). *Surveying: theory and applications*. 8th ed. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

พฤติกรรมการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของร่องลื่นเพลากลมอากาศ

อภิชาติ ฉัตรพงศ์เจริญ^{1,*}, ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว², เจษฎา พานิชกรณ³

^{1,2,3} วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Received: 12 March 2020

Revised: 7 October 2020

Accepted: 7 October 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมการหล่อลื่นทางทฤษฎีแบบไฮโดรไดนามิกของร่องลื่นเพลากลมหล่อลื่นด้วยอากาศแบบแบร์ริงสมมาตร ในสภาวะคงตัวสารหล่อลื่น เมื่อไม่พิจารณาผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายในร่องลื่นเพลากลม ด้วยการจำลองโดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสลับเนื่องร่วมกับระเบียบวิธีนิวตันราฟสัน แก๊สการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ เพื่อหาการกระจายตัวของความดันฟิล์มอากาศ การกระจายตัวของความหนาฟิล์มอากาศ รวมถึงการกระจายตัวของอัตราส่วนการเยื้องศูนย์ของเพลากับแบร์ริง ภายใต้มุมการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการหมุน ภาระที่ร่องลื่นได้รับ ช่องว่างระหว่างเพลากับแบร์ริง และอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้า จากผลการจำลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการหมุนและอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้า ทำให้ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดมีค่าลดลง แต่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและตำแหน่งมุมที่เกิดความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มภาระที่ร่องลื่นได้รับและค่าช่องว่างระหว่างเพลากับแบร์ริง ทำให้ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าลดลง

คำสำคัญ : การหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก การหล่อลื่นด้วยอากาศ ร่องลื่นเพลากลมอากาศแบบแบร์ริงสมมาตร
สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: s5903017810111@kmutnb.ac.th

Lubrication Behavior of Hydrodynamic Lubrication in Air Journal Bearing

Apichart Chutpongcharoen^{1,*}, Khanittha Wongseedakaew², Jesda Panichakorn³

^{1,2,3} College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North

Received: 12 March 2020

Revised: 7 October 2020

Accepted: 7 October 2020

ABSTRACT

This paper presents the theoretical behavior of hydrodynamic air lubrication of finite type air journal bearing under steady-state condition without considering the effect of temperature changes on the air film in the journal bearing. A numerical scheme based on the finite difference method with the Newton-Raphson method for solving modified Reynolds equation to obtain the air film pressure and air film thickness profiles include eccentricity ratio profiles under angle profile with various shaft speeds, applied load, bearing clearance and air inlet temperature. The simulation results show the increasing of shaft speed and the air inlet temperature, the maximum film pressure and eccentricity ratio decrease but the minimum film thickness and angle increase. Whereas when the increase of applied load and the bearing clearance occur, the maximum film pressure and eccentricity ratio increase but minimum film thickness and angle decrease.

Keywords: hydrodynamic lubrication, air lubrication, finite type air journal bearing, modified Reynolds equation

*Corresponding author; Email: s5903017810111@kmutnb.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หลักการหล่อลื่นในยุคอดีตจนถึงปัจจุบันมีความสำคัญเพื่อลดความเสียหาย ลดการสึกหรอ และเพื่อช่วยรับภาระโหลดของผิวสัมผัสสองผิวที่เคลื่อนที่สัมผัสกัน โดยใช้สารหล่อลื่นเคลือบระหว่างผิวสัมผัสสองผิว สารหล่อลื่นอาจจะเป็นของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ ซึ่งการหล่อลื่นที่ดีจำเป็นต้องทำให้ฟิล์มสารหล่อลื่นมีความหนาเพียงพอเพื่อป้องกันการแตะสัมผัสกันทั้งสองชิ้นงาน โดยจะทำให้เกิดความเสียหายที่ผิวชิ้นงานทั้งสอง การศึกษาพฤติกรรมหล่อลื่นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล จึงเป็นเหตุผลในการเพิ่มประสิทธิภาพ และเพิ่มแนวทางการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาพฤติกรรมสารหล่อลื่นที่เป็นก๊าซ (อากาศ) ในร่องลื่นเพลากลมมีหน้าที่รองรับเพลาลูกเบี้ยวทำงานได้อย่างเหมาะสมตามแนวรัศมีการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว และถูกใช้งานเป็นที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรเฉพาะ เช่น มอเตอร์ฮาร์ดดิสก์ โดยใช้องค์ความรู้ทางกลศาสตร์ของไหลเน้นการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เกี่ยวกับพฤติกรรมสารหล่อลื่นแบบก๊าซบนรูปร่างต่างๆ ของพื้นผิวการไหล ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการทำแบบจำลองเหตุการณ์การทดลอง เพื่อหาความหนาฟิล์มที่สัมพันธ์กับความดันฟิล์มของสารหล่อลื่นภาระโหลด อัตราส่วนการเยื้องศูนย์เพลาลูกเบี้ยว และช่องว่างระหว่างเพลาลูกเบี้ยวกับแบร้ง Piekos (2000) แบร้งแบบลักษณะสันมีพฤติกรรมการรั่วไหลของสารหล่อลื่นออกด้านข้างทั้งสองอย่างมาก ซึ่งเหมือนกับว่าแบร้งจะไม่ได้รับแรงกดของไหลเลย และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การรับภาระโหลดหายไปจากผลของการที่ไม่สามารถอัดตัวของไหลได้ Huang et al. (2007) ผลของการลื่นไหลของโมเลกุลก๊าซที่มีค่าอัตราการไหลก๊าซเพิ่มขึ้น ทำให้ความดันฟิล์มสารหล่อลื่นก๊าซลดลงและความสามารถในการรับภาระโหลดของแบร้งก๊าซถูกลดลงด้วย Zhang al et. (2008) ได้นำเสนอการแก้สมการเรย์โนลด์ของร่องลื่นเพลากลมอากาศ ซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์ย่อยไม่เชิงเส้นที่มีความยากในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขทำให้การแก้สมการทางตรงต้องเปลี่ยนรูปสมการเป็นสมการอนุพันธ์เชิงเส้น เพื่อการประมาณค่าที่เหมาะสมและแก้ไขปัญหาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (FDM) การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการประมาณค่าเชิงตัวเลขที่ดีและการแก้ไขปัญหาลักษณะเชิงตัวเลข มีข้อมูลเหมาะสมสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองมากกว่าการแก้ไขปัญหาลักษณะเชิงตัวเลขทางตรง และใช้เวลาในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ที่น้อยกว่า จากเดิมที่คิดว่าการแก้ไขปัญหาลักษณะเชิงตัวเลขทางตรงดีกว่า อีกอย่างที่น่าสนใจ คือ อัตราการเยื้องศูนย์ที่ถูกแก้ไขปัญหาลักษณะเชิงตัวเลขมีข้อมูลที่เหมาะสมสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองภายใต้ความแตกต่างเมื่อเปลี่ยนแปลงแบร้งนมเบอร์ โดยการแก้ไขปัญหาลักษณะเชิงตัวเลขจะมีค่ามากกว่าเล็กน้อย เมื่ออัตราการเยื้องศูนย์น้อยๆ และมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย เมื่ออัตราการเยื้องศูนย์มากๆ Andrés (2010) รูปแบบการหล่อลื่นด้วยก๊าซมีลักษณะเป็นฟิล์มสารหล่อลื่นของแบร้ง และกลายเป็นองค์ประกอบทางกลที่ให้ความแข็งแรง (ความเป็นสปริงอากาศ) ความหน่วง และความเฉื่อย โดยทำหน้าที่เป็นตัวแปรโครงสร้างความเสถียรของพฤติกรรมเคลื่อนที่ของระบบโรเตอร์ Sfyris and Chasalevris (2012) นำเสนอการเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาลักษณะเชิงตัวเลขของการหล่อลื่นแบบแบร้งสมมาตร โดยการศึกษาการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเยื้องศูนย์ที่เพิ่มขึ้นของการหล่อลื่นแบบแบร้งสมมาตรด้วยวิธีการประมาณค่าแก้สมการเชิงตัวเลข (FDM) โดยอัตราส่วนการเยื้องศูนย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความดันสูงสุดมากขึ้นตามลำดับด้วย Chasalevris and Dimitris (2014) หลักในการดำเนินการออกแบบตัวแปรสำหรับแบร้งเพลากลมแบบสมมาตร คือ การวิเคราะห์ค่าที่แสดงความสามารถในการรับภาระโหลด มุมที่ความดันสูงสุด ที่มีผลสอดคล้องกับการแก้สมการแบบเชิงตัวเลข พบว่าให้ผลใกล้เคียงมากกับงานวิจัยรุ่นก่อน โดยการเปรียบเทียบผลการแก้สมการเรย์โนลด์แบบวิธี Analysis, FEM, FDM, CFD ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันในการเพิ่มค่าอัตราการเยื้องศูนย์ ทำให้ความดันฟิล์มเพิ่มขึ้นตาม Müller et al. (2017) ช่องว่างระหว่างเพลาลูกเบี้ยวกับแบร้ง (Air gap bearing) มีผลอย่างมากกับ

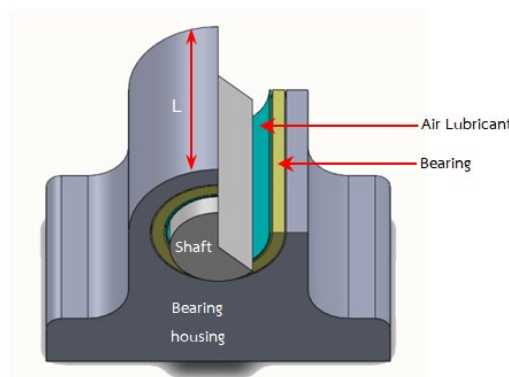
ความแข็งแรง และความถี่ธรรมชาติของโรเตอร์ นั้นหมายถึง ช่องว่างเล็กๆ จะเป็นผลให้ความแข็งแรงสูง และความถี่ธรรมชาติสูง รวมทั้งความยาวแบร์ริงมีความสำคัญในการเพิ่มภาวะเงื่อนไขการกระจายตัวของเสถียรอย่างมาก Chotvisut et al. (2018) ได้ศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นของร่องลื่นกันรุนแบบแผ่นเอียงและแผ่นเรียบด้วยสารหล่อลื่นอากาศ เมื่อพิจารณาการเลื่อนไหลของโมเลกุลชั้นอากาศ พบว่าความดันฟิล์มอากาศสูงที่สุดมีค่ามากกว่าการไม่พิจารณาผลการเลื่อนไหลของโมเลกุลชั้นอากาศ และความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าน้อยลง ส่วนภาระที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันฟิล์มอากาศเพิ่มขึ้น แต่ความหนาฟิล์มอากาศลดลง และเมื่อเพิ่มความเร็วยกกับอุณหภูมิอากาศทางเข้าทำให้ความดันฟิล์มอากาศลดลง แต่ความหนาฟิล์มอากาศเพิ่มขึ้น Bumrungpuech et al. (2018) ได้ศึกษาการหล่อลื่นของร่องลื่นกันรุนแบบคิมเบอร์ลีย์ด้วยสารหล่อลื่นชนิดนอนนิวโตเนียน โดยใช้ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมและระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน แก๊สการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ เพื่อหาการกระจายตัวของความดัน และความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของร่องลื่นเพลากลมอากาศ ในอุปกรณ์มอเตอร์ฮาร์ดดิสก์รุ่น WD5000AAKX โดยใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่น เมื่อเปลี่ยนแปลงสภาวะความเร็วรอบ ภาระโหลด ช่องว่างระหว่างเพลากับแบร์ริง และอุณหภูมิอากาศทางเข้า โดยที่อุณหภูมิภายในขณะทำงานคงที่

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะรูปร่างของร่องลื่นเพลากลม ขณะลอยตัวเมื่อมีสารหล่อลื่นแทรกตัวระหว่าง Shaft และ Bearing แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของแผ่นร่องลื่นเพลากลม

1. สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์

จากสมการนาเวียร์-สโตก เป็นสมการของแรงที่เกิดขึ้นกับอนุภาคของของไหลตามแกน x, y, z เมื่อความหนาของสารหล่อลื่นหรือของไหลที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสมีความหนาน้อยมาก เมื่อเทียบกับรัศมีของผิวสัมผัส จึงไม่คิดผลจากความโค้งของผิวสัมผัส สามารถพิจารณาเป็นการไหลในพิกัด x, y, z และพิจารณาค่า Reynolds Number ของสารหล่อลื่นน้อยกว่า 1.0 จึงเป็นการหล่อลื่นแบบการไหลราบเรียบ (Laminar flow) ที่อยู่ในช่วง Fully

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

developed และไม่คิดผลของแรงที่เกิดจาก Body force ดังนั้นการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นในฟิล์มสารหล่อลื่นจากสมมุติฐานที่เข้าร่วมกับขนาดของแรงที่กระทำกับฟิล์มสารหล่อลื่นแบบ Order of magnitude จะได้ความดันตลอดความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าคงที่ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความดันและความเค้นเฉือนตามพิกัด x, y, z ดังนี้

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial x} \text{ และ } \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ } \tau_{xz} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \text{ และ } \tau_{yz} = \mu \frac{\partial v}{\partial z} \quad (2)$$

ภายใต้ขอบเขตสารหล่อลื่นเป็นของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluid) แบบ Non-slip flow จะได้สมการเรย์โนลด์ (Reynolds equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\rho h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\rho h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right) \right\} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left(\frac{u_2 - u_1}{2} \right) \rho h \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left(\frac{v_2 - v_1}{2} \right) \rho h \right\} + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \quad (3)$$

สำหรับ Finite bearing มีค่า L/D อยู่ระหว่าง $1/4$ ถึง 4 หรือให้ L/D เท่ากับ 1 ในสภาวะคงตัว (Steady state) เมื่อสมมติให้อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (Ideal gas) คิดในกรณีไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ และอากาศเป็นของไหลอัดตัวได้ (ความหนาแน่นไม่คงที่) และพิจารณาผลการเลื่อนไถลของโมเลกุลชั้นอากาศ (Molecular slip flow) ที่ค่า $0.01 \leq K_N \leq 15$ จะได้สมการเรย์โนลด์ในรูปแบบระบบพิกัด $R - \theta - Y$ สำหรับร่องลื่นเพลากลมแบบแบร์ริงสมมาตร (Finite type air journal bearing) ในสภาวะคงตัว ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \Psi(P, H) \frac{\partial P}{\partial \theta} \right\} + \left(\frac{R^2}{L^2} \right) \frac{\partial}{\partial Y} \left\{ \Psi(P, H) \frac{\partial P}{\partial Y} \right\} = \Lambda \frac{\partial(PH)}{\partial \theta} \quad (4)$$

$$\text{เมื่อให้ } \Psi(P, H) = PH^3 \left(1 + \frac{6K_N H_a}{PH} \right)$$

$$\Lambda = \frac{6\mu_o \bar{\mu} \omega R^2}{p_a c^2} \quad (5)$$

$$\text{และ } \bar{\mu} = \frac{bT^{3/2}}{S+T} \quad (6)$$

$$b = 1.485 \times 10^{-6} \text{ kg / m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2}, S = 110.4 \text{ K}$$

โดยมีเงื่อนไขขอบสมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ ดังนี้

$$\theta = 0 ; P = 1$$

$$\theta = \pi ; P = 1 \text{ and } \frac{\partial P}{\partial \theta} = 0$$

$$Y = \pm \frac{1}{2} ; P = 1$$

2. สมการความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น

ลักษณะทางกายภาพและพิกัดต่างๆ ของร่องสันเพลากลม แสดงดังภาพที่ 2 (ก) และภาพที่ 2 (ข) เมื่อไม่คิดผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของร่องสันเพลากลม จะได้สมการความหนาฟิล์มอากาศ ดังนี้

$$h = c + e \cos \theta \quad (7)$$

เมื่อทำให้อยู่ในรูปไร้มิติ

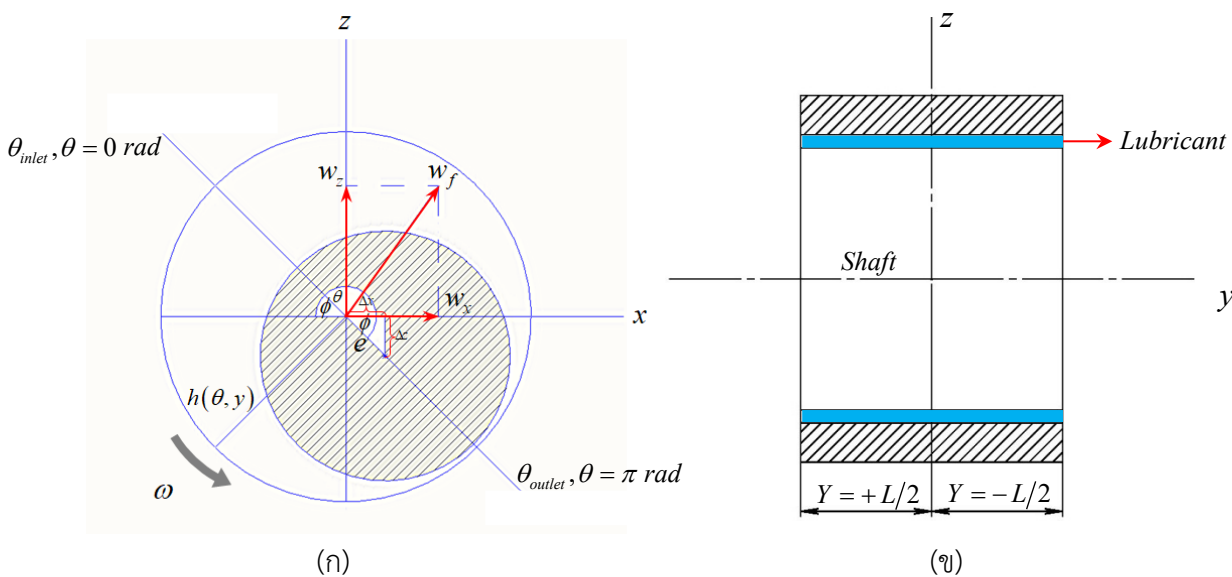
$$H = 1 + \varepsilon \cos \theta \quad (8)$$

3. สมการสมดุลแรงที่กระทำ

จากการหมุนเพลลาทำให้สารหล่อลื่นเกิดผลรวมสมดุลงตามแนวแกน x และ z ในสภาวะคงตัว เมื่อเพลลาหมุนผ่านแต่ละมุมที่เปลี่ยนไปในขอบเขตตั้งแต่มุมเริ่มต้นที่ 0 จนถึงมุมทางออกที่ (π) ดังนั้นภาระที่กระทำต่อร่องลื่นเพลลากลมอากาศเท่ากับผลรวมของภาระที่กระทำตามแนวแกน x และ z ตลอดความยาวแบร์ริงและตลอดมุมที่เปลี่ยนไป เนื่องจากมีความดันที่กระทำต่อเพลลา

$$w_x = \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^\pi pr_b \cos \theta d\theta dy \quad (9)$$

$$w_z = \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^\pi p r_b \sin \theta d\theta dy \quad (10)$$



ภาพที่ 2 แสดงฟังก์ชันที่ใช้ในการจำลองของร่องคลื่นเพลากลมอากาศพิกัด (ก) $x-z-\theta$, (ข) $y-z$

4. ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข

การประยุกต์ใช้วิธีผลต่างสี่เหลี่ยมร่วมกับระเบียบวิธีนิวตันราฟสันแก้สมการโมดิไฟด์เรย์โนลด์ ซึ่งเป็นสมการไม่เชิงเส้นชั้นสูงเพื่อหาคำตอบ โดยสมมติค่าความหนาของฟิล์มอากาศ เพื่อคำนวณหาค่าความดันของฟิล์มอากาศ อัตราการเยื้องศูนย์เพลลา ตำแหน่งมุมที่เปลี่ยนแปลงไปและทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่ง

$$\frac{\sum_{-L/2}^{L/2} \sum_0^{\pi} |P(\theta, Y)^{k+1} - P(\theta, Y)^k|}{\sum_{-L/2}^{L/2} \sum_0^{\pi} |P(\theta, Y)^{k+1}|} \leq 0.00001 \quad (11)$$

และการรับภาระเนื่องจากความดันของฟิล์มอากาศ

$$\left| 1 - \frac{\int_{-L/2}^{L/2} \int_0^{\pi} LPp_a r_b \sin \theta d\theta dY}{W_z} \right| \leq 0.0001 \quad (12)$$

$$\left| \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^{\pi} LPp_a r_b \cos \theta d\theta dY \right| \leq 0.0001 \quad (13)$$

วิธีดำเนินการวิจัย

บทความวิจัยนี้พิจารณาองล้อเพลากลมอากาศ ที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ มอเตอร์ฮาร์ดดิสก์ หรือมอเตอร์ความเร็วสูง (Spindle motor) จึงได้ทำการตรวจวัดอุปกรณ์จากมอเตอร์ตัวอย่างในฮาร์ดดิสก์ รุ่น WD5000AAKX ซึ่งเป็นขนาดใช้งานจริงเพื่อศึกษาแนวโน้มของพฤติกรรมจากอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ขององล้อเพลากลมแสดงดังตารางที่ 1 และสมบัติของอากาศแสดงดังตารางที่ 2 โดยจะศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการหล่อลื่นทางทฤษฎีขององล้อเพลากลมอากาศแบบเบริงสมมาตร (Finite type air journal bearing) ภายใต้การหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกโดยใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่น และมีพฤติกรรมเป็นของไหลนิวโตเนียน ด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Fortran

ตารางที่ 1 ขนาดขององล้อเพลากลม

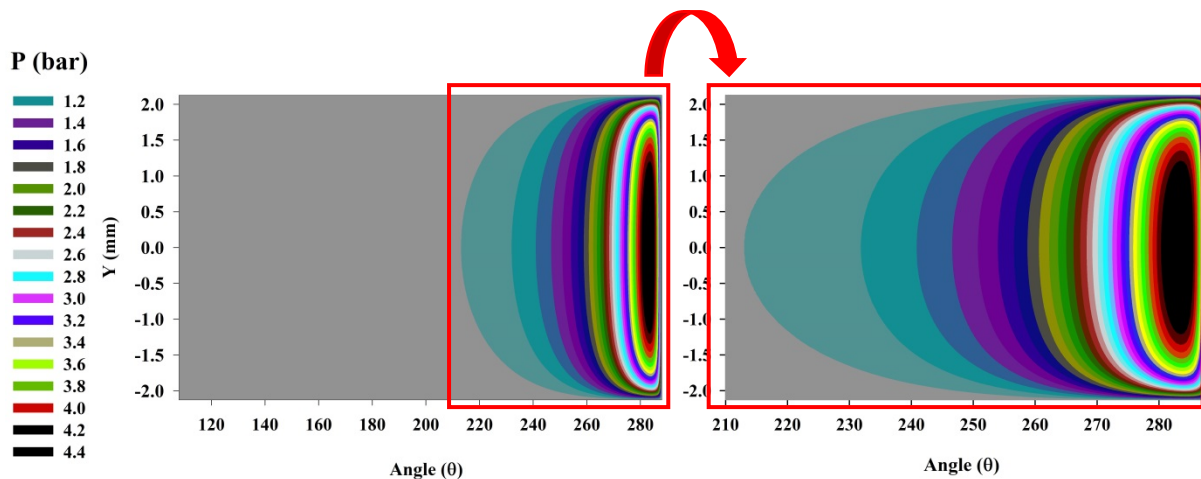
มิติขององล้อเพลากลม	ขนาด
Bearing radius, r_b	2.125 mm
Shaft radius, r_s	2.120 mm
Bearing length, L	4.250 mm

ตารางที่ 2 สมบัติของอากาศ

สมบัติของอากาศ	หน่วย
Atmosphere pressure, p_a	1.01325 bar
Absolute viscosity at 40 °C, μ_a	1.91×10^{-5} kg/m-s
Density at 40 °C, ρ	1.13 kg/m ³
Molecular mean free path, λ_a	64.3 nm

ผลการวิจัย

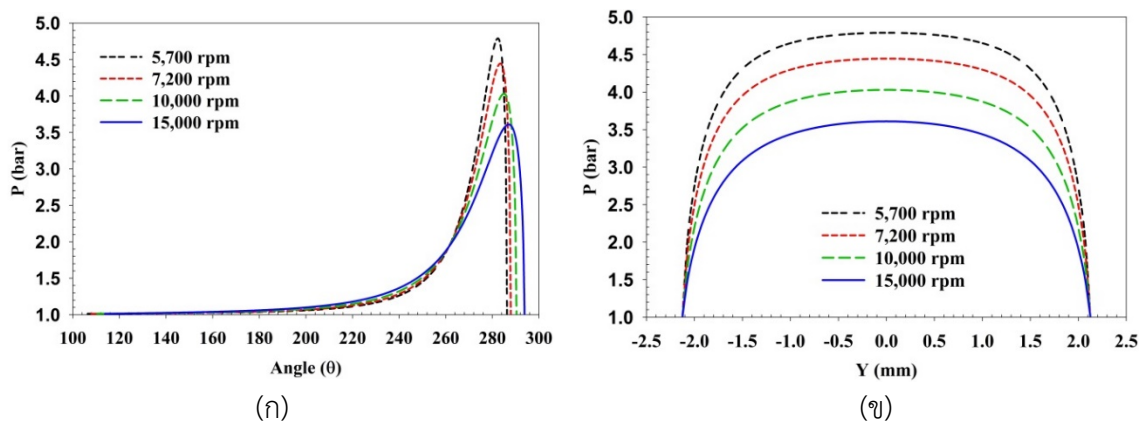
จากการจำลองผล เมื่อความเร็วรอบในการหมุนของเพลาท่อกับ 7,200 rpm ภาระที่ร่อนเส้นเพลากลมได้รับ เท่ากับ 0.95 N อุณหภูมิอากาศที่เข้าร่อนเส้นเพลากลมเท่ากับ 40 °C ช่องว่างระหว่างเพลากับแบร้ง เท่ากับ 5 μ m เมื่อพิจารณาผลจากการเลื่อนไหลของโมเลกุลของชั้นอากาศ พบว่าความดันฟิล์มอากาศเริ่มต้นเท่ากับความดันบรรยากาศตั้งแต่มุมที่อากาศเริ่มเข้าและมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจนถึงความดันฟิล์มอากาศสูงสุดใกล้บริเวณทางออกของมุมที่เกิดความหนาฟิล์มต่ำสุดหรือประมาณ 97% ของมุมทางออก (π) ส่วนตามแนวความยาวของแบร้งบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางของความยาวแบร้งจะมีค่าความดันฟิล์มอากาศสูงสุดเกิดขึ้น และมีค่าลดลงมาเล็กน้อยแบบรูปทรงพลาไปว่าค่าตามความยาวแบร้งทั้ง 2 ฝั่งที่ประมาณ 70% ของความยาวแบร้ง และลดลงอย่างรวดเร็วใกล้บริเวณทางออกตามความยาวแบร้งที่ประมาณ 30% ตลอดความยาวแบร้ง เนื่องจากพื้นที่ภายใต้การไหลของอากาศถูกเปลี่ยนจากความเร็วไปเป็นความดัน และความดันฟิล์มอากาศจะมีค่าลดลงเมื่อใกล้บริเวณทางออกจนมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศอีกครั้ง โดยความดันฟิล์มอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 4.44 bar ตำแหน่งมุมที่อากาศเข้า (Angle) เท่ากับ 107.943 องศา และตำแหน่งมุมที่อากาศออกเท่ากับ 287.943 องศา แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการกระจายตัวของความดันฟิล์มอากาศที่แผ่นร่อนเส้นเพลากลม เมื่อ Shaft speed = 7,200 rpm, Load = 0.95 N, Air inlet temperature = 40 °C และ Bearing clearance = 5 μ m

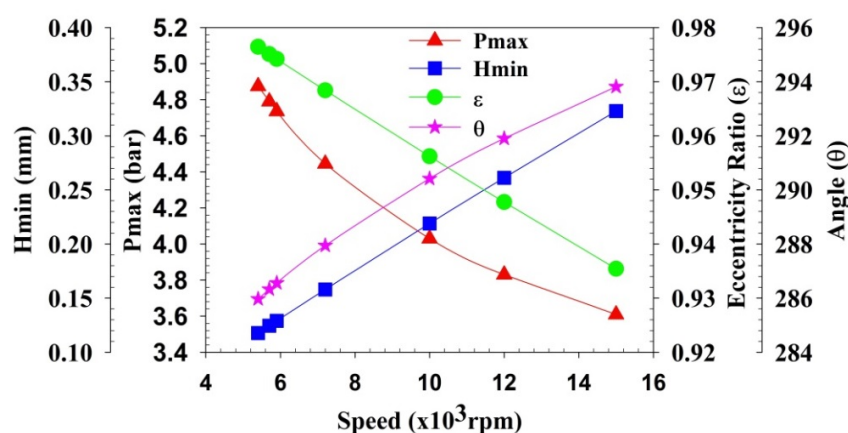
ภาพที่ 4 นำเสนอการเปลี่ยนแปลงค่าความดันฟิล์มอากาศเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของมุม θ ที่เพิ่มขึ้น ภายใต้ความเร็วรอบในการหมุนของเพลาคือ 5,700, 7,200, 10,000, 15,000 rpm ภาระที่ร่อนเส้นเพลากลมได้รับ

เท่ากับ 0.95 N อุณหภูมิของอากาศที่เข้าร่องลื่นเพลากลมมีค่าเท่ากับ 40 °C ช่องว่างระหว่างเพลากับแบร็งเท่ากับ 5 μm พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพลามีค่าเพิ่มขึ้น ความดันของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายใต้ผิวของร่องลื่นมีค่าลดลง เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับความเร็วรอบของเพลที่เพิ่มขึ้น โดยความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและความเร็วรอบในการหมุนของเพลามีค่าเท่ากับ (4.79 bar, 5,700 rpm), (4.44 bar, 7,200 rpm), (4.03 bar, 10,000 rpm) และ (3.61 bar, 15,000 rpm)



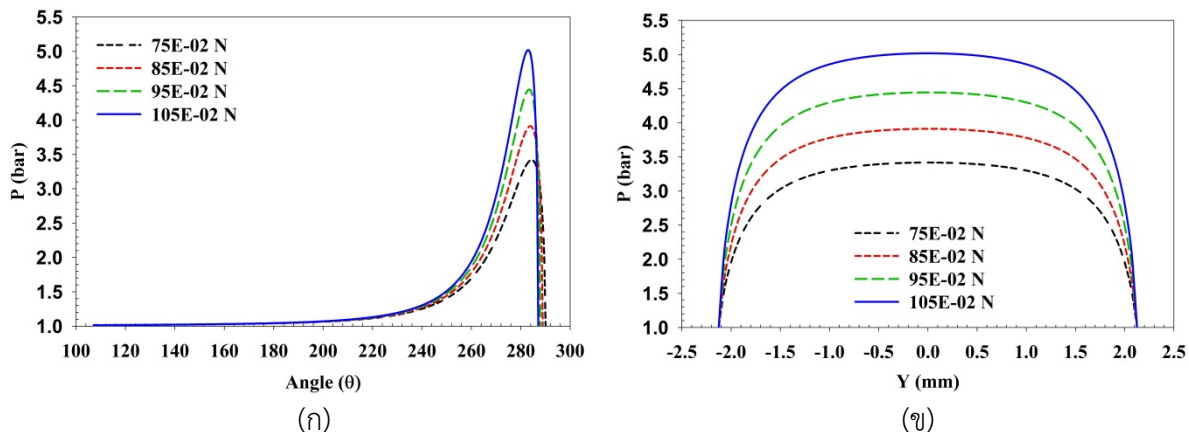
ภาพที่ 4 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศ เมื่อความเร็วรอบในการหมุนของเพลเท่ากับ 5,700 rpm, 7,200 rpm, 10,000 rpm, 15,000 rpm (ก) ระบบพิกัด P - θ (ข) ระบบพิกัด P - Y

ภาพที่ 5 พบว่าความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดมีค่าลดลง แต่ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วรอบการหมุนเพลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ร่องลื่นเพลากลมและออกจากร่องลื่นเพลากลมมีค่าเพิ่มขึ้น รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบเพลามีอิทธิพลต่อความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดค่อนข้างมาก



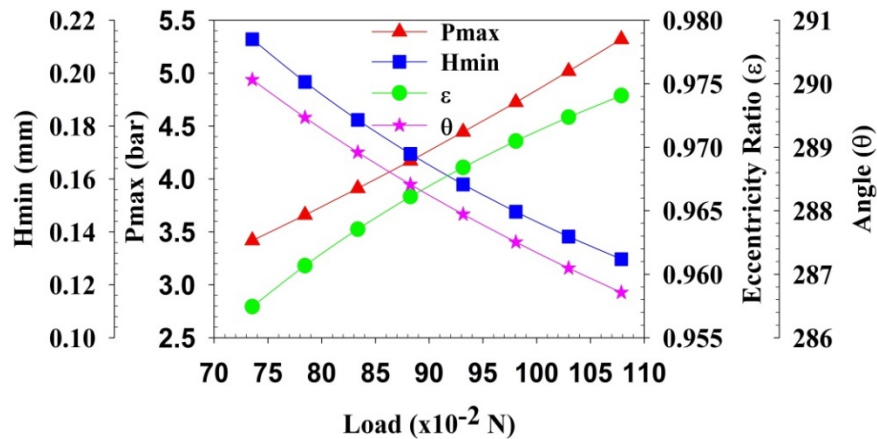
ภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความดันฟิล์มอากาศสูงสุด อัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุด ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด และความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเพล

ภาพที่ 6 นำเสนอการเปลี่ยนแปลงค่าความดันฟิล์มอากาศเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของมุม θ ที่เพิ่มขึ้น ภายใต้ภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับที่ 0.75, 0.85, 0.95, 1.05 N ความเร็วรอบในการหมุนของเพลากับ 7,200 rpm อุณหภูมิของอากาศที่เข้าร่องลื่นเพลากลมมีค่าเท่ากับ 40 °C ช่องว่างระหว่างเพลากับแบร็ริงเท่ากับ 5 μm พบว่าภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น โดยความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับ มีค่าเท่ากับ (3.42 bar, 0.75 N), (3.91 bar, 0.85 N), (4.44 bar, 0.95 N) และ (5.02 bar, 1.05 N)



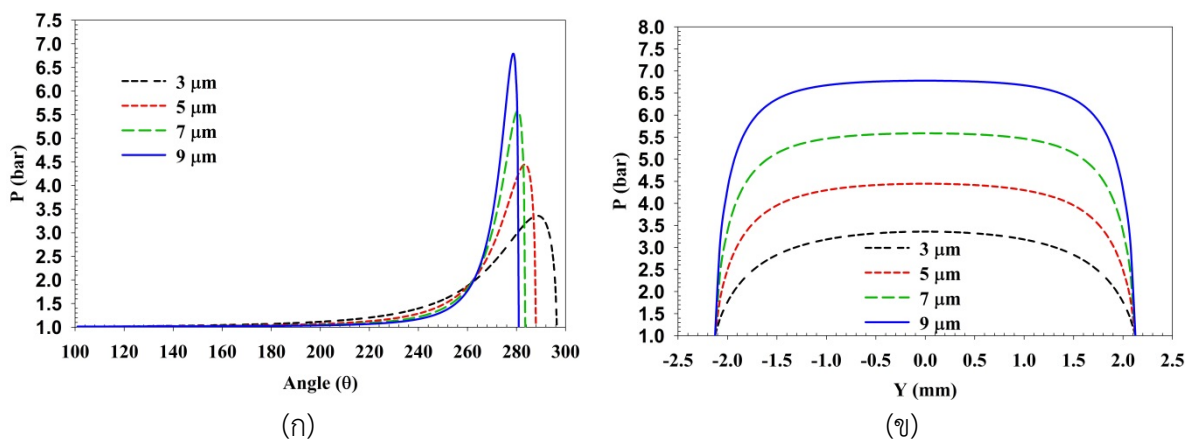
ภาพที่ 6 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศ เมื่อภาระที่ร่องลื่นเพลากลมเท่ากับ 0.75 N, 0.85 N, 0.95 N, 1.05 N (ก) ระบบพิกัด P- θ (ข) ระบบพิกัด P-Y

แสดงดังภาพที่ 7 พบว่าความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเอียงศูนย์สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาผลการเลื่อนไหลของโมเลกุลชั้นอากาศ Chotvisut et al. (2018) ทำให้ความหนืดของอากาศมีค่าลดลง เป็นผลให้อากาศไหลออกจากร่องลื่นเพลากลมได้ง่ายขึ้น ทำให้ช่องว่างระหว่างเพลากับแบร็ริงน้อยลง หรือความหนาของฟิล์มอากาศมีค่าลดลง และผลจากการลดลงของความหนาฟิล์มอากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของการไหลของอากาศในลักษณะขัดขวางการไหล ส่งผลให้ความดันฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับมีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของความดันฟิล์มอากาศและความหนาฟิล์มอากาศค่อนข้างมาก ส่วนตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าลดลงตามภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับ เพื่อให้เกิดสมดุลตามสมการ (9) แนวแกน x และสมการ (10) แนวแกน z ทำให้ตำแหน่งมุมของแรงลัพธ์สมดุลมีค่าลดลงตาม รวมทั้งอัตราส่วนการเอียงศูนย์สูงสุดที่เพิ่มขึ้นตามมุมที่เกิดแรงลัพธ์สมดุล (w_f) เนื่องจากภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับ



ภาพที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความดันฟิล์มอากาศสูงสุด อัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุด ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด และความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงภาระที่เพลลาได้รับ

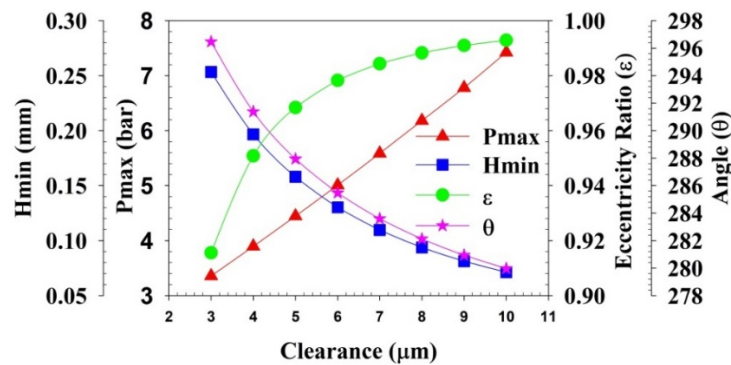
ภาพที่ 8 นำเสนอการเปลี่ยนแปลงค่าความดันฟิล์มอากาศเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของมุม θ ที่เพิ่มขึ้น ภายใต้ช่องว่างระหว่างเพลลากับแบร็ริงหรือระยะห่างร่องลื่นเพลลากลมอากาศ (Bearing clearance) ที่ 3, 5, 7 และ 9 μm ภาระที่ร่องลื่นเพลลาได้รับเท่ากับ 0.95 N ความเร็วรอบในการหมุนของเพลลาเท่ากับ 7,200 rpm อุณหภูมิของอากาศที่เข้าร่องลื่นเพลลากลมมีค่าเท่ากับ 40 °C พบว่าเมื่อ Bearing clearance มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่การไหลของอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงตามระยะ Clearance โดยความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและช่องว่างระหว่างเพลลากับแบร็ริง มีค่าเท่ากับ (3.36 bar, 3 μm), (4.44 bar, 5 μm), (5.58 bar, 7 μm) และ (6.78 bar, 9 μm)



ภาพที่ 8 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศ เมื่อ Bearing clearance เท่ากับ 3 μm , 5 μm , 7 μm , 9 μm (ก) ระบบพิกัด P- θ (ข) ระบบพิกัด P-Y

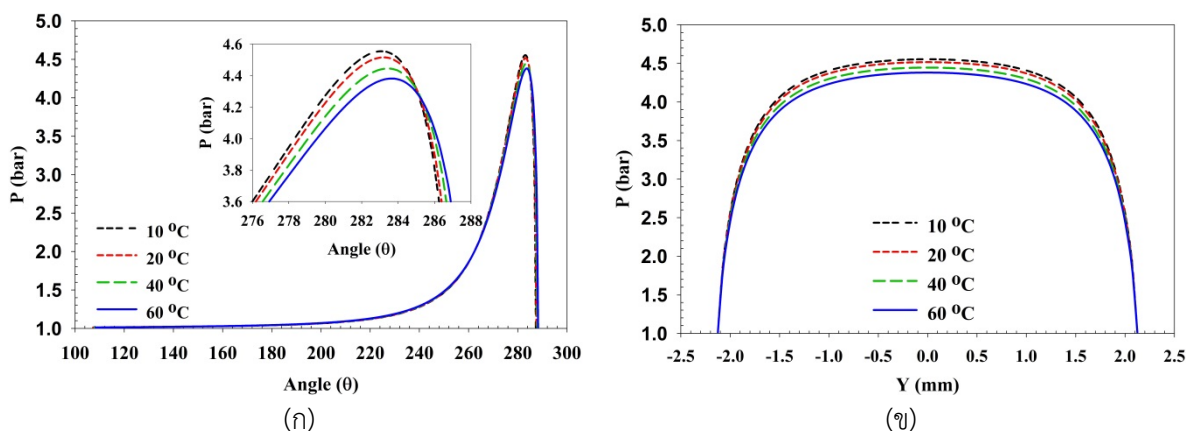
ภาพที่ 9 พบว่าความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า Bearing clearance ที่มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะช่องว่างระหว่างเพลลากับแบร็ริงที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้อากาศไหลออกจากร่องลื่นเพลลาได้ง่ายขึ้น และมีผลให้ระยะ Bearing clearance ลดลง หรือความหนาฟิล์มอากาศลดลง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลง

ไปในลักษณะขัดขวางการไหลหล่อลื่นของอากาศ และเกิดการเปลี่ยนสถานะจากความเร็วเป็นความดัน ส่วนตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าลดลงตาม Bearing clearance ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดความดันฟิล์มอากาศที่สูงเป็นผลให้เกิดแรงสมดุลการลอยตัวเพลานในสภาวะการทำงาน เมื่อความดันฟิล์มอากาศสูงทำให้แรงในแนวแกน z มีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการ (10) เป็นผลให้ตำแหน่งมุมของแรงลัพธ์สมดุลมีค่าลดลงตามขนาดแรงลัพธ์สมดุลที่เปลี่ยนแปลงไป



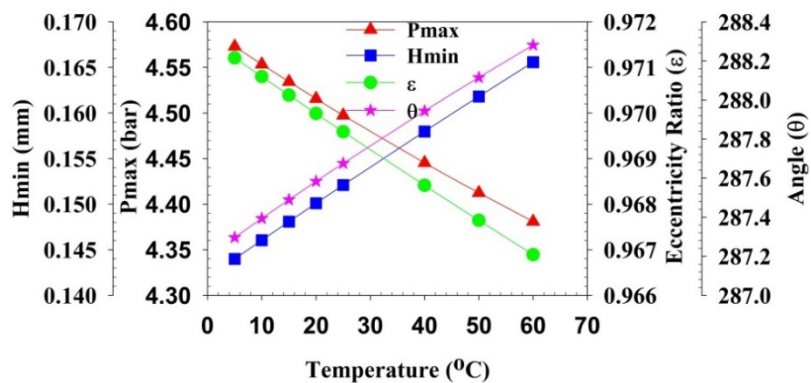
ภาพที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความดันฟิล์มอากาศสูงสุด อัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุด ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด และความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงช่องว่างระหว่างเพลากับแบร็งหรือระยะห่างรองรับเพลากลมอากาศ (Bearing clearance)

ภาพที่ 10 แสดงการกระจายของความดันฟิล์มอากาศ เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องลื่นเพลากลมมีค่าเท่ากับ 10 °C, 20 °C, 40 °C และ 60 °C ภาระที่รองรับเพลากลมได้รับเท่ากับ 0.95 N ความเร็วรอบในการหมุนของเพลากับ 7,200 rpm พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่เข้าเครื่องลื่นเพลากลมได้รับมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าลดลง เนื่องจากความหนืดของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิตามสมการ (6) โดยความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องลื่นเพลากลม มีค่าเท่ากับ (4.55 bar, 10 °C), (4.51 bar, 20 °C), (4.44 bar, 40 °C) และ (4.38 bar, 60 °C)



ภาพที่ 10 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มอากาศ เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องลื่นเพลากลมมีค่าเท่ากับ 10 °C, 20 °C, 40 °C และ 60 °C (ก) ระบบพิกัด P-θ (ข) ระบบพิกัด P-Y

ภาพที่ 11 พบว่าความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดมีค่าลดลง แต่ค่าความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศที่เข้าร่องลื่นเพลากลมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความหนืดอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการ (6) และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศที่เข้ามีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของความดันฟิล์มอากาศค่อนข้างน้อย



ภาพที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความดันฟิล์มอากาศสูงสุด อัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุด ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด และความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่เข้าร่องลื่นเพลากลม

อภิปรายผล

1. เมื่อความเร็วรอบในการหมุนของเพลามีค่าเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดของเพลามีค่าลดลง แต่ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วยังส่งผลให้ค่าความหนืดของอากาศที่เข้าร่องลื่นเพลากลมและออกจากร่องลื่นเพลากลมมีค่าเพิ่มขึ้น รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของความเร็วยังส่งผลให้ค่าความหนืดของอากาศที่เข้าร่องลื่นเพลากลมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับพฤติกรรมของของไหลที่ไหลผ่านช่องแคบ (Chotvisut et al. (2018))

2. การเพิ่มขึ้นของภาระที่ร่องลื่น ส่งผลให้ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดของเพลามีค่าเพิ่มขึ้น แต่ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าลดลงเพราะภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับมีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของความดันฟิล์มอากาศและความหนาฟิล์มอากาศค่อนข้างมาก ส่วนตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าลดลงตามภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับ เพื่อให้เกิดสมดุลตามสมการ (9) แนวแกน x และสมการ (10) แนวแกน z ทำให้ตำแหน่งมุมของแรงลัพธ์สมดุลมีค่าลดลงตาม รวมทั้งอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดที่เพิ่มขึ้นตามมุมที่เกิดแรงลัพธ์สมดุล (w_f) เนื่องจากภาระที่ร่องลื่นเพลากลมได้รับ โดยจะสอดคล้องกับงานวิจัยพฤติกรรมของของไหลที่ไหลผ่านช่องแคบ (Chotvisut et al. (2018))

3. ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราส่วนการเยื้องศูนย์สูงสุดของเพลามีค่าเพิ่มขึ้น แต่ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าลดลง เมื่อช่องว่างระหว่างเพลากับแบร์ริงหรือระยะห่างร่องลื่น

เพลากลมอากาศ (Bearing clearance) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sfyris and Chasalevris (2012) และงานวิจัยของ Chasalevris and Dimitris (2014)

4. ค่าอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นหาเข้าร่องลื่นเพลากลมมีผลต่อพฤติกรรมการณ์หล่อลื่น โดยความดันฟิล์มอากาศสูงสุดและอัตราการเยื้องศูนย์สูงสุดของเพลามีค่าลดลง แต่ตำแหน่งมุมที่ความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดและความหนาฟิล์มอากาศต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chotvisut et al. (2018)

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ไม่คิดผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน และเป็นการจำลองผลด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการคำนวณ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงอยู่บ้าง ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และควรศึกษาผลจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

- Andrés, L.S. (2010). *Modern Lubrication Theory Gas Film Lubrication Note 15*. Texas, USA: Texas A & M University Digital Libraries.
- Bumrungpuech, A., Wongseedakaew, K., and Panichakorn, J. (2018). Lubrication of Kimberly type Thrust Bearing with non-Newtonian Lubricant. *Sripatum Review of Science and Technology*, 10, 46-57. (in Thai)
- Chasalevris, A., and Sfyris, D. (2014). Analytical Evaluation of the Finite Journal Bearing Impedance Forces using the Exact Analytical Solution of the Reynolds Equation. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 2, 423-432.
- Chotvisut, S., Panichakorn, J., and Wongseedakaew, K. (2018). Behavior of Lubrication in Tapered-land Type Air Thrust Bearing. *SWU Engineering Journal*, 13, 118-130. (in Thai)
- Huang, H., Meng, G., and Chen, J. (2007). Investigations of Slip Effect on the Performance of Micro Gas Bearing and Stability of Micro Rotor-Bearing Systems. *Sensor*, 7, 1399-1414.
- Müller, C., Greco, S., Kirsch, B., and Aurich, J.C. (2017). A Finite element analysis of air bearing applied in compact air bearing spindles. *Procedia CIRP*, 58, 607-612.
- Piekos, E.S. (2000). *Numerical Simulation of Gas-Lubricated Journal Bearings for Microfabricated Machines*. Thesis of the Degree of Doctor of Philosophy in Aeronautics and Astronautics. Massachusetts, USA. Massachusetts Institute of Technology.
- Sfyris, D., and Chasalevris, A. (2012). An exact analysis solution of the Reynolds equation for the finite journal bearing lubrication. *Tribology International*, 55, 46-58.
- Zhang, H., Zhu, C., and Yang, Q. (2008). Approximate Numerical Solution of Hydrodynamic Gas Journal Bearing. *ICIRA*, 15-17 October 2008 at Wuhan China, 260-268.

ภาคผนวก

สัญลักษณ์สมการ

p	lubricant film pressure, Pa	λ_a	mean free molecular path, nm
p_a	atmosphere pressure, bar	ε	eccentricity ratio
L	bearing length, mm	e	eccentricity, mm
D	bearing diameter, mm	Λ	bearing number
r_b	bearing radius, mm	Ψ	flow factor
r_s	shaft radius, mm	θ	angle, degree
τ_{xz}, τ_{yz}	shear stress, Pa	μ	lubricant viscosity, Pa-s
ω	angular velocity, rad/s	w_z	axial force z, N
ρ	lubricant film density, kg/m ³	w_x	axial force x, N
h	lubricant film thickness, m		
h_a	lubricant air film thickness, m		
c	bearing clearance, mm		
T	temperature, °C		
K_N	knudsen number, λ_a / h_a		
b	constant sutherland, $kg / m.s.K^{1/2}$		
S	constant sutherland, K		
$\bar{\mu}$	temperature viscosity, Pa-s		
μ_0	initial viscosity, Pa-s		

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาโรคภัยไข้เจ็บ การศึกษาพื้นที่เทศบาล เมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่

อรนุช พันโท^{1,*}, รสลิน เพตะกร², สารุ่ง ตันตระกูล³

^{1,2,3}ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Received: 23 March 2020

Revised: 7 October 2020

Accepted: 8 October 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ข้อ คือ (1) เพื่อพัฒนาระบบที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาโรคภัยไข้เจ็บการศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ และ (2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาโรคภัยไข้เจ็บการศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ งานวิจัยนี้กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายจำนวน 35 คน เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ สื่อเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาโรคภัยไข้เจ็บ และแบบสอบถามความพึงพอใจ โดยใช้สถิติเชิงบรรยายในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น อยู่ในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.597 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินที่ได้กำหนดไว้

คำสำคัญ : เทคโนโลยีความจริงเสริม สมุนไพรรักษาโรคภัยไข้เจ็บ

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: oranuch.pan@gmail.com

Application of Augmented Reality Technology About Local Herbs of the Case Study of Muang Kaen Pattana Municipality, Mae Taeng District, Chiang Mai Province

Oranuch Pantho^{1,*}, Roselin Petagon², Sarung Tuntragul³

^{1,2,3}Computer Department, Faculty of Science and Technology,
Chiang Mai Rajabhat University

Received: 23 March 2020

Revised: 7 October 2020

Accepted: 8 October 2020

ABSTRACT

The objectives of this research were (1) to develop a system that applies augmented reality technology about local herbs in the case study of Mueang Kaen Pattana Municipality, Mae Taeng district, Chiang Mai province; and (2) to study the satisfaction of users with the augmented reality system about local herbs in the case study of Mueang Kaen Pattana Municipality, Mae Taeng district, Chiang Mai province. The research sample consisted of 35 general users of the system, obtained by simple random sampling. The research tools were an augmented reality media about local herbs, and a satisfaction questionnaire. The descriptive statistics employed for data analysis were the percentage, mean, and standard deviation. The research results show that users in the research sample have high level of satisfaction with the performance efficiency of the developed system, with the satisfaction rating mean of 4.30 and S.D. of 0.597, as compared to the established assessment criteria.

Keywords: Augmented Reality (AR), Local herbs

*Corresponding Author; Email: oranuch.pan@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สมุนไพร เป็นผลผลิตจากธรรมชาติที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้เป็นประโยชน์ในการรักษาโรคภัยไข้เจ็บตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้เป็นอาหารและยา เนื่องจากสมุนไพรส่วนมากมีฤทธิ์อ่อนไม่ค่อยเป็นพิษหรือมีผลข้างเคียงเหมือนยาแผนปัจจุบัน นอกจากนั้นสมุนไพรพื้นบ้านมีราคาถูก ง่าย แต่เนื่องจากสมุนไพรมีหลากหลายชนิด ซึ่งการรักษาโรคบางชนิดจะใช้ส่วนต่าง ๆ ของสมุนไพรชนิดเดียวกันหรืออาจจะใช้หลายชนิดพร้อมกัน และยารักษาโรคหลายขนานที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรมได้มาจากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านจากกลุ่มคนพื้นเมือง ตามชนบทที่ได้รับการถ่ายทอดความรู้จากบรรพบุรุษสืบต่อกันมา และชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแมง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของแม่แตง ห่างจากอำเภอมะแมง ไปทางทิศเหนือตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 107 ระยะทางประมาณ 48 กิโลเมตร และห่างจากที่ว่าการอำเภอมะแมงเป็นระยะทางประมาณ 8 กิโลเมตร มีสมุนไพรที่หลากหลายที่บริโภคได้ ซึ่งคนรุ่นใหม่อาจจะไม่ทราบถึงประโยชน์ในการนำมารักษาโรค จึงเป็นชุมชนเป้าหมายในการศึกษาวิจัย

ปัจจุบันโลกมีความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้การนำเสนอความรู้ต่างๆ เข้าใจง่ายขึ้น เช่น การใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมหรือออกเมนต์เตดเรียลลิตี้ (Augmented Reality: AR) เป็นประเภทหนึ่งของเทคโนโลยีความจริงเสมือนที่มีการนำระบบความจริงเสมือนมาผนวกกับเทคโนโลยีภาพเพื่อสร้างสิ่งที่เสมือนจริงให้กับผู้ใช้ ซึ่งเป็นนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีแขนงหนึ่งของงานด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคนิคทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกในการผนวกเทคโนโลยีความจริงเสริมเข้ากับเทคโนโลยีภาพผ่านซอฟต์แวร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ซึ่งเทคโนโลยีความจริงเสริมเป็นเทคโนโลยีที่ผสานโลกแห่งความจริงรวมเข้ากับโลกเสมือนจริงที่ถูกสร้างขึ้นโดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆ กล้องโทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ หรือแว่น โดยจะแสดงผลเสมือน แบบ 3D ในมุมมอง 360 องศา การแบ่งประเภทของเทคโนโลยีความจริงเสริมตามส่วนวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) แบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ การวิเคราะห์ภาพโดยอาศัย Marker เป็นหลักในการทำงาน (Marker based AR) และการวิเคราะห์ภาพโดยอาศัยลักษณะต่างๆ ที่อยู่ในภาพมาวิเคราะห์ (Marker-less based AR) สำหรับการทำงานจะประกอบด้วย (1) ตัว Marker (2) กล้องวิดีโอ กล้องโทรศัพท์มือถือ หรืออื่นๆ (3) ส่วนแสดงผลอาจเป็นจอภาพคอมพิวเตอร์หรือจอภาพโทรศัพท์มือถือ และ (4) ซอฟต์แวร์หรือส่วนประมวลผลเพื่อสร้างภาพหรือวัตถุสามมิติ (Tunsiri, 2010; Boonruam and Phonak, 2016) ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้นำเอาเทคโนโลยีความจริงเสมือนมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น การพัฒนาหนังสือความจริงเสมือนสามมิติเรื่องสมุนไพรจีนสำหรับนักศึกษาาระดับปริญญาตรี คณะแพทยศาสตร์วันออก วิทยาลัยเชียงราย (Chaiyo and Siririth, 2017) การพัฒนาแอปพลิเคชันความจริงเสมือน “สะตืออีสาน” อำเภอกอสุ่มพิสัย จังหวัดมหาสารคาม (Sahapong, 2019) การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่องเซลล์และโครโมโซมด้วยเทคโนโลยีเสมือนผสานโลกจริง (Ditcharoen et.al, 2014) และ เทคโนโลยีความจริงเสริมในหนังสือวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นตามรูปแบบการเรียนรู้จินตวิศวกรรมทางวิทยาศาสตร์เพื่อการรู้สละเต็ม (Techakosit and Nilsook, 2018) จากตัวอย่างงานวิจัยที่มีการนำเทคโนโลยีความจริงเสริมมาพัฒนาสื่อให้ความรู้แก่ผู้เรียน สร้างความพึงพอใจให้กับผู้เรียน ช่วยเพิ่มความน่าสนใจและการจดจำเนื้อหาได้ดีขึ้น

จากที่กล่าวมาผู้วิจัยเห็นว่าคนในชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ มีการปลูกและใช้สมุนไพรพื้นบ้านหลายชนิด แต่ยังขาดในเรื่องของการจัดเก็บข้อมูลและการนำเสนอในรูปแบบที่น่าสนใจ รวมถึงจากการที่ได้สำรวจพฤติกรรมการใช้สมุนไพรพื้นบ้านพบว่าความรู้ถึงสรรพคุณ ประโยชน์ของสมุนไพรพื้นบ้านของคนใน

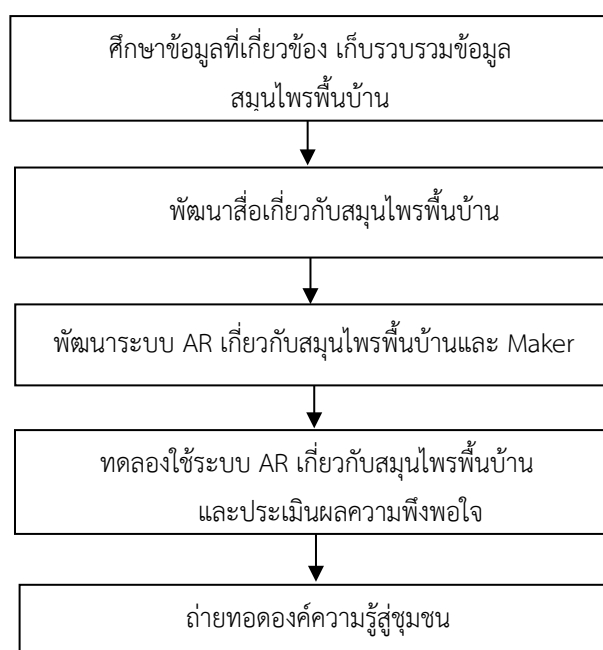
ชุมชนยังอยู่ในระดับปานกลาง (Patcharathanaroj et. al., 2019) ประกอบกับปัจจุบันพฤติกรรมของผู้ใช้ทั่วไปมีสมาร์ทโฟนซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยที่ 5 ของการใช้ชีวิตประจำวันอยู่แล้ว ดังนั้นจึงมีแนวคิดจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเป็นเครื่องมือในการนำเสนอข้อมูลสมุนไพรพื้นบ้านเพื่อให้ชุมชนมีความรู้ความเข้าใจในสมุนไพรพื้นบ้านที่ง่ายขึ้น สามารถสร้างความตระหนักของคนในชุมชนในการอนุรักษ์ พร้อมทั้งร่วมกันดูแลทรัพยากรธรรมชาติต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่

กรอบแนวคิดในการวิจัย

กระบวนการวิจัย ศึกษาบริบทของพื้นที่ เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านของชุมชน จากนั้นจัดทำเป็นสื่อเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน และประยุกต์เอาเทคโนโลยีความจริงเสริม (AR) มาใช้สำหรับนำเสนอผ่านสมาร์ทโฟน งานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์ภาพด้วย Marker เพื่ออ้างอิงเชื่อมโยงไปยังข้อมูลสื่อสมุนไพรพื้นบ้าน โดยจะต้องใช้กล้องเรียกผ่านแอปพลิเคชันแล้วส่องดูรูปภาพที่กำหนดจึงจะเชื่อมโยงไปยังสื่อที่ต้องการได้ ดังนั้นเมื่อจัดทำระบบแล้วเสร็จได้นำไปทดลองใช้ และประเมินผลความคิดเห็นของชุมชนที่มีต่อระบบที่พัฒนาด้วยแบบสอบถาม และเผยแพร่ความรู้ต่อไปยังชุมชนให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านได้ง่าย และสามารถเป็นต้นแบบให้กับชุมชนและประชาชนทั่วไปในพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ประชาชนและนักเรียนในเขตชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ โดยการเลือกแบบสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อให้ได้บุคคลที่สามารถให้ข้อมูลตรงตามที่ต้องการและกระจายอยู่ในขอบเขตของการศึกษา การศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแทนโดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบง่ายจำนวน 35 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและใช้เครื่องมือในการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสอบถามจากกลุ่มประชากรในพื้นที่ ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ สื่อเกี่ยวกับเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านกรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่
2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถามความพึงพอใจผู้ใช้สื่อเกี่ยวกับเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ และมีการวัดความพึงพอใจโดยการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ

1. ขั้นเตรียม ศึกษาเอกสารและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพืชสมุนไพรพื้นบ้านในชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรรายละเอียดพื้นฐานของพืชสมุนไพรพื้นบ้าน สรรพคุณต่างๆ ของสมุนไพร เพื่อใช้เป็นเนื้อหาชุดความรู้ของสื่อเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน ในชุมชนโดยการสัมภาษณ์ และการพูดคุยพบปะกับผู้ที่เกี่ยวข้องในชุมชน
2. ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาสื่อให้ความรู้เกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ มีการจัดทำเนื้อหาเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านซึ่งผู้วิจัยได้สำรวจพฤติกรรมปลูกพืชสมุนไพรของชุมชนในงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกพืชสมุนไพรในชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา จังหวัดเชียงใหม่พบว่าการปลูกหลากหลายชนิด (Pantho and Patcharathanaroj, 2017) ดังนั้นจึงได้เลือกสมุนไพร 13 ชนิดที่มีคนปลูกจำนวนมาก ได้แก่ ขิง ข่า ตะไคร้ กะเพรา มะกรูด โหระพา ขมิ้น มะนาว พริก สะระแหน่ ใบย่านาง บัวบก และมะรุม มาสร้างสื่อมัลติมีเดีย ตัวอย่างดังภาพที่ 2



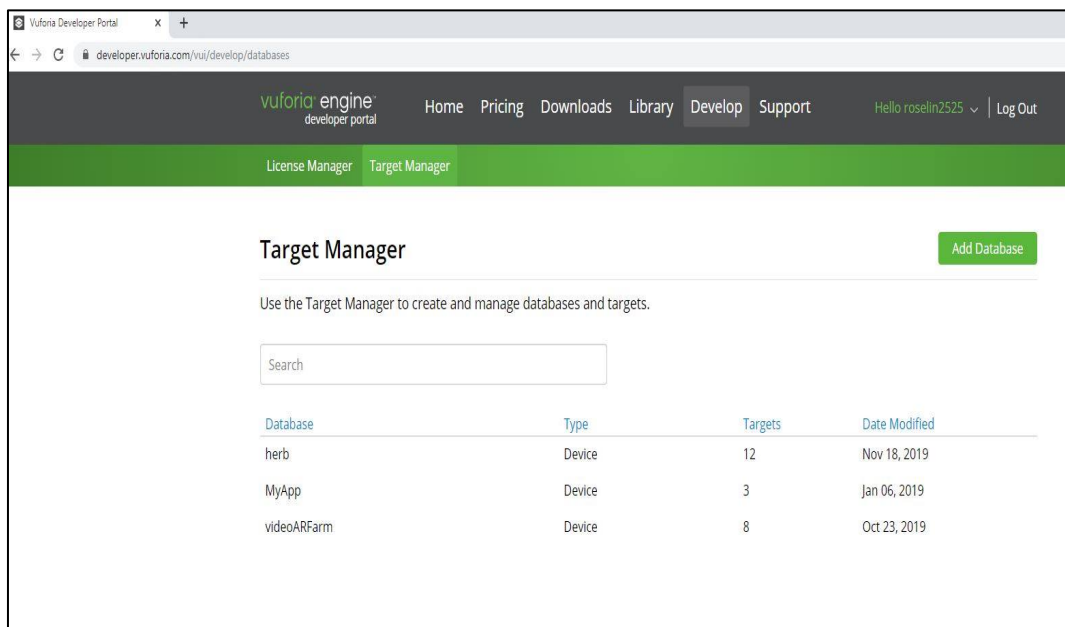
ภาพที่ 2 ตัวอย่างสื่อที่ให้ความรู้เกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน

3. ขั้นตอนการพัฒนาเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน

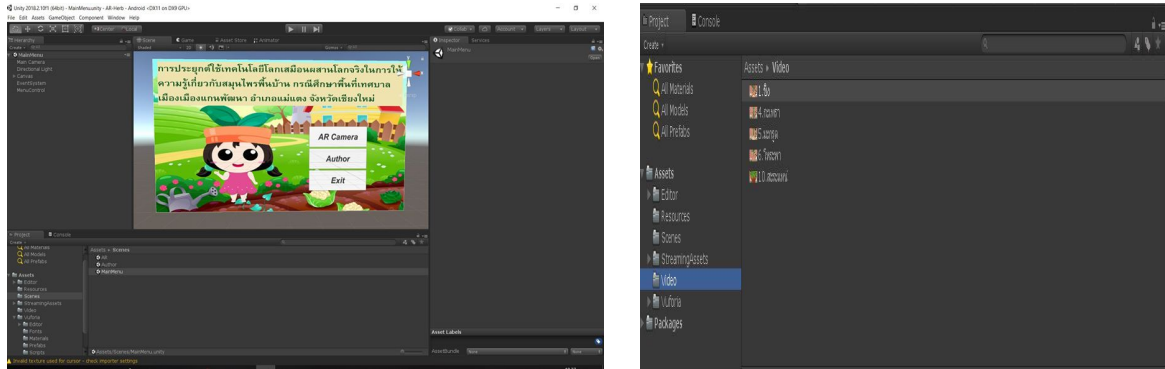
3.1 การพัฒนา Marker แอปพลิเคชันโลกเสมือนผสานโลกจริงเกี่ยวกับสมุนไพร

3.2 การพัฒนาเทคโนโลยีความจริงเสริมครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการพัฒนาได้แก่ Unity

Extension-Vuforia SDK เป็นโปรแกรมเสริมสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยใช้งานร่วมกับ Unity 3D และใช้ Qualcomm Vuforia Developer Portal เป็นเว็บไซต์สำหรับนักพัฒนาของ Vuforia SDK ที่สามารถจัดการกับรูปภาพ Marker ต่างๆ ที่ใช้ในการทำงานได้ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4

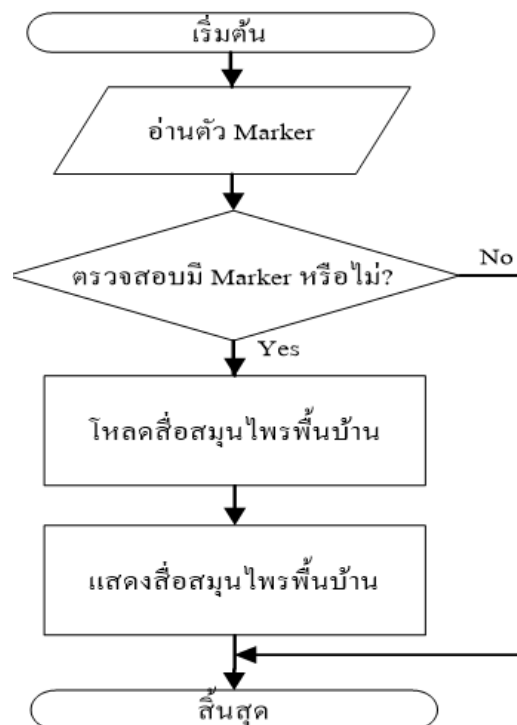


ภาพที่ 3 แสดงเว็บไซต์ Vuforia



ภาพที่ 4 แสดงการพัฒนา AR สมุนไพรพื้นบ้านด้วยโปรแกรม Unity

3.3 ขั้นตอนการนำไปใช้ เริ่มต้นด้วยการติดตั้งแอปพลิเคชันเกี่ยวกับสมุนไพรที่พัฒนาขึ้น จากนั้นจะทำการเปิดใช้งาน จะขึ้นเมนูให้ผู้ใช้เลือกเมนูได้แก่ AR Camera ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับรายการสมุนไพรต่างๆ จำนวน 13 ชนิด Author จะเป็นรายละเอียดของผู้พัฒนา และ Exit เป็นการออกจากระบบ เมื่อผู้ใช้เลือกเมนูแรกระบบจะอ่านตัว Marker ที่เตรียมไว้ให้ จากนั้นระบบจะทำการตรวจสอบตัว Marker เมื่อพบว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับสมุนไพรดังกล่าวก็จะทำการโหลดสื่อมาแสดงให้ผู้ใช้ศึกษา มีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการนำไปใช้

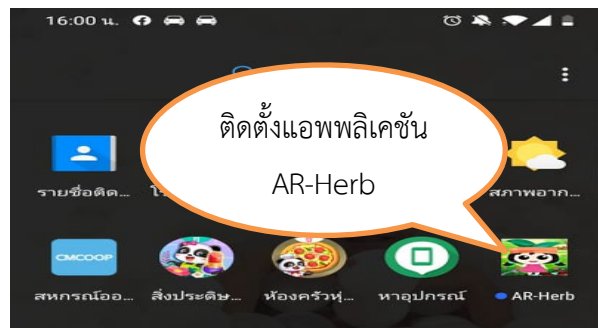
สถิติที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงบรรยายได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การแปลผลความพึงพอใจ โดยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเทียบกับเกณฑ์การประเมิน (Siriwan, 2010) ดังนี้

4.50 – 5.00	หมายถึง	มีความพึงพอใจมากที่สุด
3.50 – 4.49	หมายถึง	มีความพึงพอใจมาก
2.50 – 3.49	หมายถึง	มีความพึงพอใจปานกลาง
1.50 – 2.49	หมายถึง	มีความพึงพอใจน้อย
0.00 – 1.49	หมายถึง	มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

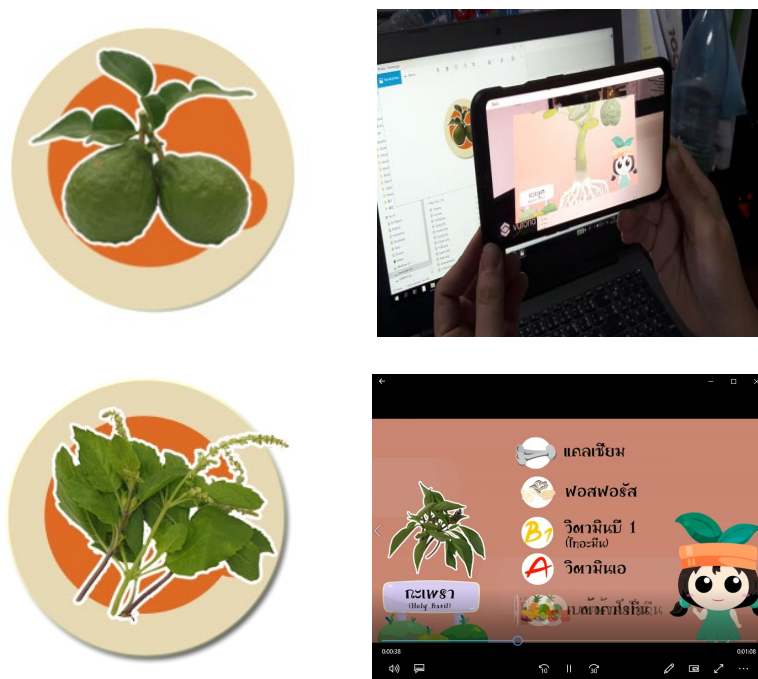
ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งแสดงหน้าจอการใช้งานต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 6 Application AR-Herb สำหรับติดตั้งในสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 7 เมนูหลักของโปรแกรม AR สมุนไพรพื้นบ้าน



ภาพที่ 8 การแสดงผลเมื่อใช้ AR-Herb ส่องไปยัง Marker สมุนไพร

เมื่อผู้ใช้สมาร์ทโฟนดาวน์โหลดโปรแกรม AR-Herb มาใช้งานดังภาพที่ 6 แล้วทำการเปิด Application จะปรากฏเมนูหลักดังภาพที่ 7 จากนั้นเลือกเมนู AR Camera ดังกล่าวเพื่อส่องไปยัง Marker จะพบรายละเอียดเกี่ยวกับสมุนไพรแสดงดังภาพที่ 8 เป็นการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับสมุนไพรมะกรูด และกระเพรา

ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน จำนวน 35 คน โดยใช้แบบสอบถามให้ผู้ใช้งานแสดงความคิดเห็นแบ่งเป็นแต่ละด้านดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละ ของประชากรกลุ่มตัวอย่างในพื้นที่จำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ชาย	20	57.10
หญิง	15	42.90
รวม	35	100.00

จากตารางที่ 1 จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้น พบว่า เพศชายมากที่สุด คิดเป็นจำนวน 20 คน ร้อยละ 57.10 รองลงมาเป็นเพศหญิง จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 42.90

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ด้านความสมบูรณ์ของเนื้อหา (n=35)

รายการประเมินด้านความสมบูรณ์ของเนื้อหา	Mean	S.D.	ความหมาย
1. เนื้อหาปริมาณเหมาะสม ชัดเจน	4.20	.632	มาก
2. เนื้อหาและสารสนเทศเพียงพอต่อการทำความเข้าใจ	4.14	.772	มาก
3. ความถูกต้องครบถ้วน สมบูรณ์ของข้อมูล	4.17	.785	มาก
4. ภาพมีความสอดคล้องกับเนื้อหา สื่อความหมาย	4.43	.558	มาก
5. เนื้อหาส่งเสริมการเรียนรู้ นำไปใช้ได้ในชีวิตประจำวัน	4.29	.710	มาก
6. ความพึงพอใจภาพรวมของเนื้อหาอยู่ระดับใด	4.23	.877	มาก
เฉลี่ย	4.20	.632	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้ที่มีต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาที่พัฒนาขึ้น ด้านความสมบูรณ์ของเนื้อหา พบว่า ผู้ใช้มีความคิดเห็น เกี่ยวกับภาพมีความสอดคล้องกับเนื้อหา สื่อความหมายระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.558 รองลงมาได้แก่ เนื้อหาส่งเสริมการเรียนรู้ นำไปใช้ได้ในชีวิตประจำวัน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.710 โดยรวมของผลการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.632 สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้มีความเหมาะสมมาก

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ด้านการออกแบบ การจัดรูปแบบและการนำเสนอข้อมูล (n=35)

รายการประเมินด้านการออกแบบ การจัดรูปแบบ และการนำเสนอข้อมูล	Mean	S.D.	ความหมาย
1. การออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้งาน	4.11	0.631	มาก
2. การจัดองค์ประกอบน่าสนใจ สวยงาม สะดุดตา	4.29	0.710	มาก
3. ภาพประกอบที่ใช้มีความน่าสนใจ สอดคล้องกับเนื้อหาและส่งเสริมการเรียนรู้	4.29	0.667	มาก
4. เสียงประกอบมีความชัดเจน เหมาะสม	3.94	1.056	มาก
5. ข้อความ ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.34	0.802	มาก
6. ความพึงพอใจภาพรวมของการออกแบบ การจัดรูปแบบ และการนำเสนอ	4.26	0.780	มาก
เฉลี่ย	4.24	0.609	มาก

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้ที่มีต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาที่พัฒนาขึ้น ด้านการออกแบบ การจัดรูปแบบและการนำเสนอข้อมูล พบว่า ผู้ใช้มีความคิดเห็น เกี่ยวกับข้อความ ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรมีความเหมาะสมระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.802 รองลงมาได้แก่ การจัดองค์ประกอบน่าสนใจ สวยงาม สะดุดตา ค่าเฉลี่ยเท่ากับ

4.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.710 และความพึงพอใจภาพประกอบที่ใช้มีความน่าสนใจ สอดคล้องกับเนื้อหาและส่งเสริมการเรียนรู้ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.667 โดยรวมของผลการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.609 สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้มีความเหมาะสมมาก

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ด้านประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานของเทคโนโลยี AR (n=35)

รายการประเมินด้านประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานของเทคโนโลยี AR	Mean	S.D.	ความหมาย
1. การนำเทคโนโลยี AR มาใช้ร่วมกับสมุนไพรรักษาบ้าน ทำให้ได้ความรู้มากขึ้น	4.46	.780	มาก
2. เทคโนโลยี AR เป็นสื่อการเรียนรู้ที่นำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้จริง	4.46	.780	มาก
3. เทคโนโลยี AR ให้ผู้เรียนเกิดความสุข น่าสนใจในการใช้สื่อ	4.29	.622	มาก
4. เทคโนโลยี AR ช่วยให้เข้าใจง่าย	4.54	.561	มากที่สุด
5. เทคโนโลยี AR ใช้งานง่าย	4.63	.598	มาก
6. ความพึงพอใจภาพรวมที่มีต่อประโยชน์การนำไปใช้งานของเทคโนโลยี AR	4.51	.612	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.48	.552	มาก

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้ที่มีต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาบ้านที่พัฒนาขึ้น ด้านประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานของเทคโนโลยี AR พบว่า เทคโนโลยี AR ใช้งานง่ายมีความเหมาะสมระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.63 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.598 รองลงมาเทคโนโลยี AR ช่วยให้เข้าใจง่าย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.54 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.561 และความพึงพอใจภาพรวมที่มีต่อประโยชน์การนำไปใช้งานของเทคโนโลยี AR ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.612 โดยรวมของผลการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.552 สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้มีความเหมาะสมมาก

อภิปรายผล

งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาบ้าน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะเณง จังหวัดเชียงใหม่ ผู้ใช้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจแต่ละด้านดังนี้ ด้านความสมบูรณ์ของเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.632 ด้านการออกแบบการจัดรูปแบบและการนำเสนอข้อมูล โดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.609 ด้านประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานของเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.552 ซึ่งจะพบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากกับเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาบ้านที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเทคโนโลยีความจริงเสริมเป็นเทคโนโลยีที่ได้เปลี่ยนแปลงการส่งผ่านสารสนเทศอยู่ในรูปที่ดึงดูดความสนใจของผู้ใช้ ประกอบกับสื่อที่พัฒนาสำหรับนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาบ้านแต่ละชนิดจะใช้ตัวการ์ตูน

เล่าเรื่องราวจึงทำให้ไม่น่าเบื่อ ผู้ใช้เข้าใจในเนื้อหาได้ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของหลายๆ ท่านดังนี้ งานวิจัยของ Srirachoen et al. (2019) ได้จัดทำแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยว 8 แหล่งท่องเที่ยวที่ต้องไปในจังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยให้กลุ่มตัวอย่าง 385 คนใช้แอปพลิเคชันแล้วประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการใช้ พบว่า ในภาพรวมผู้ใช้มีระดับความพึงพอใจมาก ค่าเฉลี่ย 4.43 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 งานวิจัย Thayai and Srifa (2018) ได้ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อหนังสืออ่านเพิ่มเติมความจริงเสมือน เรื่องบทสวดมนต์ ผ่านไอแพด ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 อยู่ในระดับมากที่สุด เนื่องจากมีความเหมาะสมของ รูปแบบการนำเสนอ การอธิบายเนื้อหาชัดเจน มีความสวยงามเหมาะสม น่าสนใจ ตัวอักษรชัดเจน อ่านง่ายไม่ซับซ้อน สีของตัวอักษรชัดเจน ง่ายต่อการใช้งาน การเชื่อมโยงวิดีโอที่มีเนื้อหาเหมาะสมสามารถเรียนรู้ด้วยตนเองได้ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.56 งานวิจัยของ Prapuetchob (2017) ได้ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นต่อสื่อธรรมะในรูปแบบโลกเสมือนผสานโลกจริงพบว่านักศึกษาที่มีความพึงพอใจระดับมาก โดยมีความพึงพอใจตามลำดับคือ ด้านเทคนิคที่ใช้ ด้านเนื้อหา ด้านการใช้งานอุปกรณ์ และด้านโครงสร้างของสื่อ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chokkang et al. (2016) ได้พัฒนาสื่อการเรียนรู้คำศัพท์ภาษาอังกฤษสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม พบว่าสื่อการเรียนรู้คำศัพท์ภาษาอังกฤษ สำหรับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสริม สามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งผู้ใช้งานสามารถที่จะใช้ระบบดังกล่าว สามารถนำไปเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการเรียนการสอน ช่วยให้ผู้เรียนไม่เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน เกิดความอยากรู้อยากเห็น และเป็นสิ่งที่จะช่วยให้นักเรียนในระดับนี้สนใจในการเรียนการสอนได้ดีมาก และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับเทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมกับบุคคลสนใจทั่วไปที่มีทักษะการใช้งานเทคโนโลยีและมีโทรศัพท์สมาร์ทโฟนรองรับกับเทคโนโลยีความจริงเสริมได้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้าน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ ในครั้งนี้เป็นการนำเสนอสื่อที่เกี่ยวกับสมุนไพรที่คนในชุมชนใช้เป็นประจำจำนวน 13 ชนิด ได้แก่ จิง ข่า ตะไคร้ กะเพรา มะกรูด โหระพา ขมิ้น มะนาว พริก สะระแหน่ ย่านาง บัวบก และมะรุ้ม ซึ่งจัดทำเป็นเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยใช้ Vuforia สำหรับมือถือที่ช่วยให้สามารถสร้างแอปพลิเคชัน Augmented Reality ได้และผู้ใช้จะต้องทำการติดตั้ง Application ชื่อ AR-Herb บนเครื่องโทรศัพท์มือถือหรือสมาร์ทโฟนก่อน จากนั้นนำไปส่องที่ Marker ที่จัดเตรียมไว้ให้จึงสามารถดูสื่อเกี่ยวกับสมุนไพรแต่ละชนิดที่จัดทำขึ้นเมื่อนำสื่อที่พัฒนาไปให้ผู้ในกลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้ พบว่า ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้ที่มีต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรพื้นบ้านที่พัฒนาขึ้น ด้านความสมบูรณ์ของเนื้อหา พบว่าผลการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.632 สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้เห็นว่ามีเหมาะสมมาก ด้านการออกแบบ การจัดรูปแบบและการนำเสนอข้อมูล ผลการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.609 สรุปความคิดเห็นว่ามีความเหมาะสมมาก และด้านประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานของเทคโนโลยีความจริงเสริม โดยรวมของผลการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.552 มีความเหมาะสมมาก ซึ่งภาพรวมแล้วกลุ่มตัวอย่างมีระดับความพึงพอใจในประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.597

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมีไฟล์ที่ขนาดใหญ่ทำให้การติดตั้งต้องใช้หน่วยความจำของเครื่องสมาร์ทโฟนค่อนข้างมาก ดังนั้นผู้ใช้งานต้องมีพื้นที่เพียงพอจึงจะใช้ได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับสมุนไพรมะละขိုင်ในการรักษาโรคต่างๆ ให้มากขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบจัดการความรู้เกี่ยวกับสมุนไพรมะละขိုင် อันจะนำไปสู่ความเข้าใจที่ถูกต้องและนำสมุนไพรมะละขိုင်ไปใช้ดูแลสุขภาพต่อไป

2.2 ควรมีการสร้างเกมเกี่ยวกับสมุนไพรมะละขိုင် เพื่อเพิ่มความสนุกสนานในการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น

2.3 ควรพัฒนาแอปพลิเคชันให้มีขนาดไฟล์ที่เล็กลงเพื่อประหยัดหน่วยความจำของเครื่องสมาร์ทโฟน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 และชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ที่ให้ข้อมูลในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Boonruam, S. and Phonak, D. (2016). Using Augmented Reality as Media Learning Through Cloud Computing. *NRRU Community Research Journal*, 2, 38-44. (in Thai)
- Chaiyo, Y. and Siririth, W. (2017). The Development of Augmented Reality 3D book on the Topic of Chinese Materia Medica for Undergraduate Students of Faculty of Oriental Medicine, Chiang Rai College. *Veridian E-Journal Silpakorn University* (Humanities, Social Sciences and arts), 10(1), 471-483. (in Thai)
- Chokkang, J. Jantayot, W. and Borjakpan, S. (2016). The Development of English Vocabulary Learning of Pratomsuksa 1 Students by Using Virtual Reality Technology. *Journal of Project in Computer Science and Information Technology*, 1, 73-82. (in Thai)
- Ditcharoen, N. Polyiam, K. Vangkahad, P. and Jarujamrus, P. (2014). Development of Learning Media in Topics of Atomic Structure and Chemical Bond with Augmented Reality Technology. *J. Res. Unit Sci. Technol Environ Learning*, 5, 21-27. (in Thai)
- Pantho, O. and Patcharathanaroj S. (2017). *The development of Geographic Information System for the use of land to grow herbs in Muangkaen Pattana Municipality Chiangmai Province*. Chiangmai: Chiangmai Rajabhat University. (in Thai)

- Patcharathanaroj, S. Pantho, O. Janthorn, T. and Santitreeragul, W. (2019). The Study of Herb Usage Behaviors and Analyzing of Land Use in Herb Cultivation using Geographic Information System: A Case Study of Muang Kaen Pattana Municipality, Chiang Mai. *The Proceedings of the 14th National and International Sripatum University Conference (SPUCON2019): Research and Innovations for Thailand 4.0, Sripatum University, 19 December 2019, 1885-1894. (in Thai)*
- Prapuetchob, T. (2017). The Utilization and Satisfaction of Thai-Nichi Institute of Technology Students on the Augmented Reality (AR) Dharma Media. *PULINET Journal*, 4, 19-27. (in Thai)
- Sahapong, T. (2019). The Development of Augmented Reality Application “Sadue E-San”, Kosum Phisai District, Maha Sarakham Province. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11, 139-151. (in Thai)
- Siriwan, W. 2010. A study of the satisfaction of learners towards teaching and learning activities in mathematics By using evaluation techniques in class. *Journal of Rangsit University: Teaching & Learning*, 4(2), 24 – 37. (in Thai)
- Sricharoen, J. Siharad, D. and Sukparsert, A. (2019). The Tourism Promotion Appcation of 8 Attractions that Need to go to in Phetchabun Province with the Augmented Reality Technology. *Journal of Project in Computer Science and Information Technology*, 5(1), 84-94. (in Thai)
- Thayai, T. and Srifa, P. (2018). Development of Augmented Reality Supplementary Book on Prayer Via ipad for Mathayomsuksa 1 Students. *Sripatum Chonburi Journal*, 14(2), 174-181. (in Thai)
- Techakosit, S. and Nilsook, P. (2018). Augmented Reality in a Junior High School Science Textbook Based on the Learning Model of Scientific Imagineering in Order to Enhance STEM Literacy. *E-Journal of Media Innovation and Creative Education*, 1(2), 38-47. (in Thai)
- Tunsiri, P. (2010). Augmented Reality. *Executive Journal*, 30(2), 169-173. (in Thai)

แอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

ดวงจันทร์ สีหาราช^{1,*}, ยุภา คำตะพล², ฐิณภรณ์ นิธิวิทย์³, ศรัณญา ตริเทศ⁴

^{1,2,3,4}คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Received: 16 January 2020

Revised: 8 October 2020

Accepted: 8 October 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง และ (2) ศึกษาความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง เครื่องมือที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันประกอบด้วย โปรแกรม Unity และ โปรแกรมภาษา C# กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักท่องเที่ยวคนไทยที่เข้ามาท่องเที่ยวในอำเภอเมืองและอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 385 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบและจัดรูปแบบ และด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งาน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า (1) แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีหลักการทำงานโดยการใช้กล้องบนมือถือเพื่อนำไปส่อง Markers จากนั้นวิดีโอส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศแสดงในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง และ (2) ความพึงพอใจพบว่า นักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.44$, S.D.=0.61)

คำสำคัญ : เชิงนิเวศ เขาค้อ เทคโนโลยีเสมือนจริง ท่องเที่ยว แอนดรอยด์

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: Kob_siharad@pcru.ac.th

The Tourism Promotion Application in Phetchabun Province with the Augmented Reality Technology

Duangjhan Siharad^{1,*}, Yupa Kumtapol², Thinaphan Nitiyuwit³, Saranya tritose⁴

^{1,2,3,4}Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

Received: 16 January 2020

Revised: 8 October 2020

Accepted: 8 October 2020

ABSTRACT

This research is a development of an application on the android operating system. Its purposes are (1) to develop an application with augmented reality technology to promote eco-tourism in Khao Kho district of Phetchabun province; and (2) to study the tourists' satisfaction with this application with augmented reality technology to promote eco-tourism in Khao Kho district of Phetchabun province. The programs used to develop the application consisted of the Unity Program and the C# Program. The research sample consisted of 385 Thai tourists visiting Mueang and Khao Kho districts in Phetchabun province. The data collecting instrument was a questionnaire to assess satisfaction with the application with augmented reality technology to promote eco-tourism in Khao Kho district of Phetchabun province. It comprised three aspects: the content, the design and formatting, and the benefits of the application. The data were analyzed using the mean and standard deviation. The results of the study show that (1) when using the application, the users have to scan the markers by phone camera and then the videos promoting eco-tourism attractions will display in the form of augmented reality technology; and (2) regarding the users' satisfaction, it is found that the overall level of the users' satisfaction with the application with augmented reality technology to promote eco-tourism in Khao Kho district of Phetchabun province is high ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.61).

Keywords: Eco-tourism, Khao Kho, Augmented reality, Android

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมท่องเที่ยวประกอบด้วยธุรกิจหลายประเภท ทั้งธุรกิจที่เกี่ยวข้องโดยตรง และธุรกิจที่เกี่ยวข้องทางอ้อม หรือธุรกิจสนับสนุนต่างๆ การซื้อบริการของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศ ถือได้ว่าเป็นการส่งสินค้าออกที่มองไม่เห็นด้วยสายตา (Invisible Export) เพราะเป็นการซื้อด้วยเงินตราต่างประเทศ การผลิต สินค้าและบริการต่างๆ ที่นักท่องเที่ยวซื้อก็ต้องมีการลงทุน ซึ่งผลประโยชน์จะตกอยู่ในประเทศและจะช่วยให้เกิดงานอาชีพอีกหลายแขนง เกิดการหมุนเวียนทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ทางด้านการส่งเสริมการท่องเที่ยวเป็นการพักผ่อนคลาย ความตึงเครียด พร้อมกับการได้รับความรู้ความเข้าใจในวัฒนธรรมที่ผิดแผกแตกต่างออกไปอีกครั้ง อุตสาหกรรมท่องเที่ยวเป็นแหล่งที่มาของรายได้ในรูปเงินตราต่างประเทศ ซึ่งจะมีส่วนช่วยสร้างเสถียรภาพให้กับดุลการชำระเงินได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้การท่องเที่ยวยังมีบทบาทช่วยกระตุ้นให้มีการนำเอาทรัพยากรของประเทศมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ที่ผู้อยู่ในท้องถิ่นได้เก็บมาประดิษฐ์เป็นหัตถกรรมพื้นบ้าน ขายเป็นของที่ระลึกสำหรับนักท่องเที่ยว (Wanthanom, 2009) ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ทำให้ความสำคัญของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดผลประโยชน์ทั้งทางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อม บทบาทที่เด่นชัดบทบาทหนึ่งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวก็คือ บทบาทด้านเศรษฐกิจซึ่งอาจกล่าวได้ว่า อุตสาหกรรมท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ที่สำคัญให้ประเทศเป็นลำดับต้น โดยเฉพาะการนำเงินตราต่างประเทศเข้ามาใช้จ่ายในระบบเศรษฐกิจของประเทศ

จากยุทธศาสตร์จังหวัดเพชรบูรณ์ 4 ปี (2558-2561) ได้มีการกำหนดวิสัยทัศน์ของจังหวัดไว้ว่า “ดินแดนแห่งความสุขของคนอยู่และผู้มาเยือน” จังหวัดเพชรบูรณ์จะมุ่งส่งเสริมการเกษตรปลอดภัย ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศที่ใช้ศักยภาพทางธรรมชาติและวัฒนธรรมที่เป็นจุดเด่น พร้อมกับการพัฒนาระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนและสังคมอย่างยั่งยืน เพื่อให้ไปสู่การเป็นเมืองแห่งความสุขของคนอยู่และผู้มาเยือน” จากการกำหนดวิสัยทัศน์ของจังหวัดทำให้เห็นถึงแนวทางในการพัฒนาจังหวัดที่มุ่งเน้นในการส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างชัดเจน โดยมีการกำหนดยุทธศาสตร์ด้านการท่องเที่ยวในประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 ส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมการท่องเที่ยว ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยที่จะสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อจังหวัดมากยิ่งขึ้น (Office of Phetchabun Provincial, n.d.)

โดยปัจจุบันจังหวัดเพชรบูรณ์มีสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศหลายแห่ง แต่บางแห่งยังไม่เป็นที่รู้จักนอกจากจังหวัดเพชรบูรณ์มีนโยบายในการผลักดันการท่องเที่ยว และกระตุ้นการสร้างรายได้จากธุรกิจการท่องเที่ยว ทั้งแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นที่รู้จักและแหล่งท่องเที่ยวที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มาประยุกต์เป็นอีกทางหนึ่งที่จะช่วยกระตุ้นและส่งเสริมธุรกิจการท่องเที่ยวให้เป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของจังหวัดเพชรบูรณ์ จึงได้นำเอาเทคโนโลยีเสมือนจริง (Augmented Reality Technology) หรือ AR ที่เป็นเทคโนโลยีที่ผสมโลกของความจริง (Real World) เข้ากับโลกเสมือน (Virtual World) โดยใช้วิธีซ้อนภาพสามมิติที่อยู่ในโลกเสมือนไปอยู่บนภาพที่เห็นจริง ๆ ในโลกของความเป็นจริงผ่านกล้องดิจิทัลของแท็บเล็ต สมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์อื่นๆ และให้ผลการแสดงภาพ ณ เวลาจริง (Real Time) (Hlaisakul, n.d.) มาสร้างเป็นแอปพลิเคชันเพื่อเพิ่มความน่าสนใจในการประชาสัมพันธ์และส่งเสริมส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยที่นักท่องเที่ยวจะได้เห็นภาพเสมือนจริงผ่านแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ทั้งนี้สามารถส่งผลต่อเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Augmented Reality หรือ AR เป็นเทคโนโลยีที่ผสมโลกของความจริง (Real World) เข้ากับโลกเสมือน (Virtual World) โดยใช้วิธีซ้อนภาพสามมิติที่อยู่ในโลกเสมือนไปอยู่บนภาพที่เห็นจริงๆ ในโลกของความเป็นจริงผ่านกล้องดิจิทัลของแท็บเล็ต สมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์อื่นๆ และให้ผลการแสดงภาพ ณ เวลาจริง ซึ่งในอนาคตอันใกล้ AR กำลังจะเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวันของสังคมที่จะเต็มไปด้วยสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และนวัตกรรมทางเทคโนโลยีสารสนเทศ (Hlaisakul, n.d.) การนำเทคโนโลยีเสมือนจริง AR มาใช้ในการท่องเที่ยวมีความสำคัญอย่างมาก เพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงนโยบายและมีความสำคัญในการวางแผนในภาคการท่องเที่ยวหรือการใช้ AR เพื่อสร้างการท่องเที่ยวที่ทดแทนสถานที่ท่องเที่ยวที่ถูกคุกคาม สามารถช่วยอนุรักษ์สถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ ได้เนื่องจากความสามารถในการเลือกมุมมอง การแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงที่ต้องการได้ทันที ซึ่งต่างจากเทคโนโลยีสองมิติอื่นๆ ความสำคัญของการนำเทคโนโลยี AR มาใช้กับการท่องเที่ยวประกอบด้วย 6 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านการวางแผนและการบริหาร (2) ด้านการตลาด (3) ด้านความบันเทิง (4) ด้านการศึกษา (5) ด้านการเข้าถึง และ (6) ด้านการอนุรักษ์ (Thanaratana, n.d.)

Limpinan (2019) ทำการวิจัยเรื่อง การส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคามโดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาเทคโนโลยีเสมือนจริงท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคาม และ (2) ศึกษาการยอมรับและความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันเสมือนจริงจังหวัดมหาสารคาม ผลการวิจัยพบว่า (1) ผลจากการพัฒนาแอปพลิเคชัน AR มหาสารคาม ได้ผลลัพธ์ 3 ส่วน คือ (1) Marker ในรูปแบบโปสเตอร์ที่ระลึกประชาสัมพันธ์ข้อมูลท่องเที่ยวของแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคาม 5 แห่ง ประกอบด้วย พระธาตุนาดูน กู่สันตรัตน์ กู่บ้านเขว้า พระยืนกัณฑ์วิชัย (พระพุทธรูป) และสะพานไม้แกดำ (2) Model ในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ ที่มีการเคลื่อนไหวของแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคาม 5 แห่ง ประกอบด้วย พระธาตุนาดูน กู่สันตรัตน์ กู่บ้านเขว้า พระยืนกัณฑ์วิชัย (พระพุทธรูป) และสะพานไม้แกดำ (3) แอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ จำนวน 1 แอปพลิเคชัน ภายใต้ชื่อ AR มหาสารคาม ที่สามารถถ่ายภาพและแชร์ภาพถ่ายไปยังสังคมออนไลน์ต่างๆ ได้ ผลการประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน AR มหาสารคาม 3 ด้าน ประกอบด้วย ด้านการทำงานได้ตาม ด้านประสิทธิภาพการทำงาน และด้านการใช้งาน พบว่า ผลการประเมินความเหมาะสม โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก และ (2) ผลการยอมรับและพึงพอใจของนักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเสมือนจริงแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก

Sripamai and Limpinan (2017) ทำการพัฒนาเทคโนโลยีเสมือนจริงส่งเสริมการท่องเที่ยววัดมหาธาตุ โดยมีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีเสมือนจริงส่งเสริมการท่องเที่ยววัดมหาธาตุสุโขทัยที่มีคุณภาพ (2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมีเดียและแอนิเมชัน ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่มีต่อเทคโนโลยีเสมือนจริงส่งเสริมการท่องเที่ยววัดมหาธาตุสุโขทัย ผลการศึกษา พบว่า

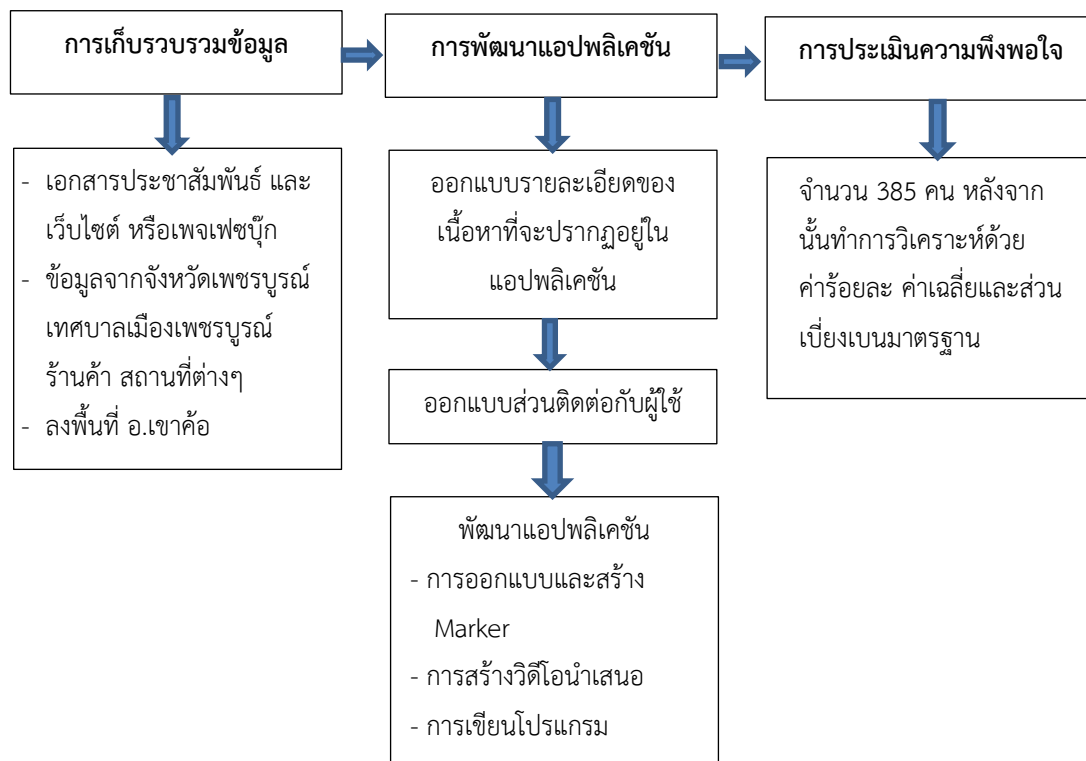
(1) การพัฒนาสื่อเทคโนโลยีเสมือนจริงส่งเสริมการท่องเที่ยววัดมหาธาตุสุโขทัย ได้ผลลัพธ์ 3 อย่างคือ (1) Marker วัดมหาธาตุสุโขทัย จำนวน 8 แบบ (2) โมเดล วัดมหาธาตุสุโขทัย จำนวน 8 โมเดล และ (3) แอปพลิเคชัน AR Sukhothai รูปแบบไฟล์ .apk (2) ความพึงพอใจของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมีผลดีมีเดียและแอนิเมชันที่มีต่อเทคโนโลยีเสมือนจริงส่งเสริมการท่องเที่ยววัดมหาธาตุสุโขทัยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

Charoenrup (2017) การประยุกต์ใช้ความเป็นจริงเสริมเพื่อนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว: กรณีศึกษาวัดพระแก้ว จังหวัดเชียงราย มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality: AR-Code) ในการนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวบนสมาร์ตโฟน ความเป็นจริงเสริมเป็นเทคโนโลยีที่ผสมผสานโลกแห่งความจริง และโลกเสมือนเข้าไว้ด้วยกัน โดยใช้วิธีซ้อนภาพสองมิติหรือสามมิติที่อยู่ในโลกเสมือน ให้อยู่บนภาพที่เห็นจริง งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลวัดพระแก้ว จังหวัดเชียงราย เป็นต้นแบบในการพัฒนางานวิจัย โดยมีเนื้อหาประกอบด้วย ประวัติความเป็นมา ศาสนาสถานที่สำคัญภายในวัดพระแก้ว อันได้แก่ พระอุโบสถ พระเจดีย์ หอพระหยก และพิพิธภัณฑ์โสมหลวงแสงแก้ว เพื่อนำเสนอข้อมูลให้กับนักท่องเที่ยวใน 2 ลักษณะ คือ (1) นำเสนอความเป็นจริงเสริมจากหนังสือเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเห็นสถานที่ท่องเที่ยวจริงผ่านวิดีโอที่จัดทำขึ้นในรูปแบบ 3 ภาษา คือ ภาษาไทย ภาษาอังกฤษและภาษาจีน โดยใช้การอ่านสัญลักษณ์ (รูปภาพ) จากหนังสือ และ (2) นำเสนอความเป็นจริงเสริมจากภาพสถานที่จริงเพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าไปประจักษ์ถึงข้อมูลศาสนสถานภายในวัดพระแก้วเพิ่มมากขึ้นเป็นภาษาอังกฤษสำรวจความพึงพอใจของการใช้แอปพลิเคชันกับนักท่องเที่ยวโดยการใช้แบบสอบถาม พบว่า นักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจสูงสุดด้านแอปพลิเคชัน คือการใช้งานแอปพลิเคชันโดยรวม มีความเหมาะสม ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ความพึงพอใจด้านการนำเสนอข้อมูลสูงสุด คือ ภาษาที่ใช้บรรยายเข้าใจง่าย และถูกต้อง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากเช่นกัน ตอนท้ายสุดจะกล่าวถึงแนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชัน และแนวโน้มการใช้สื่อความจริงเสริมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

Luangdee and Ouamcharoen (2017) ทำวิจัยเรื่อง ระบบนำชมแบบเสมือนจริงเพื่อการเรียนรู้และท่องเที่ยวพระราชวังเวศน์มฤตทายวัน อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาระบบนำชมเสมือนจริงเพื่อการเรียนรู้และท่องเที่ยวพระราชวังเวศน์มฤตทายวัน อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (2) ศึกษาการยอมรับของเทคโนโลยีแบบเสมือนจริงกับผู้ใช้งาน และ (3) เพื่อพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการเผยแพร่ข้อมูลทั้งภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และภาษาจีนโดยการนำเทคโนโลยีเออาร์หรือแบบเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้งานจริงกับนักท่องเที่ยวและผู้เรียนรู้โดยการใช้สมาร์ตโฟนของนักท่องเที่ยวเป็นเครื่องมือในการใช้งานที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ โดยการดาวน์โหลดแอปพลิเคชันเข้าสู่สมาร์ตโฟนและเปิดแอปพลิเคชัน จะเปิดกล้องถ่ายภาพให้ส่งไปที่รูปภาพที่กำหนด เมื่อส่งภาพจะเห็นภาพแสดงผลขึ้นบนสมาร์ตโฟน จุดนิทรรศการต่างๆ ภาพเปรียบเทียบเก่าและหลังบูรณะของหมู่พระที่นั่ง มีลิงค์ของเว็บไซต์ ลิงค์ของมิวเซียมไทยแลนด์สามารถกดเข้าไปเยี่ยมชมรายละเอียดสอบถามข้อมูลแนะนำความคิดเห็นลงสู่เพจเฟซบุ๊กและเว็บไซต์ได้ซึ่งเข้าถึงได้ถูกต้อง น่าสนใจมีปฏิสัมพันธ์กับนักท่องเที่ยวและนักเรียนรู้ได้โดยใช้งานง่าย สะดวกรองรับการแสดงผลบนอุปกรณ์ที่แตกต่างกันได้

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยยึดหลักการสร้าง Augmented Reality โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) การเก็บรวบรวมข้อมูลการท่องเที่ยว อ.เขาค้อ จ. เพชรบูรณ์ (2) การพัฒนาแอปพลิเคชัน และ (3) การประเมินความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ นักท่องเที่ยวในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นประชากรที่ไม่ทราบค่า

ตัวอย่าง เนื่องจากเป็นประชากรที่ไม่ทราบค่า จึงใช้สูตรการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างในกรณีที่ไม่ทราบค่าประชากร (Vanichbancha, 2003) โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระดับความคลาดเคลื่อนในการเลือกตัวอย่างที่ยอมรับได้ ร้อยละ 5 ซึ่งคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้ 385 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก (Convenience Sampling) จากนักท่องเที่ยวคนไทย ที่เข้ามาท่องเที่ยวในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้แก่ โปรแกรม Unity โปรแกรมภาษา C# โปรแกรม Unity และ Vuforia และแบบประเมินความพึงพอใจ ซึ่งเป็นแบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

ทั้งนี้ในการวิจัยผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ว่า ความพึงพอใจของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้นั้นต้องอยู่ในระดับดีขึ้นไปและควรมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 1.00

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงวิธีการส่งเสริมการท่องเที่ยว อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่มีการเผยแพร่ในรูปแบบของเอกสารประชาสัมพันธ์ และเว็บไซต์ หรือเพจเฟซบุ๊ก ซึ่งมีอยู่อย่างกระจัดกระจาย และไม่เห็นภาพที่ชัดเจน

2. คณะผู้วิจัยศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ ที่อยู่ในวรรณกรรม ทฤษฎี และวิเคราะห์เอกสารที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบจากแหล่งข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย จังหวัดเพชรบูรณ์ เทศบาลเมืองเพชรบูรณ์ ร้านค้า สถานที่ต่าง ๆ รวมถึงลงพื้นที่ อ.เขาค้อ สืบหาและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องเก็บรวบรวมภาพถ่าย ศึกษาแผนที่ตั้ง สัมภาษณ์ข้อมูลด้านนโยบาย การบริหารจัดการ การส่งเสริมการท่องเที่ยวของจังหวัดเพชรบูรณ์ รวบรวมข้อมูลสำคัญที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ และพัฒนาแอปพลิเคชันสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากข้างต้น ด้วยการการจัดระเบียบข้อมูล และนำมาวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis)

2. วิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบ เพื่อการออกแบบรายละเอียดของเนื้อหาที่จะปรากฏอยู่ในแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง ซึ่งรายละเอียดของเนื้อหาที่ปรากฏมีทั้งภาพ เสียง และข้อความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยกลุ่มผู้วิจัยได้เรียบเรียงเนื้อหา และตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา จากนั้นออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ โดยออกแบบส่วนของการแสดงผลบนจอภาพแอปพลิเคชัน ออกแบบรายละเอียดในการทำงานของแอปพลิเคชัน และออกแบบคู่มือแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง ซึ่งประกอบด้วยรูปภาพ ข้อความประกอบ แผนที่การเดินทาง และรายละเอียดของเนื้อหาที่อธิบาย แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

3. วิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยเก็บรวบรวมกับนักท่องเที่ยวคนไทยที่เข้ามาท่องเที่ยวในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยสุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก (Convenience Sampling) จำนวน 385 คน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วย ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน ดังนี้ (Vanichbancha, 2003)

4.50-5.00	หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด
3.50-4.49	หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
2.50-3.49	หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
1.50-2.49	หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
1.00-1.49	หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

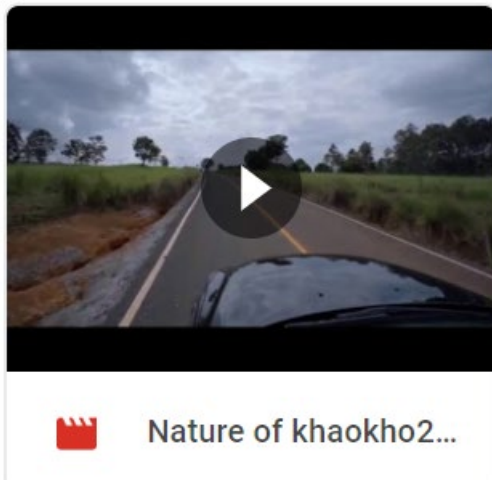
1. ผลการออกแบบเอกสารประชาสัมพันธ์ เป็นเอกสารบอกเล่าเรื่องราวเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นรูปภาพ คำบรรยายสั้นๆ บอกเล่าเรื่องราว ต่างๆ เกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ดังภาพที่ 2 และ Marker สำหรับใช้ส่องในการแสดงวิถีโอในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง ดังภาพที่ 3 ซึ่งมีวิดีโอแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ดังภาพที่ 4
2. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมภาษา C# ร่วมกับโปรแกรม Unity และ Vuforia แล้วทำการ Import โมเดลเพื่อกำหนดการเชื่อมโยงระหว่างโมเดลและข้อมูล หลังจากนั้น Export Program ชื่อ pb_khaokho_nature.apk ออกมาอยู่ในรูปแบบไฟล์ .apk เพื่อนำไปใช้กับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ทั้งนี้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าใช้งานแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยการติดตั้งแอปพลิเคชัน ซึ่งต้องทำการดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน pb_khaokho_nature.apk จาก QR Code ภาพที่ 5 จากนั้นดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน pb_khaokho_nature.apk เมื่อดาวน์โหลดเรียบร้อยแล้วจะปรากฏดังภาพที่ 6 จากนั้นทำการดับเบิลคลิกที่ไอคอน pb_khaokho_nature.apk เพื่อติดตั้งแอปพลิเคชัน เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะปรากฏไอคอนแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 2 รูปแบบเอกสารประชาสัมพันธ์



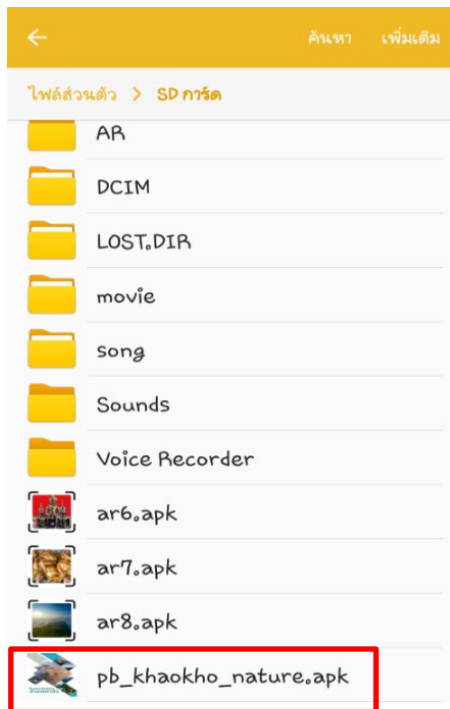
ภาพที่ 3 Marker ที่สร้างขึ้น



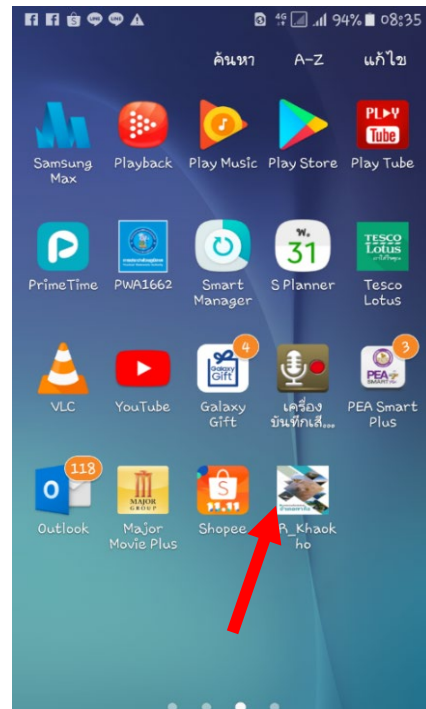
ภาพที่ 4 ตัวอย่างวิดีโอแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 5 QR Code pb_khaokho_nature.apk



ภาพที่ 6 แสดงไฟล์ pb_khaokho_nature.apk



ภาพที่ 7 แสดงไอคอน AR_Khaokho

เมื่อดับเบิลคลิกไอคอน AR_Khaokho ตามภาพที่ 6 แล้ว นักท่องเที่ยวสามารถใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อทำการเปิดแอปพลิเคชัน โดยจะแสดงอยู่ในรูปแบบของกล้องถ่ายรูป การใช้งานสามารถนำไปส่องที่ Marker ภาพที่ 3 จะแสดงวิดีโอหน้าจอดังภาพที่ 8 ที่เป็นวิดีโอแนะนำแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 8 การแสดงผลในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง

3. ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจ

การวิเคราะห์ความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง ผู้วิจัยได้ดำเนินการให้กลุ่มตัวอย่างได้ทดลองเข้าใช้ระบบ และตอบแบบประเมิน เพื่อประเมินหาความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชัน โดยมีจำนวนผู้ตอบแบบประเมิน จำนวน 385 คน ซึ่งมีผลการประเมินพบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 274 คน คิดเป็นร้อยละ 71.17 และเพศชาย จำนวน 111 คน คิดเป็นร้อยละ 28.83 มีอายุระหว่าง 30-39 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.00 ส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 34.03 รองลงมาคือ ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ พนักงานเอกชน และอาชีพอิสระ/กิจการส่วนตัว คิดเป็นร้อยละ 27.01, 24.94 และ 14.03 ตามลำดับ เหตุผลที่เดินทางมาท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ คือ เพื่อพักผ่อนหย่อนใจเที่ยวชมธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 39.36 รองลงมาคือ เที่ยวชมศิลปะ วัฒนธรรม และสถานที่สำคัญ มาทำงาน ศึกษาดูงาน หรืองานสัมมนา พร้อมท่องเที่ยวด้วย มาเยี่ยมญาติ หรือเพื่อน คิดเป็นร้อยละ 23.25, 19.85 และ 17.54 ตามลำดับ ทั้งนี้มีระดับความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน ทั้ง 3 ด้านดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านเนื้อหา

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ มีความสมบูรณ์ครบถ้วน	4.69	0.55	มากที่สุด
2. ข้อมูลภาพนิ่งและตัวหนังสือเกี่ยวกับ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ มีความชัดเจน	4.50	0.63	มากที่สุด
3. ข้อมูลวีดิโอภาพและเสียงเกี่ยวกับ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ มีความชัดเจน	4.28	0.62	มาก
4. ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ แสดงเป็นวิดีโอ 3 มิติ มีความสอดคล้องกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์	4.64	0.52	มากที่สุด
5. เนื้อหาในภาพรวมของแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์	4.70	0.60	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรวม	4.56	0.61	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านเนื้อหา พบว่า ผู้ตอบแบบประเมินมีความพึงพอใจด้านเนื้อหาในภาพรวม อยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{X} = 4.56$, S.D.= 0.61) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ทุกหัวข้อมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ยกเว้น ข้อมูลวีดิโอภาพและเสียงเกี่ยวกับ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ มีความชัดเจน ที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบและจัดรูปแบบ

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. วิธีการนำเสนอข้อมูลของแอปพลิเคชัน ใช้งานง่าย เมนูไม่ซับซ้อน	4.50	0.57	มากที่สุด
2. การจัดวางองค์ประกอบหน้าจომองมีความสวยงาม ได้สัดส่วน	4.33	0.57	มาก
3. การตอบสนองของแอปพลิเคชัน มีความรวดเร็วในการทำงานตามคำสั่งของผู้ใช้	3.62	0.73	มาก
4. รูปแบบตัวอักษรขนาดเหมาะสมและง่ายต่อการอ่าน	4.30	0.46	มาก
5. พื้นหลัง และภาพประกอบ มีความชัดเจน	4.51	0.58	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรวม	4.25	0.67	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบและจัดรูปแบบ พบว่า ผู้ตอบแบบประเมินมีความพึงพอใจด้านการออกแบบและจัดรูปแบบในภาพรวม อยู่ในระดับ มาก ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = 0.67) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า หัวข้อที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด คือ วิธีการนำเสนอข้อมูลของแอปพลิเคชัน ใช้งานง่าย เมนูไม่ซับซ้อน และพื้นหลัง และภาพประกอบ มีความชัดเจน

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งาน

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูล สำหรับศึกษาหาความรู้ได้	4.49	0.50	มาก
2. เป็นช่องทางที่ดี สำหรับการให้ข้อมูลเกี่ยวกับ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์	4.59	0.49	มากที่สุด
3. ข้อมูลสามารถตอบสนองความต้องการ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้เป็นอย่างดี	4.50	0.50	มากที่สุด
4. แอปพลิเคชันสามารถนำไปใช้งานได้จริง	4.47	0.50	มาก
5. การใช้งานของแอปพลิเคชันในภาพรวม	4.47	0.50	มาก
คะแนนเฉลี่ยรวม	4.50	0.50	มากที่สุด

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งาน พบว่า ผู้ตอบแบบประเมินมีความพึงพอใจด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งานในภาพรวม อยู่ในระดับ มาก ที่สุด ($\bar{X} = 4.50$, S.D.= 0.50) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า ผู้ตอบแบบประเมินมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด คือ เป็นช่องทางที่ดี สำหรับการให้ข้อมูลเกี่ยวกับ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และข้อมูล สามารถตอบสนองความต้องการ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้เป็นอย่างดี

อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง ซึ่งผลของการวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ คือ ได้แอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ ในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริงถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่ช่วยสนับสนุนการท่องเที่ยว และส่งเสริมการท่องเที่ยวของจังหวัดเพชรบูรณ์ และนอกจากนี้ยังเป็นการสร้างแรงจูงใจ เพิ่มช่องทางในการให้ข้อมูล และก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มด้านการท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Limpinan (2019) ที่ทำการวิจัยเรื่อง การส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดมหาสารคามโดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง ที่มีการใช้เครื่องมือในการพัฒนาแอปพลิเคชันเหมือนกัน คือ โปรแกรม Unity โปรแกรมภาษา C# โปรแกรม Unity และ Vuforia แต่ในงานวิจัยข้างต้นไม่มีการแสดงในรูปแบบวิดีโอ ทั้งนี้คล้ายกับงานวิจัยของ Charoenrup (2017) ที่มีการประยุกต์ใช้ความเป็นจริงเสริมเพื่อนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยววัดพระแก้ว จังหวัดเชียงราย ใน 2 ลักษณะ คือ (1) นำเสนอความเป็นจริงเสริมจากหนังสือเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเห็นสถานที่ท่องเที่ยวจริงผ่านวิดีโอที่จัดทำขึ้นในรูปแบบ 3 ภาษา คือ ภาษาไทย ภาษาอังกฤษและภาษาจีน โดยใช้การอ่านสัญลักษณ์ (รูปภาพ) จากหนังสือ และ (2) นำเสนอความเป็นจริงเสริมจากภาพสถานที่จริง เพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าใจประวัติรวมถึงข้อมูลศาสนสถานภายในวัดพระแก้วเพิ่มมากขึ้นเป็นภาษาอังกฤษ ซึ่งเป็นการส่งเสริมการท่องเที่ยวเช่นเดียวกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Leungdee and Uamcharoen (2017) ที่มีการนำเอาเทคโนโลยี AR มาประยุกต์เพื่อนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ โดยได้มีการพัฒนาระบบนำชมแบบความจริงเสริมเพื่อการเรียนรู้และท่องเที่ยวพระราชวังมฤคทายวัน อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี มีแนวทางในการดำเนินการนำเทคโนโลยีแบบความจริงเสริมมาใช้งานกับการเข้าถึงการนำชม แนะนำ

เข้าถึงเว็บไซต์ เพจเฟซบุ๊ก แสดงรูปภาพเปรียบเทียบก่อนบูรณะและหลังบูรณะ ให้เห็นได้ชัดเจนบนโทรศัพท์มือถือ ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับ Sahapong (2019) ที่ทำการประยุกต์ใช้สื่อจริงเสมือนในการนำเสนอสถานที่ท่องเที่ยวที่เรียกว่า “สะดืออีสาน” อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม และพัฒนาออกมาในรูปแบบแอปพลิเคชัน

สำหรับผลการวิเคราะห์หาความพึงพอใจในการใช้งานของนักท่องเที่ยวที่มีต่อแอปพลิเคชัน 6 ของที่ระลึก ต้องซื้อในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ด้านคือ ด้านเนื้อหา ด้านการการออกแบบ และจัดรูปแบบ และด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.61) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Puthawee (2017) เนื่องจากเนื้อหาในภาพรวม ไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ข้อมูลภาพนิ่งและตัวหนังสือที่เกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ข้อมูลวีดิโอภาพและเสียงที่เกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ข้อมูลวิดีโอ 3 มิติ มีความสอดคล้องกับแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มีความสมบูรณ์ครบถ้วน ชัดเจน และสอดคล้องกับความจริงของแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ อีกทั้งวิธีการนำเสนอข้อมูลของแอปพลิเคชันใช้งานง่าย เมนูไม่ซับซ้อน และพื้นหลัง และภาพประกอบ มีความชัดเจน และที่สำคัญคือเป็นช่องทางที่ดี สำหรับการให้ข้อมูลเกี่ยวกับ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และข้อมูลสามารถตอบสนองความต้องการแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาเป็นรายได้พบว่า (1) ด้านเนื้อหา ซึ่งเป็นการประเมินเนื้อหาของแอปพลิเคชัน โดยผลการประเมินจากกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.56$, S.D. = 0.61) (2) ด้านการออกแบบ และจัดรูปแบบ เป็นการประเมินลักษณะการออกแบบแอปพลิเคชันว่ามีความง่ายต่อการใช้งานมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลจากการประเมินกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = 0.67) และ (3) ด้านประโยชน์ของแอปพลิเคชันต่อการนำไปใช้งาน เป็นการประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ ว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลจากการประเมินกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.50$, S.D. = 0.50)

ข้อเสนอแนะ

1. ผลจากการทดลองพบปัญหาการใช้แอปพลิเคชัน ในเรื่องของไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้การติดตั้งแอปพลิเคชันใช้หน่วยความจำเครื่องสมาร์ทโฟนค่อนข้างมาก ดังนั้นในการพัฒนาแอปพลิเคชันต่อไปควรพัฒนาให้แอปพลิเคชันมีขนาดไฟล์ที่เล็กเพื่อประหยัดหน่วยความจำเครื่องสมาร์ทโฟน
2. การนำเสนอข้อมูลในแอปพลิเคชันในอนาคตควรมีการเพิ่มเติมในส่วนของการนำเสนอในรูปแบบภาพ 3 มิติ เพื่อที่จะได้นำสนใจมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Charoenrup, N. (2017). Application of supplementary reality to present tourist attraction information: a case study of Wat Phra Kaew Chiang Rai province. *Journal of Modern Management Science*, 10 (1), 13-30. (in Thai)
- Hlaisakul, P. (n.d.). *Augmented Reality (AR). The truth must be expanded*. [Online]. Retrieved October 20, 2018, from: <https://tednet.wordpress.com/2014/04/20/augmented-reality-ar>. (in Thai)
- Luangdee, T. and Ouamcharoen, S. (2017). Augmented Reality Viewing System for Learning and Tourism of the Maruekkhathaiyawan Palace, Cha-Am District Phetchaburi Province. *The Proceedings of the 4th National Phetchaburi Rajabhat University Symposium on Art and Culture Research*, 3 December 2017 at Phetchaburi Rajabhat University, 1-7. (in Thai)
- Limpinan, P. (2019). Promoting Mahasarakham Tourism by using Augmented Reality. *Journal of Information Technology and Innovation Management*, 6(1), 8-16. (in Thai)
- Office of Phetchabun Provincial. (n.d.). *Phetchabun 4 Year Development Plan (2018-2021)*. Phetchabun: Office of Phetchabun Provincial. (in Thai)
- Puthaweesai, P. (2017). *Innovative innovation with virtual 3D technology to promote sustainable Rattanakosin Island tourism*. Bangkok: Suan Dusit University. (in Thai)
- Sahapong, T. (2019). The Development of Augmented Reality Application “Sadue E-San”, Kosum Phisai District, Maha Sarakham Province. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11, 139-151. (in Thai)
- Sripramai and Limpinan (2017). Virtual technology to promote tourism at Wat Mahathat. *The Proceedings of 5th ASEAN Undergraduate Conference in Computing (AUC2)*, 20-22 April 2017 at Naresuan University, 44-48. (in Thai)
- Vanichbancha, K. (2003). *Statistical analysis: statistics for administration and research*. 7th ed. Bangkok: Thammasarn. (in Thai)
- Wanthanom , C. (2009). *Tourism industry*. Bangkok: Sam Lada. (in Thai)
- Wittayathanaratana, S. (n.d.). *Virtual Reality: Application and Impact of Tourism*. [Online]. Retrieved October 20, 2018, from: <http://www.etatjournal.com/mobile/index.php/menu-read-tat/menu-2011/menu-2011-apr-jun/100-22554-virtual-reality> (in Thai)

การแก้ปัญหาคุณภาพผิวชิ้นงานของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลวง โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ธวัชชัย ไหมด้วง^{1,*}, สถาพร ชาทาคม²

^{1,2}ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Received: 21 February 2020

Revised: 12 October 2020

Accepted: 12 October 2020

บทคัดย่อ

ปัญหาการเกิดทางขาว-ทางดำ ในชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ซึ่งผลิตด้วยกระบวนการอัดรีดร้อน ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและการยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะเมื่อนำไปผ่านกระบวนการอโนไดซ์ ปัญหาดังกล่าวจะยิ่งปรากฏชัดขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองแก้ปัญหาการเกิดทางขาว-ทางดำ บนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยทำการวางรูปแบบของปากแม่พิมพ์อัดรีดเป็น 3 แบบ คือ แบบคู่ขนาน วางมุม 0 องศา (แบบเดิมที่เคยผลิตอยู่) แบบทแยงมุม 22.5 องศา และแบบทแยงมุม 45 องศา ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า การวางแบบคู่ขนาน เกิดการสะสมความร้อนบริเวณแกนกลางของแม่พิมพ์ ซึ่งจะลดลงเมื่อปรับมุมเอียง ในการทดลองได้ทำการผลิตแม่พิมพ์และขึ้นรูปชิ้นงานในแบบคู่ขนานและแบบทแยงมุม 45 องศา ซึ่งพบว่าเมื่อปรับมุมเป็น 45 องศา การเกิดปัญหาทางขาว-ทางดำ ลดลงจาก 50 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถลดข้อเสียในกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : อลูมิเนียมโปรไฟล์ แม่พิมพ์อัดรีดร้อน ไฟไนต์เอลิเมนต์ ข้อบกพร่องจากการอัดขึ้นรูป ทางขาว-ทางดำ

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: m.tawatjai92@gmail.com

The investigate of White and Black Lines Defect for Hot Extrusion Die Process of Hollow Aluminum Profiles by Finite Element Method

Tawatchai Maidung^{1,*}, Sathaporn Chatakom²

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

Received: 21 February 2020

Revised: 12 October 2020

Accepted: 12 October 2020

Abstract

The black and white lines defect in the aluminum extruded profile is one of the problems that lead to the reject of the product by the customers, especially after it has been treated with the anodized procedure. This research experimented with three methods to reduce the black and white lines defect by using the finite element method (FEM) and adjusting three ways of the profile layout, namely, the original parallel (0 degrees angle) layout, the 22.5 degrees angle layout, and the 45 degrees angle layout. The results from FEM show that the heat accumulation occurs in the axis zone of the die in the 0 degree die layout, which will decrease when the layout is adjusted in increasing angles. The extrusion experiment shows a good result for die layout of 45-degree angle which can reduce the defect from 50 percent to 4 percent, resulting in high level of reducing waste product in the production process.

Keywords: Aluminum profiles, Hot extrusion die, Finite element, Extrusion defect, White lines, Black Lines

*Corresponding author; E-mail: m.tawatchai92@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การอัดรีดร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยจะเริ่มจากการนำแท่งอลูมิเนียม (Aluminum billet) Sriprapai (2001) มาให้ความร้อน แล้วป้อนเข้าไปในกระบอกรีด (Container) จากนั้นแกนกระทุ้ง (Ram) จะทำการอัดแท่งอลูมิเนียมด้วยแรงดันสูงผ่านแม่พิมพ์อัดรีด (Die) ที่ผ่านการให้ความร้อนมาแล้วเช่นกัน อลูมิเนียมที่ถูกอัดรีดจะไหลผ่านแม่พิมพ์ออกมาและมีรูปร่างตรงตามลักษณะของแม่พิมพ์ที่นำมาใช้อัดรีด รูปร่างของชิ้นงานก็จะถูกกำหนดให้เหมาะสมกับลักษณะของการใช้งาน

ปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นกับชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ก็คือ ปัญหาของผิวชิ้นงาน เพราะว่าผิวของชิ้นงานนั้นจะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของชิ้นงานนั้นๆ หนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นกับผิวชิ้นงานของงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ก็คือปัญหา “ทางขาว-ทางดำ” ซึ่งปัญหานี้จะมีลักษณะการเกิดขึ้นเป็นแถบสีเทาขาวเทาไปตามแนวยาวของอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยปกติแล้วปัญหา ทางขาว-ทางดำ จะไม่ปรากฏขึ้นในทันทีหลังจากที่ทำการอัดรีดขึ้นรูป แต่จะปรากฏให้เห็นหลังจากที่ทำการกัดผิวชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ด้วยสารเคมี A.F.M. Arif et al. (2002) เนื่องจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น หากเกิดขึ้นแล้วจะไม่สามารถแก้ไขให้หายไปได้ จึงจำเป็นต้องทำการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหานี้เกิดขึ้น โดยการศึกษากากระบวนการเกิดของปัญหาเพื่อทำการแก้ไขที่ต้นเหตุ แนวทางในการป้องกันการเกิดปัญหาทางขาว-ทางดำคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Gang, Jie and Jurek (2009) เพื่อหาข้อบกพร่องของการออกแบบแม่พิมพ์ที่จะเกิดขึ้น ก่อนที่จะทำการผลิต และหากพบว่าผลการวิเคราะห์ไม่เป็นที่พอใจ กล่าวคือมีแนวโน้มว่าจะเกิดปัญหาขึ้นที่ชิ้นงาน ก็จะมีการปรับปรุงการออกแบบและทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง จนกว่าผลการวิเคราะห์เป็นที่พึงพอใจ และไม่มีปัญหาเกิดขึ้นกับชิ้นงาน จากนั้นจึงนำการออกแบบนั้นไปใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลวงเพื่อลดการเกิดปัญหาทางขาว-ทางดำ ที่บริเวณผิวชิ้นงาน
2. เพื่อแก้ปัญหการเกิด ทางขาว-ทางดำ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
3. เพื่อลดปริมาณการเกิดของเสียในระบบการผลิตอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลวง

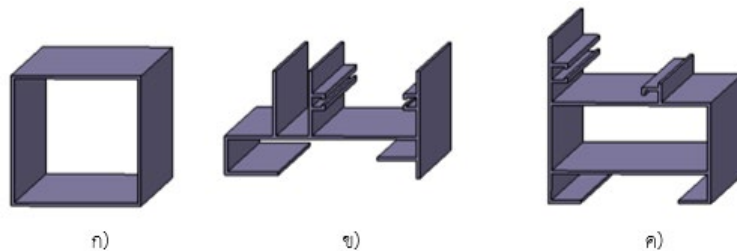
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่เกิดขึ้นกับผิวของชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์แล้วนั้น ผู้วิจัยได้นำปัญหามาศึกษาวิเคราะห์และค้นคว้าหาที่มาของปัญหาจากแหล่งข้อมูลต่างๆ และได้พบว่า A.F.M. Arif et al. (2002) ทำการศึกษาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ในการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียมและผลกระทบต่อต้นทุนการดำเนินการ มีการกล่าวถึงการเกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ บนผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้แรงดันและอุณหภูมิที่สูงเกินไป และไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดเป็นแถบสีเทาเทาบนผิวของชิ้นงาน และจะไม่ปรากฏให้เห็นจนกว่าจะนำชิ้นงานไปทำการกัดกร่อนด้วยสารเคมี จากข้อมูลที่ได้ทราบ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ เพื่อคาดการณ์ผลการอัดรีดที่จะเกิดขึ้น ดังเช่น Pholsongkerah and Sujinda (2015) ทำการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีต โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE เข้ามาช่วยใน

การคำนวณเพื่อทำนายผลความแข็งแรงของแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก และเป็นแนวทางในการออกแบบในขั้นต้น ทำให้เกิดความสะดวกในการทำงาน ในทำนองเดียวกัน งานอัดรีดร้อนอลูมิเนียมโปรไฟล์ Carmai, Decjarern and Prachprayoon (2007) ทำการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการสร้างโมเดลขึ้นงานอัดรีด อลูมิเนียม บนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ Altair® HyperXtrude และจำลองการอัดรีดโดยใช้เงื่อนไขเดียวกับการอัดรีดขึ้นงานจริง ผลที่ได้รับมีความสอดคล้องกับการอัดรีดจริง Zhi-hao Zhang et al. (2012) มีการนำเสนอเทคโนโลยีการสร้างตาข่าย (Mesh) ใหม่โดยอาศัยวิศวกรรมย้อนกลับ มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของโลหะ การกระจายอุณหภูมิ ความเครียดที่หยุดนึ่งในห้องเชื่อมและความเครียดบนแม่พิมพ์ เป็นวิธีการที่ดีสำหรับการออกแบบโครงสร้างแม่พิมพ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียมโปรไฟล์หน้าตัดกลวง รวมถึงการพยากรณ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ Gang, Jie and Jurek (2009) ได้นำกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เข้ามาช่วยในการจำลองการไหลของอลูมิเนียมผ่านแม่พิมพ์อัดรีดแบบสองช่องที่มีความหนาไม่เท่ากัน โดยจำลองแบบ 3D FEM และพบว่าสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะให้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำ ทำให้สามารถลดจำนวนครั้งในการทดลองอัดรีดลงได้ Li et al. (2009) ความก้าวหน้าของการจำลองการอัดขึ้นรูปใน DEFORM-3D โดยจำลองกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณจะให้ผลที่แม่นยำได้ก็ต่อเมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ป้อนเข้าไปในโปรแกรมมีความถูกต้อง มิฉะนั้นแล้วผลที่ได้ อาจจะไม่มีความคลาดเคลื่อนจนทำให้ผลการจำลองผิดพลาดตามไปด้วย

อลูมิเนียมโปรไฟล์

อลูมิเนียมโปรไฟล์ คือ ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างหน้าตัดที่สม่ำเสมอตลอดช่วงความยาว โดยทั่วไปแล้วรูปร่างหน้าตัดของอลูมิเนียมโปรไฟล์นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ หน้าตัดกลวง (Hollow Profile), หน้าตัดตัน (Solid Profile) และหน้าตัดกึ่งกลวง (Semi-hollow profile) ดังแสดงในภาพที่ 1

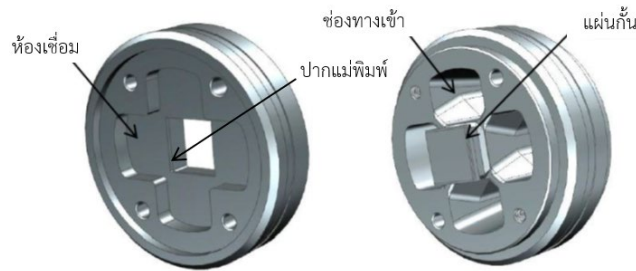


ภาพที่ 1 รูปร่างหน้าตัดของอลูมิเนียมโปรไฟล์ ก) หน้าตัดกลวง (Hollow Profile),
ข) หน้าตัดตัน (Solid Profile) และ ค) หน้าตัดกึ่งกลวง (Semi-hollow profile)

กระบวนการอัดรีดร้อนสำหรับการผลิตอลูมิเนียมโปรไฟล์หน้าตัดกลวง

การอัดรีดอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่มีหน้าตัดกลวง ถือเป็นกระบวนการอัดรีดที่ยากที่สุด เนื่องจากจะต้องใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการอัดรีดงานในลักษณะนี้จะเรียกว่า “Porthole Die” ซึ่งมีลักษณะรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 2 แม่พิมพ์ในลักษณะนี้จะประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักสองชิ้น คือ แผ่นแม่พิมพ์ (Die Plate) และส่วนที่ทำให้อลูมิเนียมโปรไฟล์มีรูกลวง ชิ้นส่วนสองชิ้นนี้จะประกอบเข้าด้วยกันเป็น Porthole Die ในระหว่างกระบวนการอัดรีดนั้น อลูมิเนียมจะถูกดันให้ไหลแยกออกเป็นสี่ส่วนผ่านทางช่องว่างสี่ช่องที่อยู่บริเวณรอบๆ แผ่นกัน (Mandrel) จากนั้นอลูมิเนียมจะไหลเข้าไปเติมเต็มในช่องว่างภายในแม่พิมพ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นห้องเชื่อม

ประสาน (Weld chamber) อลูมิเนียมที่ไหลเข้าไปในห้องเชื่อมประสานจะถูกดันให้เกิดการเชื่อมประสานกันภายใต้แรงดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนที่จะไหลออกมาผ่านทางปากแม่พิมพ์ (Bearing) แผ่นกั้นจะทำหน้าที่กำหนดขนาดของรูกลวงภายในอลูมิเนียมโปรไฟล์ ส่วนแผ่นแม่พิมพ์จะทำหน้าที่กำหนดขนาดรูปร่างภายนอกของอลูมิเนียมโปรไฟล์



ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างของ Porthole Die. Khansai (2013)

สมบัติของอลูมิเนียม 6063-T5

อลูมิเนียมเกรด 6063-T5 เป็นอลูมิเนียมที่มีส่วนประกอบของ magnesium, silicon และส่วนผสมทางเคมีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 เหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไป เน้นหลักในงานโครงสร้างทางวิศวกรรม และชิ้นส่วนของยานยนต์ สามารถผ่านกระบวนการอโนไดซ์ (anodize) และสามารถเชื่อมประสานได้

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมเกรด 6063-T5

AL	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
97.5%	0.1%	0.1%	0.35%	0.45-0.9%	0.1%	0.2-0.6%	0.1%

ปัญหา ทางขาว-ทางดำ

ปัญหา ทางขาว-ทางดำ คือปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับผิวของชิ้นงานอลูมิเนียมอัดรีดร้อน มีลักษณะเป็นเส้นแถบสีขาวเทา คล้ายรอยไหม้ หรือเส้นแถบสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีสาเหตุจากการใช้แรงดันและอุณหภูมิที่สูง และมีความไม่สม่ำเสมอ ปัญหาเหล่านี้มักเกิดขึ้นหลังจากการอัดรีด และจะปรากฏขึ้นหลังจากนำเอาชิ้นงานไปทำการกัดกร่อนด้วยสารเคมี



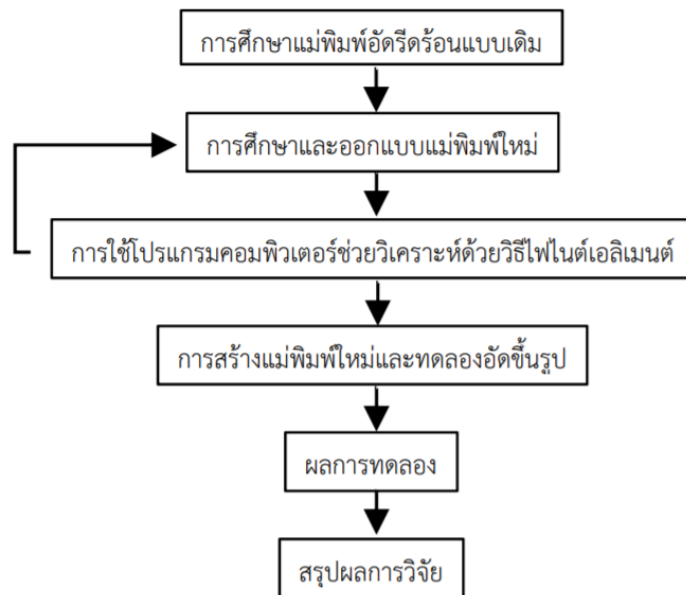
ภาพที่ 3 ปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมอัดรีดร้อน A.F.M.

Arif et al. (2002)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม ซึ่งทางบริษัทที่ได้เข้าร่วมงานวิจัย ได้ทำการผลิตอยู่ จากการศึกษพบว่า แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม เป็นแม่พิมพ์อัดรีดขึ้นงานแบบ 2 ช่องพร้อมกันใช้งานร่วมกับเครื่องอัดรีดขนาด 1,100 ตัน และทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD 61 มีลักษณะการออกแบบการวางโปรไฟล์ขึ้นงานเป็นแบบสี่เหลี่ยม 2 รูป วางคู่ขนานกัน ทำมุม 0 องศา โดยมีหนึ่งด้านของสี่เหลี่ยมหันหน้าเข้าหากัน ดังแสดงในภาพที่ 5



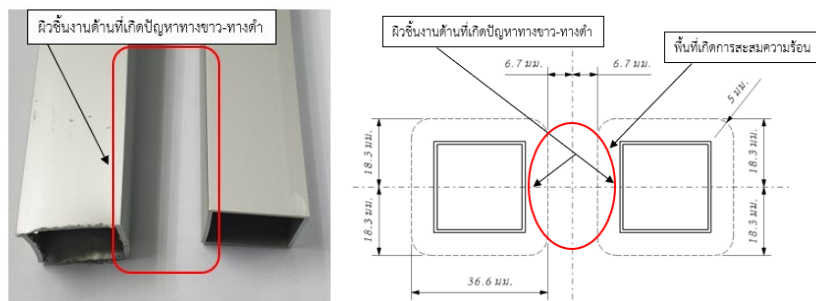
ภาพที่ 5 แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิมที่มีหนึ่งด้านของสี่เหลี่ยมหันเข้าหากัน

การทดลองเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

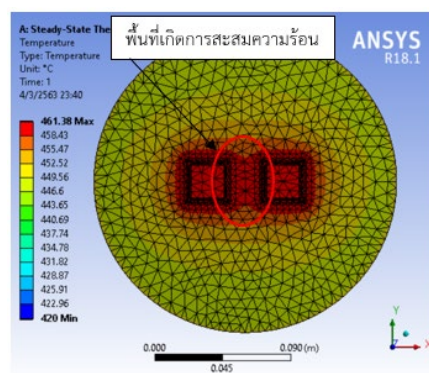
ทำการทดลองอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ ด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิมด้วยเครื่องอัดรีดขนาด 1,100 ตัน โดยใช้แท่งอลูมิเนียม เกรด 6063 T5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ 450 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแท่งอลูมิเนียม 460 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกระบอกอัด 420 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วในการอัด 5 มิลลิเมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การทดลองอัดรีดชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม



ภาพที่ 7 ลักษณะการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม

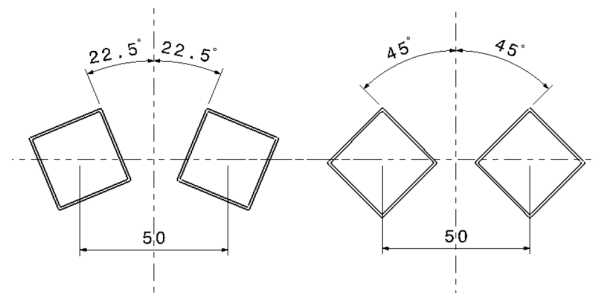


ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการทดลองอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังแสดงในภาพที่ 8 แสดงให้เห็นแล้วว่า บริเวณที่เกิดการสะสมความร้อนจะส่งผลให้ชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ขึ้นที่ผิวชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 7

การออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่

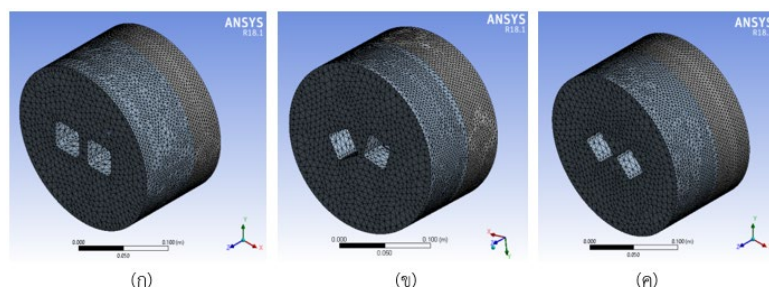
หลังจากทำการศึกษาข้อบกพร่องของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิมแล้ว ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการปรับรูปแบบการวางโปรไฟล์ชิ้นงานใหม่ ให้ชิ้นงานด้านที่หันหน้าเข้าหากันเบียดเบ้นพื้นที่ผิวออกจากกัน ข้างละ 22.5 องศา และ 45 องศา ดังแสดงในภาพที่ 9 เพื่อเปรียบเทียบหาความแตกต่างก่อนตัดสินใจออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่



ภาพที่ 9 ลักษณะการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่ที่ใช้ในการทดลอง

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เพื่อหาแนวทางในการอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่มีความเหมาะสม และลดความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดในการอัดรีด ผู้วิจัยจึงนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เข้ามาช่วยในการเปรียบเทียบและทำนายผลที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ และส่งผลต่อชิ้นงานที่อัดรีด โดยเริ่มจากการสร้างโมเดลแม่พิมพ์อัดรีดร้อนขึ้นมาในโปรแกรม ANSYS 18.1 ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยเลือกใช้เอลิเมนต์แบบปิรามิดฐานสามเหลี่ยม (Tetrahedron) ชนิด 4 โหนด ควบคุมขนาดเฉลี่ยของเอลิเมนต์ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ที่บริเวณจุดเชื่อมต่อหรือรอยต่อใดๆ จะควบคุมขนาดเอลิเมนต์ที่ขนาดเฉลี่ยไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 และตั้งค่าการนำความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD 61 ที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 11 จากนั้น ตั้งค่าเงื่อนไขอุณหภูมิแม่พิมพ์อัดรีดสำหรับการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งการตั้งค่าเงื่อนไขอุณหภูมิแม่พิมพ์ใช้เงื่อนไขเดียวกันกับบริษัทผู้ผลิตที่เข้าร่วมกับโครงการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 3



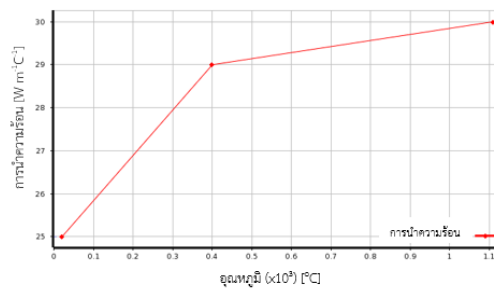
ภาพที่ 10 สร้างแม่พิมพ์จำลองในโปรแกรมวิเคราะห์

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

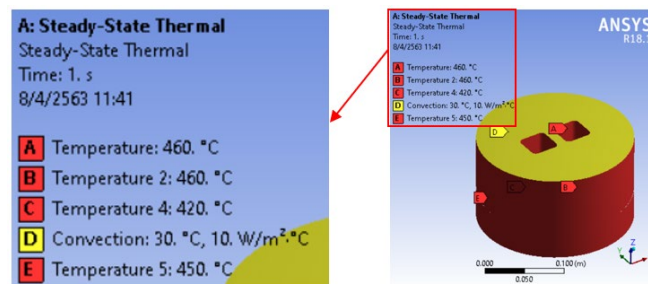
Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

ตารางที่ 2 ผลการตั้งค่าเอลิเมนต์ของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แบบ

แบบแม่พิมพ์	จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนโหนด
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม	83,868	141,861
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา	83,955	142,398
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา	81,179	137,621



ภาพที่ 11 ค่าการนำความร้อนของเหล็ก SKD 61 ที่นำมาทำแม่พิมพ์ Xingshengsteel (2018)

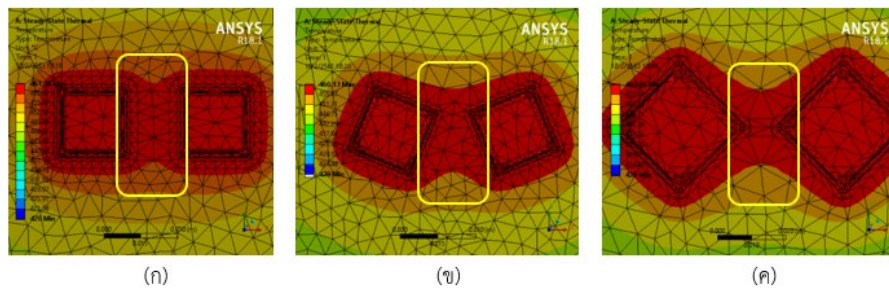


ภาพที่ 12 การตั้งค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ สำหรับการวิเคราะห์

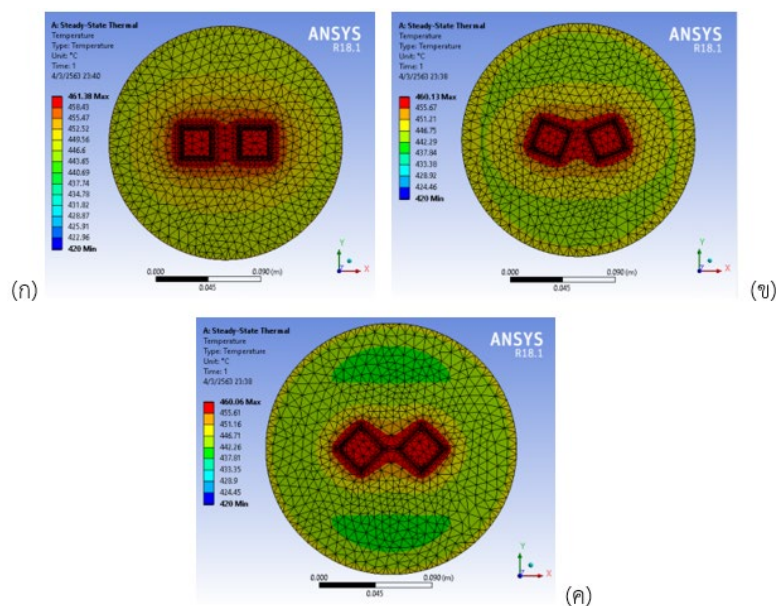
ตารางที่ 3 เงื่อนไขอุณหภูมิในการอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์

เงื่อนไขอุณหภูมิ (Parameter)	ค่ากำหนด (Value)
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature)	450 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิแท่งอลูมิเนียม (Billet Preheat)	460 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกอัด (Container Temperature)	420 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นในภาพที่ 13



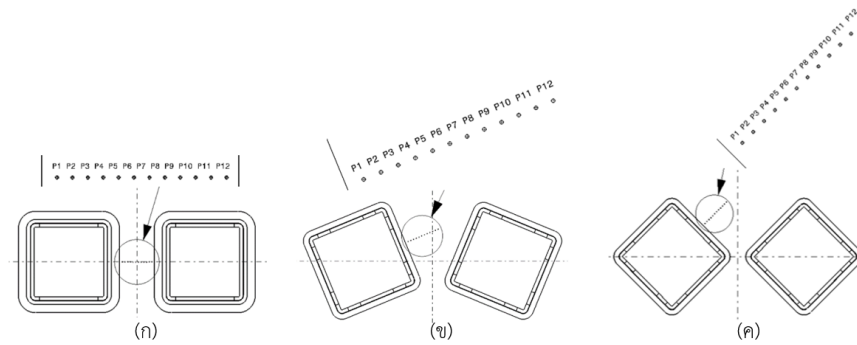
ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ (ก) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม (ข) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา และ (ค) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา



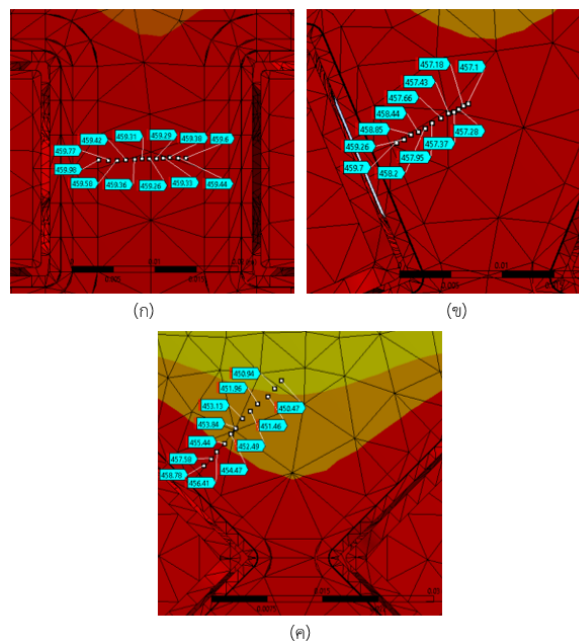
ภาพที่ 14 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ (ก) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม (ข) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา และ (ค) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม ในภาพที่ 13 (ก) อ้างอิงตามภาพที่ 14 (ก) และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา ในภาพที่ 13 (ข) อ้างอิงตามภาพที่ 14 (ข) เกิดความร้อนสะสม ที่บริเวณแกนกลางซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างโปรไฟล์ทั้งสองในลักษณะที่ไม่ต่างกัน แต่แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ในภาพที่ 13 (ค) อ้างอิงตามภาพที่ 14 (ค) ที่บริเวณพื้นที่ว่างระหว่างโปรไฟล์ ทั้งสองเกิดอุณหภูมิสูงสะสมเป็นบริเวณที่แคบลงกว่าแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา

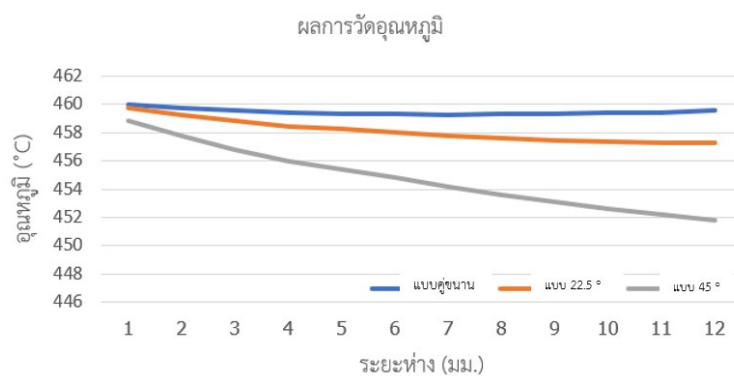
จากผลการวิเคราะห์แม่พิมพ์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม ANSYS 18.1 เมื่อนำผลมาทำการวัดค่าอุณหภูมิในแนวตั้งฉากกับผิวที่เกิดปัญหา ทางขวา-ทางดำ โดยวัดค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นทุก 1 มิลลิเมตร ในแม่พิมพ์ทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 15 จากนั้นนำผลการวัดอุณหภูมิที่ได้ทั้งหมดมาประมวลผล และสร้างเป็นกราฟแสดงผลอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 15 ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิแม่พิมพ์ (ก) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม (ข) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา และ (ค) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา



ภาพที่ 16 การวัดอุณหภูมิแม่พิมพ์จากผลวิเคราะห์



ภาพที่ 17 แสดงอุณหภูมิจากแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม แบบทแยงมุม 22.5 องศา และแบบทแยงมุม 45 องศา

จากภาพที่ 17 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม มีค่าอุณหภูมิสูงเป็นบริเวณกว้างอย่างต่อเนื่อง และมีการลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา มีค่าอุณหภูมิที่สูงเป็นบริเวณกว้างและลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกันกับพิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม แต่แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา มีค่าอุณหภูมิสูงเป็นบริเวณที่แคบลงในจุดที่ใกล้กับผิวของชิ้นงานตรงกึ่งกลางของแม่พิมพ์ และอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ เมื่อจุดตรวจวัดอยู่ห่างจากผิวของชิ้นงานออกไป

การสร้างแม่พิมพ์อัดรีดจากแบบแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบใหม่

เนื่องจากผลการวิเคราะห์แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา ให้ผลความร้อนสะสมที่ใกล้เคียงกับแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม ผู้วิจัยจึงไม่นำแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา มาสร้างแม่พิมพ์ใหม่ แต่แบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา มีผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่าเป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงตัดสินใจ นำการออกแบบของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา มาใช้สร้างแม่พิมพ์ชุดใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 18 ด้วยกระบวนการขึ้นรูปทางกล คือ การกลึง การกัดขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด CNC การอบชุบเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ การขัดผิวเพื่อปรับแต่งรูปร่าง และความเรียบผิว



ภาพที่ 18 แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา

นำแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วนั้นเข้าสู่กระบวนการอัดรีด โดยเริ่มจากการนำแม่พิมพ์เข้าไปอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และติดตั้งเข้ากับเครื่องอัดรีดขนาด 1,100 ตัน ในขณะเดียวกันก็ทำการอบแท่งอลูมิเนียม (Billet) เกรด 6063 T5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ด้วยอุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส จากนั้นนำแท่งอลูมิเนียมที่อบแล้วใส่เข้าไปในกระบอกดัด (Container) ที่ถูกตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 420 องศาเซลเซียส แล้วอัดรีดผ่านแม่พิมพ์ด้วยความเร็วอัด 5 มิลลิเมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ผ่านแม่พิมพ์ด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตร/วินาที

ผลการวิจัย

ภายหลังจากการสร้างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่ จากแบบที่กำหนดและทำการทดลองอัดรีด ซึ่งจากการทดลองได้ผลเปรียบเทียบระหว่างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ดังแสดงในตารางที่ 3

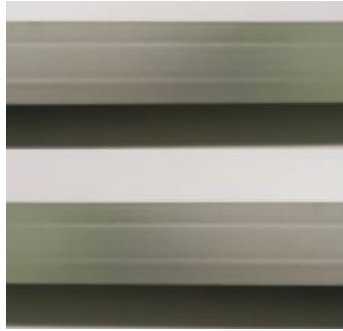
ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปตรวจสอบผิวทั้งหมด โดยการนำชิ้นงานจุ่มลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ผสมในน้ำด้วยอัตราส่วน 35-50 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 5-7 นาที เพื่อกำจัดคราบสิ่งสกปรกที่ผิวชิ้นงานและกัดกร่อนผิวชั้นนอกเพื่อให้เห็นผิวที่แท้จริงของชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์

ทำการตรวจพินิจด้วยสายตา (Visual Test) โดยกำหนดเกณฑ์การตรวจสอบมุ่งเน้นไปที่เรื่องคุณภาพผิวของชิ้นงาน หากพบว่าชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ชิ้นงานก็จะไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ และถือเป็นของเสียจะต้องถูกนำไปกำจัด

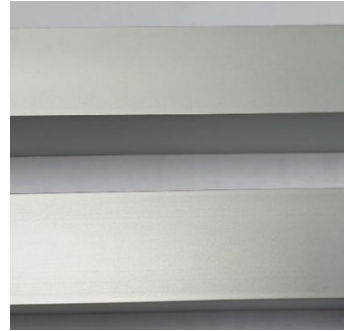
จากการตรวจสอบพบว่า ชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่ผ่านการอัดรีดด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่ผิวชิ้นงาน 12 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง แต่ชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่ผ่านการอัดรีดด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่ผิวชิ้นงานเพียง 1 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 ผลเปรียบเทียบระหว่างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา

แบบแม่พิมพ์	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพดี	เกิด ทางขาว-ทางดำ	ปริมาณของเสีย (ร้อยละ)
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม	24 เส้น	12 เส้น	12 เส้น	50
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา	24 เส้น	23 เส้น	1 เส้น	4



ภาพที่ 20 ชิ้นงานที่เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ



ภาพที่ 21 ชิ้นงานที่มีคุณภาพดี

อภิปรายผล

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นแล้วว่า การออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม จะมีการเก็บสะสมอุณหภูมิสูงที่บริเวณแกนกลางของแม่พิมพ์เป็นพื้นที่กว้าง แต่เมื่อปรับการออกแบบเป็นแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ช่วยลดพื้นที่การเก็บสะสมอุณหภูมิสูงให้มีบริเวณที่แคบลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง คือ พบว่าเมื่อทำการปรับการออกแบบแม่พิมพ์จากแบบเดิม เป็นแบบทแยงมุม 45 องศา ทำให้ลดปริมาณการเกิดของเสียลงจาก 50 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นนั้นเป็นต้นทุนการผลิตที่สูงเกินไป เพราะนอกจากจะนำไปจำหน่ายไม่ได้ ยังต้องมีค่าใช้จ่ายในการจัดการกับของเสียเหล่านั้นอีกเป็นจำนวนมาก

ข้อเสนอแนะ

การนำผลวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของชิ้นงานที่ทำการผลิตประกอบด้วย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของชิ้นงาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนภายใต้ความร่วมมือของ บริษัท เมืองทองอุตสาหกรรมอลูมิเนียม จำกัด และโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- A.F.M. Arif, A. K., Sheikh, S.Z., Qamar, M.K., Raza, K.M. and Al-Fuhaid (2002). Product defects in aluminum extrusion and its impact on operational cost. *The Proceedings of the 6th Saudi Engineering Conference*, 14-17 December 2002 at Dhahran, 137-154.
- Gang, F., Jie, Z., Jurek, D. (2009) FEM simulation of aluminium extrusion through two-hole multi-step pocket dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1891–1900.

- Khansai, K. (2013). *Die live Improvement for Hot Extrusion Process by Using Geometrical Approach*. Thesis of the Degree of Master of Production Engineering. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (in Thai)
- Li, G. J., Yang, J. Y., Oh, M. Foster, W. Wu, P., Tsai et al. (2009) Advancements of extrusion simulation in DEFORM-3D. *The Proceedings of the International Conference on Extrusion and Benchmark*, September 16-17, 2009, at Dortmund, Germany, SFTC paper#422.
- Prachprayoon, P., Decjarern, S. and Carmai, J. (2007). Extrusion die design using finite element method. *The Proceedings of the 21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, 17-19 October 2006 at Chon Buri, 959-962. (in thai)
- Pholsongkerah, Y. and Sujinda, C. (2015). A study to determine optimal thickness for reinforced concrete flat slab using 3D plate finite element using CSI SAFE program. *Sripatum Review of Science and Technology*, 7, 39-46. (in Thai)
- Sriprapai, D. (2001). The study of flow stress for AA 6063 aluminum alloy at elevated temperature. *The Proceedings of the 39th Kasetsart University annual Conference*, 5-7 February 2001 at King Mongkut's University of Technology Thonburi, 359-365. (in Thai)
- Xingshengsteel. (2018). *AISI H13 / 1.2344 / SKD 61*. [Online]. Retrieved October 11, 2019, from: <http://www.round-bars.com/products/h13-skd61-hot-work-tool-steel/>.
- Zhi-hao, Z., Wen-rong, H., Dong-nan, H. and Jian-xin, X. (2012). Mesh Reconstruction Technology of Welding Process in 3D FEM Simulation of Porthole Extrusion and Its Application. *Procedia Engineering*, 36, 253–260.

แอปพลิเคชันส่งเสริมการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุผ่านสมาร์ทโฟนแอนดรอยด์

น้ำเพ็ญ พรหมประสิทธิ์^{1,*}, สุภาวดี มากอัน², สมชาย ตูละ³

^{1,2,3}วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Received: 15 March 2020

Revised: 9 October 2020

Accepted: 12 October 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ข้อ คือ (1) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุบนสมาร์ทโฟนแอนดรอยด์ และ (2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุบนสมาร์ทโฟนแอนดรอยด์ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแอปพลิเคชันออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุนี้อายุระหว่าง 60-69 ปี โดยแอปพลิเคชันแนะนำ 2 เรื่อง คือ (1) การบริหารกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย การบริหารกล้ามเนื้อส่วนบน การบริหารร่างกายส่วนแกนกลางลำตัว และกายบริหารร่างกายส่วนล่าง (2) การบริหารร่างกาย ประกอบด้วย การเดิน/วิ่ง รำไม้พลอง และรำมวยจีน โดยกลุ่มประชากรในการวิจัยครั้งนี้คือ ผู้สูงอายุจาก 16 อำเภอ ในจังหวัดสงขลา จำนวน 105,312 คน กลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 400 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบชั้นภูมิ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบสอบถาม โดยแบบสอบถามดังกล่าวได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญ มีระดับความเชื่อมั่น 0.85 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ผลการวิจัยพบว่า (1) ผู้สูงอายุสามารถใช้งานแอปพลิเคชันสำหรับการออกกำลังกายได้ด้วยตนเองตามคำแนะนำต่างๆ ที่มีในแอปพลิเคชัน และ (2) ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจการทำงานของระบบมากที่สุด ($\bar{X} = 4.46$)

คำสำคัญ : แอปพลิเคชัน ผู้สูงอายุ การออกกำลังกาย

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล : nampen.p@rmuts.ac.th

An Application of Doing Exercise for the Elderly People on Android Smartphone

Nampen Promprasit^{1,*}, Supawadee Mak-on², Somchai Thula³

^{1,2,3}Rattaphum College, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Received: 15 March 2020

Revised: 9 October 2020

Accepted: 12 October 2020

ABSTRACT

This research has 2 objectives: (1) to develop an application to promote doing exercise for the elderly people on Android smartphones; and (2) to study the satisfaction of elderly people with the application to promote doing exercise for the elderly people on Android smartphones. In this research, an application to promote doing exercise was developed for the elderly people who were between 60-69 years old. The application displayed 2 types of exercise: (1) muscle stretches demonstration including the upper body stretches, core body stretches, and lower body stretches, and (2) physical exercises including jogging and running, stick workout, and Tai Chi. The population in this study comprised 105,312 elderly people from 16 districts in Songkhla province; while the samples used in this study were 400 people selected by using the stratified random sampling method. The instrument used in the study was a questionnaire which was evaluated by the experts and had the reliability coefficient of 0.85. Statistics used for data analysis were the mean and standard deviation. The research results reveal that (1) the elderly people can utilize the application to promote doing exercise by themselves based on the instructions provided in the application; and (2) the overall satisfaction of the elderly people with the application is at the high level (mean = 4.40). When specific aspects of the application are considered, it is found that the elderly people are satisfied with the work performance system of the application at the highest level (mean = 4.46).

Keywords: Application, Elderly people, Exercise

* Corresponding Author; Email: nampen.p@rmuts.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) ประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต ศักยภาพทางเศรษฐกิจ และสภาพทางสังคมในด้านต่างๆ โครงสร้างประชากรไทยได้เปลี่ยนแปลงเข้าสู่สังคมสูงวัยมากขึ้น โดยสัดส่วนผู้สูงอายุจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 19.8 ของจำนวนประชากรทั้งหมด ในขณะที่จำนวนประชากรวัยแรงงานได้เริ่มลดลงมาตั้งแต่ปี 2558 จากสถานการณ์ผู้สูงอายุไทยประเทศในอาเซียนที่เป็นสังคมสูงอายุแล้ว 3 ประเทศ คือ สิงคโปร์ (ร้อยละ 20) ไทย (ร้อยละ 17) และเวียดนาม (ร้อยละ 11) ในปี 2560 ประเทศไทยมีประชากรสูงอายุ 60 ปีขึ้นไป 11 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 17 ของประชากรทั้งหมด 65.5 ล้านคน คาดว่าประมาณ พ.ศ. 2564 ประเทศไทยจะกลายเป็น “สังคมสูงอายุอย่างสมบูรณ์” (Complete Aged Society) เมื่อมีสัดส่วนประชากรอายุ 60 ปี ขึ้นไปสูงถึงร้อยละ 20 จำนวนประชากรสูงอายุในประเทศไทย และอีก 20 ปีข้างหน้า ประเทศไทยจะมีประชากรสูงอายุมากถึง 20 ล้านคน และที่สำคัญ คือ กลุ่มประชากรสูงอายุวัยปลาย (อายุ 80 ปีขึ้นไป) จะเพิ่มขึ้นอย่างมากจาก 1.5 ล้านคน ในปี 2560 เป็น 3.5 ล้านคนในอีก 20 ปีข้างหน้า สถานการณ์ผู้สูงอายุไทยในปี 2560 พบว่า ประชากรสูงอายุไทยยังมีปัญหาเรื่องสุขภาพ ผู้สูงอายุที่อยู่ในภาวะช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ ไม่สามารถประกอบกิจวัตรพื้นฐาน คือ กินอาหารเอง เข้าห้องน้ำเอง แต่งตัวได้เอง มากถึงร้อยละ 5 โดยเฉพาะผู้สูงอายุวัยปลายที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ มีมากถึงร้อยละ 19 ของผู้สูงอายุในวัยเดียวกัน และมีปัญหาเรื่องการเป็นโรคไม่ติดต่อ เช่น โรคเบาหวาน ความดันเลือดสูง โรคเหล่านี้อาจเป็นผลมาจากพฤติกรรมของคนไทยตั้งแต่ก่อนวัยสูงอายุจนเป็นผู้สูงอายุ เช่น การกินอาหาร การออกกำลังกาย การสูบบุหรี่ การดื่มแอลกอฮอล์ (Foundation of Thai Gerontology Research and Development Institute, 2018) และด้วยสภาพสังคมไทยในปัจจุบันผู้สูงอายุได้รับการดูแลจากครอบครัวน้อยลง เพราะลูกหลานต้องออกไปทำงานหาเลี้ยงครอบครัว ผู้สูงอายุจึงต้องดูแลตัวเองหรือต้องได้รับการดูแลจากหน่วยงานที่รับรองและควบคุมคุณภาพการปฏิบัติการดูแลผู้สูงอายุของผู้ช่วยดูแลที่ผ่านหลักสูตรการฝึกอบรม ซึ่งในขณะนี้ประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานที่รับรอง (Wuttikorn, Wiroomrat and Suwanabol, 2016)

การออกกำลังกายเป็นวิธีการดูแลสุขภาพขั้นพื้นฐานที่ผู้สูงอายุสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเองง่ายๆ สะดวกและทำได้อย่างสม่ำเสมอ แต่จะอย่างไรให้ผู้สูงอายุสามารถเข้าถึงข้อมูลการออกกำลังกายได้สะดวกและรวดเร็วที่สุด และการส่งเสริมให้ผู้สูงอายุตระหนักถึงประโยชน์ของการออกกำลังกายอย่างจริงจัง เนื่องจากกลุ่มผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีพฤติกรรมด้านการออกกำลังกายน้อย จากงานวิจัยของ Paosungnoen et al. (2015) พบว่า พฤติกรรมการส่งเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุ พบว่า พฤติกรรมการส่งเสริมสุขภาพด้านโภชนาการ มีคะแนนสูงสุด รองลงมา คือ ด้านการจัดการความเครียดและด้านการออกกำลังกาย ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Konkaew (2014) พบว่า ผู้สูงอายุมีพฤติกรรมสุขภาพอยู่ในระดับปานกลางทุกด้าน โดยมีพฤติกรรมด้านการรับประทานอาหารเป็นพฤติกรรมที่ดีที่สุด รองลงมาคือ การปฏิบัติตนในภาวะเจ็บป่วย การจัดการความเครียด และมีพฤติกรรมการออกกำลังกายแย่มากที่สุด ซึ่งปัญหาของการออกกำลังกายของผู้สูงอายุอาจเกิดจากหลายปัจจัย จากงานวิจัยของ Sukanun et al. (2014) พบว่า ผู้สูงอายุส่วนใหญ่ มีความรู้เกี่ยวกับการออกกำลังกาย ทักษะคิดในการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ การรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกาย และพฤติกรรมการออกกำลังกายอยู่ในระดับปานกลาง แต่มีแรงสนับสนุนทางสังคมให้ออกกำลังกายอยู่ในระดับมาก พฤติกรรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกาย แรงสนับสนุนทางสังคม และทัศนคติในการออกกำลังกายเพื่อ

สุขภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukanun et al. (2014) ได้เสนอแนะว่าต้องตระหนักในการส่งเสริมสุขภาพ ผู้สูงอายุให้รับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกายมากขึ้น เพื่อให้เกิดทัศนคติที่ดีในการดูแลสุขภาพของตนเองอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าการที่ผู้สูงอายุรับรู้หรือมีข้อมูลเกี่ยวกับการออกกำลังกายจะช่วยสนับสนุนและส่งเสริมให้ผู้สูงอายุมีการออกกำลังกายมากขึ้น จากงานวิจัยของ Chantem et al. (2019) ได้ศึกษาความต้องการของผู้สูงอายุที่มีต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้การเรียนรู้ร่วมกัน เรื่อง การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ โดยภาพรวม ผู้สูงอายุมีความต้องการใช้แอปพลิเคชัน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.69$)

จากปัญหาด้านสุขภาพของผู้สูงอายุที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุที่เพิ่มขึ้น หากผู้สูงอายุมีวิธีการดูแลตนเองให้มีสุขภาพร่างกายแข็งแรง สามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ จะช่วยให้ภาครัฐลดภาระค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุที่อยู่ว่างๆ เจ็บป่วยลดลง อีกทั้งยังช่วยลดประชากรในสังคมผู้สูงอายุ ทั้งยังจะช่วยเพิ่มจำนวนประชากรในวัยทำงานมากขึ้น จากเห็นผลและความสำคัญข้างต้นผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาแอปพลิเคชันการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์ขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเข้าถึงได้สะดวกและรวดเร็ว สามารถพกพาไปยังที่ต่างๆ ได้ง่าย ผู้สูงอายุสามารถเรียนรู้ข้อมูลและทำกิจกรรมออกกำลังกายได้ในทุกช่วงเวลาที่ต้องการ ทั้งนี้นอกจากจะเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้สูงอายุออกกำลังกายมากขึ้นแล้ว ยังช่วยส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้สูงอายุตระหนักถึงการดูแลและรักษาสุขภาพของตนเอง โดยใช้แอปพลิเคชันการออกกำลังกายเป็นตัวควบคุมดูแล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันการออกกำลังกายบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย

แอปพลิเคชันออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุที่มีอายุระหว่าง 60-69 ปี ซึ่งแสดงข้อมูลแนะนำ 2 เรื่อง คือ (1) การบริหารกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย การบริหารกล้ามเนื้อส่วนบน การบริหารร่างกายส่วนแกนกลางลำตัว และ การบริหารร่างกายส่วนล่าง (2) การบริหารร่างกาย ประกอบด้วย การเดิน/วิ่ง รำไม้พลอง และรำมวยจีน โดยมีกลุ่มประชากรเป็นผู้สูงอายุที่มีอายุระหว่าง 60-69 ปี ที่อาศัยอยู่ในจังหวัดสงขลา จำแนกตามอำเภอจำนวน 16 อำเภอ คือ เมืองสงขลา สทิงพระ ระโนด กระแสสินธุ์ สิงหนคร หาดใหญ่ รัตภูมิ ควนเนียง บางกล่ำ นาหม่อม คลองหอยโข่ง สะเดา จะนะ นาทวี เทพา และสะบ้าย้อย ทั้งหมดจำนวน 105,312 คน ตามสูตรของทาโร ยามาเน ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 398 คน ปรับเป็น 400 คน โดยวิธีการสุ่มแบบชั้นภูมิในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

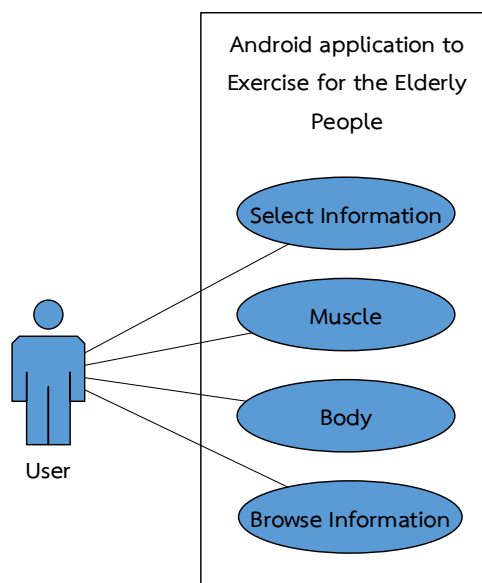
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาแอปพลิเคชันออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ ได้ทำการพัฒนาตามรูปแบบ System Development Life Cycle (SDLC) ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอน คือ

1.1 การกำหนดปัญหา (Problem Definition) ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนา ศึกษาข้อมูลเอกสาร กำหนดความต้องการและองค์ประกอบในการสร้างแอปพลิเคชันออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ

1.2 การวิเคราะห์ (Analysis) ได้ศึกษาข้อมูลและกำหนดขอบเขตเนื้อหาการพัฒนาแอปพลิเคชัน ออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุในช่วง 60-69 ปี โดยแบ่งออกเป็น 2 เรื่อง คือ (1) การบริหารกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย การบริหารกล้ามเนื้อส่วนบน การบริหารร่างกายส่วนแกนกลางลำตัว และกายบริหารร่างกายส่วนล่าง (2) การบริหารร่างกาย ประกอบด้วย การเดิน/วิ่ง รำไม้พลอง และรำมวยจีน

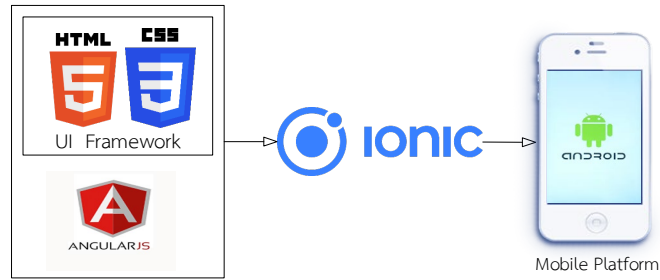
1.3 การออกแบบ (Design) ส่วนของการทำงานของระบบที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ที่มีต่อฟังก์ชันต่างๆ อธิบาย โดยแผนภาพยูเอ็มแอล (UML) นำเสนอเป็นแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) แสดงถึงขอบเขตของการทำงานของระบบที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ที่มีต่อฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถระบุความต้องการข้อมูลออกกำลังกายได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ การบริหารกล้ามเนื้อ และการบริหารร่างกาย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพยูสเคสของแอปพลิเคชัน

ส่วนการออกแบบหน้าจอเน้นสื่อข้อมูลด้วยรูปภาพแทนตัวอักษร และเลือกใช้สีชมพูเป็นพื้นหลัง เพื่อให้ตัดข้อความและรูปภาพที่มีสีขาวหรือสีดำให้มีความเด่นชัดมากขึ้น และเน้นสื่อข้อมูลด้วยวิดีโอแทนตัวอักษร เพื่อให้มีความชัดเจนและครบถ้วนในข้อมูล ผู้ใช้สามารถฝึกปฏิบัติตามได้

1.4 การพัฒนา (Development) ดำเนินการพัฒนาแบบ Hybrid Mobile Application โดยใช้เทคโนโลยี Ionic Framework 4 และใช้ภาษา typescript ในการพัฒนา ใช้ AngularJS ในการสร้างเทมเพลต ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การพัฒนาของระบบ

1.5 การทดสอบ (Testing) นำแอปพลิเคชันที่พัฒนามาทำการทดลองใช้งานบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟน (Smartphone) และแท็บเล็ต (Tablet) ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และหากมีการทำงานผิดพลาดก็นำไปแก้ไข จนกว่าจะได้แอปพลิเคชันตามที่ไว้วิเคราะห์และออกแบบไว้

1.6 การติดตั้ง (Implementation) นำแอปพลิเคชันอัปโหลดเข้าสู่ระบบ Google play

1.7 การบำรุงรักษา (Maintenance) การตรวจสอบข้อมูลความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างใช้งานและดำเนินการแก้ไข

2. การสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย
เป็นแบบสอบถามจะเป็นข้อคำถามปลายปิด (Close-Ended Question) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นแบบสำรวจรายการ (Checklist) แบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 4 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ สถานะภาพ โรคประจำตัว ตอนที่ 2 พฤติกรรมการออกกำลังกาย จำนวน 5 ข้อ ได้แก่ วิธีการออกกำลังกาย สถานที่ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ ความถี่ในการออกกำลังกาย ระยะเวลาในการออกกำลังกายโดยเฉลี่ยต่อครั้ง เป้าหมายในการออกกำลังกาย และตอนที่ 3 พฤติกรรมการใช้แอปพลิเคชันออกกำลังกาย จำนวน 3 ข้อ ได้แก่ จำนวนแอปพลิเคชันออกกำลังกายที่ท่านใช้ปัจจุบัน ความถี่ในการใช้งานแอปพลิเคชันออกกำลังกายของท่านในปัจจุบัน ระยะเวลาในการใช้งานแอปพลิเคชันออกกำลังกายของท่าน (โดยเฉลี่ยต่อครั้ง)

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ลักษณะของแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านการทำงานของระบบ ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ ด้านข้อมูลและเนื้อหา และด้านการนำไปใช้ประโยชน์

นำแบบสอบถามไปทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และนำแบบสอบถามที่ได้ไปทดสอบกับผู้สูงอายุที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แต่มีลักษณะเช่นเดียวกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน เพื่อเป็นการตรวจสอบภาษา ความเข้าใจในการตอบคำถามความคงที่ ของแบบสอบถาม และนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบความเชื่อมั่น โดยหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ผลการวิเคราะห์ ค่าความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับ 0.85

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การใช้งานแอปพลิเคชัน โดยผู้วิจัยนำแอปพลิเคชันให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งาน ซึ่งสามารถเลือกใช้งานได้ตามรูปแบบการออกกำลังกายที่มีในระบบ ซึ่งแบ่งลักษณะการใช้งานออกเป็น 2 เรื่อง คือ

1.1 การบริหารกล้ามเนื้อ แบ่งออก 3 ส่วน คือ

(1) การบริหารกล้ามเนื้อส่วนบน ประกอบด้วย 5 ท่า คือ ท่าที่ 1 แกว่งแขนสูงกำมือ-แบมือ ท่าที่ 2 กางแขนยกมือขึ้นเหนือศีรษะให้หลังมือแตะกัน ท่าที่ 3 กางศอก ท่าที่ 4 หุบศอก และท่าที่ 5 กำหมัดชูแขน

(2) การบริหารร่างกายส่วนแกนกลางลำตัว ประกอบด้วย 3 ท่า คือ ท่าที่ 1 เหยียดแขนบิดลำตัว ท่าที่ 2 ยกเข้า-บิดตัว และท่าที่ 3 นอนหงาย ยกขา ยกแขน

(3) การบริหารกล้ามเนื้อส่วนล่าง ประกอบด้วย 7 ท่า คือ ท่าที่ 1 ย่ำเท้ายกเข่าสูง ท่าที่ 2 ย่ำเท้าองขา ยกส้นเท้า ท่าที่ 3 ย่อเข่า ท่าที่ 4 นอนหงายชันเข่ายกสะโพกสูง ท่าที่ 5 ย่อเข่าก้าวด้านข้าง ท่าที่ 6 ท่ายืนยกขา และท่าที่ 7 ท่ายืนกางขา

1.2 การบริหารร่างกาย แบ่งออก 3 ประเภท คือ

(1) เดิน/วิ่ง ประกอบด้วย 3 ท่า คือ เดินเร็ว เดินช้า วิ่งช้า

(2) รำไม้พลอง ประกอบด้วย 5 ท่า คือ ท่าที่ 1 กังหัน ท่าที่ 2 นกบิน ท่าที่ 3 วายน้ำ ท่าที่ 4 ตีเข้า ท่าที่ 5 เตะขา ดังภาพที่ 18

(3) รำมวยจีน ประกอบด้วย 8 ท่า คือ ท่าที่ 1 ฝ่ามือทะลุฟ้า ท่าที่ 2 พนมมือหน้าหลัง ท่าที่ 3 ดันฟ้า กดดิน ท่าที่ 4 แผลงศรซ้าย-ขวา ท่าที่ 5 ก้มหน้ามองเท้า ฝ่ามือยันภูผา ท่าที่ 6 บิดเอว มองฟ้าดูดิน ท่าที่ 7 หงส์กางปีก ดัดหลัง และท่าที่ 8 สองเท้ากระแทก ไร่ไรศร

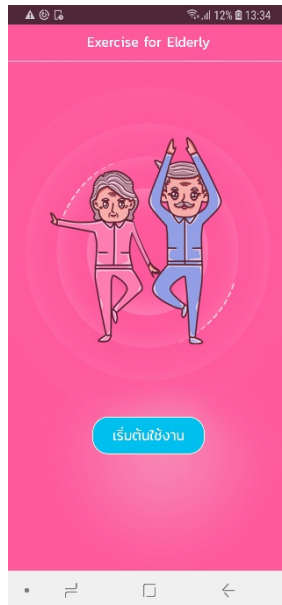
2. การศึกษาความพึงพอใจ โดยนำแบบสอบถามความพึงพอใจที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือแล้วไปให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน ดำเนินการจัดทำแบบสอบถามเสร็จแล้ว ผู้วิจัยจึงดำเนินการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถามและนำข้อมูลมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean : $\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD)

ผลการวิจัย

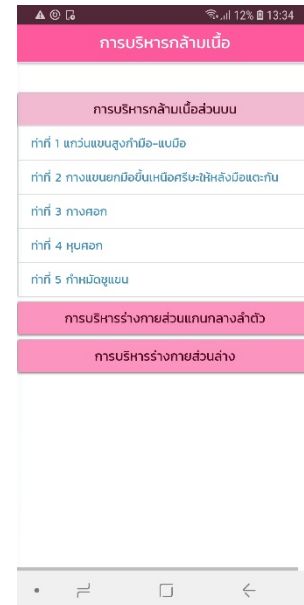
จากการพัฒนาแอปพลิเคชันออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ สามารถแสดงผลแอปพลิเคชันออกกำลังกายการบริหารกล้ามเนื้อ ได้แก่ การบริหารกล้ามเนื้อส่วนบน การบริหารกล้ามเนื้อส่วนแกนกลางลำตัว การบริหารร่างกายส่วนล่าง และ การออกกำลังกาย ได้แก่ เดิน/วิ่ง รำไม้พลอง รำมวยจีน ซึ่งทำออกกำลังกายทุกท่า แสดงในรูปแบบของสื่อวีดิทัศน์ ประกอบคำบรรยาย และอธิบายขั้นตอนการออกกำลังกายทุกท่าอย่างละเอียดทั้งท่าเตรียมและท่าปฏิบัติ ดังภาพภาพที่ 3-ภาพที่ 8



ภาพที่ 3 หน้าแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 4 การออกกำลังกาย



ภาพที่ 5 การบริหารกล้ามเนื้อ



ภาพที่ 6 ท่าที่ 2 กางแขนยกมือขึ้นเหนือศีรษะให้หลังมือแตะกัน



ภาพที่ 7 การบริหารกล้ามเนื้อ



ภาพที่ 8 ท่าที่ 3 ว่ายน้ำ

ความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย แบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ ด้านการทำงานของระบบ ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ ด้านข้อมูลและเนื้อหา และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ แสดงดังตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1 ความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านการทำงานของระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
เมนูการใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4.44	0.54	มาก
มีการแบ่งหมวดหมู่เนื้อหาชัดเจน	4.51	0.58	มาก
ความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูล	4.42	0.53	มาก
รวม	4.46	0.55	มาก

จากผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านการทำงานของระบบพบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.46 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจมากที่สุดคือ มีการแบ่งหมวดหมู่เนื้อหาชัดเจน มีค่าเฉลี่ย 4.51 รองลงมา เมนูการใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน มีค่าเฉลี่ย 4.44 และความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูล มีค่าเฉลี่ย 4.42 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
การจัดวางรูปแบบง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	4.43	0.55	มาก
สวยงาม ทันสมัย และน่าสนใจ	4.28	0.65	มาก
ขนาดและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย สวยงาม	4.38	0.59	มาก
แสดงข้อมูลภาพ เสียง รวดเร็ว	4.30	0.56	มาก
รวม	4.35	0.59	มาก

จากผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบพบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.35 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจมากที่สุด คือ การจัดวางรูปแบบง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 4.43 รองลงมา ขนาดและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย สวยงาม มีค่าเฉลี่ย 4.38 และแสดงข้อมูลภาพ เสียง รวดเร็ว มีค่าเฉลี่ย 4.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านข้อมูลและเนื้อหา

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
ถูกต้อง ครบถ้วน และเชื่อถือได้	4.34	0.57	มาก
ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานครบถ้วน ตรงประเด็น	4.46	0.57	มาก
ภาษาสื่อความหมายชัดเจน	4.38	0.59	มาก
วิดีโอสื่อความหมายเข้าใจง่าย	4.42	0.58	มาก
รวม	4.40	0.58	มาก

จากผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านข้อมูลและเนื้อหาพบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.40 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจ

มากที่สุด คือ ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานครบถ้วน ตรงประเด็น มีค่าเฉลี่ย 4.46 รองลงมา วีดีโอสื่อความหมายเข้าใจง่าย มีค่าเฉลี่ย 4.42 และถูกต้อง ครบถ้วน และเชื่อถือได้ มีค่าเฉลี่ย 4.34 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
สามารถนำไปใช้ในการออกกำลังกายได้	4.43	0.58	มาก
นำไปถ่ายทอดให้แก่บุคคลอื่น	4.34	0.56	มาก
ประโยชน์ต่อผู้ใช้	4.37	0.52	มาก
รวม	4.38	0.55	มาก

จากผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย ด้านการนำไปใช้ประโยชน์พบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.38 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจมากที่สุดคือ สามารถนำไปใช้ในการออกกำลังกายได้ มีค่าเฉลี่ย 4.43 รองลงมา ประโยชน์ต่อผู้ใช้ มีค่าเฉลี่ย 4.37 และนำไปถ่ายทอดให้แก่บุคคลอื่น มีค่าเฉลี่ย 4.34 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจของผู้สูงอายุต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกาย

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการทำงานของระบบ	4.46	0.55	มาก
ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ	4.35	0.59	มาก
ด้านข้อมูลและเนื้อหา	4.40	0.58	มาก
ด้านการนำไปใช้ประโยชน์	4.38	0.55	มาก
รวม	4.40	0.57	มาก

จากผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกายในภาพรวม พบว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.40 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจมากที่สุด คือ ด้านการทำงานของระบบ มีค่าเฉลี่ย 4.45 รองลงมา ด้านข้อมูลและเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.40 และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ มีค่าเฉลี่ย 4.38 ตามลำดับ

อภิปรายผล

การพัฒนาแอปพลิเคชันการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ Exercise for Elderly โดยติดตั้งบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สำหรับผู้สูงอายุ 60-69 ปี ซึ่งผู้สูงอายุมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันออกกำลังกายอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.40 และมีความคิดเห็นว่าแอปพลิเคชันออกกำลังกายมีลักษณะเด่นในด้านการทำงานของระบบ คือ มีการแบ่งหมวดหมู่เนื้อหาชัดเจน ทำให้การเข้าถึงข้อมูลง่าย สามารถเลือกข้อมูลจาก 2 ส่วน คือ (1) การบริหารกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย การบริหารกล้ามเนื้อส่วนบน การบริหารร่างกายส่วนแกนกลางลำตัว และกายบริหารร่างกายส่วนล่าง และ (2) การบริหารร่างกาย ประกอบด้วย การเดิน/วิ่ง รำไม้พลอง และรำมวยจีน

ซึ่งแต่ละส่วนแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ อีก 3 ประเภท ประกอบด้วยท่าทางในการออกกำลังกายแบบต่างๆ ซึ่งนำเสนอในรูปแบบของสื่อวีดิทัศน์ ประกอบคำบรรยายและคำอธิบายขั้นตอนการออกกำลังกายอย่างละเอียด ทำให้ผู้สูงอายุเกิดความเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามท่าออกกำลังกายได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ต้องมีผู้แนะนำการออกกำลังกาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Giyasak and Imamornchai (2015) พบว่า แอปพลิเคชันสมุนไพรรักษาสุขภาพบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มีการจัดหมวดหมู่ข้อมูลสมุนไพรรักษาให้ค้นหาได้ง่ายและสามารถเข้าถึงข้อมูลสมุนไพรรักษาได้ง่าย นอกจากนี้การพัฒนาแอปพลิเคชันออกกำลังกายทำให้ผู้สูงอายุสามารถออกกำลังกายได้ทุกที่ทุกเวลา โดยไม่ต้องเดินทางไปออกกำลังกายในสถานที่ออกกำลังกาย เป็นการประหยัดเวลาและสร้างแรงจูงใจให้การออกกำลังกายให้เป็นเรื่องที่ย่างลดข้อจำกัดทางด้านสถานที่และเวลา อำนวยความสะดวกทางด้านเวลาทำให้ผู้สูงอายุเปิดใจในการใช้แอปพลิเคชันในการดำรงชีวิตมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chantem, Chuathong and Supinanont (2019) พบว่า การพัฒนา แอปพลิเคชันโดยใช้การเรียนรู้ เรื่อง การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ มีคุณภาพทั้งด้านเนื้อหาและสื่อเทคโนโลยี ทำให้มีความเหมาะสม น่าสนใจและทันสมัย สามารถเรียนรู้จากสื่อแอปพลิเคชันได้ทุกที่ทุกเวลา ใช้งานง่าย สะดวกต่อการเรียนรู้ของผู้สูงอายุ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gulatee, Pongthanoo and Sakunrasrisuay (2019) พบว่า ผู้ป่วยเบาหวานส่วนใหญ่มองมีความพึงพอใจด้านภาพรวมของโปรแกรมประยุกต์ในระดับมาก คือ ความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ที่มีส่วนช่วยในการดำรงชีพของผู้ป่วยเบาหวาน การใช้งานที่สะดวกสามารถเชื่อมต่อกับผู้ดูแลหรือบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างทันท่วงที ทำให้ผู้ป่วยเบาหวานสามารถสอบถามหรือศึกษาคำแนะนำผ่านโปรแกรมประยุกต์ได้ โดยไม่ต้องเดินทางไปพบแพทย์บ่อยครั้ง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- 1.1 ผู้สูงอายุสามารถใช้แอปพลิเคชันสำหรับการออกกำลังกายได้ด้วยตนเอง
- 1.2 ผู้สูงอายุสามารถออกกำลังกายได้ทุกที่ทุกเวลา

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- 2.1 ควรวิธีการออกกำลังกายในแบบต่าง ๆ มากขึ้น และมีความละเอียดมากขึ้น
- 2.2 ควรพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการออกกำลังกายให้สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้

กิตติกรรมประกาศ

การทำการวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณคณะกรรมการพิจารณางานวิจัย วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้โอกาสในการศึกษาวิจัยอันที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ทุนงบประมาณ (แผ่นดิน) ประจำปี พ.ศ. 2561 เพื่อสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chantem, A. Chuathong, S. and Supinanont, P. (2019). The Development of Application using collaborative learning on the topic Healthy Exercise for the Elderly. *Veridian E-Journal, Silpakorn University of Humanities, Social Sciences and Arts*, 11(1), 1371-1385. (in Thai)
- Giyasak, S. and Imamornchai, K. (2015). Application Thai herb for health on the Android Operating System. *The Proceedings of the National Conference on Information Technology (NCIT), 7th, 29-30 October 2015 at Chiang Mai Province*, 153-158. (in Thai)
- Gulatee, Y. Pongthanoo, P. and Sakunrasisuay, C. (2019). Smartphone Application for Diabetes Behavior Study in Thailand. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11(1), 7-22. (in Thai)
- Konkaew, W. (2014). *The Health Behavior of Elderly of Klongtumru Sub-District. Amphoe Mueang Chon Buri*. Thesis of the Degree of Master of Public Administration Program in General Management. Chonburi: Burapha University. (in Thai)
- Paosungnoen, A. Nawklang, W. Yoikratok, V. Kammanee, S. Dechtungka, O. and Simma, A. (2015). Health-Promoting Behavior of Elderly in Gudjik Health Promoting Hospital, Gudjik Sub-District, Sungnoen District, Nakhon Ratchasima Province. *The Proceedings of the 6th Hatyai National Conference, 26 June 2015 at Hatyai University*, 1339-1349. (in Thai)
- Foundation of Thai Gerontology Research and Development Institute. (2018). *Report of the situation of the elderly in Thailand 2017*. Bangkok: Duen-Tula Printing. (in Thai)
- Sukanun, T. Subprasert, J. Jariyasilp, S. and Vongsala, A. (2014). Factors Affecting Exercise Behaviors of the Elderly People in Bansuan Municipality, ChonBuri. *The Public Health Journal of Burapha University*, 9(2), 66-75. (in Thai)
- Wuttikorn, K. Wiroomrat, B. and Suwanabol, I. (2016). Competency Development Pattern for Elderly Caregivers. *Sripatum Review of Humanities and Social Sciences*, 16 (2), 50-60. (in Thai)

การพัฒนาตัววัดและตัวชี้บอกระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่ ฉลาดและมีความยั่งยืน

สุนิษา คิดใจเดียว^{1,*}, ประสงค์ ปราณีตพลกรัง², นิเวศ จิระวิจิตชัย³

^{1,2,3}คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Received: 13 April 2020

Revised: 8 October 2020

Accepted: 12 October 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัววัดและตัวชี้บอกระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่ฉลาดและมีความยั่งยืน เป็นการวิจัยเชิงปริมาณใช้แบบสอบถามปลายปิด มีขั้นตอนในการวิจัย 4 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มอาจารย์ ผู้บริหาร ของมหาวิทยาลัยราชภัฏในประเทศไทยจำนวนทั้งหมด 38 แห่ง ในการหาตัววัดและตัวชี้บอกด้วยการทดสอบค่าที เพื่อคัดเลือกตัวชี้บอกที่เหมาะสม จะคัดเลือกตัวชี้บอกที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.50 ขึ้นไป ขั้นตอนที่ 2 ใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ประเมินคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา เพื่อยืนยันตัววัดและตัวชี้บอกด้วยการทดสอบค่าทีจะคัดเลือกตัวชี้บอก ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ค่าน้ำหนักองค์ประกอบมากกว่าหรือเท่ากับ .30 และขั้นตอนที่ 4 ทดสอบความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผลการวิจัยพบว่า ได้ตัววัด จำนวน 5 ตัว และตัวชี้บอก จำนวน 25 ตัว

คำสำคัญ: ตัววัด ตัวชี้บอก มหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัล

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: sanisu_sunisa@hotmail.com

The Development of Metrics and Indicators of Level for Smart and Sustainable Digital Rajabhat Universities

Sunisa Kidjaideaw^{1,*}, Prasong Praneetpolgrang², Nivet Jirawichitchai³

^{1,2,3}School of Information Technology, Sripatum University

Received: 13 April 2020

Revised: 8 October 2020

Accepted: 12 October 2020

ABSTRACT

This research aims to develop measures and level indicators for smart and sustainable digital Rajabhat universities. This research is a quantitative research which uses closed-ended questionnaires. There are 4 steps in the research as follows: Step 1 is the use of research sample consisting of administrators and lecturers from 38 Rajabhat universities in Thailand for finding the measures and level indicators by conducting t-test to select appropriate indicators which are those that have rating means of 3.50 or over. Step 2 is the use of research sample consisting of internal educational quality of the educational institution to confirm the measures and the level indicators with the use of t-test. Step 3 is the use of confirmatory factor analysis to select the measures with .30 or higher factor loading. Step 4 is the test of goodness-of-fit of the measures with empirical data. Research results show that 5 measures and 25 level indicators have been obtained.

Keywords: Measure, Indicator, Digital Rajabhat University

*Corresponding Author; Email: sanisu_sunisa@hotmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันหน่วยงานหรือองค์กรทั้งภาครัฐและเอกชน ได้ให้ความสำคัญต่อการนำเอาเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการปรับปรุงการทำงานเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีดิจิทัลถือว่าเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีดิสรบชั้นที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงและมีบทบาทความสำคัญต่อการพลิกฟื้น ปรับปรุงและพัฒนากระบวนการทำงานของหน่วยงานให้มีประสิทธิภาพและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในทุกกระดับ ทั้งในระดับหน่วยงานราชการ รวมไปถึงมหาวิทยาลัยต่างๆ มหาวิทยาลัยได้เป็นองค์กรหรือสถาบันการศึกษาที่มีความสำคัญในการพัฒนาบุคลากรให้เป็นทรัพยากรบุคคลที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มหาวิทยาลัยราชภัฏที่มีอยู่มากเกือบทั่วประเทศนั้นได้มีส่วนรับผิดชอบและเป็นฐานหลักของการพัฒนาศักยภาพคนในชุมชนและท้องถิ่นในอันที่จะนำไปสู่การพัฒนาประเทศได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตามจะพบว่าการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลนั้น มีความจำเป็นและมีบริบทที่เปลี่ยนไปอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจาก เทคโนโลยีดิจิทัลได้ถูกหลอมรวมให้กลายเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินชีวิตและการทำงานอย่างแท้จริง อิทธิพลของเทคโนโลยีดิจิทัลดังกล่าวเป็นทั้งโอกาสและความท้าทายในการพัฒนาหน่วยงานให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลดังจะเห็นได้จาก เทคโนโลยีดิจิทัลนั้นได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อรูปแบบของการศึกษาและมีความท้าทายที่สำคัญยิ่งต่อสถาบันการศึกษา (Poovarawan, 2016) ที่จะต้องพัฒนาปรับปรุง การนำเทคโนโลยีดิจิทัลสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ให้ประสบความสำเร็จในด้านต่าง ๆ ได้นั้น ควรจะมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดหรือตัววัด เพื่อประเมินระดับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการยกระดับการพัฒนามหาวิทยาลัย และระดับความสำเร็จของการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในมหาวิทยาลัย อีกทั้งยังสามารถที่จะนำผลการประเมินในด้านต่าง ๆ ไปปรับปรุงพัฒนาองค์กรให้มีประสิทธิภาพได้อย่างเหมาะสม ในปัจจุบันเครื่องมือที่เรียกว่าตัวชี้บอกรับก็ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ตัวชี้บอกรับใช้ในการวัดประสิทธิภาพการบริหารงานภายในองค์กรและมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยยุคใหม่มักมุ่งเน้นไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัย 4.0 ที่เป็นมหาวิทยาลัยดิจิทัล และจะเป็นสมาร์ตยูนิเวอร์ซิตีหรือมหาวิทยาลัยสมาร์ตที่สามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างพอเพียงและมีความยั่งยืนในที่สุด การมีตัวชี้บอกรับที่ดีและเหมาะสมจะทำให้ผู้บริหารได้ทราบข้อเท็จจริงหรือปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น อันจะมีผลต่อทิศทางการบริหารที่จะนำมหาวิทยาลัยไปสู่ความสำเร็จหรือล้มเหลวได้ (Kidjaideaw, Praneetpolgrang, and Jirawichitchai, 2017) ด้วยเหตุนี้พบว่า ในการบริหารงานต่างๆ จำเป็นจะต้องมีการกำหนดตัวชี้บอกรับให้ชัดเจน เพื่อให้ทราบถึงสภาพความพร้อมในด้านต่างๆ หรือปัญหา รวมไปถึงการติดตามประเมินผลเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลให้สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้ทันต่อสถานการณ์หรือใช้ผลการประเมินที่ผ่านมาเป็นแนวทางในการวางแผนการปฏิบัติงานให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต ดังนั้น การพัฒนาตัววัดและตัวชี้บอกระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่สมาร์ตและมีความยั่งยืน จึงเป็นรูปแบบในการเตรียมความพร้อมในทุกๆ ด้านเพื่อรองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่สมาร์ตและมีความยั่งยืนได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาตัววัดและตัวชี้บอกระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่สมาร์ตและมีความยั่งยืน ทั้งนี้เพื่อใช้ประเมินในการเตรียมความพร้อมไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่สมาร์ตและมีความยั่งยืนได้ในอนาคต ในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในยุคการศึกษาไทย 4.0

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตามศัพท์บัญญัติทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศจากสำนักงานราชบัณฑิตยสภาได้บัญญัติคำว่า Metrics เป็นตัววัด และ Indicator เป็นตัวชี้บอก ในขณะที่ ตัววัด หมายถึง ข้อกำหนดของรายละเอียดกระบวนการวัด จะเป็นการกำหนดคุณลักษณะที่จำเป็นที่องค์กรต้องการ (Pressman, and Maxim, 2014) สิ่งที่ได้ตามมา คือ ตัวชี้บอก หรือ ตัวบ่งชี้ ที่จะทำให้มาตรฐานการวัดประสบผลสำเร็จ ตัวชี้บอก ในที่นี้จะหมายถึง ตัวแปรหรือองค์ประกอบที่ใช้วัดเพื่อให้ได้คุณค่าหรือคุณลักษณะซึ่งบ่งบอกสถานภาพของสิ่งใดสิ่งหนึ่งในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งนั่นเอง (Olsina, Dieser, and Covella, 2014)

มหาวิทยาลัยดิจิทัล (Digital University) เป็นการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้มีโครงสร้างที่สำคัญ 4 ประการ ได้แก่ การมีส่วนร่วมแบบดิจิทัล การรู้สารสนเทศ สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ และหลักสูตรและการออกแบบหลักสูตร (Smyth, MacNeill, and Johnston, 2015)

มหาวิทยาลัยฉลาด (Smart University) เป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงกระบวนการทางการศึกษาให้ทันสมัย การศึกษาที่ชาญฉลาดเป็นการจัดการให้เกิดมหาวิทยาลัยในรูปแบบใหม่โดยใช้เทคโนโลยีอันนำไปสู่กระบวนการและผลลัพธ์ทางการศึกษา การวิจัย กิจกรรมเชิงพาณิชย์ และกิจกรรมอื่นๆ ของมหาวิทยาลัยให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น แนวคิดนี้ในการศึกษาทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ เช่น สมาร์ทบอร์ด สมาร์ทสกรีน และการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายได้จากทุกที่ (Tikhomirov, 2015) เป็นต้น

ความยั่งยืน (Sustainability) หมายถึง การดำเนินการใดๆ ที่ประสงค์จะให้มีการรักษาไว้ คงอยู่ และมีการทำต่อไปอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่มหาวิทยาลัยยั่งยืน (Sustainable University) หมายถึงมหาวิทยาลัยที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามเป้าหมายหลักของการพัฒนาที่ยั่งยืนที่มุ่งสร้างให้เกิดคุณภาพขององค์ประกอบพื้นฐานสำคัญใน 3 มิติ ได้แก่ มิติเชิงเศรษฐกิจ มิติเชิงสิ่งแวดล้อม และมิติเชิงสังคม (Charmondusit, 2019)

Madakam (2014) ได้วิจัยเรื่อง “สมาร์ทซิตี้ 6 มิติ” (Smart Cities - Six Dimensions) ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดของสมาร์ทซิตี้ว่าเป็น การปรับปรุงขีดความสามารถและลดปัญหาต่างๆ ของเมืองด้วยการใช้พลังงานที่เหมาะสม การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การรีไซเคิล การขนส่งอัจฉริยะ ระบบรักษาความปลอดภัยแบบอัจฉริยะ และบริการ 24 ชั่วโมงสำหรับชาวเมือง งานวิจัยนี้เน้นบทบาทสำคัญของสมาร์ทซิตี้ใน 6 มิติ ได้แก่ (1) เศรษฐกิจฉลาด เน้นนวัตกรรมและความสามารถในการแข่งขัน (2) ความคล่องตัวแบบฉลาด เน้นโครงสร้างพื้นฐานและการขนส่ง (3) สภาพแวดล้อมฉลาด เน้นทรัพยากรและความยั่งยืน (4) คนฉลาด เน้นความคิดสร้างสรรค์และทุนทางสังคม (5) การใช้ชีวิตที่ฉลาด เน้นวัฒนธรรมและคุณภาพชีวิต และ (6) การกำกับดูแลแบบฉลาด เน้นการมีส่วนร่วมและการเสริมสร้างศักยภาพ

Kanok (2013) ได้วิจัยเรื่อง “การพัฒนาตัวแบบตัวบ่งชี้สมรรถนะด้าน ไอซีที สำหรับผู้สอนในสถาบันการพลศึกษาในประเทศไทย” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบตัวบ่งชี้สมรรถนะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่จำเป็นสำหรับการทำงานของบุคลากรสายผู้สอนในสถาบันการพลศึกษาของประเทศไทย ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหารายการสมรรถนะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของผู้ปฏิบัติงานสายผู้สอน และได้ผ่านการพิจารณาความเหมาะสมและความจำเป็นจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 17 คน ด้วยเทคนิคเดลฟาย วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ และยืนยันความถูกต้องเชิงประจักษ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 ผลการวิจัยพบว่า ได้ตัวบ่งชี้จำนวน 12 ตัว และดัชนี

ชี้วัดความสำคัญของตัวแบบประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skill) และทัศนคติ (Attitude)

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ บุคลากรจำนวน 19,463 คน จากมหาวิทยาลัยราชภัฏในประเทศไทยทั้ง 38 แห่ง โดยแบ่งออกเป็นประชากรกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มอาจารย์ จำนวน 17,943 คน และผู้บริหาร จำนวน 1,520 คน คำนวณขนาดตัวอย่างตาม Yamane (1973) รวม 2 กลุ่มจำนวน 708 คน และประชากรกลุ่มที่ 2 คือ ผู้ประเมินคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา ระดับอุดมศึกษา จำนวนทั้งหมด 445 คน คำนวณได้ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจำนวน 211 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือวิจัย คือ แบบสอบถามข้อมูลตัววัดและตัวชี้บอกระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลจากบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏของประเทศไทยจำนวน 38 แห่ง ผู้วิจัยได้ออกแบบสอบถามเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 ตัววัดและตัวชี้บอกระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัล และส่วนที่ 3 ความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะอื่นๆ แบบสอบถามผ่านการพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา พิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถามจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีดิจิทัล หาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับอยู่ที่ .966 หาค่าอำนาจจำแนก ทั้งนี้ได้ใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค และการทดสอบค่าที ทำการแบ่งกลุ่มร้อยละ 50 ของกลุ่มสูง และร้อยละ 50 ของกลุ่มต่ำ กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ถือว่าผ่านเกณฑ์ทั้งหมด

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาวิจัย ได้เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการค้นคว้าข้อมูลจากเอกสาร บทความ ตำรา งานวิจัยต่างๆ และวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำแนวคิดที่สอดคล้องกับเรื่องที่ต้องการวิจัยมาใช้เป็นข้อมูล ผู้วิจัยได้ส่งแบบสอบถามแบบสุ่มไปยังกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดสอบค่าทีแบบกลุ่มเดียว (One Sample t-test) เป็นการทดสอบที่นำค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียวเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่คาดหวังที่กำหนดขึ้นหรือเกณฑ์มาตรฐาน กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
2. การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factory Analysis: CFA) ในการตรวจสอบเพื่อยืนยันความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) ของตัวแบบ ตรวจสอบทฤษฎีที่ใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์องค์ประกอบ และใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างตัวแปรใหม่ จากค่าความเที่ยงตรง คือ ค่า Factor Loading มากกว่าหรือเท่ากับ .30 (Pinyo, 2012)

ผลการวิจัย

ผลการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ที่ได้เก็บรวบรวม จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 708 คน มีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 358 คน คิดเป็นร้อยละ 50.56 และกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 2 มีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 109 คน คิดเป็นร้อยละ 51.66 การตอบกลับแบบสอบถามทั้ง 2 กลุ่ม เป็นอัตราการตอบกลับที่ยอมรับได้

1. ผลจากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบกับการสนทนากลุ่ม (Focus Group) ในประเด็นการพัฒนางานองค์กรไปสู่องค์กรดิจิทัล โดยเน้นที่ตัววัดและตัวชี้บอกระดับการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัล พบว่ามีตัววัด จำนวน 5 ตัว และตัวชี้บอก จำนวน 25 ตัว ดังตารางที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยได้นำไปใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด

ตารางที่ 1 ตัววัดและตัวชี้บอก

รหัส	ตัววัดและตัวชี้บอก	แหล่งที่มา
Infrastructure	1. ด้านโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล (Digital Infrastructure)	1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
infrastructure1	1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)	2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
infrastructure2	1.2 ซอฟต์แวร์ (Software)	3. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมิกราช
infrastructure3	1.3 บุคลากร (People)	4. มหาวิทยาลัยนครพนม
infrastructure4	1.4 ข้อมูลและเครือข่าย (Data and Networks)	5. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
infrastructure5	1.5 กระบวนการทำงาน (Procedure)	6. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Environment	2. ด้านสภาพแวดล้อมดิจิทัล (Digital Environment)	7. Deloitte (Digital Maturity Model)
environment1	2.1 กลยุทธ์ (Strategy)	8. Soule, Deborah L. and Puram, Akshita and Westerman, George F. and Bonnet, Didier, Becoming a Digital Organization: The Journey to Digital Dexterity
environment2	2.2 คน (People)	9. Digital Readiness Indices (World Economic Forum)
environment3	2.3 ช่องทาง (Channels)	10. Smart University (Universidad de Alicante Smart University)
environment4	2.4 เทคโนโลยี (Technology)	11. The ICT Development Index (IDI): conceptual framework and methodology (International Telecommunication Union: ITU)
Literacy	3. ด้านการรู้ดิจิทัล (Digital Literacy)	
literacy1	3.1 การเข้าถึง (Access)	
literacy2	3.2 การเข้าใจ (Understand)	
literacy3	3.3 การใช้ (Use)	
literacy4	3.4 การสร้าง (Create)	
literacy5	3.5 การประเมิน (Evaluation)	
Skill	4. ด้านทักษะดิจิทัล (Digital Skill)	
skill1	4.1 การใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีดิจิทัล (Tools and Technologies)	
skill2	4.2 การสืบค้นและใช้ข้อมูลดิจิทัล (Find and Use)	
skill3	4.3 การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลที่เหมาะสมในการเรียนรู้ (Teach and Learn)	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รหัส	ตัววัดและตัวชี้บ่ง	แหล่งที่มา
skill4	4.4 การใช้ช่องทางดิจิทัลในการสื่อสารและสร้างความร่วมมือ (Communication and Collaborate)	คัดเลือกจากแนวความคิดที่มีความใกล้เคียงร่วมกัน สำหรับพัฒนาเป็นต้นแบบขององค์กรดิจิทัล ซึ่งเป็นแนวทางพื้นฐานร่วมกันที่จะใช้ในการพัฒนา
skill5	4.5 การสร้างสรรค์นวัตกรรมจากเทคโนโลยีดิจิทัล (Create Innovate)	
skill6	4.6 การปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลและภัยคุกคามบนโลกดิจิทัล (Identity and Wellbeing)	
Management	5. ด้านการจัดการเทคโนโลยีดิจิทัล (Digital Technology Management)	
management1	5.1 การวางแผน (Planning)	
management2	5.2 การจัดการ (Organizing)	
management3	5.3 ทรัพยากรมนุษย์ (Human Resources)	
management4	5.4 การนำองค์กร (Leading)	
management5	5.5 การควบคุม (Coordinating)	

2. การหาตัววัดและตัวชี้บ่ง เป็นการวิเคราะห์ค่าที (One sample t-test) กับกลุ่มอาจารย์ และผู้บริหาร ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การคัดเลือกตัววัดและตัวชี้บ่งของข้อคำถามที่มีค่าคะแนนเฉลี่ย (Mean) สูงกว่า 3.50 ขึ้นไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตัววัดและตัวชี้บ่งด้วยค่าทีจากกลุ่มอาจารย์ และผู้บริหาร

ตัววัดและตัวชี้บ่ง	ผลการวิเคราะห์				
	Mean	S.D.	t	p	✓ คงไว้ ✗ ตัดออก
1. Infrastructure	4.35	.54	29.726	.000	✓
infrastructure1	4.34	.57	28.046	.000	✓
infrastructure2	4.38	.61	27.282	.000	✓
infrastructure3	4.34	.57	28.046	.000	✓
infrastructure4	4.34	.56	28.348	.000	✓
infrastructure5	4.34	.57	28.046	.000	✓
2. Environment	4.31	.46	33.742	.000	✓
environment1	4.34	.58	27.621	.000	✓
environment2	4.37	.53	31.221	.000	✓
environment3	4.27	.58	25.339	.000	✓
environment4	4.27	.58	25.339	.000	✓

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ตัววัดและตัวชี้บอก	ผลการวิเคราะห์				
	Mean	S.D.	t	p	✓ คงไว้ ✗ ตัดออก
3. Literacy	4.21	.54	24.969	.000	✓
literacy1	4.21	.61	22.009	.000	✓
literacy2	4.21	.61	22.009	.000	✓
literacy3	4.2	.59	22.408	.000	✓
literacy4	4.21	.61	22.009	.000	✓
literacy5	4.21	.61	22.009	.000	✓
4. Skill	4.31	.51	30.399	.000	✓
skill1	4.30	.60	25.439	.000	✓
skill2	4.31	.59	26.156	.000	✓
skill3	4.34	.58	27.567	.000	✓
skill4	4.31	.59	26.156	.000	✓
skill5	4.30	.60	25.439	.000	✓
skill6	4.30	.60	25.439	.000	✓
5. Management	4.18	.48	26.797	.000	✓
management1	4.13	.64	18.753	.000	✓
management2	4.23	.61	22.581	.000	✓
management3	4.23	.61	22.581	.000	✓
management4	4.24	.64	21.757	.000	✓
management5	4.06	.62	17.201	.000	✓

จากตารางที่ 2 พบว่าได้ตัววัด จำนวน 5 ตัว ได้แก่ 1. ด้านโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล 2. ด้านสภาพแวดล้อมดิจิทัล 3. ด้านการรู้ดิจิทัล 4. ด้านทักษะดิจิทัล และ 5. ด้านการจัดการเทคโนโลยีดิจิทัล มีค่าตัววัดอยู่ในช่วง 4.18 - 4.35 ตัววัดสามารถวัดได้จากตัวชี้บอกที่สังเกตได้ทั้งหมด 25 ตัวชี้บอก ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกปัจจัยที่มีสูงกว่า 3.50 ขึ้นไป มีค่าตัวชี้บอกอยู่ในช่วง 4.06 - 4.38

3. ผลการยืนยันตัววัดและตัวชี้บอก เป็นการวิเคราะห์ค่าที (One sample t-test) จากกลุ่มผู้ประเมินคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การคัดเลือกตัววัดและตัวชี้บอกของข้อคำถามที่มีค่าคะแนนเฉลี่ย (Mean) สูงกว่า 3.50 ขึ้นไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ตัววัดและตัวชี้บ่งด้วยค่าที่จากกลุ่มผู้ประเมินคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา

ตัววัดและตัวชี้บ่ง	ผลการวิเคราะห์				
	Mean	S.D.	t	p	✓ คงไว้ ✗ ตัดออก
1. Infrastructure	4.44	.50	19.685	.000	✓
infrastructure1	4.43	.57	17.143	.000	✓
infrastructure2	4.45	.59	16.943	.000	✓
infrastructure3	4.43	.57	17.143	.000	✓
infrastructure4	4.45	.55	17.942	.000	✓
infrastructure5	4.43	.57	17.143	.000	✓
2. Environment	4.24	.58	13.335	.000	✓
environment1	4.26	.60	13.182	.000	✓
environment2	4.24	.59	13.033	.000	✓
environment3	4.24	.59	13.033	.000	✓
environment4	4.24	.59	13.033	.000	✓
3. Literacy	4.19	.58	12.406	.000	✓
literacy1	4.18	.68	10.453	.000	✓
literacy2	4.17	.69	10.103	.000	✓
literacy3	4.24	.64	12.108	.000	✓
literacy4	4.18	.68	10.453	.000	✓
literacy5	4.17	.69	10.176	.000	✓
4. Skill	4.29	.52	15.805	.000	✓
skill1	4.28	.56	14.48	.000	✓
skill2	4.33	.56	15.424	.000	✓
skill3	4.28	.56	14.48	.000	✓
skill4	4.33	.56	15.424	.000	✓
skill5	4.28	.56	14.48	.000	✓
skill6	4.27	.56	14.407	.000	✓
5. Management	4.28	.50	16.384	.000	✓
management1	4.30	.66	12.703	.000	✓
management2	4.37	.66	13.674	.000	✓
management3	4.39	.65	14.191	.000	✓
management4	4.17	.65	10.824	.000	✓
management5	4.17	.56	12.605	.000	✓

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ตัววัดและตัวชี้บอกลุ่มผู้ประเมินคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ คือ ตัววัด จำนวน 5 ตัว และตัวชี้บอที่สังเกตได้ทั้งหมด 25 ตัวชี้บอ เป็นไปตามการวิเคราะห์ก่อนหน้า ค่าตัววัดอยู่ในช่วง 4.19 - 4.44 และค่าตัวชี้บออยู่ในช่วง 4.17 - 4.45

4. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในกลุ่มผู้ประเมินคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา การตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนของตัวแบบโครงสร้างองค์ประกอบ และกำหนดค่าน้ำหนักตัวแปรย่อยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นำผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกลมกลืนของตัวแบบมาคัดเลือกตัววัดและตัวชี้บอที่มีค่าความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างจากค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.30 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

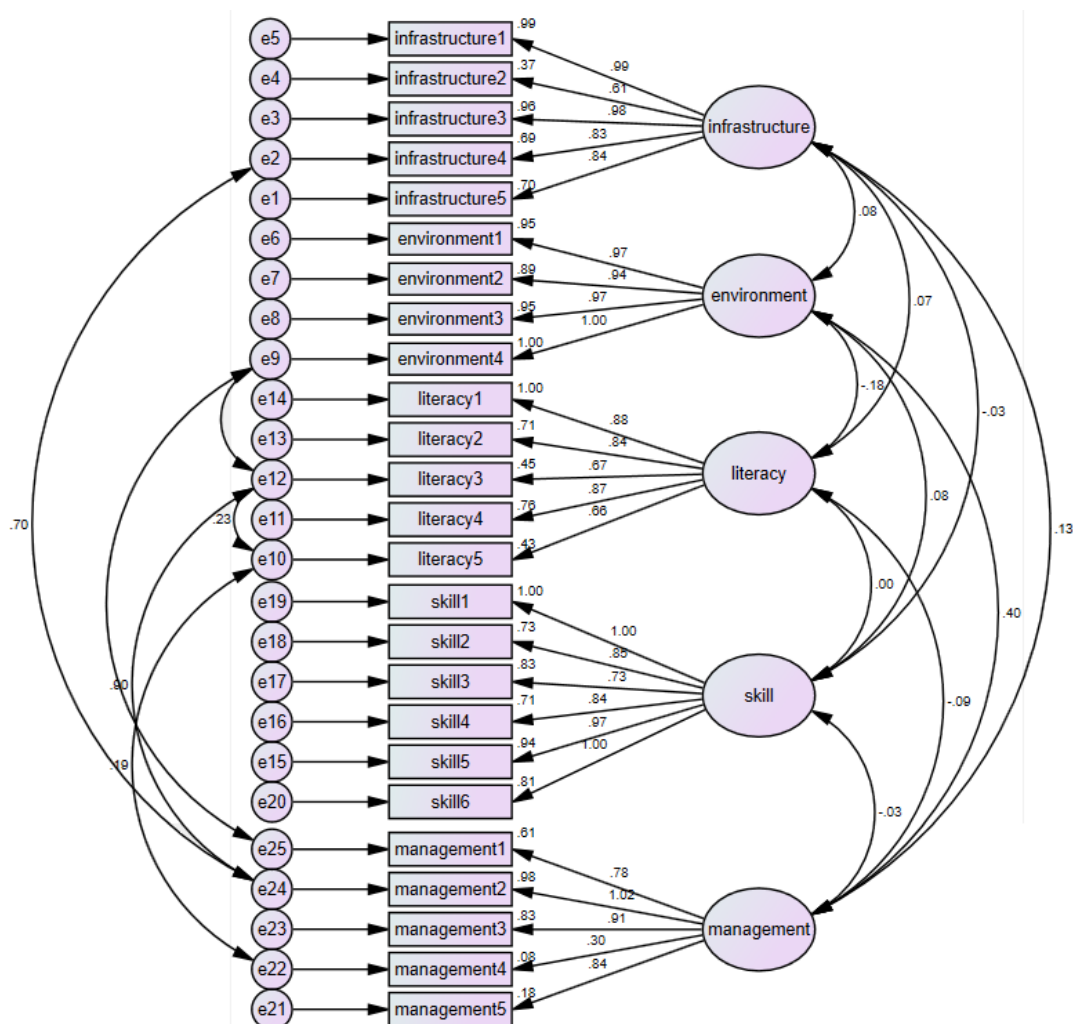
ปัจจัย	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ
1. Infrastructure	
infrastructure1	0.99
infrastructure2	0.61
infrastructure3	0.98
infrastructure4	0.83
infrastructure5	0.83
2. Environment	
environment1	0.97
environment2	0.94
environment3	0.97
environment4	1.00
3. Literacy	
literacy1	0.88
literacy2	0.84
literacy3	0.67
literacy4	0.87
literacy5	0.66
4. Skill	
skill1	1.00
skill2	0.85
skill3	0.73
skill4	0.84
skill5	0.97
skill6	1.00

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ
5. Management	
management1	0.78
management2	1.02
management3	0.91
management4	0.30
management5	0.84

จากตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรกับองค์ประกอบจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.30 จึงสรุปได้ว่า ตัววัด จำนวน 5 ตัว และตัวชี้บอกที่สังเกตได้ทั้งหมด 25 ตัวชี้บอก มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ก่อนหน้า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบอยู่ในช่วง 0.30 - 1.02

5. ผลการทดสอบความสอดคล้องกลมกลืนของตัวแบบกับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สร้างขึ้น จากจำนวน 109 คน ได้ผลการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลการทดสอบความสอดคล้องกลมกลืน

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

จากภาพที่ 1 พบว่าค่าความสอดคล้องกลมกลืนของตัวแบบมีค่าสถิติ ดังนี้ ไคสแควร์ (Chi-Square) มีค่าเท่ากับ .802 องศาอิสระ (df) มีค่าเท่ากับ 184, p -value มีค่าเท่ากับ .978 ดัชนีวัดความกลมกลืน (GFI) มีค่าเท่ากับ .906 ดัชนีวัดความสอดคล้องกลมกลืนเชิงสัมพัทธ์ (CFI) มีค่าเท่ากับ 1.000 ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMR) มีค่าเท่ากับ .016 ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSEA) มีค่าเท่ากับ .000 และค่าดัชนีความสอดคล้องสัมพัทธ์ (NFI) มีค่าเท่ากับ .962 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นตัววัดและตัวชี้บอกได้ ประกอบไปด้วย ตัววัด จำนวน 5 ตัว และตัวชี้บอกจำนวน 25 ตัวชี้บอก ตัววัดและตัวชี้บอกมีรายละเอียด ดังนี้ 1. ด้านโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล ประกอบด้วยตัวชี้บอกจำนวน 5 ตัว ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ บุคลากร ข้อมูลและเครือข่าย และกระบวนการทำงาน 2. ด้านสภาพแวดล้อมดิจิทัล ประกอบด้วยตัวชี้บอก จำนวน 4 ตัว ได้แก่ กลยุทธ์ คน ช่องทาง และเทคโนโลยี 3. ด้านการรู้ดิจิทัล ประกอบด้วยตัวชี้บอก จำนวน 5 ตัว ได้แก่ การเข้าถึง การเข้าใจ การใช้ การสร้าง และการประเมิน 4. ด้านทักษะดิจิทัล ประกอบด้วยตัวชี้บอก จำนวน 6 ตัว ได้แก่ การใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีดิจิทัล การสืบค้นและใช้ข้อมูลดิจิทัล การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลที่เหมาะสมในการเรียนรู้ การใช้ช่องทางดิจิทัลในการสื่อสารและสร้างความร่วมมือ การสร้างสรรค์นวัตกรรมจากเทคโนโลยีดิจิทัล และการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลและภัยคุกคามบนโลกดิจิทัล และ 5. ด้านการจัดการเทคโนโลยีดิจิทัล ประกอบด้วยตัวชี้บอก จำนวน 5 ตัว ได้แก่ การวางแผน การจัดการ ทรัพยากร มนุษย์ การนำองค์กร และการควบคุม

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณที่ได้พัฒนาตัววัดและตัวชี้บอกระดับของการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่สมารถและมีความยั่งยืน ใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาจารย์ ผู้บริหาร ผู้ประเมินคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษาในมหาวิทยาลัยราชภัฏของไทยจำนวน 38 แห่ง ตัววัดและตัวชี้บอกที่ค้นพบ ประกอบไปด้วย ตัววัด จำนวน 5 ตัว และตัวชี้บอก จำนวน 25 ตัว สามารถนำไปใช้เป็นตัวแบบของตัววัดและตัวชี้บอกได้ ซึ่งผลการวิจัยนี้ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลหลายขั้นตอน มีความสอดคล้องงานวิจัยเรื่องแนวคิดเมืองอัจฉริยะ: ตัวชี้บอกการขับเคลื่อนอัจฉริยะ (Orlowski, and Romanowska, 2019) ที่กล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลเป็นพื้นฐานสำคัญของการขับเคลื่อนไปสู่เมืองอัจฉริยะ เพราะไม่ว่าจะเป็นเมือง หรือมหาวิทยาลัยพื้นฐานสำคัญ คือ โครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล และใช้หลักการใกล้เคียงกันในการหาตัววัดและตัวชี้บอกในงานวิจัยฉบับนี้ และสอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาตัวชี้วัดทักษะการรู้ดิจิทัลของนักศึกษาวิชาชีพครูในมหาวิทยาลัยแบบไม่จำกัดรับ (Thongiam, 2018) ในประเด็นองค์ประกอบของการรู้ดิจิทัล 3 ประเด็น คือ ด้านการสร้างสรรค์ ด้านการใช้ และด้านความเข้าใจ อย่างไรก็ตาม ตัววัดและตัวชี้บอกดังกล่าวที่ค้นพบเป็นเพียงต้นแบบที่จะประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการประเมินการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัล อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานต่างๆ ตามบริบทของหน่วยงานได้ โดยที่นำผลการประเมินที่ยังเป็นจุดอ่อนในแต่ละด้านไปใช้ในการวางแผนเพื่อปรับปรุงจุดอ่อน หรือเสริมจุดแข็งเหล่านั้น การพัฒนาจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือและความตระหนักจากบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาองค์กรดิจิทัลใดๆ ไม่สามารถพัฒนาให้เสร็จสมบูรณ์ได้ภายในครั้งเดียว หรือภายในระยะเวลาอันสั้น แต่จะต้องใช้ระยะเวลา และบริหารจัดการองค์กรที่มีประสิทธิภาพภายใต้การนำของผู้บริหารเป็นสำคัญ รวมไปถึงความร่วมมือจากบุคลากรทุกฝ่ายที่ตระหนักถึงความสำคัญของเทคโนโลยีดิจิทัลอันจะนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบเพื่อประเมินระดับการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัล สมาร์ทและมีความยั่งยืน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เข้าบริบทของมหาวิทยาลัยต่างๆ หรือองค์กรที่ต้องการ พัฒนาไปสู่องค์กรดิจิทัลที่สมาร์ทและมีความยั่งยืน
2. ในการต่อยอดการวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในบริบทขององค์กรที่คำนึงถึงปัจจัย ต่างๆ จากผู้ใช้เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ครอบคลุมการใช้งานยิ่งขึ้น
3. มหาวิทยาลัยราชภัฏเป็นมหาวิทยาลัยที่มีความใกล้ชิดกับชุมชนและท้องถิ่นเป็นอย่างมาก จึงควรเน้น พัฒนาให้ชุมชนมีความรู้ทางด้านเทคโนโลยีดิจิทัลควบคู่ไปกับมหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ตาม ทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2562 ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Charmondusit, K. (2019). *The paradigm shift in organizational management of higher education institutions to accommodate changes in the 21st century*. [Online]. Retrieved December 5, 2019, from: https://old.mahidol.ac.th/th/latest_news58/Sustainable-University/sus-u.pdf. (in Thai)
- Deloitte. (2018). *Digital Maturity Model Achieving digital maturity to drive growth*. [Online]. Retrieved March 23, 2020, from: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/deloitte-digital-maturity-model.pdf>
- International Telecommunication Union. (2016). *The ICT Development Index (IDI): conceptual framework and methodology*. [Online]. Retrieved March 23, 2020, from: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis/methodology.aspx>
- Kanok, O. (2013). *A Development of ICT Competency Indicator Model for Faculty Member in Institute of Physical Education Thailand*. Thesis of the Degree of Doctor of Philosophy Program in Information Technology. Bangkok: Sripatum University. (in Thai)
- Kidjaideaw, S., Praneetpolgrang, P. and Jirawichitchai, N. (2017). Developing Standards framework of Measurement and Indicator for Smart Rajabhat Universities in Thailand. *The Proceedings of the 9th National Conference on Information Technology*, 1-2 November 2017 at Mahidol University (Salaya Campus), 348-353. (in Thai)

- Madakam, S. and Ramaswamy, R. (2014). Smart Cities - Six Dimensions. *The Proceedings of the International Conference on Advances in Computing and Information Technology*, 4-5 January 2014 at Bangkok Thailand, 38-41.
- Olsina, L., Dieser, A. and Covella, G. (2014). Metrics and Indicators as Key Organizational Assets for ICT Security. *Emerging Trends in ICT Security*, 2014, 25-44.
- Orlowski, A. and Romanowska, P. (2019). Smart Cities Concept: Smart Mobility Indicator. *Cybernetics and Systems*, 1-13.
- Pinyo, T. (2012). *Composition analysis techniques for research*. Bangkok: Fern,kalaung Printing and Publishing. (in Thai)
- Pressman, R. S., and Maxim, B. (2014). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (8th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Poovarawan, Y. (2016). Grand Challenges in Digital University. *Suranaree Journal of Social Science*, 10(2), 171-188. (in Thai)
- Smyth, K., MacNeill, S. and Johnston, B. (2015). Visioning the Digital University – from institutional strategy to academic practice. *Educational Developments*, 16(2), 13-17.
- Thongiam, B., (2018). The Development of Indicators for Digital Literacy Skills of Teacher Students in Unlimited Admission University. *Journal of Suvarnabhumi Institute of Technology (Humanities and Social Sciences)*, 4(1), 291 – 302. (in Thai)
- Tikhomirov, V. (2015). Development of strategy for smart University. *The Proceedings of Open Education Global International Conference 2015, 22-24 April 2015 at Alberta Canada*, 434-436.
- Yamane, T. (1973). *Statistics: An Introductory Analysis*. (3rd ed). New York: Harper & Row.

การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการถดถอยที่แกร่งด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด และวิธีประมาณค่าเอส

นิธิภัทร กมลสุข*

สำนักการศึกษาทั่วไป สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

Received: 3 February 2020

Revised: 21 August 2020

Accepted: 24 August 2020

บทคัดย่อ

สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์การถดถอยในแบบเชิงเส้น ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะเป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงเชิงเส้นดีที่สุด แต่ถ้ามีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับค่าสังเกตหรือค่าสังเกตนั้นต่างจากค่าอื่นมากๆ จะส่งผลต่อค่าประมาณที่ได้ จึงต้องใช้วิธีการถดถอยที่แกร่งมาประมาณค่าพารามิเตอร์แทน โดยบทความวิชาการนี้จะนำเสนอขั้นตอนและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่แกร่ง 2 วิธี คือ วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดและวิธีการประมาณค่าเอส พร้อมทั้งแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด เมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber และวิธีการประมาณค่าเอส โดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเป็นเกณฑ์การพิจารณา ซึ่งจากรายงานผลการวิจัยที่รวบรวมขึ้นพบว่า ค่าประมาณของพารามิเตอร์วิธีการประมาณค่าเอสจะมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber กรณีที่ค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระมีค่าต่างจากค่าสังเกตอื่นๆ (High Leverage) เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติ

คำสำคัญ: วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด วิธีการประมาณค่าเอส ค่านอกเกณฑ์

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: nithipatkam@gmail.com

Parameter Estimation for Robust Regression with Maximum Likelihood Estimation and S-estimation

Nithipat Kamolsuk*

Office of General Education, Panyapiwat Institute of Management

Received: 3 February 2020

Revised: 21 August 2020

Accepted: 24 August 2020

ABSTRACT

For parameters estimation or coefficients estimation in linear model, the Least Square (LS) estimator of parameters has always turned out to be the best linear unbiased estimator. However, if the observations contain outliers or high leverage, this may affect the Least Square estimates. So, an alternative approach; the so-called robust regression method, is needed to obtain a better fit of the model or more precise estimator of parameters. This article presents the procedure of robust regression methods, namely, the maximum likelihood and S-estimation methods and shows the comparison of the efficiency of the parameter resulted from the maximum likelihood method when using the Huber's function and that of the S-estimation method. The criterion for efficiency comparison was the mean square error (MSE) and the coefficient of determination. From the information collected from research reports, it was found that the parameters estimation with the S-estimation method was more effective than that of the maximum likelihood method when using the Huber's function, in the case that the observations from independent variables having high leverage when the error distribution being normal.

Keywords: maximum likelihood method, S-estimation method, outlier

*Corresponding Author; Email: nithipatkam@gmail.com

บทนำ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear) ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) ที่แสดงอยู่ในรูปตัวแบบเชิงเส้น (Linear Model) ตามสมการที่ 1 และ 2

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \cdots + \beta_p x_{ip} + e_i \quad (1)$$

$$= \sum_{j=0}^p \beta_j x_{ij} + e_i ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

เมื่อ y_i แทนค่าสังเกตที่ i จากตัวแปรตาม y และ x_{ij} แทนค่าสังเกตที่ i จากตัวแปรอิสระ x_j โดยที่ β_j แทนพารามิเตอร์ที่ j และ e_i แทนความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error) n แทนจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด และ p แทนจำนวนตัวแปรต้น เมื่อ $n > p$ โดยมีค่า $x_{i0} = 1$ สำหรับ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 0, 1, \dots, p$ ซึ่งค่าประมาณของ β_j หรือ $\hat{\beta}_j$ จะนำไปประมาณค่า y จึงได้ค่าประมาณของ y หรือ $\hat{y}$ เมื่อ $\hat{y} = \sum_{j=0}^p \hat{\beta}_j x_{ij}$ ที่มีส่วนเหลือ (Residual) แทนด้วย $\hat{e}_i$ เมื่อ $\hat{e}_i = y_i - \hat{y}_i$ (Ahmed and Maha, 2016)

การประมาณค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น โดยมากมักใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square: LS) ที่ใช้หลักการประมาณค่าพารามิเตอร์จากผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด หรือ $\min_{\hat{\beta}} \sum_{i=1}^n e_i^2$ ซึ่งค่าประมาณของพารามิเตอร์ β หรือ $\hat{\beta}$ มีสมบัติที่ไม่เอนเอียง (Unbiased) ถ้าค่าคาดหวัง (Expected Value) ของ $\hat{\beta}$ หรือ $E(\hat{\beta})$ เท่ากับ β และมีความแปรปรวนของ $\hat{\beta}$ หรือ $Cov(\hat{\beta})$ น้อยที่สุดเท่ากับ $\sigma^2 (X'X)^{-1}$ เมื่อ σ^2 แทนความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) มีค่าเท่ากับ $\frac{e'e}{n-p}$ เมื่อ e และ e' แทนเมทริกซ์และเมทริกซ์สลับเปลี่ยน (Transpose Matrix) ของส่วนเหลือตามลำดับ n แทนจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด และ p แทนจำนวนตัวแปรต้น ด้วยเหตุนี้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดจึงเป็นวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ตัวประมาณค่ามีสมบัติเป็นตัวประมาณเชิงเส้นไม่เอนเอียงดีที่สุด (Best Linear Unbiased Estimator: BLUE) (Montgomery, Peck and Vining, 2006)

ทั้งนี้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไขของความคลาดเคลื่อน e ที่ประกอบด้วย e ต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 โดยที่ e_i และ e_j เมื่อ $i \neq j$ และ $i, j = 1, 2, \dots, n$ ต้องเป็นอิสระกัน ซึ่งสามารถแทนเงื่อนไขของ e ด้วย $e \sim NID(0, \sigma^2)$ เมื่อ NID แทนการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกันของ e หากพบว่า e ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขแล้ว จะกล่าวได้ว่าการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี LS ไม่ได้เป็นวิธีการที่ดีที่สุด โดยสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ e ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขคือ มีค่านอกเกณฑ์ (Outlier) เกิดขึ้นกับข้อมูลหรือค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์ (Adedia, Adebani, Labeodan and Adeyemi, 2016) โดยอิทธิพลของค่านอกเกณฑ์นี้นอกจากจะทำให้ความคลาดเคลื่อน e ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขแล้ว ยังส่งผลต่อค่าประมาณของค่าพารามิเตอร์วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Yarmohammadi and Mahmoudvand, 2010)

ดังนั้นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น นอกจากการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของความคลาดเคลื่อน e แล้ว ยังต้องมีการตรวจสอบค่าสังเกตที่นำมาวิเคราะห์ด้วยว่า มีค่านอกเกณฑ์หรือมีค่าสังเกตที่แตกต่างจากค่าอื่นมาก ๆ หรือไม่ ถ้าพบว่ามีค่าสังเกตเป็นค่านอกเกณฑ์หรือมีค่าสังเกตที่แตกต่างจากค่าอื่นมากๆ แล้ว การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี LS ไม่ได้เป็นวิธีการที่ดีที่สุด จึงใช้การวิเคราะห์การถดถอยที่แกร่ง (Robust

Regression) มาเป็นวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แทนวิธี LS ซึ่งวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ เมื่อมีค่านอกเกณฑ์หรือมีค่าสังเกตที่แตกต่างจากค่าอื่นมากๆ ที่นิยมใช้มีหลายวิธี การจะเลือกใช้วิธีใดต้องพิจารณาประสิทธิภาพของค่าประมาณที่ได้ โดยบทความนี้จะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของค่าประมาณของพารามิเตอร์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีภูวามะน่าจะเป็นสูงสุด เมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber และวิธีการประมาณค่าเอส จากรายงานผลการวิจัยที่รวบรวมขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ได้อย่างเหมาะสมที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อแสดงขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์การถดถอยที่แกร่ง 2 วิธี คือ วิธีภูวามะน่าจะเป็นสูงสุดและวิธีการประมาณค่าเอส
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์จากวิธีภูวามะน่าจะเป็นสูงสุด เมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber และวิธีการประมาณค่าเอส โดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเป็นเกณฑ์การพิจารณา

วิธีการถดถอยที่แกร่ง (Robust Regression Methods)

การประมาณค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์การถดถอยที่แกร่งมีหลายวิธี ในที่นี้ได้สรุปขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่นิยมใช้ 2 วิธี คือ วิธีภูวามะน่าจะเป็นสูงสุดและวิธีการประมาณค่าเอส และเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างของขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของค่าประมาณที่ได้ จากรายงานผลการวิจัยที่รวบรวมขึ้น เมื่อใช้ข้อมูลจริงและข้อมูลที่สร้างขึ้น (Generate) จากการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ

วิธีภูวามะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood) หรือวิธีการประมาณค่าเอ็ม (M-estimation) นำเสนอครั้งแรกโดย Huber ในปี ค.ศ. 1964 ที่เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์จากผลรวมของฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนหรือ $\rho(e_i)$ ที่มีค่าน้อยที่สุด (Pitselis, 2013) ซึ่งอยู่ในรูปแบบ ดังนี้

$$\text{Min}_{\beta} \sum_{i=1}^n \rho(e_i)$$

วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ทำได้โดยการแก้สมการอนุพันธ์ย่อยอันดับที่หนึ่ง (First Order Partial Derivative) ของฟังก์ชัน $\rho(e_i)$ เทียบกับค่าพารามิเตอร์ β_j เมื่อ $j = 0, 1, \dots, p$ ซึ่งจะได้ระบบสมการจำนวน k สมการ เมื่อ $k = p + 1$ ที่แสดงได้ตามสมการที่ 3

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \psi \left(\frac{e_i}{s} \right) = 0 \quad (3)$$

เมื่อ ψ คืออนุพันธ์ย่อยอันดับที่หนึ่งของ $\rho(e_i)$ ทั้งนี้ Montgomery (2006) ได้สรุปตัวอย่างฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนที่พัฒนาโดยฮูเบอร์ และมีผู้พัฒนาต่อเนื่องตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนและขอบเขตความคลาดเคลื่อน

ฟังก์ชัน	$\rho(e)$	$\psi(e)$	ขอบเขต
Least squares	$\frac{1}{2} e^2$	e	$ e < \infty$
Huber's t function	$\frac{1}{2} e^2$	e	$ e \leq t$
Huber's t function at $t = 2$	$ e t - \frac{1}{2}t^2$	$t \operatorname{sign}(e)$	$ e > t$
Ramsay's E_a function at $a = 0.3$	$a^{-2}[1 - \exp(-a e) \cdot (1 + a e)]$	$e \exp(-a e)$	$ e < \infty$
Andrews's wave function	$a[1 - \cos(e/a)]$	$\sin(e/a)$	$ e \leq a\pi$
Andrews's wave function at $a =$ 1.339	$2a$	0	$ e > a\pi$
Hampel's 17A function	$\frac{1}{2} e^2$	e	$ e \leq a$
$a = 1.7$ $b = 3.4$ $c = 8.5$	$a e - \frac{1}{2}a^2$	$a \sin(e)$	$a < u \leq b$
	$\frac{a(c u - \frac{1}{2}u^2)}{c - b} - (7/6)a^2$	$\frac{a \operatorname{sign}(u)(c - u)}{c - b}$	$b < u \leq c$
	$a(b + c - a)$	0	$ u > c$

เมื่อ s คือตัวประมาณค่าที่แท้จริงของการแปรผันของส่วนเหลือ (Residual Variation) โดยที่ $\hat{e}_i$ แทนส่วนเหลือที่ i และ 0.6745 เป็นค่าคงที่ ที่ทำให้ s เป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงเมื่อประมาณค่าจากตัวอย่างขนาดใหญ่คำนวณได้ดังนี้

$$s = \operatorname{median}|\hat{e}_i - \operatorname{median}(\hat{e}_i)|/0.6745 \quad (4)$$

ขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์จะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ถูกถ่วงน้ำหนักซ้ำหลายรอบ (Iteratively Reweighted Least Squares: IRLS) ซึ่งเป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) มาหาคำตอบของสมการหรือค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า ที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายซึ่งพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Beaton และ Tukey ในปี ค.ศ.1974 ที่ใช้หาค่าประมาณของพารามิเตอร์จากเมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนัก $\underline{W}$ ตามรูปแบบของสมการที่ 5

$$\underline{\hat{\beta}} = (\underline{X} \underline{W} \underline{X})^{-1} \underline{X} \underline{W} \underline{Y} \quad (5)$$

เมื่อ $\underline{\beta}$ แทนเวกเตอร์ค่าประมาณของพารามิเตอร์ $\underline{\beta}$

$\underline{W}$ แทนเมทริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักที่เป็นเมทริกซ์ทแยงมุม (Diagonal Matrix) ขนาด $n \times n$

$\underline{X}$ แทนเมทริกซ์ของค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระ

$\underline{X}$ แทนเมทริกซ์สลับเปลี่ยนของค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระ

$\underline{Y}$ แทนเวกเตอร์ของค่าสังเกตจากตัวแปรตาม

การหา $\underline{\beta}$ เริ่มจากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณจากวิธี LS แทนด้วย $\underline{\beta}^{(0)}$ จากนั้นจึงคำนวณส่วนเหลือ $\hat{e}_i$ จากค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณจากวิธี LS และค่าประมาณของการแปรผันของส่วนเหลือ หรือ s จากสมการที่ 4 นำค่าทั้งหมดที่ได้มาคำนวณเมทริกซ์ถ่วงน้ำหนัก $\underline{W}_i^{(0)}$ ของสมาชิกในแถวที่ i ของเมทริกซ์ $\underline{X}$ หรือ $\underline{X}_i$ ดังนี้

$$\underline{W}_i^{(0)} = \begin{cases} \frac{\psi\left[\frac{(y_i - \underline{X}_i \underline{\beta}^{(0)})}{s}\right]}{\frac{(y_i - \underline{X}_i \underline{\beta}^{(0)})}{s}} & ; y_i \neq \underline{X}_i \underline{\beta}^{(0)} \\ 1 & ; y_i = \underline{X}_i \underline{\beta}^{(0)} \end{cases} \quad (6)$$

จากสมการ 5 เมื่อนำ $\underline{W}_i^{(0)}$ ไปถ่วงน้ำหนักจะได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ในรอบแรก หรือ $\underline{\beta}^{(1)}$ ตามสมการที่ 7

$$\underline{\beta}^{(1)} = (\underline{X} \underline{W}_i^{(0)} \underline{X})^{-1} \underline{X} \underline{W}_i^{(0)} \underline{Y} \quad (7)$$

นำ $\underline{\beta}^{(1)}$ ที่ได้ ไปเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณรอบถัดไป และจะกระทำซ้ำไปจนกระทั่งลู่เข้า (Converge) สู่คำตอบ โดย (Panik, 2009, p. 292) ได้แนะนำให้หยุดคำนวณ เมื่ออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณขึ้นในแต่ละรอบ หรือ $\frac{|\underline{\beta}^{(m+1)} - \underline{\beta}^{(m)}|}{\underline{\beta}^{(m)}}$ มีค่าไม่เกิน 0.001 เมื่อ $m = 0, 1, 2, \dots$ แทนรอบของการคำนวณ

วิธีการประมาณค่าเอส (S-estimation) เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นจากวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงที่สุด โดย Rousseeuw และ Yohai เป็นผู้พัฒนาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1984 และ Rousseeuw และ Leroy เป็นผู้พัฒนาต่อเนื่องในปี ค.ศ. 1987 ที่เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์จากค่าประมาณของการแปรผันของส่วนเหลือ หรือ $\hat{\sigma}$ น้อยที่สุด ดังนี้

$$\min_{\underline{\beta}} \hat{\sigma}_s(\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_n)$$

ทั้งนี้ $\hat{\sigma}_s = s(\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_n) = s$ เมื่อ s คำนวณได้จากสมการที่ 8 ดังนี้

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho\left(\frac{\hat{e}_i}{s}\right) = K \quad (8)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่และฟังก์ชันส่วนเหลือ ρ เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของสมการที่ 8 (Pitselis, 2013, p. 235) โดย Rousseeuw and Leroy (2003, p. 142) ได้แสดงค่าคงที่ K ที่กำหนดขึ้นจากค่าร้อยละของจุดแบ่งข้อมูล (Breakdown Point) (ϵ^*) และประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ (Efficiency of Parameter) (e^*) ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ K ค่าร้อยละของจุดแบ่งข้อมูล ($\mathcal{E}^*$) และประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ (e^*)
สำหรับวิธีการประมาณค่าเอส

K	$\mathcal{E}^*$	e^*
0.1995	50%	28.7%
0.2312	45%	37.0%
0.2634	40%	46.2%
0.2957	35%	56.0%
0.3278	30%	66.1%
0.3593	25%	75.9%
0.3899	20%	84.7%
0.4194	15%	91.7%
0.4475	10%	96.6%

สำหรับขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธี IRLS เริ่มจากนำค่าประมาณของพารามิเตอร์วิธี LS มาเป็นค่าเริ่มต้น (Initial Value) แทนด้วย $\hat{\beta}^{(0)}$ จากนั้นให้คำนวณส่วนเหลือจากค่าประมาณของพารามิเตอร์วิธี LS หรือ $\hat{\epsilon}_i^{(0)}$ และค่าการแปรผันของส่วนเหลือหรือ $s^{(0)}$ จาก $s = \text{median}|\hat{\epsilon}_i - \text{median}(\hat{\epsilon}_i)| / 0.6745$ เช่นเดียวกับวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด หลังจากนั้นให้คำนวณค่าส่วนเหลือมาตรฐาน (u_0) จาก $\hat{\epsilon}_i^{(0)} / s^{(0)}$ เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่าน้ำหนักเริ่มต้น หรือ $W_i^{(0)}$ เมื่อ $W_i^{(0)} = \psi(u_0) / u_0$ โดย $\psi(u_i)$ แทนอนุพันธ์ย่อยอันดับที่หนึ่งของ $\rho(u_i)$ หรือ $\rho'(u_i)$ ทั้งนี้หากใช้ฟังก์ชัน $\rho(u_i)$ ของ Huber มาคำนวณฟังก์ชัน $\psi(u_i)$ จะแสดงได้ ดังนี้

$$\psi(u_i) = \rho'(u_i) = \begin{cases} 1 & ; |u_i| \leq c \\ c/|u_i| & ; |u_i| > c \end{cases} \quad (9)$$

เมื่อ c เป็นค่าคงที่ที่ใช้กับฟังก์ชัน $\rho(u_i)$ ของ Huber มีค่าเท่ากับ 1.345σ โดยที่ σ แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนที่ประมาณได้จากค่า s จากนั้นนำ $W_i^{(0)}$ ที่คำนวณได้ไปถ่วงน้ำหนักกับค่าสังเกตจะได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ในรอบแรกแทนด้วย $\hat{\beta}^{(1)}$ ตามสมการที่ 10

$$\hat{\beta}^{(1)} = (\underline{X} W_i^{(0)} \underline{X})^{-1} \underline{X} W_i^{(0)} \underline{Y} \quad (10)$$

การคำนวณในรอบถัดไปจะคำนวณค่าการแปรผันของส่วนเหลือใหม่ จากค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ ตามสมการที่ 11

$$s = \sqrt{\frac{1}{nK} \sum_{i=1}^n W_i r_i^2} \quad (11)$$

จากนั้นคำนวณส่วนเหลือมาตรฐาน u_i ในรอบต่อไป เพื่อนำมาทั้งหมดที่ได้มาคำนวณค่าน้ำหนัก และเมื่อนำไปถ่วงน้ำหนักกับค่าสังเกต ทำให้ได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ในรอบถัดไป และจะกระทำเช่นนี้ซ้ำจนกระทั่งเข้าสู่ค่าตอบเช่นเดียวกับวิธีภาวนาจะเป็นสูงสุด

ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ (The Efficiency of the Parameter Estimator)

เมื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ได้แล้ว จะตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์จากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) โดยพบว่าหากค่าประมาณใดมี MSE น้อยกว่าแสดงว่าค่าประมาณนั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่า ซึ่งจากข้อมูลของ Candan (1995) อ้างอิงในงานวิจัยของ Meral and Onur (2011) ที่ประกอบด้วยค่าสังเกตจากตัวแปรตาม y ที่แทนปริมาณสาร Sulphur Dioxide ซึ่งมีค่านอกเกณฑ์ปนอยู่ และตัวแปรอิสระ ได้แก่ x_1 แทนความกดอากาศ (Pressure) x_2 แทนอุณหภูมิต่ำสุดในแต่ละวัน (Minimum Daily Temperature) x_3 แทนค่าความชื้น (Humidity) x_4 แทนค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Sun) x_5 แทนปริมาณน้ำฝน (Rain) x_6 แทนความเร็วลม (Speed of Wind) x_7 แทนทิศทางลม (Direction of Wind) และ G แทนตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) โดยแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ตามสมการถดถอย ตามสมการที่ 12

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 G \quad (12)$$

เมื่อ $\hat{y}$ แทนค่าประมาณของปริมาณสาร Sulphur Dioxide และ β_j เมื่อ $j = 0,1,2,\dots,8$ แทนค่าประมาณของพารามิเตอร์ หรือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ทั้งนี้เมื่อใช้โปรแกรม S-Plus คำนวณค่าประมาณของพารามิเตอร์ โดยเปรียบเทียบกับระหว่างวิธี LS วิธีภาวนาจะเป็นสูงสุด และวิธีการประมาณค่าเอส ที่ใช้เมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้น และกำหนดให้มีค่านอกเกณฑ์กับตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) G จำนวน 1 ค่าและ 2 ค่า จึงได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่แสดงได้ตามตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าประมาณของพารามิเตอร์ เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์

พารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์		
	LS	ภาวนาจะเป็นสูงสุด	ตัวประมาณค่าเอส
β_0	0.9862	1.7849	0.7626
β_1	0.0047	0.0039	0.0050
β_2	-0.0336	-0.0352	-0.0355
β_3	-0.0014	-0.0015	-0.0016
β_4	-0.0003	-0.0004	-0.0005
β_5	-0.0378	-0.0389	-0.0410
β_6	0.0093	0.0132	0.0190
β_7	-0.0398	-0.0420	-0.0414
β_8	0.3021	0.2855	0.0218

ตารางที่ 4 ค่าประมาณของพารามิเตอร์ เมื่อมีค่านอกเกณฑ์หนึ่งค่า

พารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์		
	LS	ภาวจะน่าจะเป็นสูงสุด	ตัวประมาณค่าเอส
β_0	9.5637	4.3804	2.4112
β_1	-0.0036	0.0014	0.0034
β_2	-0.0336	-0.0350	-0.0355
β_3	-0.0018	-0.0019	-0.00206
β_4	0.0005	-0.0002	-0.00043
β_5	-0.0296	-0.0367	-0.0395
β_6	-0.0037	0.0087	0.01614
β_7	-0.0577	-0.0483	-0.0457
β_8	0.3342	0.2983	0.2834

ตารางที่ 5 ค่าประมาณของพารามิเตอร์ เมื่อมีค่านอกเกณฑ์สองค่า

พารามิเตอร์	วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์		
	LS	ภาวจะน่าจะเป็นสูงสุด	ตัวประมาณค่าเอส
β_0	11.2018	4.7731	2.3818
β_1	-0.0058	0.00081	0.0033
β_2	-0.0281	-0.0328	-0.0342
β_3	0.00198	0.0000106	-0.0012
β_4	0.00115	0.0000418	-0.0003
β_5	-0.0257	-0.03525	-0.03896
β_6	0.0043	0.01256	0.01821
β_7	-0.0401	-0.0401	-0.0417
β_8	0.3094	0.2809	0.2746

จากตารางที่ 4 และ 5 พบว่า ค่าประมาณของพารามิเตอร์เมื่อมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นจะแตกต่างจากค่าประมาณของพารามิเตอร์เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์ตามตารางที่ 3 อย่างชัดเจน โดยความแตกต่างที่เห็นได้อย่างชัดเจนมากที่สุดคือ ค่าประมาณของค่าพารามิเตอร์จากวิธี LS แสดงว่าหากมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับค่าสังเกตแล้วจะส่งผลต่อค่าประมาณของพารามิเตอร์จากวิธี LS มาก ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าประมาณของพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวจะน่าจะเป็นสูงสุดกับวิธีการประมาณค่าเอสจากค่านอกเกณฑ์หนึ่งและสองค่าจะพบความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์จากค่า MSE จากงานวิจัยของ Meral and Onur (2011, p.749-751) ตามตารางที่ 6 ด้วยค่าสังเกตหรือข้อมูลที่สร้างขึ้น ด้วยขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15 จากตัวแปรอิสระ 5 ตัวแปร ที่มีการแจกแจงเอกรูป (Uniform Distribution) ในช่วง -1 ถึง 1 หรือ $U[-1,1]$ และค่าคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติ ที่มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0 และความแปรปรวน (Variance) เท่ากับ 100 โดยที่ตัวแปรตาม

แจกแจงบีตา (Beta Distribution) ที่มีรูปแบบและพารามิเตอร์เป็น Beta (5, 3, $\sqrt{6}$, 0, 0) เมื่อกำหนดค่านอกเกณฑ์จากตัวแปรอิสระเท่ากับ 0 1 และ 2 ค่า

ตารางที่ 6 ค่า MSE ของค่าประมาณพารามิเตอร์ภายใต้ค่านอกเกณฑ์ต่างๆ

จำนวนค่านอกเกณฑ์	วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์		
	LS	ภาวะน่าจะเป็นสูงสุด	ตัวประมาณค่าเอส
0	0.062710	0.067337	0.134558
1	0.09231048	0.07472932	0.1315891
2	0.1183422	0.09996891	0.02261035

จากตารางที่ 6 พบว่าค่า MSE ของค่าประมาณพารามิเตอร์ด้วยวิธี LS เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้น (ค่านอกเกณฑ์เท่ากับศูนย์) มีค่าน้อยที่สุด แสดงว่าค่าประมาณของพารามิเตอร์นี้ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดและวิธีตัวประมาณค่าเอส ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าวิธี LS เหมาะสมที่จะนำมาใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์กรณีที่ไม่มีความนอกเกณฑ์เกิดขึ้น แต่ถ้าในกรณีที่ค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับตัวแปรอิสระค่าประมาณของพารามิเตอร์วิธี LS จะให้ค่า MSE มากกว่าสองวิธีที่เหลือแสดงว่า ค่าประมาณของพารามิเตอร์ด้วยวิธี LS จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber และวิธีตัวประมาณค่าเอส จึงควรใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber หรือวิธีตัวประมาณค่าเอสแทนวิธี LS

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าประมาณพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber กับวิธีตัวประมาณค่าเอสพบว่า ถ้ามีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับตัวแปรอิสระในระดับมากแล้วประสิทธิภาพของค่าพารามิเตอร์วิธีตัวประมาณค่าเอสจะมากกว่าวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber เนื่องจากมีค่า MSE น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยที่เปรียบเทียบค่า MSE ของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber กับวิธีตัวประมาณค่าเอสที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน หรือ σ^2 เท่ากับ 10 1 และ 0.01 เมื่อมีค่านอกเกณฑ์จำนวนต่างๆ ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่า MSE ของวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดกับวิธีตัวประมาณค่าเอสที่ σ^2 และค่านอกเกณฑ์จำนวนต่างๆ

วิธีประมาณค่า	$\sigma^2 = 10$			$\sigma^2 = 1$			$\sigma^2 = 0.01$		
	จำนวนค่านอกเกณฑ์								
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด	0.067338	0.074678	0.103733	0.067338	0.074724	0.010495	0.067338	0.076120	0.125205
วิธีตัวประมาณค่าเอส	**	**	**	**	**	**	**	**	**

หมายเหตุ ค่า ** แสดงว่า MSE มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก หรือมีค่าน้อยมากที่ไม่สามารถแสดงทศนิยมได้ทั้งหมด

นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอสมีมากกว่าวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber ในกรณีที่ค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระมีค่าต่างจากค่าสังเกตอื่นมากๆ (High Leverage) ตามที่ปรากฏในงานวิจัยต่างๆ ดังนี้ Almetwally and Almohgy (2018) ประมาณค่าพารามิเตอร์จากค่าสังเกตหรือข้อมูลจากตัวแปรอิสระที่สร้างขึ้นให้แจกแจงเอกรูป โดยกำหนดค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระมีค่าต่างจากค่าอื่นมากๆ ภายใต้ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติ ที่ความแปรปรวนต่างๆ พบว่าจากการจำลองสถานการณ์วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) จำนวน 1,500 รอบ ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอสมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber โดยพิจารณาจากค่า MSE ในกรณีที่มีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 30 ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50 100 และ 150 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 3 และ 6 ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า MSE ของวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดกับวิธีตัวประมาณค่าเอส ที่ขนาดตัวอย่าง จำนวนพารามิเตอร์ และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ^2) ต่างๆ

วิธีประมาณ ค่าพารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์ (p)											
	$p = 3$						$p = 6$					
	$\sigma^2 = 1$			$\sigma^2 = 25$			$\sigma^2 = 1$			$\sigma^2 = 25$		
	ขนาดตัวอย่าง											
	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150
วิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุด	11.43	194.61	19.08	285.63	4865.34	477.07	32.79	272.79	69.30	819.84	6819.64	4232.57
วิธีตัวประมาณค่าเอส	0.46	0.26	0.26	11.51	6.42	6.37	1.41	0.81	0.75	35.33	20.30	18.65

Yu and Yao(2017) ประมาณค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลหรือค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระที่สร้างขึ้นให้แจกแจงปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) โดยกำหนดค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระมีค่าต่างจากค่าอื่นมากๆ ภายใต้ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติมาตรฐานเช่นเดียวกัน พบว่าจากการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล จำนวน 200 รอบ ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอสมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber โดยพิจารณาจากค่า MSE ในกรณีที่มีค่านอกเกณฑ์ร้อยละ 10 ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และ 100 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 2 และ 4 ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่า MSE ของวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดกับวิธีตัวประมาณค่าเอส ที่ขนาดตัวอย่าง และจำนวนพารามิเตอร์

วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์ (p)			
	$p = 2$		$p = 4$	
	ขนาดตัวอย่าง			
	20	100	20	100
วิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุด	13.74	13.62	0.85	0.16
วิธีตัวประมาณค่าเอส	0.17	0.03	0.19	0.03

Alma (2011) ประมาณค่าพารามิเตอร์จากค่าสังเกตหรือข้อมูลจากตัวแปรอิสระที่สร้างขึ้นให้แจกแจงปกติมาตรฐาน โดยกำหนดค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระร้อยละ 5 ที่มีค่าต่างจากค่าอื่นมากๆ เมื่อมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับค่าสังเกตจากตัวแปรตามร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ภายใต้ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติมาตรฐาน ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30 และจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 3 4 และ 6 พบว่า จากการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล จำนวน 1,000 รอบ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ R^2 ที่ได้จากการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณค่าด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอสมีมากกว่าสมการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด เมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber ซึ่งแสดงว่าตัวแปรอิสระจากสมการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอส สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีกว่า ที่แสดงค่า R^2 ตามตารางที่ 10 เมื่อมีตัวแปรอิสระที่ต่างจากค่าอื่นมากๆ ร้อยละ 5 ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ และจำนวนพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 10 ค่า R^2 ที่ร้อยละของค่านอกเกณฑ์ และจำนวนพารามิเตอร์ต่าง ๆ

วิธีประมาณ ค่าพารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์ (p)					
	$p = 3$		$p = 4$		$p = 6$	
	ร้อยละของค่านอกเกณฑ์					
	10	15	10	15	10	15
วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด	0.829	0.789	0.839	0.797	0.839	0.797
วิธีตัวประมาณค่าเอส	0.995	0.995	0.997	0.995	0.998	0.998

Shafiq, Amir and Zafakali (2017) ประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อใช้ค่าสังเกตจากตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ใช้ค่าสังเกตจาก Ahmed and Shafiq (2013) โดยที่ตัวแปรตามแทนระดับไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) หน่วยมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (mg/dl) ในผู้ป่วย มีตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม 6 ตัว ได้แก่ น้ำหนักตัว (Weight) หน่วยกิโลกรัม (kg) ปริมาณคอเลสเตอรอล (Cholesterol) รวมทั้งหมดในร่างกายหน่วย (mg/dl) ร้อยละโปรคอนเวอร์ติน (Proconvertin) ระดับคอเลสเตอรอล HDL (HDL- Cholesterol) รวมหน่วย (mg/dl) ขนาดสะโพก (Hip) หน่วยเซนติเมตร (cm) การมีลิพิด (Lipid) โดยที่ค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระมีค่าแตกต่างจากค่าอื่นมากๆ จำนวน 4 ค่าจากค่าสังเกตทั้งหมด 39 ค่า คิดเป็นร้อยละ 10.2 ที่ความคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติ พบว่า R^2 ที่ได้จากการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอสมีมากกว่าสมการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด เมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่า R^2 จากวิธีตัวประมาณค่าเอสและวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์	R^2
วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด	0.466
วิธีตัวประมาณค่าเอส	0.523

สรุป

การประมาณค่าพารามิเตอร์ หรือสัมประสิทธิ์การถดถอยในแบบการถดถอยเชิงเส้นนั้นจะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด หรือวิธี LS เมื่อไม่มีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับค่าสังเกต เพราะทำให้ได้ตัวประมาณค่าที่มีสมบัติไม่เอนเอียงเชิงเส้นดีที่สุด หรือ BLUE และพบว่าตัวประมาณค่าพารามิเตอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber และวิธีตัวประมาณค่าเอส เพราะมีค่า MSE น้อยกว่า แต่เมื่อมีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นต้องใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber และวิธีตัวประมาณค่าเอสแทนวิธี LS

ทั้งนี้ค่าประมาณของพารามิเตอร์วิธีการประมาณค่าเอสมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber กรณีที่ค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระมีค่าต่างจากค่าสังเกตอื่นมากๆ (High Leverage) เมื่อความคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจหรือ R^2 จากสมการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอสมีค่ามากกว่าสมการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber แสดงว่าตัวแปรอิสระจากสมการถดถอยที่ค่าพารามิเตอร์ถูกประมาณด้วยวิธีตัวประมาณค่าเอส สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีกว่าวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber ดังนั้นในการวิเคราะห์การถดถอยในแบบเชิงเส้นสิ่งสำคัญก่อนที่จะเลือกใช้วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แบบใด ควรมีการตรวจสอบค่าสังเกตหรือข้อมูลที่นำมาใช้ก่อนว่ามีค่านอกเกณฑ์หรือไม่ ตลอดจนควรพิจารณาว่ามีค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระที่ต่างจากค่าสังเกตอื่นมากๆ หรือไม่ เพื่อเลือกใช้วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ได้อย่างเหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าประมาณมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. การประมาณค่าพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์การถดถอยในแบบเชิงเส้น จำเป็นต้องตรวจสอบว่ามีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นกับค่าสังเกต หรือข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์หรือไม่ ซึ่งหากพบว่ามีค่านอกเกณฑ์เกิดขึ้นแล้ว การประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber และวิธีตัวประมาณค่าเอส จะให้ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี LS
2. เมื่อพบว่ามีค่าสังเกตจากตัวแปรอิสระที่มีค่าต่างจากค่าอื่นมากๆ (High Leverage) ภายใต้อาการคลาดเคลื่อนแจกแจงปกติแล้ว อาจพิจารณาเลือกวิธีตัวประมาณค่าเอสมาทดแทนวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด เมื่อใช้ฟังก์ชันความคลาดเคลื่อนของ Huber เนื่องจากให้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า

เอกสารอ้างอิง

- Adedia, D., Adebajji, A., Labeodan, M., and Adeyemi, S. (2016). Ordinary Least Squares and Robust Estimators in Linear Regression: Impacts of Outliers, Error and Response Contaminations. *Mathematics & Computer Science*, 13(4), 1-11.
- Ahmad, W. M. A. W., and Shafiq, M. (2013). High Density Lipoprotein Cholesterol Predicts Triglycerides Level in Three Distinct phases of Blood Pressure. *Basic and Applied Research*, 10(1), 38-46.

- Ahmed, M. G., and Maha, E. Q. (2016). Regression Estimation in the Presence of Outliers: A Comparative Study. *Probability and Statistics*, 5(3), 65-72.
- Alma, O. G. (2011). Comparison of Robust Regression Method. *Contemp. Math. Science*, 6(9), 409-421.
- Almetwally, E. M., and Almohgy, H. M. (2018). Comparison Between M-estimation, S-estimation, and MM estimation Methods of Robust Estimation with Application and Simulation. *Mathematical Archive*, 9(11), 55-63.
- Candan, M. (1995). *Robust Estimators in Linear Regression Analysis*. Thesis of the Degree of Master of Science Program in Statistics. Ankara, Turkey: Hacettepe University.
- Meral, C., and Onur, T. (2011). The Comparing of S-estimator and M-estimator in Linear Regression. *Science*, 24(4), 747-752.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G. (2006). *Introductions to Linear Regression Analysis*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons.
- Panik, M. (2009). *Regression Modeling Methods, Theory, and Computation with SAS*. New York: Taylor & Francis Group.
- Pitselis, G. (2013). A review on robust estimators applied to regression credibility. *Computational and Applied Mathematics*, 239(8), 231-249.
- Rousseeuw, P. J., and Leroy, A. M. (2003). *Robust regression and outlier detection*. New York: John Wiley & sons.
- Shafiq, M., Amir, W. M., and Zafakali, N. S. (2017). Algorithm for Comparison of Robust Regression Methods In Multiple Linear Regression By Weighting Least Square Regression (SAS). *Modern Applied Statistical Methods*, 16(2), 490-505.
- Yarmohammadi, M., and Mahmoudvand, R. (2010). The effect of outliers on robust and resistant coefficient of determination in the linear regression models. *Academic Research*, 2(3), 133-138.
- Yu, C. and Yao, W. (2017). Robust Linear Regression: A Review and Comparison. *Communication in Statistics*, 46(8), 6261-6282.

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)

ทวนวงศ์ 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 2 ท่าน ตรวจสอบและประเมินคุณภาพของบทความ ผู้เขียนจะต้องจ่ายค่าดำเนินการ (Operation fee) ในอัตรา 4,000 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) วิทยาศาสตร์กายภาพและชีวภาพ (2) วิศวกรรมศาสตร์ (3) สถาปัตยกรรมศาสตร์ และ (4) เทคโนโลยีสารสนเทศ

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 4,000 บาท ต่อ 1 บทความ และบรรณาธิการจะส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewers) ในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 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
2021

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 12 เดือน มกราคม – ธันวาคม 2563

บทความวิจัย

- 07 ตัวแบบพยากรณ์จำนวนนักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
: ศรินทร์ ไก่ขุนทด
- 21 การวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนคนงานที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการในกระบวนการผลิตกระดาษ
: อดจ ชัยมณี, รัตนา ชัดทอง
- 37 การเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นพหุจำนวนเต็ม: กรณีศึกษาธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่ม
: ณัฐดนัย สุพัฒน์ธนพนธ์, ปณิพัทธ์ เรืองเชิงชุม
- 51 การศึกษาการใช้ภาษาญี่ปุ่นบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารในเขตจังหวัดลพบุรี
: สราวุธ แผลงศรี
- 65 โดรนสำหรับการตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
: รสสิน เพตะกร, อรณัฐ พันโท
- 79 โมเดลสมการโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดทำกรอบสภานโยบายการสืบเสาะเอกสารธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน
: ชัยพร ทบแป, ประสงค์ ปรานีตพลกรัง, นิเวศ จิระวิชัยชัย
- 93 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างแผนที่ดิจิทัล
: เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ, ฐาปนัต บัวภิบาล, อานนท์ ศรีประเสริฐ
- 106 พฤติกรรมการหลอกลวงแบบไฮโดรไดนามิกของร่องสันพลาสมอากาศ
: อภิชาติ ฉัตรพงษ์เจริญ, ชนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว, อนุชา พานิชกรณ
- 121 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเกี่ยวกับสมุนไพรรักษาโรคพื้นบ้าน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองเก่าพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่
: อรณัฐ พันโท, รสสิน เพตะกร, สราวุธ ตันตระกูล
- 135 แอปพลิเคชันส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง
: ดวงจันทร์ สีหาราช, ยุภา คำตะพล, ฐิณากันท์ นิธิวิทย, ศรีธนา ตรีภค
- 149 การเก็บรักษาคุณภาพพืชมะเขือเทศของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลวงโดยใช้ระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
: ธวัชชัย ไหมด้วง, สกาวพร ชาติาคม
- 164 แอปพลิเคชันส่งเสริมการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุผ่านสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์
: น้ำพิน พรหมประสิทธิ์, สุภาวดี มากอิน, สมชาย ฤๅ
- 176 การพัฒนาตัววัดและตัวเซ็นเซอร์สำหรับการเป็นมหาวิทยาลัยราชภัฏดิจิทัลที่สมบูรณ์แบบมีความยั่งยืน
: สุเมษา คัดใจเดียว, ประสงค์ ปรานีตพลกรัง, นิเวศ จิระวิชัยชัย

บทความวิชาการ

- 190 การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการถดถอยที่แข็งแกร่งด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด และวิธีประมาณค่าเอส
: นิธิภัทร กมลสุข

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/spurst>

ISSN 2228 - 8724



NATIONAL AND
INTERNATIONAL
SRIPATUM
UNIVERSITY
CONFERENCE
2021