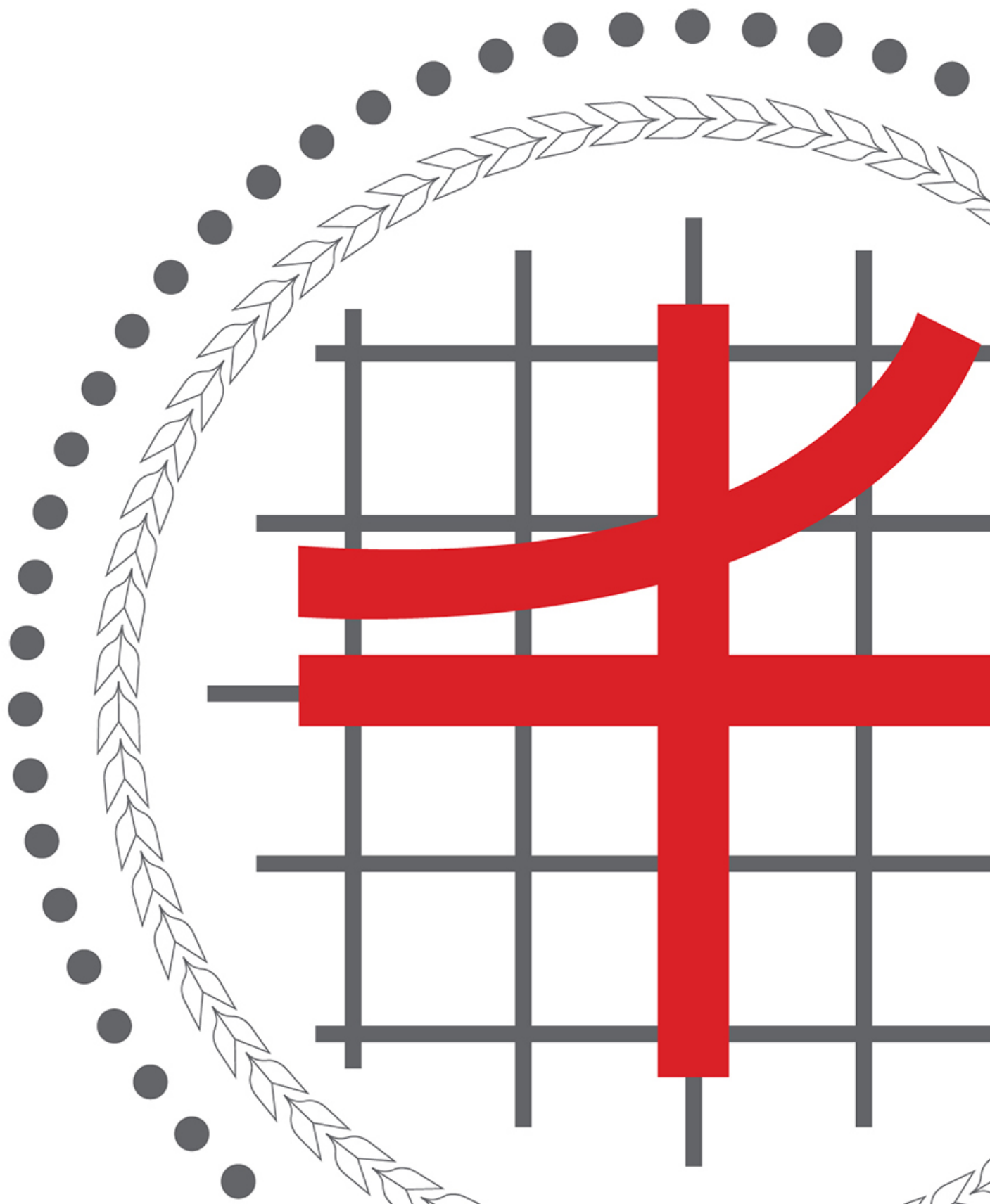


Srinakharinwirot University Engineering Journal
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Vol. 16 No. 3 (September - December 2021)
ISSN : 2774 - 0269 (Online)



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นวารสารในศูนย์ข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai – Journal Citation Index Centre: TCI) กลุ่มที่ 2 พ.ศ. 2563-2567 เลขมาตรฐานสากลประจำวารสาร 2774-0269 (Online) เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการ ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมชีวการแพทย์ และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ เป็นภาษาอังกฤษหรือภาษาไทยที่มีบทความภาษาอังกฤษ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จึงกำหนดให้จัดทำโครงการจัดทำวารสารทางวิชาการขึ้น โดยจัดพิมพ์เป็นประจำทุกปี ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม – เมษายน ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนพฤษภาคม – สิงหาคม และฉบับที่ 3 ช่วงเดือนกันยายน – ธันวาคม ซึ่งบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทุกบทความจะผ่านการทบทวนโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 คนต่อบทความ (Peer-review) และประเมินบทความในลักษณะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่ง และผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ Double Blinded review และสงวนสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2521 และเผยแพร่แบบออนไลน์ทั่วประเทศ

วัตถุประสงค์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (วศม) มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดสรรและเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมชีวการแพทย์ และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ

เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

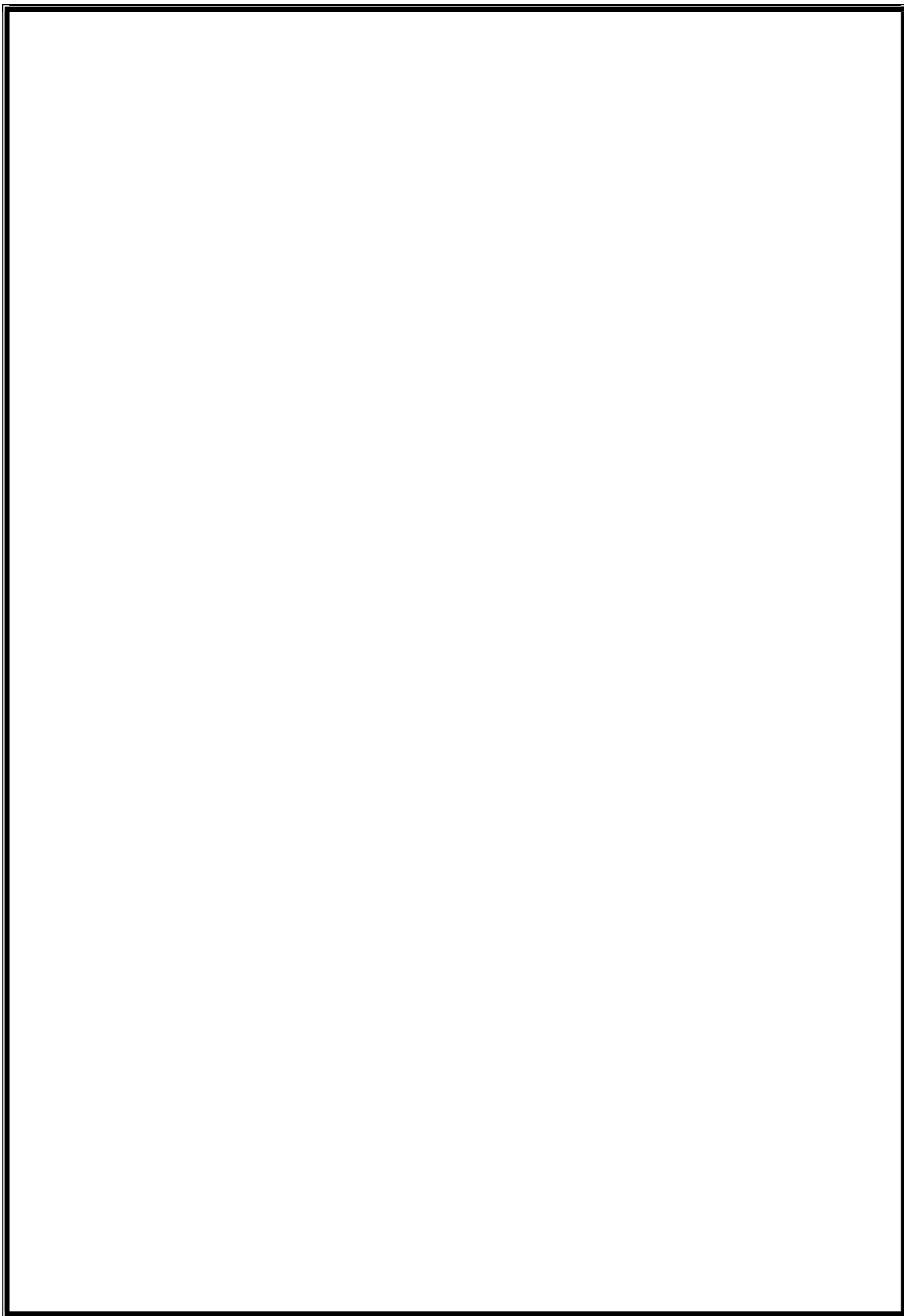
63 หมู่ 7 ตำบลองครักษ์ อำเภองครักษ์

จังหวัดนครนายก 26120

โทร. 0 2649 5000 ต่อ 27560

<http://eng.swu.ac.th> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej>

อีเมล journalengswu@gmail.com



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ รอดอัมพร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติ สถาพรประสาธน์

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายแผนและพัฒนา

รายนามคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกมอลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.เอเดรียน อีแวน ฟลัก	สถาบันสิรินธรวิทยเมธี
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จันทน์ไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร. พานิช วุฒิพฤษชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ โสภางค์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.อริศม ฤกษ์บุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย ศฤงคารินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. ธนียา เกาศล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.วรงค์ ปวรจารย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณาธิการอำนวยการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิลดา หวังพานิช

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สงกรานต์ วิริยะศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.จันจิรา จัปศิลป์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิติ สุภาพ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ธีรภัทร หล้าบุญเรือง	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา ตันติสถิระพงษ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์ ดร.สุธิดา ทีปรักษพันธ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์นาวิ รุจิรามพ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ศาสตราจารย์ ดร.ทนต์เกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกผาลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.เอเดรียน อีแวน พลัด	สถาบันสิริวิทยเมธี
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ โสภางค์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.อริคม ฤกษ์บุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย ศฤงคารินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. ธนียา เกาศล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.วงศ์ ปวรจารย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

นางสาวยุพาพร ประไพย์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้จัดพิมพ์ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวคิด ความรู้ ความก้าวหน้าใหม่ ด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลากว่า 15 ปี โดยบทความทุกเรื่องได้ผ่านการพิจารณากลั่นกรองและประเมินคุณภาพตามกระบวนการจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลายสถาบันการศึกษา ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับนี้ ได้นำเสนอบทความจำนวนทั้งสิ้น 8 บทความ เป็นบทความวิจัยจำนวน 8 บทความ โดยบทความทั้งหมดเป็นผลงานวิจัยพื้นฐานและผลงานวิจัยประยุกต์ในสาขาต่างๆ ทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งผลงานที่เผยแพร่ในครั้งนี้เป็นผลงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้งานและการแก้ปัญหาเชิงปฏิบัติการที่เข้ากับสถานการณ์ปัจจุบัน

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ ที่จะกระตุ้นการผลิตผลงานและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของนักวิจัย นักวิชาการและผู้อ่านทุกท่าน ทั้งนี้ เพื่อการมีส่วนร่วมในการสร้างสรรค์งานวิจัยอันจะเป็นการส่งเสริมการพัฒนาประเทศ ตามแนวนโยบายประเทศไทย 4.0 ในโอกาสนี้กองบรรณาธิการขอขอบคุณกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประเมินบทความ ให้ความเห็นที่เป็นประโยชน์ และมีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสารฯ ฉบับนี้เสมอ สุดท้ายนี้หากมีข้อเสนอแนะประการใดทางกองบรรณาธิการฯ ยินดีรับฟังข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงและพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล

บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

บทความวิจัย

อุณหภูมิการอบแห้งแบบหมุนเวียนของข้าวเปลือกมีผลต่อสารหอม (2AP)	1
Temperature of Recirculation batch drying the paddy had an effect on aroma (2AP)	
สมพจน์ คำแก้ว	
การศึกษาความสำคัญของปัญหาจากแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในงานก่อสร้างอาคาร	10
A Study on Significant Problems from Construction Drawings and Specifications in Building Construction	
กฤตวัฒน์ วิบูลโกศล มงคล อัสวติลภฤทธิ	
การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพชิ้นกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด	24
The Study of Drying Kinetics and Qualities of Dried Banana Slices by Vacuum-Infrared dryer	
ณัฐภค อิ่มเอิบ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	
The Virtual Reality Technology for Maintenance of Complex Machine in Manufacturing Training	37
Dissapoom Siyapong Panuwat Rodchom Akkharaphong Eksiri	
การบ่งชี้จุดเสี่ยงอันตรายบนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 อำเภอโพธิ์ศรีสุวรรณ จังหวัดศรีสะเกษ ด้วยวิธีควบคุมคุณภาพของการเกิดอุบัติเหตุ	53
Identification of Hazardous Points on Highway 2076 Phosrisuwan District, Sisaket Province by using Rate Quality Control	
ทิพย์สุดา กุมพันธ์	
การพัฒนาเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด	62
Development of Animal Feed Pelleting Machine	
เอกพันธ์ สุขมูลศิริ รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์	
รูปแบบการเก็บรักษาที่เหมาะสมกับผลผลิตที่มีความบอบบางสูง : กรณีศึกษาผักต้นอ่อนทานตะวัน	75
Optimal Storage Pattern for Extremely Delicate Produce : Case Study of Sunflower Sprouts	
จันทร์ภรณ์ พุนดี สุรมงคล นิมจิตต์	
การลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์	84
Reduction of Defective Rate from Crack Defects in Painting Process of Motorcycle Parts	
ชนิกานต์ รักธงไทย นภัสสงศ์ โอสสถิลป์	

อุณหภูมิการอบแห้งแบบหมุนเวียนของข้าวเปลือกมีผลต่อสารหอม (2AP)

Temperature of Recirculation batch drying the paddy had an effect on aroma (2AP)

สมพจน์ คำแก้ว

ห้องปฏิบัติการนวัตกรรมวิศวกรรมอบแห้งทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขที่ 1 หมู่ที่ 6 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Sompot Khomkaew

Drying-Agri-Innovation Engineering Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus,

1 M.6 Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

Email: Sku18me@gmail.com

(Received: September 2, 2020; Accepted: July 24, 2021)

บทคัดย่อ

การวิจัยศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กลิ่นหอมของข้าวหอมปทุมที่มีผลต่ออุณหภูมิสูงในการอบแห้งแบบหมุนเวียน โดยเครื่องอบแห้งมีขนาดมีความสูง 2270 มิลลิเมตร กว้าง 2481 มิลลิเมตร และยาว 1070 มิลลิเมตร ในการอบแห้งแบบหมุนเวียนมีความจุ 1.5 ตัน นอกจากนี้การใช้วิธีการที่เหมาะสมจะช่วยลดความเสียหายของข้าวหอมปทุม การวิจัยพัฒนาเครื่องอบแห้งอัตโนมัติสำหรับข้าวหอมปทุมในรูปแบบของการอบแห้งแบบหมุนเวียน โดยการทดสอบคุณสมบัติของอุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นและมีเงื่อนไขการทดสอบคือ อุณหภูมิ เวลาและชนิดแหล่งความร้อน แม้ว่าผลการทดสอบกระบวนการอบแห้ง แต่ละการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการระเหยของสาร 2AP ที่อุณหภูมิเครื่องอบแห้งอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ความชื้นข้าวลดลง ดังนั้นก่อนการอบแห้งข้าวหอมปทุมจะทำการวิเคราะห์ค่า $2AP \approx 1.465$ ไมโครกรัมต่อกรัมและหลังจากผ่านการอบแห้งแบบหมุนเวียนจะมีค่า $2AP \approx 1.580$ ไมโครกรัมต่อกรัมค่าความหอมเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: อบแห้ง ระบบหมุนเวียน แบบจำลองคณิตศาสตร์ ความหอม ข้าวหอมปทุม

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the effect of Thai Pathumthani Fragrant Rice on high temperature in recirculation batch drying. Dimension of drying is 2270 mm in height, 2481 mm in width and 1070 mm in length. It has a capacity of 1.5 tons. Research and development of automatic drying for Thai Pathumthani Fragrant Rice in the form of recirculation batch drying. The properties of the dehumidification temperature were tested and the tested in provided were temperature, time and heat source type. Even though the drying process test results. Each experiment demonstrated that the 2-Acetyl-1-Pyrroline (2 AP) evaporation at the drying temperature was 60°C , when the temperature increase would reduce the moisture content of rice. Therefore, before drying of Thai Pathumthani Fragrant Rice, the value of $2AP \approx 1.465$ micrograms per gram was analyzed, and after recirculation drying, it was $2AP \approx 1.580$ micrograms per gram.

Keywords: Drying, Recirculation, Geometry, Aroma, Thai Pathumthani Fragrant Rice.

1. บทนำ

กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเช่น การลดความชื้น การเก็บรักษาต่างๆ การสีแปรสภาพ การขนส่ง และการหุงต้ม ถึงแม้จะมีการจัดการที่ดีและถูกต้องในขั้นตอนการเพาะปลูกตั้งแต่การใช้เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์การจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม การจัดการน้ำในแปลงแต่หากขาดการจัดการที่เหมาะสมในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว อาทิเช่น วิธีการเก็บเกี่ยว การลดความชื้น ข้าวเปลือก การแปรสภาพและการเก็บรักษาต่างๆ การปฏิบัติการเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อคุณภาพและความหอมของข้าวอย่างเลี่ยงไม่ได้

กลิ่นหอมในข้าวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของข้าวหอมพันธุ์ต่างๆ และยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดราคาและคุณภาพของข้าวองค์ประกอบหลักของกลิ่นหอมในข้าวได้แก่ สาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)[1] สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของข้าว นอกจากเมล็ดข้าว เช่น ยอดอ่อน ราก เปลือก และใบ[2] ต่อมาได้ทำการสกัดสารระเหยจากข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบสาร 2AP และสารอื่นๆ มากกว่า 100 ชนิด และได้พัฒนาวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดโดยที่ไม่ใช้ความร้อนพบว่าสามารถวิเคราะห์สาร 2AP ในตัวอย่างข้าวปริมาณน้อยๆ[3][4] ในกระบวนการเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบกระแสนั้น พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งนั้นส่งผลให้อัตราการระเหยนํ้าเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกนั้นลดลง แต่การใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงนั้น ก็จะส่งผลทำให้ปริมาณร้อยละต้นข้าวลดลงตามไปด้วย

ในส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งนั้น โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศเข้าห้องอบแห้ง 20 เมตรต่อวินาที ระยะห่างกระแสนเท่ากับ 5 เซนติเมตรและอัตราการป้อนข้าวเปลือก 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกและร้อยละต้นข้าวลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ในขณะที่อัตราการระเหยนํ้าเชิงปริมาตร

เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น [5] การอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ กข.10 ด้วยเทคนิคเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดโดยการใช้เครื่องอบแห้งในระดับห้องปฏิบัติการมีการเวียนลมร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ให้มีปริมาณร้อยละ 80 สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกในห้องอบแห้งประมาณ 25 กรัม ทุกๆ 30 วินาที ในการวิเคราะห์ค่าความชื้นของข้าวเปลือกตามมาตรฐาน ASAE (1989) พบว่าการลดลงของความชื้นจะแปรผันตามอุณหภูมิของลมร้อนที่อุณหภูมิสูงการลดลงของความชื้นจะมากกว่ากรณีที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีลักษณะการลดลงเป็นไปในแนวทงทำงานเดียวกันเมื่อพิจารณาที่ระดับความชื้นสุดท้ายไม่ต่ำกว่าร้อยละ 19 เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกหักของข้าวเปลือก การอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 70-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเป็น 3.7-1.9 นาที อัตราการระเหยของนํ้าเพิ่มขึ้นเป็น 3.667-6.947 กิโลกรัม นํ้าที่ระเหยต่อชั่วโมงและค่าใช้จ่ายในการระเหยนํ้าลดลงเป็น 1.51-0.84 บาทต่อกิโลกรัม นํ้าที่ระเหย[6]

การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดโดยไอนํ้าร้อนยวดยิ่งเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ต่อการอบแห้งและคุณภาพข้าวเปลือกสภาวะต่างๆ ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25-43 ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 16-28 ความสูงฐานข้าวเปลือกที่กอง 10-15 เซนติเมตร อุณหภูมิไอนํ้าร้อนยวดยิ่ง 150-170 องศาเซลเซียส ความดันไอนํ้าในระบบอบแห้ง 106.1 กิโลพาสคาล พบว่าความเร็วต่ำสุดของไอนํ้าร้อนยวดยิ่งที่ทำให้ข้าวเปลือกเกิดฟลูอิดไดซ์เบด มีค่าประมาณ 2.6 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิไอนํ้าร้อนยวดยิ่งมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าความสูงฐานข้าวเปลือกที่ความสูง 10 เซนติเมตร ความเร็วไอนํ้าร้อนยวดยิ่ง 1.3 เท่า ของความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบด อุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion Temperature) มีค่าต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งการอบแห้งด้วยไอนํ้าร้อนยวดยิ่งสามารถลดความชื้นได้ต่ำถึงร้อยละ 18 โดยที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวไม่เปลี่ยนแปลงและถ้าลดความชื้นต่ำกว่านี้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยอากาศร้อน ข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอนํ้าร้อนยวดยิ่งมีเปอร์เซ็นต์ต้น

ข้าวสูงกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนประมาณร้อยละ 30 และข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีสีคล้ำกว่าข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งพบว่าข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำยวดยิ่งมีลักษณะเป็นข้าวหนึ่ง[5] และในการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิสูงมีผลให้ปริมาณสารหอมระเหย (2AP) ลดลง[7] ในทางกลับกันกับไม่พบความแตกต่างในคุณภาพความหอมของข้าวเมื่ออุณหภูมิในการลดความชื้นอยู่ระหว่าง 18-60 องศาเซลเซียส[8]

การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยอุณหภูมิสูง 54.3 องศาเซลเซียส ที่ 21.9 เปอร์เซ็นต์(RH) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่ำ 33 องศาเซลเซียสที่ 67.8 เปอร์เซ็นต์ (RH) ไม่มีผลต่อความหอมของข้าวสุกก่อนทำการเก็บรักษา[9] ต่อมาได้นำเทคนิคการลดความชื้นในเมล็ดด้วยอุณหภูมิต่ำ 3 วิธีคือ การตากแดด การปรับสภาพอากาศ 30-40 องศาเซลเซียสและการใช้อากาศร้อน 40, 50 และ 70 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณสารหอมระเหย (2AP) สูง [10] ตรงข้ามกับปริมาณสารหอมระเหย (2AP) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นเมล็ดข้าว ระหว่างช่วง 100-150 องศาเซลเซียส[11] ในการประเมินสถานการณ์การใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบต่างๆ ของโรงสีในประเทศไทยจากการสำรวจพบว่าใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่นิยมใช้มากที่สุดคือแบบ LSU 64.4 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังการผลิตรวม 79.3 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้มีความชื้นทุกระดับรองลงมาเป็นเครื่องอบแห้งแบบ RBD มีกำลังการผลิตรวม 20.6 เปอร์เซ็นต์ใช้อบแห้งข้าวเปลือกในช่วงความชื้น 20-30 เปอร์เซ็นต์ (wb) โรงสีที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 100 ตันต่อวัน พึ่งพอใจสมรรถนะโดยรวมของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมากที่สุดรองมาเป็น LSU, Cross Flow และ RBD ได้ทำการทดสอบสมรรถนะระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้ระบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับแบบไหลคลุกเคล้าแบบ LSU เพื่อประเมินสถานการณ์การใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ร่วมกับเครื่องเป่าลมเย็นพบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านอบแห้งด้วยฟลูอิดไดซ์เบดมีคุณภาพที่อยู่ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASAE (1989) และไม่มีเครื่องเป่าลมเย็นเครื่องอบแห้งแบบ LSU

คุณภาพที่ได้ลดลงและพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานคือความชื้นเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายในการอบแห้งอยู่ในช่วง 0.70-0.96 Baht/kg Water_{evap}[12] ในระบบอบแห้งข้าวเปลือกในโรงสีข้าวเพื่อหาระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่เหมาะสมกับโรงสีข้าวขนาดใหญ่ ลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ (wb) และมีคุณภาพการสีที่ดีโดยทำการสำรวจข้อมูลคุณภาพของข้าวเปลือกและปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับและศึกษาหาจุดที่เหมาะสมแล้วจึงสามารถออกแบบระบบอบแห้งให้ได้คุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (wb) ในการทดสอบครั้งนี้เลือกโรงสี 3 แห่ง ใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิช่วงประมาณ 110–130 องศาเซลเซียสข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงกว่า 19 เปอร์เซ็นต์ (wb) หลังจากนั้นพักข้าวก่อนใช้เครื่องอบแห้งแบบ LSU ขนาดบรรจุ 6-10 ตัน อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 80–100 องศาเซลเซียสอบแห้งข้าวเปลือกที่ต่ำกว่า 19 เปอร์เซ็นต์ (wb) แล้วเก็บตัวอย่างทุก 20 นาที [13]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, wb) คืออัตราส่วนของปริมาณความชื้นหรือน้ำในวัสดุต่อปริมาณวัสดุรวม โดยคิดวัสดุประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ ความชื้นและมวลแห้งจากสมการ (1) และ (2) ได้ดังนี้ [14]

$$M_w = \frac{\text{Mass of moisture}}{\text{Mass of material}} \quad (1)$$

$$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W - W_d}{W} \quad (2)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

W คือ มวลของวัสดุ (g)

W_w คือ มวลของความชื้นหรือปริมาณน้ำในวัสดุ (g)

W_d คือ มวลแห้งของวัสดุ (g)

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, db) คือ อัตราส่วนของปริมาณความชื้นในวัสดุต่อปริมาณแห้งในวัสดุจากสมการ (3) และ (4) ได้ดังนี้ [14]

$$M_d = \frac{\text{Mass of moisture}}{\text{Mass of dry solid}} \quad (3)$$

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W - W_d}{W_d} \quad (4)$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งนิยมใช้วิเคราะห์ทางทฤษฎี นิยมเปรียบเทียบค่าความชื้นบนค่าคงที่ คือ W_d พิจารณาที่ระบบอุณหอากาศจะได้ว่าปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับจากระบบอุณหอากาศมีค่าเท่ากับผลต่างของเอนทัลปีกระแสอากาศที่เข้าจากสมการ (5) ได้ดังนี้ [14]

$$Q_a = \dot{m}_a (C_a + C_v H_1) (T_2 - T_1) t \quad (5)$$

เมื่อ

Q_a คือปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับ (kJ)

•

$\dot{m}_a$ คืออัตราการไหลเชิงมวลอากาศแห้ง (kgdry air/h)

H_1 คืออัตราส่วนความชื้นอากาศ (kgwater/kgdry air)

C_a คือความร้อนจำเพาะอากาศแห้ง (kJ/kgdry air°C)

C_v คือความร้อนจำเพาะของไอน้ำ (kJ/kgwater°C)

T_1 คืออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอุณหอากาศ (°C)

T_2 คืออุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องอุณหอากาศ (°C)

t คือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

การหาปริมาณความร้อนของเครื่องอุณหอากาศก็คือการใช้ Psychometrics เมื่อทำการพิจารณาที่ห้องอบแห้งเราจะสามารถหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุจากสมการ (6) ได้ดังนี้ [14]

$$Q_{\text{evap}} = W_d (M_i - M_f) h_{fg} \quad (6)$$

เมื่อ

Q_{evap} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (kJ)

T_d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

M_i คือ ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง

M_f คือ ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของน้ำ (kJ/kg)

การอบแห้งนั้นความร้อนจากอากาศไม่ได้ใช้เพื่อในการระเหยน้ำออกจากวัสดุเท่านั้น แต่ความร้อนส่วนหนึ่งซึ่งเป็นความร้อนสัมผัสจะทำให้อุณหภูมิของวัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นไปสู่อุณหภูมิสุดท้ายที่ออกจากเครื่องอบแห้งโดยปริมาณความร้อนนี้จากสมการ (7) และ (8) ได้ดังนี้ [14]

$$Q_s = W_d C_{pd} (M_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw} (T_{p2} - T_{p1}) M_i \quad (7)$$

เมื่อ

Q_s คือปริมาณความร้อนการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ (kJ)

C_{pd} คือ ความร้อนจำเพาะของวัสดุแห้ง (kJ/kg °C)

C_{pw} คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg °C)

T_{p1} คือ อุณหภูมิวัสดุก่อนอบแห้ง (°C)

T_{p2} คือ อุณหภูมิวัสดุหลังอบแห้ง (°C)

ดังนั้น

$$Q_a = Q_{\text{evap}} + Q_s$$

OR

$$\dot{m} (C_a + C_v H_1) (T_2 - T_1) t = W_d (M_i - M_f) h_{fg} + \left\{ W_d C_{pd} (T_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw} (T_{p2} - T_{p1}) M_i \right\} \cdot \frac{W_d (M_i - M_f) h_{fg} \left\{ W_d C_{pd} (T_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw} (T_{p2} - T_{p1}) M_i \right\}}{(C_a + C_v H_1) (T_2 - T_1) t} \quad (8)$$

จากสมการ (8) หาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับการอบแห้งได้และจากอัตราการไหลอากาศที่ได้ เพื่อหาขนาดของพัดลมที่เหมาะสมในเครื่องอบแห้งที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนโดยคำนวณจากสมการ (9) ได้ดังนี้ [15]

$$f = \frac{Q_a}{\eta \eta_{ex} C_{fa}} \quad (9)$$

เมื่อ

F คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)

η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนระบบให้ความร้อน

η_{ex} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องแลกเปลี่ยน

C_f คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนั้นจะพิจารณาจากสองส่วนคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพในการอบแห้ง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง

3.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อปริมาณความร้อนที่ให้แก่เครื่องอบแห้งจากสมการ (10) และ (11) ได้ดังนี้ [14]

$$\eta_{dry} = \frac{Q_{evap}}{Q_a} \times 100 \quad (10)$$

$$\eta'_{dry} = \frac{Q_{evap} + Q_s}{Q_a} \times 100 \quad (11)$$

เมื่อ

η_{dry} คือประสิทธิภาพของการอบแห้ง (%)

η'_{dry} คือประสิทธิภาพการอบแห้งความร้อนสัมผัส (%)

นอกจากนี้ยังสามารถบอกประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งได้ในรูปของค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน

จำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ซึ่งเป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยน้ำออกจากวัสดุค่า SEC นี้จากสมการ (12) ได้ดังนี้ [15]

$$SEC = \frac{Q_a}{W_i - W_f} \quad (12)$$

เมื่อ

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kJ/kgwater)

3.2 หาประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ในการพิจารณาประสิทธิภาพในการอบแห้งจะประเมินจากค่าอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) ซึ่งสามารถคิดได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้งหรือปริมาณความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้งจากสมการ (13) และ (14) ได้ดังนี้ [14]

$$DR = \frac{W_i - W_f}{t} \quad (13)$$

$$DR = \frac{M_i - W_f}{t} \quad (14)$$

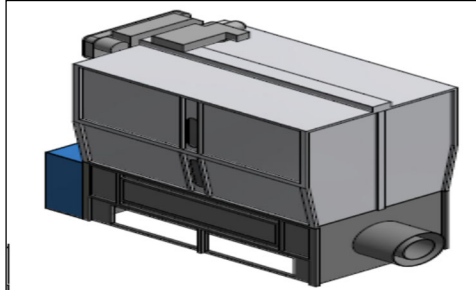
เมื่อ

DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h หรือ %db/h)

4. การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนขนาดเล็ก

การลดความชื้นข้าวเปลือกเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นแรกของการกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว โดยเป็นการลดความชื้นหรือน้ำส่วนเกินออกจากเมล็ดก่อนการจัดการในขั้นตอนต่อไป ความรวดเร็วของการนำเมล็ดเข้ากระบวนการการลดความชื้นและกรรมวิธีการลดความชื้นจะมีผลโดยตรงต่อสมบัติหรือคุณภาพต่างๆ ของเมล็ดข้าว ได้แก่ การแตกร้าวภายใน เปอร์เซ็นต์ของต้นข้าว สี และกลิ่น เป็นต้น เทคนิคการลดความชื้นในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีขึ้นกับวัตถุประสงค์ เช่น การอบเป็นเมล็ดพันธุ์ การแปรรูปเป็นอาหาร ค่าความชื้นเริ่มต้นของ

ข้าวเปลือกและชนิดเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนตามรูปที่ 1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติจำเพาะของเครื่องอบแห้งที่ออกแบบตามตารางที่ 1



รูปที่ 1 แสดงด้านบนแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียน
(Recirculation batch drying)

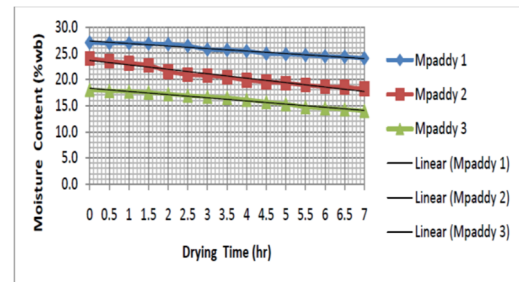
ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียน
(Recirculation batch drying)

น้ำหนักเครื่อง	320 Kg
ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า	0.5 hp
ขนาดตัวเครื่อง (กว้างxยาวxสูง)	24.81x10.70x22.70 cm
ความต้องการทางด้าน กำลังไฟฟ้า	220 V
อัตราการอบแห้ง ข้าวเปลือก	1500 Kg/6hr@14%
ความจุของข้าวเปลือก ห้องอบแห้ง	1500 kg
อุณหภูมิอบแห้ง	60 °C
เชื้อเพลิงให้ความร้อน	LPG

5. ผลการทดสอบ

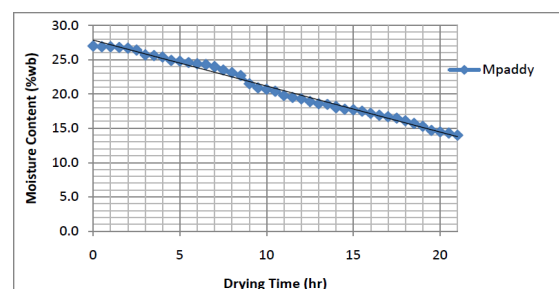
ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยมีค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 28 เปอร์เซ็นต์ (db) 24 เปอร์เซ็นต์ (wb) และ 18 เปอร์เซ็นต์ (wb) ที่บรรจุข้าวเปลือกเข้าเครื่องลดความชื้นครั้งละ 1.5 ตันซึ่งความชื้นสุดท้ายที่ต้องการอบแห้งให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์(wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียส มีการพักอยู่ 3 ช่วงเวลา จะกำหนดให้

เครื่องทำงานเองแบบถึงอัตโนมัติ โดยกำหนดค่าความชื้น Output 14.0 เปอร์เซ็นต์(wb) ความชื้นข้าวเปลือกสุดท้ายพบว่าค่าจะใช้เวลาในการลดความชื้นที่สั้นลง 7 ชั่วโมง ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ความชื้นกับเวลาอบแห้ง

ค่าชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์ (wb) ที่บรรจุข้าวเปลือกเข้าเครื่องลดความชื้นครั้งละ 1.5 ตันซึ่งความชื้นสุดท้ายที่ต้องการลดให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์ (wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียสไม่มีการพักเครื่อง พบว่าจากกราฟจากการทดลองเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าลดลงจนกระทั่งได้ค่าความชื้นตามที่กำหนดไว้ตั้งแต่ต้นโดยใช้เวลาอบแห้งข้าวเปลือกทั้งสิ้น 21 ชั่วโมง ตามรูปที่ 3

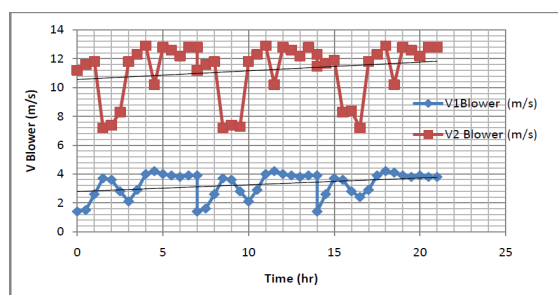


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ความชื้นกับเวลาอบแห้ง

ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์(wb) ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ 14.0 เปอร์เซ็นต์(wb) อุณหภูมิทำงานของเครื่องที่ 60 องศาเซลเซียส ไม่มีการพักเครื่อง พบว่าความเร็วของพัดลมที่ชุด V_1 ความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 4.2 เมตร/วินาที และความเร็วต่ำสุดอยู่ที่ 1.4 เมตร/วินาที เนื่องจากบริเวณพัดลม V_1 จะระบายความร้อนสะสมห้องหัวเผาเมื่อมีความร้อนแฝงสะสมที่ความเร็วลม 4.2 เมตร/

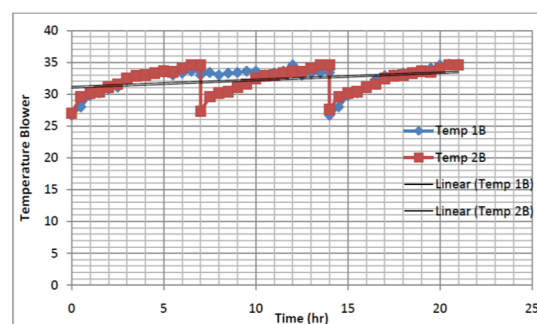
ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2564

วินาที และรักษาอุณหภูมิหัวเผาไม่ให้สูงที่ความเร็วลม 1.4 เมตร/วินาที ส่วนความเร็วของพัดลมที่ชุด V_2 ความเร็วลมสูงสุด 12.9 เมตร/วินาที และความเร็วลมต่ำสุด 7.2 เมตร/วินาที เนื่องจากบริเวณพัดลม V_2 จะเป็นที่เก็บข้าวเปลือกที่มีความร้อนสะสมค่อนข้างสูง (Tempering Tank) จะต้องระบายลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือกสับออกจากระบบเวลาอบแห้งทั้งสิ้น 21 ชั่วโมงตามรูปที่ 4



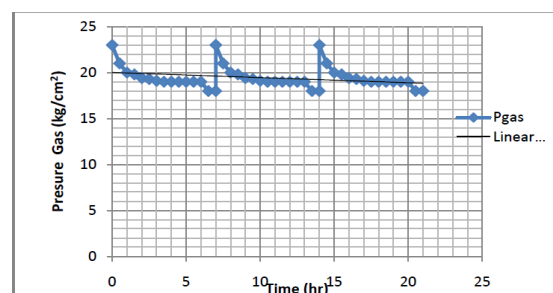
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ความเร็วพัดลมกับเวลา

ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์(wb) ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการลดให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์(wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียส ไม่มีการพักเครื่อง พบว่าความอุณหภูมิความร้อนที่ชุด T_{1B} อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 34.7 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 4.2 เมตร/วินาที และอุณหภูมิลมร้อนต่ำสุดอยู่ที่ 26.7 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.4 เมตร/วินาที เนื่องจากบริเวณเป็นห้องหัวเผาที่มีความร้อนแฝงสะสมอุณหภูมิค่อนข้างต่ำอีกทั้งชุดพัดลมระบายลมร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 นิ้ว ทำให้การรักษาอุณหภูมิของระบบอบแห้งค่อนข้างเสถียรมากขึ้นและอุณหภูมิลมร้อนที่ชุด T_{2B} อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียสที่ความเร็วลม 12.9 เมตร/วินาที และอุณหภูมิลมร้อนต่ำสุดอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 7.2 เมตร/วินาที โดยชุดพัดลมระบายลมร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว จะมีความร้อนที่มีการสะสมค่อนข้างสูงในห้อง (Tempering Tank) ความเร็วลมจะต้องระบายลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือกสับออกจากระบบเวลาที่ใช้ทั้งสิ้น 21 ชั่วโมงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์อุณหภูมิลมร้อนกับเวลา

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแก๊สกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยมีค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์ (wb) ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการลดให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์(wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียส เวลาการเปลี่ยนถังแก๊สทำทุก 7 ชั่วโมงจะมีการเปลี่ยนถังแก๊สเพื่อรักษาแรงดันแก๊สในระบบการเผาไหม้ของหัวเผาเพราะแรงดันแก๊สมีผลต่อเปลวไฟและค่าความร้อนที่หัวเผาผลิตออกมาในระบบอบแห้ง โดยควบคุมแรงดันแก๊สสูงสุดอยู่ที่ 23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันแก๊สต่ำอยู่ที่ 18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแก๊สกับเวลา

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าความหอม (2AP) ก่อนและหลังผ่านเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ข้าวกล้องหอมปทุม	Before Drying ($\mu\text{g/g}$)	After Drying ($\mu\text{g/g}$)
ตัวอย่างที่ 1	1.463	1.580
ตัวอย่างที่ 2	1.465	1.550
ตัวอย่างที่ 3	1.464	1.560

6. สรุป

ขนาดของความจุของถังพักความร้อน (Tempering Tank) เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกขนาด 1.5 ตันต่อรอบการลดความชื้น 1 รอบ ข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งความชื้นที่ได้มาจากการถนอมข้าวจะมีค่าความชื้นอยู่ประมาณที่ 24-28 เปอร์เซ็นต์(wb) มีค่าความหอม (2AP) วัดได้สูงสุด 1.465 ไมโครกรัมต่อกรัม ในรอบการทดสอบจะใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ขนาดความจุ 15 กิโลกรัมรอบการลดความชื้น 1 รอบ ต้นกำลังพลังงานความร้อนจะใช้หัวเผา (Burner Gas) โดยมีการควบคุมอุณหภูมิทำงานของหัวเผาไม่ให้เกินจากค่าที่กำหนดอยู่ที่ค่าความร้อนของลมร้อนอุณหภูมิที่ทำงาน 60 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกก่อนเข้าเครื่องอบแห้งและหลังผ่านการอบแห้งและผ่านการกะเทาะเป็นข้าวกล้องจำนวน 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง ตามตารางที่ 2 โดยเครื่องอบแห้งนี้จะเป็นระบบการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติโดยการป้อนคำสั่งในโปรแกรมในการป้อนคำสั่งกำหนดอุณหภูมิทำงาน 60 องศาเซลเซียส กำหนดค่าสุดท้ายความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์ (wb) กำหนดคุณสมบัติของข้าวที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งเป็นข้าวเปลือก (Paddy) หลังจากนั้นก็ทำการกดปุ่มสตาร์ท (Drying) โดยเครื่องอบแห้งจะมีชุดลำเลียงกระพ้อดึงข้าวเปลือกขึ้นมาด้านบนเพื่อกระจายกระจายหมุนเวียนข้าวภายในถังความชื้น (Tempering Tank) โดยระบบของเครื่องอบแห้งจะมีการทำความสะอาดข้าวเปลือกสองครั้ง ซึ่งป้อนเข้าด้านล่างเครื่องอบแห้งจะมีระบบพัดลมดูดสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับข้าวเปลือกพ่นออกด้านหลังก่อนข้าวเปลือกจะเข้าสู่ระบบลำเลียงกระพ้อเพื่อส่งข้าวเปลือกเข้าถังพักความร้อน (Tempering Tank) โดยในช่วงนี้จะมีระบบลมเป่าเอาเมล็ดข้าวเปลือกที่ลืบทับปนมากับข้าวเปลือกให้ออกด้านหลัง ซึ่งการทำงานของระบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนจะทำงานแบบหมุนเวียนเมล็ดข้าวเปลือกทุก 10 นาที ไปจนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกเท่ากันทุกเมล็ดได้ตามที่กำหนดไว้ตอนต้นและโปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนจะคำนวณเวลา

อบแห้งแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นที่เข้าระบบจนกระทั่งค่าความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย โดยโปรแกรมจะคำนวณเวลาในการลดความชื้นทั้งระบบได้ 21 ชั่วโมงต่อรอบการทำงาน เมื่อได้ค่าความชื้นตามกำหนดในการป้อนค่าความชื้นครั้งแรกระบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนจะหยุดทำงานเองแบบอัตโนมัติ ค่าความชื้นอยู่ประมาณที่ 14 เปอร์เซ็นต์(wb) มีค่าความหอม (2AP) วัดได้สูงสุด 1.580 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งระบบเชื้อเพลิงจะใช้ก๊าซธรรมชาติ (LPG) อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง 1.43 กิโลกรัม/ชั่วโมง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. G. Buttery, L. C. Ling, B. O. Juliano and J. G. Turnbaugh, "Cooked Rice Aroma and 2-Acetyl-1-pyrroline", *J. Agric. Food Chem.*, vol.31, no.4, pp. 823-826, 1983.
- [2] T. Yoshihashi, T. H. Nguyen and N. Kabaru, "Area dependency of 2-acetyl-1-pyrroline content in an aromatic rice variety Khao Dawk Mali 105", *Agricultural Sciences (IIRCAS)*, vol. 38, no.2, pp. 105-109, 2004.
- [3] S. Mahatheeranont, S. Promdang and A. Chiampiriyakul, "Volatile Aroma Compounds of Khao Dawk Mali 105", *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, vol. 29, pp. 508-514, 1995.
- [4] S. Mahatheeranont, S. Keawsaard and K. Dumri, "Quantification of the rice aroma compound 2-acetyl-1-pyrroline in uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice",

- J. Agric. Food Chem.*, vol. 49, pp. 773-779, 2001.
- [5] S. Thanasookprasert, T. Swasdisevi, S. Devahastin and S. Soponronnarit, “Dehydration of Unhusked Rice by using Impinging Stream Dryer”, *Journal of Science and Technology*, vol.1, pp. 2, 2012.
- [6] A. Taweerattanapanish, “Operating condition of fluidized bed dryer for increasing paddy quality”, M. Eng. dissertation, Dept. Mech. Eng., Kmutt Univ., Thonburi, Thailand, 1997.
- [7] T. Itani, M. Tamaki, Y. Hayata, T. Fushimi and K. Hashizume, “ Variation of 2-Acetyl-1-Pyrroline Concentration in Aromatic Rice Grains Collected in the Same Region in Japan and Factors Affecting Its Concentration”, *Plant Prod. Sci.*, vol.7, no.2, pp. 178-183, 2004.
- [8] M. D. Pearce B, P. Marks J and F. Meullenet, “ Effects of Postharvest Parameters on Functional Changes During Rough Rice Storage”, *Cereal chemistry*, vol.78, pp. 354-357, 2001.
- [9] B. G. Lyon, E. T. Champagne, B. T. Vinyard and W.R. Windham, “ Effects of Degree of Milling, Drying Condition and Final Moisture Content on Sensory Texture of Cooked Rice”, *Cereal chemistry*, vol.76, pp. 56-62, 1999.
- [10] S. Wongpornchai, K. Dumri, S. Jongkaew-wattana and B. Siri, “ Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105”, *Food Chemistry*, vol. 87, pp. 407-414, 2004.
- [11] N. Sunthonvit, G. Srzednicki and J. Craske, “Effects of High-Temperature Drying on the Flavor Components in Thai Fragrant Rice”, *Drying Technology*, vol.23, no.7, pp. 1407-1418, 2005.
- [12] K. Sungareeyakul, “Evaluation of Status of Paddy Dryers in Thailand” , M. eng. dissertation, Dept. Eng. , Kmutt Univ. , Thonburi, Thailand, 2001.
- [13] W. Rordprapat, S. Soponronnarit and M. Wangji, “ Paddy Drying Systems in Rice Mills”, *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, vol.33, pp. 126 –133, 1999.
- [14] S. Soponronnarit, “ Drying of grains” in *Energy Management Technology*, King Mongkuts University of Technology, Graduate School, 1997, pp. 144-163.
- [15] W. Kwaku Kalla, “Design Development and Evaluation of a Continuous- Flow Mixing Grain Dryer” , BSC. dissertation, Dept. Agr. Eng., Kwame Nkrumah Univ., Zambias, 2011.

การศึกษาความสำคัญของปัญหาจากแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ ในงานก่อสร้างอาคาร

A Study on Significant Problems from Construction Drawings and Specifications in Building Construction

กฤตวัฒน์ วิบูลโกศล มงคล อัสวาทิลกฤติ*

บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม สาขาวิชาการจัดการอสังหาริมทรัพย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Kritawat Wibongosol Mongkol Ussavasilokrit*

Graduate School of Management and Innovation, Real Estate Management Program

King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Pracha Uthit Rd., Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand

*Corresponding author Email: mongkol.uss@kmutt.ac.th

(Received: October 1, 2020; Accepted: August 14, 2021)

บทคัดย่อ

แบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่ไม่สอดคล้องกับการทำงานในพื้นที่ก่อสร้าง ปัญหาข้างต้นทำให้ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างอาคารทั้งในด้านเวลา ต้นทุน และคุณภาพของงานการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละโครงการและการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างมีการรวบรวมเพื่อนำมาสร้างเป็นแบบสอบถาม การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน โดยมีการทดสอบสมมติฐานความคิดเห็นของกลุ่มประเภทรธุรกิจและประสบการณ์ทำงานที่มีต่อปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้างผลการวิจัยพบว่าค่าดัชนีความสำคัญ (SI) ของประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ 1) ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุขอบเขตงานไม่ชัดเจน 2) ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างระบุตำแหน่งและระยะของช่องเปิดขัดแย้งกับระยะของแบบสถาปัตยกรรมและแบบงานระบบประกอบอาคาร 3) ปัญหาที่เกิดจากแบบสถาปัตยกรรมไม่ระบุรายละเอียดหรือระบุไม่ครบถ้วน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานพบว่ากลุ่มประเภทรธุรกิจและประสบการณ์การทำงานมีความคิดเห็นแตกต่างกันในหลายปัญหา สุดท้ายนี้งานวิจัยได้เสนอแนะการจัดทำรายการตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบเพื่อเป็นส่วนสนับสนุนให้โครงการก่อสร้างสามารถแล้วเสร็จตามเป้าหมายต่อไป

คำสำคัญ: ปัญหา แบบก่อสร้าง รายการประกอบแบบ โครงการก่อสร้าง

ABSTRACT

Construction drawings and specifications that are inconsistent with the work on the construction site. The above problems affect the success of the building construction projects in terms of time, cost and quality of work. The purpose of this research is to study problems of

construction drawings and specifications in construction projects. Various problems arising in each project and interviews with people involved in the construction project were gathered to create a questionnaire. The data were analyzed using descriptive and inferential statistics. The hypotheses, opinions of business groups and working experience were tested on the problems of the construction drawings and the specifications of construction projects. The results of the study found that the significance index (SI) of the most problematic issues focused on the following issues: 1) Problems arising from the accompanying list of unclear scope of work, 2) Problems arising from the structure plan, indicating the position and distance of the opening, conflict with the architectural design and the building system assembly, 3) Problems arising from unspecified or incomplete architectural drawings. In addition, the hypothesis testing found that the business group and work experience had different opinions on several problems. Finally, this research recommends the preparation of a checklist for the correctness and completeness of the construction drawings and the specifications to support the construction project's goals.

Keyword: Problem, Construction drawing, Specification, Construction project.

1. บทนำ

การดำเนินงานก่อสร้างในแต่ละโครงการนั้น มักจะประกอบไปด้วยผู้เกี่ยวข้องหลากหลายฝ่าย เช่น เจ้าของโครงการ, ผู้ออกแบบ, ที่ปรึกษาโครงการ และผู้รับเหมาก่อสร้าง เป็นต้น มาร่วมกันทำงานในขอบเขตและหน้าที่ความรับผิดชอบที่แตกต่างกันออกไปของแต่ละฝ่าย ซึ่งในการทำงานร่วมกันนั้น ย่อมมีปัญหาเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน ทำให้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการก่อสร้าง เช่น แบบ รายการประกอบแบบ และเอกสารประกอบสัญญาที่ถูกต้องและครบถ้วน เพื่อลดความขัดแย้งที่จะเกิดขึ้น โดยแบบที่ใช้เริ่มต้นในการก่อสร้าง (Construction Drawing) เป็นแบบที่จัดทำขึ้นมาจากทางผู้ออกแบบ แต่แบบที่ได้รับมาอาจจะต้องมีปรับเปลี่ยนรายละเอียดให้สอดคล้องกับการทำงานในพื้นที่ก่อสร้างจริง [1]

สาเหตุดังกล่าวจึงเป็นที่มาของปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้าง ที่จะต้องนำแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่อาจจะยังไม่สอดคล้องกับการทำงานในพื้นที่ก่อสร้างจริง มาดำเนินการก่อสร้างจริง เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาต่างๆตามมา ดังนั้นจึงควรที่

จะต้องมีวิธีแก้ไขและป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ เพื่อให้แบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบมีความสมบูรณ์มากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานก่อสร้าง และลดผลกระทบจากการสิ้นเปลืองทรัพยากร และค่าใช้จ่าย รวมถึงช่วยให้โครงการแล้วเสร็จทันตามเวลาที่กำหนดไว้

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง

2) เพื่อศึกษาหาแนวทางป้องกันปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง

1.2 สมมติฐานของการวิจัย

ประเภทของธุรกิจขององค์กร และประสบการณ์การทำงานที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านความถี่และความรุนแรงของปัญหาจากแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบแตกต่างกัน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดการจัดการงานก่อสร้าง

การจัดการงานก่อสร้าง เป็นกระบวนการจัดการและบริหารงานก่อสร้างให้สามารถดำเนินงานก่อสร้างได้อย่าง

มีระบบ โดยจะใช้ทรัพยากรในส่วนต่างๆ ซึ่งได้แก่ คน (Man) เงิน (Money) วัสดุ (Material) การจัดการ (Management) วิธีปฏิบัติงาน (Method) และเครื่องจักร (Machine) ในการบริหารงานเพื่อให้งานก่อสร้างดำเนินการเป็นไปตามแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบรวมถึงข้อกำหนดต่างๆตามความต้องการของเจ้าของโครงการ สถาปนิกและวิศวกร [2]

จากแนวความคิดการจัดการงานก่อสร้างที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นถึงประเด็นร่วมที่สำคัญ คือทรัพยากรในส่วนต่างๆในการบริหารงานก่อสร้าง เช่น คน การจัดการ และวิธีปฏิบัติงาน ซึ่งผู้วิจัยได้นำทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องใช้ประกอบการสร้างเครื่องมือการวิจัย

2.2 ผู้เกี่ยวข้องกับธุรกิจหรือโครงการก่อสร้าง

ธุรกิจก่อสร้างมักจะมีผู้เกี่ยวข้องอยู่หลายฝ่าย เพื่อให้โครงการก่อสร้างนั้นประสบความสำเร็จลุล่วงได้ดังนี้ [3]

1) เจ้าของงาน (Owner, Client, Developer) เป็นผู้ริเริ่มก่อให้เกิดโครงการขึ้นเป็นนักธุรกิจที่ลงทุนในโครงการก่อสร้าง เพื่อหวังประโยชน์และผลตอบแทนจากโครงการ

2) สำนักงานออกแบบ (Design Firm) จะเป็นผู้รับแนวคิดหรือความต้องการของเจ้าของโครงการแล้วนำมาพัฒนาให้เป็นรูปแบบให้ตรงตามความประสงค์ของเจ้าของโครงการและอยู่ในงบประมาณที่ได้ตั้งไว้ รวมทั้งสามารถตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้อาคารได้ด้วย

3) ผู้รับเหมาก่อสร้าง (Contractor) เป็นผู้ปฏิบัติงานก่อสร้างตามแบบที่ทางผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ให้เกิดเป็นตัวอาคารจริงขึ้นมา โดยตอบสนองความต้องการของเจ้าของโครงการและถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

4) ที่ปรึกษาโครงการ (Consultant) บริษัทที่ปรึกษาจะเปรียบเสมือนตัวแทนของเจ้าของโครงการทำหน้าที่ควบคุมและบริหารสัญญางานก่อสร้างในโครงการ

ตามที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นถึงประเด็นของผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างที่สำคัญซึ่งผู้วิจัยได้นำวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องใช้ประกอบการสร้างเครื่องมือการวิจัย

2.3 แบบก่อสร้างและประเภทของแบบก่อสร้าง

แบบก่อสร้าง (Construction Drawing) เป็นแบบที่จัดทำขึ้นเพื่อแสดงรายละเอียดและสัดส่วนต่างๆของอาคาร เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานก่อสร้าง ตั้งแต่เริ่มต้นงานโครงการจนกระทั่งอาคารดำเนินการก่อสร้างเสร็จครบถ้วนตามรูปแบบที่กำหนดไว้โดยแบบก่อสร้างแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ แบบก่อสร้างทางวิศวกรรม และแบบก่อสร้างทางสถาปัตยกรรม รายละเอียดดังนี้ [4]

1) แบบวิศวกรรม (Engineering Drawing): แบบวิศวกรรมเป็นแบบที่จัดทำขึ้นเพื่อประกอบกับแบบก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมโดยได้จัดแสดงรูปตัดเพื่อประโยชน์ด้านความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร และสิ่งจำเป็นอื่นๆในระบบอาคาร โดยแยกตามสาขาของงานวิศวกรรม เช่น แบบวิศวกรรมโครงสร้าง (Structural Drawing)แบบวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Drawing)แบบวิศวกรรมสุขาภิบาล (Sanitary Drawing)

2) แบบก่อสร้างทางสถาปัตยกรรม (Architectural Drawing) : แบบก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมเป็นแบบที่จัดทำขึ้นโดยสถาปนิกเป็นผู้กำหนดลักษณะอาคาร รูปร่างโดยทั่วไปของอาคาร โดยเขียนด้วยมาตราส่วนย่อเพื่อให้ผู้ที่นำแบบไปใช้นั้นจะสามารถวัดขนาดของอาคารได้ในทุกส่วน และนำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานก่อสร้างได้

จากนิยามและความหมายที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นถึงประเด็นที่สำคัญ คือ ประเภทและลักษณะของแบบก่อสร้าง ซึ่งผู้วิจัยได้นำวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องใช้ประกอบการสร้างเครื่องมือการวิจัยและตั้งสมมติฐาน

2.4 ผลกระทบที่เกิดจากปัญหาของแบบก่อสร้าง

1) ข้อมูลทั่วไปของโครงการ: โครงการก่อสร้างจะมีลักษณะโครงการที่มีหลากหลายประเภทและยังมีผู้ที่เกี่ยวข้องอยู่หลากหลายฝ่าย จึงมักจะมีปัญหาเกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างมากมาย โดยในที่นี้จะกล่าวถึงปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อโครงการเป็นอย่างมาก เนื่องจากในขั้นตอนการออกแบบอยู่ในช่วงแรกๆของการเริ่มต้น

โครงการ ถ้าสามารถออกแบบและจัดทำแบบก่อสร้างให้มีความละเอียด มีการนำแบบมาประสานกันได้อย่างสมบูรณ์ โอกาสที่จะเกิดปัญหาในช่วงการดำเนินงานก่อสร้างก็จะลดลง แต่ในทางกลับกัน ถ้าแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่นำไปใช้มีปัญหา ก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่างๆในโครงการก่อสร้างได้

2) กระบวนการออกแบบ: กระบวนการออกแบบ คือ กระบวนการที่นำความต้องการและแนวคิดของเจ้าของโครงการมาแปลงเป็นแบบก่อสร้างที่สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างได้ [5]

3) คุณภาพในกระบวนการก่อสร้าง : ขั้นตอนการก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่ส่งผลถึงคุณภาพของงานก่อสร้าง ซึ่งปัจจัยที่มีผลถึงคุณภาพของงานก่อสร้าง ได้แก่ แบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ ขั้นตอนในการดำเนินงาน เทคนิคและวิธีการดำเนินงานที่เลือกใช้ รวมถึงฝีมือและความสามารถของผู้รับเหมาก่อสร้างในการอ่านแบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบอาคารที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ โดยไม่เกินงบประมาณและระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้[5]จากวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นถึงประเด็นที่สำคัญ คือ ปัญหาที่เกิดขึ้นจากแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบจะส่งผลถึงคุณภาพของงานก่อสร้าง

โดยผู้วิจัยได้นำทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเอกสารขอข้อมูลเพิ่มเติม (Request For Information : RFI) ในโครงการก่อสร้างต่างๆ เพื่อใช้ประกอบการสร้างเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ รวมทั้งใช้ในการสรุปและอภิปรายผลการวิจัย

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการหาข้อมูลของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง ผู้วิจัยใช้วิธีการดำเนินการวิจัยโดยการเก็บข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) โดยใช้การศึกษาจากเอกสาร (Documentary Research) อาทิเช่น ศึกษาหลักการ แนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆจากเอกสาร

วิชาการ วารสาร หนังสือ รายงานการวิจัยและการสืบค้นข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต นโยบาย กฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง เอกสารเผยแพร่ เอกสารในโครงการก่อสร้าง ตลอดจนข้อมูลและสถิติ เพื่อให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีความครอบคลุมรอบด้าน ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยไว้ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ ทั้งในและต่างประเทศ เพื่อใช้ในการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

2) จัดทำแบบสอบถามให้มีเนื้อหาครอบคลุมตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

3) สืบเสาะหากลุ่มตัวอย่างผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างที่กำลังอยู่ในช่วงดำเนินการก่อสร้าง

4) ดำเนินการส่งแบบสอบถามถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้าง ซึ่งได้แก่ วิศวกร สถาปนิก พนักงานเขียนแบบ

5) เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษา

6) วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

7) นำเสนอผลการวิจัยและเสนอแนวทางตรวจสอบแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการวิจัย คือแบบสอบถาม (Questionnaire) จากนั้นนำข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโครงการก่อสร้างมาพัฒนาเป็นแบบสอบถาม โดยมีรายละเอียดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) ข้อมูลทั่วไปเป็นข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถามและผู้ถูกสัมภาษณ์ ซึ่งจะเป็นการสอบถามเกี่ยวกับ เพศ อายุ ระดับการศึกษา ตำแหน่งงาน ลักษณะองค์กร ประเภทของธุรกิจและประสบการณ์ทำงาน

2) ข้อมูลแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ ดำเนินการออกแบบสอบถามให้ครอบคลุมเนื้อหาของงานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในแบบก่อสร้างและรายการประกอบ

แบบ รวมถึงเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างทั้งหมด โดยแบบสอบถามจะเกี่ยวข้องกับปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง รวมทั้งสิ้น 40 ข้อ ซึ่งเป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามรูปแบบของ Likert Scale มี 5 ระดับ โดยแบ่งเป็นระดับได้ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 มาตราส่วนประมาณค่า

ระดับ	ระดับความถี่	ระดับผลกระทบ
5	ความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด	ผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด
4	ความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้นมาก	ผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นมาก
3	ความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้นปานกลาง	ผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นปานกลาง
2	ความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้นน้อย	ผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นน้อย
1	ความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด	ผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด

3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ กลุ่มประชากร ได้แก่ วิศวกร สถาปนิกและพนักงานเขียนแบบ โดยในกรณีนี้ผู้วิจัยไม่ทราบถึงจำนวนของกลุ่มตัวอย่างที่แน่ชัด จึงใช้วิธีการอ้างอิงจากตารางสูตรสำเร็จรูปของทาโร ยามาเน่ที่ไม่ทราบขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 0.05 จึงสรุปได้ว่าจะใช้กลุ่มตัวอย่างโดยอาศัยวิธีการสุ่มแบบตามสะดวก จำนวน 400 คน [6] โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.05 และระดับความเชื่อมั่น 95%

3.4 ขอบเขตการศึกษา

1) ขอบเขตด้านประชากร

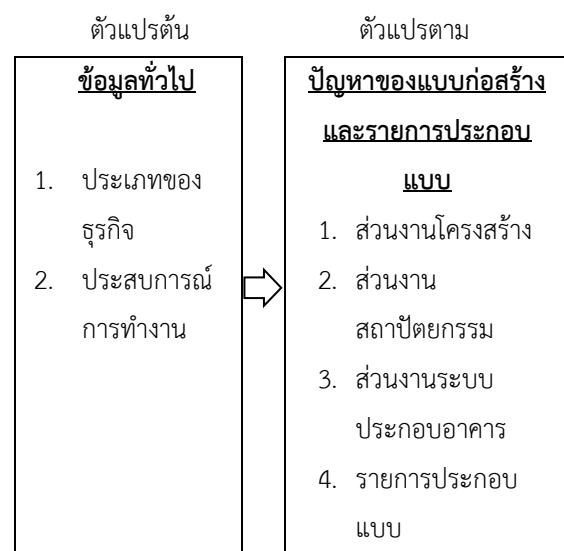
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ กลุ่มวิศวกร สถาปนิกและพนักงานเขียนแบบ จำนวนประมาณ 400 คน

2) ขอบเขตเนื้อหา

ผู้วิจัยมุ่งศึกษาถึงข้อมูลปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้างอาคารเท่านั้น โดยศึกษาในส่วนองระดับความถี่และระดับผลกระทบของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง

3) ขอบเขตตัวแปร

กรอบแนวคิดการวิจัยมีตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยแสดงดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

(1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ประเภทของธุรกิจขององค์กร และประสบการณ์การทำงาน

(2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ระดับความถี่ของการเกิดปัญหาและระดับผลกระทบของปัญหา

3.5 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนการตรวจสอบความเชื่อถือได้ของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีการทดสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหาให้ตรงตามวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) โดยนำข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิดในการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบจากนั้นแยกเป็นปัญหาจากหมวดโครงสร้าง หมวดงานสถาปัตยกรรม หมวดงานระบบประกอบอาคาร ทั้งหมดจำนวน 40 ข้อ

ซึ่งเป็นปัญหาที่มักพบในช่วงของการดำเนินงานก่อสร้าง โดยทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน เพื่อทำการตรวจสอบผลปรากฏว่าแบบสอบถามมีค่า IOC อยู่ในช่วง 0.60-1.00 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด [7] แสดงว่าแบบสอบถามมีความสอดคล้องกับประเด็นปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ หลังจากนั้นนำไปทดสอบเชื่อมั่น (Reliability) กับกลุ่มตัวอย่างอีกจำนวน 30 ชุด และคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science) ในการตรวจสอบความเชื่อถือได้ของแบบสอบถาม โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Cronbach's alpha) การเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะนี้สำหรับงานวิจัยเชิงสำรวจ (Exploratory Research) ยอมรับที่ค่ามากกว่า 0.70 [8] ซึ่งจากการทดสอบได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Cronbach' alpha) รวมเท่ากับ 0.973 แสดงว่าแบบสอบถามชุดนี้มีความน่าเชื่อถือสูงเพียงพอต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถนำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.6 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

1) สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการบรรยายด้วยตาราง หรือกราฟ โดยอธิบายถึงรายละเอียดของข้อมูลจากแบบสอบถาม เช่น ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ/ตำแหน่งงาน ลักษณะองค์กร/บริษัท ประเภทของธุรกิจและประสบการณ์ทำงาน รวมถึงปัจจัยของผลกระทบและความถี่ที่เกิดขึ้นของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้างโดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

(1) การแจกแจงความถี่ (Frequency) คำนวณเป็นค่าสถิติร้อยละ (Percentage) โดยนำมาใช้อธิบายข้อมูลสำหรับแบบสอบถามส่วนที่ 1

(2) ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean and Standard Deviation: S.D.) นำมาใช้อธิบายข้อมูลสำหรับแบบสอบถามส่วนที่ 2

(3) การคำนวณดัชนีความรุนแรง (Severity Index: SI) [9][10][11] เพื่อจัดลำดับความรุนแรงของแต่ละประเด็นดังสมการ

Severity Index (SI)= RII(Frequency) x RII(Impact)
โดย RII หรือ Relative Importance Indexเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$RII = \frac{\sum(w_i)}{A \times N} \quad (1)$$

โดย	W_i	คือ ระดับคะแนนที่กรอก
	A	คือ มาตราส่วน
	N	คือ จำนวนผู้ให้ข้อมูล

2) สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Analysis) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

(1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) การวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้เป็นสถิติที่ใช้สำหรับวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไป โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มจะต้องมีการแจกแจงเป็นปกติ มีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน และเป็นอิสระจากกัน โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

(2) การเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparisons) ใช้กรณีที่พบว่าระดับความคิดเห็นในด้านนั้นๆ ขึ้นกับตัวแปรอิสระ ทดสอบโดยใช้สถิติ Least-Significant Different (LSD) หรือ Game-Howell เพื่อหาว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มใดบ้างที่แตกต่างไปจากกลุ่มอื่น

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง ผลจากการศึกษาค่าเฉลี่ยความถี่ของปัญหา และค่าเฉลี่ยผลกระทบของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ รวมถึงค่าดัชนีความรุนแรงของปัญหาในแต่ละข้อ มีรายละเอียดของข้อมูลปัญหาของแบบงานโครงสร้าง แบบงาน

สถาปัตยกรรม แบบงานระบบประกอบอาคาร และรายการประกอบแบบ แสดงดังตารางที่ 2-5 ดังนี้

ตารางที่ 2 ข้อมูลปัญหาของแบบงานโครงสร้าง

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง	ความถี่ของปัญหา		ผลกระทบของปัญหา		SI	อันดับ
		S.D.		S.D.		
หมวดงานโครงสร้าง						
1.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างไม่ระบุรายละเอียดหรือระบุไม่ครบถ้วน เช่น ตำแหน่งประตู ขนาด สลักเหล็ก เฟอร์นิเจอร์ ของ ฐานราก คาน เสา พื้น[ST-1]						
	3.80	1.082	3.11	1.016	0.473	2
2.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างระบุตำแหน่งและระยะของช่องเปิดขัดแย้งกับระยะของแบบสถาปัตยกรรมและแบบงานระบบประกอบอาคาร[ST-2]						
	3.79	1.133	3.27	0.918	0.473	1
3.ปัญหาที่เกิดจากแบบโครงสร้างแสดงขนาดและตำแหน่งเสาขัดแย้งกับแบบสถาปัตยกรรม[ST-3]						
	3.68	1.089	3.00	1.075	0.486	3
4.ปัญหาที่เกิดจากแปลนพื้นโครงสร้างคอนกรีตแรงอัดสูง (Post-tension) ขัดแย้งกับแบบแปลนที่ระบุชนิดพื้นเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Slab) [ST-4]						
	2.75	1.143	2.67	1.047	0.442	4
5.ปัญหาที่เกิดจากแบบโครงสร้างแสดงแนวขอบเขตพื้นอาคารขัดแย้งกับแนวขอบเขตพื้นอาคารของแบบสถาปัตยกรรม[ST-5]						
	3.36	1.121	2.70	1.120	0.294	8
6.ปัญหาที่เกิดจากแบบโครงสร้างแสดงระดับพื้นขัดแย้งกับระดับพื้นในแบบสถาปัตยกรรม[ST-6]						
	3.53	1.050	2.94	1.077	0.415	5
7.ปัญหาที่เกิดจากระยะหุ้มคอนกรีตฐานราก (Covering) ในแบบขยายฐานรากระบุระยะขัดแย้งกับแบบรูปตัดฐานรากหรือค่ามาตรฐาน[ST-7]						
	2.53	1.206	2.64	0.952	0.267	10
8.ปัญหาที่เกิดจากแบบโครงสร้างระยะกึ่งกลางเสาออกจากกริดไลน์(Grid line)ไม่ตรงกับแบบสถาปัตยกรรม[ST-8]						
	3.25	1.012	2.45	0.947	0.345	7
9.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างระบุความหนาพื้นขัดแย้งกับแบบขยายรายละเอียดของพื้น[ST-9]						
	3.53	1.178	2.90	1.067	0.409	6
10. ปัญหาที่เกิดจากแบบงานโครงสร้างไม่ระบุตำแหน่ง ระยะ และแบบขยายรายละเอียดของบันได[ST-10]						
	2.53	1.174	2.91	1.119	0.294	9

จากตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของความถี่, ค่าเฉลี่ยของผลกระทบ และค่าดัชนีความรุนแรง (SI) ของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด มีการนำมาจัดลำดับความสำคัญของดัชนีความรุนแรง โดยปัญหาที่มีค่า SI อันดับแรก ในส่วนของงานโครงสร้าง คือ “[ST-2] ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างระบุตำแหน่งและระยะของช่องเปิดขัดแย้งกับระยะของแบบสถาปัตยกรรมและแบบงานระบบประกอบ

อาคาร” มีค่าเฉลี่ยของความถี่เท่ากับ 3.79 ค่าเฉลี่ยของผลกระทบเท่ากับ 3.27 และค่า SI เท่ากับ 0.473

ตารางที่ 3 ข้อมูลปัญหาของแบบงานสถาปัตยกรรม

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง	ความถี่ของปัญหา		ผลกระทบของปัญหา		SI	อันดับ
		S.D.		S.D.		
หมวดงานสถาปัตยกรรม						
11.ปัญหาที่เกิดจากแบบสถาปัตยกรรมไม่ระบุรายละเอียดหรือระบุไม่ครบถ้วน เช่น ชื่อ สลักเหล็ก ตำแหน่ง ชนิดวัสดุ ค่าระดับ ลงในแปลน[AR-11]						
	3.81	1.057	3.15	1.004	0.480	1
12.ปัญหาที่เกิดจากรายละเอียดวัสดุไม่ระบุในแบบและไม่มีแบบขยายรายละเอียด เช่น ขนาดของวัสดุ ความหนาของวัสดุ ความสูงของวัสดุ[AR-12]						
	3.76	1.056	3.19	1.027	0.480	2
13.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนระบุให้ดูแบบขยายรายละเอียดผนัง / ผิดตำแหน่ง [AR-13]						
	2.94	1.22	2.41	1.013	0.283	7
14.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนสถาปัตยกรรมไม่ระบุตำแหน่งตะแกรงดักกลิ่น (Floor Drain)[AR-14]						
	3.09	0.939	2.80	1.103	0.346	6
15.ปัญหาที่เกิดจากแบบสถาปัตยกรรมระบุสัญลักษณ์ทิศทางการตัดผ่านแบบขยายและรูปตัด (Section)[AR-15]						
	2.53	1.026	2.13	1.125	0.216	10
16.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนที่ระบุสัญลักษณ์ ตำแหน่งและรายละเอียดประตู-หน้าต่างขัดแย้งกับแบบขยายรายละเอียดประตู-หน้าต่าง[AR-16]						
	3.46	1.089	2.78	1.089	0.385	3
17.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนงานสถาปัตยกรรมระบุระดับความสูงพื้นแต่ละชั้นขัดแย้งกับรูปตัดอาคาร (Section)[AR-17]						
	2.67	1.05	2.48	1.009	0.265	8
18.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานสถาปัตยกรรมไม่แสดงทิศทางเปิดหรือแสดงทิศทางเปิดขัดแย้งกับแบบขยายประตูหน้าต่าง[AR-18]						
	2.77	1.004	2.28	0.996	0.253	9
19.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานสถาปัตยกรรมระบุชนิดของสุขภัณฑ์ไม่ตรงกับแบบงานระบบประกอบอาคาร(ระบบสุขาภิบาล)[AR-19]						
	2.98	1.254	3.05	1.186	0.364	4
20.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนงานสถาปัตยกรรมแสดงแบบแปลนห้องน้ำขัดแย้งกับแบบงานระบบสุขาภิบาล[AR-20]						
	2.88	1.188	3.03	1.145	0.349	5

จากตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของความถี่, ค่าเฉลี่ยของผลกระทบ และค่าดัชนีความรุนแรง (SI) ของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด แล้วนำมาจัดลำดับความสำคัญของดัชนีความรุนแรง โดยปัญหาที่มีค่า SI อันดับแรก ในส่วนของงานสถาปัตยกรรม คือ “[AR-11] ปัญหาที่เกิดจากแบบสถาปัตยกรรมไม่ระบุรายละเอียดหรือระบุไม่ครบถ้วน เช่น ชื่อ สลักเหล็ก ตำแหน่ง ชนิดวัสดุ ค่าระดับ

ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2564

ลงในแปลน” มีค่าเฉลี่ยของความถี่เท่ากับ 3.81 ค่าเฉลี่ยของผลกระทบเท่ากับ 3.15 และค่า SI เท่ากับ 0.480

ตารางที่ 4 ข้อมูลปัญหาของแบบงานระบบประกอบอาคาร

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง	ความถี่ของปัญหา		ผลกระทบของปัญหา		SI	อันดับ
		S.D.		S.D.		
หมวดงานระบบประกอบอาคาร						
21.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบประกอบอาคารไม่มีระบุรายละเอียดวัสดุและรายละเอียดในแบบ เช่น ขนาดของวัสดุ ความหนาของวัสดุ ชนิดของวัสดุ[BS-21]						
	3.42	1.071	2.81	1.198	0.384	5
22.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนงานระบบประกอบอาคารแสดงสัญลักษณ์ในแบบขัดแย้งกับสัญลักษณ์ประกอบแบบ[BS-22]						
	3.71	1.176	2.83	1.211	0.420	3
23.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนงานระบบสุขาภิบาลไม่ระบุตำแหน่งและทิศทางการระบายน้ำในแปลน[BS-23]						
	3.16	1.121	3.39	1.037	0.428	1
24.ปัญหาที่เกิดจากแบบไม่ระบุตำแหน่ง ความสูงและระดับการติดตั้งอุปกรณ์ในแบบ[BS-24]						
	3.53	1.160	2.76	1.117	0.390	4
25.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบประกอบอาคารไม่ระบุแนวทางเดินท่อและอุปกรณ์ต่างๆในแบบ[BS-25]						
	2.78	1.071	3.05	1.124	0.339	7
26.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบไม่ระบุระดับตำแหน่งและระดับของท่อและอุปกรณ์[BS-26]						
	3.50	1.156	3.0	1.008	0.42	2
27.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบประกอบอาคาร(ระบบลิฟต์)ไม่ระบุระยะช่องเปิดและตำแหน่งล้อคอคอนโทรลงานลิฟต์ในแบบโครงสร้างปล่องลิฟต์ (Core Wall) [BS-27]						
	3.26	1.029	2.92	1.092	0.381	6
28.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบไฟฟ้าระบุการรับไฟจากวงจรขัดแย้งกับตารางโหลด [BS-28]						
	2.84	1.000	2.94	1.209	0.334	8
29.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนระบุตำแหน่งอุปกรณ์ในแบบขัดแย้งกับแบบแสดงวงจรในแนวตั้ง (Riser diagram)[BS-29]						
	3.15	1.163	2.46	1.131	0.310	9
30.ปัญหาที่เกิดจากแบบขยายรายละเอียดตู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก Main Distribution Board (MDB) ขัดแย้งกับรายการคำนวณ[BS-30]						
	2.46	1.050	2.85	1.146	0.280	10

จากตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของความถี่, ค่าเฉลี่ยของผลกระทบ และค่าดัชนีความรุนแรง (SI) ของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด มีการนำมาจัดลำดับความสำคัญของดัชนีความรุนแรง โดยปัญหาที่มีค่า SI อันดับแรก ในส่วนของงานระบบประกอบอาคาร คือ “[BS-23] ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนงานระบบสุขาภิบาลไม่ระบุตำแหน่งและทิศทางการระบายน้ำในแปลน” มีค่าเฉลี่ยของความถี่

เท่ากับ 3.16 ค่าเฉลี่ยของผลกระทบเท่ากับ 3.39 และค่า SI เท่ากับ 0.428

ตารางที่ 5 ข้อมูลปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบของส่วนของการรายการประกอบแบบ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง	ความถี่ของปัญหา		ผลกระทบของปัญหา		SI	อันดับ
		S.D.		S.D.		
หมวดงานรายการประกอบแบบ						
31.ปัญหาที่เกิดจากการใช้รายการประกอบแบบจากโครงการอื่นมาใช้ในโครงการปัจจุบัน[SP-31]						
	3.76	1.042	3.14	1.278	0.472	2
32.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุวัสดุที่ไม่สามารถหาได้ตามท้องตลาด [SP-32]						
	2.85	1.042	2.50	0.980	0.285	8
33.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุรายละเอียดการติดตั้งและการใช้งานไม่ถูกต้องกับประเภทวัสดุ[SP-33]						
	2.97	1.115	2.62	1.023	0.311	6
34.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุขอบเขตงานไม่ชัดเจน[SP-34]						
	3.68	1.038	3.37	1.032	0.496	1
35.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุให้ใช้กำลังคอนกรีตขัดแย้งกับที่ระบุในแบบแปลนโครงสร้าง[SP-35]						
	2.78	1.061	2.49	0.974	0.277	9
36.ปัจจัยที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุระบบกันซึมขัดแย้งกับพื้นที่ใช้งานในแบบ[SP-36]						
	2.36	0.943	2.37	1.083	0.224	10
37.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบไม่ระบุหรือระบุไม่ครบถ้วนในส่วนขงรายละเอียดของวัสดุ[SP-37]						
	3.74	0.957	3.01	1.129	0.450	3
38.ปัญหาที่เกิดจากสัญลักษณ์ประกอบแบบที่แสดงในแบบแปลนไม่มีรายละเอียดระบุในรายการประกอบแบบ [SP-38]						
	3.67	1.044	3.00	1.273	0.440	4
39.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบงานระบบประกอบอาคารระบุรายละเอียดขัดแย้งกับมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า[SP-39]						
	2.65	1.121	3.17	1.226	0.336	5
40.ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบไฟฟ้าระบุตำแหน่งห้อง RMUอยู่ห่างจากห้องไฟฟ้า MDB ซึ่งขัดแย้งกับข้อกำหนด[SP-40]						
	2.36	0.994	3.22	1.259	0.304	7

จากตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของความถี่, ค่าเฉลี่ยของผลกระทบ และค่าดัชนีความรุนแรง (SI) ของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด มีการนำมาจัดลำดับความสำคัญของดัชนีความรุนแรง โดยปัญหาที่มีค่า SI อันดับแรก ในส่วนของรายการประกอบแบบ คือ “[SP-34] ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุขอบเขตงานไม่ชัดเจน” มีค่าเฉลี่ยของความถี่เท่ากับ 3.68 ค่าเฉลี่ยของผลกระทบเท่ากับ 3.37 และค่า SI เท่ากับ 0.496

ทั้งนี้การออกแบบและดำเนินงานในโครงการก่อสร้างมีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมาก การกำหนดรายละเอียดต่างๆในรายการประกอบแบบหรือในแบบก่อสร้าง จึงมีปัญหาต่างๆเกิดขึ้นตามที่กล่าวถึงข้างต้น โดยสามารถจัดลำดับความสำคัญของค่าเฉลี่ยของความถี่, ลำดับความสำคัญของค่าเฉลี่ยของผลกระทบ และค่าดัชนีความสำคัญ (SI) ของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด แล้วนำมาจัดลำดับความสำคัญของดัชนีความสำคัญ (SI) 10 อันดับแรก ตามตารางที่ 6 ได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 6 ลำดับความสำคัญของค่าเฉลี่ยของความถี่และผลกระทบ และค่าดัชนีความสำคัญ (SI) ของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง	ความถี่ของปัญหา		ผลกระทบของปัญหา		SI	อันดับ
		S.D.		S.D.		
1.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุขอบเขตงานไม่ชัดเจน[SP-34]						
	3.68	1.038	3.37	1.032	0.496	1
2.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างระบุตำแหน่งและระยะของช่องเปิดขัดแย้งกับระยะของแบบสถาปัตยกรรมและแบบงานระบบประกอบอาคาร[ST-02]						
	3.79	1.133	3.27	0.917	0.496	2
3.ปัญหาที่เกิดจากแบบสถาปัตยกรรมไม่ระบุรายละเอียดหรือระบุไม่ครบถ้วน เช่น ชื่อสัญลักษณ์ ตำแหน่ง ชนิดวัสดุ ค่าระดับ ลงในแปลน[AR-11]						
	3.81	1.057	3.15	1.004	0.480	3
4.ปัญหาที่เกิดจากรายละเอียดวัสดุไม่มีระบุในแบบและไม่มีแบบขยายรายละเอียด เช่น ขนาดของวัสดุ ความหนาของวัสดุ ความสูงของวัสดุ[AR-12]						
	3.76	1.056	3.19	1.027	0.480	4
5.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างไม่ระบุรายละเอียดหรือระบุไม่ครบถ้วน เช่น ตำแหน่ง ประตู ขนาด สัญลักษณ์ เบอร์หรือชื่อ ของ ฐานราก คาน เสา พื้น[ST-1]						
	3.80	1.082	3.11	1.016	0.473	5
6.ปัญหาที่เกิดจากการใช้รายการประกอบแบบจากโครงการอื่นมาใช้ในโครงการปัจจุบัน[SP-31]						
	3.76	1.042	3.14	1.278	0.472	6
7.ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบไม่ระบุหรือระบุไม่ครบถ้วนในส่วนของรายละเอียดของวัสดุ [SP-37]						
	3.74	0.957	3.01	1.129	0.450	7
8.ปัญหาที่เกิดจากแบบโครงสร้างแสดงขนาดและตำแหน่งเสาขัดแย้งกับแบบสถาปัตยกรรม[ST-3]						
	3.68	1.089	3.00	1.075	0.442	8
9.ปัญหาที่เกิดจากสัญลักษณ์ประกอบแบบที่แสดงในแบบแปลนไม่มีรายละเอียดระบุในรายการประกอบแบบ [SP-38]						
	3.67	1.044	3.00	1.273	0.440	9
10.ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนงานระบบสุขาภิบาลไม่ระบุตำแหน่งและทิศทางการระบายน้ำในแปลน[BS-23]						
	3.16	1.212	3.39	1.037	0.428	10

จากตารางที่ 6 พบกลุ่มปัญหาที่มีประเด็นในการสร้างผลกระทบและความถี่สูงเป็นลำดับต้นของการศึกษา

เมื่อได้พิจารณาความสำคัญของปัญหาต่างๆจากค่าดัชนีความสำคัญใน 10 อันดับแรกที่แสดงในตารางที่ 6 พบว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่นั้นพบเจอและให้ความสำคัญกับปัญหาที่เกิดจาก “[SP-34] ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุขอบเขตงานไม่ชัดเจน” สูงมากที่สุด

4.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานระหว่างข้อมูลส่วนบุคคล กับ ส่วนของปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ ซึ่งเป็นการทดสอบสมมติฐาน โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance / One-Way ANOVA) และหากผลที่ได้ของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะใช้การเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD หรือ Games-Howell แสดงดังตารางที่ 7-10

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบสมมติฐานด้านประเภทรูขีที่ติดต่อปัญหาด้านความถี่ที่เกิดขึ้นของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ

ลำดับ	ปัญหาของ แบบก่อสร้าง และรายการ ประกอบแบบ	P-value	ค่าเฉลี่ย			
			เจ้า ของ โครง การ	ผู้ ออก แบบ	ที่ปรึกษา โครงการ	ผู้รับ เหมา
ส่วนงานโครงสร้าง						
1	ST-1	0.008*	3.40	3.58	4.01	3.85
2	ST-3	0.001*	3.79	3.14	3.97	3.82
3	ST-9	0.022*	2.98	3.61	3.58	3.32
4	ST-10	0.005*	2.81	3.33	2.63	2.60
ส่วนงานสถาปัตยกรรม						
5	AR-13	0.000*	2.46	3.17	2.23	2.55
6	AR-14	0.047*	2.44	2.86	2.44	2.72
7	AR-17	0.013*	3.65	3.06	3.69	3.52
ส่วนงานระบบประกอบอาคาร						
8	BS-25	0.004*	2.63	3.36	2.74	3.01
9	BS-26	0.007*	2.35	2.89	2.19	2.42
10	BS-30	0.030*	2.23	2.39	1.76	2.20
ส่วนรายการประกอบแบบ						
11	SP-31	0.000*	3.25	3.22	2.67	2.65
12	SP-33	0.029*	2.88	2.92	2.37	2.69
13	SP-34	0.022*	2.33	2.92	2.31	2.50
14	SP-36	0.000*	2.63	2.81	1.95	2.24

จากตารางที่ 7 ผลทดสอบสมมติฐานด้านประเภทรูขีที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านความถี่ในการเกิดปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ

แบบแตกต่างกันจากการทดสอบรายคู่ย่อยด้วยวิธีการ LSD เพื่อให้ทราบถึงผลความแตกต่างรายคู่ย่อยในการศึกษากับกลุ่มที่มีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเท่ากัน พบว่าในมุมมองของผู้ออกแบบมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นมากกว่าประเภทธุรกิจอื่น โดยเฉพาะปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่มีค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นมากที่สุด ได้แก่ ST-10 ปัญหาที่เกิดจากแบบงานโครงสร้างไม่ระบุตำแหน่ง ระบาย และแบบขยายรายละเอียดของบันได, AR-13 ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนระบุให้ดูแบบขยายรายละเอียดผิดแบบ/ผิดตำแหน่ง, BS-25 ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบประกอบอาคารไม่ระบุแนวทางเดินท่อและอุปกรณ์ต่างๆในแบบ และ SP-34 ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุขอบเขตงานไม่ชัดเจน เป็นต้น

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบสมมติฐานด้านประเภทรูขี้อยู่ที่มีต่อปัญหาด้านผลกระทบที่เกิดขึ้นของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ

ลำดับ	ปัญหาของ แบบก่อสร้าง และรายการ ประกอบแบบ	P -value	ค่าเฉลี่ย			
			เจ้า ของ โครง การ	ผู้ ออก แบบ	ที่ปรึกษา โครงการ	ผู้รับ เหมา
ส่วนงานโครงสร้าง						
1	ST-4	0.001*	2.98	3.44	2.79	2.71
2	ST-9	0.000*	2.54	3.25	2.46	2.86
3	ST-10	0.020*	3.04	3.64	3.08	2.96
ส่วนงานสถาปัตยกรรม						
4	AR-15	0.032*	2.92	3.28	2.62	2.84
5	AR-16	0.002*	2.69	2.97	2.33	2.38
6	AR-19	0.041*	2.33	2.75	2.23	2.53
ส่วนงานระบบประกอบอาคาร						
7	BS-24	0.013*	2.65	3.03	2.38	2.43
8	BS-26	0.009*	2.60	3.17	2.56	2.57
9	BS-28	0.027*	3.71	3.47	3.55	3.23
10	BS-29	0.000*	2.58	3.39	2.55	2.80
11	BS-30	0.001*	2.54	3.17	2.29	2.44
ส่วนรายการประกอบแบบ						
12	SP-31	0.001*	2.19	2.75	1.92	2.48
13	SP-32	0.000*	3.40	3.44	3.10	2.83
14	SP-34	0.000*	2.40	3.00	2.21	2.32
15	SP-37	0.008*	2.29	2.89	2.46	2.75
16	SP-38	0.005*	3.60	3.53	3.15	3.04

จากตารางที่ 8 ผลทดสอบสมมติฐานด้านประเภทรูขี้อยู่ของธุรกิจที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านผลกระทบในการเกิดปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบแบบแตกต่างกันจากการทดสอบรายคู่ย่อยด้วยวิธีการ LSD เพื่อให้ทราบถึงผลความแตกต่างรายคู่ย่อยในการศึกษากับกลุ่มที่มีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเท่ากัน พบว่าในมุมมองของผู้ออกแบบมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นมากกว่าประเภทธุรกิจอื่น โดยเฉพาะปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่มีค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นมากที่สุด ได้แก่ ST-9 ปัญหาที่เกิดจากแบบแปลนโครงสร้างระบุความหนาพื้นขัดแย้งกับแบบขยายรายละเอียดของพื้น, AR-15 ปัญหาที่เกิดจากแบบสถาปัตยกรรมระบุสัญลักษณ์ทิศทางการตัดผ่านตรงข้ามกับแบบขยายและรูปตัด (Section), BS-26 ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบไม่ระบุระดับตำแหน่งและระดับของท่อและอุปกรณ์ และ SP-38 ปัญหาที่เกิดจากสัญลักษณ์ประกอบแบบที่แสดงในแบบแปลนไม่มีรายละเอียดระบุในรายการประกอบแบบ เป็นต้น

จากตารางที่ 9 ผลทดสอบสมมติฐานด้านประสบการณ์ในการทำงานที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นด้านความถี่ในการเกิดปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบแบบแตกต่างกันจากการทดสอบรายคู่ย่อยด้วยวิธีการ LSD เพื่อให้ทราบถึงผลความแตกต่างรายคู่ย่อยในการศึกษากับกลุ่มที่มีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเท่ากัน พบว่าในมุมมองของผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงาน 16-30 ปีขึ้นไปมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นมากกว่าผู้ที่มีประสบการณ์ที่น้อยกว่า โดยเฉพาะปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่มีค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นมากที่สุด ได้แก่ ST-10 ปัญหาที่เกิดจากแบบงานโครงสร้างไม่ระบุตำแหน่ง ระบาย และแบบขยายรายละเอียดของบันได, AR-11 ปัญหาที่เกิดจากแบบสถาปัตยกรรมไม่ระบุรายละเอียดหรือระบุไม่ครบถ้วน เช่น ชื่อ สัญลักษณ์ตำแหน่ง ชนิดวัสดุ ค่าระดับ ลงในแปลน, BS-24 ปัญหาที่เกิดจากแบบไม่ระบุตำแหน่ง ความสูงและระยะการติดตั้งของอุปกรณ์ในแบบ และ SP-31 ปัญหาที่เกิดจากการใช้

รายการประกอบแบบจากโครงการอื่นมาใช้ในโครงการปัจจุบัน เป็นต้น

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบสมมติฐานด้านประสิทธิภาพการทำงานที่มีต่อปัญหาด้านความถี่ที่เกิดขึ้นของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ

ลำดับ	ปัญหา ของแบบ ก่อสร้าง และ รายการ ประกอบ แบบ	P - value	ค่าเฉลี่ย			
			0-5ปี	6-10ปี	11-15 ปี	16-30 ปีขึ้นไป
ส่วนงานโครงสร้าง						
1	ST-3	0.026*	3.53	3.81	3.89	3.98
2	ST-5	0.001*	3.36	3.80	3.61	3.98
3	ST-6	0.013*	2.76	2.60	2.68	2.66
4	ST-9	0.004*	3.03	3.48	3.44	3.51
5	ST-10	0.007*	2.82	2.47	2.56	3.04
ส่วนงานสถาปัตยกรรม						
6	AR-11	0.007*	3.33	3.60	3.40	3.80
7	AR-13	0.000*	2.69	2.77	2.36	2.11
8	AR-14	0.000*	2.87	2.57	2.78	2.33
9	AR-15	0.003*	3.25	3.60	3.54	3.74
10	AR-17	0.044*	3.25	3.60	3.54	3.74
11	AR-18	0.000*	2.84	2.67	3.03	3.24
12	AR-19	0.000*	2.50	2.78	2.71	2.01
ส่วนงานระบบประกอบอาคาร						
13	BS-21	0.000*	3.71	3.65	3.78	4.23
14	BS-22	0.011*	3.10	2.97	3.20	3.46
15	BS-23	0.000*	3.52	3.68	3.54	4.40
16	BS-24	0.000*	3.00	2.97	3.11	3.85
17	BS-25	0.018*	2.64	2.40	2.44	2.11
18	BS-28	0.000*	2.78	2.65	2.64	3.23
19	BS-29	0.000*	2.82	2.68	2.55	1.90
20	BS-30	0.000*	2.48	2.05	2.14	1.79
ส่วนรายการประกอบแบบ						
21	SP-31	0.029*	3.25	3.53	3.41	3.68
22	SP-32	0.008*	2.69	2.76	2.51	3.18
23	SP-33	0.000*	2.79	2.79	2.70	2.30
24	SP-35	0.000*	2.83	2.74	3.13	2.39
25	SP-38	0.002*	2.88	2.88	3.24	3.33
26	SP-39	0.004*	2.98	2.95	3.00	2.50

จากผลทดสอบสมมติฐานด้านประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่างกันมีความคิดเห็นด้านผลกระทบในการเกิดปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบแบบแตกต่างกันจากการทดสอบรายคู่ย่อยด้วยวิธีการ

LSD เพื่อให้ทราบถึงผลความแตกต่างรายคู่ย่อยในการศึกษากับกลุ่มที่มีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเท่ากันพบว่าในมุมมองของผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงาน 16-30 ปีขึ้นไปมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นมากกว่าผู้ที่มีประสบการณ์ที่น้อยกว่า โดยเฉพาะปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ แสดงดัง ตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบสมมติฐานด้านประสิทธิภาพการทำงานที่มีต่อปัญหาด้านผลกระทบที่เกิดขึ้นของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ

ลำดับ	ปัญหา ของแบบ ก่อสร้าง และ รายการ ประกอบ แบบ	P - value	ค่าเฉลี่ย			
			0-5ปี	6-10ปี	11-15 ปี	16-30ปี ขึ้นไป
ส่วนงานโครงสร้าง						
1	ST-2	0.000*	3.01	2.57	2.84	2.88
2	ST-3	0.000*	3.47	3.74	3.46	4.22
3	ST-4	0.000*	2.69	2.63	2.65	3.50
4	ST-6	0.000*	3.28	3.14	3.51	3.79
5	ST-7	0.000*	3.39	3.47	3.31	4.05
6	ST-8	0.016*	2.94	2.59	2.69	2.83
7	ST-9	0.000*	3.00	2.95	2.75	2.26
8	ST-10	0.000*	2.86	2.84	2.99	3.71
ส่วนงานสถาปัตยกรรม						
9	AR-11	0.000*	3.17	3.60	3.45	3.85
10	AR-12	0.000*	2.88	2.79	2.88	3.60
11	AR-13	0.003*	2.99	3.48	3.33	3.22
12	AR-16	0.000*	2.90	2.65	3.03	3.39
13	AR-16	0.000*	2.67	2.61	2.60	1.83
14	AR-20	0.002*	3.08	2.60	2.71	3.07
ส่วนงานระบบประกอบอาคาร						
15	BS-21	0.001*	3.45	3.74	3.83	4.16
16	BS-22	0.000*	3.06	2.99	2.89	3.76
17	BS-25	0.037*	2.95	3.16	2.95	2.71
18	BS-28	0.000*	3.26	3.11	3.10	4.20
19	BS-29	0.049*	2.81	2.89	2.88	2.48
20	BS-30	0.003*	2.63	2.33	2.23	2.79
ส่วนรายการประกอบแบบ						
21	SP-31	0.000*	2.55	2.57	2.50	1.63
22	SP-33	0.000*	3.47	3.62	3.83	4.18
23	SP-34	0.000*	2.75	2.95	2.78	3.66
24	SP-35	0.000*	3.43	3.70	3.49	4.11
25	SP-36	0.000*	2.75	2.94	2.75	3.67
26	SP-37	0.000*	2.69	2.92	2.91	1.93
27	SP-38	0.000*	3.08	2.98	2.98	3.78
28	SP-39	0.000*	2.40	2.60	2.50	1.77
29	SP-40	0.007*	3.14	3.13	3.06	3.62

โดยมีค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นมากที่สุด ได้แก่ ST-4 ปัญหาที่เกิดจากแปลนพื้นโครงสร้างคอนกรีตแรงอัดสูง (Post-tension) ชัดแย้งกับแบบแปลนที่ระบุชนิดพื้นเป็น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Slab), AR-12 ปัญหาที่เกิดจากรายละเอียดวัสดุไม่มีระบุในแบบและไม่มีแบบ ขยายรายละเอียด เช่น ขนาดของวัสดุ ความหนาของวัสดุ ความสูงของวัสดุ, BS-28 ปัญหาที่เกิดจากแบบงานระบบ ไฟฟ้าระบุการรับไฟจากวงจรขัดแย้งกับตารางโหลด และ SP-35 ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุให้ใช้ กำลังคอนกรีตขัดแย้งกับที่ระบุในแบบแปลนโครงสร้าง เป็นต้น

5. สรุปผล อภิปรายผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชายที่มีอายุ 26-35 ปี มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี ประกอบอาชีพ เป็นวิศวกร ทำงานในหน่วยงานเอกชนอยู่ในส่วนของ ผู้รับเหมาและมีประสบการณ์การทำงาน 6-10 ปี

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นของกลุ่ม วิศวกร สถาปนิก พนักงานเขียนแบบผู้ตอบแบบสอบถาม

การออกแบบและดำเนินงานในโครงการก่อสร้าง มีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมาก การกำหนด รายละเอียดต่างๆในรายการประกอบแบบหรือในแบบ ก่อสร้าง จึงมีปัญหาต่างๆเกิดขึ้นตามที่กล่าวถึงข้างต้น ดังนั้นจากผลการวิจัยจึงสามารถสรุปและอภิปรายผลได้ ดังต่อไปนี้

1) ปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบ ในโครงการก่อสร้าง

มิติต่างๆ ของการดำเนินงานในทั้งในด้านความถี่และ ผลกระทบ พบว่าส่วนของรายการประกอบแบบมีภาพรวม ของการเกิดปัญหาที่มากที่สุดโดยพบกลุ่มปัญหาที่มี ประเด็นในการสร้างผลกระทบและความถี่สูงเป็นลำดับต้น ของการศึกษา เมื่อได้พิจารณาความสำคัญของปัญหาต่างๆ พบว่า “ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบระบุ ขอบเขตงานไม่ชัดเจน”เกิดขึ้นมากที่สุด ในขณะที่ส่วนงาน

สถาปัตยกรรมมีภาพรวมในการเกิดปัญหามากที่สุดโดยผล การศึกษาพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิษณุ กิตติ ประภานันท์ (2553) [12] ที่พบว่าช่วงการดำเนินงานด้าน การออกแบบ และการวางระบบคือส่วนที่ก่อให้เกิดปัญหา มากที่สุดจากการที่เป็นส่วนที่มีการดำเนินงานด้านการ ประสานระหว่างการออกแบบกับการวางระบบต่างๆ ที่ทำ ให้งานเกิดข้อผิดพลาดได้ นอกจากนี้ยังมีผลสอดคล้องกับ งานวิจัยของวิฑูรย์ ภัทรนาวิก (2546) [13] ที่พบว่าแนวทางการออกแบบในงานก่อสร้างมีปัญหามากในการ ดำเนินการ ซึ่งกระทบกับส่วนของการดำเนินงาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการทำงานมีความโดดเด่นมากที่สุดใน การมองเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบการทำงานด้าน ต่างๆ ทั้งในเชิงความถี่และผลกระทบของผลการทดสอบ สมมติฐาน โดยผลการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวมีความ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ วิษณุ กิตติประภานันท์ (2553) [12] พบว่าช่วงออกแบบโครงการปัจจัยในเรื่องของ แบบโครงสร้างและแบบงานระบบไม่ตรงกับแบบ สถาปัตยกรรม โดยกลุ่มที่มีมุมมองที่เห็นแตกต่างกันคือ กลุ่มประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างสร้างประเด็นความ แตกต่างในงานออกแบบมากที่สุด

2) แนวทางป้องกันปัญหาของแบบก่อสร้างและ รายการประกอบแบบในโครงการก่อสร้าง

ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำมาดำเนินการสร้างรายการ ตรวจสอบแบบและรายการประกอบแบบเบื้องต้น โดยแบ่ง ออกเป็น 4 ส่วนตามผลการวิจัยในตารางที่ 2-5 ดังต่อไปนี้

- 1) ส่วนของหมวดงานโครงสร้าง
- 2) ส่วนของหมวดงานสถาปัตยกรรม
- 3) ส่วนของหมวดงานระบบประกอบอาคาร
- 4) ส่วนของรายการประกอบแบบ

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัญหาของแบบ ก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (SI) มากที่สุด คือ “ปัญหาที่เกิดจากรายการประกอบแบบ ระบุขอบเขตงานไม่ชัดเจน” ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีความ สำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในโครงการ จึง ควรมีการจัดทำรายการตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดของ

รายการประกอบแบบให้สมบูรณ์ก่อนนำไปดำเนินการ โดยสามารถใช้ข้อมูลปัญหาที่ได้จากการวิจัยมาใช้เป็นแนวทางตรวจสอบเบื้องต้นได้ เพื่อให้ผู้ที่มีประสบการณ์ไม่มากนักสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการได้ นอกจากนี้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการก่อสร้างควรจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูล สถิติ และปัญหา/แนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานในโครงการต่างๆเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบและรายการประกอบแบบในการทำงานครั้งต่อไป เมื่อเริ่มต้นโครงการใหม่ จะสามารถนำรายการตรวจสอบดังกล่าวมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงให้มีความถูกต้องสมบูรณ์และลดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุด และเพื่อเป็นส่วนสนับสนุนให้โครงการก่อสร้างสามารถดำเนินการบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาปัญหาของแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบที่นำมาใช้ในโครงการก่อสร้างครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการศึกษาค้นคว้านี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Jongchuwanit “Study of Bringing in Construction Drawings and their Specification to Building Construction Works,” M.Eng, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Graduate School, 2004.
- [2] P. Pansuntia “The Study Level of The Construction Management of The Executive Municipality of Nakhon ratchasima Province,” M.Eng, Suranaree University of Technology, 2010.
- [3] V. Kijwatthanaboon “New approach in crash programming : refurbishing an old factory to modern factory ; a case study of Electronics (Thailand) Co.,Ltd,” Department of Architectural Technology, Silpakorn University, Graduate School, 2012
- [4] S. Senanan, “Construction Drawing,” Technology Promotion Association (Thailand-Japan), vol. 7, 2011.
- [5] K. Lueprasert “Quality Systems in Construction,” King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, 2003.
- [6] T. Yamane, “Statistics : An Introductory Analysis,” New York : Harper and Row Publication, vol. 3, 1973.
- [7] Rovinelli, R.J and Hambleton, R.K, “On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity,” *Dutch Journal of Educational Research*, vol. 2, pp.49-60, 1977.
- [8] K. Vanichbuncha “Statistical Analysis : Statistics For Administration and Research,” Chulalongkorn University Publishing House, 2002.
- [9] Said A. Assaf and Sadiq Al-Hejji, “Causes of delay in large construction project,” *International Journal of Project Management*, Vol. 24, pp.350 –351, May 2006.
- [10] L. Muhwezi, J. Acai and G. Otim, “Causes of delay in large construction project,” *International Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 3, no. 1, pp.18, 2014.

- [11] Berlinda Lessing, Derek Thurnell, Serdar Durdyev, “Main Factors Causing Delays In Large Construction Projects:Evidence From New Zealand,” *Journal of Management, Economics, and Industrial Organization*, vol. 1, no. 2, pp.63-82, 2017.
- [12] W. Kittiprapanun “A Study of Problems of Construction Delay in High Rise Building Projects in Bangkok,” M.Eng, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Graduate School, 2010.
- [13] W. Pattaranawic, “Guildlines for buildable design for Factory Construction in Thailand,” Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Graduate School, 2003.

การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพชิ้นกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ ร่วมกับอินฟราเรด

The Study of Drying Kinetics and Qualities of Dried Banana Slices by Vacuum-Infrared dryer

ณัฐภาค อิมเอิบ* กิตติศักดิ์ วิธินันท์กิตติ

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

Natthapak Im-erb* Kittisak Witinantakit

Energy Technology Department, School of Engineering and Innovation,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

43 Moo 6 Bangpra Subdistrict, Sriracha District, Chonburi 20110

*Corresponding author Email: natthapak_im@rmutto.ac.th

(Received: June 24, 2021; Accepted: August 20, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งชิ้นกล้วยด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คุณภาพด้านสีและปริมาณน้ำอิสระ ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยสมการเอมพิริคัล และหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและพลังงานกระตุ้น โดยอบแห้งชิ้นกล้วยจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 181-186 มาตรฐานแห้ง ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 10 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิการอบแห้ง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งมีผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น ระยะเวลาการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง โดย ชิ้นกล้วยมีความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่างร้อยละ 7.25-10.54 มาตรฐานแห้ง ค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.263-0.319 และอุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลต่อความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า L^* , a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 กิโลปาสกาล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งชิ้นกล้วย นอกจากนี้สมการของมิตลิสสามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งได้ดีที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุดเท่ากับ 0.99974 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.00462 ค่าการลดลงไคกำลังสองต่ำที่สุดเท่ากับ 2.432×10^{-5} และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลมีค่าอยู่ระหว่าง 6.85×10^{-11} - 14.03×10^{-11} ตารางเมตรต่อวินาที โดยมีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 31,160.83 กิโลจูลต่อโมล

คำสำคัญ: ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รังสีอินฟราเรด สุญญากาศ อบแห้งกล้วย

ABSTRACT

The objective of this research was to study of drying kinetics, specific energy consumption, color quality, water activity, develop empirical mathematical modeling, effective moisture diffusivity

coefficient and activated energy for drying of banana slices by combined vacuum and infrared. An initial moisture content of banana slices was about 181-186% dry basis (d.b.). Drying processes were conducted by an absolute pressure at 10 kPa with drying temperature at 40, 50 and 60 °C, completely, final moisture content of banana slices was 10% d.b. The result shown that an increasing of temperature would affect to drying rate increased whereas drying time and specific energy consumption decreased. The final moisture content of banana slice was 7.2-10.54% d.b. and water activity was about 0.263-0.319. However, the changing in color of banana slices would not significantly different in L*, a* and b* values. Therefore, the drying of banana slices at absolute pressure of 10 kPa and drying temperature at 60 °C was the optimized condition for drying banana slices. Furthermore, the best equation for predicting of drying kinetics was a drying equation of Midilli with the highest decision coefficient (R^2) at 0.99974, the lowest root mean square error (RMSE) was 0.00462 and the lowest chi-squared reduction (χ^2) was 2.432×10^{-05} . Effective moisture diffusivity coefficients were between 6.85×10^{-11} - 14.03×10^{-11} m²/s and the activated energy was 31,160.83 kJ/mol.

Keyword: Specific energy consumption, mathematical model, infrared radiation, vacuum, banana drying.

1. บทนำ

กล้วย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Musa sapientum* Linn. วงศ์ Musaceae เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย กล้วยเป็นพืชที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในทุกภาคของประเทศ เนื่องจากปลูกง่าย และทุกส่วนของกล้วยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ กล้วยที่นิยมบริโภคส่วนใหญ่ ได้แก่ กล้วยหอม กล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่ [1] กล้วยมีหลากหลายชนิด และเป็นที่นิยมต่อการบริโภค มีสมบัติทางยา มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน และในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (Healthy food) กำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากผู้คนเริ่มหันมาใส่ใจเรื่องสุขภาพ และอาหารการกินมากขึ้น แป้งกล้วยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำได้ทั่วไป และง่ายต่อการบริโภค [2] อีกทั้งกล้วยเป็นผลไม้ที่เน่าเสียเร็วการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆจึงช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ [3] ในปัจจุบันจึงได้มีผู้นำกล้วยดิบมาผลิตเป็นแป้ง ซึ่งในกระบวนการผลิตแป้งกล้วยดิบนั้นสามารถทำได้โดยการนำกล้วยดิบไปอบแห้ง จากนั้นนำมาบดเป็นแป้ง และนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารชนิดต่างๆ เช่น พาสต้า [4] เส้นก๋วยเตี๋ยว [5] การใช้ทดแทนแป้งสาลี

เช่น แป้งขุบทอด [6] ขนมบราวนี่กรอบ [7] เป็นต้น

เนื่องจากกล้วยดิบมีความโดดเด่นในเรื่องของการมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อย (Resistant starch) สูง ซึ่งเป็นที่ได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ นอกจากนั้นกล้วยดิบยังมีวิตามินและแร่ธาตุหลากหลายชนิด ทั้งในเยื่อและเปลือกอีกด้วย [8] กรรมวิธีในการอบแห้งที่ใช้ในการผลิตแป้งกล้วยสามารถทำได้หลายวิธี ตั้งแต่วิธีการดั้งเดิม ได้แก่ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายแต่ใช้พื้นที่ในการตากแดดมาก [9] การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 50 °C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งค่อนข้างนานประมาณ 7 ชั่วโมง [2] และการทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูง [10]

การอบแห้งโดยใช้เทคนิคสุญญากาศ (Vacuum drying) เป็นวิธีการลดความดันขณะอบแห้งซึ่งทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นเพราะจุดเดือดของน้ำลดต่ำลง และความดันไอน้ำในอากาศลดลง ผลต่างระหว่างความดันไอน้ำที่ผลิตภัณฑ์และอากาศมีมากขึ้น ส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทน้ำภายในมายังผิวของผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น [11] การนำรังสีอินฟราเรดมาเป็นแหล่งผลิตความร้อนให้กับเครื่องอบแห้งสามารถช่วยลดระยะเวลาการในอบแห้ง

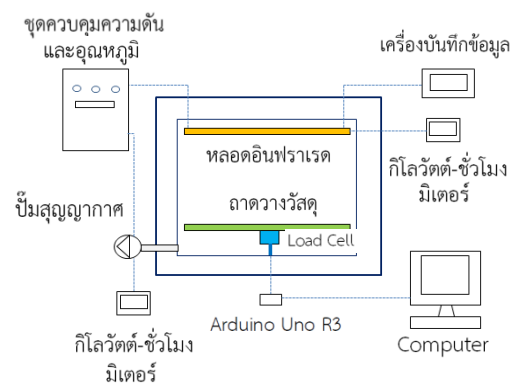
เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อของวัสดุอบแห้ง ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุอบแห้งสั่นและเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในเนื้อสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว มีผลทำให้พื้นผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวเหี่ยว และมีสีที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบก่อนอบแห้ง [12] จากข้อดีของเทคนิคสุญญากาศและการใช้แหล่งความร้อนจากรังสีอินฟราเรดที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำมาใช้ออบแห้งขึ้นกล้วยเพื่อผลิตเป็นแปงกล้วย ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดเวลาในการอบแห้งและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีหลังการอบแห้ง งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจเกี่ยวกับวิธีการอบแห้งกล้วยด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คุณภาพด้านสี ค่าปริมาณน้ำอิสระ ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งโดยใช้สมการเอมพิริคัล หาสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล และพลังงานกระตุ้น เพื่อที่สามารถนำองค์ความรู้ในงานวิจัยนี้ใช้ในการศึกษากรรมวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

ประกอบด้วยห้องอบแห้งทรงกระบอกหุ้มฉนวนหนา 2 cm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm สูง 60 cm ติดตั้งหลอดอินฟราเรดขนาด 250 W จำนวน 4 หลอด โดยระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับหลอดอินฟราเรดประมาณ 20 cm และใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเคร่วมกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ PID สามารถตรวจจับอุณหภูมิของอินฟราเรดช่วง 10 ถึง 260 °C รองรับกระแสตรง 4 อินพุต 0 ถึง 20 mA ความแม่นยำในการควบคุม ± 1 °C เพื่อควบคุมอุณหภูมิการอบแห้ง สร้างสภาวะสุญญากาศภายในห้องอบแห้งโดยปั๊มสุญญากาศขนาด 0.35 kW และใช้อุปกรณ์วัดร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมความดัน เพื่อควบคุมความดันที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ระหว่างอบแห้งด้วยโพลีเอสเตอร์ความละเอียด 0.1 g และบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

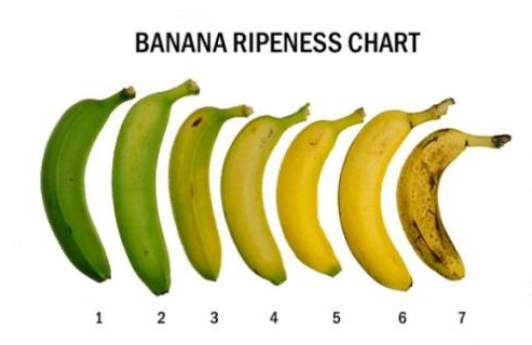
ของผลิตภัณฑ์ด้วยโปรแกรม Arduino ผ่านบอร์ด Arduino รุ่น UNO R3 และต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งด้วย Kilowatt hour meter ความละเอียด 0.01 kWh และบันทึกอุณหภูมิการอบแห้งด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger, Graphtec midi logger รุ่น GL820) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

2.2 วิธีการทดลอง

กล้วยที่ใช้ในการทดลองนี้คือกล้วยน้ำว้าสายพันธุ์ปากช่อง 50 ซึ่งกล้วยมีระยะการสุกต่างๆ แสดงในรูปที่ 2 การทดลองนี้ใช้กล้วยในระยะสุกที่ 1 (สีเขียวทั้งผล) ปอกเปลือก หั่นเป็นแผ่นบางขนาด 5 mm จากนั้นแช่ด้วยสารละลายกรดซิตริก 5% w/w เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล [14] นำชิ้นกล้วยที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกประมาณ 300 g วางเรียงบนถาดในตู้อบแห้งต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิในห้องอบแห้งและขึ้นกล้วย เปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อทำความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งที่ประมาณ 10 kPa ตั้งค่าอุณหภูมิควบคุมในห้องอบแห้งที่ 40 50 และ 60 °C บันทึกน้ำหนักกล้วยขณะอบแห้งและอุณหภูมิทุก 1 นาที และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดและปั๊มสุญญากาศด้วย Kilowatt-hour meter อบแห้งจนได้ความชื้นประมาณร้อยละ 10 d.b. โดยทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป



รูปที่ 2 ระยะสุกของกล้วย [13]

2.3 การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งมาทำการบด ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 °C ด้วยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง [15] เพื่อหาผลแห้งหรือน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งแล้วนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สมการที่ 1

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

เมื่อ MC คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.)
w คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง (g)
d คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง (g)

2.4 การหาอัตราการอบแห้ง

การวิเคราะห์อัตราการอบแห้ง (Drying rate) แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของกล้วยในห้องอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการอบแห้งของกล้วยได้ดังสมการที่ 2 [16]

$$DR = \frac{M_o - M_t}{t} \quad (2)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (Drying rate)
(g_w/g_{dry solid} min)
M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น (g_w/g_{dry solid})
M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (g_w/g_{dry solid})
t คือ เวลาในการอบแห้ง (minute)

2.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งสามารถหาได้จากการนำมวลวัสดุก่อนการอบแห้ง มวลหลังการอบแห้ง และค่าปริมาณพลังงานที่ใช้ตลอดกระบวนการอบแห้งที่อ่านได้จาก Kilowatt hour meter มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งได้จากสมการที่ 3 [11]

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_i - m_f} \quad (3)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ
(MJ/g of water evaporated)
E_p คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)
m_i คือ มวลของกล้วยก่อนอบแห้ง (g)
m_f คือ มวลของกล้วยหลังอบแห้ง (g)

2.6 การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งในอุณหภูมิที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระยี่ห้อ AquaLab 3TE ช่วงการอ่านค่า 0.03 ถึง 1.00 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความแม่นยำในการวัด ± 0.003 โดยทำการบดตัวอย่าง 5 g ใส่ในภาชนะ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารแห้งต้องมีปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.6 จุลินทรีย์ประเภทเชื้อราจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ [17]

2.7 การทดสอบคุณภาพสีหลังอบแห้ง

ทำการทดสอบคุณภาพด้านสีของชิ้นกล้วยที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องวัดสี 3HN รุ่น Portable colorimeter NH310 ระบบสี CIE L*a*b* ใช้แสงสว่างที่ 6500 K ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสีน้อยกว่า 0.04 (ΔE*ab) โดยค่า L* คือ ค่าความสว่างมีค่าระหว่าง 0-100 หรือสีดำถึงสีขาว ค่า a* แสดงค่า (+) สีแดง หรือ (-) สีเขียว และค่า b* แสดงค่า (+) สีเหลือง หรือ (-) สีนํ้าเงิน

นำค่าสี่ที่วัดได้ไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของกล้วยก่อนและหลังอบแห้ง ดังสมการที่ 4 [11]

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

เมื่อ ΔE คือ ความแตกต่างกันของสี
 ΔL^* คือ ความแตกต่างของความสว่าง
 Δa^* คือ ความแตกต่างของความเป็นสีแดง
 ถึงสีเขียว
 Δb^* คือ ความแตกต่างของความเป็นสีเหลือง
 ถึงสีน้ำเงิน

2.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล เป็นสมการที่นิยมใช้ในการทำนายอัตราการอบแห้ง เนื่องจากเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์ง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งสมการเอมพิริคัลจะแสดงอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์กับอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) การคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นจำเป็นต้องทราบค่าความชื้นสมดุล [18] โดยที่อัตราส่วนความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 ในการทดลองนี้ไม่คิดค่าความชื้นสมดุลเนื่องจากมีค่าน้อยกว่าความชื้นเริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใดๆค่อนข้างมาก จึงสามารถจัดรูปสมการได้ดังสมการที่ 6

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (5)$$

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \quad (6)$$

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (d.b.)
 M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (d.b.)
 M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (d.b.)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) ซึ่งมีค่าดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนายสมการทางคณิตศาสตร์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (Chi-square, χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root meansquare error, RMSE) โดยสมการที่ให้ค่า R^2 สูงที่สุด และให้ค่า RMSE และ χ^2 ต่ำที่สุด จะเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุด ค่า R^2 RMSE และ χ^2 มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (7), (8) และ (9) ตามลำดับ [9]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp,ave})^2} \quad (7)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-p} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]} \quad (9)$$

เมื่อ $MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง
 $MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่คำนวณได้จากสมการเอมพิริคัล
 N คือ จำนวนข้อมูลในการทดลอง
 p คือ จำนวนพารามิเตอร์ในสมการเอมพิริคัล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่ใช้ในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งของกล้วยที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 6 สมการ ได้แก่ Newton, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Logarithmic และ Midilli แสดงดังตารางที่ 1 [9]

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

ลำดับ ที่	ชื่อสมการ	รูปแบบสมการ
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$
4	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
5	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
6	Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$

* a b c k และ n คือ ค่าคงที่จากการวิเคราะห์สมการเอมพิริคัล และ t คือ เวลาในการอบแห้ง (minute)

2.9 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและพลังงานกระตุ้น

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity coefficient) เป็นสมบัติเฉพาะทางกายภาพที่แสดงถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ของของเหลวในวัสดุ ที่เกิดจากโมเลกุลที่เคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกละลายจะค่อยๆ แพร่กระจายออกไปจนเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันจึงหยุดการแพร่ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุล [19] ในงานวิจัยนี้ สมมติฐานให้ชิ้นกล้วยเป็นวัสดุที่เป็นแผ่นระนาบที่มีความยาวมากๆ (infinite slab) ดังนั้นในการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ 10 [20]

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{p=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2p+1)^2} \right] \exp \left[\frac{-(2p+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{l^2} \right] \quad (10)$$

เมื่อ D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (m^2/s)

l คือ ครึ่งหนึ่งของความหนาชิ้นกล้วย (m)

t คือ เวลาในการอบแห้ง (s)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้งและมีความสัมพันธ์ตามรูปสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) กับค่าของพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นน้ำหรือความชื้นให้เคลื่อนที่ออกจากวัสดุ โดยค่าพลังงานกระตุ้นสามารถวิเคราะห์ได้จากความลาดชันระหว่าง $\ln(D_{eff})$ กับ $(1/T_{abs})$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(-E_a/R)$ และปัจจัยเลขชี้กำลังหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของ $\ln(D_{eff})$ กับ $(1/T_{abs})$ ดังสมการที่ (11) และ (12) [9]

$$D_{eff} = D_o \exp \left(-\frac{E_a}{RT_{abs}} \right) \quad (11)$$

หรือ

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_o) - \frac{E_a}{RT_{abs}} \quad (12)$$

เมื่อ D_o คือ ปัจจัยเลขชี้กำลัง (m^2/s)

E_a คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/mol)

R คือ ค่าคงที่สากลของแก๊ส (8.314 J/mol K)

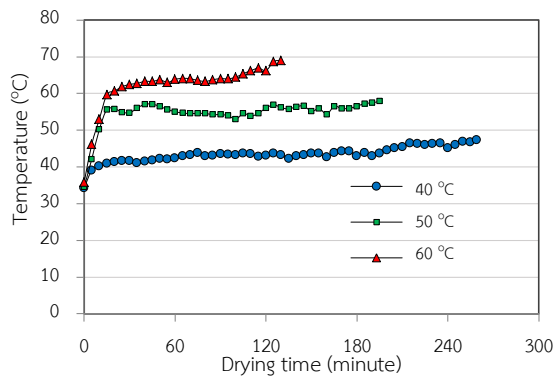
T_{abs} คือ อุณหภูมิอบแห้ง (K)

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงจลนพลศาสตร์การอบแห้งของผลิตภัณฑ์

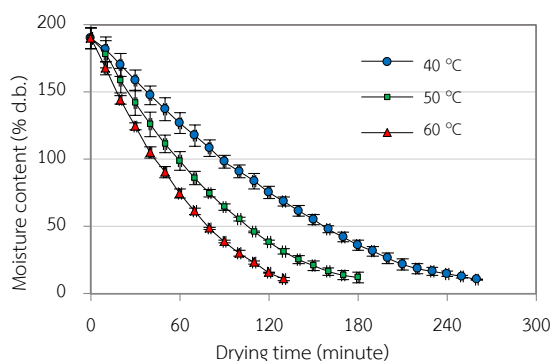
เมื่อชิ้นกล้วยถูกอบแห้งอยู่ในสภาวะสุญญากาศ จุดเดือดของน้ำในชิ้นกล้วยจะมีค่าลดลง จากตารางคุณสมบัติของน้ำที่สภาวะความดัน 10 kPa จุดเดือดของน้ำอยู่ที่ประมาณ 45.8 °C [9] ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดอุณหภูมิห้องอบแห้งคือ 40 50 และ 60 °C เมื่อเริ่มให้ความร้อนด้วยหลอดอินฟราเรด ชิ้นกล้วยจะดูดกลืนรังสีและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน น้ำในชิ้นกล้วยจะใช้พลังงานความร้อนในรูปความร้อนแฝงในการระเหยน้ำออกจากชิ้นกล้วย จากนั้นปริมาณความร้อนที่ชิ้นกล้วยได้รับจากการแผ่รังสีอินฟราเรดจะมากกว่าปริมาณความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำ ปริมาณความร้อนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนไปเป็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในชิ้นกล้วย ทำให้อุณหภูมิผิวหน้าค่อยๆ เพิ่มขึ้น [21] เมื่อระยะเวลา

ผ่านไปประมาณ 10 นาที อุณหภูมิผิวหน้าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้คือ 40 50 และ 60 °C (รูปที่ 3)



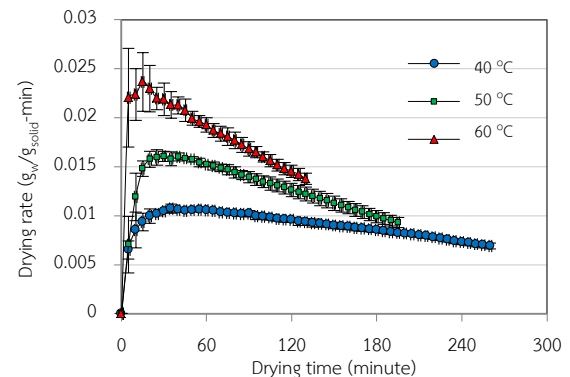
รูปที่ 3 อุณหภูมิของชิ้นกล้วยขณะอบแห้ง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของชิ้นกล้วยขณะอบแห้งดังภาพที่ 4 พบว่า กราฟที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C มีความลาดชันมากที่สุด ซึ่งแสดงถึงการลดลงของความชื้นเร็วที่สุด และใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด เนื่องจากการใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้น มีผลทำให้ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทมวลดีขึ้น [18] และทำให้อัตราอบแห้งสูงขึ้น (รูปที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ 40 °C ที่มีอัตราการลดลงของความชื้น และอัตราการอบแห้งต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C โดยในช่วงตอนเริ่มต้นของการอบแห้งนั้น ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความชื้นของกล้วยมีปริมาณสูง เมื่อกล้วยได้รับความร้อนทำให้ปริมาณน้ำบริเวณผิวกล้วยถูกนำออกไปจากกล้วยได้อย่างรวดเร็ว [22]



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยระหว่างการอบแห้ง

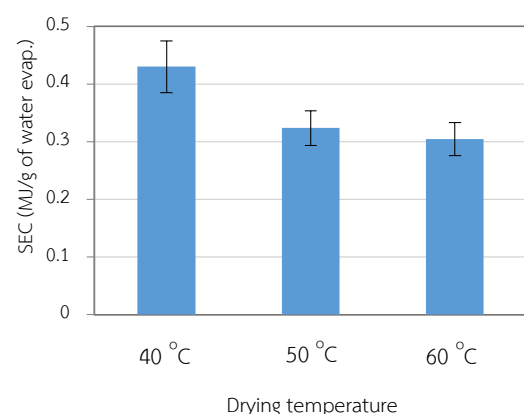
และความชื้นจะลดลงในช่วงท้ายๆ ของกระบวนการเนื่องจากผิวหน้าของชิ้นกล้วยแห้งและน้ำที่อยู่ภายในชิ้นกล้วยเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวช้ากว่าการระเหยน้ำออกจากผิว ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง [21]



รูปที่ 5 อัตราการอบแห้งของกล้วย

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อนำค่าน้ำหนักของกล้วยก่อนการอบแห้ง น้ำหนักกล้วยหลังการอบแห้ง และปริมาณพลังงานที่ใช้ตลอดกระบวนการอบแห้งมาคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C มีค่าต่ำที่สุด และที่ 40 °C มีค่ามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 6 เนื่องจากการอบแห้งที่สูงขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นส่งผลให้น้ำเกิดการระเหยได้เร็วขึ้นและระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

3.3 สีและปริมาณน้ำอิสระของชิ้นกล้วยหลังอบแห้ง

ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่ความดัน 10 kPa อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C ได้ร้อยละความชื้นสุดท้าย 10.54 7.25 และ 9.67 d.b. ตามลำดับ และปริมาณน้ำอิสระมีค่า 0.319 0.263 และ 0.312 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 จัดเป็นอาหารที่มีความชื้นต่ำซึ่งจุลินทรีย์ประเภทเชื้อราไม่สามารถเจริญได้ [17] ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ค่า L^* a^* b^* ของกล้วยสดก่อนอบแห้งและผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยที่ค่า L^* ของกล้วยสดมีค่า 88.14 และกล้วยหลังอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 89.52-89.63 a^* ของกล้วยสดมีค่า 3.24 กล้วยหลังอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 2.51-2.87 และค่า b^* ของกล้วยสดมีค่า 13.38 กล้วยหลังอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 10.00-10.19 จะสังเกตได้ว่าหลังอบแห้งค่า L^* มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่า a^* และ b^* หลังอบแห้งมีค่าลดลง ซึ่งจากงานวิจัยเรื่องการผลิตกล้วยน้ำว้าอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน [23] พบว่าการใช้ระยะเวลาอบแห้งที่นานขึ้นมีผลทำให้ชิ้นกล้วยมีค่าสีที่คล้ำขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลชนิดที่เกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากไม่ได้มีการแช่ในสารเคมีที่ช่วยในการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลก่อนการอบแห้ง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้สารละลายกรดซิตริกเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลจึงมีผลการยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าว ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีสีคล้ำลง (รูปที่ 7) และเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างกันของสี (ΔE) พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นค่าความแตกต่างของสีจะมีค่าลดลงโดยแนวโน้มของค่า L^* พบว่าการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่างมากกว่าการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลานาน ค่า a^* พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งระยะเวลามากขึ้น แต่ค่า b^* มีค่าลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้น ซึ่งงานวิจัยเรื่อง การใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอมทองตัดแต่งก่อนนำไปทอดแบบสุญญากาศ [14] ก็พบว่า ค่า L^* ที่สูงกว่ามีผลต่อค่าการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์มากกว่า

ตารางที่ 2 ความชื้นและ a_w ของผลิตภัณฑ์

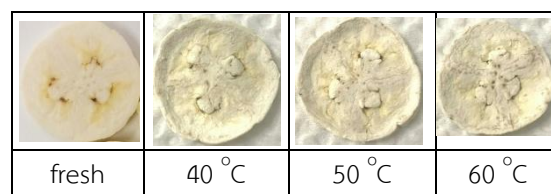
Drying Temp. (°C)	Moisture content (% d.b.)	a_w^{ns}
40	10.54	0.319±0.061
50	7.25	0.263±0.030
60	9.67	0.298±0.064

^{ns} คือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 สีของกล้วยและค่าความแตกต่างของสีหลังอบแห้ง

T (°C)	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	ΔE^{ns}
fresh	88.14±1.59	3.24±0.22	13.38±2.48	-
40	89.63±0.28	2.51±0.63	10.00±2.30	4.06±0.36
50	89.60±0.21	2.76±0.49	10.19±1.85	3.80±0.23
60	89.52±0.40	2.87±0.50	10.08±1.89	3.78±0.46

^{ns} คือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 7 ชิ้นกล้วยก่อนอบและหลังอบที่อุณหภูมิต่างๆ

3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

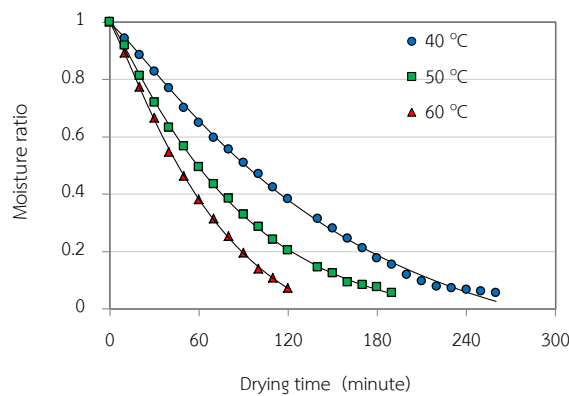
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการอบแห้งกล้วยที่ความดัน 10 kPa อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในแต่ละสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลจำนวน 6 สมการ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่เหมาะสมที่สุดจะสามารถทำนายผลการทดลองได้ดีที่สุด ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงที่สุด ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) ต่ำที่สุด [18] และจากการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.98276-0.99974 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) อยู่ระหว่าง

0.00462-0.04122 และค่าเฉลี่ยการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) มีค่าระหว่าง 0.02432×10^{-3} - 1.76257×10^{-3} (ตารางที่ 4) สมการที่มีความสามารถในการทำนายผลการทดลองได้ดีที่สุดคือ สมการ Midilli โดยมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) 0.99974 สูงที่สุด ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) 0.00462 และค่าการลดลงไคกำลังสองเฉลี่ย (χ^2) มีค่า 0.02432×10^{-3} ต่ำที่สุด เมื่อนำค่าเฉลี่ยอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง และค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากสมการของ

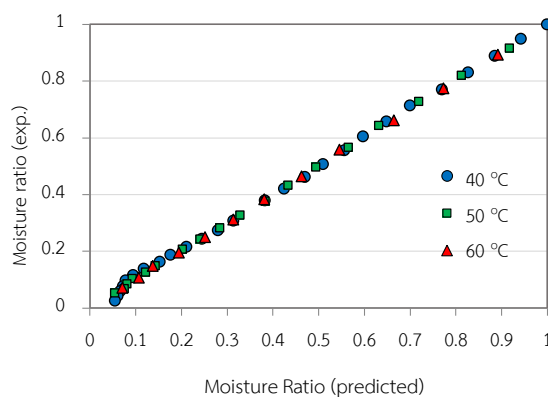
Midilli มาเปรียบเทียบบ้างในรูปที่ 8 พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จากนั้นได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนายด้วยสมการเอมพิริคัลของ Midilli พบว่า ความสัมพันธ์ของข้อมูลค่อนข้างเป็นเส้นตรง จึงสามารถสรุปได้ว่า สมการของ Midilli เป็นสมการที่สามารถใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งชั้นกล้วยได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 9

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

Model	T (°C)	Parameter					R^2	RMSE	χ^2 (10^{-3})
		k	n	a	b	c			
Newton	40	0.00820					0.97409	0.04675	2.22752
	50	0.01236					0.99028	0.04064	1.69352
	60	0.01647					0.98390	0.03628	1.36668
	Average						0.98276	0.04122	1.76257
Page	40	0.00192	1.29968				0.99769	0.01395	0.20221
	50	0.00531	1.18830				0.99782	0.01379	0.20020
	60	0.00636	1.22857				0.99787	0.01321	0.18832
	Average						0.99779	0.01365	0.19691
Modified Page	40	0.00813	1.30936				0.99771	0.01389	0.20056
	50	0.01211	1.26967				0.99925	0.00810	0.06902
	60	0.01633	1.22800				0.99786	0.01323	0.18888
	Average						0.99827	0.01174	0.15282
Henderson & Pabis	40	0.00898		1.08586			0.98431	0.03658	1.39086
	50	0.01343		1.08359			0.98974	0.02990	0.94095
	60	0.01748		1.05687			0.98884	0.03021	0.98541
	Average						0.98763	0.03223	1.10574
Logarithmic	40	0.00543		1.32249		-0.29385	0.99872	0.01039	0.11431
	50	0.00976		1.19801		-0.15691	0.99839	0.01184	0.15144
	60	0.01406		1.15001		-0.11435	0.99765	0.01385	0.21585
	Average						0.99825	0.01202	0.16053
Midilli	40	-0.00210	1.07849	1.00834	-0.00882		0.99977	0.00440	0.02093
	50	0.00462	1.20743	1.00305	-0.00016		0.99965	0.00553	0.03395
	60	0.00911	1.10522	0.99731	-0.00067		0.99981	0.00393	0.01809
	Average						0.99974	0.00462	0.02432



รูปที่ 8 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นระหว่างผลการทดลองและผลการคำนวณจากสมการเอ็มพริคัลของ Mildilli

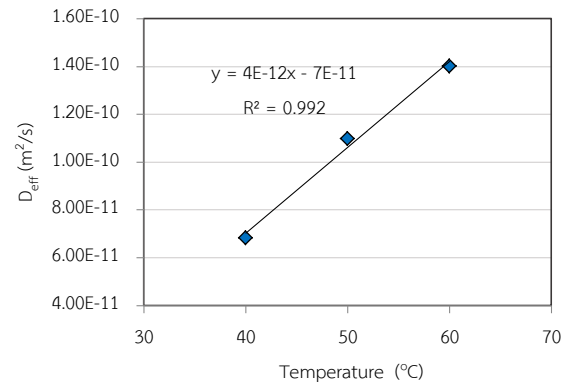


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นระหว่างผลการทดลองและผลการคำนวณจากสมการเอ็มพริคัลของ Mildilli

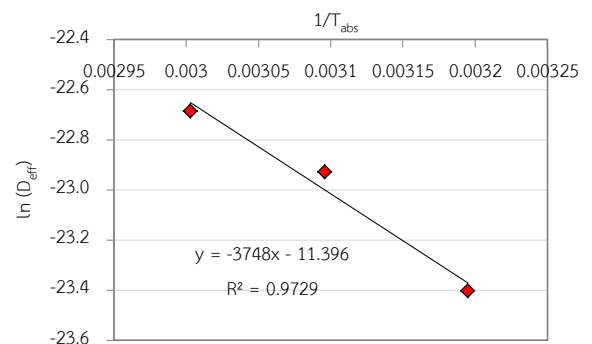
3.5 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและพลังงานกระตุ้น

จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (D_{eff}) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 °C มีค่า 6.85×10^{-11} 11.00×10^{-11} และ 14.03×10^{-11} m^2/s ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลจะมีค่าสูงขึ้นด้วย (รูปที่ 10) สอดคล้องกับรูปที่ 4 ที่พบว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้การลดลงของความชื้นเร็วมากยิ่งขึ้น โดยอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันไอมีค่าสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ความชื้นที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่และแพร่ออกจากผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น ทำให้ใช้

เวลาในการอบแห้งน้อยลง [16] เมื่อหาค่าความลาดชันระหว่าง $\ln(D_{eff})$ กับ $(1/T_{abs})$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(-E_a/R)$ (รูปที่ 11) จะคำนวณค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) ได้เท่ากับ 31,160.83 kJ/mol และปัจจัยเลขชี้กำลังมีค่า $11.25 \times 10^{-6} m^2/s$



รูปที่ 10 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลกับอุณหภูมิอบแห้ง

4. สรุป

การอบแห้งขึ้นกล้วยน้ำว้าด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 °C พบว่า การใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานลดลง โดยที่อุณหภูมิ 60 °C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดและที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงที่สุด และการใช้

อุณหภูมิอบแห้งที่ต่างกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าสีและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง ดังนั้นการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa อุณหภูมิ 60 °C เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งขึ้นกล้วย ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ระดับครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมสำหรับแปรรูปกล้วยน้ำว้าเป็นขึ้นกล้วยอบแห้งโดยมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่ใช้ทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ดีที่สุดคือ สมการของ Midilli โดยมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเฉลี่ย (R^2) 0.99974 สูงที่สุด ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) 0.00462 และค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) 2.432×10^{-5} ต่ำสุด นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลมีค่าระหว่าง 6.85×10^{-11} – 14.03×10^{-11} m²/s และค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 31,160.83 kJ/mol

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Lertkaeo, T. Promma, S. Wisitsirikun, N. Khamcharoen, A. Boondech, P. Phukongchai, N. Panjai, T. Jansai, S. Sunthornphong, P. Chamchoy and A. Klinkalong, "Comparisons of antioxidant activities and total Phenolic content of *Musa sapientum*, Linn. (Kluai Khai) peels," in *The 7th Phayao Research Conference*, Phayao, 2018, pp. 1379-1387.
- [2] A. Pengpoo and K. Jamjang, "The Production of banana flour with antioxidant from 4 types of bananas," in *The 3rd Kamphaeng Phet Rajabhat University National Conference*, Kamphaeng Phet, 2016, pp. 410-415.
- [3] K. Sittisuanjik, K. Sriruksa. "Comparative study on antioxidant activity, total phenolic contents and physicochemical properties of banana flours" *Agricultural Sci. J.*, vol. 44, no. 2, pp. 213-216, May-Aug. 2013.
- [4] J. Boonkong, T. Bunmee and P. Ruenkeaw, "Application of resistant starch from unripe banana "Hom Thong" (*Musa sapientum* L., AAA group) in pasta," *Journal of Food Technology Siam University*, vol. 10, no. 1, pp. 19-29, Oct. 2014-Sep. 2015.
- [5] K. Srikaeo and J. Sangkhiaw, "Effect of amylase and resistant starch on glycemic index of rice noodles," *LWT-Food Science and Technology*, Vol. 59, pp. 1129-1135, Jun. 2014.
- [6] W. Keawsuwan and A. Nuichan, "The use of Kluai Nam-wa flour substitute for wheat flour in coating batter," in *The 7th Muban Chombueng Rajabhat National Conference*, 2019, pp. 365-375.
- [7] V. Khummee, A. Akaraeaktalin, C. Lauraj and C. Rungrueang, "Development of brownies crackerby using banana flour substituted wheat flour" in *The 4th Kamphaeng Phet Rajabhat University National Conference*, Kamphaeng Phet, 2017, pp. 937-946.
- [8] C.V. Bezerra, A.M.D.C. Rodrigues, E.R. Amante and L.H.M.D. Silva, "Nutritional potential of green banana flour obtained by drying in spouted bed," *Revista Brasileira de*

- Fruticultura*, vol. 35, no. 4, pp. 1140-1146, Dec. 2013.
- [9] K. Witinantakit, N. Uengkimbuan and S. Rungsawang, "Mathematical modeling of shiitake mushroom drying using infrared-vacuum technique," *SWU Engineering Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 1-13, Sep.-Dec. 2019.
- [10] J. Pico, K. Xu, M. Guo, Z. Mohamedshah, M.G. Ferruzzi and M.M. Martinez, "Manufacturing the ultimate green banana flour: Impact of drying and extrusion on phenolic profile and starch bioaccessibility," *Food Chemistry*, vol. 297, pp. 1-10, Jun. 2019.
- [11] W. Manangan and K. Witinantakit, "Water lily drying pulsed vacuum-infrared combined with silica sand embedding," *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 84-98, Sep.-Dec. 2020.
- [12] U. Teeboonma and S. Jongjam, "Ginger drying using infrared-vacuum technique," *Burapha Science Journal*, vol. 15, pp. 76-86, Jul. - Dec. 2010.
- [13] Postharvest Center University of California. Fruit (1996, Nov.). Produce Facts English. [Online]. Available: http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datatores/Fruit_English/?uid=9&ds=798
- [14] P. Vongsawasdi, N. Dejsuk, S. Phuengpa, S. Timhom and N. Suebsaisich, "Using anti-browning agents in fresh-cut Hom-Thong banana before vacuum-frying," *Agricultural Sci. J*, vol. 44, no. 2, pp. 505-508, May.-Aug. 2013.
- [15] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Maryland: Gaithersburg, 2000.
- [16] S. Jaekhom and K. Witinantakit, "Drying kinetics of chicken using superheated steam technique," *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 9, no. 3, Sep.-Dec. 2019.
- [17] P. Roskhrua and M. Kitchaicharoen, "Effects of sugar, citric acid and pectin content on quality of mulberry fruit leather product," *RMUTP Research Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 58-69, Jan.-Jun. 2020.
- [18] S. Jaekhom, K. Witinantakit and E. Boonthum, "Kaffir lime leaves drying using far infrared-vacuum technique," *SWU Engineering Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 59-70, Jan.-Apr. 2021.
- [19] M. Nachaisin and S. Dondee, "Determination of heat transfer coefficient and effective moisture diffusivity of phlai drying," *Journal of Research for Social and Community Development, Rajabhat Maha Sarakham University*, vol. 1, no. 2, pp. 117-124, Feb.-Jul. 2014.
- [20] W. Junlakan, "Vacuum drying kinetics of mango (*Mangifera indica* L. Var.) Slices," *Burapha Science Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 358-373, Sep.-Dec. 2017.
- [21] R. Ngamchum, "Far infrared radiation - vacuum drying of sliced cavendish," M.E. thesis, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2004.

- [22] S. Tirawanichakul, N. Thongmark, P. Chongkasaem and Y. Tirawanichakul, "Convective hot air drying of *Musa nana* Linn. by LPG and electrical heating : drying kinetics, quality and energy consumption," *Wichcha Journal*, vol. 38 no. 1, pp. 91-105, Jan.-Jun. 2019.
- [23] P. Tubtimsri, R. Kengkuntod and D. Krueangngern, "The production of dried *Musa sapientum* Linn. by Infrared combine with hot air," in *The 3rd Kamphaeng Phet Rajabhat University National Conference*, Kamphaeng Phet, 2016, pp. 535-546.

The Virtual Reality Technology for Maintenance of Complex Machine in Manufacturing Training

Dissapoom Siyapong^{1*} Panuwat Rodchom² Akkharaphong Eksiri¹

¹ Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Bangkok University,
9/1 Moo 5 Phaholyothin Road, Klong Nueng, Klong Luang, Pathumthani, 12120

²Western Digital Manager and Supervisor, Western Digital Storage Technologies
(Thailand) Co., Ltd., 140 Moo 2, Bang Pa In Industrial Estate, Udomsornayuth Road, Klongjig,
Bang Pa In, Ayutthaya, Thailand, 13160

*Corresponding author Email: dissapoom.siya@bumail.net

(Received: February 19, 2021; Accepted: August 20, 2021)

ABSTRACT

This research is the development of reality technology used to improve traditional maintenance training in manufacturing. The application of reality technology was adapted to use for 12.5% of training and learning, 7.33% of product design, 6.03% of safety, 5.17% of remote assistance, and 5.60% of telerobotic and robotics in the manufacturing community. Conventional practice is a lecture using text, images, or videos. Moreover, the method had to stop the machine from operating in the production line. Therefore, reality technology helps the trainee enhance their experience through training in virtual environments by simulating the machine's maintenance procedure. Additionally, the system offers convenience in learning and searching for information. However, this system was evaluated the satisfaction of the engineer for confirmation to be genuinely available. In the next stage, the system was tested by the expert engineer and comparing Mean Time to Repair and Mean Time Between Failure of the machine in the current. The experiment illustrated the maintenance time was reduced depending on training regularly.

Keyword: Reality technology, machine maintenance, complex machine, manufacturing training.

1. Introduction

The Hard Disk Drive (HDD) manufacturers have started implementing reality technology to improve the manufacturing process to transform it into an industrial 4.0 Smart Factory. Reality technology mixed the physical and digital world to present the new simulated world using all software and hardware forms, called immersive

technology or reality technology [1]. Virtual instruction is currently an example of reality technology that has been widely applied to the gaming and entertainment industry. In the manufacturing industry, reality technologies are used to avoid risk. For example; Virtual Reality is used to assemble and disassemble a gearbox simulation for maintenance training in virtual

environments [2]. Augmented Reality is used to make a guideline assembly and maintenance of machines [3]. Mixed Reality is used to simulate aircraft maintenance training, in which users can be immersed using a see-through Head Mounted Display (HMD) [4]. As the automated production-line machines are very complex; therefore, the maintenance of these machines is difficult. The reality technology is applied in manufacturing training for an employee learning enhancement.

The engineer maintained the machine according to its maintenance schedule in the production line following manual documents. Some failure cases are not indicated in manual documents. Therefore, the engineer had to find the solution and show descriptions more themselves. An unexpected failure leads to increased maintenance time. The engineer must get trained to enhance maintenance skills. Currently, traditional training is to use text, images, and videos in lectures. Moreover, the machine also must be stopped operating for training result in occurring downtime increasingly.

This research presents the development of reality technology in manufacturing to avoid various failures in the machine. Reality technology can help an engineer enhance his/her maintenance skills by training as often needed with a time limit using the application. The training is performed outside the production line without stopping the machine from operating to evaluate the training effectiveness. The engineer was asked to perform the survey of the system evaluation when they completed training. In the next stage, the expert engineer of 10 participants performed maintenance of the machine and

compared the maintenance duration of 10 participants with the current period.

2. Related Work

This section presents the research study to help to find a suitable way that includes Reality technology, Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality.

Reality technologies can be classified into Virtual Reality (VR) is a virtual object simulation from the real object by interacting in the virtual environment; Augmented Reality (AR) is a 3D virtual object simulation to overlay a real object; Mixed Reality (MR) is a combination of Augmented and Virtual Reality by interacting through hand-free [1].

Virtual Reality (VR) was used to improve maintenance training in the manufacturing industry. Some industry has operated 24 hours a day without stopping machines. Therefore, the virtual system can help users avoid provoking breakdowns and accidents to maintain actual machines. This paper described Virtual reality as used to train to assemble and disassemble a gearbox by using Head Mounted Display (HMD) called the "Virtual Reality for Training in Maintenance Tasks" (VR-TMT) system [2]. The result of experimentation illustrated user experience right awareness level on the VR platform from using and evaluating a survey for 27 industrial engineering students. However, the virtual system indicated the limited space of the device sensor of 250 mm for using the device on a workspace. Our work presents the difference from this paper using the HoloLens in maintenance training, which is not limited to space, and users can train independently.

Additionally, VR was used to simulate a manufacturing process in the elaborate production line by familiarizing users with virtual environments. For example, the virtual simulation was used to support decision-making for design and production in achieving smart factory [5]. Another paper presented the use of VR simulated the manufacturing process of flat-rolled steel products by describing the movement of hot gases that escape from the door of reheating furnace [6].

Besides, Virtual reality was also used for maintenance training in electric power energy plants [7]. The transformer of the electric power system was simulated operating procedures to the virtual scenario. The virtual scenario simulation allows users to understand the complex system of machines by interacting with computer-simulated environments. The interaction level of the system can be classified into four modes including a) The virtual scenario can be explored without doing any tasks by users in the discovery mode b) Users can learn the work procedure in presentation mode c) The guided mode offers assistance for users with doing any tasks step-by-step d) Free mode is complicated, which users have to complete doing tasks without assistance. The result illustrated that the 3D visualization reduced problems and difficulty disassembling the transformer without faults and damage to the actual machine. However, the VR device still was limited to space for usability. Our work presented the difference between the HoloLens device from this paper using VR goggles. Therefore, our work presented the difference between the HoloLens device from this paper

using VR goggles. By means, the HoloLens can be used anywhere in the form of wireless.

Augmented Reality (AR) assists the user with complex assembly and maintenance tasks in an industrial environment. Due to the machine has the complexity of maintenance tasks. This paper described that users could get all information directly superimposed into the actual working environment using see-through Head Mounted Display (HMD) by computer-generated images called augmentations [3]. The HMD was developed to simulate the virtual object superimposed into the actual object by calibrating an optical see-through HMD, which uses algorithms to calculate the (X, Y, Z) axis position for the 3D projection. Even though the system is still under development, the result of this research illustrated the display in 3D augmentation superimposed smoothly. The disadvantage of an electromagnetic tracking system is fast responding to a metals environment, which is a disturbance of a working system. Another disadvantage of the system is to use a cable connected a sensor to a processing unit of a tracking system, which is not wireless. Therefore, workspace and user movement are limited. However, our work differs from this paper using the HoloLens device, a wireless device and can superimpose the actual object using an image tracking system. The number of AR applications adapted to use in the manufacturing community illustrated that 12.5% of training and learning, 7.33% of product design, 6.03% of safety, 5.17% of remote assistance, and 5.60% of telerobotic and robotics [8]. AR was used to simulate computer-generated virtual objects overlapping

with actual objects in the practical manufacturing environment. For example, AR glasses can help workers control a sequence and equipment assembly methods by reading step-by-step instructions and assembling according to instructions [9]. AR was implemented to simulate missing objects in the production line by a system planner before an actual object implementation [10].

Mixed Reality (MR) technology was developed to train new workers by implementing the Head-Mounted Display (HMD) attached see-through camera for aircraft door maintenance in complex manufacturing training, which this system allows users can use collaborative interactions [4]. This paper described both training types between MR training and traditional face-to-face training by evaluating knowledge retention and knowledge interpretation test with eight questions questionnaires. The result illustrated that the knowledge obtained from both types of training was not different significantly. Moreover, users have effectiveness in the MR training was as good as the ones in traditional training. MR training has limited a workspace and motion capture system in the laboratory. Therefore, our work is different from this paper using the HoloLens to allow users to train anywhere.

Furthermore, the MR was developed for application in many manufacturing communities, including product design, training, maintenance, assembly, Etc. [11]. For example, MR can assist users in planning the workshop layout by simulating virtual equipment in the actual environment [12]. The structure information and

monitoring data of production equipment were integrated into the MR system to assist maintenance tasks [13].

All three types of reality technology have differently prominent, as shown in Fig. 1. VR brings people into a virtual environment; AR is to simulate a 3D virtual object to overlay an actual object that users cannot interact with; MR combines AR and VR to present the new environment that the user can interact.

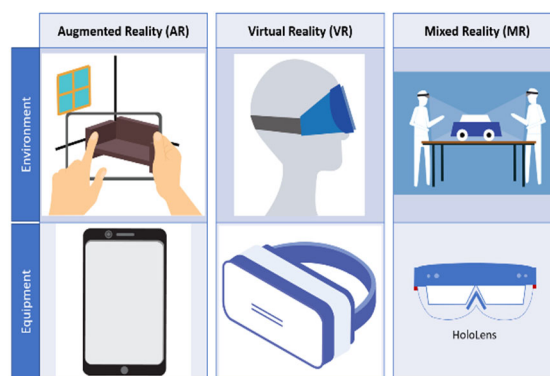


Fig. 1 Reality technology

Each type of reality technology has both advantage and disadvantage. First of all, AR and VR disadvantages are the limitation of interaction in the maintenance training, including AR is to use the device to display 3D visualization on a 2D touch-screen by scanning any QR-code or images. Therefore, users cannot fully interact with virtual objects. In the part of VR is to use the Head Mounted Display to simulate virtual environments. However, the VR has a limited space of 250 mm for user detection. The advantage of AR and VR was developed by using MR technology for HoloLens.

User can apply reality technology in virtual training. Moreover, these technologies were

helpful to the user in many roles because they allowed them to design a virtual system such as a virtual environment, simulation, interaction, and instruction. The environment and situation are variable that a virtual teacher responded to users [14, 15]. On the job training, trainees found many problems making them get trained that is not full performance. Because of risks, cost, and time-limited. The training aims to create interactive training [16 - 22]. Furthermore, the user can train many times in the same scenario of virtual training. Trainees get help from virtual training to find suitable solutions [14, 18, 23].

Table 1 shows the problems found in these below systems, such as the number of trainees, unrealistic virtual training, the difficulty of interaction, and limitation of point-of-view. This project was designed to solve these problems by using each prominent of 3 types of reality technology, including VR, to interact with controlling through mouse and keyboard; AR can interact with virtual objects in the real environment; MR can interact with hand-free, which any virtual objects were designed from the actual size of objects for a more realistic training encouragement.

TABLE I
The type of training program

Paper	Stereoscopic	Hand-on	Lecture	Simulation	Case Study	Interactive	Coaching	Group Discussion
14	●		●		●			
15	●							
16				●				
17				●				
18	●			●	●			
19				●				
20	●			●				
21	●			●				
22	●			●				
23					●			
This project	●	●	●	●	●	●	●	●

3. Methodology

3.1 Experimentation

The classification of the target group to classify all to 3 groups includes the first group (group 1) is an expert engineer, the second group (group 2) is an experienced engineer, and the third group (group 3) is a beginner. Each group user experimented with all three applications, such as VR, AR, and MR applications. When users completed testing, they did a survey. All 30 copies of the survey are calculated by the SUS score and port a graph. The System Usability Scale (SUS) is a standardized questionnaire for system measurement [24].

In the next stage, the expert engineer of 10 participants performed maintenance of the machine and compared the maintenance duration of 10 participants with the current period using (1) Mean Time to Repair (MTTR) and (2) Mean Time Between Failure (MTBF) formula calculation.

$$MTTR = \frac{\text{Total Maintenance Time}}{\text{Total Number of Repairs}} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{\text{Total Operational Time}}{\text{Total Number of Failures}} \quad (2)$$

4. Implementation

4.1 System Overview

This section indicates a reality-based interaction system in which virtual and actual environments are integrated into new learning environments instead of learning in the production line. The difficulty of current learning is to stop the machine from running in teaching

trainees, and consequently, the machine cannot produce the workpiece. The new system aims to protect the vulnerable during training in the production line by training outside in virtual environments. The virtual system is simulated from all the information in the production line by gathering and learning how it operates. The information gathered is spending extended times in learning as a consequence of the complexity of machine operations. Furthermore, 2D drawing and 3D visualization are used to describe the complex machine for facilitating trainee learning. The utilization of 2D and 3D information is a prerequisite for designing the system, described in the overview below of Fig. 2.

4.1.1 The first step is to gather all the information

The information is gathered into an application such as manual documents, 2D drawing, and 3D CAD, as shown in Fig. 3.

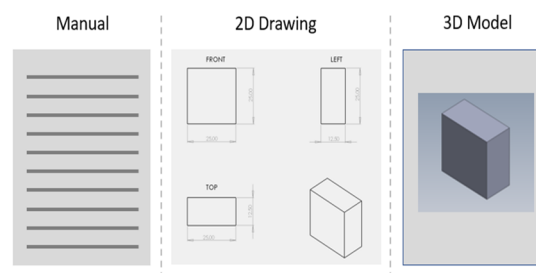


Fig. 3 Gathering 3 things of the information, including manual, 2D drawing and 3D model

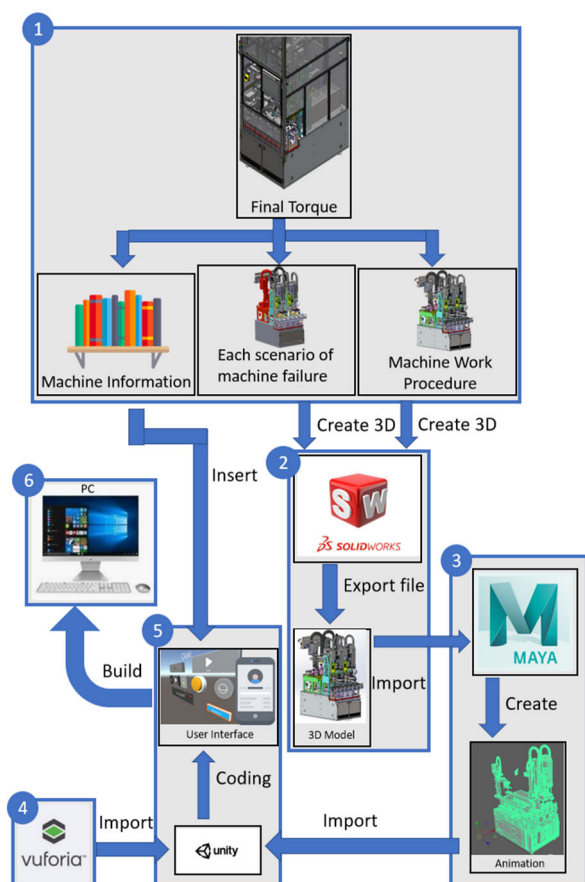


Fig. 2 System overview

All three things are different location files. Consequently, it is a waste of time searching for any file. However, to gather all files in the same location file for the convenience of searching. All three things above are used to design the machine in the production, called mechanical design. The machine design has two parts, include software development and mechanical design. The mechanical design started by designing the 3D CAD in SolidWorks. The next step is to set each axis's dimensions in a 2D drawing for creating the real object of implementation in the production. Another necessary step is to describe how the machine operator sets up and maintenance in manual documents. The software development is used to control machine operations through input/output devices in the controller cabinet. The software is running on the machine's touch screen monitor, which can adjust values in this interface, and the software detail was simulated

in Adobe Illustrator for the realism of the training. Some button is used according to the maintenance procedure. Therefore, some detail is not necessary for interaction, as shown in Fig. 4.

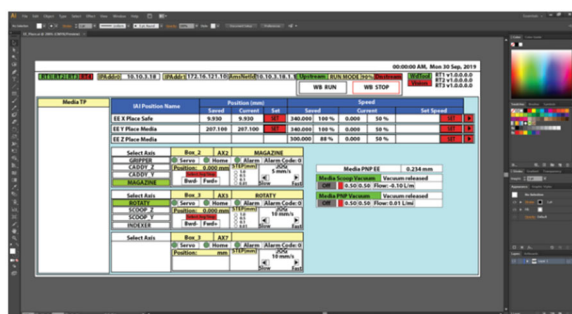


Fig. 4 Study the overall monitor of the machine in the production line

4.1.2 The second step is to edit a 3D CAD and Downsizing

Currently, the 3D CAD is designed by the mechanical designer, as shown in Fig. 5.

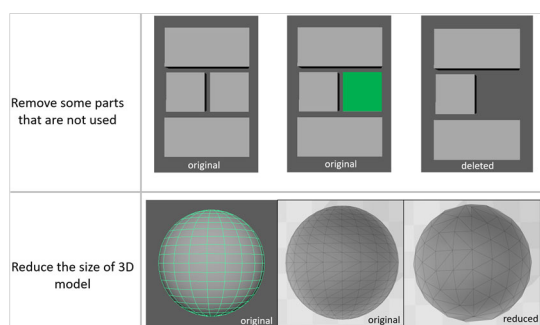


Fig. 5 Deleting some component of a 3D model that is not used for a file downsizing

The components of the mechanical part are used to assembly the machine. Some mechanical part is designed for movement. On the other hand, some mechanical part is designed for

motionless. As mentioned in paragraph one of this section, the 3D animation is created by learning how the machine operates in the production line. The central problem of the 3D CAD design is the too large size. Thereby, the 3D CAD has been downsizing by reducing the surface area size for faster processing.

Moreover, the reduction of the surface area of 3d size is to animate the 3D smoothly. Another problem was often found, in which some 3D CAD files are disappeared or damaged. Nevertheless, the 3D CAD can be designed the new one by 2D drawing. The 2D drawing described the mechanical design details, including to set dimensions of each axis, width, length, height, and angle degree, as shown in Fig. 6.

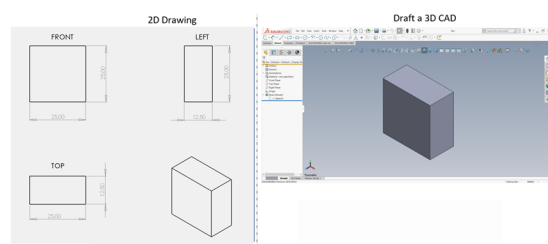


Fig. 6 3D CAD designing on SolidWorks

4.1.3 The third step is to animate a 3D CAD

The 3D CAD is used to create animation by moving objects in 3-dimensional space, as shown in Fig. 7. Nevertheless, the 3D CAD is exported from SolidWorks to Autodesk Maya, which found the color of 3D CAD disappeared and all file ungrouped. As mentioned, animation creation difficulty is increased accordingly by adding color and classifying the 3D CAD group. The animation creation started by moving objects independently from the position A to the position B according to

the X-axis, Y-axis, and Z-axis. The position of objects is established to create animation in the keyframe. Each keyframe is an image computer-generated, in which the quick movement of an image depends on the frame per second (FPS), called animation. The animation is rendered to file with FBX extension and imported into Unity 3D.

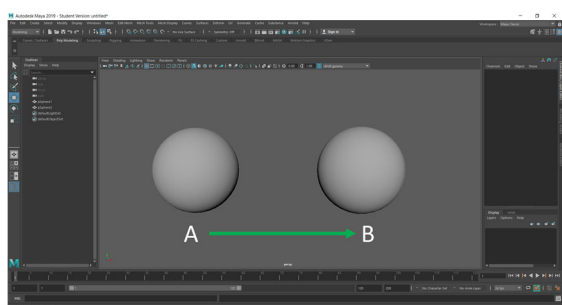


Fig. 7 Creating the 3D CAD animation

4.1.4 The fourth step is to create a script of controlling by C# language

The C sharp of the programming language is used widely to develop the game engine in Unity 3D by using Visual Studio. Fig. 8 shows that Unity 3D tools allow developers to design the system independently by using scripts for system control for developing the 3D application. Besides, the variety of Unity consists of creating animation, UX/UI design, multimedia, and others controlled by C# scripts. These scripts are attached to objects for controlling the behavior of objects. Scripting is a necessary component in application development. Moreover, Unity ability can assist developers in connecting other systems by using assets plugin to be integrated, such as OpenCV, Database, MySQL, and others. As continued from the previous paragraph, the animation was

imported into Unity 3D. The script is used to be an animation controller and controlled the system.

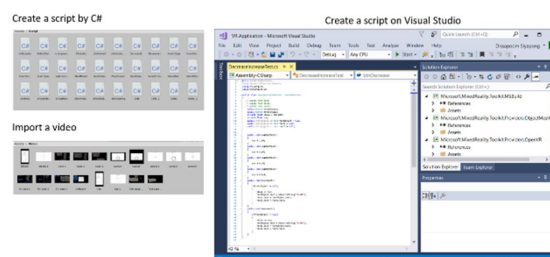


Fig. 8 A script of controlling by C#

4.1.5 The fifth step is to add a QR-Code to generate a position of marking for detection and showing a 3D CAD

As mentioned in the previous paragraph, Unity offers tools for supporting the development. The Software Development Kit (SDK) is an essential tool that can help developers access complex systems. Therefore, the Vuforia SDK is implemented by tracking the QR-code marker into AR applications, as shown in Fig. 9.

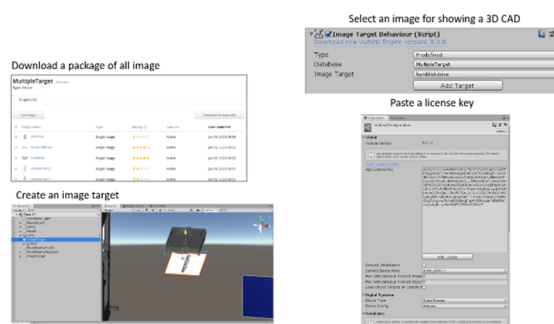


Fig. 9 Adding QR code or an image to Unity for displaying a 3D CAD

The QR-code is generated by importing it into Vuforia portal browser. However, computer

vision detects the marker depending on an image is marked as a point in grayscale tone.

4.1.6 The sixth is to build an application

Unity supports various platforms for building the application, including Universal Windows Platform (UWP), Android Mobile, IOS Mobile, Xbox, WebGL, PC, Etc. Fig. 10 shows the build setting started by using the scenes in the build panel, which the build setting depends on platform selection.

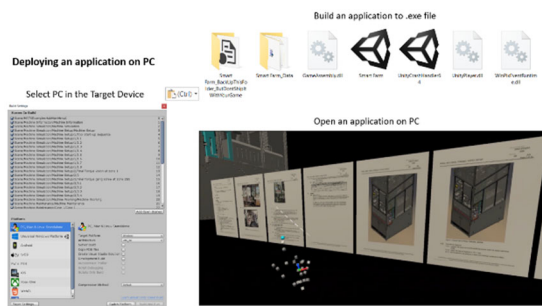


Fig. 10 Building an application

4.2 Process Flow of the application

The flowchart above indicates how the application operates, as shown in Fig. 11. The application is designed to suit an industrial by creating three functionalities: information, simulation, and maintenance. The information is gathered to retrieve machine information such as manual documents, 2D drawings, and 3D CAD. The manual documents describe how the machine set up and maintain, which is the traditional instruction. These documents are used to design the new instruction in three-dimensional simulation by creating the function of machine simulation. Machine simulation is an essential learning enhancement by using 3D visualization and animation, which classifies machine setup and machine operation. Also, the function of machine maintenance is designed to allow users can train an interactive virtual machine in the virtual environment. The maintenance training lets users learn to maintain

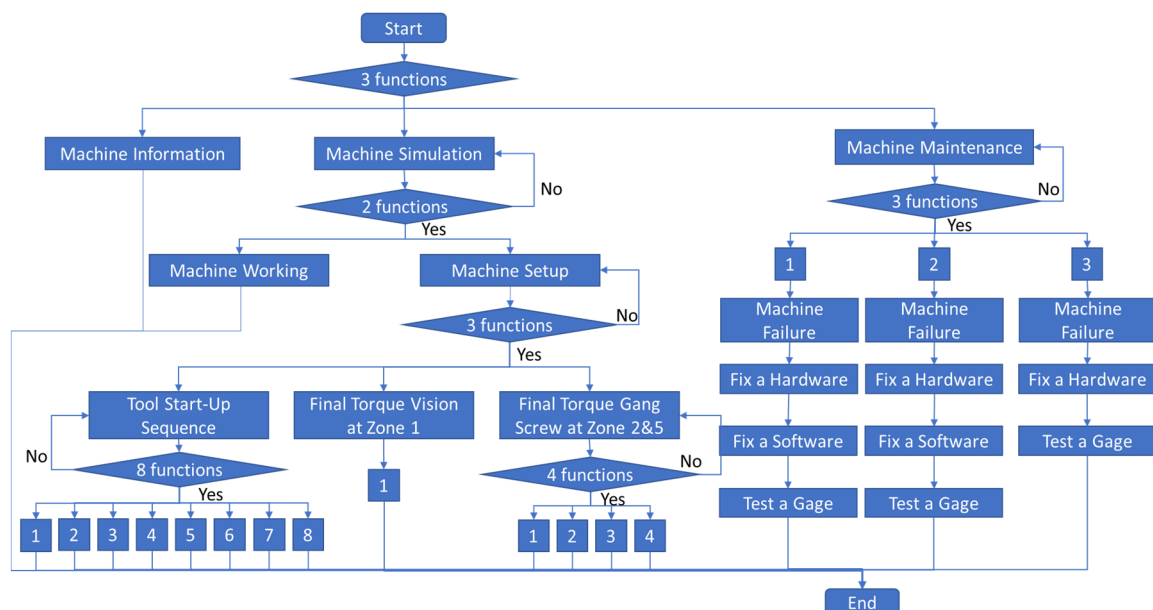


Fig. 11 Process flow of an application

both hardware and software for realistic training with the real machine in the production line.

4.3 The comparison of reality technology for application

The application was generated for two systems, as shown in Fig. 12, including the 2D desktop and the 3D fully immersive HoloLens.

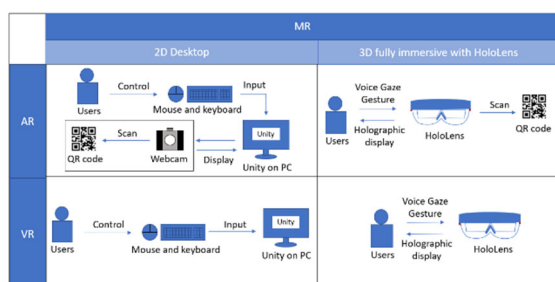


Fig. 12 Process flow of systems

However, both systems are different. The 2D desktop was used to display 3D visualization on a 2D screen monitor by interacting with a mouse and keyboard. While the 3D fully immersive with HoloLens was used to display the 3D holographic by users interacting with Hand-free to control the system. AR was used to assist users in fully interacting with virtual objects by a camera scanning QR-code or images to display 3D objects. Moreover, users can use the VR version without camera scanning.

The proposed system offers a difference in learning, in which the excellent performance of the technology is extracted by creating three types of reality technology, including Augmented Reality (AR) allows a user to enable a camera function of the system, as shown in Fig. 13, which is tracked by an image marker to display the 3D virtual object.

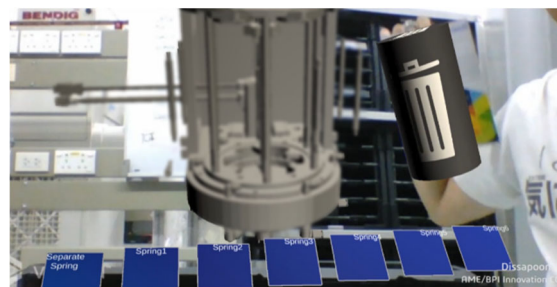


Fig. 13 AR application

The 3D virtual object is an overlay of the real object to increase the trainee understanding. Virtual Reality (VR) allows users to interact with the virtual machine in the virtual environment, as shown in Fig. 14.

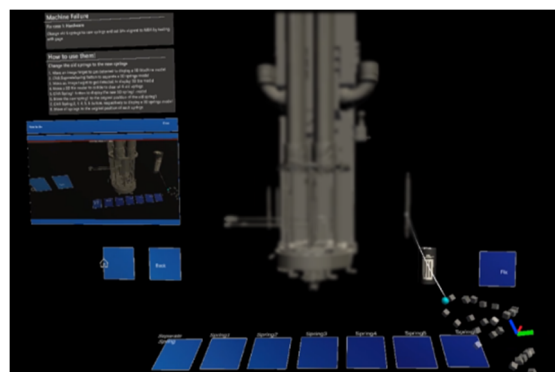


Fig. 14 VR application

The system provides users with a novel experience in which the virtual environment is similar to the actual environment. Mixed Reality (MR) allows a user to be immersive the 3D holographic visualization through Microsoft HoloLens, as shown in Fig. 15, called Head-Mounted Display (HMD). The system offers the interaction by using Hand-free to control the virtual object.

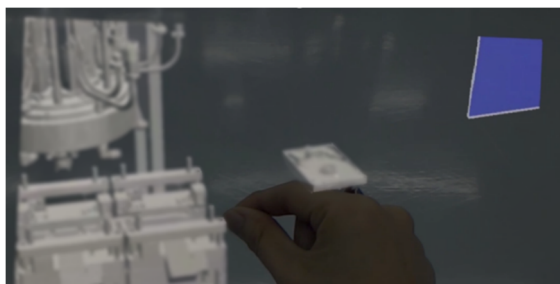


Fig. 15 MR application

5. Evaluation

A summary of the evaluation results is shown in Table 2. The 30 participants were asked to test the application system and make ten questionnaires of the SUS survey. This survey consists of 10 questions by classifying two parts, including positive questions and negative questions. In the part of positive questions, the first result is shown that 33.33% of participants strongly think that they would like to use this system frequently. Then, 30% of participants

thought the system was easy to use. At the number of 20% of participants found the various function in this system was well integrated. The following result shows that 33.33% of participants would imagine that most people would learn to use this system very quickly. Then, 16.67% of participants felt very confident using the system.

On the other hand, the part of negative questions illustrated the first result is shown that 6.67% of participants strongly found the system unnecessarily complicated. At 23.33% of participants think that they would need a technical person's support to use this system. Then, the number of 13.33% of participants thought there was too much inconsistency in this system. Besides, 3.33% of participants found the system very cumbersome to use. Almost 36.67% of participants needed to learn many things before they could get going with this system.

TABLE II

Survey result (SD: strongly disagree, D: disagree, N: neutral, A: agree, SA: strongly agree)

Questions	SD	D	N	A	SA
I think that I would like to use this system frequently.		3	9	8	10
I found the system unnecessarily complex.	2	9	11	6	2
I thought the system was easy to use.	1	3	7	10	9
I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.	3	6	4	10	7
I found the various function in this system was will integrated.		5	4	15	6
I thought there was too much inconsistency in this system.		9	9	8	4
I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.	2		3	15	10
I found the system very cumbersome to use.	5	7	13	4	1
I felt very confident using the system.		5	6	14	5
I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.	1	3	8	7	11

In the calculation, the SUS score, as shown in Table 3, there were 30 participants for testing the application and making the SUS survey by classifying three groups, which include (a) ten participants of group 1 were an expert engineer or machine owner. (b) Ten participants of group 2 were engineer experienced or other machine owners. (c) Ten participants of group 3 were new engineer or beginner. A green highlight is a user group with 68 scores for an acceptable user or okay in applying the application to the training program.

TABLE III

The calculation of 10 questionnaires

	People	Point
Group 1	1	77.5
	2	52.5
	3	67.5
	4	60
	5	77.5
	6	80
	7	72.5
	8	75
	9	87.5
	10	87.5
Group 2	11	27.5
	12	62.5
	13	72.5
	14	50
	15	85
	16	52.5
	17	57.5
	18	55
	19	57.5
	20	57.5
Group 3	21	52.5
	22	47.5
	23	50
	24	75
	25	52.5
	26	35
	27	47.5
	28	32.5
	29	35
	30	15

The SUS formula calculated the score of 30 participants. There were 7 participants of Group 1, 2 participants of Group 2, and 3 participants of Group 1 at having 68 points or more. Fig. 16 indicates the chart graphs of SUS calculation had

many participants having less than 68 points. There were only 10 participants of 3 groups having 68 points or more. A score of 68 points illustrated these participants' acceptance of using the application. However, a lower score of 68 illustrates the unaccepting of using the application from these participants. The majority of the participants were Group 1 at having 68 points or more, as Group 1 had more machine knowledge than Group 2 and Group 3. Therefore, Group 1 had several participants with 68 points or more, which is more than the other groups.

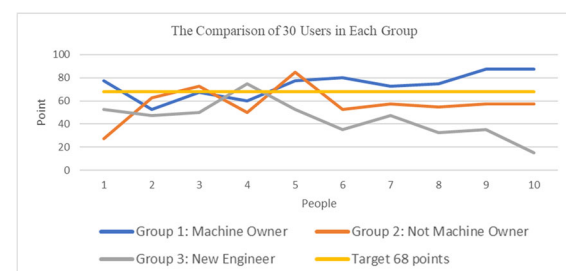


Fig. 16 The survey calculation of 10 questionnaires

Moreover, there were participants at having less than 68 points, as these participants unknown reality technology. Therefore, these participants avoided using new technology instead of older methods. However, the participants need to learn about reality technology first to know the new technology and the learning enhancement effectively.

In the next stage, the expert engineer of 10 participants performed maintenance of the machine and compared the maintenance duration of 10 participants with the current period of one month, as shown in Table 4.

TABLE IV
The current maintenance times

Case	Count of Category	Sum of Down Duration	MTBF (hour)	MTTR (min)	MTTR (hour)
A	2	14	238.28	7	0.12
B	1	83	475.93	83	1.38
C	1	29	476.83	29	0.48

There are three failure cases of the machine selected from 21 failure cases for the case study. That machine is 22.7 hours of run time which is not operating 24 hours. As a result of the production line always has to be cleaning and stop working. Case A indicated the failure occurred two counts using a maintenance time of 7 minutes in 1 time and stopping operating the machine of 238.28 hours. Case B indicated the failure occurred one count using a maintenance time of 83 minutes in 1 time and stopping operating the machine of 475.93 hours. Case C indicated the failure occurred one count using a maintenance time of 29 minutes in 1 time and stopping operating the machine of 476.83 hours.

Nevertheless, these failures have the uncertain occasion to occur in the machine within the production line. Our work presented these failures case simulated in the laboratory for experimentation, which is the equivalent machine.

Each participant performed maintenance of the machine and counted a maintenance time in each case. The result illustrated that the average of case A is 6.49 minutes, case B is 75.39 minutes, and case C is 27.57 minutes, as shown in Table 5. The majority of maintenance time was reduced from the current information. We hypothesised that the Mean Time To Repair the machine

reduced according to the maintenance time of 10 participants. Moreover, Mean Time Between Failure decreased as well.

TABLE V

The maintenance time of 10 participants in each case

Participants	Case A (min)	Case B (min)	Case C (min)
1	6.54	76.57	27.53
2	6.49	72.46	28.38
3	6.56	74.51	28.15
4	6.51	76.34	27.49
5	6.47	75.28	27.55
6	6.44	78.14	26.59
7	6.52	74.43	28.03
8	6.43	72.23	27.21
9	6.41	77.44	26.56
10	6.53	76.54	28.20
Avg	6.49	75.39	27.57

6. Conclusion

Both systems of the application have different advantages and disadvantages. 2D desktop systems are worth the investment of training for using several computers with much among people at the same time. Nevertheless, this system displays 3D visualization on the 2D screen monitor, which users cannot fully interact with. While the 3D fully immersive with HoloLens can allow users to interact with virtual objects anywhere fully. However, the HoloLens has a too high price and is not suitable for an investment of use with many people in training.

The difficulty of the application development was an instruction media design to consistent the maintenance manual and transferred a complete knowledge for workers. In addition, each failure case had a difference; therefore, the maintenance

procedure was different as well. The next level of difficulty was a system design to suitable the maintenance procedure.

The instruction of reality technology is applied to the training program to teach users by one-point lessons (OPL), which users take a shorter time than the instruction with documents. The reality technology system is applied to industrial for the most effective, depending on people who know the machine and new technology. Moreover, the maintenance time reduced according to maintenance skills increased. The training of workers constantly will be improved maintenance skills. In the future, we will have added another 18 failure cases in the application for comprehensive of all cases.

7. Acknowledgement

This author would like to acknowledge Western Digital (Thailand) Co., Ltd. and graduate school, Bangkok University, for all the supports on this research.

8. References

- [1] F. Zhou, X. Lin, C. Liu, Y. Zhao, P. Xu, L. Ren, T. Xue and L. Ren, "A Survey of Visualization for Smart Manufacturing," *Journal of Visualization*, vol.22, pp.419-435, Nov. 2018.
- [2] M. Numfu, A. Riel and F. Nuel, "Virtual Reality Technology for Maintenance Training," *Applied Science and Engineering Progress*, vol.13, no.3, pp.274-282, 2020.
- [3] G. Dini and M. D. Mura, "Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Service," in *The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services*, Cranfield, UK, 2015, pp.14-23.
- [4] M. Gonzalez-Franco, R. Pizarro, J. Cermeron, K. Li, J. Thorn, W. Hutabarat, A. Tiwari and P. Bermell-Garcia, "Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training," *Journal of Frontiers in Robotics and AI*, vol.4, no.3, 2017.
- [5] S. Jain, G. Shao and S. J. Shin, "Manufacturing data analytics using a virtual factory representation," *International Journal of Production Research*, vol.55, no.18, pp.5450-5464, 2017.
- [6] C. Zhou, J. Wang, G. Tang, J. Moreland, D. Fu and B. Wu, "Integration of advanced simulation and visualization for manufacturing process optimization," *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, vol. 68, no. 5, pp. 1363-1369, May. 2016.
- [7] P. N. A. Barata, M. R. Filho and M. V. Alves Nunes, "Virtual reality applied to the study of the integration of transformers in substations of power systems," *International Journal of Electrical Engineering Education*, vol.52, no.3, pp.203-218, 2015.
- [8] E. Bottani and G. Vignali, "Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade," *IJSE Transactions*, vol.51, no.3, pp.284-310, 2016.
- [9] T. Masood and J. Egger, "Augmented reality in support of Industry 4.0 - Implementation challenges and success factors," *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*, vol.58, pp.181-195, 2019.

- [10] I. Karlsson, J. Bernedixen, A. H. C. Ng and L. Pehrsson, “Combining Augmented Reality and Simulation- Based Optimization for Decision Support in Manufacturing,” in *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, Las Vegas, NV, USA, 2017, pp. 3988-3999.
- [11] P. Wang, S. Zhang, M. Billingham, X. Bai, W. He, S. Wang, M. Sun and X. Zhang, “A comprehensive survey of AR/MR-based co-design in manufacturing,” *Engineering with Computers*, vol.36, pp.1715-1738, 2020.
- [12] D. Herr, J. Reinhardt, G. Reina, R. Kruger, R. V. Ferrari, and T. Ertl, “Immersive Modular Factory Layout Planning using Augmented Reality,” in *the 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Stockholm, Sweden, 2018, pp.1112-1117.
- [13] I. Maly, D. Sedlacek and P. Leitao, “Augmented Reality Experiments with Industrial Robot in Industry 4.0 Environment,” in *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Poitiers, France, 2016.
- [14] Y. S. Hsu, Y. H. Lin and B. Yang, “Impact of augmented reality lessons on students’ STEM interest,” *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, vol. 12, no.2, pp.1-14, 2017.
- [15] A. Syberfeldt, O. Danielsson, M. Holm and L. Wang, “Visual assembling guidance using augmented reality,” in *43rd North American Manufacturing Research Conference*, UNC Charlotte, North Carolina, United States, 2015, pp.98-109.
- [16] D. Sakai, K. Joyce, M. Sugimoto, N. Horikita, A. Hiyama, M. Sato, A. Devitt and M. Watanabe, “Augmented, virtual and mixed reality in spinal surgery: A real- world experience,” *Journal of Orthopaedic Surgery*, vol.28, no.3, pp.1-12, 2020.
- [17] C. Müller, M. Krone, M. Huber, V. Biener, D. Herr, S. Koch, G. Reina, D. Weiskopf and T. Ertl, “Interactive Molecular Graphics for Augmented Reality Using HoloLens,” *Journal of Integrative Bioinformatics*, vol.15, no.2, 2018.
- [18] H. Ghandorh, J. Mackenzie, R. Eagleson and S. D. Ribaupierre, “Development of augmented reality training simulator systems for neurosurgery using model- driven software engineering,” in *2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Windsor, Ontario, Canada, 2017, pp.1-6.
- [19] B. Kwon, J. Kim, K. Lee, Y. K. Lee, S. Park and S. Lee, “Implementation of a virtual training simulator based on 360° Multi-view human action recognition,” *IEEE Access*, vol. 5, pp.12496– 12511, 2017.
- [20] A. Boschmann, S. Dosen, A. Werner, A. Raies and D. Farina, “A novel immersive augmented reality system for prosthesis training and assessment,” in *2016 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 280-283.
- [21] I. Santos, P. Dam, P. Arantes, A. Raposo and L. Soares, “Simulation training in oil platforms,” in *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, Gramado, Brazil, 2016, pp. 47-53.

- [22] C. Y. Huang, S. J. Lou, Y. M. Cheng and C. C. Chung, “Research on Teaching a Welding Implementation Course Assisted by Sustainable Virtual Reality Technology,” *Sustainability*, vol.12, no.23, p.10044, 2020.
- [23] N. Ordaz, D. Romero, D. Gorecky and H. R. Siller, “Serious games and virtual simulator for automotive manufacturing education & training,” in *2015 International Conference Virtual and Augmented Reality in Education*, Monterrey, 2015, pp.267–274.
- [24] J. R. Lewis and J. Sauro, “Item Benchmarks for the System Usability Scale (SUS) ,” *Journal of Usability Studies*, vol. 13, no.3, pp.158-167, 2018.

**การบ่งชี้จุดเสี่ยงอันตรายบนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076
อำเภอโพธิ์ศรีสุวรรณ จังหวัดศรีสะเกษ ด้วยวิธีควบคุมคุณภาพของการเกิดอุบัติเหตุ
Identification of Hazardous Points on Highway 2076
Phosrisuwan District, Sisaket Province by using Rate Quality Control**

ทิพย์สุดา กุมพันธ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ 33000

Thipsuda Kumphan

Department of Logistics Engineering, Faculty of Liberal Arts and Sciences,

Sisaket Rajabhat University, Sisaket 33000

Corresponding author Email: Thipsuda.k@sskru.ac.th

(Received: May 3, 2021; Accepted: September 22, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับจุดเสี่ยงอันตรายบนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 รวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรตลอดทั้งปีย้อนหลังระหว่างปีพ.ศ.2560 – 2562 จากกรมทางหลวง และสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากบริษัทกลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด ทำการจัดลำดับจุดเสี่ยงอันตราย โดยใช้วิธีควบคุมคุณภาพของการเกิดอุบัติเหตุและคำนวณค่าแฟกเตอร์ความอันตราย (Dangerous Factor; DF) พบว่า ทุกช่วงถนนบนทางหลวงนี้ มีค่าแฟกเตอร์ความอันตรายต่ำกว่า 1 โดยเขตพื้นที่ตำบลเสียวมีค่าแฟกเตอร์ความอันตรายสูงสุดคือ 0.66 เมื่อแยกรายกิโลเมตรจะเห็นว่าช่วงกิโลเมตรที่ 42-43 มีค่าแฟกเตอร์ความอันตรายสูงสุดคือ 0.68 ซึ่งถือว่าไม่มีจุดเสี่ยงอันตรายที่อยู่ในช่วงวิกฤติหรือต้องการควบคุมดูแลเป็นพิเศษ แต่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดเสี่ยงที่อาจเกิดอุบัติเหตุได้ จากนั้นประยุกต์ใช้ทฤษฎีฮัยริ-ฮัตโตะให้ประชาชนในพื้นที่ร่วมระบุจุดเสี่ยงลงในแผนที่ฮัยริ มีจุดเสี่ยง 4 จุด ที่ต้องปรับปรุงบนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 พร้อมวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของจุดเสี่ยง เพื่อเป็นแนวทางการพิจารณาแก้ไขจุดเสี่ยงทางถนนที่อาจเกิดอันตรายและสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้รถใช้ถนนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: จุดเสี่ยงอันตราย วิธีควบคุมคุณภาพของการเกิดอุบัติเหตุ ฮัยริ-ฮัตโตะ

ABSTRACT

The aim of this research was to rank No. 2076. The annual average daily traffic data were collected between B.E. 2560–2562 by using data from the Department of Highways, and the accident statistics were collected by using data from the Road Accident Victims Protection Company Limited. The rate quality control method and the dangerous factor (DF) calculating were used for ranking the hazardous points. The DF values of all phases on this highway were below 1. The highest value was

shown at 0.66 in the Siao sub district area. The highest value of a phase on this highway was 0.68 at km. 42 – 43. From the results, the hazardous points on this highway were not in critical periods or required special supervision. However, the risk points of accidents on this highway must be improved. Hiyari – Hatto theory was used for identifying the risk points. People in the area identified the risk points into the Hiyari map. There were 4 risk points that need to be improved and analyzed the physical characteristics on the Highway No. 2076 to be a guideline for solving the risk points and to effectively create a safety road for all users.

Keywords: Hazardous points, Rate Quality Control, Hiyari - Hatto.

1. บทนำ

อุบัติเหตุทางถนนนับเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณในเขตชุมชนเมืองที่มีทางหลวงสายหลักตัดผ่าน มีรถวิ่งผ่านด้วยความเร็วสูงและมีการเข้าออกพื้นที่สองข้างทางโดยไม่มีการควบคุมทางเข้าออกหรือมีปริมาณการกลับรถค่อนข้างสูง ทำให้ผู้ใช้รถใช้ถนนและคนเดินเท้ามีความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ [1]จากข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุทางถนนทางถนนในประเทศไทยในรอบ 3 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2561 ถึงปีพ.ศ. 2563 พบว่า จำนวนผู้เสียชีวิตในปีพ.ศ.2561 สูงถึง 16,137 คน หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงจนถึงปีพ.ศ.2563 จำนวน 15,748 คน สำหรับจำนวนผู้ได้รับบาดเจ็บในปีพ.ศ.2561 คือ 1,036,096 คน และมีแนวโน้มลดลงในปีพ.ศ.2563 มีจำนวน 1,014,421 คน [2] ซึ่งเห็นได้ว่าจำนวนผู้เสียชีวิตและผู้ได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางถนนในแต่ละปีนั้นถึงแม้แนวโน้มจะลดลง แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่สูงอย่างต่อเนื่อง

จังหวัดศรีสะเกษตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย มีพื้นที่ประมาณ 8,839,976 ตารางกิโลเมตร แบ่งการปกครองออกเป็น 22 อำเภอ 206 ตำบล 2,633 หมู่บ้าน ด้านโครงสร้างพื้นฐานมีทางหลวงแผ่นดินในพื้นที่จำนวน 32 สาย อำเภอโพธิ์ศรีสุวรรณเป็นอำเภอที่มีทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 ตัดผ่านเขตชุมชนยาว 16.47 กิโลเมตร [3] เพื่อเชื่อมไปยังเขตจังหวัดสุรินทร์ โดยมีพื้นที่กิจกรรมที่สำคัญสองฝั่งถนน อาทิเช่น

ธนาคาร สถานีตำรวจ ร้านค้า และโรงเรียน อีกทั้งมีทางแยกจากถนนสายรองของหมู่บ้านอีกด้วย โดยในปี พ.ศ. 2560 – พ.ศ.2562 มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 จำนวน 54 ครั้ง [4] สร้างผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก ดังนั้น หากผู้ขับที่ทราบถึงจุดอันตรายที่กำลังจะไปถึง และเพื่อให้ผู้ขับได้เพิ่มความระมัดระวังถือเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในการใช้เส้นทางอีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งชี้จุดเสี่ยงที่เกิดอุบัติเหตุทางถนนบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 โดยการวิเคราะห์จุดอันตรายบนช่วงถนนจะใช้วิธี Rate Quality control จัดลำดับจุดเสี่ยงอันตรายจากการพิจารณาค่า Dangerous Factor (DF) จากนั้นประยุกต์ทฤษฎี Hiyari - Hatto เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่ได้มีส่วนร่วมในการระบุจุดเสี่ยง การศึกษาที่ใช้ข้อมูลสถิติย้อนหลังระหว่างปีพ.ศ.2560 – 2562 โดยข้อมูลปริมาณจราจรตลอดทั้งปีจากกรมทางหลวง (เป็นข้อมูลปีล่าสุดเมื่อเริ่มทำงานวิจัยครั้งนี้) และสถิติการเกิดอุบัติเหตุได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด ในงานวิจัยนี้จะทำให้วิเคราะห์หาจุดเสี่ยงอันตรายบนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 ทำให้เกิดวางแผนด้านความปลอดภัยบนท้องถนน เช่น การกำหนดพื้นที่เขตควบคุมวินยจราจร รวมถึงการจัดสรรงบประมาณสำหรับการปรับปรุงแก้ไขคุณภาพของถนน

และสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้รถใช้ถนนอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์และจัดลำดับความเสี่ยงอันตราย [5] จะใช้หลักการ “Ranking Hazardous Location” ซึ่งปัจจุบันมีเทคนิคที่ใช้ในการดำเนินการ 5 ประเภท ดังนี้

1) วิธีความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุ (Accident Frequency Method) วิธีการนี้จะใช้ความบ่อยครั้งของการเกิดอุบัติเหตุมาเป็นตัวพิจารณา โดยการนับจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในช่วงถนนที่ทำการแบ่ง Section เรียบร้อยแล้วแล้วทำการเปรียบเทียบจำนวนอุบัติเหตุของช่วงถนนต่างๆ ทำการจัดลำดับช่วงถนนตามค่าของจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น โดยให้ช่วงถนนที่มีจำนวนอุบัติเหตุสูงอยู่ลำดับต้น ๆ

2) วิธีอัตราการเกิดอุบัติเหตุ (Accident Rate Method) ซึ่งวิธีนี้ได้พัฒนาจากวิธี Accident Frequency โดยคำนวณอัตราส่วนจากจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ณ บริเวณต่างๆ และค่าฐานที่สัมพันธ์กับการก่อให้เกิดอุบัติเหตุในบริเวณนั้นๆ เนื่องจากจำนวนอุบัติเหตุมากในบาง Section ของถนน ไม่อาจถือได้ว่า Section นี้มีความอันตรายมากกว่า Section ที่มีจำนวนอุบัติเหตุต่ำ เนื่องจาก Section ที่มีจำนวนอุบัติเหตุมากนั้นมีปริมาณจราจรมาก ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณการจราจรเข้าไปด้วยในการคำนวณหาจุดอันตราย โดยวิธีนี้จะทำการจัดลำดับความอันตรายของถนนตามค่าของอัตราการเกิดอุบัติเหตุ (Accident Rate) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$R = \frac{A \times 1,000,000}{365 \times T \times V \times L} \quad (1)$$

โดยที่

R = อัตราการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละส่วนบนถนน (จำนวนอุบัติเหตุต่อล้านคัน-กิโลเมตร)

A = จำนวนอุบัติเหตุในช่วงเวลาที่ศึกษา

T = เวลาในช่วงเวลาที่ศึกษา

V = ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อตลอดปี (AADT) ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

L = ความยาวแต่ละช่วงถนนที่ทำการศึกษา (กิโลเมตร)

3) วิธีความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ (Accident Severity Method) วิธีนี้จะพิจารณาจุดอันตรายโดยใช้ความรุนแรงของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเป็นเกณฑ์ โดยจะคำนึงถึงการเสียชีวิต บาดเจ็บสาหัส บาดเจ็บเล็กน้อย หรือไม่มีการบาดเจ็บและเสียชีวิตเลยเพียงแต่ทรัพย์สินเสียหายเท่านั้นการจัดลำดับของจุดอันตรายโดยวิธีนี้ ช่วงถนนจะถูกจัดลำดับความอันตรายตามค่าของดัชนีความรุนแรง (Severity Index) ข้อควรระวังควรจะทำให้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสม และควรคำนึงถึงค่าเศรษฐกิจและสังคมด้วย ดังสมการที่ 2

$$SI = \frac{(F + PI)}{Total} \quad (2)$$

โดยที่

SI = ดัชนีความรุนแรง

F = จำนวนอุบัติเหตุที่มีผู้เสียชีวิตบนช่วงถนนในช่วงเวลาที่ศึกษา

PI = จำนวนอุบัติเหตุที่มีผู้บาดเจ็บบนช่วงถนนในช่วงเวลาที่ศึกษา

$Total$ = จำนวนอุบัติเหตุทั้งหมดบนช่วงถนนในช่วงเวลาที่ศึกษา

4) วิธีควบคุมคุณภาพของการเกิดอุบัติเหตุ (Rate Quality Control Method) วิธีการนี้ได้นำหลักการทางสถิติมาใช้เพื่อวิเคราะห์ ซึ่งมีสมมุติฐานว่าการเกิดอุบัติเหตุมีการกระจายตัวแบบ Poisson โดย McMillen [5] วิเคราะห์จากข้อมูลที่เคยเก็บมาในอดีต โดยสามารถคำนวณได้จากการหาค่าแฟกเตอร์ความอันตราย (Dangerous Factor; DF) ดังสมการที่ 3

$$DF = \frac{R}{R_c} \quad (3)$$

โดย R คือ ค่าอัตราการเกิดอุบัติเหตุ (Accident Rate) ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Accident Rate ดังสมการที่ (1) และ R_c สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$R_c = R_a + K \left[\frac{R_a}{\frac{365 \times T \times V \times L}{1,000,000}} \right]^{0.5} + \frac{1}{2 \left(\frac{365 \times T \times V \times L}{1,000,000} \right)} \quad (4)$$

โดยที่

R_c = อัตราการเกิดอุบัติเหตุวิกฤติในแต่ละส่วนบนถนน (จำนวนอุบัติเหตุต่อพาหนะ 1,000,000 คัน)

R_a = อัตราการเกิดอุบัติเหตุเฉลี่ยของทุกๆ ส่วนบนถนน

T = ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (ปี)

V = ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อตลอดปี (AADT) ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

L = ความยาวแต่ละช่วงถนนที่ทำการศึกษา (กิโลเมตร)

K = แฟกเตอร์อัตราทางสถิติ (สำหรับระดับความเชื่อมั่น 95% K มีค่าเท่ากับ 1.645)

5) วิธีรวบรวมการวิเคราะห์ (Combination Method) วิธีนี้จะใช้ค่า Danger Index (DI) เป็นค่าที่ได้มาจากการรวมลำดับของความอันตรายจากการวิเคราะห์เพื่อหาจุดอันตรายโดยวิธี Accident Frequency, Accident Rate, Rate Quality Control และ Accident Severity ค่า Danger Index (DI) นี้จะเป็นดัชนีวัดถึงค่าความอันตรายจากอุบัติเหตุต่างๆ ดังสมการที่ (5)

$$DI = \frac{(F_Rank + R_Rank + S_Rank + Q_Rank)}{4} \quad (5)$$

โดยที่

DI = ดัชนีอันตราย Danger Index

F_Rank = ลำดับความอันตรายจากวิธี Frequency

R_Rank = ลำดับความอันตรายจากวิธี Accident Rate

S_Rank = ลำดับความอันตรายจากวิธี Severity

Q_Rank = ลำดับความอันตรายจากวิธี Rate Quality Control

มีการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์จุดเสี่ยงอันตรายช่วงเทศกาลปีใหม่และสงกรานต์ [6] จากวิธีแบบเดิม 4 วิธี คือ Accident Frequency, Accident Rate, Rate Quality Control, และ Accident Severity พร้อมทั้งนำเสนอวิธีที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์จุดเสี่ยงอันตรายช่วงเทศกาล โดยแบ่งช่วงถนนระยะคงที่ 1 กิโลเมตรและ วิเคราะห์ข้อมูลอุบัติเหตุช่วงเทศกาลปีใหม่และสงกรานต์ พ.ศ.2558 – 2561 กับปริมาณจราจรจากสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง พบว่าจุดเสี่ยงอันตรายอันดับต้นๆของแต่ละวิธีมีรายละเอียดและตำแหน่งที่แตกต่างกัน [7] ซึ่งในประเทศไทยจะเลือกใช้วิธี Accident Rate หรือ Rate Quality Control อย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของฐานข้อมูลที่มีอยู่ ทั้งนี้ วิธี Accident Rate นำระยะทางและปริมาณจราจรมาคำนวณด้วย เพื่อให้ตัววัดของแต่ละสายทางอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ ไม่สามารถแสดงได้ว่า 1) ทางพิเศษสายใดต้องการการควบคุมดูแลอุบัติเหตุมากกว่ากัน 2) บริเวณใดบนทางพิเศษที่ต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ ดังนั้น จึงได้พิจารณาวิธี Rate Quality Control มาใช้ เนื่องจากวิธีนี้ไม่ได้คำนวณหาอัตราการเกิดอุบัติเหตุของทุกช่วงถนนอย่างเดี่ยวเท่านั้น แต่จะมีการทดสอบค่าทางสถิติว่าอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่หาได้นั้นสูงกว่าช่วงถนนอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันอย่างไร รวมถึง [8] วิเคราะห์หาจุดเสี่ยงอันตรายของการเกิดอุบัติเหตุจราจรบนสายหลัก โดยใช้วิธี Rate Quality Control ในการกำหนดจุดอันตรายต่อการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ นำเอาปัจจัยที่เป็นโอกาส (Exposure) ในการเกิดอุบัติเหตุเช่น ปริมาณจราจร หรือความยาวของถนนมาร่วมพิจารณา และวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อประโยชน์ในการลดจำนวนอุบัติเหตุ และการปรับปรุงแก้ไขคุณภาพของถนนต่อไป และ [9] จัดทำแผนที่ความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงในประเทศไทย เพื่อทดลองนาระบบนำทางในรถยนต์ ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแผนที่ความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุของทางหลวงในประเทศไทย โดยการวิเคราะห์จุดอันตรายได้ใช้วิธี Rate Quality Control ใน

การวิเคราะห์จุดอันตรายบนช่วงถนน โดยใช้ข้อมูลสถิติ การเกิดอุบัติเหตุย้อนหลัง 4 ปี จากกรมทางหลวง และได้ พัฒนาระบบนำทางในรถยนต์ให้แจ้งเตือนผู้ขับขี่เมื่อเดินทางเข้าใกล้จุดที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่ง [1] รวบรวมข้อมูลอุบัติเหตุทางถนนในเขตชุมชนเมืองจาก สถานีตำรวจ กรมทางหลวง และการสอบถามข้อมูล อุบัติเหตุจากคนในพื้นที่ให้เข้ามามีส่วนร่วมระบุจุดเสี่ยง และจุดอันตราย (Hiyari) เสนอแนวทางการแก้ไขและ ปรับปรุงเพื่อลดความเร็วในการสัญจรขณะผ่านบริเวณ ชุมชน การติดตั้งป้ายจราจรเตือนพร้อมติดตั้งอุปกรณ์ ลดความเร็ว เช่น แถบเตือนลูกระนาดก่อนเข้าเขตชุมชน

จากงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธี Rate Quality Control ในการจัดลำดับของจุดอันตราย เนื่องจากมีความเหมาะสมของข้อจำกัดทางด้านข้อมูล และมีการใช้หลักการทางสถิติเข้ามาเป็นตัวกำหนด ความสัมพันธ์กับปริมาณจราจร

3. การดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ เพื่อให้ สามารถเห็นภาพได้ชัดเจน มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

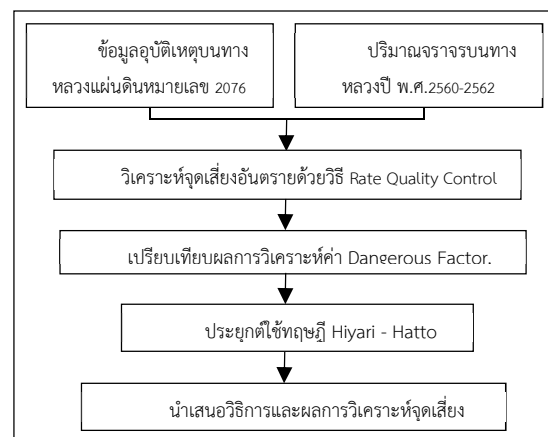
1) รวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวง แผ่นดินหมายเลข 2076 และปริมาณจราจรบนเส้นทาง ระหว่างปี พ.ศ. 2560 - 2562 จากสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง

2) ใช้โปรแกรม Microsoft Excel แบ่งช่วงถนนระยะ คงที่ 1 กิโลเมตร ตัดผ่าน 4 ตำบลของอำเภอโพธิ์ศรี สุวรรณได้แก่ ตำบลหนองม้า ตำบลอิเซ ตำบลเสียว และ ตำบลผือใหญ่ และวิเคราะห์จุดเสี่ยงอันตรายด้วยวิธี Rate Quality Control

3) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จุดเสี่ยงอันตรายของ ทั้ง 4 ตำบล โดยพิจารณาค่า Dangerous Factor, DF

4) ประยุกต์ใช้ทฤษฎี Hiyari-Hatto ให้ประชาชนในพื้นที่ได้มีส่วนร่วมในการระบุจุดเสี่ยง

5) นำเสนอวิธีการและผลการวิเคราะห์จุดเสี่ยง อันตรายให้ประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการจัดลำดับของจุดอันตรายเลือกใช้วิธี

Rate Quality Control

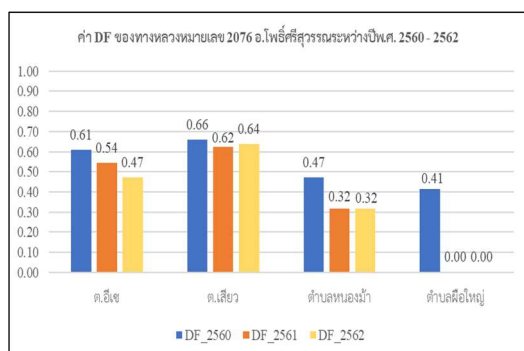
จากการวิเคราะห์ข้อมูลอุบัติเหตุปี พ.ศ. 2560-2562 โดยใช้วิธี Rate Quality Control แสดงในรูปของค่า Dangerous Factor, DF หากบริเวณใดค่า DF มากกว่า 1.0 แสดงว่าเป็นช่วงที่ต้องการการควบคุมดูแลเป็นพิเศษ พบว่าค่า DF บนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 ไม่มีช่วงใดที่มีค่ามากกว่า 1 โดยค่า DF ที่สูงสุดคือ 0.66 อยู่ในเขตตำบลเสียว อำเภอโพธิ์ศรีสุวรรณ จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเสี่ยงที่อาจจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ดัง ตารางที่ 1,2 และรูปที่ 2

ตารางที่ 1 การคำนวณค่า DF ของถนนทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 2076 ของปี 2560

ตำบล	Distance	Accident	AADT	R	Ra, Rc	DF
อิเซ	3.68	8	3360	1.63	2.68	0.61
เสียว	6.16	12	3360	1.63	2.47	0.66
หนองม้า	3.95	3	3360	0.85	1.73	0.47
ผือใหญ่	2.68	2	3360	0.54	1.31	0.41

ตารางที่ 2 ค่า DF ของถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 ปี 2560 – 2562

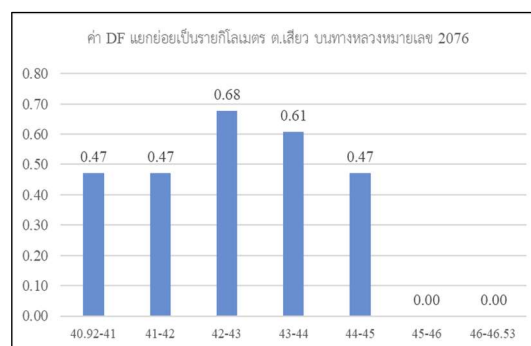
ตำบล	DF 2560	DF 2561	DF 2562
อีเซ	0.61	0.54	0.47
เสียว	0.66	0.62	0.64
หนองม้า	0.47	0.32	0.32
ผือใหญ่	0.41	0.00	0.00



รูปที่ 2 ค่า DF ของ ทล.2076 ปีพ.ศ.2560 -2562

จากรูปที่ 2 เมื่อจัดเรียงค่า DF ของปีพ.ศ.2560-2562 บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 จะเห็นได้ว่าค่า Dangerous Factor 3 ลำดับแรกคือ 0.66, 0.64 และ

0.62 อยู่ในเขตตำบลเสียว อำเภอโพธิ์ศรีสุวรรณ จึงนำช่วงของทางหลวงที่ตัดผ่านมาแยกย่อยเป็นรายกิโลเมตรตั้งแต่กิโลเมตรที่ 40.924 – 46.535 เพื่อให้ทราบถึงบริเวณที่เป็นจุดเสี่ยงอันตรายทางถนนและประกอบการพิจารณาแก้ไขจุดเสี่ยง และจากการคำนวณค่า DF แยกย่อยเป็นรายกิโลเมตรทำให้ทราบจุดเสี่ยงอันตรายคือ ช่วงกิโลเมตรที่ 42 - 43 และช่วงกิโลเมตรที่ 43 – 44 เนื่องจากเป็นช่วงที่ค่า DF สูงสุด 2 ลำดับแรกคือ 0.68 และ 0.61 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 และตารางที่ 3



รูปที่ 3 ค่า DF แยกย่อยรายกิโลเมตรของตำบลเสียว บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 ปีพ.ศ.2560 -2562

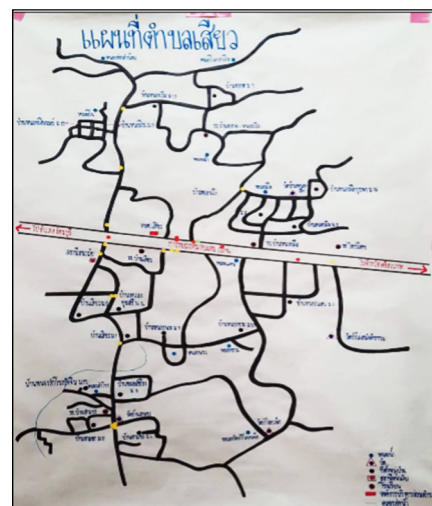
ตารางที่ 3 การคำนวณค่า DF แยกย่อยรายกิโลเมตร บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 ปีพ.ศ.2562

KM Station		Frequency of Accident	AADT	R	R _a , R _c	DF
Start	End	Sum60-62	AVG60-62			
40.92	41	3	3611	28.4	60.2	0.47
41	42	3	3611	2.2	4.8	0.47
42	43	14	3611	10.6	15.7	0.68
43	44	8	3611	6.1	9.9	0.61
44	45	3	3611	2.3	4.8	0.47
45	46	0	3611	0.00	0.3	0.00
46	46.53	0	3611	0.00	0.7	0.00

4.2 ผลการประยุกต์ใช้ทฤษฎี Hiyari – Hatto ให้ ประชาชนในพื้นที่ร่วมระบุจุดเสี่ยงอันตราย

ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ตำบลเสียว เพื่อให้ประชาชนได้ร่วม
ระบุจุดเสี่ยงอันตราย (Hiyari map) ลงบนแผนที่ของ
ชุมชน โดยกลุ่มตัวอย่างในการระบุจุดเสี่ยงอันตราย คือ
ประชาชนในตำบลเสียวอย่างน้อย 70 คนครอบคลุมทั้ง
17 หมู่บ้าน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง
ประกอบด้วย กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน อสม.ร่วมกับ
คณะกรรมการศูนย์อำนวยการความปลอดภัยทางถนน
ตำบลเสียว พิจารณากำหนดเป้าหมายและแนวทางการ
ดำเนินความปลอดภัยทางถนน โดยมีการนำเสนอข้อมูล
สถิติการเกิดอุบัติเหตุย้อนหลัง ปีพ.ศ. 2560-2562 พร้อม
อธิบายผลการจัดลำดับของจุดอันตรายจากวิธี Rate
Quality Control บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076
ให้กับคนในชุมชนได้รับทราบ จากกระบวนการนี้ทำให้ได้
จุดเสี่ยงจาก Hiyari map ทั้งสิ้น 14 จุด ดังรูปที่ 4

แบ่งเป็นจุดเสี่ยงอันตรายทางถนนในชุมชนจำนวน 10 จุด
ซึ่งเป็นจุดเสี่ยงที่ทางชุมชนสามารถแก้ไขได้ และจุดเสี่ยง
อันตรายบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 จำนวน 4
จุด ดังตารางที่ 4



รูปที่ 4 แผนที่จุดเสี่ยงชุมชน (Hiyari map)

ตารางที่ 4 รายละเอียดจุดเสี่ยงอันตรายบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 จำนวน 4 จุด

สถานที่จุดเสี่ยง	ลักษณะทางกายภาพ	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
ช่วงกิโลเมตรที่ 42-43		
1. สี่แยกกกบก	- สัญญาณไฟกระพริบของถนนสายหลัก และถนนสายรองชำรุด - ป้ายแนะนำสถานที่บังคับทัศนวิสัยในการมองเห็นทางแยก	แขวงทางหลวงศรีสะเกษที่ 1
		
2. สามแยกโรงเรียนบ้านเสียว	- พื้นผิวจราจรของถนนสายหลักกับถนนสายรองมีระดับที่ต่างกัน - มีเศษหินกระจาย ลักษณะผิวทางเป็นหลุม ขรุขระบนถนนสายรอง - ไม่มีป้ายจราจรเตือนทางแยก	แขวงทางหลวงศรีสะเกษที่ 1
		
3. แยกลานมัน	- ไม่มีไฟส่องสว่างข้างทาง ทำให้ผู้ขับขี่ที่ - ไม่ชินทางไม่ทราบว่าจุดนี้คือลานมัน ซึ่งหากเป็นฤดูกาลขนมันสำปะหลัง ปริมาณรถบรรทุกจะมาก ทำให้เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ	แขวงทางหลวงศรีสะเกษที่ 1
		

ตารางที่ 4 รายละเอียดจุดเสี่ยงอันตรายบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 จำนวน 4 จุด (ต่อ)

สถานที่จุดเสี่ยง	ลักษณะทางกายภาพ	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
ช่วงกิโลเมตรที่ 43-44		
4. สามแยกโรงพยาบาลโพธิ์ศรีสุวรรณ	- ความสูงของพื้นผิวถนนสายหลักกับถนนสายรองมีระดับที่ต่างกัน - มีเศษหินกระจาย ลักษณะผิวทางเป็นหลุม ขรุขระบนถนนสายรอง - ไม่มีป้ายจราจรเตือนทางแยก - ไม่มีไฟส่องสว่างข้างทาง	แขวงทางหลวงศรีสะเกษที่ 1



เมื่อประชาชนตำบลเสียวได้ระบุจุดเสี่ยงอันตรายโดยวิธี Hiyari – Hatto แล้วนั้น พบว่าประชาชนมีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการการระบุจุดเสี่ยงอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 3.85$, S.D. = 0.51) โดยหากให้ระบุจุดเสี่ยงโดยไม่มีวิธีดังกล่าว ประชาชนจะระบุโดยใช้ความคิดความรู้สึกส่วนตัวของคนในชุมชน ซึ่งเมื่อใช้วิธี Hiyari – Hatto ทำให้ประชาชนได้ทราบว่าต้องใช้ข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุเข้ามาเป็นองค์ประกอบสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อระบุจุดเสี่ยง จากนั้นคณะกรรมการศูนย์อำนวยความสะดวกทางถนนตำบลเสียว (ศปถ.ด.เสียว) ได้ส่งต่อรายละเอียดของจุดเสี่ยงอันตรายบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 ทั้งหมดนี้ไปยังแขวงทางหลวงศรีสะเกษที่ 1 ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบ และได้บรรจุเข้าในแผนปฏิบัติการด้านความปลอดภัยทางถนนของจังหวัดศรีสะเกษ อีกทั้งได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ประเด็นการจัดการความปลอดภัยทางถนนในเขตพื้นที่ตำบลเสียวต่อเนื่องเป็นปีที่ 2 เพื่อทำการปรับปรุง แก้ไขจุดเสี่ยงร่วมกับแขวงทางหลวงศรีสะเกษเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปธรรมต่อไป

5. สรุป

จากการนำข้อมูลสถิตีย้อนหลังระหว่างปีพ.ศ.2560 – 2562 โดยข้อมูลปริมาณจราจรตลอดทั้งปีจากกรมทางหลวง และสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากบริษัท กลางคุ้มครอง

ผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 โดยใช้วิธีควบคุมคุณภาพของการเกิดอุบัติเหตุ Rate Quality Control ซึ่งได้นำหลักการทางสถิติมาใช้ และคำนวณหาค่าแฟกเตอร์ความอันตราย (Dangerous Factor; DF) เพื่อจัดลำดับจุดเสี่ยงอันตราย ซึ่งทุกช่วงถนนรายกิโลเมตรบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 มีค่า DF ต่ำกว่า 1 โดยเขตชุมชนตำบลเสียวมีค่า DF สูงสุดคือ 0.66 และเมื่อแยกรายกิโลเมตรช่วงกิโลเมตรที่ 42 - 43 มีค่า DF สูงสุดคือ 0.68 จึงถือได้ว่าไม่มีจุดเสี่ยงอันตรายที่อยู่ในช่วงวิกฤติหรือต้องการควบคุมดูแลเป็นพิเศษ แต่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดที่อาจทำให้เกิดจุดเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น จึงมีการประยุกต์ใช้ทฤษฎี Hiyari – Hatto ให้ประชาชนในพื้นที่ร่วมระบุจุดเสี่ยง ทำให้ได้จุดเสี่ยงจาก Hiyari map ทั้งสิ้น 14 จุด ประกอบด้วยจุดเสี่ยงที่ต้องปรับปรุงในชุมชนจำนวน 10 จุด และจุดเสี่ยงที่ต้องปรับปรุงบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 จำนวน 4 จุด โดยประชาชนในชุมชนระบุจุดเสี่ยง จากการคัดเลือกตำแหน่งของการกระจุกของการเกิดอุบัติเหตุ 3 ลำดับแรก คือ สี่แยกกกบก สามแยกโรงเรียนบ้านเสียว และสามแยกโรงพยาบาลโพธิ์ศรีสุวรรณ พร้อมร่วมกันวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของจุดเสี่ยง เพื่อเป็นแนวทางการพิจารณาแก้ไขจุดเสี่ยงทางถนนที่อาจเกิดอันตราย

และสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้รถใช้ถนนอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1) ปัจจุบันระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดเก็บและแสดงผลทางระบบแผนที่ จึงควรมีการเพิ่มการจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวนี้ให้อยู่ในระบบสารสนเทศ

2) สามารถใช้การตรวจสอบความปลอดภัยทางถนน (Road Safety Audit) ร่วมกับการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของจุดเสี่ยงได้ เพื่อทำให้ข้อมูลแม่นยำกับหลักวิชาการได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการศูนย์อำนวยการความปลอดภัยทางถนน (ศปถ.) ตำบลเสียว ที่ร่วมดำเนินงานร่วมกับหน่วยจัดการระดับจังหวัดขับเคลื่อนประเด็นยุทธศาสตร์ (node flagship) จังหวัดศรีสะเกษ ภายใต้งบสนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำโครงการในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Chunaca, "A Study of Road in Small Urban Area A Case Study of Ban Khlongngae, Amphoe Sadao, Changwat Songkhla," in *the 20th National Convention on Civil Engineering*, Chonburi, 2015, pp. 1-7.
- [2] Road Accident Victims Protection Company Limited.(2021).ThaiRSC[Online]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMWUzNmY3NTgtM2M5Zi00NjZhLWE0ZjMtNDA3ZDAwNmY2OWZjliwidCI6IjBiNTRkMTRlLTMyYTktNGEyMC1iOTVhLTgzMWQ0ZTQ5MmE5NyIsImMiOiJEWfQ%3D%3D&pageName=ReportSection>
- [3] Sisaket Province Office. (2021) . Sisaket Province[Online]. Available:[https://drive.](https://drive.google.com/file/d/1tC7dUuMaKCQIMVHxps4ppn5pOLrC-Ju7/view)

[google.com/file/d/1tC7dUuMaKCQIMVHxps4ppn5pOLrC-Ju7/view](https://drive.google.com/file/d/1tC7dUuMaKCQIMVHxps4ppn5pOLrC-Ju7/view)

- [4] Road Accident Victims Protection Company Limited. (2021) . SisaketProvince[Online] . Available:<http://www.thairsc.com/p77/index.htm?provid=33&fbclid=IwAR1qT3SB0MdAKDYgaQeARIKS05dhQ5JvBzaH58BYwpi4nptohK1OE7yECU>
- [5] R.D.McMillen, "Statistical evaluation in traffic safety studies," Institute of Transportation Engineers, Washington DC, USA. , The ITE Transportation Safety Council Committee. TSC-4S-04, 1999.
- [6] C. Chumsri, "Black Spot Analysis on Highways in New Year Festival and Songkran Festival," M. S. thesis, Department of Infrastructure Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering Kasetsart University, 2019.
- [7] K. Rodsakul, A. Luengwilat, and S. Panwai, "Incidence analysis to increase safety on the expressway by using Rate Quality Control," in *the 19th National Convention on Civil Engineering*, KhonKaen, 2014, pp. 2423-2431.
- [8] P. Witchayaphong, " The Development of Accident Clock by using the Application of GIS in Order to Identify Hazardous Locations: A Case study in Nakhonratchasima," M.S. thesis, Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology , 2011.
- [9] N. Suesat and V. Ratanavaraha, " The Development of Hazardous Route Map in Thailand," *The Journal of KMUTNB*, vol. 27, no. 4, pp. 605-614, 2017.

การพัฒนาเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด Development of Animal Feed Pelleting Machine

เอกพันธ์ สุขมูลศิริ^{1*} รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์¹ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Ekkapan Sukmoonsiri^{1*} Roongruang Kalsirisilp¹ Jaturong Langapin¹

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Pathumthani, 12110

*Corresponding author Email: ekkapan_s@mail.rmUTT.ac.th

(Received: July 12, 2021; Accepted: September 4, 2021)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด เครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 4 ส่วนได้แก่ 1) โครงเครื่อง 2) ชุดบด 3) ชุดผสม และ 4) ชุดอัดเม็ด ศึกษาความเร็วรอบของมอเตอร์สำหรับการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด ที่ 1,110, 1,430 และ 1,750 รอบต่อนาที สูตรอาหารสัตว์ที่ศึกษาจำนวน 3 สูตร โดยมีค่าชี้ผลในการศึกษา ได้แก่ ความสามารถในการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด และการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ ผลการทดสอบเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดพบว่า ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด เท่ากับ 1,750 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพการทำงาน 83 % ความสามารถในการอัดเม็ดอาหารสัตว์เฉลี่ยเท่ากับ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าค่าใช้จ่ายในการทำงาน 37.5 บาทต่อชั่วโมง จุดคุ้มทุนในการทำงาน 3,052 กิโลกรัมต่อปี และเมื่อพิจารณาการทำงานที่ 300 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาในการคืนทุน 2.2 ปี

คำสำคัญ: อาหารสัตว์แบบเม็ด การลดขนาด การผสม การอัดขึ้นรูป

ABSTRACT

The research aimed to fabricate and test the prototype of animal feed pelleting machine. The machine consists of four main parts namely, steel frame, grinding unit, mixing unit and pellet extruding unit. The test speed of motor was selected at 1,100, 1,430 and 1,750 rpm. Three formulated animal feed were used for this study. The performance parameters studied were processing capacity, percentage recovery, electrical consumption and economic analysis of the machine. The performance test of the machine showed that the optimum speed was 1,750 rpm. The percentage recovery of the machine was 83%. The average processing capacity was 23 kg/h. An economic analysis further showed that the operation cost of the machine was 37.5 Bath per hour with the break even point of 3,052

kilograms per year. Considering the working hour of 300 hour per year, the pay back period of the machine was found to be 2.2 years.

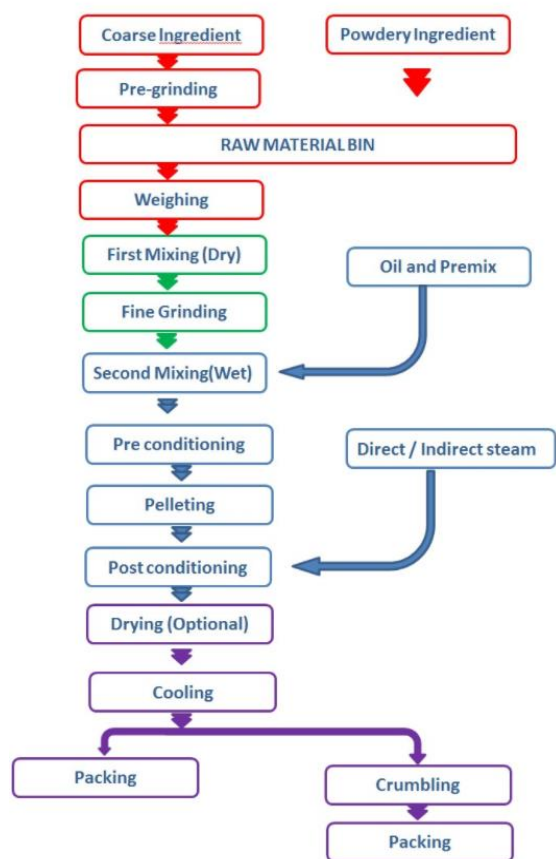
Keyword: Animal feed pellet, size reducing, mixing, pelleting.

1. บทนำ

อาหารสัตว์มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของสัตว์ ซึ่งอาหารของสัตว์อาจเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรือเกิดขึ้นจากการที่มนุษย์นำพืช หรือสัตว์มาแปรรูป อาหารสัตว์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อการบำรุงร่างกายของสัตว์ อาหารสัตว์แบ่งได้ 2 ประเภทคือ 1) อาหารสัตว์ที่แบ่งตามส่วนประกอบทางเคมีของสารอาหาร 2) อาหารสัตว์ที่แบ่งตามปริมาณเชื้อใย อาหารสัตว์แต่ละประเภทมีส่วนผสมของวัตถุดิบที่แตกต่างกันออกไป เช่น อาหารสุกรจะมีส่วนผสมของปลายข้าว ข้าวโพดบด รำละเอียดเป็นต้น การผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการทางสารอาหาร อาหารไก่ไข่จะมีส่วนผสมของข้าวโพด รำ ถั่วเหลือง และปลายป่นเป็นต้น สัตว์ของวัตถุดิบที่ผสมให้ไก่กินนั้น ขึ้นอยู่กับพันธุ์ไก่แต่ละชนิดอายุแต่ละสัปดาห์ของไก่ไข่ เพื่อเพิ่มปริมาณของไข่ทำให้ไข่ไก่ฟองใหญ่ขึ้น [1] ในปีพ.ศ. 2562 ประเทศไทยส่งออกอาหารสัตว์เป็นอันดับที่ 6 ของโลก ซึ่งมีมูลค่าในการส่งออก 1,111 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 34,032,485,300 บาทไทย สินค้าส่งออกสำคัญและสัดส่วนการส่งออก ได้แก่ อาหารสำหรับสุนัขและแมว มีสัดส่วนร้อยละ 92 และอาหารสัตว์เลี้ยงอื่น ๆ มีสัดส่วนร้อยละ 18 จากมูลค่าการส่งออก ทำให้ปัจจุบันประเทศไทยขยับขึ้นมาเป็นผู้ส่งออกสินค้าอาหารสัตว์เลี้ยงอันดับที่ 6 ของโลก รองจากเนเธอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา เยอรมนี ฝรั่งเศส และจีน จากเดิมอยู่อันดับ 7 ของโลกในปีพ.ศ. 2561 [2] กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ในประเทศไทย (รูปที่ 1) ประกอบด้วยขั้นตอน 10 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การรับวัตถุดิบ ส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบสดที่ไม่ผ่านการแปรรูป 2. การทำให้สุกด้วยความร้อน 3. การร่อนผ่านตะแกรง

เพื่อคัดแยกวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถบดได้ออก 4. การบดให้ละเอียด (Grinding) เพื่อง่ายต่อการผสม 5. การลดอุณหภูมิวัตถุดิบหลังการบด 6. การชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ (Weighing) และการผสมวัตถุดิบตามสูตรอาหาร (Mixing) 7. การอัดเม็ดด้วยเครื่อง (Pelleting) 8. การอบแห้งอาหารสัตว์ (Drying) 9. การทำให้เย็น (Cooling) และ 10. การคัดขนาด (Sizing) เพื่อให้ได้ขนาดเม็ดอาหารสัตว์ตามต้องการ และการบรรจุหีบห่อ (Packing) เพื่อการจัดเก็บหรือจำหน่ายต่อไป [3] เนื่องจากต้นทุนอาหารสัตว์มีผลต่อกิจการปศุสัตว์ดังนั้นการใช้และควบคุมคุณภาพของอาหารสัตว์ที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นสำหรับเกษตรกรผู้ประกอบการอาชีพให้สามารถอยู่รอดได้ [4] [5] คุณค่าของอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารเฉพาะในอาหารที่สัตว์สามารถนำไปใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของกระบวนการต่างๆของสัตว์ [4] จุดมุ่งหมายของการแปรรูปอาหารสัตว์คือการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากสารอาหาร เทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในการแปรรูปอาหาร ได้แก่ การบดหรือการลดขนาดอนุภาคและการอัดเม็ด (Pelleting) เป็นต้น [6] ขนาดของเม็ดอาหารสัตว์ ขั้นตอนการบดและการกำหนดสูตรอาหารสัตว์อัดเม็ด เป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเม็ดอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพ [6][7] การอัดเม็ดเป็นการทำให้คุณค่าของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปสูงขึ้น เพราะปริมาณที่กินเข้าไปได้มากขึ้น ขนาดของเม็ดอาหารสัตว์ที่อัด จะต้องมีความเหมาะสม ที่สัตว์สามารถย่อยและนำไปใช้เป็นพลังงานได้ การอัดเม็ดอาหารสัตว์เริ่มต้นจากการนำวัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดีแล้วถูกนำมาอัดเป็นเม็ดเพื่อให้มีคุณภาพคงที่ โดยอาศัยความชื้นจากไอน้ำร้อนทำให้วัตถุดิบจับตัว และอัดผ่านช่องเล็ก ๆ โดยเม็ดอาหารสัตว์ที่อัดออกมาจะมีลักษณะนิ่มและมีอุณหภูมิสูง ประโยชน์ของการอัดเม็ด

อาหารสัตว์ช่วยในการจัดเก็บ กล่าวคือช่วยประหยัดพื้นที่และยืดอายุการจัดเก็บ สามารถบรรทุกอาหารสัตว์อัดเม็ดในปริมาณมาก ช่วยประหยัดทั้งเวลาและลดต้นทุนในด้านการขนส่ง เป็นที่ต้องการของผู้ผลิตปศุสัตว์ที่ต้องการลดการสูญเสียอาหารสัตว์ สามารถบริหารจัดการคุณภาพอาหารสัตว์ได้ดีขึ้น



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ด [3]

ในปัจจุบันอาหารสัตว์ตามท้องตลาดมีราคาสูง ประกอบกับต้นทุนของการผลิตทั้งต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์หรือต้นทุนของวัตถุดิบก็เพิ่มขึ้น เมื่อเกษตรกรมีความต้องการใช้อาหารอัดเม็ดเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกษตรกรได้กำไรน้อยลงหรืออาจขาดทุนกับค่าอาหารสัตว์ เกษตรกรอาจผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ดขึ้นมาเองเพื่อเป็นการควบคุมค่าใช้จ่ายในการซื้ออาหารสัตว์ แต่เครื่องผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดไม่สามารถผสมอาหารสัตว์และอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดออกมาได้ในเครื่อง

เดียวกัน ดังนั้นเพื่อต้องการลดระยะเวลาและแรงงานในการผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด ลดความเมื่อยล้าในการทำงานที่ต่อเนื่องและยาวนาน ลดอันตรายที่เกิดจากการทำงาน ตลอดจนความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพการผลิตอาหารสัตว์ด้วยมือ เป็นการเพิ่มผลผลิตในการเตรียมวัสดุได้มากขึ้นและคุณภาพอาหารสัตว์อัดเม็ดที่ได้จากเครื่อง สอดคล้องกับพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558 จึงได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดขึ้นมา เพื่อให้สามารถทำงานในขั้นตอนการผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดได้ในเครื่องเดียวกัน

2. วัตถุประสงค์

ออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด เพื่อช่วยลดระยะเวลาและแรงงานในการผสมและอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด ลดอันตรายที่เกิดจากการทำงานและเพิ่มผลผลิตในการเตรียมวัสดุ ทำให้สามารถผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดสำหรับเกษตรกรได้มากขึ้น

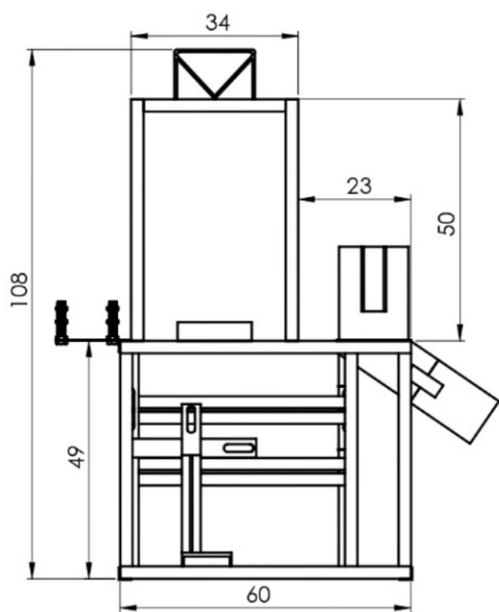
3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบ

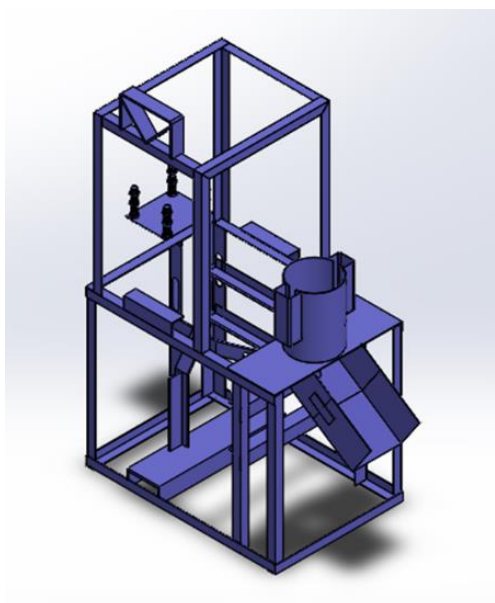
เครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด มีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ โครงสร้างเครื่อง ช่องใส่วัตถุดิบ ชุดบดวัตถุดิบ ชุดผสมวัตถุดิบ ชุดอัดเม็ด และระบบต้นกำลัง ซึ่งวิธีการออกแบบนั้นจะดำเนินการโดยศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอาหารสัตว์แบบเม็ด รวมถึงการประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการทางวิศวกรรมมาใช้ในการออกแบบเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด โดยเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด ออกแบบโดยใช้ระบบลูกกลิ้งคู่ในการอัดผ่านจานแม่พิมพ์ที่เจาะรูเล็กๆจำนวนมาก ลักษณะรูปทรงอาหารสัตว์อัดเม็ดที่ได้จากการอัดมีรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และมีความยาว 10 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำโดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) [6] ส่วนต้นกำลังนั้นเลือกใช้มอเตอร์ 1 เฟส 2 แรงม้า มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 โครงเครื่อง

โครงเครื่องทำจากเหล็กฉากขนาด 25.4 มม. x 25.4 มม.หนา 3 มม. นำมาตัด ประกอบเชื่อม ให้มีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูง เท่ากับ 406 มิลลิเมตร 600 มิลลิเมตร และ 1,080 มิลลิเมตร มีหน้าที่เป็นโครงตัวยึดให้กับ ชุดต้นกำลัง ช่องใส่วัตถุดิบ ชุดบดวัตถุดิบ และชุดอัดเม็ด ดังรูปที่ 2



ก) ขนาดโครงเครื่อง



ข) โครงเครื่อง

รูปที่ 2 โครงเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด

3.1.2 ช่องใส่วัตถุดิบ

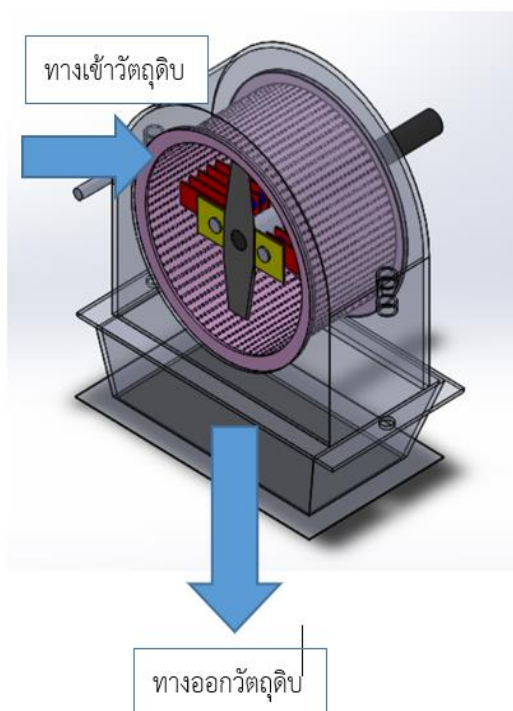
ช่องใส่วัตถุดิบ ทำจากเหล็กแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร กว้าง 300 มิลลิเมตร สูง 245 มิลลิเมตร ยาว 281 มิลลิเมตร โดยช่องใส่วัตถุดิบจะมีหน้าที่ในการป้อนวัตถุดิบให้ไหลลงในช่องบดวัตถุดิบ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ช่องใส่วัตถุดิบ

3.1.3 ชุดบดวัตถุดิบ

ชุดบดวัตถุดิบรับกำลังจากมอเตอร์ผ่านเพลาทดกำลัง ที่ความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ 1,110 รอบต่อนาที ชุดบดวัตถุดิบมีความเร็ว 1,810 รอบต่อนาที ขณะที่ความเร็วรอบมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 1,750 รอบต่อนาที ชุดบดวัตถุดิบมีความเร็ว 2,857 รอบต่อนาที โดยวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าทางช่องใส่วัตถุดิบและออกทางด้านล่างของชุดบดวัตถุดิบ มีหน้าที่สำหรับบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลง โดยใบมีดทำหน้าที่ในการตัดวัตถุดิบให้ละเอียดเพื่อให้วัตถุดิบตกลงตามรูตะแกรงทำให้สะดวกต่อการอัดเม็ด โดยใบมีดทำจากเหล็กกล้าขนาดความยาว 200 มิลลิเมตร ความกว้าง 40 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร และตะแกรงทำจากเหล็กแผ่นเจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4



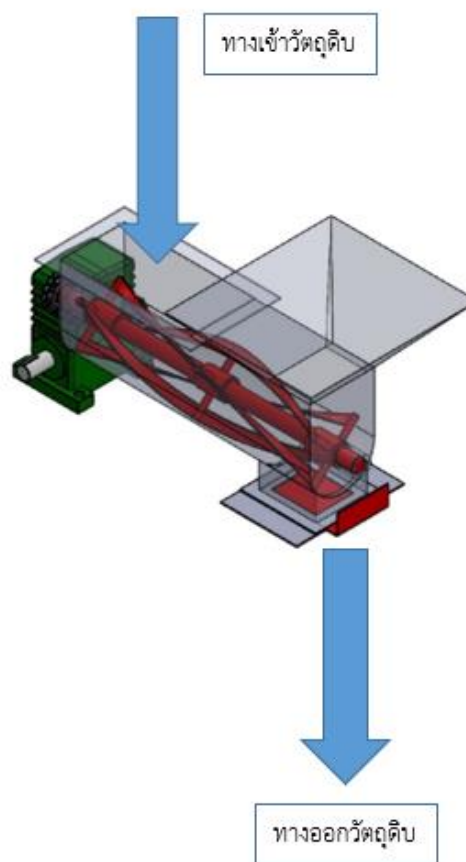
รูปที่ 4 ชุดบดวัตถุดิบ

3.1.4 ชุดผสมวัตถุดิบ

ชุดผสมวัตถุดิบ รับกำลังจากมอเตอร์ผ่านเพลาทดกำลัง และผ่านชุดเกียร์ทด 1:60 ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,110 รอบต่อนาที ชุดผสมวัตถุดิบมีความเร็ว 11 รอบต่อนาที ขณะที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,750 รอบต่อนาที ชุดผสมวัตถุดิบมีความเร็ว 17 รอบต่อนาที โดยรับวัตถุดิบจากชุดบด และออกทางด้านล่างของชุดผสมวัตถุดิบ มีหน้าที่สำหรับผสมวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ พร้อมสำหรับการอัดเป็นแบบเม็ดอาหารสัตว์ ประกอบด้วยชุดใบกวนจำนวน 4 ใบ และมีลิ้นควบคุมการไหลของวัตถุดิบ เพื่อให้สามารถผสมวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ โดยผู้ควบคุมเครื่องสามารถเปิดหรือปิดลิ้นได้ขณะทำการทดสอบ เพื่อให้การผสมของวัตถุดิบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ควรให้มีการผสมของวัตถุดิบอย่างน้อยหนึ่งนาที รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 5

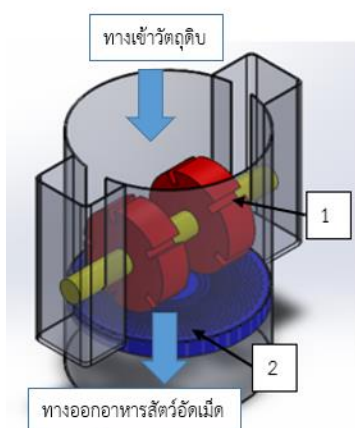
3.1.5 ชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์

ชุดอัดเม็ดรับกำลังจากมอเตอร์ผ่านเพลาทดกำลัง ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1,110 รอบต่อนาที ชุดอัดเม็ด



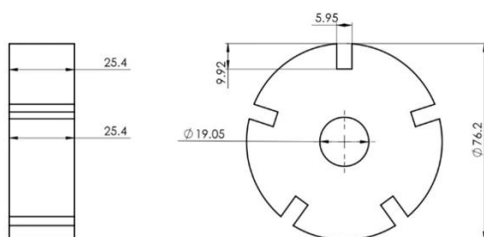
รูปที่ 5 ชุดผสมวัตถุดิบ

อาหารสัตว์มีความเร็วรอบในการทำงานที่ 198 รอบต่อนาที ขณะที่ความเร็วรอบมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 1,750 รอบต่อนาที ชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์มีความเร็วในการทำงานที่ 312 รอบต่อนาที โดยชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์รับวัตถุดิบจากชุดผสมวัตถุดิบทางด้านบน และเม็ดอาหารสัตว์ออกทางด้านล่างของชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์ มีหน้าที่สำหรับอัดวัตถุดิบที่ส่งมาจากชุดผสมวัตถุดิบ ประกอบด้วยชุดลูกกลิ้ง และแม่พิมพ์สำหรับอัดเม็ดอาหารสัตว์ โดยลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูกจะหมุนตามเพลาผ่านเครื่องส่งกำลัง วัตถุดิบจะสัมผัสกับงานอัดเม็ดที่อยู่กับที่และลูกกลิ้งจะหมุนรอบงานอัดเม็ดทำให้เกิดความร้อนขึ้นจะส่งผลให้เม็ดอาหารสัตว์เกิดการอัดตัวในรูของงานอัดเม็ด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งอัดอาหารเม็ด 76.2 มิลลิเมตร มีความหนา 25.4 มิลลิเมตร โดยมีแบริ่งอยู่ด้านในลูกกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทาน ดังรูป 6

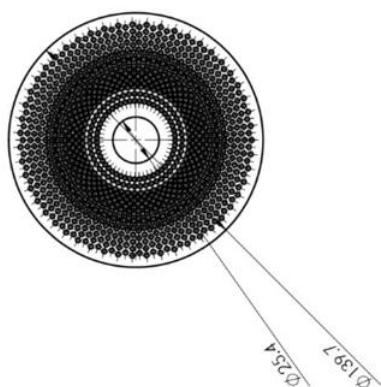


ก) ส่วนประกอบชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์

หมายเลข	รายละเอียด
1	ลูกกลิ้งสำหรับอัดอาหารเม็ด
2	จานแม่พิมพ์อัดเม็ดอาหารสัตว์



ข) ขนาดลูกกลิ้งอัดอาหารเม็ด

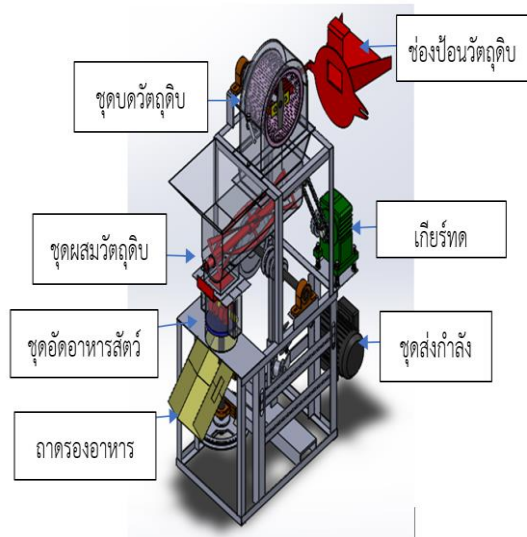


ค) แม่พิมพ์อัดเม็ดอาหารสัตว์

รูปที่ 6 ชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์

3.1.6 ผลการออกแบบเครื่องต้นแบบ

รายละเอียดในการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 4 ส่วน ได้แก่ 1) โครงเครื่อง 2) ชุดบด 3) ชุดผสม และ 4) ชุดอัดเม็ด รายละเอียดส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องแสดงดังรูปที่ 7 และตารางที่ 1 รูปที่ 8 แสดงต้นแบบเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น



รูปที่ 7 แบบของเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด



รูปที่ 8 เครื่องต้นแบบเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด

ตารางที่ 1 รายละเอียดการออกแบบเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด

รายการ	รายละเอียด
1. ขนาดของเครื่องกว้างxยาวxสูง (มิลลิเมตร)	406 x 600 x 1,290
2. ขนาดของช่องป้อนวัตถุดิบกว้างxยาวxสูง (มิลลิเมตร)	300x 281 x 245
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตะแกรงชุดบดวัตถุดิบ (มิลลิเมตร)	304.8
4. ขนาดใบมีดชุดบดวัตถุดิบ (มิลลิเมตร)	40x200x4
5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งอัดเม็ด (มิลลิเมตร)	76.2
6. ขนาดของชุดผสมวัตถุดิบกว้างxยาวxสูง (มิลลิเมตร)	125 x 500 x 190
7. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานแม่พิมพ์อัดเม็ด (มิลลิเมตร)	139.7
8. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูจานแม่พิมพ์ สำหรับอัดอาหารสัตว์ (มิลลิเมตร)	4
9. ความหนาของจานแม่พิมพ์อัดเม็ด (มิลลิเมตร)	6

หลักการทำงานของเครื่อง เครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นจะทำงานโดยอาศัยต้นกำลังจากมอเตอร์ ส่งถ่ายกำลังไปยังเกียร์ทดเพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการทำงานในการผสมและอัดอาหารสัตว์ เกียร์ทดจะส่งถ่ายกำลังไปยังเพลาลูกเบี้ยวเพื่อส่งกำลังมายังสายพานเพื่อขับเคลื่อนชุดผสมและชุดอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด เมื่อป้อนวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ เช่น ข้าวเปลือก ข้าวโพด และวัตถุดิบอื่นๆ ไปในช่องป้อน จากนั้นกลไกชุดบดวัตถุดิบจะทำการบดวัตถุดิบให้ละเอียด วัตถุดิบที่ถูกบดละเอียดแล้วจะถูกส่งไปยังกลไกชุดผสมวัตถุดิบ เพื่อผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดีแล้วจะไหลไป

ยังชุดอัดเม็ดอาหารสัตว์เพื่อทำการอัดเม็ดอาหารสัตว์ผ่านจานแม่พิมพ์อัดเม็ดและไหลลงเข้าสู่ช่องรับอาหารอัดเม็ด

3.2 วิธีการทดสอบ

เพื่อทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด ดำเนินการทดสอบดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยทำการทดสอบจำนวน 3 สูตรอาหารสัตว์ สูตรอาหารสัตว์ที่ 1 ประกอบด้วยวัตถุดิบดังนี้ 1. ข้าวเปลือก กากมะพร้าว ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง รำละเอียด น้ำมันพืช และน้ำ โดยใช้ข้าวเปลือก 200 กรัม กากมะพร้าว 100 กรัม ข้าวโพดบด 200 กรัม กากถั่วเหลือง 100 กรัม รำละเอียด 400 กรัม น้ำมันพืช 30 กรัม และน้ำ อัตราส่วนผสม 2:1:2:1:4:0.3 สูตรอาหารสัตว์ที่ 2 ประกอบด้วยวัตถุดิบดังนี้ 1. รำละเอียด 500 กรัม ข้าวโพด 200 กรัม ข้าวเปลือก 300 กรัม น้ำมันพืช 30 กรัม และน้ำ อัตราส่วนผสม 5:2:3:0.3 และสูตรอาหารสัตว์ที่ 3 ประกอบด้วย 1. รำละเอียด 300 กรัม ข้าวโพด 400 กรัม ข้าวเปลือก 200 กรัม กากมะพร้าว 100 กรัม อัตราส่วนผสม 3:4:2:1:0.3

2. สำหรับการทดสอบความสามารถในการอัดอาหารเม็ด ประสิทธิภาพการทำงาน และเปอร์เซ็นต์อาหารที่ไม่เป็นเม็ด ทดสอบที่ความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ 1,110, 1,450 และ 1,750 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยที่ความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ 1,110 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของชุดบด ชุดผสม และชุดอัดเม็ด เท่ากับ 1,810, 11 และ 198 รอบต่อนาที ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์เป็น 1,450 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของชุดบด ชุดผสม และชุดอัดเม็ด เพิ่มขึ้นเป็น 2,365, 14 และ 259 รอบต่อนาที ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์เป็น 1,750 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของชุดบด ชุดผสม และชุดอัดเม็ด เพิ่มขึ้นเป็น 2,857, 17 และ 312 รอบต่อนาที ตามลำดับ จักรเวลาในการทำงานของเครื่องตั้งแต่เริ่มเทส่วนผสมของวัตถุดิบลงในช่องป้อนจนถึงขั้นตอนการ

อัดเม็ดอาหารสัตว์ ค่าความสามารถในการอัดอาหารเม็ด (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ประสิทธิภาพการทำงาน เปอร์เซ็นต์อาหารที่ไม่เป็นเม็ด และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ทำการทดสอบทั้ง 3 สูตรอาหาร

3. สำหรับการทดสอบในแต่ละสูตรอาหาร สุ่มเก็บอาหารอัดเม็ดจำนวน 10 เม็ด ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดรูปร่างของเม็ดอาหารบันทึกผลการวัด

4. คำนวณหาความหนาแน่นเฉลี่ย (Average Density) ของเม็ดอาหารสัตว์ในแต่ละการทดสอบ

5. คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความยาวของเม็ดอาหารสัตว์และเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอาหารสัตว์ (Length to Diameter Ratio) ในแต่ละการทดสอบ

6. ทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.2.1 ความสามารถในการอัดอาหารเม็ด (Processing Capacity) ได้แก่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักอาหารสัตว์อัดเม็ดที่สมบูรณ์ต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$C_c = \frac{WP}{t} \quad (1)$$

เมื่อ

C_c = ความสามารถในการอัดอาหารเม็ด (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

WP = น้ำหนักอาหารสัตว์อัดเม็ดที่สมบูรณ์ (กิโลกรัม)

t = เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง)

3.2.2 ประสิทธิภาพในการทำงาน (Percentage Recovery) ได้แก่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักอาหารสัตว์อัดเม็ดที่สมบูรณ์ต่อน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ คำนวณได้จากสมการที่ 2 [8]

$$F_E = \frac{WP}{WT} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

F_E = ประสิทธิภาพในการทำงาน (เปอร์เซ็นต์)

WP = น้ำหนักอาหารสัตว์อัดเม็ดที่สมบูรณ์ (กิโลกรัม)

WT = น้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ (กิโลกรัม)

3.2.3 เปอร์เซ็นต์อาหารที่ไม่เป็นเม็ด (Percentage Unpelleted) ได้แก่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักอาหารสัตว์ที่ไม่เป็นเม็ดต่อน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ คำนวณได้จากสมการที่ 3 [8]

$$F_{nE} = \frac{WNP}{WT} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

F_{nE} = เปอร์เซ็นต์อาหารที่ไม่เป็นเม็ด (เปอร์เซ็นต์)

WNP = น้ำหนักอาหารสัตว์ที่ไม่เป็นเม็ด (กิโลกรัม)

WT = น้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ (กิโลกรัม)

3.2.4 ความหนาแน่นเฉลี่ยของอาหารอัดเม็ด (Average Density) ได้แก่อัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรของอาหารสัตว์อัดเม็ด คำนวณได้จากสมการที่ 4 [9]

$$D_{av} = \frac{m}{V} \quad (4)$$

เมื่อ

D_{av} = ความหนาแน่นเฉลี่ยของอาหารสัตว์อัดเม็ด (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวลเป็นกรัมของอาหารสัตว์ที่เป็นเม็ด (กรัม)

V = ปริมาตรของอาหารสัตว์อัดเม็ด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.2.5 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า หาได้จากผลคูณของกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าและเวลาในการทำงาน คำนวณได้ดังสมการที่ 5 [10]

$$W = \frac{i.V.PF.t}{1,000} \quad (5)$$

เมื่อ

W = การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

i = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

PF = เพาเวอร์แฟคเตอร์ (0.7-0.95)

t = เวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)

3.2.6 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการทำงาน จุดคุ้มทุน และวิเคราะห์หาระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่อง วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวม ในการใช้งานเครื่องโดยพิจารณาจาก เกษตรกรซื้อเครื่องแทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดเท่ากับ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการใช้งานของเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์จะไม่คิดต้นทุนคงที่เกี่ยวกับค่าประกันภัย ค่าภาษี ค่าโรงเรือน และค่าจ้างขนย้ายเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด ไปทำงานตามสถานที่ต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับต้นทุนผันแปรซึ่งเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการใช้งาน ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับเครื่อง ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษาและค่าซ่อมแซม เป็นต้น

1. ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) คำนวณได้จากสมการที่ 6 [11]

$$D = \left(\frac{P-S}{L} \right) \quad (6)$$

เมื่อ

D = ค่าเสื่อมราคา (Baht/yr)

P = ราคาเครื่องจักร (Baht)

s = มูลค่าซาก (Baht)

L = อายุการใช้งาน (year)

2. ค่าดอกเบี้ย หรือค่าเสียโอกาสในการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7 [11]

$$I = \frac{(P+S)}{2} i \quad (7)$$

เมื่อ

I = ค่าดอกเบี้ย (Baht/yr)

i = อัตราดอกเบี้ยทศนิยม

3. ระยะเวลาในการคืนทุน (Pay Back Period, PBP)

เป็นการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจักรว่ามีระยะเวลานานเท่าไรเมื่อลงทุนในเครื่องจักรไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะเวลาที่ปี คำนวณได้จากสมการที่ 8 [12]

$$PBP = \frac{P}{R} \quad (8)$$

เมื่อ

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (year)

p = ราคาเครื่องจักร (Baht)

R = กำไรสุทธิต่อปี (Baht/yr)

4. จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

จุดคุ้มทุนในการทำงานของเครื่องคือจุดที่รายได้และรายจ่ายจากการใช้เครื่องมีค่าเท่ากัน หรือจุดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกำไร คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างผลรวมของค่าใช้จ่ายคงที่กับผลต่างระหว่างอัตราการรับจ้างและค่าใช้จ่ายผันแปร ดังสมการที่ 9 [11]

$$BEP = \frac{F_C}{B-VC} \quad (9)$$

เมื่อ

BEP = จุดคุ้มทุน (hr/yr)

F_C = ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht/yr)

B = อัตราการรับจ้าง (Baht/hr)

VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร (Baht/hr)

5. ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง (Total Cost)

ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด
ได้แก่ผลรวมของค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายผันแปร
คำนวณได้จากสมการที่ 10 [11]

$$TC = \frac{F_c}{X} + VC \quad (10)$$

เมื่อ

TC = ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่อง (Baht/hr)

F_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht/yr)

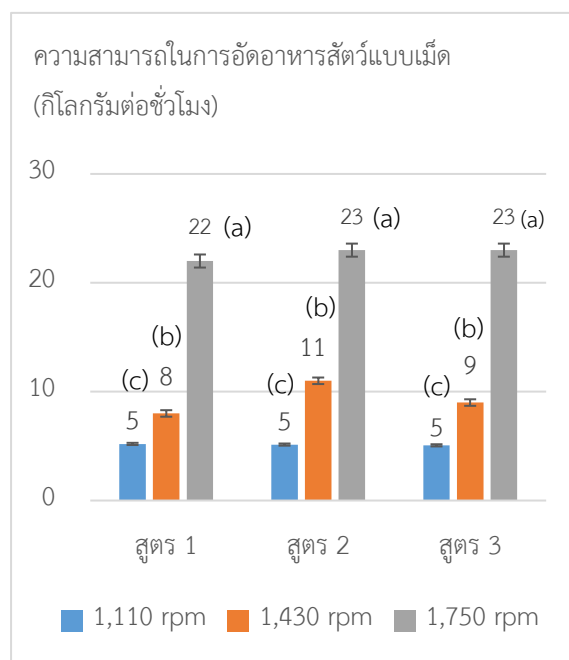
X = ชั่วโมงการทำงานต่อปี (hr)

VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร (Baht/hr)

4. ผลการศึกษา

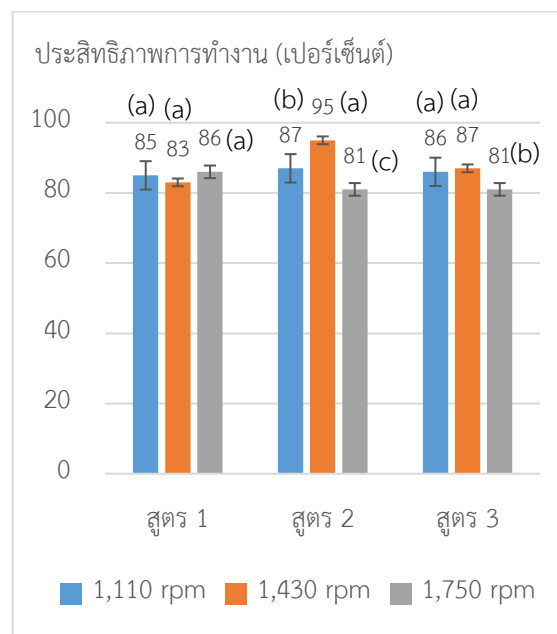
4.1 ความสามารถในการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด

ทำการทดสอบความสามารถในการอัดอาหารสัตว์
แบบเม็ดและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ที่
ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,110, 1,430 และ 1,750 รอบต่อ
นาที ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 9-11



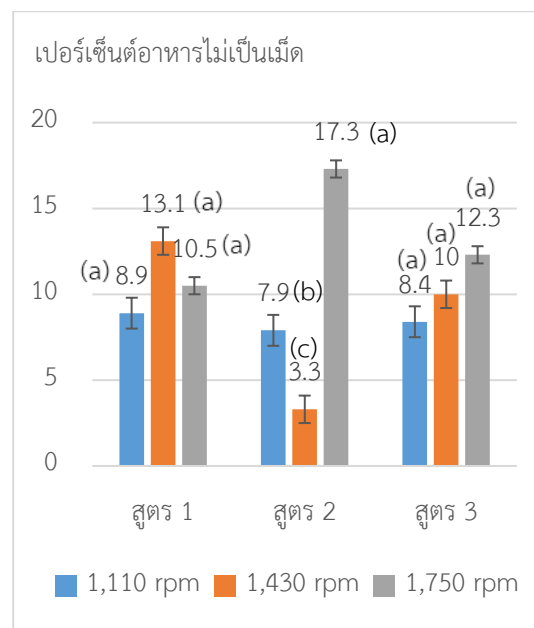
รูปที่ 9 ความสามารถในการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ด

abc อักษรที่ต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบแสดงความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

abc อักษรที่ต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบแสดงความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 11 เปอร์เซ็นต์อาหารไม่เป็นเม็ด

abc อักษรที่ต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบแสดงความแตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากรูปที่ 9 -11 ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,110
รอบต่อนาที ในแต่ละสูตรอาหาร มีค่าสมรรถนะในการ
ทำงานเฉลี่ย 5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีค่าประสิทธิภาพการ

ทำงานของเครื่องอยู่ระหว่าง 85 ถึง 87 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเปอร์เซ็นต์อาหารที่ไม่เป็นเม็ดอยู่ระหว่าง 8 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ 1,430 รอบต่อนาที ในแต่ละสูตรอาหาร มีค่าสมรรถนะในการทำงานอยู่ระหว่าง 8 ถึง 11 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอยู่ระหว่าง 83 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์อาหารที่ไม่เป็นเม็ดอยู่ระหว่าง 3 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ เพิ่มขึ้นเป็น 1,750 รอบต่อนาที ค่าสมรรถนะในการทำงานของเครื่องอยู่ระหว่าง 22 ถึง 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอยู่ระหว่าง 81 ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์อาหารที่ไม่เป็นเม็ดอยู่ระหว่าง 11 ถึง 17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,110 รอบต่อนาที มีสมรรถนะการทำงานเฉลี่ยในการอัดอาหารเม็ด 5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีค่าประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,430 รอบต่อนาที มีสมรรถนะการทำงานเฉลี่ยในการอัดอาหารเม็ด 9.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีค่าประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 88 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์เป็น 1,750 รอบต่อนาที ค่าสมรรถนะการทำงานในการอัดอาหารสัตว์อัดเม็ดเฉลี่ย 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีค่าประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสมรรถนะการทำงานมากกว่าการทำงานที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,110 และ 1,430 รอบต่อนาที ประมาณ 4.6 และ 2.5 เท่าตามลำดับ จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าความสามารถในการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดที่ความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ 1,110, 1,430 และ 1,750 รอบต่อนาที ของสูตรอาหารสัตว์ที่ 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการทดสอบที่ความเร็วรอบเดียวกันแต่สูตรอาหารสัตว์แตกต่างกัน มีความสามารถในการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดไม่แตกต่างกันของสูตรอาหารสัตว์ที่ 1 และ 3 แต่มีความแตกต่างทางสถิติของสูตรอาหารสัตว์ที่ 2 ดังนั้น จากเหตุผลดังกล่าว จึงสรุปได้ว่า ความเร็วรอบในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดเท่ากับ 1,750

รอบต่อนาที ซึ่งการทดสอบที่ความเร็วรอบการทำงานที่สูงมากเกินไป จะทำให้เกิดการสันสะท้อนต่อเครื่องสูงและไม่สะดวกในการทำงานของผู้ควบคุมเครื่อง รูปที่ 12 ถึง 14 แสดงลักษณะอาหารสัตว์อัดเม็ดที่ได้จากการทดสอบตารางที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพของอาหารสัตว์อัดเม็ด และตารางที่ 3 แสดงความหนาแน่นเฉลี่ยและอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของอาหารสัตว์อัดเม็ด



รูปที่ 12 อาหารสัตว์อัดเม็ดสูตรที่ 1



รูปที่ 13 อาหารสัตว์อัดเม็ดสูตรที่ 2



รูปที่ 14 อาหารสัตว์อัดเม็ดสูตรที่ 3

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของอาหารสัตว์อัดเม็ด

ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบต่อนาที)	สูตรอาหารสัตว์	ความยาวของอาหารสัตว์อัดเม็ด (มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางของอาหารสัตว์อัดเม็ด (มม.)	น้ำหนักของอาหารสัตว์อัดเม็ด 10 เม็ด (กรัม)
1,110	สูตร 1	10±0.67	4±0.04	6±0.82
	สูตร 2	10±0.46	4±0.05	7±0.52
	สูตร 3	9±0.86	4±0.04	6±0.92
1,430	สูตร 1	9±0.87	4±0.04	5±0.70
	สูตร 2	9±0.73	4±0.03	5±0.48
	สูตร 3	10±0.71	4±0.05	7±0.85
1,750	สูตร 1	10±0.71	4±0.04	6±0.70
	สูตร 2	10±0.73	4±0.03	5±0.70
	สูตร 3	9±0.60	4±0.05	5±0.52

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นเฉลี่ยและอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของอาหารสัตว์อัดเม็ด

ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบต่อนาที)	สูตรอาหารสัตว์	ความหนาแน่นเฉลี่ยของอาหารสัตว์อัดเม็ด	อัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของอาหารสัตว์อัดเม็ด
1,110	สูตร 1	4.77±0.80	2.5±0.11
	สูตร 2	5.57±0.39	2.5±0.08
	สูตร 3	5.31±0.73	2.3±0.13
1,430	สูตร 1	4.43±0.57	2.3±0.02
	สูตร 2	4.42±0.50	2.3±0.13
	สูตร 3	5.57±0.51	2.5±0.11
1,750	สูตร 1	4.77±0.76	2.5±0.01
	สูตร 2	4.77±0.75	2.5±0.12
	สูตร 3	4.42±0.87	2.3±0.03

จากตารางที่ 3 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของเม็ดอาหารสัตว์มีค่าแปรผันอยู่ระหว่าง 4.43-4.77 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับสูตรอาหารที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 4.42-5.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับสูตรอาหารสัตว์ที่ 2 และมีค่าอยู่ระหว่าง 4.42-5.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับสูตรอาหารสัตว์ที่ 3 ซึ่งมีค่าสูงกว่า 0.5 ถึง 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งทดสอบโดย Hasting and Higgs [6] และมีค่าสูงกว่า 0.55 ถึง 0.65 และ 0.82-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งทดสอบโดย Galen et al. [7] และมากกว่าผลการทดสอบของ Guillermo et al. [13] ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอาหารสัตว์ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.3-2.5 สำหรับทุกสูตรอาหารสัตว์ ซึ่งองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) [6] ได้ให้คำแนะนำเม็ดอาหารสัตว์ที่ดีควรมีค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5

4.2 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่อง

จากผลการทดสอบเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยใช้แรงงานคนปฏิบัติงาน 1 คน ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 25,000 บาท การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง พิจารณาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท (อ้างอิงราคาจากการไฟฟ้านครหลวง) รวมค่าไฟฟ้า 5.2 บาทต่อชั่วโมง ค่าแรงงานในการควบคุมเครื่อง 50 บาทต่อชั่วโมง ค่าบำรุงรักษา 20 บาทต่อชั่วโมง ชั่วโมงการทำงานของเครื่อง 300 ชั่วโมงต่อปี ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องพบว่า มีค่าใช้จ่ายในการทำงาน 37.5 บาทต่อชั่วโมง จุดคุ้มทุนในการทำงาน 3,052 กิโลกรัมต่อปี มีระยะเวลาในการคืนทุน 2.2 ปี

5. สรุป

เครื่องต้นแบบเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด ขนาดความกว้าง × ความยาว × ความสูง เท่ากับ 406 × 600 × 1,290 มิลลิเมตร โดยใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ 1 เฟส 2 แรงม้า มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนคือ โครงสร้างเครื่อง ชุดบดวัตถุดิบ ชุดผสม และชุดอัดเม็ด ผลการทดสอบ

เครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ดพบว่า ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการอัดอาหารสัตว์แบบเม็ดเท่ากับ 1,750 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพการทำงาน 83 % ความสามารถในการอัดเม็ดเฉลี่ยเท่ากับ 23 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าค่าใช้จ่ายในการทำงาน 37.5 บาทต่อชั่วโมง จุดคุ้มทุนในการทำงาน 3,052 กิโลกรัมต่อปี และเมื่อพิจารณาการทำงานที่ 300 ชั่วโมงต่อปี จะมีระยะเวลาในการคืนทุน 2.2 ปี

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการจัดสร้างสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Feed Ingredients. (2021, August 25). Bureau of Animal Nutrition Development [online]. Available: <http://nutrition.dld.go.th>
- [2] Product Feed Export. (2021, August 25). Thailand Trading Report [online]. Available: <http://www.tcijthai.com>
- [3] Acqua Feed. (2021, May 15). Shrimp Feed [online]. Available: <http://www.idah.com>
- [4] R.J. Halley and R.J. Scoffe, *The Agricultural Notebook*. London: Butterworths Publishing Co., 1988
- [5] J. C. Elmer, *Agroscience*. USA: Delmar Publishing Co., 1990
- [6] Food and Agricultural Organization, FAO. (2019, January 24) Aquaculture Development and Coordination Programme, Fish feed technology [online]. Available: http://www.fao.org/Chapter_18_feed_milling_processes_2_files/fao.html
- [7] R. Galen, S. Rob and P. Brian. (2021, January 24). Pelleted livestock feed production – process description [online]. Available: <https://www.engormix.com>
- [8] M. O. Sunmunu, M.M. Odewole and K.J. Falua, “Design of a varying die-plate fish feed pelletizer and performance evaluation using a non-conventional feed sources,” *KMUTNB Int J Appl Sci Technol*, vol 11, no 4, pp. 263-271, 2018.
- [9] J. I. Orisaleye, S.J. Ojolo, and A.B. Fashina, “Design and development of a livestock feed pelleting machine,” *Journal of Engineering Research*, vol 14, no 1, pp. 1-9, 2009.
- [10] H. W. Beaty, *Hand Book of Electric Power Calculation*. New York: McGraw Hill, 1984.
- [11] A. W. Stonier, *A Text Book of Economic Theory*. New York: Longman, 1980.
- [12] D. Humt, *Farm Power and Machinery Management*. Waveland Press, 2016.
- [13] M.H. Guillermo, G.V. Miguel and Y.C. Pedro. (2021, January 24). Extruder design to elaborate animal feed from crop residues [online]. Available: <http://www.asabe.org>

รูปแบบการเก็บรักษาที่เหมาะสมกับผลผลิตที่มีความบอบบางสูง :

กรณีศึกษาผักต้นอ่อนทานตะวัน

Optimal Storage Pattern for Extremely Delicate Produce :

Case Study of Sunflower Sprouts

จันทราภรณ์ พุนดี สุรมงคล นิมจิตต์*

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Juntraporn Poondee Suramongkol Nimchit*

Logistics Management, Faculty of Business Administration,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

39 Rangsit-Nakhornnayok Rd., Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

*Corresponding author e-mail : suramongkol_n@mail.rmutt.ac.th, juntraporn_p@mail.rmutt.ac.th

(Received: September 6, 2021; Accepted: November 3, 2021)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและรูปแบบการเก็บรักษาที่มีต่ออายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยวที่จัดเก็บในตู้แช่เย็น การศึกษาครั้งนี้ใช้การวิจัยเชิงทดลองเพื่อหาอายุการเก็บรักษาและรูปแบบการจัดเรียงผักต้นอ่อนทานตะวันในตู้แช่เย็นที่เหมาะสมโดยการรวบรวมจาก 9 การทดลองย่อยด้วยการบันทึกระยะเวลาจนพบความเสียหายกับผักต้นอ่อนทานตะวันที่จัดเก็บในตู้แช่เย็นภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 2, 5 และ 7 องศาเซลเซียส และรูปแบบการจัดวางที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ วางชิดติดกัน เว้นระยะห่าง และเว้นช่องว่างเฉพาะด้านหลังตู้แช่เย็น โดยแต่ละการทดลองจะทำซ้ำ 5 ครั้ง และวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยและรูปแบบการจัดวางมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยอุณหภูมิและรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดคือเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และจัดวางแบบชิดติดกัน ทำให้มีระยะเวลาการเก็บรักษาได้นานที่สุดเฉลี่ย 6.8 วัน

คำสำคัญ : ผักต้นอ่อนทานตะวัน รูปแบบการจัดวาง ผลผลิตที่มีความบอบบางสูง

ABSTRACT

This research study aimed to investigate the effects of temperature change and storage pattern on the shelf life of sunflower sprouts refrigerated after harvesting. This study, which is based on experimental research, finds the appropriate shelf life and the layout of sunflower sprouts in refrigerator by compiling 9 sub-trials. The elapsed times of rottenness were recorded for sunflower sprouts stored in the refrigerator at 3 different temperatures: 2, 5 and 7 degrees Celsius, and 3 different layouts: adjoining layout, spacing layout, and spacing layout near the rear of the refrigerator interior. Each

experiment was repeated 5 times. The statistical method used to analyze the data was two-way analysis of variance at a statistically significant level of .05. It was found that the average temperature and the storage pattern had an effect on the shelf life of sunflower sprouts with a statistically significant level of .05. The optimum storage temperature was 5 degrees Celsius and the optimum storage pattern was the adjoining storage pattern. The optimum temperature and storage pattern resulted in the longest shelf life of sunflower sprouts for an average of 6.8 days.

Keywords: Sunflower sprouts, Layout pattern, Extremely delicate produce.

1. บทนำ

ผักต้นอ่อนทานตะวันจัดเป็นสินค้าเกษตรที่มีการนำเข้าได้ง่าย ต้องการการลงทุนในการผลิต การจัดเก็บ และการขนส่งสูงมากเนื่องจากสินค้าจะถึงมือผู้บริโภคคนสุดท้ายจะต้องผ่านผู้ค้าส่ง ผู้ค้าปลีก และกระบวนการต่าง ๆ ทางด้านโลจิสติกส์ ยิ่งไปกว่านั้น การตลาดด้านสินค้าเกษตรในปัจจุบันมีการแข่งขันสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันจึงจำเป็นต้องอาศัยหลักการห่วงโซ่อุปทานที่ดี โดยเริ่มตั้งแต่การไหลของวัตถุดิบ การวางแผนการผลิต ระบบการผลิต การจัดเก็บสินค้า ตลอดจนการจัดจำหน่าย ซึ่งแต่ละกระบวนการจะเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเป็นเครือข่าย หากเกิดผลกระทบในช่วงใดช่วงหนึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อทั้งระบบ [1]-[4]

นอกจากเกษตรกรจะต้องมีความรู้ด้านการเพาะปลูกเป็นอย่างดีเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพแล้ว ยังต้องทราบถึงกระบวนการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อให้ผลผลิตยังคงความสดอยู่เสมอจนถึงมือผู้บริโภค จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าผลผลิตที่เป็นส่วนของพืชโดยเฉพาะผักภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วจะมีอัตราการหายใจสูงเนื่องจากยังอยู่ในช่วงเจริญเติบโตเซลล์ต่าง ๆ ยังมีชีวิตและยังหายใจอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง ซึ่งกระบวนการการหายใจเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับวิธีการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว [5], [6] ดังเช่น การวางผักทิ้งไว้ในบริเวณที่อากาศร้อนผักก็จะเหี่ยวเฉาอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผักที่ถูกตัด

หรือตัดออกมานั้นยังคงมีชีวิต และมีการหายใจ กระบวนการหายใจของพืชเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผักสูญเสียความสด [7] นอกจากนั้นยังปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาด้วย เรียกว่า vital heat มีผลทำให้ผลผลิตมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผัก ทำให้เกิดผลเสียและเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เช่น ผักเหี่ยว เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ [8], [9]

ดังนั้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจึงควรจัดให้ผักมีการหายใจต่ำที่สุดเพื่อจะไม่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วก่อนถึงมือผู้บริโภค หนึ่งในนั้นคือการลดอุณหภูมิการเก็บรักษาให้ต่ำลง เพื่อระบายความร้อนออกจากผักให้เร็วที่สุด การระบายความร้อนด้วยการเก็บรักษาผักในห้องเย็นเป็นการปรับปรุงปัจจัยทางด้านอุณหภูมิเพื่อให้ผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามอุณหภูมิไม่ควรต่ำเกินไป เนื่องจากอุณหภูมิที่ลดต่ำลง ทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการหายใจลดลง 2-4 เท่า อุณหภูมิที่ต่ำมาก ๆ ทำให้เกิดอันตรายต่อผลผลิตและจะทำให้ผักเกิดอาการสะท้อนหนาวได้ [10] นอกจากนี้การเจาะรูเล็ก ๆ บนบรรจุภัณฑ์เพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักปลดปล่อยออกมายังสามารถช่วยลดความร้อนที่เกิดจากการหายใจของผักหลังการเก็บเกี่ยวได้อีกด้วย หากไม่มีการเจาะรูระบายอากาศจะทำให้เกิดก๊าซเอทิลินสะสมอยู่ในถุง ก๊าซเอทิลินจะไปกระตุ้นกระบวนการสลายคลอโรฟิลล์ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น

กระบวนการสุก การเปลี่ยนสีเขียวเป็นสีเหลือง ทำให้ใบผักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเร็วขึ้นได้ ซึ่งการสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์จะแสดงถึงการเสื่อมคุณภาพสภาพและการสูญเสียสารอาหารในผัก [11] การบรรจุในถุงขนาดเล็กน้อย 2-4 รู ขนาด 0.2-0.5 เซนติเมตร เพื่อให้มีการระบายอากาศ ผลผลิตจะไม่ขาดก๊าซออกซิเจน และไม่เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะวางขาย [12], [13] ซึ่งผักต้นอ่อนทานตะวันเป็นผักที่มีความบอบบาง ซ้ำง่าย และมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นการจัดเก็บผักต้นอ่อนทานตะวันหลังเก็บเกี่ยวที่ดีและอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตและการขาย และยังช่วยให้การเสื่อมคุณภาพหรือการสูญเสียสารอาหารของผักในระยะหลังการเก็บเกี่ยวลดลงอีกด้วย

เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับผักต้นอ่อนทานตะวันมากขึ้น ผู้วิจัยได้สำรวจข้อมูลเพิ่มเติมด้วยการลงพื้นที่สัมภาษณ์เกษตรกร ผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีกในเขตจังหวัดปทุมธานี สัมภาษณ์ผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีกที่อยู่ในตลาดภายในเขตจังหวัดปทุมธานี 2 แห่ง คือ ตลาดไท และตลาดสี่มุมเมือง พบว่า ผักต้นอ่อนทานตะวันพร้อมบริโภคจะเกิดปัญหาผักเน่าเสียและบอบช้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาในตู้แช่เย็นเพียงแค่ 6-7 ชั่วโมงเท่านั้นที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากการสังเกตเกษตรกร ผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีก พบว่าหลายรายมีการจัดวางผลผลิตในตู้ที่ทับซ้อนกันหลาย ๆ ถัง และบางรายมีการจัดวางแบบพืดขึ้นวาง และไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิการเก็บรักษา ทำให้ต้องเสียทั้งผลผลิตและเสียต้นทุนการผลิตซึ่งยังไม่รวมการสูญเสียเปล่าด้านการจัดการต่าง ๆ หลังการเก็บเกี่ยวไม่ว่าจะเป็นการคัด ล้าง บรรจุ ขนส่ง และค่าการตลาด

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาความเสียหายของผักต้นอ่อนทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยวมาทำการวิจัยโดยเน้นถึงการจัดวางและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและลดความเสียหาย

การวิจัยเชิงทดลองนี้มีเป้าหมายเพื่อนำองค์ความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากการศึกษาและงานวิจัยมาเป็นแนวทางเพื่อยกระดับศักยภาพของเกษตรกรไทยรักษาคุณภาพของผลผลิตการเกษตร สามารถพัฒนาธุรกิจให้มีการเติบโต เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้อยู่รอดได้ทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศ

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ผักต้นอ่อนทานตะวันที่คัดเลือกจะแยกส่วนที่มีตำหนิออก จากนั้นบรรจุผักต้นอ่อนทานตะวันน้ำหนัก 200 กรัมในถุงพลาสติกพับข้างชนิดใสพิเศษ ขนาด 8x12 นิ้ว เจาะรูเหนือส่วนล่างของถุง 5 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 4 รู ปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึกไฟฟ้า

2. ตู้แช่เย็น ตรา SANDENINTERCOOL รุ่น SPA-0253D41A ขนาด 560x515x1,625 มิลลิเมตร ที่มีระบบทำความเย็นแบบอัดไอ โดยใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 1/6 แรงม้า ใช้สารทำความเย็นชนิด R-134a ตู้แช่เย็นมีขนาดความจุโดยรวมเท่ากับ 0.27 ลูกบาศก์เมตร มีประสิทธิภาพการทำความเย็นในช่วง 0-10 องศาเซลเซียส ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิเพื่อเก็บรักษาผลผลิต

3. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ตรา Wisco รุ่น AI210 ใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นโดยจะบันทึกอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นทุกๆ 5 นาที ในระยะเวลาการทดลอง 7 วันต่อการทดลอง 1 ครั้ง

โดยมีอุปกรณ์ทั้ง 3 ส่วนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจะถูกนำมาติดตั้ง แสดงดังรูปที่ 1

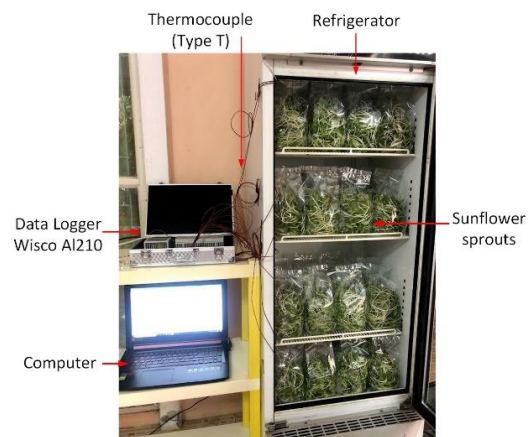
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ชุดการทดลองเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวัน ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง โดยจะบันทึกผลทุกๆวัน ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 7 วัน ต่อการทดลอง 1 ครั้ง หรือจนกว่าจะพบความผิดปกติทางสรีรวิทยา เพื่อประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักต้นอ่อนทานตะวัน การประเมินนี้จะพิจารณาจาก สี

ลักษณะที่ปรากฏและคุณภาพโดยรวม ซึ่งเป็นการแสดงถึงคุณภาพผักต้นอ่อนทานตะวัน โดยใช้วิธีการให้คะแนนทางคุณภาพของผักต้นอ่อนทานตะวัน 5 ระดับคะแนน ดังนี้

1. การพิจารณาสี ทดสอบโดยใช้สายตาในการประเมินสีของผักต้นอ่อนทานตะวัน ดังนี้ ระดับคะแนน 5 หมายถึง ใบผักต้นอ่อนทานตะวันมีสีเขียวมาก ระดับคะแนน 4 หมายถึง ใบผักต้นอ่อนทานตะวันมีสีเขียว ระดับคะแนน 3 หมายถึง ใบผักต้นอ่อนทานตะวันมีสีเหลืองเล็กน้อยประมาณร้อยละ 25 ระดับคะแนน 2 หมายถึง ใบผักต้นอ่อนทานตะวันมีสีเหลืองประมาณร้อยละ 50 และระดับคะแนน 1 หมายถึง ใบผักต้นอ่อนทานตะวันมีสีเหลืองมากกว่าร้อยละ 50

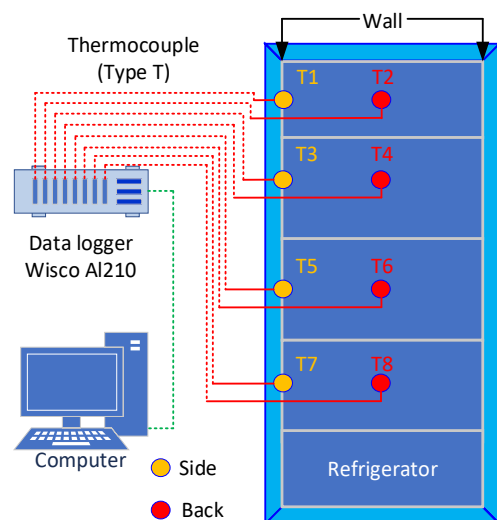
2. การพิจารณาลักษณะที่ปรากฏ ประเมินโดยใช้สายตาคุณลักษณะภายนอกของผักต้นอ่อนทานตะวัน ได้แก่ ความเหี่ยว เน่า ซ้ำ และความผิดปกติทางสรีรวิทยา ดังนี้ ระดับคะแนน 5 หมายถึง ผักต้นอ่อนทานตะวันมีลักษณะสดมาก ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ซ้ำและไม่มีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ระดับคะแนน 4 หมายถึง ผักต้นอ่อนทานตะวันมีลักษณะสด ไม่เหี่ยว ไม่เน่า ไม่ซ้ำ และไม่มีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ระดับคะแนน 3 หมายถึง ผักต้นอ่อนทานตะวันมีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อย ไม่เน่า ไม่ซ้ำ และไม่มีความผิดปกติทางสรีรวิทยา ระดับคะแนน 2 หมายถึง ผักต้นอ่อนทานตะวันมีลักษณะเริ่มเน่า เริ่มซ้ำ และเริ่มมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา และระดับคะแนน 1 หมายถึง ผักต้นอ่อนทานตะวันมีลักษณะเหี่ยว เน่า ซ้ำ และมีความผิดปกติทางสรีรวิทยา

3. การพิจารณาคุณภาพโดยรวม ประเมินคุณภาพโดยรวมของผักต้นอ่อนทานตะวัน โดยพิจารณาจากสี และลักษณะที่ปรากฏ ดังนี้ ระดับคะแนน 5 หมายถึง คุณภาพดีมาก ระดับคะแนน 4 หมายถึง คุณภาพดี ระดับคะแนน 3 หมายถึง คุณภาพยอมรับได้ ระดับคะแนน 2 หมายถึง คุณภาพไม่ค่อยดี ระดับคะแนน 1 หมายถึง คุณภาพไม่ดี และจะสิ้นสุดการทดลองการเก็บรักษา เมื่อมีคะแนนประเมินน้อยกว่า 3 คะแนน



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและการจัดเรียงตัวอย่างทดลอง

แบบทดลองการจัดเก็บในตู้แช่เย็นจะมีการปรับตั้งอุณหภูมิที่ 2, 5 และ 7 องศาเซลเซียส บันทึกผลโดยใช้อุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) เชื่อมต่อกับสายวัดอุณหภูมิชนิด T (Thermocouple type T) ซึ่งติดตั้งในตู้แช่เย็นที่บริเวณผนังด้านหลังและด้านข้าง จำนวน 4 ชั้น ชั้นละ 2 จุด รวมทั้งหมด 8 จุด โดยแต่ละชั้นวางมีระยะห่างระหว่างชั้น 12 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger)

ในการทดลองจะมีการบันทึกอุณหภูมิและปรับเปลี่ยนการจัดวาง (Layout) การจัดเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ

โดยออกแบบการจัดวางเป็น 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3-5



ด้านหลังตู้			
X	X	X	X
X	X	X	X
X	X	X	X
ด้านหน้าตู้			

รูปที่ 3 การจัดวางแบบเต็มพื้นที่ (รูปแบบที่ 1)



ด้านหลังตู้			
X		X	
	X		X
X		X	
ด้านหน้าตู้			

รูปที่ 4 การจัดวางแบบเว้นระยะห่าง (รูปแบบที่ 2)



ด้านหลังตู้			
X	X	X	X
X	X	X	X
ด้านหน้าตู้			

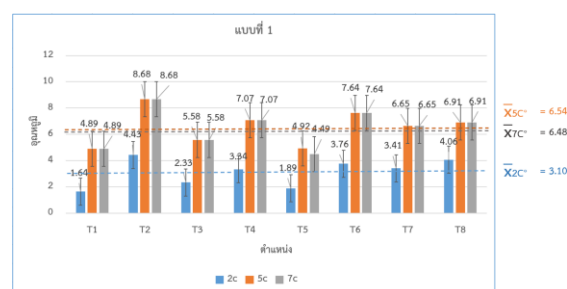
รูปที่ 5 การจัดวางแบบชิดด้านหน้าเว้นด้านหลัง (รูปแบบที่ 3)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 อุณหภูมิที่แท้จริงภายในตู้แช่เย็น โดยการทดลองปรับตั้งอุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 2, 5 และ 7 องศาเซลเซียส ในการจัดวางผลิตภัณฑ์ 3 รูปแบบ เมื่อบันทึกตรวจวัดอุณหภูมิจากอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ

(Data Logger) นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย รายละเอียดของ การทดลองแต่ละกรณีสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

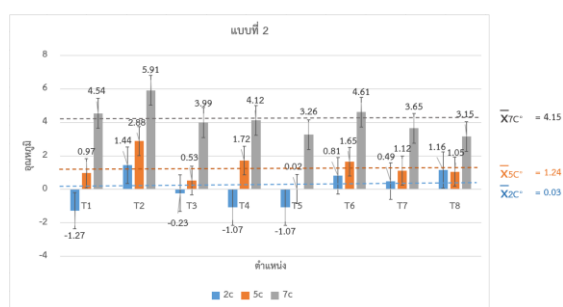
การจัดวางรูปแบบที่ 1 (รูปที่ 6) เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 2 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 1.64 – 4.06 องศาเซลเซียส เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 4.89- 6.91 องศาเซลเซียส และตั้งค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 7 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 4.89 – 6.91 องศาเซลเซียส เนื่องจากการจัดวางผักต้นอ่อนทานตะวันรูปแบบที่ 1 มีความหนาแน่นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 2 และ รูปแบบที่ 3 จึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์น้อย การไหลเวียนของความร้อนผ่านช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์เป็นไปได้น้อย แสดงให้เห็นว่าไม่ทำให้เกิดความเย็นสะสมรอบๆ ผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผักต้นอ่อนทานตะวันสามารถรักษาอัตราการหายใจไม่ให้สูงเกินไป และอุณหภูมิไม่ลดลงอย่างรวดเร็วจนทำให้ผักนั้นเสื่อมสภาพ ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่าผักยังคงสภาพหรือสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นเนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากค่าที่กำหนดมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการจัดวางผักต้นอ่อนทานตะวันแบบที่ 1

การจัดวางรูปแบบที่ 2 (รูปที่ 7) เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 2 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง -1.27 – 1.44 องศาเซลเซียส เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 0.02 – 2.88 องศาเซลเซียส และตั้งค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 7 องศาเซลเซียส พบว่า

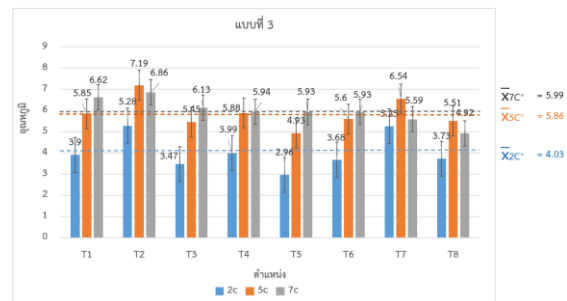
มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 3.15-4.61 องศาเซลเซียส จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิโดยรวมจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ สาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิต่ำลงเนื่องจากการจัดวางรูปแบบที่ 2 มีช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์จึงทำให้เกิดความเย็นสะสม ทำให้ผักต้นอ่อนทานตะวันมีอาการหายใจที่ลดลงและเกิดอาการสะท้อนหนาว [15] ดังนั้นผักต้นอ่อนทานตะวันจึงเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการจัดวางผักต้นอ่อนทานตะวันแบบที่ 2

การจัดวางรูปแบบที่ 3 (รูปที่ 8) เมื่อดังค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 2 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 2.96 – 5.28 องศาเซลเซียส เมื่อดังค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 4.93 – 5.88 องศาเซลเซียส และดังค่าอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่ 7 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในอยู่ระหว่าง 4.92-6.86 องศาเซลเซียส จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิโดยรวมมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ เนื่องจากการจัดวางผักต้นอ่อนทานตะวันรูปแบบที่ 3 มีความหนาแน่นเฉพาะด้านหน้าของชั้นวางและว่างด้านหลัง จึงทำให้เกิดช่องว่างและการไหลเวียนของความเย็นผ่านช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์น้อยกว่ารูปแบบที่ 2 ทำให้ไม่เกิดความเย็นสะสมรอบๆผลิตภัณฑ์มากเกินไป ผักต้นอ่อนทานตะวันยังคงรักษาอัตราการหายใจและอุณหภูมิไม่ลดลงอย่างรวดเร็วจนทำให้ผักนั้นเสื่อมสภาพ ดังนั้น จึงอนุมานได้ว่าผักยังคงสภาพหรือสามารถเก็บรักษานานขึ้นเนื่องจากอัตราการ

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากค่าที่กำหนดมีค่าใกล้เคียงกันแต่ยังคงเก็บรักษาได้น้อยวันกว่าการจัดวางรูปแบบที่ 1



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการจัดวางผักต้นอ่อนทานตะวันแบบที่ 3

3.2 การทดลองที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 2, 5 และ 7 องศาเซลเซียส ของการจัดวาง 3 แบบ โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิที่แตกต่างกันในการจัดวางแต่ละแบบที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยว

ผลการทดลองอุณหภูมิกับการจัดวางแบบที่ 1 (ตารางที่ 1) พบว่าผักต้นอ่อนทานตะวันยังไม่แสดงอาการเสื่อมคุณภาพภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน แต่หลังจากนั้นผักต้นอ่อนทานตะวันจะแสดงอาการใบเหลืองและเหี่ยว ที่คะแนนประเมินคุณภาพน้อยกว่า 3 คะแนน ในช่วงวันที่ 6-7 โดยค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่จัดเก็บได้มากที่สุดเท่ากับ 6.8 วัน และค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่จัดเก็บได้น้อยวันที่สุดเท่ากับ 4.2 วัน ในอุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียส ผลการทดลองอุณหภูมิกับการจัดวางแบบที่ 2 พบว่าผักต้นอ่อนทานตะวันยังไม่แสดงอาการเสื่อมคุณภาพภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน แต่หลังจากนั้น ผักต้นอ่อนทานตะวันจะแสดงอาการใบช้ำน้ำหรือเรียกว่าอาการสะท้อนหนาว ที่คะแนนประเมินคุณภาพน้อยกว่า 3 คะแนน ในช่วงวันที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่จัดเก็บได้มากที่สุดเท่ากับ 4.6 วัน ในขณะที่การเก็บรักษา ผักต้นอ่อนทานตะวันที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าแสดงอาการสะท้อนหนาว ในช่วงวันที่ 2 ของการเก็บ

รักษาโดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่จัดเก็บได้น้อยวันที่สุดเท่ากับ 3.2 วัน ผลการทดลองอุณหภูมิกับการจัดวางแบบที่ 3 พบว่าผักต้นอ่อนทานตะวันยังไม่แสดงอาการเสื่อมคุณภาพภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน แต่หลังจากนั้นผักต้นอ่อนทานตะวันจะแสดงอาการใบเหลืองและเหี่ยว ที่คะแนนประเมินคุณภาพน้อยกว่า 3 คะแนน ในช่วงวันที่ 5 โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่จัดเก็บได้มากที่สุดเท่ากับ 5.6 วัน และค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่จัดเก็บได้น้อยวันที่สุดเท่ากับ 4.2 วัน ในอุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนวันที่สามารถเก็บรักษาได้ จำแนกตามอุณหภูมิและรูปแบบการจัดวาง

รูปแบบ	อุณหภูมิ	จำนวน	จำนวนวันที่สามารถเก็บรักษาได้	
			Mean	SD
1	2	5	4.20	.447
	5	5	6.80	.447
	7	5	5.80	.447
2	2	5	3.20	.447
	5	5	4.60	.548
	7	5	4.00	.000
3	2	5	4.20	.447
	5	5	5.60	.548
	7	5	5.40	.548

3.3 การวิเคราะห์ทางสถิตินำข้อมูลผลการทดลองของอุณหภูมิและรูปแบบการจัดวางมาวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและรูปแบบการจัดวางที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยวด้วยการพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิที่จัดเก็บผักต้นอ่อนทานตะวันวันที่ 2, 5 และ 7 องศาเซลเซียส และการจัดวางผักต้นอ่อนทานตะวันในตู้แช่เย็นที่ออกแบบไว้ 3 รูปแบบ พบว่ารูปแบบการจัดวาง ค่า Sig. = .000 อุณหภูมิ ค่า Sig. = .000 และรูปแบบการจัดวางและอุณหภูมิ ค่า Sig. = .025 แสดงว่าอายุเฉลี่ยของการเก็บรักษาแตกต่างกันตามอุณหภูมิและรูปแบบการจัดวางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิและรูปแบบการจัดวาง พบว่ามีอายุการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน โดยการจัดวางแบบที่ 1 ภายหลังการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวัน 7 วัน ผักต้นอ่อนทานตะวันจะมีลักษณะที่เหี่ยว เหลือง และขนาดของผลบริเวณรอยตัดจะขยายใหญ่ขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น จนสังเกตได้ชัดเจนในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ซึ่งสามารถเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันได้นานวันที่สุดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 6.8 วัน เก็บได้น้อยวันที่สุดที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 4.2 วัน เมื่อนำผักต้นอ่อนทานตะวันไปเก็บรักษาในรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 พบว่าผักต้นอ่อนทานตะวันมีลักษณะที่มีอาการสัณฐานหนา สีของลำต้นจะขาวและใสมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น จนสังเกตได้ชัดเจนในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งสามารถเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันได้นานวันที่สุด ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 4.6 วัน เก็บได้น้อยวันที่สุดที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 3.2 วัน และรูปแบบการจัดวางแบบที่ 3 พบว่าผักต้นอ่อนทานตะวันจะมีลักษณะที่เหี่ยว เหลือง และขนาดของผลบริเวณรอยตัดจะขยายใหญ่ขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น จนสังเกตได้ชัดเจนในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ซึ่งสามารถเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันได้นานที่สุดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 5.6 วัน และเวลาการเก็บรักษาได้สั้นที่สุดที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 4.2 วัน ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิและการจัดวางผักต้นอ่อนทานตะวันมีผลทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวัน เช่นเดียวกับผักสดชนิดอื่นๆ ที่อุณหภูมิมีผลต่อคุณภาพผักซึ่งสอดคล้องจริงแท้ ศิริพานิช [14] ได้รายงานถึงอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผัก อุณหภูมิสูงหรือต่ำไปรวมถึงการจัดเก็บรักษาที่ไม่ดีจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมคุณภาพของผัก

ผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ คือ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาแตกต่างกัน และการจัดวางที่แตกต่างกัน ทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับ .05 โดยก่อนการทดลองการจัดเก็บผลผลิต ในตู้แช่เย็น ทั้งหมดจำนวน 48 ถุง ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าผลผลิตมีความเสียหาย จำนวน 32 ถุง ในการเก็บรักษาเพียงแค่ 1 วัน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ของผลผลิตทั้งหมด ในขณะที่การจัดเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวัน ในการจัดวางแบบที่ 1 โดยใช้อุณหภูมิในการจัดเก็บที่ 5 องศาเซลเซียส สามารถลดความเสียหายได้ คิดเป็นร้อยละ 100 ของผลผลิตทั้งหมด และสามารถจัดเก็บรักษาผลผลิตได้นานมากที่สุด เฉลี่ย 6.8 วัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองผลของอุณหภูมิต่ออายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยวสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บผักต้นอ่อนทานตะวันคือ 5 องศาเซลเซียส และการจัดวางภายในตู้แช่เย็นแบบที่ 1 คือการจัดวางแบบชิดติดกัน (รูปแบบที่ 1) โดยสามารถเก็บรักษาได้นานวันที่สุด 6.8 วัน

จากผลการวิจัยนี้เกษตรกรจึงควรเห็นความสำคัญของการจัดเก็บผักต้นอ่อนทานตะวันด้วยอุณหภูมิและรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดปัญหาความเสียหายที่เกิดจากการเน่าเสีย ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักต้นอ่อนทานตะวันก่อนถึงผู้บริโภค ช่วยให้ผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีกสามารถมีโอกาสในการขายได้นานมากขึ้น อีกทั้งยังมีประโยชน์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมวิชาการเกษตร สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อหรือประชาสัมพันธ์ให้กับเกษตรกรที่ไม่สามารถรับข่าวสารข้อมูลทางเทคโนโลยีได้ และนำองค์ความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากการศึกษางานวิจัยนี้มาใช้เป็นแนวทางหรือวางแผนการบริหารเพื่อยกระดับศักยภาพของภาคเกษตรไทย เพิ่มประสิทธิภาพของสินค้าการเกษตร สามารถพัฒนาธุรกิจให้มีการเติบโต เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้อยู่รอดได้ทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ

5. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณข้อเสนอแนะต่างๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณภาคีวิศวกรรมการเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Chaayos and C. Mayukapun, *Logistics and Supply Chain Strategy Competing in the Global Market*, Nonthaburi : Vision prepress Ltd., 2007, pp. 34-39.
- [2] T. Sirisuwannakit, "Logistics system planning for fruit Export," *Journal Thai VCML*, vol.5, no.10, pp. 37-52, Jun. 2008.
- [3] S. Bunpituk, K. Rattanavijit and S. chomsom, "Study and Analysis of the Supply Chain Management of Mangosteen Producers in Chanthaburi Province," *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, vol.5, pp. 105-106, Jan. 2015.
- [4] T. Karot, P. Tharawetcharak and C. Pornsing, "Analysis and Logistics Cost Reduction for Organic Vegetables in the West of Thailand," *Journal of Science and Technology*, vol.10, no.19, pp. 76-80, Jan. 2019.
- [5] C. Siriphanit, *Physiology and Technology Harvest Fruit and Vegetables*, Bangkok : Odeon Store Ltd., 1998, pp. 89-102.
- [6] K. Bunya-atichart, "Postharvest Management and Effects on Quantity and Quality losses of Leafy Vegetable," *Princess of Naradhiwas University Journal*, vol.7, no.3, pp. 148-149, Sep. 2015.

- [7] D. Bunyakert, *Post-storage Harvest Fruit and Vegetables*, Bangkok : Odeon Store Ltd., 2002, pp. 59-62.
- [8] A.K.Thompson, *Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and Storage*, Oxford, UK.: Blackwell Publishing Ltd., 1996, pp. 198-203.
- [9] R.B.H. Will, W.B. McGlasson, D. Graham, and D.C. Joyce, *Postharvest an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*, Australia: University of New South Wales Press Ltd., 1998.
- [10] J.F. Thompson, F.G. Mitchell, T.R. Rumsey, R. F. Kasmire and C.H. Crisosto., *Commercial Cooling of Fruits, Vegetable and Flower*, Oakland, CA: University of California, Agriculture and Natural Resource, Published., 2008, pp. 25-26.
- [11] A.K.Thompson, *Postharvest Technology of Fruit and Vegetables*, Oxford: Blackwell Science Ltd., Cambridge, 1996, pp. 69-72.
- [12] R.E. Paull. "Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality," *Postharvest Biology and Technology*, vol.15, no.3, pp. 263-277, Mar. 1999.
- [13] K. Bunya-atichart, "Effects of Low Temperatures and Storage Duration on Shelf Life of Ready to Cook Melinjo (*Gnetum gnemon* L.) Leaves," *Songklanakarin Journal of Plant Science*, vol.4, no.4, pp. 55-59, October-December, 2017.
- [14] C. Siriphanit, "Post-harvest handling of fruits and vegetables," *Horticulture Journal* (Thailand), vol.21, no.2, pp. 10-19, Mar. , 2006.
- [15] C. Siriphanit, *Post-harvest handling of fruits and vegetables*, vol. 6 , Bangkok : Kasesart University Press, 2006, pp. 55-57.

การลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วน

รชจักรยานยนต์

Reduction of Defective Rate from Crack Defects in Painting Process of Motorcycle Parts

ชนิกานต์ รักธงไทย* นภัสสงศ์ โอสธสิลป์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Chanikan Rakthongthai* Napassavong Osothsilp

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok, Thailand 10330

*Corresponding author Email: chanikan.rak@hotmail.com

(Received: September 2, 2021; Revised: November 16, 2021; Accepted: December 5, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน ต่อมาทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด จากนั้นวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และนำปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดสีแตก 4 ปัจจัยไปทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้แก่ปัจจัย อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน ในขั้นตอนปรับปรุงกระบวนการ ได้ปรับปรุงวิธีการขัดชิ้นงาน เป็นแบบขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้ง สำหรับ 3 ปัจจัยที่เหลือ ได้ทำการออกแบบการทดลองแบบพหุคูณแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน และหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งค่าที่เหมาะสมสำหรับอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 1.4 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เท่ากับ 180 โวลต์ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปปรับใช้ในกระบวนการ และจัดทำแผนควบคุมและวิธีการปฏิบัติงาน หลังจากปรับปรุงกระบวนการ พบว่า สามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกจาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.98 เปอร์เซ็นต์ และจากปริมาณการผลิตที่พยากรณ์ไว้ในปี 2564 จะมีการผลิตทั้งสิ้น 95,069 ชิ้น ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกได้ 81,257 บาท

คำสำคัญ: การลดสัดส่วนของเสีย กระบวนการพ่นสี สีแตก ชิ้นส่วนโลหะ

ABSTRACT

This research aims to reduce the defective rate in the painting process of motorcycle parts. This research applied the Six Sigma approach. Firstly, the problem statement was defined. Secondly, the accuracy and precision of the inspection system were appraised. Next, the potential causes for crack defects were analyzed. Then, the four factors were statistically tested: cleaning temperature, cleaning pressure, electrodeposited paint voltage, and sanding method. In the improvement phase, the

sanding method was improved to be both horizontal and vertical sanding. In addition, Box-Behnken design was applied to find out the optimal levels of the three remaining factors. The optimal setting was at the cleaning temperature of 40 degrees Celsius, cleaning pressure of 1.4 kilograms per square centimeter, and electrodeposited paint voltage of 180 volts. After that, the optimal setting was applied in the process to confirm the experimental result. Finally, a new control plan and work instruction were adjusted to control the process after the improvement. After improvement, the defective rate due to crack defects decreased from 3.82 percent to 0.98 percent. The improvement is expected to reduce the rework cost of 81,257 baht based on the forecasted production volume of 95,069 units in 2021.

Keyword: Defective Rate Reduction, Painting Process, Crack Defect, Metal Part.

1. บทนำ

ในการผลิตรถจักรยานยนต์ กระบวนการพ่นสีนับได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ โดยวัตถุประสงค์ในการพ่นสี คือ เพื่อสร้างความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์และป้องกันพื้นผิวของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์จากมลภาวะต่าง ๆ โดยสีที่เคลือบผิวจะช่วยให้พื้นผิวของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์มีความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยให้พื้นผิวของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์มีความแข็งแรง ทนทานต่อการขีดสีได้มากขึ้น และมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น [1] แต่ในกระบวนการพ่นสี มักพบปัญหาของเสีย คือ เกิดข้อบกพร่องกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสาเหตุในการเกิดข้อบกพร่องนั้นมีหลายประการ เช่น เตรียมพื้นผิวชิ้นส่วนที่ต้องการพ่นสีไม่ดีพอ ทำการพ่นสีภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสม และเคลือบพื้นผิวบางหรือหนาเกินไป เป็นต้น ดังนั้น สามารถป้องกันการเกิดข้อบกพร่อง หรือให้เกิดน้อยที่สุดได้ โดยการหลีกเลี่ยงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีในอุตสาหกรรมยานยนต์ ได้นำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งกระบวนการของซิกซ์ ซิกมา ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การนิยามปัญหา (Define: D) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure: M) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze:

A) การปรับปรุง (Improve: I) และการควบคุม (Control: C) โดยในงานวิจัยของ K.Srinivasan และคณะ [2] ได้ใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียประเภทสีลอก และสีฟองในกระบวนการพ่นสีใช้คอปร์รถยนต์ โดยมุ่งเน้นที่จะลดของเสียจากกระบวนการเตรียมผิว (Pretreatment) เมื่อปรับปรุงกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน พบว่า ของเสียประเภทสีลอกและสีฟองลดลง โดยกระบวนการมีระดับซิกมาเพิ่มขึ้นจาก 3.3 เป็น 4.5 ทิชา [3] ได้ทำการลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งหลังปรับปรุงสามารถลดของเสียได้ 69 เปอร์เซ็นต์ และอาทิตย์ [4] ได้ทำการลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ โดยได้เลือกแก้ไขข้อบกพร่องทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ เส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง สีไหล เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม โดยใช้แนวทางการปรับปรุงของซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ขั้นตอน หลังปรับปรุงสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อรถ 1 คันลงได้ 57 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ โดยการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เนื่องด้วยวิธีการของซิกซ์ ซิกมามีการ

พิสูจน์ความมีนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยที่กระทบกับปัญหาและช่วยกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในการพ่นสีได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ [5]

2. วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานในการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีรถจักรยานยนต์ มีดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น

ในขั้นตอนนี้คณะทำงานได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จากนั้นนำข้อมูลสัดส่วนของเสียไปวิเคราะห์ด้วยแผนผังพาเรโต (Pareto Chart) เพื่อเลือกประเภทข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมากที่สุดมาปรับปรุง

2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวัดสัดส่วนของเสียจะทำโดยตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา จึงต้องวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการตรวจสอบด้วยเทคนิค Attribute Agreement Analysis โดยสุ่มพนักงานตรวจสอบทั้งหมด 3 คน มาทำการตรวจสอบชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ตามขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม [6] โดยคัดเลือกชิ้นงานมา 20 ชิ้น และตรวจสอบซ้ำขึ้นละ 3 ครั้ง แล้วบันทึกผลการตรวจสอบว่าพบข้อบกพร่องประเภทใดหรือไม่ ในการตรวจสอบในแต่ละรอบของพนักงานแต่ละคน ได้จัดให้ลำดับในการตรวจสอบชิ้นงานเป็นแบบสุ่ม เมื่อตรวจสอบครบหนึ่งรอบแล้ว ในรอบต่อไป ได้กำหนดลำดับในการตรวจสอบชิ้นงานเป็นแบบสุ่มอีกเช่นกัน

2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้คณะทำงานได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่คาดว่าทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทที่เลือกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยระดมสมองจากคณะทำงาน (Brainstorming) โดยใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [7]

ซึ่งวิเคราะห์โดยแบ่งหัวข้อหลักออกเป็น 5 กลุ่ม คือ สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man) สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method) และสาเหตุจากสิ่งแวดล้อม (Environment) จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) [8] ในการให้คะแนนของปัจจัย และคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบสูงต่อปัญหา เพื่อนำไปพิสูจน์ความมีนัยสำคัญและปรับปรุงต่อไป

2.4 การปรับปรุงกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้คณะทำงานได้ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่เลือกมา และกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) [9] โดยเริ่มจากการกำหนดตัวแปรตอบสนอง และตัวแปรอิสระ และพิจารณาข้อจำกัดที่จะส่งผลกระทบต่อทดลอง จากนั้นเลือกแบบการทดลอง และกำหนดระดับของปัจจัย ต่อมาทำการดำเนินการทดลอง และวิธีเก็บข้อมูล จากนั้นทำการทดลองตามแผนที่วางไว้ และวิเคราะห์ผลด้วยการทดสอบทางสถิติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอย [10] และสรุปผลการทดลอง

2.5 การควบคุมกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้คณะทำงานนำค่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการมาปรับใช้ในกระบวนการจริง และทำการเก็บข้อมูล เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ พร้อมทั้งจัดทำแผนควบคุมและวิธีการปฏิบัติงาน เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงาน และควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาของเสียเพิ่มขึ้นอีก

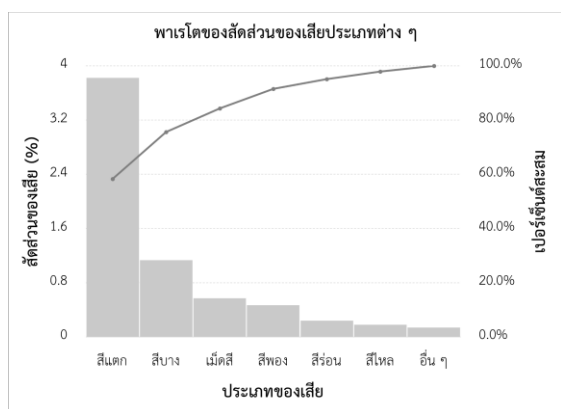
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการกำหนดปัญหา

เมื่อพิจารณาข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภทต่าง ๆ จากกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.

2562 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 พบว่า สัดส่วนของเสียที่มากเป็นอันดับหนึ่งเกิดจากข้อบกพร่องสีแตก โดยมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 3.82 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต ซึ่งคิดเป็น 58.3 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียทั้งหมด ทำให้เกิดต้นทุนของเสีย 132,898 บาท ดังนั้นจึงเลือกศึกษาและปรับปรุงเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสี

ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ คือ สีทับหน้ามีการแตกและทะลุผิวเคลือบอย่างน้อย 1 ชั้น ที่บริเวณตัวหนังสือของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านความสวยงามของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 แผนผังพารโดของสัดส่วนของเสีย



รูปที่ 2 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทสีแตกของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

3.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

จากผลการวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ค่าดัชนีชี้วัดของระบบการวัดของพนักงาน

ตรวจสอบทั้ง 3 คน ผ่านเกณฑ์ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ทุกค่า ดังนั้น ระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือ

3.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

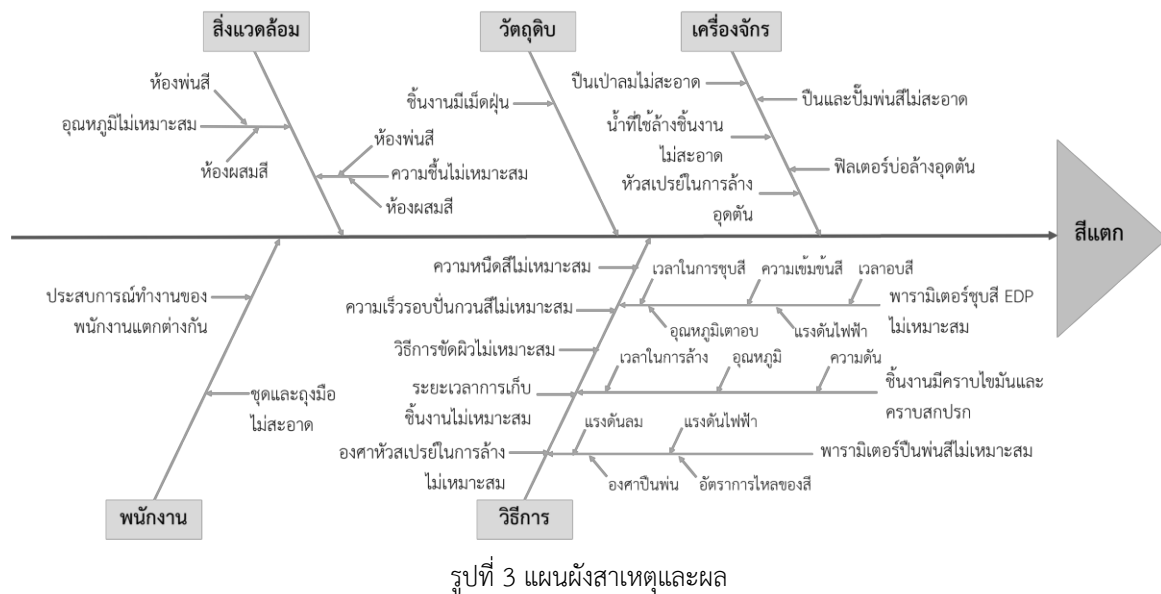
จากการระดมสมองและใช้แผนผังสาเหตุและผล พบปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลต่อสีแตก ดังรูปที่ 3 จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยการให้คะแนนในตารางแสดงเหตุและผล หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้มาเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยปัจจัยที่มีคะแนนสูง แสดงดังตารางที่ 2 หลังจากคัดเลือกปัจจัยที่มีคะแนนสูงและไม่ติดข้อจำกัดในการทดลอง พบว่า มีทั้งหมด 4 ปัจจัยที่เลือกมาศึกษาต่อ ได้แก่ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

ดัชนีชี้วัด	พนักงานคนที่ 1	พนักงานคนที่ 2	พนักงานคนที่ 3
ความสามารถในการวัดซ้ำ	100%	100%	100%
ความไม่ไบอัส	100%	100%	100%
ความพ้องกันของค่าวัด	100%		
ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัด	100%		

โดยมีสมมติฐานว่าแต่ละปัจจัยส่งผลกระทบต่อ การเกิดสีแตก ดังนี้

1. ถ้าใช้อุณหภูมิในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานไม่เหมาะสม คราบไขมันหรือคราบสกปรกที่ผิวชิ้นงานอาจจะออกไม่หมด ส่งผลให้ผิวชิ้นงานไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาด จะส่งผลให้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตเคลือบที่ผิวชิ้นงานได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวชิ้นงานจะลดลง ทำให้เกิดสีแตกขึ้นได้ [11, 12]



2. ถ้าใช้ความดันในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานไม่เหมาะสม ทำให้ความแรงที่พุ่งออกจากหัวสเปรย์ของน้ำสารเคมีปรับสภาพพื้นผิวและสารฟอสเฟตไม่เหมาะสม ส่งผลให้ทำความสะอาดผิวชิ้นงานได้ไม่สะอาด ซึ่งถ้าผิวของชิ้นงานไม่สะอาดจะส่งผลให้เมื่อนำไปพ่นสีประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างสีและผิวของชิ้นงานลดลง ทำให้เกิดสีแตกขึ้นได้ [11, 12]

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่มีคะแนนสูง

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า
1	อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน
2	ความดันในการล้างชิ้นงาน
3	แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED
4	วิธีการขัดผิวชิ้นงาน
5	หัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงานอุดตัน
6	ระยะเวลาในการล้างชิ้นงาน
7	องศาของหัวสเปรย์ในการล้างชิ้นงาน
8	ความเข้มข้นของสี ED
9	ระยะเวลาในการชุบสี ED
10	ระยะห่างในการพ่นสี
11	ความหนืดของสี
12	แรงดันไฟฟ้าของปืนพ่น
13	อัตราการไหลของสี

3. หากแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ไม่เหมาะสม จะส่งผลให้สีมีความหนามากเกินไป ทำให้สีไม่สามารถขยายตัวและหดตัวได้ในอัตราที่เท่ากันระหว่างกรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์ม เนื่องจากความเค้นจากการเคลือบสีตรงบริเวณผิวจะหดตัวเร็วกว่าฟิล์มสี ส่งผลให้สีเกิดการแตกขึ้นได้ [13]

4. วิธีการขัดผิวชิ้นงานไม่เหมาะสม หากขัดถูไม่ทั่วทั้งชิ้นงาน จะทำให้สียึดเกาะได้น้อย ทำให้เกิดสีแตกได้ เนื่องจากการขัดผิวเป็นการเพิ่มความขรุขระให้กับพื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยให้สียึดเกาะได้ดีขึ้น [14]

จากนั้นทดสอบความมีนัยสำคัญของ 4 ปัจจัย และกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญในระยะต่อไป

3.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการ

เริ่มจากการออกแบบการทดลอง โดยได้เลือกรูปแบบการทดลองออกเป็น 2 แบบ ดังนี้ การทดลองที่ละปัจจัยสำหรับวิธีการขัดผิวชิ้นงาน เพื่อทดสอบว่าวิธีการขัดผิวชิ้นงานแบบใดให้สัดส่วนของเสียน้อยกว่า เมื่อได้วิธีการขัดผิวชิ้นงานที่เหมาะสมแล้ว จึงจะไปหาค่าที่เหมาะสมของ 3 ปัจจัยที่เหลือ โดยการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) สำหรับ 3 ปัจจัยที่เหลือ

3.4.1 ผลการทดลองของปัจจัยวิธีการขัดผิวชิ้นงาน

ก่อนพ่นสีจะมีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี จากเดิมมีการขัดผิวชิ้นงานตามแนวนอนเพียงแนวเดียว (วิธีที่ 1) ซึ่งอาจทำให้สียึดเกาะได้ไม่มากนัก จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการขัด โดยขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้ง (วิธีที่ 2) ในลักษณะของตาข่าย เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของสีให้มากขึ้น โดยสมมติฐานที่ทดสอบ เป็นดังนี้

H_0 : สัดส่วนของเสียเรื่องสีแตกเมื่อใช้วิธีการขัดผิวแบบที่ 1 และวิธีการขัดผิวแบบที่ 2 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนของเสียเรื่องสีแตกเมื่อใช้วิธีการขัดผิวแบบที่ 1 มากกว่าวิธีการขัดผิวแบบที่ 2

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียประเภทสีแตก ดังนั้น ในการเก็บข้อมูลจึงต้องคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานแบบค่าสัดส่วน 2 ประชากร ได้จากสมการ

$$n = \frac{2(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2 \frac{p_1 + p_2}{2} (1 - \frac{p_1 + p_2}{2})}{(p_1 - p_2)^2} \quad (1)$$

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของวิธีการขัดผิววิธีละ 7,800 ชิ้น พบว่า ค่าสัดส่วนของเสียจากการขัดผิวชิ้นงานแนวนอนเพียงแนวเดียว p_1 เท่ากับ 0.0423 และสัดส่วนของเสียจากการขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้ง p_2 เท่ากับ 0.0286 กำหนดกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.95 และระดับนัยสำคัญ 0.05 ต้องใช้ขนาดตัวอย่าง อย่างน้อยวิธีละ 3,941 ชิ้น ซึ่งข้อมูลที่เก็บมาแล้วเพียงพอ

จากผลการทดสอบสมมติฐาน เมื่อปรับปรุงวิธีการขัด โดยขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้งในลักษณะของตาข่าย พบว่า สัดส่วนของเสียลดลงจาก 4.23 เปอร์เซ็นต์ เป็น 2.86 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 3 ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าวิธีการขัดผิวชิ้นงานทั้งแนวนอนและแนวตั้งเกิดสัดส่วนของเสียน้อยกว่าการขัดผิวชิ้นงานตามแนวนอนเพียงแนวเดียวอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมมติฐานของวิธีการขัดผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี

วิธีการขัดผิวชิ้นงาน	จำนวนของเสีย	จำนวนชิ้นงาน	สัดส่วนของเสีย	P-Value
แนวนอน	330	7,800	0.0423	<0.0005
แนวนอนและแนวตั้ง	223	7,800	0.0286	

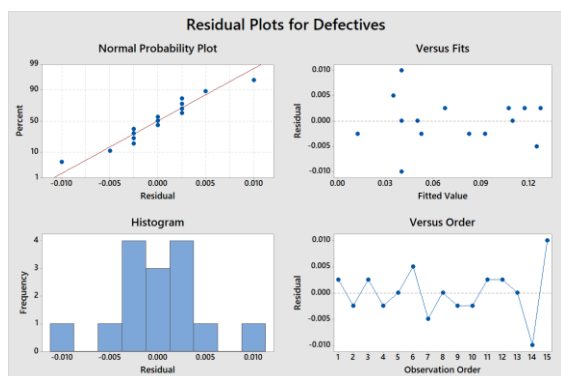
3.4.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน

สำหรับอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ได้ทำการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน ทั้งหมด 15 การทดลอง เนื่องจากมีจำนวนการทดลองที่น้อยกว่าการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางที่มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง และการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน จะไม่มีการทดลองในสภาวะที่รวมของปัจจัยระดับสูงทั้งหมดหรือระดับต่ำทั้งหมด ซึ่งหลักเลียงการทดลองในสภาวะที่อาจเกิดของเสียที่มากที่สุดได้ โดยกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองตามช่วงของค่าต่ำที่สุดและสูงที่สุดของสภาวะการใช้งานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งแต่ละปัจจัยจะถูกทดลองที่ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (-1) ระดับสูง (+1) และที่จุดศูนย์กลาง (0) แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
		-1	0	+1	
Temp	อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน	38	40	42	องศาเซลเซียส (°C)
Pressure	ความดันในการล้างชิ้นงาน	0.5	1	1.5	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm ²)
Voltage ED	แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED	180	200	220	โวลต์ (V)

ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ในการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างเทอมที่มีนัยสำคัญของปัจจัยที่ทดสอบและตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียจากสีแตก ก่อนที่จะเชื่อถือในแบบจำลองสมการถดถอย จำเป็นต้องทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยต้องเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อ ซึ่งทดสอบด้วยการวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูปที่ 4 ในส่วนสมมติฐานที่ 1 คือ ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ จะเห็นได้ว่าฮิสโตแกรมจะมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ และจากกราฟความน่าจะเป็นแบบการแจกแจงปกติ ค่าส่วนตกค้างมีการจัดเรียงในลักษณะเป็นเส้นตรง สรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานที่ 2 ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน จะเห็นได้ว่ากราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการทดลอง (Observation Order) มีการกระจายอย่างสุ่ม สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน และสมมติฐานที่ 3 ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ จะเห็นได้ว่ากราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม สรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่ ดังนั้นแบบจำลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จึงสามารถนำแบบจำลองสมการถดถอยไปใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเทอมที่มีนัยสำคัญของปัจจัยที่ทดสอบและตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียจากสีแตกได้



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้าง

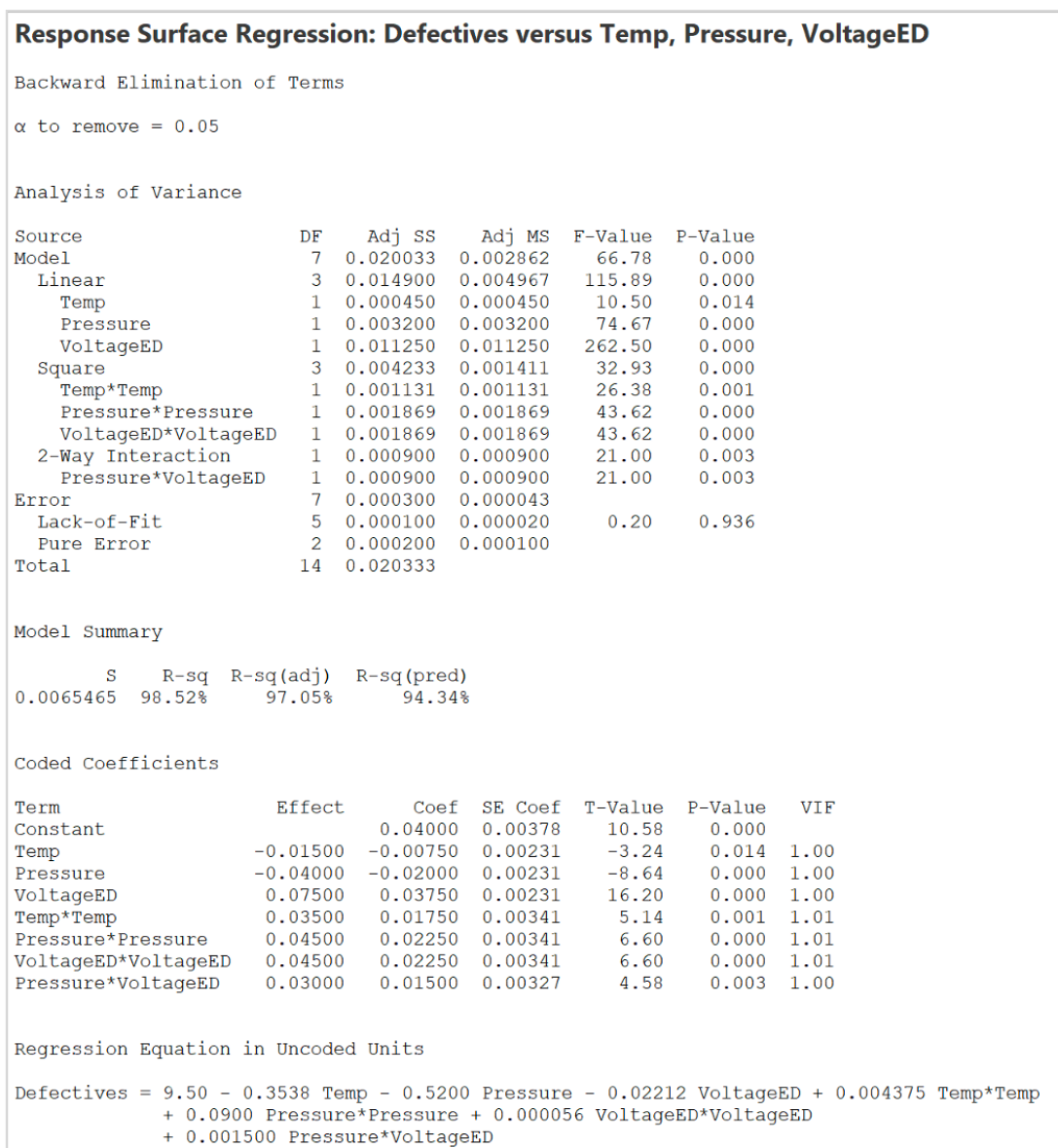
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอย ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงดังรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเทอมที่มีนัยสำคัญ คือ เทอมที่มีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีอยู่ 7 เทอม ได้แก่ ผลกระทบหลักของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เทอมกำลังสองของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และผลกระทบร่วมระหว่างความดันในการล้างชิ้นงานกับแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED

จากการพิจารณากราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6 เมื่อความดันในการล้างชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะได้สัดส่วนของเสียที่น้อยลง และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ลดลง จะได้สัดส่วนของเสียที่น้อยลง และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความดันในการล้างชิ้นงานกับแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED จะพบว่า ที่ความดันในการล้างชิ้นงาน 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เปลี่ยนจาก 220 โวลต์ ไปที่ 180 โวลต์ สัดส่วนของเสียจะลดลงมากกว่าที่ความดันในการล้างชิ้นงานที่ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

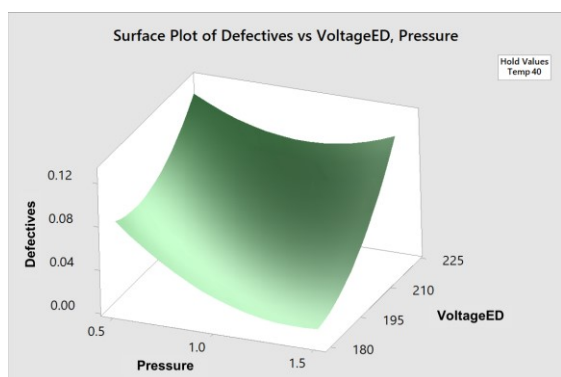
จากการพิจารณากราฟผลกระทบหลักอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7 เมื่อใช้อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 38 องศาเซลเซียส จะได้สัดส่วนของเสียที่มากที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานเป็น 40 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเกิดสัดส่วนของเสียต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการล้างชิ้นงานเป็น 42 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าสัดส่วนของเสียจะเพิ่มขึ้น แต่ไม่มากนัก

3.4.3 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

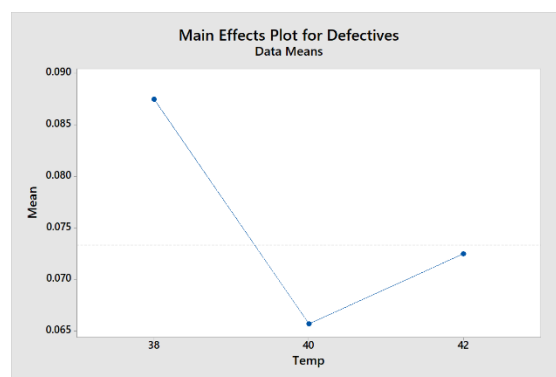
เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับสัดส่วนของเสีย ซึ่งแสดงด้วยสมการถดถอย จากนั้นนำสมการถดถอยที่ได้มาหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer จากโปรแกรม Minitab



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยของสัดส่วนของเสียสี่แตก



รูปที่ 6 กราฟพื้นผิวผลตอบของความดันในการล้างชิ้นงานและแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED



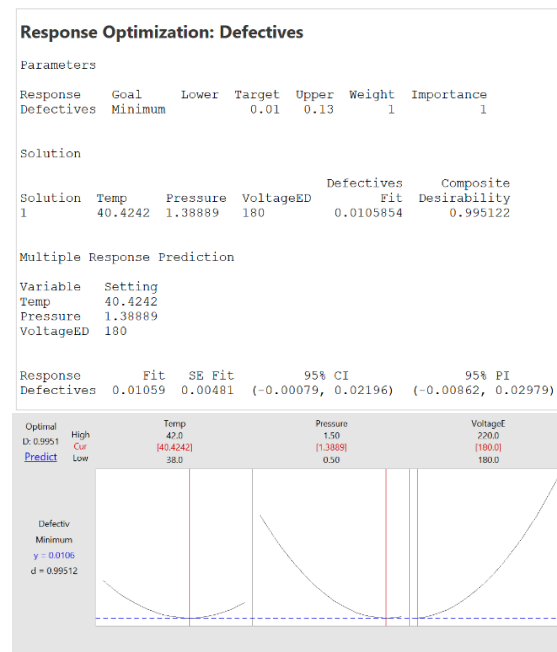
รูปที่ 7 กราฟผลกระทบหลักของอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน

ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 พบว่า จะเกิดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกน้อยที่สุดเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน 40.4242 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน 1.3889 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED 180 โวลต์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถตั้งค่าของปัจจัยในตำแหน่งทศนิยมที่จะละเอียดเช่นนี้ได้ จึงต้องปรับค่าปัจจัยเหล่านี้ให้มีตำแหน่งทศนิยมตามที่สามารถปรับตั้งเครื่องจักรได้ และทำให้ได้ค่า Composite Desirability สูงที่สุด ซึ่งจะทำให้ได้สัดส่วนของเสียประเภทสีแตกต่ำที่สุด จึงได้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย คือ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันในการล้างชิ้นงาน เท่ากับ 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED เท่ากับ 180 โวลต์ หลังจากนั้นนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมนี้ไปปรับใช้จริงในกระบวนการ เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้

3.5 ผลการควบคุมกระบวนการ

ในขณะนี้ผู้วิจัยได้ปรับตั้งค่าปัจจัยตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากระยะการปรับปรุงกระบวนการ และเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 21 วัน จากปริมาณการผลิตทั้งหมด 5,717 ชิ้น เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ พบว่า เกิดของเสีย 56 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 0.98 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น จัดทำเอกสารปฏิบัติงานใหม่ และจัดทำแผนควบคุม เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงาน โดยกำหนดให้มีการตรวจสอบการปรับตั้งค่าอุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED ทุก 2 ชั่วโมง และบันทึกข้อมูลลงแผ่นรายการตรวจสอบ สำหรับวิธีการขัดผิวชิ้นงาน ให้ทำการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตาทุกครั้งก่อนพ่นสีว่าได้ถูกขัดทั้งแนวนอนและแนวตั้ง และหลังจากปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ พบว่า มีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.98 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 5 ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าสัดส่วนของเสียหลังปรับปรุงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และจากปริมาณการผลิตที่พยากรณ์ไว้ในเดือนปี 2564 จะมีการ

ผลิตทั้งสิ้น 95,069 ชิ้น ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทสีแตกได้ 81,257 บาท



รูปที่ 8 ผลการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบยืนยันผลเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

สัดส่วนของเสีย		P-Value
ก่อนปรับปรุง	0.0382	<0.0005
หลังปรับปรุง	0.0098	

4. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงกระบวนการพ่นสีขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทสีแตกที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยได้นำแนวคิดชิทซ์ ชิโกมา มาประยุกต์ใช้ ทำให้สามารถหาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องได้ จากนั้นทำการทดลองหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย และนำค่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้มาปรับใช้ในกระบวนการจริง พร้อมทั้งจัดทำแผนควบคุมและวิธีการปฏิบัติงาน หลังจากปรับปรุงกระบวนการ พบว่า

สามารถลดสัดส่วนของเสียประเภทสีแตกจาก 3.82 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.98 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิต

งานวิจัยนี้แสดงถึงการนำวิธีการทางสถิติต่าง ๆ ตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีขึ้นส่วนรถจักรยานยนต์ที่เป็นชิ้นส่วนหลัก ที่ต้องตั้งค่าปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการล้างชิ้นงาน ความดันในการล้างชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าในการชุบสี ED และวิธีการขัดผิวชิ้นงาน วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถนำไปใช้สำหรับชิ้นส่วนหลักอื่น ๆ ที่มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันได้ ในการกำหนดระดับปัจจัยที่จะทดสอบจะต้องคำนึงถึงขนาด รูปร่าง คุณสมบัติของเหล็ก และข้อกำหนดเฉพาะที่แตกต่างกันไปของแต่ละชิ้นส่วนที่จะปรับปรุงด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] O. Saravari, *Surface Coating (Paint, Varnish and Lacquer)*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House, 2001.
- [2] K. Srinivasan, S. Muthu, N. K. Prasad, and G. Satheesh, "Reduction of Paint line Defects in Shock Absorber Through Six Sigma DMAIC Phases," *Procedia Engineering*, vol. 97, pp. 1755-1764, 2014.
- [3] T. Sansom, "Black-Seed Defect Reduction in Painting Process of Plastic Front Car-Bumper By Six Sigma Approach," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2008.
- [4] A. Hongsapan, "Defect Reduction in Painting Process of Car-Bodywork By Six Sigma Approach," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2010.
- [5] T. Pyzdek, *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2018.
- [6] Y. Fasser and D. Brettner, *Process Improvement in the Electronics Industry*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992.
- [7] N. Thawesaengskulthai, *Quality Engineering and Management Guide to Continual Improvement and Innovation Creation*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House, 2019.
- [8] T. Senprom, "Glass-Mold Defective Reduction in Plastic Lens Manufacturing Process Using Six Sigma Approach," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2007.
- [9] D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*, 10th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2019.
- [10] J. L. Devore, *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, 9th ed. USA: Brooks/Cole, 2016.
- [11] N. Akafuah, S. Poozesh, A. Salaimah, G. Patrick, K. Lawler, and K. Saito, "Evolution of the Automotive Body Coating Process—A Review," *Coatings*, vol. 6, no. 2, 2016.
- [12] S. Narayanan, "Surface Pretreatment by Phosphate Conversion Coatings - a Review," *Advanced Materials Science*, vol. 9, pp. 130-177, 2005.
- [13] Y. Oyabu, N. Furuno, Y. Hirasawa, and H. Omori, "Electrodeposition Coating Process

- for Automobile Bodies," *Transactions ISIJ*,
vol. 23, pp. 994-1008, 1983.
- [14] B. Müller and U. Poth, *Coatings Formulation:
An International Textbook*. Germany:
Vincentz Network, 2011.

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reader)

ต้นฉบับบทความวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2564) ได้รับการตรวจสอบแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

- | | |
|--|---|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.สุดนิรันดร์ เพชรตัน | ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชัย ฤทธิวิรุฬห์ | ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล | สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอานรรค | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง | ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรพงศ์ บริรักษ์ | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประทาน ศรีชัย | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันฐณพงษ์ คงแก้ว | ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญชัย โขมพัตรภรณ์ | ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางมด) |
| 10. อาจารย์ ดร.รัฐศักดิ์ พรหมมาศ | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ เขียรสุวรรณ | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 12. รองศาสตราจารย์เอนก ศิริพานิชกร | ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภกิตต์ สายสุนทร | ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรวิทยาเขตบางเขน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 14. อาจารย์ ดร.สุรัชย์ เหมหิรัญ | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ |

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reader)

ต้นฉบับบทความวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2564) ได้รับการตรวจสอบแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

- | | | |
|-----|---|--|
| 15. | ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชาญณรงค์ ตระกูลสรณคณัน | ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ |
| 16. | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วิชชุกิจ | ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน |
| 17. | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์ | ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง |

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความลงตีพิมพ์
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (วศ) เป็นวารสารที่ตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าทางทฤษฎีและทางการทดลองในทุกสาขาวิศวกรรม ตันฉบับบทความที่ส่งมายังกองบรรณาธิการ จะได้รับการประเมินโดยมีผู้ทรงคุณวุฒิ 2 คนต่อบทความ (Peer-review) และประเมินบทความในลักษณะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ Double Blinded review วารสารตีพิมพ์ 3 ฉบับต่อปี ในเดือน เมษายน สิงหาคม และ ธันวาคม เลขมาตรฐานสากลประจำวารสาร 2774-0269 (Online)

1. การเตรียมต้นฉบับ

- 1) เป็นบทความวิจัย หรือบทความวิชาการ ที่มีความยาวไม่ควรน้อยกว่า 7 หน้า และไม่ควรเกิน 10 หน้า กระดาษ A4 พิมพ์ห่างจากขอบกระดาษด้านซ้าย 1.25 นิ้ว ด้านอื่น ๆ 1 นิ้ว
- 2) เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของสิ่งพิมพ์อื่น ๆ และไม่เคยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารใด ๆ มาก่อน
- 3) ต้องไม่มีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ไม่มีการลอกเลียน หรือตัดทอนผลงานวิจัยของผู้อื่นโดยที่ไม่ได้รับอนุญาตและมีการอ้างอิงที่เหมาะสม
- 4) ชนิดและขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun New ซึ่งขนาดตัวอักษร มีรายละเอียดดังนี้
 - 6.1) ชื่อบทความ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา
 - 6.2) ชื่อ-สกุลผู้เขียนบทความ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ
 - 6.3) หัวข้อหลัก ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา
 - 6.4) หัวข้อรอง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวเอียง
 - 6.5) เนื้อเรื่องในหัวข้อหลักและหัวข้อรอง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ
 - 6.6) เนื้อเรื่องในตาราง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ

รูปแบบการเขียนบทความ ควรมีหัวข้อเรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยมีข้อความที่กระชับ ได้ใจความ และบ่งบอกบทความได้อย่างชัดเจน

ชื่อผู้เขียน ให้ระบุชื่อ นามสกุล ตำแหน่ง หน่วยงานและที่อยู่ของผู้เขียนทุกคน โดยหากบทความเป็นภาษาไทยให้ระบุชื่อผู้เขียนเฉพาะภาษาไทยเท่านั้น

บทคัดย่อ บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keyword) คำสืบค้นที่เกี่ยวข้องกับบทความ ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

บทนำ กล่าวถึงความสำคัญของปัญหาและภูมิหลังของการวิจัย รวมไปถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ตัวเนื้อหา อธิบายถึงอุปกรณ์ หรือวิธีการที่ใช้ในการวิจัย บรรยายผล และวิจารณ์ผล สามารถแตกออกเป็นหลายหัวข้อได้

สรุป บรรยายถึงบทสรุปของงานวิจัย

กิตติกรรมประกาศ ขอบขอบคุณสนับสนุน หรือบุคคล (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง ให้เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้วิธีเรียงตามลำดับก่อนหลังที่พบในบทความ ในรูปแบบตัวเลขในวงเล็บเหลี่ยม สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายการเอกสารอ้างอิง ใช้รูปแบบ IEEE ดังรายละเอียดและตัวอย่างในไฟล์แม่แบบ (template) ซึ่งดาวน์โหลดได้ที่ <http://eng.swu.ac.th/re.html>

2. วิธีการส่งบทความ

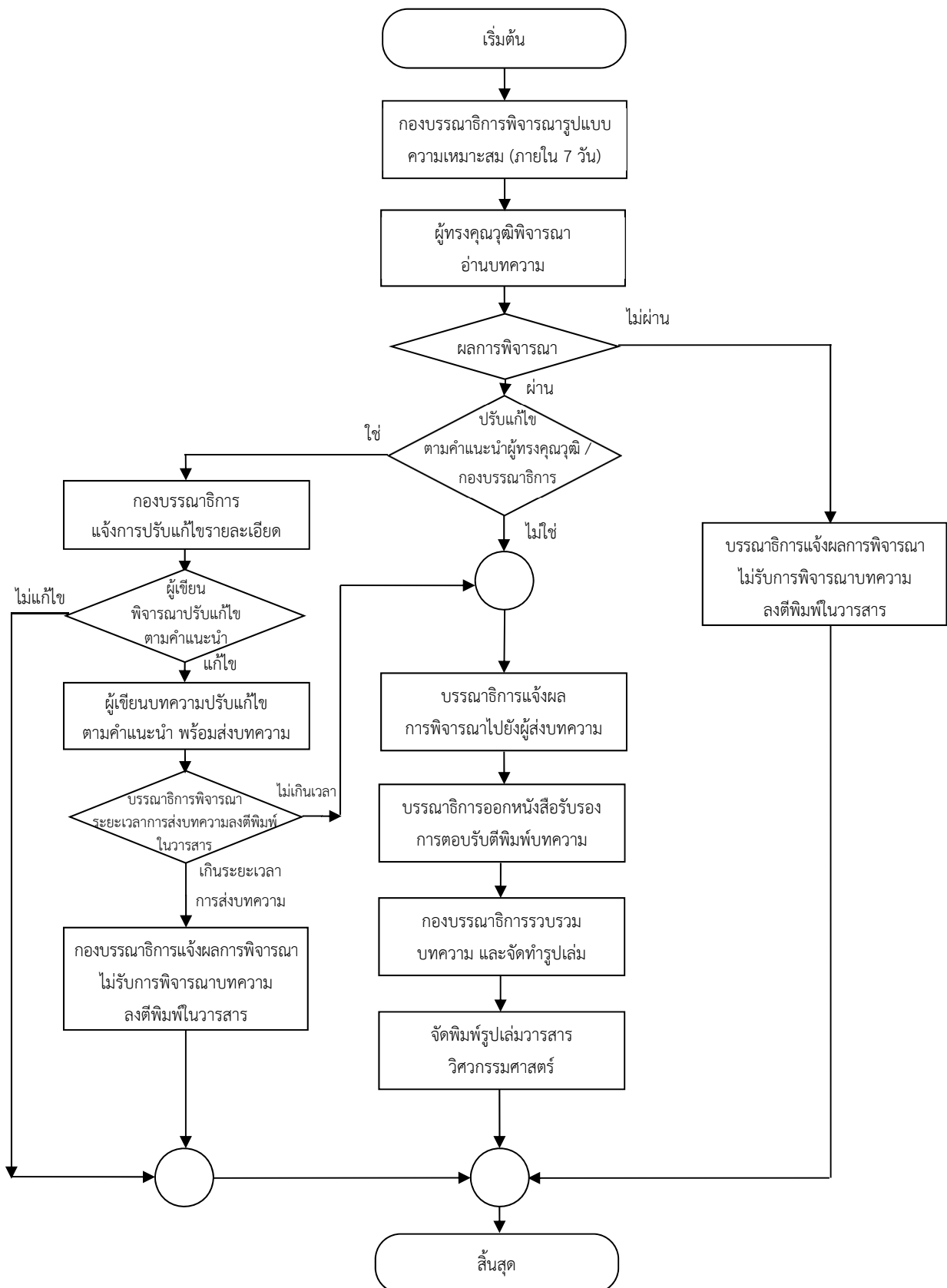
- 1) ส่งต้นฉบับบทความ ไฟล์ Microsoft Word และ pdf พร้อมแนบไฟล์สแกนแบบเสนอผลงานวิชาการเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- 2) ส่งไฟล์ต้นฉบับทางออนไลน์ที่
<https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej/login>
- 3) ดูข้อมูลวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเพิ่มเติม และดาวน์โหลดแบบฟอร์มประกอบการส่งบทความ ได้ที่ <http://eng.swu.ac.th/re.html>

3. ขั้นตอนการประเมินบทความ

การประเมินบทความวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) การทบทวนโดยผู้รู้เสมอ (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อยสองคนในสาขาที่เกี่ยวข้องแบบอำพรางฝ่ายเดียว (double-blind)
- 2) การเขียนตอบข้อซักถามและการแก้ไขปรับปรุงต้นฉบับตามข้อคิดเห็น (comments) ของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยผู้เขียน และการพิจารณาอีกครั้งโดยผู้ทรงคุณวุฒิคนเดิม หากผู้ทรงคุณวุฒิได้แจ้งความประสงค์ขอพิจารณาอีกครั้งไว้
- 3) การประชุมกองบรรณาธิการเพื่อพิจารณาผลการทบทวนโดยผู้รู้เสมอจากผู้ทรงคุณวุฒิ และการแก้ไขปรับปรุงต้นฉบับ เพื่อตัดสินใจว่าจะตอบรับหรือไม่ในขั้นสุดท้าย
- 4) สำหรับบทความที่ได้รับการตอบรับ กองบรรณาธิการจะพิจารณาความถูกต้องของรูปแบบเพื่อแจ้งผู้เขียนแก้ไข
- 5) บรรณาธิการออกหนังสือรับรองการเผยแพร่ให้ผู้เขียน โดยมอบไว้กับผู้เขียนหลัก

ขั้นตอนการพิจารณาผลงานเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ





คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Srinakharinwirot University Engineering Journal

Vol. 16 No. 3 (September - December 2021)

ISSN : 2774 - 0269 (Online)

บทความวิจัย

- อุณหภูมิการอบแห้งแบบหมุนเวียนของข้าวเปลือกมีผลต่อสารหอม (2AP)
Temperature of Recirculation batch drying the paddy had an effect on aroma (2AP)
สมพจน์ คำแก้ว
- การศึกษาความสำคัญของปัญหาจากแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบในงานก่อสร้างอาคาร
A Study on Significant Problems from Construction Drawings and Specifications in Building Construction
กฤตวัฒน์ วิบูลโกศล มงคล อัครดิถกฤทธิ
- การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพชิ้นกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด
The Study of Drying Kinetics and Qualities of Dried Banana Slices by Vacuum-Infrared dryer
ณัฐภค อัมเธิบ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์
- The Virtual Reality Technology for Maintenance of Complex Machine in Manufacturing Training
Dissapoom Siyapong Panuwat Rodchom Akkharaphong Eksiri
- การบ่งชี้จุดเสี่ยงอันตรายบนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2076 อำเภอโพธิ์ศรีสุวรรณ จังหวัดศรีสะเกษ ด้วยวิธีควบคุมคุณภาพของการเกิดอุบัติเหตุ
Identification of Hazardous Points on Highway 2076 Phosrisuwan District, Sisaket Province by using Rate Quality Control
ทิพย์สุตา กุ่มผืน
- การพัฒนาเครื่องผลิตอาหารสัตว์แบบเม็ด
Development of Animal Feed Pelleting Machine
เอกพันธ์ สุขมูลศิริ รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ จตุรงค์ สังภาพินธุ์
- รูปแบบการเก็บรักษาที่เหมาะสมกับผลผลิตที่มีความบอบบางสูง : กรณีศึกษากักตุนอ่อนทานตะวัน
Optimal Storage Pattern for Extremely Delicate Produce : Case Study of Sunflower Sprouts
จันทร์ภากรณ์ พูนดี สุรมงคล นิยมจิตต์
- การลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกในกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์
Reduction of Defective Rate from Crack Defects in Painting Process of Motorcycle Parts
ชนิกานต์ รักรังไทย นกัสนางค์ โอสสถิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เลขที่ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต - นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

โทร 0 2649 5000 ต่อ 27560

<http://eng.swu.ac.th>