



คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

The Journal of **Industrial Technology** Suan Sunandha Rajabhat University

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม - มิถุนายน 2566)

Vol. 11 / No. 1 / January - June 2023

ISSN (Print) : 2351 -0811

ISSN (Online) : 2730 -2938

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุติกาญจน์ ศรีวิบูลย์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา เมฆขำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเรือน รัชมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัยรัตน์ มาติะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ สอนสุวิทย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎาภรณ์ ปรียคำกล

มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร อินทะชัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล อ่ำดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ ชูกระเดื่อง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ เมืองไหว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสกร เวสสะโกศล

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ปวรังกูร

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ ดงบัง

มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย ชูศิลป์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธวัชชัย ประหยัสดวงค์

มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

ดร.มชินต์ธรรณ์ พรหมทอง

มหาวิทยาลัยมหิดล

ดร.อนันตา สิ้นไชย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดร.วรา สุวรรณสินธุ์

สถาบันการพยาบาลศรีสวรินทิรา สภากาชาด

ดร.จิรัชญา เหล่าคมพฒณาจารย์
ดร.ภญ.รัชพรพรณ พฤกษ์รัตนันท์

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน) และ ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม)

ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาวดวงเนตร สารสมบัติ

เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก

เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440

www.fit.ssru.ac.th

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru>

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้การวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ การพัฒนาเชิงประยุกต์ และรวมถึงงานวิจัยเชิงบูรณาการที่มีการพัฒนาเพื่อนำไปสู่การพัฒนาโครงสร้างเศรษฐกิจฐานราก ที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหาภาคเกษตร ภาคอุตสาหกรรม เพื่อยกระดับ พัฒนาคุณภาพ สมรรถนะทั้งในระดับท้องถิ่น ระดับสากล ให้สามารถพัฒนาสู่ผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างมั่นคง มั่งคั่งและยั่งยืนสอดคล้องกับ โมเดลพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ไทยแลนด์ 4.0 ซึ่งในแต่ละบทความได้รวบรวมองค์ความรู้จากผู้มีความเชี่ยวชาญในหลากหลายด้าน นักวิจัยและประชาชนทั่วไปสามารถนำความรู้จากวารสารนี้ไปต่อยอดในการสร้างนวัตกรรมใหม่และสามารถนำกระบวนการ องค์ความรู้ เทคโนโลยีใหม่จากบทความไปประยุกต์สร้างสรรค์และใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริงในอนาคต วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้จัดพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม - มิถุนายน 2566) และฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2566)

ปัจจัยหลายประการที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อคุณภาพวารสาร คือคุณภาพของบทความที่มีคุณค่าทางวิชาการเป็นที่ยอมรับ กระบวนการคัดกรองและการตรวจสอบที่มีมาตรฐาน โดยผู้ทรงคุณวุฒิเฉพาะสาขาวิชา ข้อเสนอแนะที่ทรงคุณค่า รวมทั้งการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อดำเนินการจัดพิมพ์และการเผยแพร่บทความได้เป็นไปตามเวลาที่กำหนด ส่งผลให้วารสารฯ มีความน่าเชื่อถือและผ่านการรับรองโดย TCI

ทางคณะผู้จัดทำวารสารฯ ขอกราบขอบพระคุณที่ปรึกษาวารสารฯ กองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ที่สละเวลาใช้ความรู้ความสามารถในการทำให้คุณภาพของวารสารฯ เป็นที่น่าเชื่อถือและมีคุณค่าเป็นประโยชน์ต่อทางวิชาการ และขอขอบคุณนักวิชาการทุกท่านที่ส่งบทความที่มีคุณค่าทางวิชาการเข้าร่วมทำให้วารสารฯ ดำเนินการสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ทางคณะผู้จัดทำวารสารฯ พร้อมทั้งจะรับฟังข้อเสนอแนะจากทุกภาคส่วน เพื่อทำให้วารสารฯ มีประสิทธิภาพ พัฒนามากยิ่งขึ้น และเป็นที่ยอมรับในระดับสากลต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเรือน รัศมี
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน The Automatic Plant Watering System Using Internet of Things for Oil Palm Plantations ชนมภัทร ไตรระสะ	1-11
วิเคราะห์พฤติกรรมในการจอดรถด้วยระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต ทุกสรรพสิ่ง Behavioral Analysis of Parking Behavior with Parking System using Internet of Things Technology ภาณุวัตร อุทัยบาล, วนิดา แก่นอากาศ	12-23
ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Waste Segregation System อนุพงษ์ ดิตะ	24-33
แบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย A model to Study the Efficiency of a Spray Dryer's 18 kW Hot Air Generator พัชรพร เฉลิมไพศาลสุข, สมมาตร ทองคำ, พงศกานต์ ภูระย้า, พรหมพัทธ์ บุญรักษา	34-43
ประสิทธิภาพของโปรแกรมน้ำหวานที่มีผลต่อความอดทนในการทำงานของคนงาน The study of the effectiveness of the nectar program that affecting the patience of laborer อรัญ ขวัญปาน	44-53
กระบวนการพัฒนาน้ำยาประสานไม้อัดที่ผลิตจากเศษไม้ไผ่ Development Process of Plywood Bonding Agent made from Bamboo Scraps มงคล พชรวงศ์ศิริ, เกรียงศักดิ์ ทวีวัฒน์, ชำนาญ งามสมบัติ	54-62

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย	หน้า
สมรรถนะเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน: การติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีท	63-72
Thermal performance of thermal insulation: Installing the thermal insulation under the metal sheet roof	
วลี อมาตยกุล, จิระศักดิ์ พุกดำ, ดิษฐา นนทิวรวงษ์, วิทยา พวงสมบัติ	
ขั้นตอนและเครื่องมือวิจัยที่ใช้รวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM)	73-85
Procedure and Research Instrument to use Collect Data for Structural Equation Model Analysis (SEM)	
ดรณัฏ เทียนถาวรพงษ์, เชิดชัย ฐระแพง, ทองแท่ง ทองลั่น, ยุทธ ไกยวรรณ	
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตโพลีโพรพิลีนด้วยวัสดุเสริมแรงอ้อยและเลา	86-93
Analysis of the Mechanical Properties of Polypropylene Biocomposites with Sugarcane and Wild Sugarcane reinforced Materials	
วิทยา วงษ์กลาง, กริธา แก้วคงธรรม, รัฐนันท์ เอี่ยมแสง, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง, พรหมพักตร์ บุญรักษา	
การตรวจสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแชสซีสำหรับยานพาหนะการเกษตร	94-106
Finite Element Investigation on Chassis Design for Agricultural Vehicle	
กฤษฎางค์ ศุภระมูล, ศักย บุญชูวิทย์, วัชรระ เพิ่มชาติ, ชัยชโย ชื้อตรง, สันยลักษณ์ กิ่งทอง	

ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

ชนมภัทร โตระสะ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email : chonmapat.to@ssru.ac.th

Received: Dec 20, 2022

Revised: Mar 9, 2023

Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบ ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งซึ่งนำไปประยุกต์ใช้งานในสวนปาล์มน้ำมัน การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติใช้โหนดเอ็มชียู อีเอสพี 32 (NodeMCU ESP32) เป็นตัวควบคุมการทำงานหลักที่ทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน เพื่อนำค่าความชื้นในดินที่วัดได้มาใช้ในการควบคุมการเปิดปิดโซเลนอยด์วาล์ว (Solenoid valve) ในโหมดการทำงานอัตโนมัติ (Automatic) สำหรับจ่ายน้ำผ่านทางสปริงเกลอร์ (Sprinkler) ที่ติดตั้งภายในสวนปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ระบบควบคุมการรดน้ำต้นไม้ยังสามารถควบคุมการทำงาน และแสดงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen) ธาตุฟอสฟอรัส (Phosphorus) ธาตุโพแทสเซียม (Potassium) ความชื้นและอุณหภูมิในดินที่เซนเซอร์วัดได้ผ่านแอปพลิเคชันบลิง (Blynk) บนสมาร์ตโฟน การทดสอบระบบรดน้ำอัตโนมัติกับระบบจ่ายน้ำด้วยสปริงเกลอร์จำนวน 22 หัว ที่สามารถกระจายน้ำเป็นวงกลมรัศมีประมาณ 5 – 7 เมตรต่อหัว ครอบคลุมพื้นที่ 3,150 ตารางเมตร สามารถใช้รดน้ำให้กับต้นปาล์มน้ำมันประมาณ 30 ต้น และพริกไทยที่ปลูกแทรกระหว่างแนวต้นปาล์มน้ำมันประมาณ 45 ไร่ ระบบควบคุมการรดน้ำสามารถควบคุมการเปิดปิดโซเลนอยด์วาล์วจ่ายน้ำได้ถูกต้องร้อยละ 100 ทั้งการทำงานแบบอัตโนมัติและแมนนวล (Manual) โดยความชื้นในดินภายหลังการรดน้ำมีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

คำสำคัญ : ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ปาล์มน้ำมัน, เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

The Automatic Plant Watering System Using Internet of Things for Oil Palm Plantations

Chonmapat Torasa

Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

Email : chonmapat.to@ssru.ac.th

Received: Dec 20, 2022

Revised: Mar 9, 2023

Accepted: May 31, 2023

Abstract

The purpose of this research is to design and build a prototype of an automatic watering plant system using the Internet of Things that can be applied to oil palm plantations. The design and construction of an automatic plant watering control system use a NodeMCU ESP32 as the main controller that works with a soil moisture sensor. To use the measured soil moisture value to control the ON and OFF of the solenoid valve in automatic operation mode for supplying water through the sprinkler installed in the oil palm plantation. In addition, the automatic plant watering system can also control the operation and show the values of pH, nitrogen, phosphorus, potassium, moisture, and temperature in the soil that the sensor can measure through the Blynk application on the smart phone. Testing the automatic plant watering system with a water supply system with 22 sprinkler heads that can distribute water in a circle with a radius of about 5-7 meters per head, covering an area of 3,150 square meters, it can be used to water about 30 oil palm trees and pepper about 45 pots planted between oil palm trees. The watering control system can control the opening and closing of the water distribution solenoid valves with 100% accuracy in both automatic and manual operation modes. Watering had the same average moisture content over the study area.

Keywords : Automatic Plant Watering System, Internet of Things, Palm Oil, Soil Moisture Sensor

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการเพาะปลูกพืช เกษตรกรจึงจำเป็นต้องหาแหล่งน้ำ รวมถึงการจัดการน้ำให้มีเพียงพอต่อความต้องการของพืชแต่ละชนิดที่ปลูก เพื่อให้ได้ผลผลิตตามความต้องการ ระบบการให้น้ำแก่พืชที่ดีจะต้องสนองความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดได้อย่างเพียงพอตลอดช่วงการเพาะปลูก

ปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการการดูแล และบำรุงต้นให้สมบูรณ์ตลอดเวลา เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มาก โดยปัจจัยที่จะทำให้ต้นปาล์มน้ำมันมีความสมบูรณ์นั้นมีอยู่หลายอย่างเช่น สภาพดินที่ปลูก ต้นปาล์มน้ำมันได้รับแสงแดดที่เพียงพอ การให้ปุ๋ย และการให้น้ำแก่ต้นปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งน้ำถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการปลูกปาล์มน้ำมัน เพราะปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการความชุ่มชื้นมาก ปาล์มน้ำมันที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจะให้ผลผลิตตามปริมาณน้ำฝนที่ได้รับ ยิ่งถ้าพื้นที่ที่ปลูกปาล์มน้ำมันมีช่วงฝนแล้ง หรือขาดน้ำหลายเดือน ปาล์มน้ำมันนั้น ๆ ก็จะทำให้ช่อดอกตัวผู้ในปริมาณมาก หรือแทบไม่ให้ช่อดอกตัวเมียเลย ทำให้ไม่ได้อผลผลิตปาล์มน้ำมัน

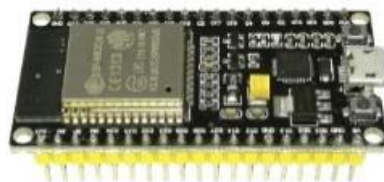
ในปัจจุบันมีการพัฒนานำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้กับระบบควบคุมการรดน้ำให้กับพืชแบบอัตโนมัติ เป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกร ช่วยให้ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยให้น้ำเท่าที่พืชต้องการ ลดภาระค่าใช้จ่ายแรงงานในการรดน้ำให้แก่พืช และช่วยลดความเสียหายของพืชอันเนื่องมาจากการขาดน้ำ หรือน้ำเกินความต้องการของพืช และสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตในระยะยาว

ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อเป็นต้นแบบระบบรดน้ำอัตโนมัติ และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับเกษตรกร และผู้สนใจอื่น ๆ ได้เรียนรู้

ค้นคว้าด้วยตนเอง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างเหมาะสมกับพื้นที่ของตนเอง

การดำเนินการวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ และงานวิจัยที่จะนำมาใช้ดังนี้

1. โหนดเอ็มชียู อีเอสพี 32 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีไวไฟ (WiFi) มาตรฐาน 802.11 b/g/n และบลูทูธ (Bluetooth) สามารถนำมาใช้งานในระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้อย่างแพร่หลาย



รูปที่ 1 บอร์ดโหนดเอ็มชียู อีเอสพี 32

2. เซ็นเซอร์วัดค่าสารอาหารในดิน เป็นเซนเซอร์ที่สามารถวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง (pH) ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินได้พร้อม ๆ กัน โดยใช้ขั้ววัดฝังไว้ใต้ดิน สัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์เป็นแบบ RS485 ใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันประมาณ 3 ถึง 30 โวลต์ (Volts : V)



รูปที่ 2 เซ็นเซอร์วัดค่าสารอาหารในดิน

3. บอร์ดแปลงสัญญาณ RS485 เป็น RS232 เป็นบอร์ดที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลแบบ RS485 เป็น RS232 ที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ส่งข้อมูลอนุกรมแบบ RS485 ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถส่งข้อมูลทางสายแบบ 2 เส้น คือ A และ

B เป็นตัวบอกรหัสดิจิทัล (Digital code) โดยใช้ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้ว A และ B เป็นตัวบอกได้ในระยะทางไกลถึงประมาณ 1,200 เมตร และยังสามารถส่งพร้อม ๆ กันได้หลายจุด ให้สามารถแปลงเป็นสัญญาณ RS232 ให้กับคอมพิวเตอร์ หรือไมโคร คอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3 บอร์ดแปลง RS485 เป็น RS232

4. แอปพลิเคชันบลิง เป็นแพลตฟอร์มที่เป็นแอปพลิเคชันได้ทั้งระบบไอโอเอส (iOS) และแอนดรอยด์ (Android) เพื่อควบคุมอาดัวโน้ (Arduino) ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) บนระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีลักษณะการทำงานเป็นแผงควบคุมระบบดิจิทัลที่ผู้ใช้สามารถสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกสำหรับโครงการของผู้ใช้โดยการลากและวางเครื่องมือ (Widgets) ที่มีให้เลือกอยู่หลากหลาย [1] ปัจจุบันนิยมนำมาออกแบบเพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติในการควบคุมจากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 4 แอปพลิเคชันบลิง[2]

คุณต๋ม แซ่ม้า และ สุรัชย์ แซ่จำว[3] ได้ออกแบบระบบรดน้ำแปลงผักอัตโนมัติโดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินและส่งข้อมูลผ่านสัญญาณไร้สายด้วยคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz : GHz) ไปยังไมโคร คอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการเปิดปิดวาล์วน้ำ โดยติดตั้งเซนเซอร์ในบริเวณแปลงเพาะปลูกจากการทดสอบระบบสามารถทำงานได้ในระยะไม่เกิน 30 เมตร

บัณฑิตพงษ์ ศรีอำนวย, สราวุธ แผลงศร, วีระสิทธิ์ ปิติเจริญพร และพิมพ์ใจ สีหะนาม[4] ได้ออกแบบระบบสมาร์ตฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนมะนาว โดยใช้เซนเซอร์ 4 ชนิด คือเซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ เซนเซอร์วัดความอุณหภูมิในอากาศ เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เซนเซอร์วัดกรดต่างวัดค่าต่าง ๆ เหล่านี้บริเวณสวนมะนาว และส่งข้อมูลมาประมาณผลที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 8266 (ESP8266) ระบบสามารถเก็บสถิติข้อมูลเซนเซอร์ที่วัดได้เพื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ กำหนดค่าความชื้นที่จะให้ระบบสั่งเปิดหรือปิดน้ำอัตโนมัติ กำหนดค่าเซนเซอร์ต่าง ๆ เมื่อถึงจุดที่กำหนดให้มีการแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ การเปิดปิดน้ำอัตโนมัติจากแอปพลิเคชันบลิง อุปกรณ์ต่างที่ติดตั้งในสวนมะนาวจะทำการรับส่งข้อมูลไปยังบลิงเซิร์ฟเวอร์ (Blynk server) ผ่านทางโปรโตคอล HTTP และส่งข้อความเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ผ่านทางโปรโตคอล HTTP แบบเรียลไทม์เพื่อให้ข้อมูลมีการอัปเดตต่อเนื่องตลอดเวลา จากการทดสอบสามารถแสดงข้อมูลตามค่ามาตรฐาน ดังนี้ 1) ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 26 ถึง 32 องศาเซลเซียส 2) ค่าความชื้นของดินจะอยู่ในช่วง -10 ถึง -60 กิโลปาสคาล (kilopascals : kPa) 3) ความต้องการน้ำของมะนาวเป็นลิตรต่อต้นต่อวันตามช่วงอายุและฤดูกาล 4) ค่าความเป็นกรดต่างของดินที่เหมาะสม อยู่ที่ประมาณ 5.5 ถึง 7.0 อาทิตยา เน้นแน่น, เอกราช พรนราหัสดีกุล, ณัฐกิตติ์ จินา และสัญญา พันธุ์แพ[5] ได้ออกแบบ

ระบบรดน้ำกระเทียมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และควบคุมผ่านสมาร์ตโฟน โดยใช้โหนดเอ็มซียู อีเอสพี 8266 (NodeMCU ESP8266) เขียนคำสั่งโปรแกรมโดยทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดความชื้นในดินเพื่อควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ โดยสามารถควบคุมระบบรดน้ำแบบแอปพลิเคชันบลูทูธ ผ่านทางสมาร์ตโฟน และใช้ไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 10 วัตต์ (Watts : W) ประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่แห้งขนาด 12 โวลต์ (Volts : V) 7.5 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hour : Ah) ทำให้สามารถนาระบบรดน้ำไปใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ได้

Punitharaja[6] ได้ประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการรดต้นไม้ โดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นและส่งข้อมูลมาประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนยูโน (Arduino UNO) เพื่อควบคุมการเปิดปิดรีเลย์ให้ปั้มน้ำทำงานในการรดต้นไม้ และใช้บอร์ดอีเธอร์เน็ต (Ethernet) ใช้การเชื่อมต่อกับเราเตอร์ (Router) เพื่อส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปแสดงผลที่เว็บไซต์ ผลการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าการรดน้ำต้นไม้บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสอดคล้องกับการออกแบบวงจร และสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จผ่านอีเธอร์เน็ตเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Ethernet web server) ในรูปแบบของแอปพลิเคชันบนคลาวด์ (Cloud) เพื่อให้สามารถติดตามการรดน้ำต้นไม้ทางไกลบนคลาวด์ได้ง่ายขึ้น

S. Nalini Durga and M. Ramakrishna[7] ได้ทำระบบชลประทานอัจฉริยะโดยใช้ความชื้นในดินและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยออกแบบระบบที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนยูโนประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์วัดความชื้น

ในดิน เพื่อควบคุมรีเลย์ในการเปิดปิดปั้มน้ำ และแสดงค่าความชื้นในดินที่จอแสดงผล โดยกำหนดค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์น้อยกว่า 400 ซึ่งดินมีสภาพเปียกน้ำ ปั้มน้ำจะปิดการทำงาน และความชื้นในดินมีค่าระหว่าง 400 ถึง 1000 ซึ่งดินมีสภาพชื้นถึงแห้ง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้รีเลย์เปิดปั้มน้ำ และปิดปั้มน้ำเมื่อค่าความชื้นในดินเท่ากับ 600 จากการทดสอบการทำงานของระบบสามารถทำงานตามที่ออกแบบไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

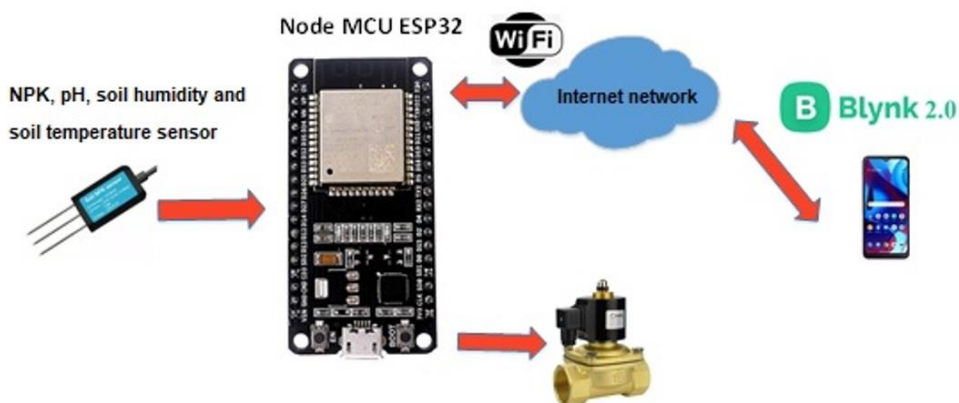
M. A. Al-Obaidi และคณะ[8] ใช้เทคนิคการควบคุมระบบความชื้นในดินอัจฉริยะเพื่อรดน้ำต้นไม้โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยอาดูโนยูโน โดยต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในดินจำนวน 6 อันกับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนยูโนอาร์ 3 (Arduino UNO R3) เพื่อแบ่งโซนในการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำจำนวน 6 ตัว การทำงานของระบบเริ่มจากเลือกชนิดของพืช เพื่อกำหนดปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับพืชแต่ละชนิดและความชื้นที่เหมาะสม เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินจะตรวจสอบว่าดินต้องการน้ำหรือไม่ และสามารถพิมพ์รายงานปริมาณน้ำที่ใช้ไปภายใน 24 ชั่วโมง โดยแสดงผลต่าง ๆ ผ่านทางเว็บไซต์ (Website)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยเรื่องระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน มีแนวทางการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 5

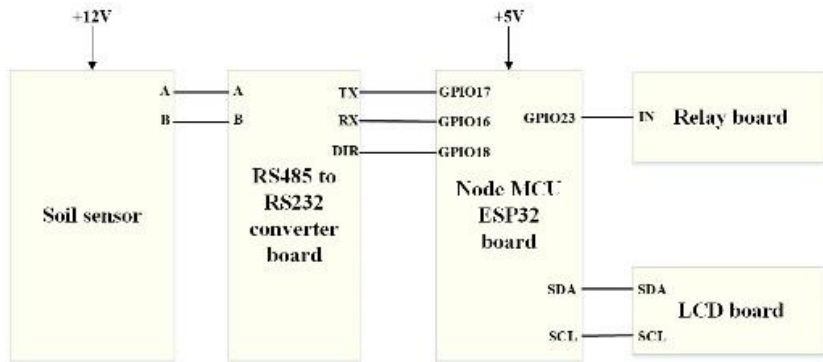


รูปที่ 5 ไดอะแกรมแนวทางการออกแบบระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การทำงานของระบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานหลัก โดยรับค่าความชื้นในดินจากเซนเซอร์มาประมวลผลให้สามารถควบคุมสั่งเปิดปิดโซเลนอยด์วาล์วของระบบจ่ายน้ำตามค่าขีดเริ่ม (Thresholding value) ของความชื้นในดินที่กำหนดไว้ในโหมดการทำงานอัตโนมัติ โหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยสัญญาณไวไฟไปยัง แอปพลิเคชัน บลิ่งบนสมาร์ตโฟน เพื่อนำค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากเซนเซอร์มาแสดงผล และควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของระบบได้ผ่านทางแอปพลิเคชันบลิ่ง โดยมีรายละเอียดการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของระบบดังนี้

1. การออกแบบส่วนควบคุมและประมวลผลของชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ ประกอบด้วย โหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 ที่ทำหน้าที่หลัก โดยรับข้อมูลจากเซนเซอร์ที่สามารถวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ

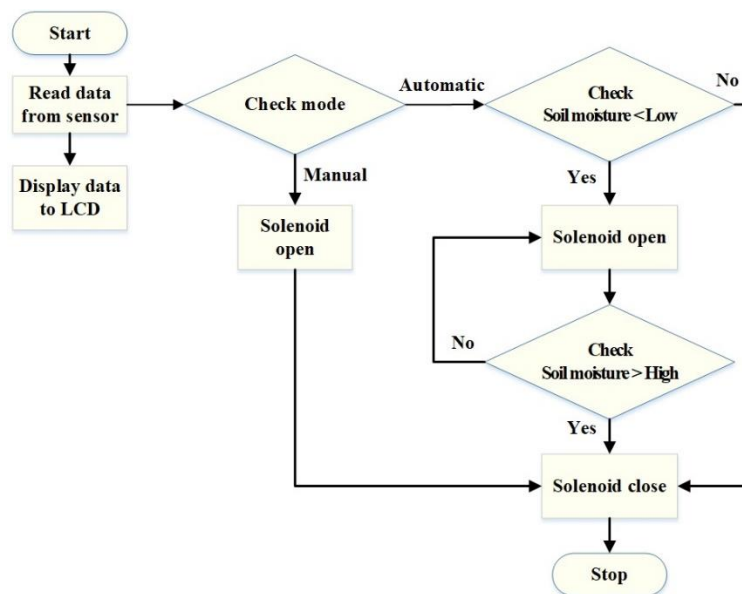
pH ไนโตรเจน (Nitrogen) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และโพแทสเซียม (Potassium) ในดิน ผ่านทางบอร์ดแปลงสัญญาณ RS485 เป็น RS232 เพื่อทำการแปลงสัญญาณ RS485 จากเซนเซอร์ให้เป็น RS232 ก่อน โดยขั้ว TX จากบอร์ดแปลงสัญญาณต่อไปยังขั้ว GPIO17 ขั้ว RX จากบอร์ดแปลงสัญญาณต่อไปยังขั้ว GPIO16 และขั้ว DIR จากบอร์ดแปลงสัญญาณต่อไปยังขั้ว GPIO18 ของโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 ส่วนด้านเอาต์พุตจากโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 มี 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ส่วนแสดงผลข้อมูลค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดีขนาด 4 นิ้ว x 20 ตัวอักษร ผ่านทางขั้วต่อ SCL และ SDA ส่วนที่ 2 ส่วนควบคุมการเปิดปิดโซเลนอยด์วาล์วผ่านทางบอร์ดรีเลย์ผ่านทางขั้วต่อ GPIO23 ไดอะแกรมการต่อบอร์ดต่าง ๆ ของชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 โดอะแกรมการต่อบอร์ดต่าง ๆ ของชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ

1. การออกแบบส่วนโปรแกรมควบคุมของชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 โดยใช้โปรแกรมอาดูโนไอทีอี (Arduino IDE) และ

แอปพลิเคชันบลิง เวอร์ชัน 2.0 เพื่อใช้ในการควบคุมและแสดงผลผ่านทางสมาร์ทโฟน โดยโปรแกรมควบคุมการทำงานของโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทำงานของโปรแกรมควบคุมโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32

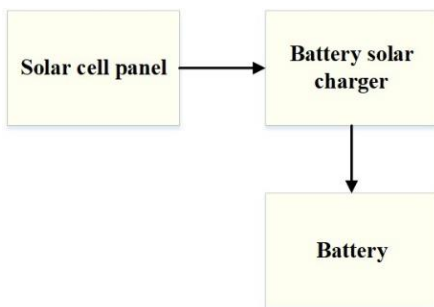
การทำงานของโปรแกรมควบคุมโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 322 เริ่มจากการอ่านที่เซนเซอร์วัดได้และนำค่าไปแสดงผลที่จอแอลซีดี จากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบสถานะโหนดการทำงานของระบบว่าเป็นแบบอัตโนมัติ (Automatic) หรือแมนนวล

(Manual) หากระบบถูกเลือกการทำงานอยู่ในโหมดแมนนวล โหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 จะรอคำสั่งการเปิด และปิดโซเลนอยด์แล้ว แต่หากการทำงานอยู่ในโหมดอัตโนมัติก็จะนำค่าความชื้นในดินที่อ่านได้จากเซนเซอร์มาเปรียบเทียบกับค่าขีดเริ่มความชื้น

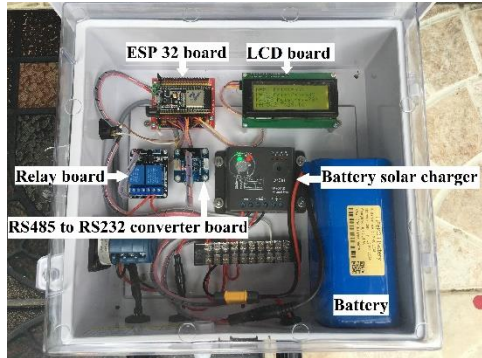
ค่าสุดที่ตั้งไว้ หากค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ต่ำกว่า โหนดเอ็มซียู อีเอสพี 32 ก็จะสั่งให้โซเลนอยด์วาล์ว เปิด และโซเลนอยด์จะปิดการทำงานเมื่อค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์สูงกว่าค่าขีดเริ่มความขึ้นสูงสุดที่ตั้งค่าไว้ แอปพลิเคชันบลิง สามารถแสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากเซนเซอร์ และควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยสัญญาณไวไฟ

2. การออกแบบส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ชุดจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ ประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 12 โวลต์ 50 วัตต์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้เป็นกำลังไฟฟ้า โดยส่งผ่านแรงดันไฟฟ้าไปยังเครื่องประจุไฟฟ้าขนาด 10 แอมแปร์ สำหรับประจุไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 15 แอมแปร์-ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 8

3. การสร้างชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ โดยประกอบอุปกรณ์ของส่วนต่าง ๆ ที่ได้ออกแบบไว้ตามวงจรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 ไดอะแกรมการต่อระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 9 การประกอบส่วนต่าง ๆ ของชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ

การแสดงผลค่าต่าง ๆ ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่จอแสดงผลแอลซีดี ประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ดังนี้ ค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ความเป็นกรดด่าง ความชื้น และอุณหภูมิในดิน ค่าความชื้นต่ำสุด และสูงสุดที่ตั้งไว้สำหรับการเปรียบเทียบกับค่าความชื้นในดินในการทำงานโหมดอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ค่าต่าง ๆ ที่แสดงผลบนจอแอลซีดี

การแสดงผลค่าต่าง ๆ ที่อ่านได้จากเซนเซอร์บนแอปพลิเคชันบลิง โหมดการทำงานของชุดควบคุมการรดน้ำต้นไม้แบบแมนนวลและอัตโนมัติ สถานการณ์ทำงานของโซเลนอยด์วาล์ว ค่าขีดเริ่มความขึ้นต่ำสุด และสูงสุดที่ตั้งไว้ แสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การแสดงผลบนแอปพลิเคชันบลิ่ง

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำระบบรดน้ำอัตโนมัติไปติดตั้งและทดสอบการใช้งาน ณ ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตรปาล์มน้ำมัน บ้านห้วยปลิง ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง ซึ่งได้ผลดังนี้

1. การทดสอบการทำงานของชุดควบคุมการรดน้ำ โดยดำเนินการทดสอบการทำงานทั้งแบบอัตโนมัติและแมนนวล การทดสอบการทำงานแบบอัตโนมัติได้ตั้งค่าขีดเริ่มต่ำสุดของความชื้นในดินที่ 47 เปอร์เซ็นต์ และค่าขีดเริ่มสูงสุดของความชื้นในดินที่ 55 เปอร์เซ็นต์ โดยทดสอบจำนวน 50 ครั้ง พบว่าเมื่อชุดควบคุมการรดน้ำวัดค่าความชื้นในดินได้ 47 เปอร์เซ็นต์ ชุดควบคุมการรดน้ำจะสั่งให้โซเลนอยด์วาล์วเปิดน้ำ และเมื่อวัดค่าความชื้นในดินได้ 55 เปอร์เซ็นต์ชุดควบคุมการรดน้ำจะสั่งให้โซเลนอยด์วาล์วปิดน้ำทั้ง 50 ครั้ง การทดสอบการทำงานแบบแมนนวล โดยทดสอบเปิด และปิดสวิตช์ควบคุมโซเลนอยด์วาล์วจำนวน 100 ครั้ง พบว่าชุดควบคุมการรดน้ำสามารถเปิดและปิด โซเลนอยด์วาล์วได้ทั้ง 100 ครั้ง จึงสรุปได้ว่าชุดควบคุมการรดน้ำสามารถทำงานทั้งในแบบอัตโนมัติ และแมนนวลได้ร้อยละ 100

2. การทดสอบการทำงานแอปพลิเคชันบลิ่ง ในการควบคุมการเปิดและปิดโซเลนอยด์วาล์วของชุดควบคุมการรดน้ำในโหมดการทำงานแบบ แมนนวล โดยทดสอบควบคุมการเปิดและปิดโซเลนอยด์วาล์วจำนวนอย่างละ 50 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 100 ครั้ง พบว่าสามารถสั่งควบคุมการเปิดและปิดโซเลนอยด์วาล์วผ่านทางแอปพลิเคชันบลิ่ง ได้คิดเป็นร้อยละ 100 นอกจากนี้การแสดงผลค่าต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินที่แอปพลิเคชันบลิ่ง ยังสามารถแสดงค่าได้ถูกต้องตรงกับค่าที่แสดงที่จอแสดงผลแอลซีดีของชุดควบคุมการรดน้ำ

3. การทดสอบการกำหนดค่าความชื้นในดิน สำหรับควบคุมการเปิดปิดการรดน้ำในโหมดการทำงานอัตโนมัติ โดยทำการวัดค่าความชื้นในดินที่ระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร ตามคู่มือการติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ในขณะที่รดน้ำ และสังเกตสภาพพื้นที่จนเกิดสภาพน้ำขังบริเวณพื้นผิวดิน เพื่อนำค่าความชื้นที่วัดได้มากำหนดเป็นค่าสูงสุดในการควบคุมปิดโซเลนอยด์วาล์วอัตโนมัติ และวัดค่าความชื้นของดินที่ยังคงเหลืออยู่ เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว 2-3 วัน หลังจากรดน้ำ เพื่อนำค่า

ความชื้นที่วัดได้มากำหนดเป็นค่าต่ำสุดในการควบคุมเปิดโซเลนอยด์วาล์วอัตโนมัติ จากการทดสอบกับสภาพดินในสวนปาล์มของพื้นที่ศึกษาวิจัยที่เป็นดินชุดที่ 26 ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินเหนียว พบว่าค่าความชื้นของดินสูงสุดประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นของดินต่ำสุดประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ สำหรับใช้เป็นค่าในการกำหนดการควบคุมการเปิดและปิดโซเลนอยด์วาล์วอัตโนมัติ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงความชื้นที่พืชต้องการคือ 50 – 69 เปอร์เซ็นต์ ทำให้พืชจะมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ซึ่งหากความชื้นในดินต่ำกว่า 50 แสดงว่าดินขาดน้ำมีความแห้งแล้ง และความชื้นในดินสูงกว่า 69 แสดงว่าดินมีน้ำมาก หรือดินเปียก ซึ่งสามารถทำให้พืชบางชนิดตายได้

4. การทดสอบการรดน้ำภายในสวนปาล์มน้ำมัน โดยทำการวัดค่าความชื้นในดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยจำนวน 5 ตำแหน่ง ประกอบด้วยตำแหน่งมุมทั้ง 4 ด้าน และจุดศูนย์กลาง จำนวน 30 ครั้ง พบว่าค่าความชื้นในดินเฉลี่ยทั้งพื้นที่ศึกษาวิจัยมีความแตกต่างกันเฉลี่ย 6.05 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นในดินเฉลี่ยหลังการรดน้ำทั้งพื้นที่ศึกษาวิจัยมีความแตกต่างกันเฉลี่ย 4.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความชื้นในดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยหลังการรดน้ำเปรียบเทียบกับค่าความชื้นในดินนอกพื้นที่ศึกษาวิจัยที่ระยะห่างประมาณ 15 เมตร มีความแตกต่างกันเฉลี่ย 12.86 เปอร์เซ็นต์

สรุปและอภิปรายผล

การทำงานของชุดควบคุมการรดน้ำทั้งแบบอัตโนมัติและแมนนวล การควบคุมการเปิดและปิดโซเลนอยด์วาล์วของชุดควบคุมการรดน้ำในโหมดการทำงานแบบแมนนวลผ่านทางแอปพลิเคชันลิงก์สามารถทำงานได้ร้อยละ 100 แสดงว่าต้นแบบระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ ส่วนการแสดงค่าต่าง ๆ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ความชื้นกรดต่าง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินที่แอปพลิเคชันลิงก์ สามารถ

แสดงค่าได้ถูกต้องตรงกับค่าที่แสดงที่จอแสดงผลแอลซีดีของชุดควบคุมการรดน้ำ แต่อาจจะมีการแสดงผลที่เล็กละเอียดขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณไวไฟที่เชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตกับชุดควบคุมการรดน้ำ การกำหนดค่าความชื้นในดินสูงสุด และต่ำสุด สำหรับใช้เป็นค่าในการกำหนดการควบคุมการเปิดและปิดโซเลนอยด์วาล์วอัตโนมัติ สำหรับดินชุดที่ 26 ที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินเหนียว มีค่าขีดเริ่มสูงสุดประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ และค่าขีดเริ่มต่ำสุดประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินชุดอื่นจำเป็นต้องทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในแต่ละพื้นที่ การรดน้ำด้วยการควบคุมการเปิดปิดโซเลนอยด์วาล์วอัตโนมัติใช้เวลาประมาณ 15 นาที ทำให้สามารถลดระยะเวลาการรดน้ำโดยใช้แรงงานคนลงได้ ทำให้สามารถใช้แรงงานคนไปทำงานอย่างอื่นภายในสวนได้ สำหรับค่าความชื้นในดินเฉลี่ยหลังการรดน้ำทั้งพื้นที่ศึกษาวิจัยมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเฉลี่ยประมาณ 4.62 เปอร์เซ็นต์ ในพื้นที่ศึกษาซึ่งดินมีคุณลักษณะที่เหมือนกันและไม่มีความลาดเอียงของพื้นที่จึงสามารถใช้งานเซนเซอร์วัดความชื้นในดินเพียงอันเดียวในการวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางพื้นที่ หากนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีลักษณะดินที่แตกต่างกัน หรือมีความลาดเอียงของพื้นที่ไม่เท่ากัน จำเป็นต้องพัฒนาระบบให้สามารถใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินได้หลายอันเพื่อติดตั้งสำหรับวัดในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันด้วย

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไปควรนำค่าอื่น ๆ เช่นความเป็นกรดต่าง ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินมาใช้ในการประมวลผลเพื่อการใส่ปุ๋ยให้กับต้นปาล์มน้ำมัน และบำรุงดินให้มีความสมบูรณ์เหมาะแก่การเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน และควรมีการเปรียบเทียบค่าจากเซนเซอร์ที่นำมาใช้งานกับอุปกรณ์วัดที่ได้มาตรฐานเพื่อควบคุมคุณภาพของระบบ นอกจากนี้ควรวิเคราะห์หาค่าความชื้นในดินแต่ละประเภทที่เหมาะสมกับต้นปาล์มน้ำมันหรือพืชชนิดอื่น ๆ เพื่อที่จะสามารถนำเอาระบบรดน้ำอัตโนมัติไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดาบทำรวจสมนึก โมราศิลป์ และคุณธัญลักษณ์ กำเหนิดฤทธิ์ เจ้าของศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร บ้านห้วยปลิง ต.ราชครูด อ.เมือง จ.ระนอง ที่อนุเคราะห์พื้นที่สวนปาล์มน้ำมันสำหรับการทำวิจัยเพื่อติดตั้งระบบควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ และเก็บข้อมูลประกอบการวิจัย

References

- [1] Manoch Sangsiri. "Blynk: IoT Platform Supporting Imagination for Innovators" [Online]. Available: <https://www.scimath.org/article-technology/item/9820-blynk-iot-platform>. December 15, 2022.
- [2] AB-Maker. "App Blynk Nodemcu esp8266 (Chapter 1 What is Blynk?)" [Online]. Available: <https://www.ab.in.th/article/68/app->. December 15, 2022.
- [3] Kanut Saema and Surachai Saejaw. "Automatic plant watering system," Ind.B. (Technology Computer), Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 2018.
- [4] Bunditpong Sri-amnuay, Sarawut Phangsorn, Weerasit Piticharoenporn and Pimjai Sihanam. "Design of Smart Farm System Using Internet of Things Technology for Lemons : Phetchaburi Province," NMCCON 2019, Nakhon Ratchasima, pp. 808 – 816. March 30, 2019.
- [5] Aditya Naenae, Ekkad Pornnarahas deekul, Nuttakit Jina and Sancha Panphaeng, "Automatic garlic watering system with solar energy and controlled via smartphone," Sci-Tech 18th, Chiang Mai, pp. 774 – 781. February 28, 2020.
- [6] Punitharaja, "Application of IoT in plant watering system," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, Volume 6, Issue 2, pp. 53 – 58, 2019.
- [7] S. Nalini Durga and M. Ramakrishna, "Smart irrigation system based on soil moisture using IoT," *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume 5, Issue 6, pp. 2003 – 2007, 2018.
- [8] M. A. Al-Obaidi, M. A. Hussain Radhi, R. S. Ibrahim and T. Sutikno, "Technique smart control soil moisture system to watering plant based on IoT with arduino UNO," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, Volume 9, Issue 5, pp. 2038 – 2044, 2020.

วิเคราะห์พฤติกรรมในการจอดรถด้วยระบบจอดรถอัจฉริยะ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

ภาณุวัตร อุทัยบาล¹, วนิตา แก่นอากาศ²

^{1,2}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email : panuau@kku.ac.th¹

Received: Nov 3, 2022

Revised: May 11, 2023

Accepted: May 30, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบนวัตกรรมของระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) พร้อมมาตรฐานเทคโนโลยีวิทยุเครือข่ายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Narrow Band Internet of Things: NB-IoT) ในการตรวจสอบสถานะจุดจอดรถว่ามีสถานะว่างหรือไม่ใช้งาน และส่งไปยังฐานข้อมูลบนเทคโนโลยีคลาวด์ (Cloud Technology) และแสดงสถานะการจอดแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันมือถือ ระบบนี้ช่วยให้ผู้ใช้ได้ทราบตำแหน่งจุดจอดรถที่ว่างแบบเรียลไทม์โดยได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ 200 จุดในพื้นที่ศึกษาในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เช่น ในมหาวิทยาลัยขอนแก่น และหน่วยงานราชการในเขตเทศบาลนครขอนแก่น ระบบจอดรถอัจฉริยะนี้ช่วยทำให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมการใช้พื้นที่จอดรถ ซึ่งข้อมูลนี้เป็นประโยชน์ในการจัดสรรพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สร้างรูปแบบการบริหารการจอดรถในวิธีการใหม่ ๆ และการวางแผนการใช้พื้นที่เพื่อสร้างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง, เทคโนโลยีวิทยุเครือข่ายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ, ระบบจอดรถโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

Behavioral Analysis of Parking Behavior with Parking System using Internet of Things Technology

Panuwath Authaibal¹, Wanida Kanarkard²

^{1,2}Computer Engineering, Khon Kaen University

Email : panuau@kku.ac.th¹

Received: Nov 3, 2022

Revised: May 11, 2023

Accepted: May 30, 2023

Abstract

This research has developed an innovative prototype of a smart parking system using Internet of Things (IoT) technology, integrating with the Narrow Band Internet of Things (NB-IoT) standard for low-power wide-area networks, to detect the status of parking lots, whether they are vacant or occupied, and send the data to a database on cloud technology. The status of parking lots can then be displayed in real-time through a mobile application. This system has been installed at 200 locations in the study area of Khon Kaen province, including Khon Kaen University and government offices in the municipality area. This smart parking system helps to understand user behavior and parking patterns. The system also helps generate a new approach to parking service and planning for the use of space and can be beneficial in efficient space allocation and planning for economic growth and environmental impact reduction.

Keywords : Internet of Things (IoT), Narrow Band Internet of Things (NB-IoT), Parking system using Internet of Things technology

บทนำ

การจอดรถเป็นกิจกรรมที่สำคัญในชีวิตประจำวันของผู้คนแต่บ่อยครั้งก็มีปัญหาเกี่ยวกับการหาที่จอดรถ[10] เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่จอดรถไม่เพียงพอ หรือไม่สามารถหมุนเวียนการใช้พื้นที่จอดรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเข้าใช้งานพื้นที่จอดรถตามสถานที่สำคัญต่าง ๆ เช่น สถานีราชการ มหาวิทยาลัย และศูนย์การค้า[11] โดยพื้นที่ดังกล่าวเมื่อมีการใช้บริการมากยิ่งขึ้นทำให้เกิดความต้องการเข้าใช้บริการและความต้องการใช้พื้นที่จอดรถที่มีอยู่จำกัดและมีความต้องการสูงเพื่ออำนวยความสะดวกและแก้ปัญหาแก่ผู้ใช้งานพื้นที่จอดรถ มีหลายงานวิจัยที่พยายามศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้ที่จอดรถ[1, 4, 16] ซึ่งพฤติกรรมของผู้ใช้ที่จอดรถสามารถให้ข้อมูลที่มีค่าเกี่ยวกับการใช้พื้นที่จอดรถ เช่น พื้นที่จอดรถที่ได้รับความนิยมมากขึ้น[19] ช่วงเวลาที่มีความต้องการจอดรถสูง และเวลาที่ผู้ใช้โดยทั่วไปจะจอดรถนานเท่าไร การจะได้มาซึ่งข้อมูลของผู้ใช้ที่จอดรถที่แม่นยำ[2] จึงเป็นที่มาของแนวคิดการพัฒนางานวิจัยนี้ที่ต้องการเก็บข้อมูลโดยคำนึงถึงการพัฒนาอุปกรณ์ที่ดำเนินงานในการเก็บข้อมูลเพื่อช่วยศึกษาพฤติกรรม ภายใต้ทรัพยากรที่จำกัดเพื่อความคุ้มค่าต่อการใช้งานพื้นที่จอดรถ[3,17] ดังนี้

การส่งข้อมูลได้ทำการเลือกเทคโนโลยีวิทยุเครือข่ายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Narrow Band Internet of Thing: NB-IoT) เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์เซนเซอร์ (Sensor) สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ด้วยพลังงานที่ต่ำมาก มีคุณสมบัติสำหรับระบุข้อมูล (Tracking) เนื่องจากเป็นโครงข่ายโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่แล้วในพื้นที่เมืองเขตเทศบาลเมืองโดยมีเสาสัญญาณครอบคลุมจากวิจัยเรื่อง A Review of Smart Parking Using Internet of Things (IoT)[13] ได้แนะนำว่าสถาปัตยกรรมในการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการเก็บข้อมูลต้องออนไลน์อยู่ตลอดเวลา โดยอาศัย

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Thing : IoT)

งานวิจัยชิ้นนี้ได้้นำการแก้ไขกระบวนการประมวลผลข้อมูลโดยใช้บอร์ดควบคุมอาร์ดูโน (Arduino) เนื่องจากมีต้นทุนอุปกรณ์ถูกกว่าอุปกรณ์อื่น และหาได้ง่ายในท้องถื่นโดยแตกต่างจากงานวิจัยเดิมที่มีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ได้แก่ ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi3) ที่มีราคาสูงและการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตรวจจับโลหะ (Inductive Proximity Sensor) ที่เลือกมาพัฒนาเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลวิจัยไม่สามารถใช้ร่วมกันได้ การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อติดตั้งสำหรับเก็บข้อมูลในพื้นที่จอดรถที่ทำการติดตั้งในแต่ละพื้นที่ได้มีการเลือกใช้งานเซนเซอร์เพื่อส่งข้อมูลโดยทำการเลือกเซนเซอร์ที่ดีกว่าเซนเซอร์ Ultrasonic โดยการวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้ เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ (Inductive Proximity Sensor) เนื่องจากเซนเซอร์วัดระยะวัตถุ Ultrasonic วัดได้แค่ระยะทางและเก็บข้อมูลทุกสิ่งที่เข้าใกล้เซนเซอร์ บางวัตถุอาจไม่ใช่รถในเก็บข้อมูล

ดังนั้นจึงเลือกเซนเซอร์ตรวจจับโลหะ (Inductive Proximity Sensor) ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บข้อมูลจริง ๆ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวได้ทำการพัฒนาเพื่อส่งข้อมูลร่วมกับการทำงานส่งข้อมูลผ่านวิทยุเครือข่ายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Narrow Band Internet of Thing: NB-IoT) จากงานวิจัย SVPS: Cloud-based smart vehicle parking system over ubiquitous VANETs[14] ที่ระบุโดยคำนึงถึงการส่งสัญญาณไร้สายด้วยคลื่นวิทยุบนความถี่ 800 - 2100 MHz โดยต้องมีอุปกรณ์ขนาดเหมาะสมกับพื้นที่ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงภายในอุปกรณ์

การเข้าใช้งานในพื้นที่จอดรถที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์เก็บข้อมูลในแต่ละพื้นที่ จะทำการตรวจจับข้อมูล โดยเซนเซอร์ตรวจจับโลหะ (Inductive Proximity Sensor) จะทำการส่งสัญญาณข้อมูล ไปประมวลได้โดยทันที (Real time) ข้อมูลที่ได้มาจะถูกจัดเก็บ โดยส่งไปไว้ในฐานข้อมูลบนเทคโนโลยีคลาวด์ (Cloud Technology) จากนั้นข้อมูลที่ถูกเก็บจะถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมและแนะนำการใช้งาน โดยมีการคาดการณ์แนวโน้มพื้นที่จอดรถที่ว่าง พร้อมทั้งนำเสนอทางเลือก พื้นที่จอดรถที่ว่างในแต่ละสถานที่อื่น ๆ ในระยะเวลาใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมารวบรวมและสร้างเป็นระบบ ที่ช่วยในการสร้างระบบพยากรณ์พื้นที่ว่างในพื้นที่จอดรถให้แม่นยำสูงขึ้นและเกิดการหมุนเวียนทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดความเหมาะสมที่สุด

นอกจากนี้สามารถพยากรณ์และแนะนำพื้นที่จอดรถเพื่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานพื้นที่จอดรถต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานพื้นที่จอดรถ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

ระเบียบวิธีวิจัย

ดำเนินการศึกษากระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล เลือกกรรมวิธีวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาและสร้างเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลมาเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรม ดังต่อไปนี้

1. ทรัพยากรที่ใช้ในการทำการวิจัย ได้แก่ เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ (Inductive Proximity Sensor) พร้อมแผงวงจรควบคุม โดยมีคุณสมบัติตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะระยะไม่เกิน 1.5 เมตร โดยมีการเขียนชุดคำสั่งควบคุมให้เซนเซอร์ทำการส่งข้อมูลไปยังแผงวงจรควบคุม โดยมีหลักการดังนี้ เมื่อตรวจจับวัตถุที่เป็นประเภทโลหะ ในระยะไม่เกิน 1.5 เมตร จะทำการส่งข้อมูล และตีกว่าเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ Ultrasonic โดยทำงานสัมพันธ์กับเทคโนโลยีวิทยุเครือข่ายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Narrow Band Internet of Thing: NB-IoT) โดยมีคุณสมบัติของอุปกรณ์มีดังนี้ มีอายุแบตเตอรี่อยู่ที่ 5 ปี เมื่อใช้กับแบตเตอรี่ ขนาด 5 วัตต์ต่อชั่วโมง ระยะการสื่อสารไกลที่สุดถึง 10 กิโลเมตร จากตัวอุปกรณ์ถึงสถานที่ติดตั้งเครื่องรับ-ส่งสัญญาณ (Cell site) ที่ใกล้ที่สุด โดยสรุปเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเครือข่ายสัญญาณไร้สาย

ลำดับ	ประเภทเครือข่ายไร้สาย	อัตราการใช้พลังงาน	อัตราในการส่งข้อมูล	ช่องความถี่	ระยะทาง
1.	Wi-Fi	สูง	11 mbps - 1 gbps	2.4 Ghz, 5 GHz	10 - 200 เมตร
2.	4G	ปานกลาง - สูง	72 mbps - 100 mbps	850/900/1900/2100 GHz	1 - 5 กิโลเมตร
3.	LoRaWAN	ต่ำ	100 bytes - 200 Kbps	920-925 MHz	1 - 15 กิโลเมตร
4.	NB-IoT	ต่ำ	20 kbps (Single-tone)	500MHz-1GHz	1 - 10 กิโลเมตร

จากตารางที่ 1 ได้ทำการเลือกเครือข่ายเทคโนโลยีวิทยุเครือข่ายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Narrow Band Internet of Thing: NB-IoT) ซึ่งเป็นเครือข่ายสัญญาณไร้สายที่มีอยู่แล้วในท้องถิ่น เนื่องจากเป็นโครงข่ายโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่แล้วในพื้นที่เมือง เขตเทศบาลเมือง โดยมีเสาสัญญาณครอบคลุมและได้รับการสนับสนุนโดยมีการให้บริการ 2 เครือข่ายหลักภายในประเทศ คือ AIS และ True เป็นผู้ให้บริการและได้รับการสนับสนุนสัญญาณจากบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) (AIS) ที่เป็นผู้สนับสนุนและให้ใช้โครงข่ายแบบอิสระ ในส่วนโครงข่าย LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) จะต้องมีการติดตั้งสถานีสำหรับส่งสัญญาณโดยเฉพาะและต้องมีการขออนุญาตเจ้าของพื้นที่ที่เป็นอาคารตึกสูง

2. กลุ่มตัวอย่างข้อมูล จำนวนทั้งหมด 200 จุด โดยจะใช้ข้อมูลจากพื้นที่ ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ พฤศจิกายน 2562 - ธันวาคม 2564 รวมเป็นทั้งสิ้น 2 ปี 2 เดือน ซึ่งการเลือกสถานที่เก็บข้อมูลเป็นหน่วยงานราชการที่มีให้บริการประชาชนจำนวนมาก และเป็นเครือข่ายความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยขอนแก่น แสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงสถานที่ติดตั้ง

ลำดับ	สถานที่	จำนวน (ชุด)
1	ศาลากลางจังหวัดขอนแก่น	19
2	เทศบาลนครขอนแก่น	20
3	สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยขอนแก่น	30
4	โรงพยาบาลศรีนครินทร์	54
5	สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น	16
6	สำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	16
7	ที่ว่าการอำเภอเมืองขอนแก่น	20
8	องค์การบริหารส่วนจังหวัดขอนแก่น	25
รวมทั้งสิ้น		200

จากตารางที่ 2 จำนวนและตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์ถูกกำหนดตามความต้องการของหน่วยงานราชการที่ต้องการให้มีการหมุนเวียนการใช้งานที่จอดรถในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีการติดตั้งในจำนวนที่ไม่เท่ากัน ได้แก่ ศาลากลางจังหวัดขอนแก่น เทศบาลนครขอนแก่น ที่ว่าการอำเภอเมืองขอนแก่น และองค์การบริหารส่วนจังหวัดขอนแก่น โดยสถานที่ดังกล่าวต้องขออนุญาตไปทางศาลากลาง จังหวัดขอนแก่น โดยมีคำสั่งให้ติดตั้งไม่เกิน 25 จุดต่อ 1 พื้นที่ โดยคิดสัดส่วนจำนวนผู้ใช้บริการที่มาติดต่อราชการตามขนาดของพื้นที่ เช่น ที่ว่าการอำเภอเมือง และ

เทศบาลนครขอนแก่น มีจำนวนจุดจอดรถที่มีอยู่เดิมมีจำนวนมาก โดยคิดอัตราส่วนจุดติดตั้งไม่เกินร้อยละ 15 ของพื้นที่จอดรถทั้งหมด อีกทั้งเป็นข้อจำกัดการให้อนุญาตของแต่ละพื้นที่ จึงทำการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อไม่ให้กระทบต่อผู้ใช้บริการส่วนสถานที่อื่น ๆ ได้แก่ สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยขอนแก่น โรงพยาบาลศรีนครินทร์ และสำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถดำเนินการติดตั้งได้ทันที ตามจำนวนผู้ใช้บริการจุดจอดรถและสอดคล้องกับขนาดของพื้นที่ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 หน่วยงานความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์เป็นพื้นที่ศึกษา

3. เครื่องมือออกแบบหน้าต่างแสดงผล โดยเลือกใช้ภาษาโปรแกรมดังนี้

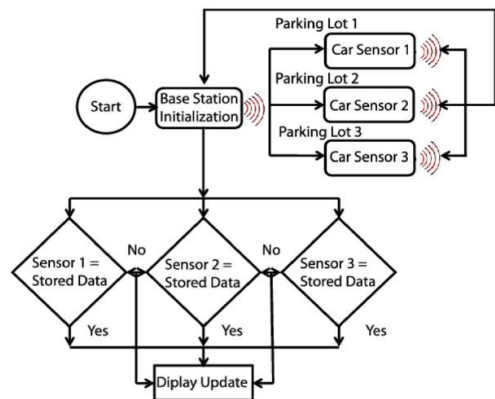
- ภาษาโปรแกรม ได้แก่ Node JS, PHP, Python
- ภาษาจัดการฐานข้อมูล ได้แก่ SQL
- ภาษาแสดงผล ได้แก่ HTML, CSS
- โปรแกรม Microsoft Power BI เพื่อแสดงผลในรูปแบบ Data Visualization

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานจุดจอดรถ โดยใช้เซนเซอร์ในการเก็บข้อมูลการใช้พื้นที่จอดรถและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยนำข้อมูลเชิงปริมาณมาใช้ในการวิเคราะห์สถิติพรรณนา ประกอบด้วย ร้อยละ (Percentage) ค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum)

ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาได้แนวคิดหรือผังกระบวนการทำงานของเซนเซอร์ โดยมีขั้นตอนเริ่มต้นเมื่อมีการตรวจพบวัตถุ เซนเซอร์จะส่งสถานะว่าไม่ว่าง ทำการส่งข้อมูลและสุดท้ายคือการจัดเก็บ เมื่อทำการจัดเก็บก็จะประมวลผลและนำมาแสดงผล โดยการทำงานจะวนซ้ำไปอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Smart Parking Guidance, Monitoring and Reservations[7] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการทำงานของเซ็นเซอร์

นอกเหนือจากนั้นจะมีการออกแบบสถาปัตยกรรมการส่งข้อมูล โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of thing : IoT) ผ่านเครือข่ายเทคโนโลยีวิทยุเครือข่ายไร้สายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Narrow Band Internet of Thing : NB-IoT) แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการตรวจพบวัตถุประเภทโลหะ โดยเซนเซอร์จะทำการส่งข้อมูลผ่าน

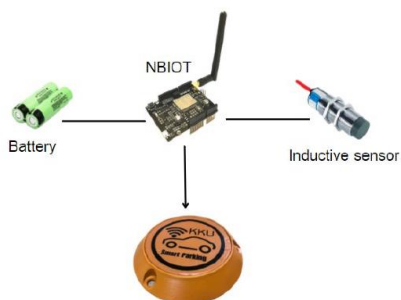
บอร์ดควบคุม โดยต้องมีเสาสัญญาณบริเวณนั้นเพื่อเชื่อมโยงกับระบบ ฐานข้อมูลบนเทคโนโลยีคลาวด์ (Cloud Technology) หลังจากนั้นจะทำการจัดเก็บและประมวลผล การพัฒนาอุปกรณ์เซนเซอร์ สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง SVPS: Cloud-based smart vehicle parking system over ubiquitous

VANETS[14] ทำการทดลองส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายสัญญาณไร้สายด้วยคลื่นวิทยุบนความถี่ 800 - 2100 MHz โดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายสัญญาณผู้ให้บริการในประเทศไทย คือ บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) (AIS) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังแนวคิดการทำงานของระบบผ่านเครือข่ายไร้สาย

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เซนเซอร์โดย สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[12] และเรื่อง Parking Survey Made Efficient in Intelligent Parking Systems[5] กล่าวถึงการพัฒนาอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูล ประกอบด้วย บอร์ดควบคุม แหล่งจ่ายพลังงาน และเซนเซอร์ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงองค์ประกอบของลักษณะเซนเซอร์ใช้ในการเก็บข้อมูล

การศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูลพื้นที่จอดรถประกอบด้วยอุปกรณ์ โดยสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

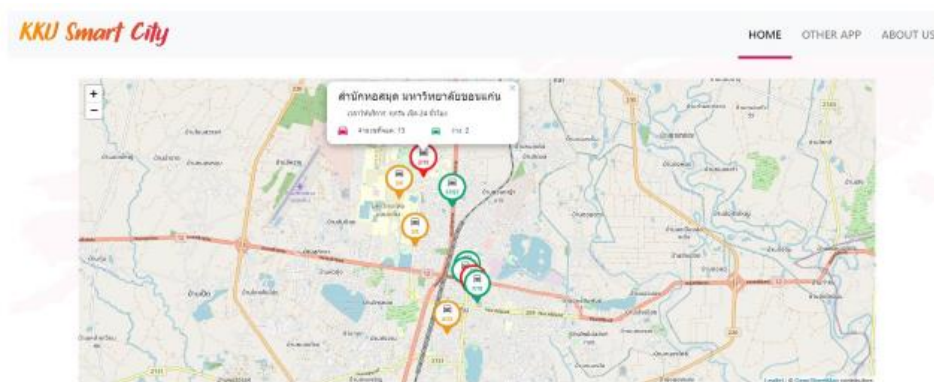
ตารางที่ 3 รายการอุปกรณ์

ลำดับ	รายการ	จำนวน (ชุด)
1	บอร์ดส่งข้อมูล (NB-IOT)	1
2	เซนเซอร์ตรวจจับโลหะ (Inductive Proximity Sensor)	1
3	แบตเตอรี่ ขนาด 10800 mAh	6
4	โครงเหล็ก	1
5	พลาสติกครอบ	1
6	อุปกรณ์อื่น ๆ	1

จากตารางที่ 3 แสดงถึงส่วนประกอบในการจัดทำอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบ เซนเซอร์ตรวจจับและส่งสัญญาณข้อมูลผ่านบอร์ดควบคุมเมื่อทำการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลและติดตั้งจึงได้จัดทำแอปพลิเคชันเพื่อการแสดงผลให้

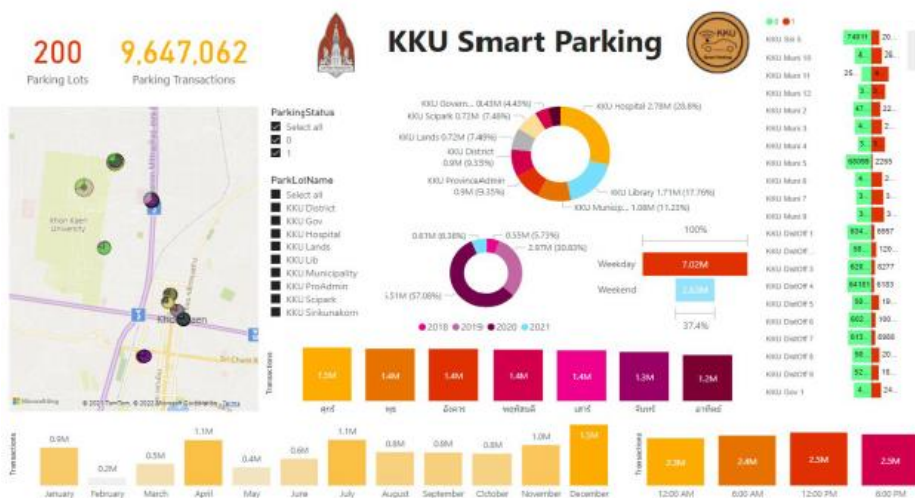
สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Parking Survey Made Efficient in Intelligent Parking Systems[6] มีการประมวลผลและแสดงผลข้อมูลแบบทันทีโดยสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง A Real-Time Parking Prediction System for Smart Cities[18] แสดง

ให้เห็นว่าเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูล จะปรากฏข้อมูล ดังนี้ ชื่อสถานที่ พิกัด GPS และสถานะข้อมูล โดยข้อมูลดังกล่าวจะสัมพันธ์กับเวลา ณ ขณะนั้น ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 หน้าแสดงผลของข้อมูล

ผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้งานได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ ทำการติดตั้ง โดยจัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูล หลังจากนั้นได้ทำการ นำข้อมูลมาแสดงผลในรูปแบบหน้าต่างข้อมูลประเภทกราฟ และ Data Visualization เพื่อนำเสนอข้อมูลการใช้งานจุดจอดรถทั้งหมด ตามจุดติดตั้งในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ทั้งหมด 200 จุด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2564 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงข้อมูลการใช้จุดจอดรถ

จากการเก็บข้อมูลการใช้จุดจอตลอดได้แบ่งการใช้ตามสถานที่ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูล โดยสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4 จำนวนใช้งานตามสถานที่

ลำดับ	สถานที่	จำนวนครั้งในการใช้งาน	คิดเป็นร้อยละ
1	โรงพยาบาลศรีนครินทร์	2,778,093	28.8
2	สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัย	1,713,663	17.76
3	ที่ว่าการอำเภอเมืองขอนแก่น	1,083,432	11.23
4	เทศบาลนครขอนแก่น	902,404	9.35
5	องค์การบริหารส่วนจังหวัดขอนแก่น	722,288	9.33
6	สำนักงานอธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น	721,213	7.49
7	สำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น	427,025	7.48
8	ศาลากลางจังหวัดขอนแก่น	398,010	4.43
รวม		9,647,062	100

จากตารางที่ 4 แสดงจำนวนครั้งการใช้งานตามสถานที่ จากการเก็บข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูล สรุปข้อมูลการใช้งานจุดจอตลอดมากที่สุด คือ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คิดเป็นร้อยละ 28.8 รองลงมาคือ สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยขอนแก่น คิดเป็นร้อยละ 17.76 ถัดมาคือ ที่ว่าการอำเภอเมืองขอนแก่น คิดเป็นร้อยละ 11.23 และพื้นที่จอตลอดว่างน้อยที่สุดคือ ศาลากลางจังหวัดขอนแก่น คิดเป็นร้อยละ 4.43 แสดงให้เห็นว่าการใช้จุดจอตลอดมากที่สุด คือ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ทำให้ทราบว่าพฤติกรรมการใช้พื้นที่จอตลอดจะสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งาน คือโรงพยาบาลมีความสำคัญในการใช้งานมากกว่าพื้นที่หน่วยงานราชการอื่น ๆ นอกจากนี้ได้ทำการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เป็นรอบเดือน ดังนี้

ตารางที่ 5 จำนวนใช้งานแยกสัดส่วนตามเดือน

เดือน	จำนวนครั้ง	คิดเป็นร้อยละ	พื้นที่ว่างร้อยละ	พื้นที่ไม่ว่างร้อยละ
มกราคม	905,855	9.39	8.72	8.30
กุมภาพันธ์	189,654	1.97	3.01	8.82
มีนาคม	518,773	5.38	7.24	8.43
เมษายน	1,087,762	11.28	12.15	7.99
พฤษภาคม	436,833	4.53	5.95	8.55
มิถุนายน	637,602	6.61	7.56	8.40
กรกฎาคม	1,093,919	11.34	11.47	8.05
สิงหาคม	800,024	8.29	4.87	8.65
กันยายน	789,585	8.18	4.13	8.72
ตุลาคม	763,164	7.91	7.74	8.39
พฤศจิกายน	969,187	10.05	10.68	8.12
ธันวาคม	1,454,722	15.08	16.47	7.59

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าการแสดงพื้นที่ว่างโดยมีการนำค่าข้อมูลจากอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูลโดยส่งค่าข้อมูลคือ 0 โดยเมื่อไม่มีวัตถุเป็นโลหะมาคล่อมเซนเซอร์และค่าข้อมูลคือ 1 คือเมื่อมีวัตถุเป็นโลหะมาคล่อมเซนเซอร์ จะมีการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับเก็บข้อมูล สรุปเดือนที่มีการใช้น้อยที่สุด คือ เดือนธันวาคม คิดเป็นร้อยละ 16.47 รองลงมาคือเดือนเมษายน และเดือนที่ใช้งานจุดจอตลอดมากที่สุดคือ เดือนกุมภาพันธ์ คิดเป็นร้อยละ 8.82 รองลงมาคือ เดือนกันยายน

นอกจากนี้ได้ทำการนำข้อมูลมาแยกเป็นตามวันในสัปดาห์ ดังนี้

ตารางที่ 6 แยกตามวันในสัปดาห์

วัน	จำนวนครั้ง	คิดเป็นร้อยละ	พื้นที่ว่างร้อยละ	พื้นที่ไม่ว่างร้อยละ
จันทร์	1,335,580	13.84	15.5	11.83
อังคาร	1,416,008	14.68	14.9	14.41
พุธ	1,420,961	14.73	14.2	15.34
พฤหัสบดี	1,396,286	14.47	14.2	14.79
ศุกร์	1,451,659	15.05	14.1	16.20
เสาร์	1,377,262	14.28	14.1	14.52
อาทิตย์	1,249,306	12.95	13.0	12.91

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่า วันที่มีจุดจอดรถว่างที่สุดคือ วันจันทร์ คิดเป็นร้อยละ 15.5 และวันที่มีจุดจอดรถไม่ว่างที่สุดคือ วันศุกร์ คิดเป็นร้อยละ 16.20

นอกจากนี้ได้นำข้อมูลมาแบ่งเป็นช่วงเวลา ดังนี้

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลตามช่วงเวลา

เวลา	จำนวน ครั้ง	ร้อยละ	พื้นที่ว่าง ร้อยละ	พื้นที่ไม่ว่าง ร้อยละ
06.00 - 12.00	2,538,940	24.79	22.06	28.11
12.00 - 18.00	2,265,704	23.49	28.18	32.23
18.00 - 00.00	2,451,293	25.41	28.27	21.91
00.00 - 06.00	2,391,125	26.32	21.49	17.75

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นทั้งหมด 4 ช่วงเวลา โดยช่วงเวลาที่มีการใช้จุดจอดรถว่างที่สุดคือเวลา 18.00 – 00.00 น. คิดเป็นร้อยละ 28.27 และช่วงเวลาที่มีการใช้จุดจอดรถไม่ว่างที่สุดคือเวลา 12.00 – 18.00 น.

สถานที่ที่ให้บริการสำคัญ ๆ มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับข้อมูลเซนเซอร์ เช่น สถานที่ที่มีการใช้บริการมากที่สุด คือโรงพยาบาล มีการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ แต่บางจุดที่ให้บริการ สำคัญ ๆ มีการใช้บริการพื้นที่น้อย เนื่องจากปัจจัย สำคัญคือ เป็นบริเวณพื้นที่สวนและให้บริการเพียงชั่วคราวในระยะสั้น ๆ โดยจะสอดคล้องกับการใช้งานจริงคือโรงพยาบาลจะมีการใช้งานอย่างหนาแน่น เดือน เมษายน จากข้อมูลวิเคราะห์นี้ทำให้ทางโรงพยาบาลทราบความต้องการการใช้พื้นที่ได้แม่นยำมากขึ้น จึงได้มีการเพิ่มนโยบายขยายการให้บริการพื้นที่เพิ่มเติมเป็นการเฉพาะกิจในช่วงเวลาและเดือนที่พบการใช้งานสูง โดยได้ขอความอนุเคราะห์ของพื้นที่คณะฯ ที่อยู่ใกล้เคียงให้กับผู้รับบริการของโรงพยาบาล ซึ่งในช่วงเวลา

ดังกล่าวคณณนั้นไม่ได้มีความจำเป็นเนื่องจากอยู่ในช่วงระหว่างปิดเทอม ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าระบบจุดรถอัจฉริยะสามารถให้ข้อมูลในการตัดสินใจกับผู้บริหารและนำมาใช้ในการวางแผนยุทธศาสตร์การบริหารพื้นที่จอดรถ

สรุปและอภิปรายผล

ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งผ่านเครือข่ายเทคโนโลยีวิทยุเครือข่ายบริเวณกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Narrow band Internet of Things Things : NB-IoT) เนื่องจากเป็นโครงข่ายโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่แล้วในพื้นที่เมือง โดยมีเสาสัญญาณครอบคลุมและได้รับการสนับสนุนโดยมีการให้บริการ เครือข่ายหลักภายในประเทศ ได้รับการสนับสนุนสัญญาณจากบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) (AIS) ที่เป็นผู้สนับสนุนและให้ใช้โครงข่ายแบบอิสระ แทนที่จะเลือกใช้โครงข่าย LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) ซึ่งจะต้องมีการติดตั้งสถานีสำหรับส่งสัญญาณโดยเฉพาะและต้องมีการขออนุญาตเจ้าของพื้นที่ที่เป็นอาคารตึกสูง และมีการลงทุนในส่วนอุปกรณ์ค่อนข้างสูง ทำให้ระบบจุดรถอัจฉริยะของงานวิจัยนี้สามารถช่วยให้การจอดรถเป็นเรื่องง่ายและสะดวกมากขึ้น ช่วยลดเวลาในการค้นหาที่จอดรถ และช่วยค้นหาพื้นที่จอดรถที่ใกล้เคียงเพื่อช่วยในการหมุนเวียนทรัพยากรการใช้พื้นที่ที่มีอย่างจำกัด และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ยังสามารถสะท้อนพฤติกรรมของผู้ใช้พื้นที่จอดรถว่ามีรถอยู่ในบริเวณดังกล่าว ปริมาณเท่าไร โดยแต่ละพื้นที่ แยกเป็นบริเวณต่าง ๆ ในแต่ละจุด พื้นที่จอดรถที่ใช้งานมากที่สุด ซึ่งความสำเร็จที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยนี้ได้รับการตอบรับจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่ให้ความสนใจที่จะนำไปติดตั้งการใช้งาน โดยได้มีการขยายผลไปติดตั้งที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้ก็ยังมีข้อจำกัดบางเรื่อง ที่พบสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความผิดพลาดของการส่งข้อมูลผ่าน

สัญญาณไร้สาย และบางพื้นที่มีสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลต่อการรบกวนการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กที่ส่งผลต่ออุปกรณ์เซ็นเซอร์ การปรับปรุงและพัฒนางานในอนาคต สามารถแก้ไขได้โดยการส่งซ้ำของข้อมูล[8] และการวิเคราะห์ภาพการใช้พื้นที่ผ่านกล้องวงจรปิดในบริเวณดังกล่าว หรือการนำเอาเทคโนโลยีเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning)[15] มาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์โอกาสที่จะเกิดการใช้พื้นที่ที่ว่าง เพื่อช่วยให้การวางแผนการใช้พื้นที่ให้มีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัย “วิเคราะห์พฤติกรรมในการจอดรถด้วยระบบจอดรถอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง” เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยความช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาจากศาสตราจารย์ ดร. วนิตา แก่นอากาศ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ปรึกษาที่ได้ให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำและชี้แนะแนวความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการศึกษาบทความวิจัยนี้สำเร็จเรียบร้อยตามวัตถุประสงค์ และหน่วยงานเครือข่ายความร่วมมือที่ให้ความอนุเคราะห์ติดตั้งอุปกรณ์ และแนะนำให้ผู้ใช้บริการของหน่วยงานเข้าใช้งานระบบจอดรถอัจฉริยะ

References

- [1] Ajeng, Carolina, and Tae-Hyoung Gim. “Analyzing On-Street Parking Duration and Demand in a Metropolitan City of a Developing Country: A Case Study of Yogyakarta City, Indonesia.” *Sustainability*, vol. 10, no. 3, p. 591, Feb. 2018, <https://doi.org/10.3390/su10030591>.
- [2] Al- Turjman, Fadi, and Arman Malekloo. “Smart Parking in IoT-Enabled Cities: A Survey.” *Sustainable Cities and Society*, vol.49, p. 101608, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101608>.
- [3] Baros, Jan, et al. “Development of Application for Control of SMART Parking Lot.” *IFAC- PapersOnLine*, vol. 52, no. 27, pp. 19– 26, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.726>.
- [4] Barter, Paul A. “Parking Requirements in Some Major Asian Cities.” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2245, no. 1, pp. 79– 86, 2011, <https://doi.org/10.3141/2245-10>.
- [5] Chen, Na, et al. “Parking Survey Made Efficient in Intelligent Parking Systems.” *Procedia Engineering*, vol.137, pp. 487– 95, Jan. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.284>.
- [6] Faheem, et al. “A Survey of Intelligent Car Parking System.” *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 11, no. 5, pp. 714– 26, Oct. 2013, [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(13\)71580-3](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(13)71580-3).
- [7] Kottb, Amir O., et al. *Smart Parking Guidance, Monitoring and Reservations: A Review*. University of Liverpool, 2017, <http://dx.doi.org/10.1109/mits.2017.2666586>.
- [8] Lan, Kun-Chan, and Wen-Yuah Shih. “An Intelligent Driver Location System for Smart Parking.” *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 5, pp. 2443– 56, Apr. 2014, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.09.044>.

- [9] Li, Bo, et al. "MADM- Based Smart Parking Guidance Algorithm." *PLOS ONE*, vol.12, no.12, p. e0188283, Dec. 2017, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188283>.
- [10] Lynn, Theo, and Charles Wood. "Smart Streets as a Cyber-Physical Social Platform: A Conceptual Framework." *Sensors*, vol. 23, no. 3, p. 1399, Jan. 2023, <https://doi.org/10.3390/s23031399>.
- [11] Parmar, Janak, et al. "Study on Demand and Characteristics of Parking System in Urban Areas: A Review." *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 7, no. 1, pp. 111– 24, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.09.003>.
- [12] Perković, T., et al. "Smart Parking Sensors: State of the Art and Performance Evaluation." *Journal of Cleaner Production*, vol. 262, p. 121181, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121181>.
- [13] Rupani, Sahil, and Nishant Doshi. "A Review of Smart Parking Using Internet of Things (IoT)." *Procedia Computer Science*, vol. 160, pp. 706– 11, Jan 2019, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.023>.
- [14] Safi, Qamas Gul Khan, et al. "SVPS: Cloud- Based Smart Vehicle Parking System over Ubiquitous VANETs." *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 138, pp. 18– 30, June 2018, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.03.034>.
- [15] Sai Sree, Gurralla, et al. "An Analysis of Intelligent Parking System Using Artificial Intelligence for IoT Applications." *Advances in Transdisciplinary Engineering*, edited by Kvs Ramachandra Murthy et al., IOS Press, 2023, <https://doi.org/10.3233/ATDE221303>.
- [16] Thanh Truong, Thi My, and An Minh Ngoc. "Parking Behavior and the Possible Impacts on Travel Alternatives in Motorcycle- Dominated Cities." *Transportation Research Procedia*, vol. 48, pp. 3469– 85, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.105>.
- [17] Truong, Thi My Thanh. Impacts of Digitalisation on Travel Behaviour in Hanoi City Centre. 2021, p. 040004, <https://doi.org/10.1063/5.0070725>.
- [18] Vlahogianni, Eleni I., et al. "A Real-Time Parking Prediction System for Smart Cities." *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 2, pp. 192– 204, Jan. 2016, <https://doi.org/10.1080/15472450.2015.1037955>.
- [19] Zhang, Junyi, and Shenjing He. "Smart Technologies and Urban Life: A Behavioral and Social Perspective." *Sustainable Cities and Society*, vol. 63, p. 102460, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102460>.

ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

อนุพงษ์ ติตะ

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email : t.anupong@kkumail.com

Received: Nov 3, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: Feb 24, 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นนวัตกรรมคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากขยะทั่วไป เพื่อนำขยะอิเล็กทรอนิกส์ไปจัดการอย่างถูกวิธี ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ใช้หลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก ในการจำแนกขยะที่เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ออกจากขยะทั่วไป โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ เพื่อหมุนเปิดช่องให้ขยะตกลงที่ถูกต้อง ภายในถังขยะมีการวัดระดับของขยะทั้งสองประเภท นับจำนวนขยะวัดอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งและส่งข้อมูลผ่านระบบ NB-IOT เพื่อจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล ระบบแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์แสดงข้อมูล ระดับของขยะ จำนวนขยะที่เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะทั่วไป ตำแหน่งที่ตั้งของถังแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ อุณหภูมิภายใน ผ่านเว็บไซต์ แอปพลิเคชัน สามารถนำมาวิเคราะห์ ออกแบบการจัดเก็บขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดสอบนำขยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน ทำการทดลอง ทั้งหมด 67 ชิ้น ความแม่นยำ ร้อยละ 89.5 ระบบสามารถตรวจขยะที่มีขนาดกลางขึ้นไป ไม่สามารถตรวจสอบขยะที่มีขนาดเล็ก เช่น หูฟังแบบสมอลทอร์ค ได้เนื่องจากปริมาณโลหะไม่สามารถเกิดการเหนี่ยวนำ จำเป็นต้องใช้วงจรเหนี่ยวนำที่สูงขึ้น

คำสำคัญ : คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์, อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง, ระบบแยกขยะ, ขยะอิเล็กทรอนิกส์, การเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก

Electronic Waste Segregation System

Anupong Tita

Faculty of Engineering, Khonkean University

Email : t.anupong@kkumail.com

Received: Nov 3, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: Feb 24, 2023

Abstract

This article presents the electronic waste separation system. It is an innovation for separating electronic waste from other types of waste to properly destroy it later. The electronic waste separation system uses magnetic induction theory to facilitate the separation of electronic waste from other types of waste. The Servo motor will spin and open an outlet for waste to correctly fall into. Inside the bins, there is a measure of the level of both types of waste, counting amount of waste, measuring temperature. Which controls the work with the Internet of Things technology and sends data through the NB-IOT system to store data in a database. The e-waste sorting system shows the level of waste, the amount of e-waste, general waste, and the location of e-waste sorting bins. Internal temperature via application website can be analyzed and designed for efficient waste collection. In the experiment, 67 pieces of random waste were tested. The accuracy is approximately 89.5%. However, the system is more suitable for medium size waste while being unable to identify smaller-size waste such as earbud headphones or Smalltalk. The reason behind this limitation is the fact that the quantity of metal was too little and unable to facilitate induction. Therefore, a stronger induction circuit is required.

Keywords : Electronic waste sorting, Internet of all things, Waste separation system, Electronic waste, Magnetic induction

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างมาก มีผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นจำนวนมาก ความต้องการใช้งานเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์รุ่นเก่า ไม่ตอบโจทย์ต่อการใช้งาน ก่อให้เกิดเป็นซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทย มีขยะอันตรายที่เกิดจากชุมชน 6.38 แสนตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2560 ร้อยละ 3.2 โดยร้อยละ 65 ของขยะอันตราย เป็นซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือขยะอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 4.14 แสนตัน[1] และมีแนวโน้มปริมาณของขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นในทุกปี เป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญอย่างมาก ขยะเหล่านี้สามารถสร้างมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตได้

การกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นขั้นตอนสำคัญ ในการลดมลพิษและสารพิษ เนื่องจากขยะมีสารโลหะเป็นส่วนประกอบ เช่น ตะกั่วปรอท ทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น ยังรวมถึงสารที่เป็นพิษตกค้างยาวนาน[2] สารโลหะเหล่านั้น ส่งผลกระทบอย่างมาก หากการกำจัดไม่ถูกวิธี เช่น การเผาแยกเพื่อส่วนที่เป็นโลหะ การแช่น้ำกรด เป็นต้น ประเทศไทยให้ความสำคัญ ในการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยรัฐบาลได้ออกนโยบายจัดการขยะเหล่านี้ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ไม่เพียงแต่สร้างปัญหาให้แก่สิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่สามารถนำไปแปรใช้ใหม่ สร้างมูลค่าเพิ่ม จากชิ้นส่วนประกอบของขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นโลหะ

การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่จะช่วยลดมลพิษและสารพิษในสิ่งแวดล้อม เพราะการแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นการแยกขยะที่อันตรายออกจากขยะทั่วไป ป้องกันไม่ให้เกิดการกำจัดอย่างผิดวิธีและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งสามารถนำไปแปรใช้ใหม่ เพื่อสร้างมูลค่าการจัดการขยะให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ในการตรวจจับขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป งานวิจัยของ[10] นำเทคโนโลยี Inductive Sensor และ Color Sensor ใช้สำหรับการคัดแยกและเก็บ

ข้อมูลผ่าน Micro SD Card งานวิจัยของ[12] ใช้เทคโนโลยี RFID ติดทุกผลิตภัณฑ์และส่งข้อมูลระบบ GSM ไปยังฐานข้อมูล และแสดงผลผ่านมือถือ งานวิจัย[14] แยกขยะออกเป็น 4 ประเภท โดยเซ็นตรวจจับโลหะ เซ็นเซอร์ตรวจจับกระจก laser และ LDR ซึ่งใช้มอเตอร์สำหรับการปรับทิศทางการตกลงช่องของขยะ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการตอบโต้ปัญหา ขั้นตอนการคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยหลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวด(Inductive Proximity) [13] เซอร์โวมอเตอร์สำหรับการปรับทิศทางการตกของขยะ วัดอุณหภูมิ วัดปริมาณระดับขยะ ภายในถังขยะและนำเทคโนโลยี NB-IoT[15] ในการควบคุมและส่งข้อมูล ระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์แสดงข้อมูลผ่านเว็บไซต์แอปพลิเคชัน และสามารถดูข้อมูลแบบปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ ให้สามารถนำขยะอิเล็กทรอนิกส์กลับไปใช้ใหม่ได้
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ขยะอิเล็กทรอนิกส์

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ (E-waste หรือ Electronic waste) หมายถึง ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ ไฟฟ้าหรือผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ได้ใช้งานหรือหมดอายุการใช้งาน กรมควบคุมมลพิษใช้คำว่า “ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์” (Waste Electrical and Electronic Equipment หรือ WEEE)[3] ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแบ่งตามลักษณะได้ 10 ประเภท[4]

การกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยการฝังกลบหรือการเผาทำลาย เป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากจะส่งผลให้สารพิษรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม เกิดการตกค้างของสารพิษและสะสม เกิดผลกระทบต่อ

คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งมีถื้อ 1 เครื่อง รวมกับอุปกรณ์เสริม สามารถสร้างก๊าซ CO₂e จำนวน 57 กิโลกรัม ภายใน 3 ปี[5] สารพิษที่เกิดจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ สามารถก่อให้เกิด Carbon footprint[6] ในแต่ละโลหะ ดังตารางที่ 1 คอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง มีส่วนผสมของโลหะหลายชนิด ซึ่งในตารางที่ 2 จะแสดงการเกิด carbon footprint ของคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 1 ปริมาณการปล่อยมลพิษต่อโลหะใน tCO₂[6]

Metal	1 (Pri Min)	2a (Ma- nIn)	2b (Me- chin)	2c (Ma- nEU)	2d (Me- chEU)
Steel	2,04	0,59	0,6	0,38	0,39
Aluminium	10,02	0,87	0,94	0,75	0,82
Lead	3,2	9,16	13,3	9,5	13,64
Nickel	19,53	4,76	6,743	4,66	6,65
Copper	6,4	1,21	1,5	0,98	1,21
Gold	16991	712,44	1337,17	690,28	1307,7
Silver	144	20,1	40,52	19,47	39,63
Palladium	9380	208,25	734,71	201,78	718,52

ตารางที่ 2 ปริมาณการปล่อยมลพิษใน tCO₂ ของคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง[6]

Scenario	1	2a	2b	2c	2d	3(Refurb.)
Emissions in tCO ₂	0.0256	0.005	0.0055	0.0035	0.004	0.00079

กระบวนการแปรใช้ใหม่ของขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นกระบวนการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ที่เป็นส่วนผสมของแผงวงจรควบคุมการทำงาน (PCB) ที่มีส่วนผสมของโลหะจำนวนมาก[7] โดยใช้กรดสกัดโลหะออกจากแผงควบคุม[8] ซึ่งคอมพิวเตอร์มีส่วนประกอบภายในแผงวงจรถึง 250 กรัม/ตัน และมีแผงเลเดียม 110 กรัม/ตัน[9]

2. การตรวจจบบั๊กขยะอิเล็กทรอนิกส์

การตรวจจบบั๊กขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวด เนื่องจากขยะมีโลหะเป็นส่วนประกอบ วิจัยนี้ได้ใช้หลักการตรวจจบบั๊กโลหะแบบครอบเอาต์ (Drop-out) จะใช้

ขดลวดทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ต่อเข้ากับวงจร ออสซิลเลเตอร์ 1 วงจร และใช้วงจรตีโมดูลเลเตอร์ วงจรตรวจจบบั๊กระดับสัญญาณ วงจรควบคุมสัญญาณ ต่อกัน เพื่อควบคุมแอมพลิจูดให้ค่าคงที่ เมื่อวัตถุที่มีโลหะเข้าใกล้ขดลวดจะส่งผลให้ค่าความถี่เปลี่ยนแปลง ค่าแอมพลิจูดลดลง วงจรตรวจจบบั๊กสัญญาณเอาต์ออกไปแสดงผล ซึ่งเป็นหลักการที่นิยมใช้ในการผลิตการตรวจจบบั๊กโลหะ Inductive Proximity ที่มีความแม่นยำและสะดวกต่อการใช้งาน[10] จากแนวคิดของ Mahat, Yusoff, Zaini, Midi, & Mohamad[10] ศึกษาการแยกขยะโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจบบั๊กขยะแต่ละประเภท โดยแรกใช้ Inductive Sensor เพื่อแยกขยะที่เป็นโลหะ และไม่เป็นโลหะ Krishna Veni, Srilakshmi, & Uma[11] ศึกษาการแยกขยะ โดยใช้ IR ซึ่งเป็นตัวจบบั๊กการตกของขยะซึ่ง ใช้เครื่องตรวจจบบั๊กแบบหลักการออฟเรโซแนนซ์ สำหรับตรวจจบบั๊กขยะโลหะ และ Amritkar[12] ใช้เทคโนโลยี RFID ช่วยในการคัดแยกขยะ ใช้วิธีติด RFID กับขยะทุกชิ้น เพื่อคัดแยก เมื่อขยะผ่านเครื่องอ่าน RFID จะสามารถตรวจสอบประเภทขยะได้

3. การวัดระดับปริมาณขยะ

การวัดระดับปริมาณขยะขึ้นอยู่กับทรงของถังขยะ ถังขยะในปัจจุบันมีขนาดรูปร่างและความจุแตกต่างกัน มีหลายวิธีในการวัดระดับปริมาณของขยะภายในถังขยะ เช่นการวัดปริมาณน้ำหนัก การวัดความสูง การวัดจากจำนวนขยะ งานวิจัยนี้เลือกวิธีการวัดความสูงถังขยะ โดยการวัดความสูงของถังขยะ และแบ่งเป็นสี่ช่วง 0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100% การวัดระดับปริมาณขยะไม่สามารถครอบคลุมตัวแปรภายนอกได้ เช่น ขยะมีขนาดใหญ่ทั้งถังขยะจะทำให้ถังเต็ม ไม่สามารถทิ้งได้อีก ขยะขนาดเล็กแต่มีปริมาณน้ำหนักมาก แต่ยังสามารถทิ้งได้อีก วิธีการวัดปริมาณขยะจากความสูงจึงเหมาะที่จะใช้ในการวัดปริมาณระดับของระบบคัดแยก

4. การวัดอุณหภูมิ

ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่วนประกอบของชิ้นส่วนที่เป็นอัตราย สามารถจุดระเบิดเองได้ เมื่ออุณหภูมิสูง เพื่อป้องกันการเผาไหม้ของถังขยะ จึงต้องวัดอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิที่ถูกต้องและแม่นยำ การเลือกใช้เซ็นเซอร์การวัดอุณหภูมิเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เซ็นเซอร์ DHT11 มีความคลาดเคลื่อน 0.4 องศาเซลเซียส ถูกต้องและแม่นยำ 98.11% เซ็นเซอร์ DHT22(AM2302)ความคลาดเคลื่อน 0.7 องศาเซลเซียส ถูกต้องและแม่นยำ 96.69%[16] ข้อมูลผู้ผลิต ตามตารางที่ 3 DHT22(AM2302) สามารถวัดอุณหภูมิถูกต้องและแม่นยำกว่า DHT11 อีกทั้งสามารถวัดช่วงอุณหภูมิที่มากกว่า[17]

ตารางที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่าง DHT11 และ DHT22

	DHT11	DHT22 (AM2302)
Temperature range	0 to 50 °C +/-2 °C	-40 to 80 °C +/-0.5°C
Humidity range	20 to 90% +/-5%	0 to 100% +/-2%
Resolution	Humidity: 1%	Humidity: 0.1%
	Temperature: 1°C	Temperature: 0.1°C
Operating voltage	3 – 5.5 V DC	3 – 6 V DC
Current supply	0.5 – 2.5 mA	1 – 1.5 mA
Sampling period	1 second	2 seconds

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 บอร์ดควบคุมการทำงาน อาร์ดูโน้ อาร์สาม (Arduino R3) สำหรับการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานไม่ซับซ้อน

1.2 บอร์ดส่งข้อมูลเอ็นบี ไอโอที (NB-IoT shield) เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล ที่ใช้พลังงานน้อยในการส่งข้อมูล และมีช่องสัญญาณเฉพาะการส่ง

1.3 เซ็นเซอร์ตรวจจับเหล็ก (Metal Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับเหล็ก ที่เกิดจากการนำขดลวดมาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

1.4 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถควบคุมเป็นระยะมุมการหมุน

1.5 เซ็นเซอร์วัดระดับ (Level Sensors) เป็นเซ็นเซอร์วัดระดับใช้หลักการสะท้อนของลำแสงอินฟราเรด ใช้สำหรับวัดระดับของขยะภายในถังขยะ และตรวจจับการตกขยะที่ฐานรองรับขยะ

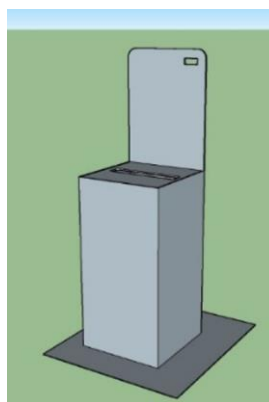
1.6 จอแสดงผลแอลซีดี (Character LCD) เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว ใช้สำหรับการแสดงผล จำนวนขยะทั้งสองประเภท

1.7 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (AM2302 Sensor) เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล

2. การวางแผนเก็บข้อมูล

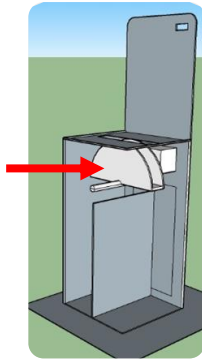
การออกแบบการทำงานของเครื่องคัดแยกมีการทำงานหลายส่วนซึ่งแบ่งออก เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เครื่องคัดแยกทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองเบื้องต้นมีส่วนประกอบของเครื่องดังนี้

1. ตัวเครื่อง เป็นกล่องสี่เหลี่ยมภายในมี 2 ช่อง สำหรับการแยกขยะ ทำจากวัสดุพลาสติก 30x30x60 เซนติเมตร มีฝาปิดด้านบนเจาะรูเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 5x25 เซนติเมตร สำหรับทิ้งขยะ ดังรูปที่ 1



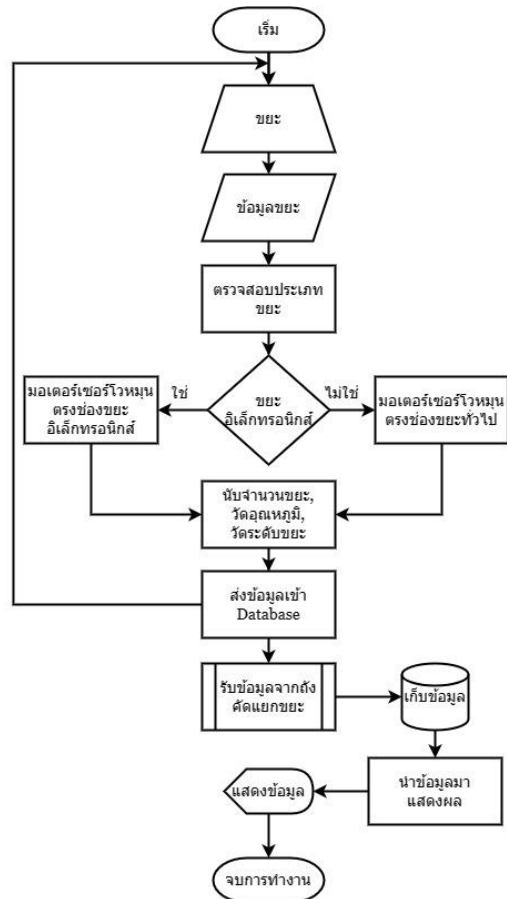
รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกของเครื่องแยกขยะ

2. ฐานรองรับขยะ เนื่องจากการตกของขยะที่มีความเร็วเกินจะสามารถจับได้ จึงมีฐานรองรับขยะเพื่อตรวจสอบการตกของขยะและใช้สำหรับการคัดแยกขยะ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะกลไกภายในถังขยะ

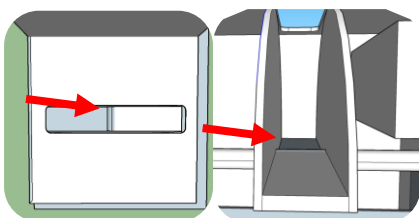
3. ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องแยกขยะ
ในการทำงานของเครื่องแยกขยะได้แบ่งฟังก์ชันการทำงานออกเป็น 3 ฟังก์ชัน ตามรูปที่ 3 โดยแบ่งตามลักษณะการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 3 Flowchart การทำงานของระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

3.1 กลไกการคัดแยกขยะ จะทำการตรวจสอบและทำการคัดแยกขยะ จะมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) ขั้นตอนตรวจสอบการตกของขยะ จากรูปที่ 3 จะแสดงพื้นที่สำหรับขยะตก เมื่อขยะที่ตกลงมายังบริเวณฐานรองรับ จะมีเซ็นเซอร์อินฟราเรดทำการตรวจจับ ทำให้ค่าของเซ็นเซอร์มีค่าเปลี่ยน ทำให้ทราบว่ามีการตกของขยะ



รูปที่ 3 พื้นที่การตกของขยะ



รูปที่ 4 ชุดควบคุมการทำงาน



รูปที่ 5 ขดลวดเหนี่ยวนำ

2) การตรวจจับวัตถุโลหะ เมื่อขยะที่เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ตกมายังฐานรับค่าเหนี่ยวนำของขดลวดจะเปลี่ยนไป หากเป็นขยะทั่วไปค่าเหนี่ยวนำจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

3) ตัวควบคุมทำการประมวลผล และสั่งการ ทำหน้าที่รับค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์และ

เปรียบเทียบค่าที่ตั้ง แล้วสั่งการให้มอเตอร์ปรับทิศทางและส่งข้อมูลไปยังฐานเก็บข้อมูล

3.2 แสดงผลข้อมูล ข้อมูลที่แสดงต้องมีการเข้าถึงได้ง่าย ซึ่งใช้การแสดงผลโดยผ่านเว็บไซต์ โมบายแอปพลิเคชัน และตัวเครื่อง ซึ่งจะแสดงค่าดังนี้

- แสดงจำนวนของขยะทั้งสองช่อง
- แสดงปริมาณขยะภายในเครื่อง
- แสดงตำแหน่งจุดวางของเครื่อง (ไม่มี

การแสดงผลที่ตัวเครื่อง)

3.3 การส่งข้อมูล จะส่งข้อมูลเมื่อเกิด interrupt และส่งทุก 30 นาที เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ซึ่งขยะตกมายังฐานรองรับจะเกิด interrupt กล้องควบคุมรับค่าและส่งข้อมูล ซึ่งใช้เทคโนโลยี NB-IoT สำหรับการส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลแบบเรียลไทม์

3. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลวิจัยมีดังนี้

1) ขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปภายในบ้าน ที่มีขนาดไม่เกิน 14X14x4 เซนติเมตร เช่น แผงวงจร โทรศัพท์มือถือ แป้นพิมพ์เมาส์ แรม การ์ดจอ เป็นต้น

2) ขยะทั่วไปที่เปียกชุ่มน้ำ หรือมีน้ำบรรจุภายใน และไม่ใช่ขยะสด

4. วิธีการเก็บข้อมูล

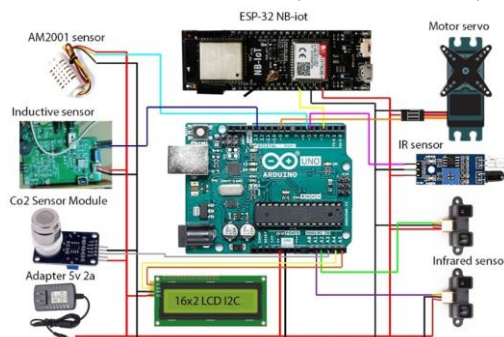
เก็บข้อมูลจากตัวเครื่องคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการนำขยะต่าง ๆ มาทำการทดสอบ เก็บข้อมูลจำนวนครั้งที่ตรวจจับได้ และแบ่งแยกตามช่องที่กำหนดไว้ ซึ่งจะได้ร้อยละความแม่นยำในแต่ละครั้งของการทดสอบ และการส่งข้อมูลที่ถูกต้อง

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{\text{จำนวนขยะที่ตกตรงช่อง}}{\text{จำนวนขยะที่ทดสอบ}}$$

ผลการวิจัย

1. การออกแบบและการพัฒนาระบบขยะอิเล็กทรอนิกส์

1.1 สถาปัตยกรรมผังวงจร (Electronic circuit)



รูปที่ 6 สถาปัตยกรรมผังวงจร



รูปที่ 7 Diagram การทำงาน

2. การทดสอบถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

2.1 ประสิทธิภาพการใช้งาน

เทียบจากความแม่นยำของถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ จะคำนวณได้จากสูตร

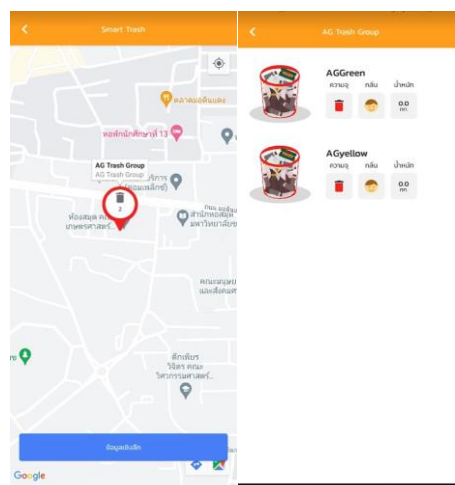
$$\text{ความแม่นยำ(\%)} = \frac{\text{จำนวนขยะที่คัดตรงช่อง}}{\text{จำนวนขยะที่ทดสอบ}}$$

ในการทดสอบ ใช้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันจำนวน 8 ประเภท ซึ่งเป็นสิ่งผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่และใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ แบตเตอรี่, หูฟัง, มือถือ, แผงวงจร, ฮาร์ดดิสก์, ขวดน้ำ, กระดาษ, ขวดแก้ว จำนวนที่ทดสอบ เป็นจำนวนที่ขึ้นอยู่กับที่สามารถหามาได้และมีอยู่ทั่วไป

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์

ผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ	จำนวนถูกต้อง	ร้อยละความถูกต้อง
มือถือ	10	9	80
หูฟัง	5	2	60
แบตเตอรี่	6	5	83.3
แผงวงจร	15	13	86.6
ฮาร์ดดิสก์	3	3	100
ขวดน้ำ	10	10	100
ขวดแก้ว	3	3	100
กระดาษ	15	15	100
รวม	67	60	89.5

จากตารางที่ 4 จำนวนผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันจำนวน 67 ชิ้น จำนวนที่ถังคัดแยกถูกต้องจำนวน 60 ชิ้น คิดได้เป็นร้อยละ 89.5



รูปที่ 8 จดวางถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์บนแอปพลิเคชัน

Name	Y_EW	N_EW	LevelH	LevelL	Co2	Temperature
AG	5	16	5%	25%	206	36 °C
VET	3	5	5%	5%	240	35 °C
AR	5	3	10%	5%	225	33 °C
EN	3	14	5%	25%	223	33 °C
DT	5	7	25%	25%	300	34 °C

รูปที่ 9 ข้อมูลจัดเก็บภายในฐานข้อมูล

สรุปและอภิปรายผล

1. ออกแบบและพัฒนาระบบคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งระบบสามารถคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์และขยะทั่วไปได้ ถึงขยะส่งข้อมูลจัดเก็บที่ฐานข้อมูลทุก 30 วินาที ระบบสามารถแสดงระดับขยะภายในถัง จำนวนขยะทั้งสองประเภท ข้อมูลในส่วนนี้สามารถคำนวณค่า carbon footprint ที่เป็นค่าแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกคัดแยกสามารถนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีหรือแปรใช้ใหม่ที่ช่วยให้ลดต้นทุนและการนำเข้า

2. จากทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานของถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยตัวทดสอบที่แตกต่างกันจำนวน 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์ และขยะทั่วไปที่ไม่ใช่ขยะเปียกสามารถคัดแยกขยะได้ และมีความแม่นยำถึง ร้อยละ 89 จะเห็นได้ว่าระบบมีความแม่นยำค่อนข้างสูง ผลทดสอบที่มีความผิดพลาดส่วนใหญ่ เป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับโลหะ ไม่สามารถเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก

3. ถังคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีจอLCD แสดงจำนวนขยะ และเว็บไซต์แอปพลิเคชันในการแสดงข้อมูลต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงจำนวนขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่คัดแยกได้ ขยะอิเล็กทรอนิกส์หนึ่งชิ้น สามารถแยกโลหะได้หลายชนิด นำกลับมาใช้งาน ช่วยลดทุนการผลิต การคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ก่อนนำไปกำจัด เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดขยะ ซึ่งเป็นการช่วยลดการตกค้างของสารเคมี ที่เกิดจากการเผาไหม้ของขยะอิเล็กทรอนิกส์

References

[1] Thailand Pollution Report 2018 _Thai.pdf [Online]. [cited 2019 Mar 26]. Available from: http://www.pcd.go.th/file/Thailand%20Pollution%20Report%202018_Thai.pdf. 2019.

[2] Kiddee P, Naidu R, Wong MH. “Electronic waste management approaches: An overview.” *Waste Management*, vol.33, no.5, pp. 1237–50. 2013.

[3] Suchitra Wasanadamrongdee, Panet Manomaiwiboon. “ Electronic waste The threat is imminent in the high-tech era” . *Naval Medical Journal*, vol.41, no.3, pp 65-74. 2014.

[4] Prateep Lertchaiprasert. “ Green ICT for electronic waste management” . *Journal of Vocational and Technical Education*, vol.3, no.6, pp 63–74. 2013.

[5] Ercan M, Malmodin J, Bergmark P. “*Life Cycle Assessment of a Smartphone*” . [n.p.]: Atlantis Press; 2018.

[6] Chaturvedi A, Strasserl C, Eisingerl F, Raghupath L, Henzler MP. “ *The carbon footprint of e-waste recycling - Indian scenarios*” . [n.p.].

[7] Zhang Y, Liu S, Xie H, Zeng X, Li J. “ Current status on leaching precious metals from waste printed circuit boards” . *Procedia Environmental Sciences*, vol.16, pp 560–8. 2012

[8] Chancerel P, Meskers CEM, Hagelken C, Rotter VS. “ Assessment of Precious Metal Flows During reprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment” . *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, no.5, pp 791–810. 2009.

[9] Yamazaki S, Nakane H, Tanaka A. “ Basic analysis of a metal detector” . *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.51, no.4, pp 810–4. 2002.

- [10] Krishna Veni G, Srilakshmi P, Uma B. "Automatic Waste (Metal and Non-Metal) Separation using IR Sensor – IJRTS". : 2. *International Journal for Research in Technological Studies*, vol.3, no.5, pp 2348-1439. 2016.
- [11] Mapari R, Narkhede S, Navale A, Babrah J. "Automatic Waste Segregator and Monitoring System" [Online] [cited 2019 Apr 8] . Available from: https://www.researchgate.net/publication/317720527_Automatic_Waste_Segregator_and_Monitoring_System. 2019.
- [12] Vanessa F, Kees B, Ruediger K. "E-Waste Statistics". Bonn, Germany: United Nations University; 2018.
- [13] Anucha Kaewpoolsuk. "Development of high-sensitivity metal detectors for the food industry". M.P.A.: Naresuan University, 2013.
- [14] Russel MH, Chowdhury MH, Uddin SN, Newaz A, Talukder MM. "Development of Automatic Smart Waste Sorter Machine". n.p.
- [15] Sinha RS, Wei Y, Hwang S. "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT". *ICT Express*, vol.3, no.1, pp 14–21. 2017.
- [16] N. Sornjapo, "Comparative Study of the Accuracy and Precision of Weather Temperature Sensor for lot in Different Environment," *sripatum Chonuri journal*, 2021.
- [17] "DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors," Adafruit Learning System. <https://learn.adafruit.com/dht/overview> (accessed Feb. 05, 2023).

แบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

พัชรพร เฉลิมไพศาลสุข¹, สมมาตร ทองคำ², พงศกานต์ ภูระยา³, และพรหมพักตร์ บุญรักษา⁴

^{1, 2, 3}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Email : promphak.dawan@gmail.com⁴

Received: Oct 11, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองการทำงานของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตลมร้อนเพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของอากาศ และอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องผลิตลมร้อน รวมถึงวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง โดยกำหนดลักษณะเงื่อนไขของเครื่องผลิตลมร้อนที่ต่างกัน 3 เงื่อนไข ได้แก่ แบบที่ 1 คือ เครื่องผลิตลมร้อนที่เชื่อมต่อท่อลมเข้าและออกโดยตรง แบบที่ 2 คือ เครื่องผลิตลมร้อนที่มีการติดตั้งใบปรับทิศทางการไหล และแบบที่ 3 คือ เครื่องผลิตลมร้อนที่เชื่อมต่อท่อลมที่ตำแหน่งลมเข้าและท่อขยายที่ตำแหน่งลมออก จากการจำลองพบว่าเครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 2 การไหลดีขึ้นร้อยละ 82.08 รองลงมา คือ เครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 3 ที่ติดตั้งข้อต่อลมลดและขยายที่ทางเข้าและทางออก ซึ่งมีการไหลดีขึ้นร้อยละ 52.61 และแบบที่ 1 การไหลดีขึ้นร้อยละ 32.8 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการไหลที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วพบได้ชัดเจนว่าการไหลที่มีความปั่นป่วนสูงจะส่งผลต่อพื้นที่สัมผัสของอากาศที่ไหลเวียนผ่านแกนทำความร้อน จึงทำให้ปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านแกนทำความร้อนมีปริมาตรต่ำและเกิดการกระจายตัวไรต์ทิศทางของอากาศสูง มีการเกิดจุดการหมุนวนของอากาศหลายตำแหน่งและแต่ละตำแหน่งจะมีขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการติดตั้งใบปรับทิศทางการไหลและข้อต่อลมที่ตำแหน่งทางเข้าและออก ส่งผลให้การไหลมีทิศทางที่ชัดเจนเป็นระเบียบ มีจุดหมุนวนอากาศน้อยลงและมีขนาดเล็ก อีกทั้งทั้งทางด้านการผลิตความร้อนของแกนทำความร้อนยังแสดงให้เห็นว่าลักษณะรูปทรง ขนาดและการจัดเรียงของแกนทำความร้อนเหมาะสมกับการแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศ

คำสำคัญ : เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย, เครื่องเป่าลมร้อน, แบบจำลอง, ใบปรับทิศทางการไหล, การถ่ายเทความร้อน

A model to Study the Efficiency of a Spray Dryer's 18 kW Hot Air Generator

**Patcharabhorn Chaloempaisansuk¹, Sommart Thongkham², Pongsakan Phuraya³,
Promphak Boonraksa⁴**

^{1, 2, 3}School of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkok Thonburi University

⁴School of Electrical Engineering Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Email: promphak.dawan@gmail.com⁴

Received: Oct 11, 2022

Revised: Feb 20, 2023

Accepted: May 31, 2023

Abstract

This paper presents a model to study the efficiency of a spray dryer's 18 kW hot air generator. The model study was for analyzing air streamline, air temperature, and parameters that affected the efficiency. The study was simulated under 3 conditions which are the direct connection without the fitting of the duct, the installation of the guide vane, and the connection with fitting. The simulation results showed that the guide vane installation and the fitting connection increased the flow efficiency by 82.08% in condition 2, in condition 3 is 52.61%, and 32.8% in condition 1 respectively. Moreover, the relationship between flow trajectories that affected heat transfer resulted in turbulence, and directionless flow created a wake, which decreased the contact area of heat transfer and increased pressure and friction. The first condition without any fitting showed the wakes occurred in many positions with large sizes. The air streamline was complicated and directionless. On the contrary, after installing the guide vane and fitting in the second and third conditions, the wakes decreased and got smaller. Additionally, the airflow was smooth and simultaneous in direction. Furthermore, the electrical power of cylindrical heater coils arranged in a staggered form was appropriate for heat transfer.

Keywords : Spray Dryer, Hot Air Generator, Model, Guide Vane, Heat Transfer

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการพัฒนาเทคโนโลยีและสร้างเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการลดต้นทุนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอาหารแห้งแบบผงจะมีการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) เป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสถานะอาหารแบบเหลวให้เป็นแบบผงแห้ง ซึ่งจะให้ของเหลวผ่านเครื่องพ่นละออง (Atomizer) ให้เป็นมีลักษณะพ่นออกมาเป็นละอองฝอยและพ่นผ่านกับลมร้อนเพื่อดึงความชื้นออกให้หมด (Dehydration) อย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาลักษณะเป็นผงแบบแห้ง อาหารผงที่ยอมรับได้มีความชื้น (Moisture Content) ต่ำกว่า 5%[1] หรือแม้แต่อุตสาหกรรมผลิตยาเองก็ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตผงยาบรรจุในแคปซูลต่าง ๆ เช่นกัน เครื่อง Spray Dryer เป็นเครื่องจักรที่มีการใช้พลังงานสูงมากเนื่องจากต้องใช้พลังงานความร้อนขนาดใหญ่แต่พลังงานที่จ่ายเข้าไปในระบบไม่สามารถนำไปใช้อย่างเป็นประโยชน์ กล่าวคือมีการสูญเสียพลังงานระหว่างกระบวนการทำงานของเครื่องจักรสูง ซึ่งพบว่าเครื่อง Spray Dry มีการนำพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 20 ถึง 60 ของพลังงานทั้งหมด ขึ้นกับการออกแบบของเครื่องจักร แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียพลังงานไปอย่างไม่เกิดประโยชน์สูงมาก[2] ซึ่งอุปกรณ์ส่วนที่สำคัญในการใช้พลังงานความร้อนของเครื่อง Spray Dry คือเครื่องผลิตลมร้อน (Air Heater) และเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานความร้อน เครื่อง Spray Dry ส่วนใหญ่จึงมีหลักการการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ (Heat Recovery) ซึ่งสามารถลดพลังงานได้เฉลี่ยถึงร้อยละ 68[3] การออกแบบ Air Heater จึงเป็นส่วนสำคัญของเครื่อง Spray Dry โดยหลักการของเครื่องผลิตลมร้อนใช้หลักการของการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) เป็นการไหลผ่านของลมบนอุปกรณ์ผลิตความร้อนเพื่อเพิ่ม

อุณหภูมิของอากาศตามที่กำหนดไว้แล้วไหลผ่านกับละอองของเหลวในส่วนของ Chamber และเป็นระบบผลิตความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electric Heater) ซึ่งวัสดุแกนนำความร้อน รูปทรงและการเรียงตัวของแกนนำความร้อนเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตความร้อนที่แตกต่างและให้ประสิทธิภาพที่ต่างกัน[4] โดยส่วนใหญ่จะเลือกใช้แกนความร้อนทรงกระบอก (Cylindrical หรือ Pin) เนื่องจากใช้พื้นที่ในการจัดเรียงน้อยทำให้ประหยัดพื้นที่ และถ่ายเทความร้อนได้ดี[5, 6] จึงทำให้เกิดเป็นงานวิจัยการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ขึ้นเพื่อศึกษาวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ของเครื่อง Spray Dryer
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนกับการจัดเรียงตัวของแกนความร้อน

ระเบียบวิธีวิจัย

แบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) มีระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัยรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างแบบจำลอง 3 มิติด้วยโปรแกรม Solidwork เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกำลัง 18 กิโลวัตต์ โดยกำหนดรายละเอียดข้อมูลเฉพาะทางของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนี้ 1) วัสดุเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน รูปทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดภายนอกเท่ากับกว้าง 65 เซนติเมตร ยาว 48 เซนติเมตร สูง 56 เซนติเมตร วัสดุสแตนเลส AISI 304 2) แกนทำความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาว 42 มิลลิเมตร มีจำนวน 3 แถว แถวละ 6 แกน รวมทั้งสิ้น 18

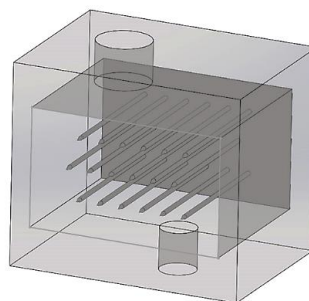
แกน และมีการจัดเรียงแบบ Staggered คือ การเรียงตัวแบบสลับช่องว่างกัน วัสดุสแตนเลส AISI 304 มีค่า S_t 60 เซนติเมตร S_L 85 เซนติเมตร และ S_D 90.14 เซนติเมตร กำหนดรายละเอียดของอากาศมีเงื่อนไข อากาศเริ่มต้นมีอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50%RH ที่ความดันบรรยากาศ โดยเป็นคุณสมบัติอากาศที่ทอลมเข้าเครื่องผลิตลมร้อนแล้วทำการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศเมื่ออากาศไหลผ่านแกนทำความร้อนและตำแหน่งท่อทางออกแต่ละรูปแบบ รวมถึงวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลผ่านบริเวณช่องทอลมทางออก

2. กำหนดเงื่อนไขเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละรูปแบบที่ทำการวิเคราะห์ การจำลองได้ทำการจำลองขดลวดความร้อนให้มีลักษณะเป็นแกนทรงกระบอก โดยกำหนดความแตกต่างของเครื่องเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการส่งผลการถ่ายเทความร้อน มีรายละเอียดดังนี้

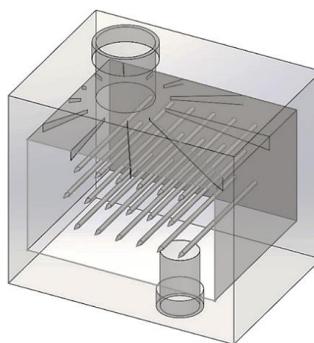
แบบที่ 1 แกนสแตนเลส 304 ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เรียงตัวแบบ Staggered จำนวนทั้งหมด 18 แกน มี 3 แถว แถวละ 6 แกน ดังแสดงในรูปที่ 1 ลักษณะภายในกล่องของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเชื่อมต่อกับท่อทางเข้าและออกตรง ๆ ไม่มีทอลดและท่อขยายที่ตำแหน่งทอลมทางเข้าออก

แบบที่ 2 แกนสแตนเลส 304 ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เรียงตัวแบบ Staggered จำนวนทั้งหมด 18 แกน มี 3 แถว แถวละ 6 แกน โดยลักษณะภายในกล่องของเครื่องทำความร้อนเชื่อมต่อกับท่อทางเข้าและออกปกติ แล้วมีครีบกวนคูลทิตทางลม (Guide Vane) ที่ฝั่งทางออกดังแสดงในรูปที่ 2 โดย Guide Vane มีจำนวนทั้งหมด 12 ครีบ ติดตั้งบริเวณผนังด้านทอลมขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เรียงตัวแบบ Circular Pattern รอบทอลมขาออก

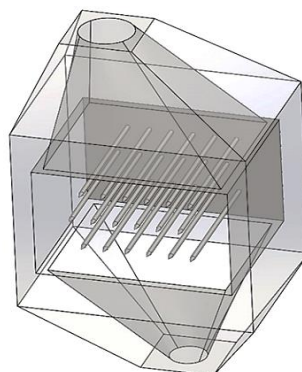
แบบที่ 3 แกนสแตนเลส 304 ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เรียงตัวแบบ Staggered จำนวนทั้งหมด 18 แกน มี 3 แถว แถวละ 6 แกน โดยมีลักษณะภายในกล่องของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเชื่อมต่อกับท่อทางเข้าและออกโดยมีทอลดและท่อขยาย ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 1 เครื่องทำความร้อนแบบที่ 1



รูปที่ 2 เครื่องทำความร้อนแบบที่ 2



รูปที่ 3 เครื่องทำความร้อนแบบที่ 3

3. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง การจำลองวิเคราะห์การผลิตร้อนของแกนความร้อนมีการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำหนดตัวแปร Boundary Conditions ที่เกี่ยวข้องกับการจำลอง

ข้อมูลจำเพาะ	ค่าหรือตัวแปร
กำลังไฟฟ้า	18 กิโลวัตต์
อุณหภูมิอากาศขาเข้า	35 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศขาออก	150 องศาเซลเซียส
อัตราการไหลเชิงมวล	150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
อากาศ	
วัสดุแกนความร้อน	สแตนเลส SUS304
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้า	50%RH
ลักษณะการไหล	การไหลแบบภายในและพิจารณาเฉพาะช่วง Fully Developed Flow

4. คุณสมบัติของอากาศ เนื่องจากมีการใช้อากาศเป็นของไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยคุณสมบัติของอากาศขาเข้าและขาออกตามข้อมูลเทคนิคของเครื่องผลิตร้อน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ 1 ATM [8, 9]

	หน่วย	ที่ 35°C	ที่ 250°C
ความหนาแน่น	kg/m ³	1.145	0.6745
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	J/kg-K	1,007	1,003
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m-K	0.02625	0.04104
ค่าความหนืดพลวัต	kg/m-s	1.895x10 ⁻⁵	2.760 x10 ⁻⁵
ค่าความหนืดจลน์	m ² /s	1.655x10 ⁻⁵	4.091 x10 ⁻⁵
เลขพริ้นด์เทิล	-	0.7265	0.6946

5. คุณสมบัติของสแตนเลส 304 เนื่องจากการสร้างโดยใช้วัสดุสแตนเลส SUS304 โดยคุณสมบัติเทคนิคของเครื่องวัสดุดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 3[7]

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติทางเทคนิคของสแตนเลส 304[7]

	หน่วย	ค่าตัวเลข
ความหนาแน่น	kg/m ³	8,000
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	J/kg-K	500
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m-K	16
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	K	1.8x10 ⁻⁵
จุดคราก	MN/m ²	206.807
ความแข็งแรงดึง	MN/m ²	517.017
โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	N/m ²	1.9x10 ¹¹
โมดูลัสแรงเฉือน	N/m ³	7.5x10 ¹⁰
จุดหลอมเหลว	°C	1,450
อัตราส่วนปัวซอง	-	0.29

6. สมการความสัมพันธ์ของการนำความร้อน การนำความร้อนเป็นรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนของแกนทำความร้อน ซึ่งการนำความร้อนมี 2 รูปแบบหลัก ๆ คือ การนำความร้อนแบบคงที่และการนำความร้อนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา ตามหลักการทำงานของเครื่องทำความร้อนในช่วงแรกระบบจะเป็นแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาจนถึงค่าอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แล้วจะถูกระบบควบคุมอัตโนมัติให้มีความร้อนคงที่ตลอดการทำงานของเครื่องตามที่กำหนดไว้

การนำความร้อนแบบคงที่ (Steady Heat Conduction) สำหรับวัตถุเชิงเรขาคณิตทรงกระบอกพบว่าสมการที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนแสดงดังสมการที่ 1[10]

$$\dot{Q}_{\text{การนำความร้อน}} = hA\eta(T_b - T_{\infty}) \quad (1)$$

ซึ่ง η คือประสิทธิภาพการนำความร้อนของ
แกนทรงกระบอกสามารถหาได้จากสมการที่ 2[10]

$$\eta = \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{4h}{kD}}(L+0.25D)\right)}{\left(\sqrt{\frac{4h}{kD}}(L+0.25D)\right)} \quad (2)$$

โดยที่ h สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
(หน่วย W/m^2K)

A พื้นที่ผิวของแกนทำความร้อน
(หน่วย m^2)

η ประสิทธิภาพการนำความร้อน

T_b อุณหภูมิแกนความร้อน (หน่วย
องศาเซลเซียส)

T_∞ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (หน่วย
องศาเซลเซียส)

k สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
(หน่วย $W/m.K$)

จากการเรียงตัวของแกนทำความร้อนที่เป็น
ลักษณะ Staggered สามารถพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์
การพาความร้อนที่ของไหลไหลผ่านแกนความร้อน
ได้จาก Nusselt Number แสดงดังสมการที่ 3 ถึง
4[11]

$$Nu = 0.945 \times 0.35(S_T/S_L)^{0.2} \times Re_D^{0.6} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25} \quad (3)$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (4)$$

การนำความร้อนแบบไม่คงที่ (Transient Heat
Conduction) สำหรับวัตถุแข็งเกร็งรูปทรงกระบอก
ของแกนทำความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12
มิลลิเมตร ความยาว 42 เซนติเมตร พบว่าสามารถ
วิเคราะห์ระบบเป็นแบบ Lumped System Analysis
และวิเคราะห์แบบ One-dimensional ซึ่งมาจาก
กฎการอนุรักษ์พลังงานทำให้อัตราการถ่ายเท
ความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเท่ากับการ

เพิ่มขึ้นพลังงานระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาแสดง
ดังสมการที่ 5 และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนดัง
สมการที่ 6[11]

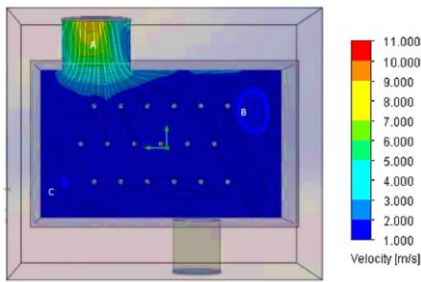
$$\frac{T(t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} = e^{-\frac{hA}{\rho V C_p} t} \quad (5)$$

$$\dot{Q}(t) = hA(T(t) - T_\infty) \quad (6)$$

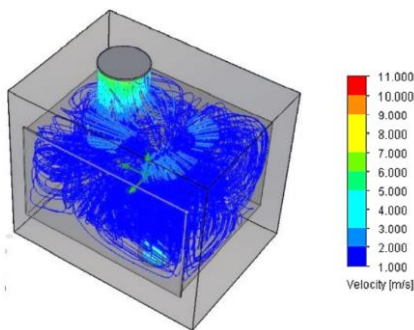
ผลการวิจัย

1. ผลของการจำลองการไหลของอุณหภูมิของ
เครื่องทำความร้อนแบบที่ 1 เป็นเครื่องทำความร้อน
ที่มีลักษณะภายในเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่
บริเวณท่อของช่องอากาศขาเข้าและขาออกเครื่อง
ทำความร้อนมีลักษณะเชื่อมต่อตรง ไม่มีการติดตั้ง
ท่อลดหรือท่อขยายของท่อลม พบว่าเครื่องทำ
ความร้อนสามารถทำอุณหภูมิร้อนได้สูงกว่า
400 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 และ
5 ประกอบกันพบว่าลักษณะการไหลที่การแปรปรวน
และกระจายทิศทางสูงส่งผลให้เกิดการหมุนวน
ของอากาศสูงหลายตำแหน่ง ซึ่งมีผลกระทบต่อ
ความดันอากาศร้อนภายในระบบได้ นอกจากนี้
พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศ
และแกนความร้อนจึงเกิดได้ดีที่บริเวณใกล้กับ
ตำแหน่งทางออกของอากาศบริเวณเดียวจากรูปที่ 6

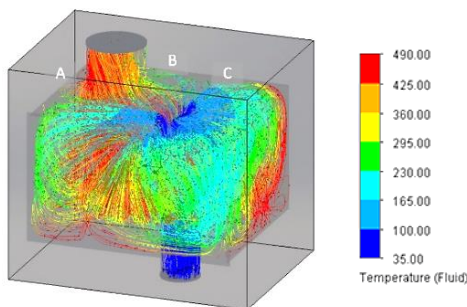
เมื่อพิจารณาความเร็วที่บริเวณระนาบทางช่อง
ลมออก พบว่าความเร็วสูงสุดที่ทางออกอยู่ที่
8.268 เมตรต่อวินาที ณ ตำแหน่งแกนกลางของ
ท่อทางออก ตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนวน
(Wake) ที่ตำแหน่ง B และ C มีความเร็วเฉลี่ยอยู่
ที่ 1.11 เมตรต่อวินาที เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่
บริเวณช่องลมออกดังรูปที่ 6 พบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่
ระบบสามารถทำได้อยู่ที่แกนกลางของท่อลมและ
มีค่าสูงถึง 486.84 องศาเซลเซียส แล้วอุณหภูมิ
ตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 277.39
องศาเซลเซียสและ 329.54 องศาเซลเซียส จาก
ระนาบทิศทางลมช่องทางออก พบว่าจุดที่มีอุณหภูมิ
ต่ำสุดอยู่ที่ 120.84 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 แผนภาพสตรีมไลน์ความเร็วอากาศ
เครื่องแบบที่ 1 ในระนาบ ZY ที่บริเวณที่ออก



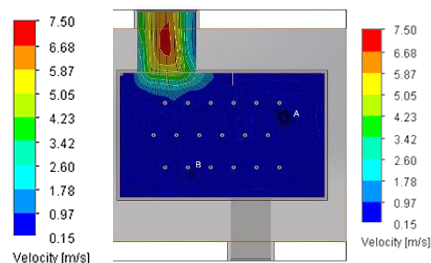
รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการเคลื่อนตัวของอากาศ
เครื่องแบบที่ 1 ในระนาบ XYZ



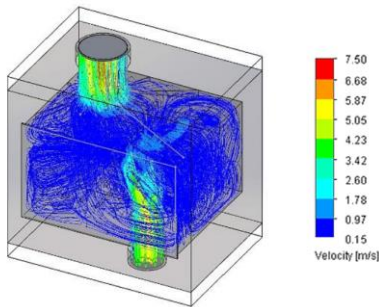
รูปที่ 6 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศ
เครื่องแบบที่ 1 ในระนาบ XYZ

ผลของการจำลองการไหลของอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนแบบที่ 2 เป็นเครื่องทำความร้อนที่มีลักษณะภายในเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่บริเวณท่อของช่องอากาศเข้าและขาออกเครื่องทำความร้อนมีลักษณะเชื่อมต่อตรง ไม่มีการติดตั้งท่อลดหรือท่อขยายของท่อลม แต่มีการติดตั้ง

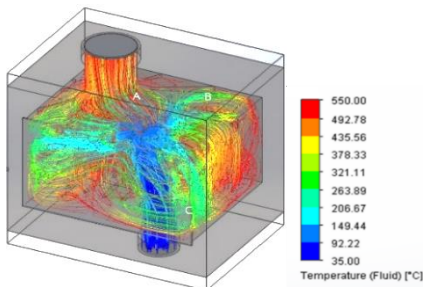
Guide Vane ที่บริเวณผนังด้านบนตรงท่อทางออกของเครื่องเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของอากาศที่ท่อทางออก พบว่าเครื่องทำความร้อนสามารถทำอุณหภูมิร้อนได้สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7 และ 8 ประกอบกันพบว่าลักษณะการไหลที่การแปรปรวนลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณทางออกและการกระจายทิศทางการไหล ส่งผลให้เกิดการหมุนวนของอากาศลดลง ความดันอากาศร้อนภายในระบบได้ลดต่ำลง ไม่มีการอัดตัวของอากาศที่ลมทางออก นอกจากนี้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและแกนความร้อนจึงเกิดได้ดีทั่วถึงทุกบริเวณดังรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาความเร็วที่บริเวณระนาบทางช่องลมออก พบว่าความเร็วสูงสุดที่ทางออกอยู่ที่ 6.77 เมตรต่อวินาที ณ ตำแหน่งแกนกลางของท่อทางออก ตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนวน (Wake) ที่ตำแหน่ง A และ B มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 0.47 เมตรต่อวินาที ณ บริเวณทางออกและผนังด้านบน ลักษณะการไหลของอากาศมีความเป็นระเบียบมากขึ้นความเร็วบริเวณนี้อยู่ในช่วง 0.75 ถึง 2 เมตรต่อวินาที พบว่า มีการไหลดีขึ้นร้อยละ 82.08 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่บริเวณช่องลมออกพบว่า อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ระบบสามารถทำได้ อยู่ที่แกนกลางของท่อลมและมีค่าสูงถึง 508.52 องศาเซลเซียส แล้วอุณหภูมิตำแหน่งที่เกิดกระแสลมหมุนเฉลี่ยอยู่ที่ 405 องศาเซลเซียส จากระนาบทิศทางการไหลของทางออกพบว่าจุดที่มีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 120.84 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีขึ้นร้อยละ 102.85



รูปที่ 7 แผนภาพสตรีมไลน์ความเร็วอากาศของ
เครื่องแบบที่ 2 ในระนาบ ZY ที่บริเวณท่อขาออก



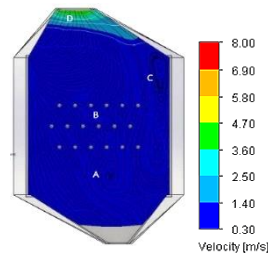
รูปที่ 8 แผนภาพแสดงการเคลื่อนตัวของอากาศ
เครื่องแบบที่ 2 ในระนาบ XYZ



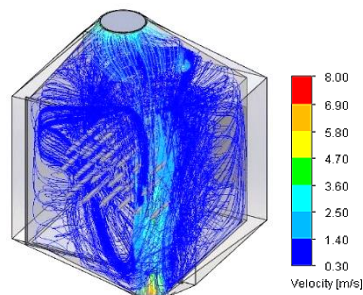
รูปที่ 9 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศ
เครื่องแบบที่ 2 ในระนาบ XYZ

1. ผลของการจำลองการไหลของอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนแบบที่ 3 เป็นเครื่องทำความร้อนที่มีลักษณะภายในเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมที่บริเวณท่อของช่องอากาศขาเข้าและขาออกเครื่องทำความร้อน มีการติดตั้ง ข้อต่อ ของท่อลมมีการติดตั้งท่อลดหรือท่อขยายของท่อลม แต่มีการติดตั้ง Guide Vane ที่บริเวณผนังด้านบนตรงท่อทางออกของเครื่องเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของอากาศที่ท่อทางออก พบว่าเครื่องทำความร้อนสามารถทำอุณหภูมิร้อนได้สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 10 และ 11 ประกอบกันพบว่าการไหลที่การแปรปรวนลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณทางออกและการกระจายทิศทางลมต่ำลง ส่งผลให้เกิดการหมุนวนของอากาศลดลง ความดันอากาศร้อนภายในระบบได้ลดต่ำลง ไม่มีการอัดตัวของอากาศที่ลม

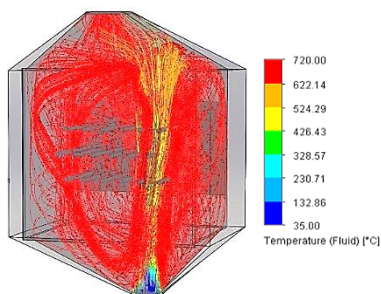
ทางออก นอกจากนี้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและแกนความร้อนจึงเกิดได้ดีทั่วถึงทุกบริเวณดังรูปที่ 12 ลักษณะการไหลของอากาศในระนาบท่ออากาศทางเข้าสังเกตได้ว่าอากาศมีการหมุนเวียนรอบแกนความร้อนอย่างทั่วถึงและมีการปั่นป่วนน้อย และที่ระนาบของอากาศทางออก อากาศมีการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงและไหลไปทางเดียวกันอย่างเป็นระเบียบสู่ท่อทางออก เนื่องจาก ข้อต่อ ท่อลดและท่อขยายทำหน้าที่เป็นส่วนที่ควบคุมพฤติกรรมการไหลและลดการแตกหมุนวนของอากาศ ความเร็วอากาศที่หมุนวนและความเร็วอากาศ ณ ท่อทางออกมีความมั่นคง ความเร็วเฉลี่ยอยู่ช่วง 3 ถึง 4 เมตรต่อวินาที พบว่า มีการไหลดีขึ้นร้อยละ 52.61 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอุณหภูมิพบว่า อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งกลางภายในห้องเครื่องทำความร้อนประมาณ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งแลกเปลี่ยนอุณหภูมิได้สูงขึ้นร้อยละ 105.33



รูปที่ 10 แผนภาพสตรีมไลน์ความเร็วอากาศของ
เครื่องแบบที่ 3 ในระนาบ ZY ที่บริเวณท่อขาออก



รูปที่ 11 แผนภาพแสดงการเคลื่อนตัวของอากาศ
เครื่องแบบที่ 3 ในระนาบ XYZ



รูปที่ 12 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของอากาศ
เครื่องแบบที่ 3 ในระนาบ XYZ

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตลมร้อนขนาด 18 กิโลวัตต์ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อพิจารณาแบบจำลองสามารถจำแนกการวิเคราะห์ผลการจำลองได้เป็น 2 ส่วน คือ 1) พฤติกรรมการไหลของอากาศที่ตำแหน่งท่อทางออก ซึ่งพฤติกรรมการไหลปั่นป่วนเกิดขึ้นน้อยสุดคือการจำลองแบบที่ 2 รองลงมาคือการจำลองแบบที่ 3 จากการจำลองพบว่าเครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 2 การไหลดีขึ้นร้อยละ 82.08 รองลงมาคือเครื่องผลิตลมร้อนแบบที่ 3 ที่ติดตั้งข้อต่อลมลดและขยายที่ทางเข้าและทางออก ซึ่งมีการไหลดีขึ้นร้อยละ 52.61 เนื่องจากการจำลองแบบที่ 2 เป็นการติดตั้ง Guide Vane และแบบที่ 3 เป็นการติดตั้งข้อต่อลมลดที่ทางออก ซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วงบังคับทิศทางการไหลของอากาศที่บริเวณท่อทางออกให้การไหลเป็นระเบียบมีเส้นทางที่ชัดเจนและลดจุดกำเนิดการปั่นป่วนหรือจุดหมุนวนของอากาศที่ไหลปะทะกับผนังเครื่องผลิตลมร้อนด้านบริเวณท่อทางออก 2) อุณหภูมิของอากาศเมื่อไหลผ่านแกนทำความร้อนพบว่าเครื่องจำลองแบบที่ 3 มีการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมาด้วยการจำลองแบบที่ 2 เนื่องจากการจำลองแบบที่ 3 มีการติดตั้งข้อต่อขยายที่บริเวณท่อขาเข้าด้วย ซึ่งทำให้พฤติกรรมการไหลของอากาศมีความเป็นระเบียบตั้งแต่การไหลเข้าเครื่องผลิตลมร้อนทำให้

อากาศไหลผ่านพื้นที่สัมผัสของแกนทำความร้อนได้ทั่วถึงและไหลต่อเนื่องที่มากกว่าแบบจำลองที่ 1 และ 2 จากผลวิเคราะห์จึงพบว่า การติดตั้งข้อต่อขยายที่ทางเข้าและท่อลดที่ทางออกเป็นรูปแบบการออกแบบเครื่องผลิตลมร้อนที่มีความเหมาะสมมากที่สุด แต่สำหรับเครื่องผลิตลมร้อนที่มีข้อจำกัดทางด้านการปรับปรุงจากเครื่องเดิมที่มีอยู่ การออกแบบที่มีการติดตั้ง Guide Vane จึงเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพการไหลของอากาศภายใน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในด้านต่างๆ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้สมบูรณ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้สมบูรณ์

References

- [1] Pimpen Pornchalermpong and Nithiya Rattanapanont. *Spray Drying Machine Director*. source: <http://www.foodnetworksolution.com>. (2022 May 01).
- [2] G. Liu, "Energy Conservation in Spray Drying", *Dyestuff Industry*, Vol. 29. 1992.
- [3] K. P. Sanjay, H. B. Mukung, "Energy Targeting and Process Integration of Spray Dryer with Heat Recovery Systems", *Energy Conversion, and Management*, 24th June 2020.
- [4] P. Moorthy, A.N. Oumer and M. Ishak, "Experimental Investigation on Effect of Fin Shape on the Thermal-Hydraulic Performance of Compact Fin- and-Tube Heat Exchangers", *Materials Science and Engineering*, Vol. 3 1 8. 2018,

- [5] B. D. Amol and S. F. Hemant, "Heat Transfer Analysis of Cylindrical Perforated Fins in Staggered Arrangement" , *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol.2, No. 5, April 2013.
- [6] Philip J. Pritchard and John C. Leylegian, " *Introduction to Fluid Mechanics* ". 8 th Ed. John Wiley & Sons, INC., 2011.
- [7] World Material, [Online] . Available: <https://www.theworldmaterial.com/>. (2022 May 01).
- [8] Thandon Oklaw, " *Fluid Mechanics Teaching Document* " , Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, 2010.
- [9] Nakayama Y., " *Introduction to Fluid Mechanics* ", Butterworth-Heinemann., 2000.
- [10] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, " *Heat and Mass Transfer Fundamentals and Applications* ", 4th Ed., New York, McGraw-Hill, 2011.
- Yunus A. Cengel, " *Heat Transfer a Practical Approach* ", 2nd Ed. , New York, McGraw-Hill., 2003.

ประสิทธิภาพของโปรแกรมน้ำหวานที่มีผลต่อความอดทน

ในการทำงานของคนงาน

อรัญ ขวัญปาน

สาขาวิชาเทคโนโลยีความปลอดภัยและอาชีวอนามัย คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email : Aran.kw@ssru.ac.th

Received: Mar 9, 2023

Revised: Jun 1, 2023

Accepted: Jun 8, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากความร้อนต่อสุขภาพของพนักงานที่ทำงานท่ามกลางแดด และผลการได้รับน้ำหวานในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานท่ามกลางแดดในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานคร โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) พิจารณาจากความสมัครใจ ใช้เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria) และเกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria) ได้จำนวน 50 คน

ผลการวิจัยพบว่า ในพื้นที่ก่อสร้างมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 30.59-34.58 องศาเซลเซียส เฉลี่ยเท่ากับ 33.49 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าความร้อนโดยเฉลี่ยมากกว่าค่ามาตรฐาน WBGT ที่ได้กำหนดไว้ คือ 32 องศาเซลเซียส ผลกระทบจากความร้อนต่อการทำงานและสุขภาพของพนักงานก่อนเข้าโปรแกรมเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.53$, S.D. = 1.04) หลังจากเข้าโปรแกรมผลกระทบจากความร้อนลดลงอยู่ในระดับน้อย ($\bar{X} = 2.00$, S.D. = 0.93) ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า โปรแกรมน้ำหวานมีประสิทธิภาพ คือ ส่งผลให้งานดำเนินการต่อเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การทำงานของพนักงานได้รับอุบัติเหตุลดลง ทำให้การทำงานเป็นปกติ ลดอาการเครียด หงุดหงิด ลดอาการของโรคลมแดด ลดอาการผื่นคัน ผดแดง และช่วยลดอาการป่วยไข้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ, โปรแกรมน้ำหวาน, ความอดทนของผู้ปฏิบัติงาน, การทำงานท่ามกลางแดด

The study of the effectiveness of the nectar program that affecting the patience of laborer

Aran Kwanpan

Department of Safety Technology and Occupational Health, Faculty of Industrial Technology,
Suan Sunandha Rajabhat University
Email: Aran.kw@ssru.ac.th

Received: Mar 9, 2023

Revised: Jun 1, 2023

Accepted: Jun 8, 2023

Abstract

The objective of this research is to study the health effects of heat caused by the health of employees working in the sun. And the result of receiving nectar to increase work efficiency in the sun in the Pink Line mass transit project by means of purposive sampling, determined by voluntary Use of 50 inclusion criteria and exclusion criteria.

The results of the research showed that in the construction area, the heat value is between 30.59-34.58 °C, the average is 33.49 °C, which the average heat value is higher than the WBGT standard that has been set at 32 °C. The heat effect on work and health of employees before joining the program is at a high level ($\bar{X} = 3.53$, S.D. = 1.04). After entering the program, the heat effect decreases to a low level ($\bar{X} = 2.00$, S.D. = 0.93). The hypothesis testing found that the Nectar program is effective, which causes the work to continue. Resulting in increased work efficiency Resulting in less work accidents for employees resulting in normal work Resulting in successful completion of the target Reduce stress, irritability, and reduce the symptoms of Heatstroke. Reduces rash, itching, redness and helps to reduce illness. Statistical significance ($p < 0.01$).

Keywords : Effectiveness, Nectar program, Patience of laborer, Working outdoors.

บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมหรือโครงการก่อสร้างทั่วไปจะพบว่าคนงานต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับความร้อนจากอุณหภูมิของกระบวนการผลิต หรือเครื่องจักรต่าง ๆ ปกติความร้อนสามารถถ่ายเทได้ระหว่างคนและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบการนำความร้อน พาคความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนโดยปกติทั่วไปร่างกายจะได้รับความร้อนสองแหล่งด้วยกันคือความร้อนจากภายในร่างกายและความร้อนภายนอกในร่างกายหรือจากสิ่งแวดล้อม [1] เนื่องจากในปัจจุบันภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่ทุกคนให้ความสำคัญนับวันอุณหภูมิโลกก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับประเทศไทยพบว่าอุณหภูมิช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน โดยอุณหภูมิสูงสุดเกิดบริเวณภาคเหนือคือ 37-41 องศาเซลเซียสในแต่ละปีพบว่ามีผู้บาดเจ็บจากความร้อนทั่วโลกมากกว่าล้านคน อุบัติการณ์เสียชีวิตจากความร้อนในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999-2003 คือ 3442 คน โดยพบสาเหตุการเสียชีวิตที่เกิดจากระบบหัวใจและหลอดเลือดมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน[2]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีภูมิอากาศและมีความชื้นสูง ทำให้มีปัญหาในการระบายอากาศและความร้อนออกจากสถานประกอบการ ซึ่งจะส่งผลให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้น คนงานที่ทำงานได้รับผลกระทบจากการเกิดโรคจากความร้อน ทำให้มีความไม่สบายทำงาน จึงส่งผลกระทบต่อการทำงานและส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ[3] กระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องจักรและตัวอาคารที่เป็นคอนกรีตจะส่งผลให้สถานที่ทำงานมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนผลที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสภาวะสุขภาพของประชาชนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การเจ็บป่วยจากความร้อนจะมีความรุนแรงตั้งแต่เล็กน้อยไปถึงมาก ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ความร้อนสะสมในร่างกาย อาการที่เกิดขึ้นจะพบได้ตั้งแต่ผดผื่น

จากความร้อน การบวมแดง การเพื่อยึดแตก ตะคริวแตก การเกร็งแดด ลมแดด และที่อันตรายที่สุดคือ โรคลมร้อน ซึ่งร่างกายไม่สามารถลดอุณหภูมิกายลงได้ ทำให้สมองได้รับอันตรายจากความร้อน ระบบการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ล้มเหลวและเสียชีวิตในที่สุด จากข้อมูลผู้ป่วยที่ใช้สิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้าของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ พบว่า มีอัตราผู้ป่วยในจากอากาศร้อน (รวมทุรกันดาร) ต่อประชากร 100,000 คน จากผู้ใช้สิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้า ข้อมูลอัตราผู้ป่วยใน ในปี พ.ศ. 2550-2555 จะสูงสุดในปี พ.ศ. 2553 (อัตรา 0.33) และรองลงมาในปี พ.ศ. 2550 (อัตรา 0.31) และปี พ.ศ. 2555 (อัตรา 0.28) ตามลำดับ และจากข้อมูลการเฝ้าระวังการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเนื่องจากภาวะอากาศร้อน สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค พบว่า ช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ระหว่างปี 2558-2561 มีรายงานผู้เสียชีวิตจำนวน 56, 60, 24 และ 18 ราย ตามลำดับ[4]

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของปัญหาจากความร้อนที่เกิดขึ้นกับคนงานในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า จากการได้สัมผัสความร้อนเป็นเวลานาน จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความร้อนในโครงการก่อสร้าง และศึกษาผลกระทบจากความร้อนด้วยโปรแกรมนำหวานหรือสารให้ความหวานมีฤทธิ์ในการเสริมพลังงานและความตื่นตัวที่มีหน้าที่ให้พลังงานแก่สมอง และช่วยกระตุ้นการหลั่งของเคมีในสมอง ทำให้รู้สึกสดชื่น กระชุ่มกระชวยดับกระหาย คลายร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันอันตรายที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนสูงในโครงการก่อสร้างให้เหมาะสมและปลอดภัยต่อการทำงานของคนงาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากความร้อนต่อสุขภาพของพนักงานที่ทำงานท่ามกลางแดด และผลการได้รับน้ำหวานในการเพิ่มความอดทนในการทำงานท่ามกลางแดด

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ผ่านคณะกรรมการจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา (Certificate Number: COA.1-008/2019)

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง กำหนดด้วยทฤษฎีการสุ่มโดยไม่คำนึงถึงความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) ใช้การคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ดังนี้

1.1 เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

1.1.1 ผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงาน 3 เดือนขึ้นไป

1.1.2 ผู้ที่มีอายุอยู่ในช่วง 26-65 ปี

1.1.3 ผู้ที่ไม่มีโรคประจำตัว

1.1.4 ผู้ที่มีความดันโลหิตปกติ

1.1.5 ผู้ที่มีความสนใจเข้าร่วมโปรแกรมน้ำหวาน

1.2 เกณฑ์คัดออก (Exclusion criteria)

1.2.1 ผู้ที่ไม่สามารถร่วมโปรแกรมน้ำหวานในการวิจัยได้ตลอดของการวิจัย

1.2.2 ผู้ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง

1.2.3 ผู้ที่ป่วยขณะให้ทำโปรแกรมน้ำหวาน

1.2.4 ไม่ใช้ยาทางจิตเวช ยาเสริมไทรอยด์ ยาความดัน

1.2.5 ผู้ที่มีความสมัครใจออกจากโปรแกรม น้ำหวาน

1.3 กลุ่มที่ไม่ยินยอมเข้าร่วมการทำวิจัย

กลุ่มประชากรที่ผ่านเกณฑ์คัดเข้า (Inclusion criteria) จนสำเร็จโครงการรวมทั้งสิ้น 50 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย ประกอบด้วย เครื่องมือวัดด้านสุขศาสตร์ และแบบสัมภาษณ์ ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมาจากการตรวจสอบ การทบทวนแนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังนี้

2.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิความร้อนในการทำงาน เครื่องมือที่ใช้วัดความร้อนแบบ Heat Stress WBGT Meter TM-188D

2.2 เครื่องมือวัดอัตราการเผาผลาญพลังงาน อุปกรณ์ที่สามารถวัดปริมาณแคลอรีจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ

2.3 เครื่องมือวัดความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจ โดยใช้เครื่องวัดความดันโลหิต ยี่ห้อ Omron Hem-7121

2.4 แบบสัมภาษณ์ ผู้วิจัยสร้างขึ้นมา โดยพิจารณาจากตัวแปรตามวัตถุประสงค์ กรอบแนวคิด และสมมุติฐานการวิจัย และปรับแก้ตามโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน

2.5 โปรแกรมน้ำหวาน วิธีการเตรียมน้ำหวาน (เฮลซ์บลูบอย) ตามฉลากของน้ำหวานให้ข้อมูลไว้ ดังนี้ คือ น้ำหวานเมื่อเจือจางแล้วจะมีส่วนประกอบดังนี้ น้ำตาล 13%W/V (สารมีความเข้มข้นเท่ากับ 1%W/V หมายถึง สารละลาย 100 mL มีตัวถูกละลายอยู่ 1 g ถ้าสารละลาย 1000 mL จะมีตัวทำละลาย $(1/100) \times 1000 = 10$ g ดังนั้นสาร 1%W/V มีความเข้มข้นเท่ากับ ตัวถูกละลาย 10 g ต่อน้ำ 1 ลิตร หรือเท่ากับ 10000 mg ต่อน้ำ 1 ลิตร หรือ 10000 ppm) ส่วนวิธีการผสมคือ ผสมน้ำหวาน 1 ส่วน ต่อน้ำ 4 ส่วน ซึ่งรวมกันได้ 5 ส่วน หรือให้ผสมน้ำหวาน 20% Total volume นั้นแปลว่า ถ้าในน้ำหวานเจือจาง 100 มล. จะใช้น้ำหวานเข้มข้น 20 มล และให้น้ำตาล 13 กรัมปริมาณ น้ำตาลที่ต้องการคือ 15 กรัม ซึ่งคิดเป็น $(20 \times 15) / 13 = 23$ มล. ดังนั้น ปริมาณน้ำหวานที่ต้องให้คนงานดื่มต่อคนต่อวัน เท่ากับ น้ำหวาน

23 มล. (ปริมาณน้ำตาล 1 ช้อนชา เท่ากับ 5 กรัม หรือ 5 ซีซี และควรกินน้ำตาลจากอาหารทุกอย่าง รวมกันไม่เกิน 6 ช้อนชา ต่อวันต่อคน)

3. การสร้างและตรวจสอบคุณภาพแบบสัมภาษณ์

3.1 ศึกษาเอกสาร บทความและรายงานการวิจัยเป็นการค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎี แนวคิด หลักการ ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของบุคคล

3.2 กำหนดกรอบแนวคิดและขอบเขตในการสร้างเครื่องมือให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

3.3 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้ามาสร้างเป็นแบบสัมภาษณ์

3.4 นำแบบสัมภาษณ์ไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ทำการตรวจสอบ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความตรง (Validity) โดยคำนวณค่า IOC (Index of Objective Congruence) ได้ที่ 0.50 ขึ้นไป

3.5 จัดพิมพ์แบบสัมภาษณ์ฉบับสมบูรณ์ แล้วนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 ศึกษาระดับความร้อนในสภาพแวดล้อมการทำงานของพนักงานโครงการก่อสร้างถึงผลกระทบต่อสุขภาพ ด้วยแบบสอบถามจำนวน 50 ชุด

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างก่อนเข้าโปรแกรมเริ่มจากการตรวจวัดความร้อนด้วยเครื่องมือวัดความร้อน Heat Stress WBGT Meter และติดเครื่องวัดอัตราเผาผลาญติดไว้ที่ตัวพนักงานเพื่อวัดปริมาณแคลอรีจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งนี้จะทำการวัดแบบ 3 ชั่วโมง ซึ่งค่า WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) ที่ได้มา นำมาเทียบกฎหมายว่าเป็นงานเบา ปานกลาง งานหนัก ส่วนค่าวัดปริมาณแคลอรี นำมากำหนดชนิดของงานเพื่อนำไปเทียบกฎหมายคู่กับผลการประเมิน WBGT

4.3 เก็บรวบรวมข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างเมื่อเข้าโปรแกรมน้ำหนัก โดยการให้พนักงานดื่มน้ำหวานที่เตรียมไว้ ในปริมาณที่มีน้ำตาลผสมอยู่ 15 กรัม หรือ 3 ช้อนชา เพื่อศึกษาว่าน้ำตาลหรือสารให้ความหวานมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานที่ทำงานกลางแจ้งเป็นเวลานานหรือไม่ เริ่มจากการตรวจวัดความร้อน ด้วยเครื่องมือวัดความร้อน Heat Stress WBGT Meter และติดเครื่องวัดอัตราเผาผลาญติดไว้ที่ตัวพนักงานเพื่อวัดปริมาณแคลอรีจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งนี้จะทำการวัดแบบ 3 ชั่วโมง และทำการทดลองโปรแกรม น้ำหวาน จำนวน 10 วัน ขั้นตอนการทดลองโปรแกรม น้ำหวาน ดังนี้

1) เก็บข้อมูลน้ำหนัก ส่วนสูง ความดันโลหิตของพนักงาน

2) ให้พนักงานทำงานเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วผู้วิจัยจึงทำการทดลองโปรแกรม น้ำหวานโดยการให้พนักงานดื่มน้ำหวานในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จัดเตรียมไว้

3) หลังจากให้พนักงานดื่มน้ำหวานประมาณ 15-30 นาทีแล้ว ทำการวัดการเผาผลาญพลังงานและวัดความดันโลหิตอีกครั้งเพื่อดูว่า น้ำหวานได้ให้พลังงานหรือช่วยลดการเผาผลาญพลังงานอย่างไร

4) สังเกตอาการของพนักงาน ว่าพนักงานมีอาการผิดปกติต่าง ๆ เกิดขึ้นอีกหรือไม่

5) ทำการบันทึกผลการทดลองโปรแกรม น้ำหวานและสรุปผล

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลระดับความร้อนติดตั้งเครื่องวัดสูงจากพื้น 120 ซม. ก่อนอ่านค่าติดตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที ตรวจวัดหาระดับความร้อน (WBGT เฉลี่ย) ในช่วง 2 ชั่วโมงที่มีสูงสุดของการทำงานปกติ การประเมินสภาพความร้อนในการทำงาน จากสมการ (1-2) ดังนี้

ระดับความร้อน WBGT (1)

$$WBGT_{เฉลี่ย} = \frac{(WBGT_1 * t_1) + ... + (WBGT_n * t_n)}{(t_1 + ... + t_n)} = 120 \text{ นาที}$$

ความหนัก-เบาของงาน (2)

$$Workload_{เฉลี่ย} = \frac{(WL_1 * t_1) + ... + (WL_n * t_n)}{(t_1 + ... + t_n)}$$

5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)
ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความร้อนและผลกระทบความร้อนต่อสุขภาพ โดยใช้ความถี่ร้อยละและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.2 สถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics)
หาความแตกต่างระหว่างก่อนเข้าโปรแกรมและขณะเข้าโปรแกรม ด้วย Paired Sample T-test

ผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะงานของกลุ่มตัวอย่างพบว่า คนงานทำงานอยู่กลางแจ้งตลอดเวลา โดยจะหยุดพักเฉพาะเวลาพักคือ 12.00-13.00 น. งานมีลักษณะแตกต่างกัน ประกอบด้วย งานย้ายระบบสาธารณูปโภค งานปรับระดับพื้น งานบนที่สูง งานฐานราก (ตอม่อ) เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 1 และรายงานผลการวิจัย ดังนี้

1. การศึกษาประสิทธิภาพของโปรแกรมนำหวานที่มีผลต่อความคงทนในการทำงานของคนงาน ผลการวิเคราะห์ของการให้น้ำเปล่าตามปกติกับโปรแกรมนำหวาน พบว่าผลการ

ประเมินค่าดัชนีความร้อนในอากาศ มีค่าเฉลี่ย 33.49 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานเกินค่ามาตรฐาน และเมื่อพิจารณารายวัน พบว่าเกินมาตรฐาน 9 วัน จาก 10 วันที่ทำการประเมินแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะงานที่ทำ

ตารางที่ 1 แสดงผลการตรวจวัดค่าดัชนีความร้อนและค่าการเผาผลาญพลังงานของพนักงาน

วันที่	เวลาเริ่ม-เวลาหยุด	ค่า WBGT (°C)		การเผาผลาญพลังงาน (Kcal/hr)
		ผลการประเมิน	มาตรฐาน °C	
1	13.00-15.00 น.	33.88	32°C ค่ามาตรฐาน งานปานกลาง	256
2	13.00-15.00 น.	32.76		330.1
3	13.00-15.00 น.	34.30		312.8
4	13.00-15.00 น.	33.57		305.1
5	13.00-15.00 น.	32.96		339.5
6	13.00-15.00 น.	33.61		315.7
7	13.00-15.00 น.	33.52		276.3
8	13.00-15.00 น.	30.59		333.6
9	13.00-15.00 น.	32.22		316.4
10	13.00-15.00 น.	34.58		327.9
เฉลี่ย		33.49		310.8*

* หมายถึง การเผาผลาญอาหารในร่างกาย 200-350 Kcal/hr จัดเป็นงานปานกลาง

2. การเปรียบเทียบผลกระทบจากความร้อน จากการดื่มน้ำเปล่าตามปกติและขณะเข้าโปรแกรม น้ำหวาน ช่วงที่พนักงานดื่มน้ำเปล่า พนักงานได้รับผลกระทบจากความร้อนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.42$, S.D. = .87) เมื่อเข้าโปรแกรมช่วงที่พนักงานดื่มน้ำหวาน ผลกระทบจากความร้อนลดลงอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X} = 2.70$, S.D. = .80) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบจากความร้อน (ก่อนและขณะเข้าโปรแกรม)

ลักษณะการทำงาน	ก่อนเข้าโปรแกรม			เมื่อเข้าโปรแกรม		
	$\bar{X}$	S.D.	ผลกระทบ	$\bar{X}$	S.D.	ผลกระทบ
1. ความร้อนส่งผลกระทบต่อใจงานไม่ดำเนินการต่อเนื่อง	4.32	.84	มาก	2.64	1.43	ปานกลาง
2. ความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง	4.12	.82	มาก	2.52	1.32	ปานกลาง
3. ความร้อนส่งผลกระทบต่อได้รับอุบัติเหตุได้ง่าย	2.22	1.32	น้อย	1.62	.63	น้อย
4. ความร้อนส่งผลกระทบต่อการทำงานล่าช้ากว่าปกติ	4.36	.66	มาก	2.64	1.24	ปานกลาง
5. ความร้อนทำให้เกิดความเครียดหงุดหงิด	3.94	.79	มาก	1.98	.97	น้อย
6. ความร้อนทำให้เกิดโรคลมแดด (Heatstroke)	3.46	1.31	มาก	1.64	.69	น้อย
7. ความร้อนทำให้เกิดผื่นคันผดแดง	2.16	1.07	น้อย	1.54	.57	น้อย
8. ความร้อนทำให้ป่วยไข้	3.68	1.51	ปานกลาง	1.44	.57	น้อย
ค่าเฉลี่ย	3.53	1.04	มาก	2.00	.93	น้อย

3. การทดสอบสมมติฐานการวิจัย โปรแกรมน้ำหวานที่มีผลต่อความคงทนในการทำงาน และลดสภาวะการเกิดโรคจากความร้อน (Paired Sample T-test)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ การดื่มน้ำเปล่าตามปกติ

μ_2 คือ การดื่มน้ำหวาน

การศึกษาเกี่ยวกับสถิติที่ใช้ทดสอบโปรแกรมน้ำหวานที่มีผลต่อความคงทนในการทำงาน และลดสภาวะการเกิดโรคจากความร้อนของพนักงานในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพูด้วย Paired Samples Test พบว่า โปรแกรมน้ำหวานมีประสิทธิภาพสูงกว่าการได้รับน้ำเปล่าทั้ง 8 ด้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.01$) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ทดสอบโปรแกรมน้ำหวานที่มีผลต่อความคงทนในการทำงาน และลดสภาวะการเกิดโรคจากความร้อน

รายละเอียด	$\bar{X}$	S.D.	t	df	Sig. (2-tailed)
1. ความร้อนส่งผลกระทบให้งานไม่ดำเนินการต่อเนื่อง	1.68	1.63	7.27	49	.000
2. ความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง	1.60	1.58	7.17	49	.000
3. ความร้อนส่งผลกระทบให้ได้รับอุบัติเหตุได้ง่าย	.60	1.40	3.03	49	.004
4. ความร้อนส่งผลกระทบให้การทำงานล่าช้ากว่าปกติ	1.72	1.37	8.87	49	.000
5. ความร้อนทำให้เกิดความเครียดหงุดหงิด	1.96	1.16	11.95	49	.000
6. ความร้อนทำให้เกิดโรคลมแดด (Heatstroke)	1.82	1.60	8.05	49	.000
7. ความร้อนทำให้เกิดผื่นคันผดแดง	.62	1.12	3.90	49	.000
8. ความร้อนทำให้ป่วยไข้	2.24	1.53	10.33	49	.000

สรุปและอภิปรายผล

สภาพความร้อนในพื้นที่ก่อสร้างเกินมาตรฐาน WBGT = 30.59-34.58 องศาเซลเซียส (มาตรฐานไม่เกิน 32 องศาเซลเซียส) ส่งผลกระทบต่อการทำงานและสุขภาพของพนักงานก่อสร้าง สอดคล้องกับการศึกษา[4] พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ก่อให้เกิดการสูญเสียเหงื่อในร่างกาย ส่งผลให้เกิดการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อน (Heat-related illness) เช่น ตะคริว เพลียแดด และอาจมีความรุนแรงจนเสียชีวิตด้วยโรคลมแดด (Heat stroke) เป็นต้น โดยกลุ่มเสี่ยง ที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ได้แก่ กลุ่มที่ทำงานกลางแจ้ง เกษตรกร คนงานก่อสร้าง ตำรวจจราจร สอดคล้องกับการรายงาน [5] มีการทำงานท่ามกลางแดดร้อนเป็นเวลานาน มีอาการ เมื่อยล้า อ่อนเพลีย มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด คือ 47 คะแนน และ [6] ที่ได้กล่าวว่า ความร้อน ถ้าไม่มีการป้องกันความร้อนที่ดี อาจได้รับอันตรายจากความร้อน เช่น ทำให้อ่อนเพลีย

ไม่มีแรง หน้ามืดบ่อย ๆ และอาจเป็นลมสลบได้ พฤติกรรมหรือนิสัยที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุ (Unsafe behavior) จะมีมากขึ้นเมื่อทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิสูง สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้อุณหภูมิร่างกายลดลงคือการขาดน้ำในแง่ของความปลอดภัยในการทำงานมีอยู่น้อยที่สุดก็คือ ช่วงอุณหภูมิ 17-23 องศาเซลเซียสเมื่อวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก (Wet bulb globe thermometer: WBGT)

การได้รับน้ำหวานเพิ่มความอดทนในการทำงานของพนักงานท่ามกลางแดดมากกว่าการได้รับน้ำเปล่าตามปกติ ซึ่งพบว่า โปรแกรมน้ำหวานส่งผลให้พนักงานดำเนินการต่อเนื่อง $t(49) = 7.27, p < .01$ โปรแกรมน้ำหวานส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น $t(49) = 7.17, p < .01$ โปรแกรมน้ำหวานทำให้การทำงานปกติ $t(49) = 3.03, p < .01$ โปรแกรมน้ำหวานส่งผลให้การทำงานสำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้ มีค่า

$t(49) = 8.87, p < .01$ ความร้อนมีระดับสูง ๆ ภายในสถานที่ทำงานจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานอัตราการการทำงานจะช้าลง การเดินหรือการเคลื่อนไหวในการทำงานก็จะไม่เดินอย่างกระฉับกระเฉง (Walk) แต่จะเป็นลักษณะของการเดินทอดน่อง (Stroll) เสียมากกว่า หรือมีแนวโน้มที่จะยืนอยู่กับที่ เฉื่อยชา หรือนั่งไปเลย ซึ่งสอดคล้องกับ[7] ที่ได้กล่าวว่า การเติมน้ำตาลและเกลือ (ในปริมาณที่พอเหมาะ) ในเครื่องดื่มต่าง ๆ จะช่วยเสริมพลังและป้องกันการสูญเสียเกลือโซเดียมของร่างกายได้ โดยเฉพาะคนที่ทำงานกลางแจ้งหรือใช้แรงงานมาก[8] ภาวะไม่สบายอันเนื่องมาจากความร้อนในขณะทำงานทางสรีรวิทยาแล้วยังมีการตอบสนองทางใจ เพราะความรู้สึกทางใจอาจส่งผลให้แสดงพฤติกรรมที่สนองตอบความร้อน เช่น ทำงานช้าลงหรือไม่ประสงค์ทำงานต่อไป อันทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง ส่วนผลโปรแกรมน้ำหวานส่งผลให้การทำงานของพนักงานได้รับอุบัติเหตุลดลง $t(49) = 3.03, p < .01$ โปรแกรมน้ำหวานทำให้ลดอาการเครียด หงุดหงิด $t(49) = 11.95, p < .01$ อธิบายได้ว่า ความร้อนทำให้สูญเสียประสิทธิภาพในการทำงาน และเพิ่มโอกาสอัตราที่จะทำงานผิดพลาดมากขึ้น มีการวิจัยพบว่าภายใต้สภาวะที่ร้อนคือ 38 องศาเซลเซียส ผู้ปฏิบัติงานจะทำงานผิดพลาดมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนนั้นทำให้ร่างกายขับเหงื่อออกมาที่มีมามาก จึงทำให้การจับชิ้นงานหรือเครื่องมือไม่ถนัด สลื่น และไม่สะดวก จึงทำงานได้ช้าลง เมื่อให้พลังงานจากน้ำตาล โมเลกุลเดี่ยวนอกจากน้ำตาลจะมีประโยชน์ในการให้ความหวานและให้พลังงานแก่ร่างกายแล้ว น้ำตาลยังช่วยให้ระบบการทำงานของอวัยวะภายในร่างกายและเนื้อเยื่อต่าง ๆ สามารถทำงานได้เป็นปกติยิ่งขึ้น[9] ทำให้ลดอาการของโรคคลมร้อน

ลดอาการผื่นคัน ผดแดง และลดอาการป่วยไข้ เนื่องจากอวัยวะในการหายใจ การขับปัสสาวะ ระบบการไหลเวียนของเลือด และการย่อยอาหาร ล้วนแล้วแต่ต้องการความร้อนและพลังงานจากน้ำตาลแทบทั้งสิ้น นอกจากนี้น้ำตาลยังมีผลต่อระบบฮอร์โมน โดยจะช่วยให้สามารถผลิตฮอร์โมนได้อย่างเป็นปกติมากยิ่งขึ้น โปรแกรมน้ำหวานทำให้ลดอาการของโรคคลมร้อน โปรแกรมน้ำหวานทำให้ลดอาการผื่นคัน ผดแดง และโปรแกรมน้ำหวานช่วยลดอาการป่วยไข้

ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

1. สลับเวลาการทำงานระหว่างงานที่อยู่กลางแจ้งกับงานที่อยู่ในร่ม เพื่อลดระยะเวลาการสัมผัสความร้อนจากการทำงาน นานเกินไป
2. พนักงานควรเตรียมความพร้อมและสภาพร่างกายตนเองให้พร้อมต่อการทำงานในที่โล่งแจ้ง เช่น ใส่เสื้อผ้าสีอ่อน บางระบายความร้อนได้ดี และใส่หมวกปีกกว้าง เป็นต้น

References

- [1] KooWattanachai, N. “*Heat Transfer*”. Bangkok: physics- center publisher. 1990.
- [2] Mungthian, M., Rangsin, R., Imjaijit, W., Hattachot, P., Panichkul, S. “*A qualitative study to find ways to prevent heat stroke. in the active duty military*”. Phramongkutklao College of Medicine. 2012.
- [3] Jakreng, C. “*Physical Heath Effects from Occupational Exposure to Natural Heat Among Salt Production Workers in Samutsongkham Province*”. Srinakharinwirot University. 2010.

- [4] Department of Disease. “ *Warns the public. Control ministry of public health*”. 2019.
- [5] Pitakpong, A. , Boonkerd, P. “ Risk Assessment of Heat Stroke Disease of Civil Construction Workers Case Study: Road Construction Company, Phayao Province”. *Journal of Science, Engineering and Technology*. Vol.3 No.1 January-May 2021.
- [6] Shawpat. “ *Heat Stroke. Safety and Health at Work Promotion Association (Thailand)*”. 2019.
- [7] Chanpen, P. “ *A comparative study of the anomalies of energy consumers in heat. After the replacement of sugar-salt and water*”. Mahidol University. 1993.
- [8] Somprasri, P. “ *safety Engineering. Phetchaburi Rajabhat University*”. 2001.
- [9] HD CARE. “ *Solving doubts, is each type of sugar good for the body*” . Retrieved, January, 2, 2022. From <https://www.honestdocs.co/each-sugar-grievance-is-good-for-the-body-or-not>. 2020.

กระบวนการพัฒนาน้ำยาประสานไม้อัดที่ผลิตจากเศษไม้ไผ่

มงคล พชรวงศ์ศิริ^{1*}, เกรียงศักดิ์ ทวีวัฒน์², ชำนาญ งามสมบัติ³

^{1,2,3}สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Email : Mongkol2519@kru.ac.th^{1*}

Received: Oct 10, 2022

Revised: Mar 27, 2023

Accepted: Apr 7, 2023

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ นำเสนอผลงานที่เกิดจากการพัฒนากระบวนการผลิตไม้อัด จากเศษไม้ไผ่ ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เ쟁 ตะกร้า ชะลอม ฯลฯ ซึ่งเป็นอาชีพของชาวบ้านในตำบลลุ่มสุม อำเภอยะโยค จังหวัดกาญจนบุรี แต่เดิมกระบวนการผลิตไม้อัด จากเศษไม้ไผ่ ชาวบ้านจะต้องใช้น้ำยาประสานไม้อัด จากโรงงานผลิตไม้อัด และนำมาอัดผ่านความร้อน ทำให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สำคัญและต้องพึ่งพาโรงงานผลิตไม้อัดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงคิดหาวัสดุทดแทนน้ำยาประสานไม้อัดจากโรงงานอุตสาหกรรม พร้อมทั้งทดลองหาเงื่อนไขด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับน้ำยาประสานทดแทน และนำไปถ่ายทอดสู่ชุมชน โดยคัดเลือกใช้น้ำยาประสานใหม่ที่ผลิตจาก กาวลาเท็กซ์ โฟม กาวต่อไม้ เรซิน ปูนซีเมนต์ เมื่อใช้น้ำยาประสานทั้ง 5 ชนิดนี้แล้วนำมาเปรียบเทียบความแข็งแรงกับน้ำยาประสานจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาประสานที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงน้ำยาประสานเดิมมีกระบวนการอัดและให้ความร้อนใกล้เคียงกับกระบวนการเดิมที่ชาวบ้านดำเนินการอยู่ โดยทดลองทำแผ่นไม้จากน้ำยาประสานใหม่ และทดสอบมีช่วงเวลาการให้ความร้อน 5 – 23 นาที ในช่วงอุณหภูมิ 100 – 180 องศาเซลเซียส ทำให้ทราบว่าน้ำยาประสานไม้อัดที่ทำจากโฟมมีคุณสมบัติให้ค่าความแข็งแรงที่สุด นำมาทดลองหาค่าความเหมาะสมของระยะเวลาการให้ความร้อน ช่วงอุณหภูมิ และปริมาณโฟมพร้อมกับทินเนอร์ ผลการทดลอง พบว่า โฟมเมื่อนำมาผสมทินเนอร์ที่ปริมาณโฟม 380 กรัม ทินเนอร์ 300 กรัม จะได้น้ำยาประสานที่ดีที่สุด ให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส กดเป็นเวลานาน 20 นาที สามารถรับน้ำหนักได้ดีที่สุดที่ 56 กิโลกรัม

คำสำคัญ : น้ำยาประสานไม้อัด, ไม้อัดจากเศษไม้ไผ่, กระบวนการผลิตไม้อัด

Development Process of Plywood Bonding Agent made from Bamboo Scraps.

Mongkol Patcharavongsiri^{1*}, Kriangsak Thveevat², Chamnan Ngamsombat³

^{1,2,3}Faculty of Industrial Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

Email : Mongkol2519@kru.ac.th^{1*}

Received: Oct 10, 2022

Revised: Mar 27, 2023

Accepted: Apr 7, 2023

Abstract

The research paper presents the results of the development of plywood from the production process of bamboo such as baskets, round bamboo basket, etc., which is a residential occupation in Lum Sum sub-district, Saiyok district, Kanchanaburi Province. However, the production process of plywood was originally required to be heated. The researchers were constantly dependent on the plywood production plant. Therefore, the villagers were looking for substitute materials for plywood bonding agent from the industrial plant. The researchers also tested the proper temperature with the replacement plywood bonding agent and transferred it to the community using a new blend made of latex, foam, wood-based glue, resin, cement. The traditional process of the villagers was carried out by experimenting with wooden boards from new plywood bonding agent and testing them for 5 to 23 minutes during the temperature range 100 - 180 degrees Celsius. The foam is known to provide the best fit for the heating time, temperature range, and thinner. The result shows that when mixed foam 380 g with thinner 300 g, will get the best cementitious solution heat at 90 degrees Celsius, press for 20 minutes, can bear the best weight at 56 kg.

Keywords : Plywood Bonding Agent, Plywood Made From Bamboo Scraps, Plywood Manufacturing Process.

บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่หลากหลาย และยาวนานตั้งแต่อดีตทั้งในด้านอุปโภค และบริโภค เกี่ยวกับการหาอาหาร ดำรงชีวิต รวมถึงการสร้างที่อยู่อาศัย โดยไม้ไผ่มี ข้อดีหลายอย่างที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ประโยชน์ มีลำต้นที่แข็งแรง ลำตรง น้ำหนักเบา มีความกลม ผ่าเป็นซีกได้ง่าย มีขนาดความยาวและความหนาที่หลากหลาย จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ต่างกันตามชนิดของสายพันธุ์ ซึ่งในประเทศไทยเป็นถิ่นกำเนิด ไม้ไผ่หลากหลายสายพันธุ์[1] บางสายพันธุ์ เป็นไม้แข็ง ซึ่งมีลำตรงยาว ทำให้สามารถผ่าทางยาวขนาดเล็กได้ดี หรือมีสีด้า รวมทั้งมีจุดมีลายสร้างความสวยงามเพิ่มขึ้น ลำไผ่เมื่อเริ่มมีอายุลักษณะที่ปรากฏภายนอกจะมีลักษณะเด่นชัดมากขึ้นจึงนำมาจำแนกสายพันธุ์ไม้ไผ่ได้[2] จังหวัดกาญจนบุรี เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกไผ่เป็นจำนวนมาก มีทั้งเกษตรกรปลูกเพื่อมาผลผลิตไปใช้ และเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในพื้นที่ที่พบไม้ไผ่จำนวนมาก มีอยู่ใน 4 อำเภอของจังหวัดกาญจนบุรี ได้แก่ อำเภอศรีสวัสดิ์ อำเภอทองผาภูมิ อำเภอสังขละบุรี และอำเภอไทรโยค มีการสำรวจพบว่า ไผ่ในธรรมชาติมีขึ้นกระจายตามป่าชุมชน และป่าสงวน รวมถึงในเขตอุทยานแห่งชาติ ซึ่งเป็นอำเภอไทรโยค พบไม้ที่มีขนาดเล็ก เนื้อไม้แข็ง มีหลากหลายชนิด และสายพันธุ์[3] ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ไผ่นำมาทำไม้อัดมีความต้องการจากตลาดสูงขึ้น และมีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต[4] ประกอบกับชาวบ้านในพื้นที่เขตอำเภอไทรโยคส่วนใหญ่ประกอบอาชีพการทำเกษตร ยามว่างจะทำหัตถกรรม จักรสาน โดยมีการสานเสื่อไม้ไผ่สำหรับปูโต๊ะขายของ หรือนำมาเป็นอุปกรณ์ตกแต่งร้าน เป็นกันสาด ทำรั้ว ม่านบังแดด เป็นต้น ซึ่งการสานเสื่อไม้ไผ่มีมาก โดยเฉพาะในหมู่บ้านสามัคคีธรรม ตำบลลุ่มสุม อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี หมู่บ้านห้วยน้ำขาว ตำบลบ้านเก่า อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ก็ได้มีการประกอบอาชีพสานเสื่อและตะกร้าจากไม้ไผ่เป็นจำนวนมาก ทำให้มีเศษไม้ไผ่ที่เหลือจากกระบวนการสาน ไม้ไผ่ใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ไม่น้อยกว่า 500 กิโลกรัมต่อเดือน โดยปกติชาวบ้าน

ตำบลลุ่มสุม อำเภอไทรโยค จะใช้วิธีการเผาทำลาย แต่ปัจจุบันมีการเสริมให้ชุมชนสามัคคีธรรม ตำบลลุ่มสุม อำเภอไทรโยค แปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้จากไม้ไผ่นี้นำมาย่อยสลายให้เป็นเศษขนาดเล็ก นำมาผสมกับกาวที่ใช้ที่ผลิตไม้อัดจากโรงงานผลิตไม้อัดชื่อว่า Polymers Methylenepiphengl Diphenyl Diisocyanate (PMDI) และอัดด้วยแรงดันพร้อมกับความร้อนจะทำให้ได้แผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่เป็นไม้ชนิด MDF (Medium Density Fiberboard) หรือแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง นำเส้นใยของไม้หรือพืชที่มีเส้นใย หรือเส้นใยของวัสดุกลีโนเซลลูโลส วัตถุดิบที่ใช้ ยูคาลิปตัส ยางพารา ไม้ไผ่ ฯลฯ นำมาผสมกับกาวสังเคราะห์ แล้วจึงอัดเป็นแผ่น โดยกรรมวิธีแห้ง คืออัดด้วยความร้อน (Dry Process) เพื่อให้เกิดความยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยจนเป็นเนื้อเดียวกันโดยมีกาวเป็นตัวช่วยประสาน โดยมีความหนาแน่นสูง มีผิวเนื้อในละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วทั้งแผ่น มีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น MDF จะต้องใช้เครื่องอัดร้อนอาจมีแหล่งให้ความร้อนจาก ไอน้ำ น้ำมัน หรือคลื่นวิทยุความถี่สูง วิธีใดวิธีหนึ่ง

แต่การผลิตไม้อัดจากเศษไม้ไผ่นี้นักชาวบ้านยังคงต้องพึ่งพาน้ำประสานไม้อัด (PMDI) จากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้ต้นทุนไม้อัดจากเศษไม้ไผ่มีต้นทุนสูง ต้องสังนํายาประสานไม้อัดนั้นนอกพื้นที่ จังหวัดกาญจนบุรี

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะให้ชาวบ้านพึ่งพาตนเองได้ สามารถผลิตไม้อัดจากไม้ไผ่ที่สามารถผลิตนํายาประสานไม้อัดขึ้นเพื่อทดแทนการซื้อหาจากโรงงานอุตสาหกรรม และส่งเสริมการนํานํายาประสานไม้อัดจากวัสดุ หรือสิ่งที่มีในท้องถิ่น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาสารที่ใช้เป็นตัวประสานกับเศษไม้ไผ่ในการผลิตไม้อัด
2. เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวประสานกับเศษไม้ไผ่
3. เพื่อทดสอบความแข็งแรงของแผ่นไม้อัด

ระเบียบวิธีวิจัย

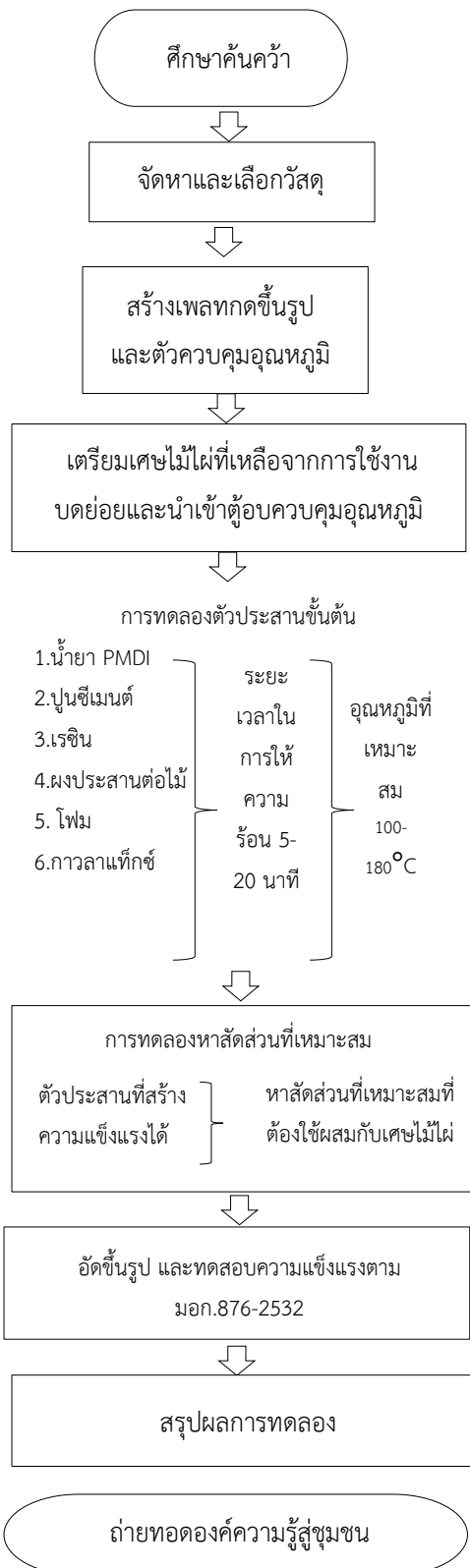
1. เตรียมเศษไม้ไผ่

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็น ไม้ไผ่ที่เหลือใช้ทำให้มาจากหลายแหล่งที่มา ต้องมีการเตรียมวัตถุดิบให้แต่ละครั้งของการทดลองมีปัจจัยของวัตถุดิบที่ใกล้เคียงกัน ด้านขนาดต้องมีการเข้าเครื่องบดย่อยให้ละเอียด



รูปที่ 1 ไม้ไผ่ที่ผ่านการย่อย

ด้านความชื้นจะต้องทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน เพื่อเตรียมผสมกับน้ำยาประสานแต่ละชนิด



1. การทดลองตัวประสานขั้นต้น

การทดลองขั้นต้นจะเป็นการทดลองใช้น้ำยาประสานทุกชนิดซึ่งมีทั้งหมด 6 ชนิด ประกอบด้วย 1 น้ำยา PMDI 2 ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเหมือนกับพัทธรณ์ นาคพินิจ [5] ผสมปูนซีเมนต์กับหญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการย่อย 3 เรซิน 4 ผงประสานไม้ 5 โฟม 6 กาวลาเท็กซ์โดยจะทดลองในเงื่อนไขอุณหภูมิที่ชาวบ้าน ตำบลลุ่มสุมใช้งานอยู่ปัจจุบันคือ 100-180 องศาเซลเซียส แรงดันที่ใช้อัด 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีความสอดคล้องกับ วรณวิภา ไชยชาญ[6] ที่กดอัดด้วยแรงดัน 1,600-1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ช่วงเวลาที่กดให้ความร้อน สามารถปรับเปลี่ยนเป็นช่วงเวลากดได้โดยกำหนด 3 ช่วง 5, 10, 20 นาที การทดลองนี้จะทำกับน้ำยาประสานไม้อัดทั้ง 6 ชนิด และนำค่าการรับน้ำหนักที่ได้มาเปรียบเทียบกับน้ำยาประสานไม้อัดเดิม คือ น้ำยา PMDI และประเมินศักยภาพจากการรับน้ำหนักที่จะคัดเลือก

สารที่มีแนวโน้มการรับน้ำหนักได้ดีไปทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อไป เมื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต และน้ำยาประสานไม้อัดแล้วสามารถใช้ได้บนเครื่องจักรเดิมที่มี

2. การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสม

จากการทดลองตัวประสานขั้นต้น น้ำยาประสานไม้อัดที่มีแนวโน้มทำให้เศษไม้ไม่แข็งตัวได้ และรับน้ำหนักได้ พบว่า โฟม เมื่อนำมาบดให้มีขนาดเล็กปนเคล้ากันให้ทั่วกับเศษไม้ไม่ก่อนนำเข้ากระบวนการอัดเศษไม้ไม่ที่คลุกเคล้ากับโฟมตามสัดส่วนที่กำหนดไว้จะต้องฉีดทินเนอร์ทำลาย โฟมจะกลายเป็นกาวและอยู่ทั่วทั้งแผ่นไม้อัด โดยมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของโฟมและทินเนอร์ให้เหมาะสมกับกระบวนการอัดด้วยความร้อน จากนั้นนำแผ่นไม้อัดที่ขึ้นรูปแล้วในแต่ละสัดส่วนนำไปทดสอบการรับน้ำหนัก ตาม มอก.876-2547[7] ต่อไป

ตารางที่ 1 การทดลองผสมเศษไม้ไม่กับน้ำยาประสานทั้งหมด 6 ชนิด

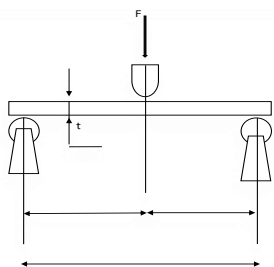
หมายเลขการทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ระยะเวลาที่กดให้ความร้อน (นาที)	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส °C)	100			120			140			160			180		

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสม ระหว่างเศษไม้ไม่ กับ โฟม ทินเนอร์

หมายเลขการทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
น้ำหนักโฟม (กรัม)	90	110	130	140	150	160	170	190	200	210	240	250
น้ำหนักทินเนอร์ (กรัม)	150	150	150	150	150	150	150	150	300	300	300	300
น้ำหนักเศษไม้ไม่ (กรัม)	500 กรัม											
อุณหภูมิ	90 องศาเซลเซียส											
ระยะเวลากดให้ความร้อน (นาที)	20 นาที											
หมายเลขการทดลอง	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
น้ำหนักโฟม (กรัม)	260	280	300	320	340	360	380	400	440	460	480	500
น้ำหนักทินเนอร์ (กรัม)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
น้ำหนักเศษไม้ไม่ (กรัม)	500 กรัม											
อุณหภูมิ	90 องศาเซลเซียส											
ระยะเวลากดให้ความร้อน (นาที)	20 นาที											

3. การทดสอบการรับน้ำหนัก

เมื่ออัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว นำมาตัดขอบให้แผ่นไม้อัดที่จะทำการทดสอบมีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร และยาว 40 เซนติเมตรหนา 10 มิลลิเมตร นำมาทดสอบความแข็งแรงของไม้อัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ มอก. 876-2547 สอดคล้องกับเปรมณัช ชุมพร้อม[8] ที่ผลิตแผ่นไม้จากซีลื้อยไม้ยางพาราผสมน้ำยางพาราทำการทดสอบความแข็งแรงในลักษณะเดียวกันและทำการบันทึกผลน้ำหนักที่รับได้



รูปที่ 2 การทดสอบความต้านแรงดันตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2547

ผลการวิจัย

1. การทดลองขึ้นต้นเพื่อทดลองน้ำยาประสานตัวใหม่ ที่นำมาผสมกับเศษไม้ไฟเพื่อทดแทน น้ำยา PMDI การทดลองประกอบด้วย 1) น้ำยา PMDI 2) ปูนซีเมนต์ 3) เรซิน 4) ผงประสานต่อไม้ 5) โฟม 6) กาวลาเท็กซ์ นำการทดลองอัดด้วยความร้อน 100-180 องศาเซลเซียส นาน 5-20 นาที ตรวจสอบการจับตัวของเศษไม้ไฟจากน้ำยาประสานแต่ละชนิดเพื่อนำไปใช้งานลักษณะไม้อัดจากการสังเกต และการรับน้ำหนักโดยกำหนดรูปแบบการรับน้ำหนักไว้ดังนี้ ได้ผลการทดลองดังนี้ รับน้ำหนักได้ดี คือ มากกว่า 20 กิโลกรัมขึ้นไป, รับน้ำหนักได้น้อย คือ มากกว่า 10-20 กิโลกรัม, รับน้ำหนักไม่ได้ คือ ไม่เกิน 10 กิโลกรัม

ตารางที่ 3 ผลการทดลองขึ้นต้น

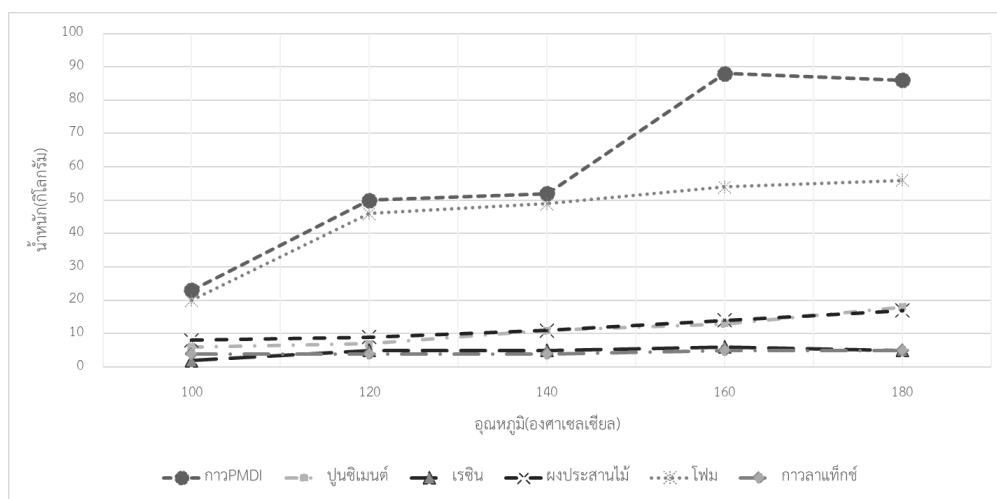
น้ำยาประสาน	ผลการทดลอง	สรุป
1. น้ำยา PMDI	รับน้ำหนักได้ดี	เกาะตัวเป็นแผ่น นำไปทดลองต่อได้
2. ปูนซีเมนต์	รับน้ำหนักได้น้อย	เกาะตัวเป็นแผ่น ไม่สามารถนำไปทดลองต่อได้
3. เรซิน	รับน้ำหนักไม่ได้	ไม่เกาะตัวเป็นแผ่น ไม่สามารถนำไปทดลองต่อได้
4. ตัวประสานต่อไม้	รับน้ำหนักได้น้อย	เกาะตัวเป็นแผ่น ไม่สามารถนำไปทดลองต่อได้
5. โฟม	รับน้ำหนักได้ดี	เกาะตัวเป็นแผ่น นำไปทดลองต่อได้
6. กาวลาเท็กซ์	รับน้ำหนักไม่ได้	ไม่เกาะตัวเป็นแผ่น ไม่สามารถนำไปทดลองต่อได้

จากตารางน้ำยา PMDI และโฟม เมื่อเข้ากระบวนการทดลองที่อุณหภูมิ 100-180 องศาเซลเซียส นาน 5-20 นาที แผ่นไม้อัดแข็งแรงดี และมีข้อสังเกตคือ ยิ่งให้ความร้อนสูงขึ้นจะมีผลต่อค่าการรับน้ำหนัก ปูนซีเมนต์ ตัวประสานต่อไม้ แผ่นไม้อัดเกาะตัวกัน บางแผ่นที่อัดด้วยอุณหภูมิสูงกดันาน ๆ แต่รับแรงได้น้อยมากเรซิน และ กาวลาเท็กซ์ แผ่นไม้อัด ไม่เกาะตัว รับน้ำหนักไม่ได้ หากพิจารณาร่วมกับรูปที่ 3

พบว่า เรซินและกาวลาเท็กซ์ ตลอดการให้ความร้อน 100-180 องศาเซลเซียส การรับน้ำหนักไม่เกิน 10 กิโลกรัม. เรซินและกาวลาเท็กซ์มีลักษณะของเหลวหนืดยากต่อการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับเศษไม้ไฟทุกส่วนของไม้อัดทำให้จุดที่เข้าไม่ถึงอ่อนหักง่าย ปูนซีเมนต์ และผงประสานต่อไม้ จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงขึ้นเมื่อการทดลองที่ 160, 180 องศาเซลเซียส แต่ไม่มาก โดยรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 20

กิโลกรัม. ปูนซีเมนต์ และผงประสานต่อไม้ มีโครงสร้างเป็นของแข็งผสมเข้ากันกับเศษไม้ได้ดี แต่เมื่อนำไปอัดด้วยความร้อนแล้ว การยึดตัวกันของเศษไม้ไม่ดีเท่ากับน้ำยาประสานที่มีโครงสร้างเป็นของเหลวซึมซับทุกส่วนและแห้งกลายเป็นของแข็งยึดติดกันแน่น ส่วนโฟมจะเริ่มมีค่าการรับน้ำหนักได้ดีตั้งแต่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และสูงขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึง 180 องศาเซลเซียส สามารถรับน้ำหนักได้ 56 กิโลกรัม โฟมมีโครงสร้างเป็นของแข็งขนาดเล็กและเบาต่อการผสมให้เข้ากันกับเศษไม้ได้ และมีการทำลายโดยใช้ทินเนอร์โฟมจะเปลี่ยน

โครงสร้างเป็นของเหลวง่ายต่อการแทรกซึมไปทุกจุดทั่วแผ่นไม้อัดเมื่อมีการอัดด้วยความร้อนโครงสร้างของน้ำยาประสานจากของเหลวจะเปลี่ยนเป็นของแข็งยึดติดแข็งแรง[9] ซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นถึงศักยภาพที่จะนำไปทดลองปรับสัดส่วนโฟม และทินเนอร์ ให้เข้ากับ อุณหภูมิ เศษไม้ได้ ที่นำมาผลิตไม้อัดมีความเป็นไปได้ที่จะรับน้ำหนักได้สูงขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำยา PMDI จากโรงงานไม้อัด ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 88 กิโลกรัม. ที่มีความร้อน 160 องศาเซลเซียส

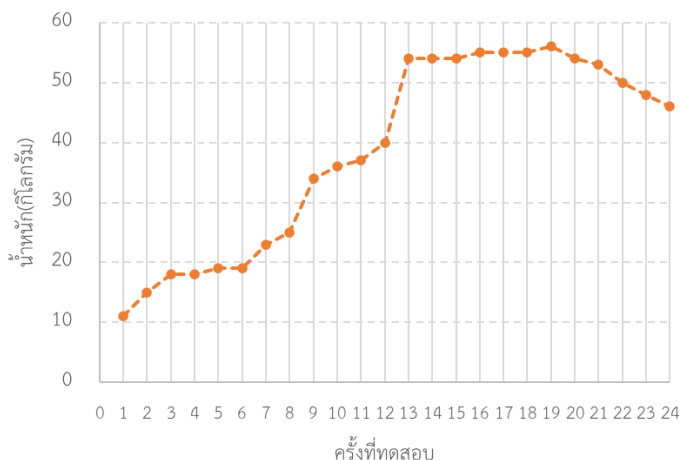


รูปที่ 3 ทดสอบขั้นต้นโดยใช้น้ำยาประสานทั้ง 6 ชนิด กับเศษไม้ไผ่
หาค่าน้ำหนักที่สามารถรับได้ในแต่ละอุณหภูมิ

2. ผลการทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสม

จากการทดลองขั้นต้นพบว่าน้ำยาประสานไม้อัดที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้ได้ คือ โฟมผสมกับทินเนอร์ และทำการรับน้ำหนักจะดี เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น คือ 160-180 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยคิดปรับ

ส่วนผสม และลดอุณหภูมิในการกดอัดลงเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ให้อุณหภูมิอยู่ที่ 90 องศาเซลเซียส กวดาน 20 นาที โดยมีเงื่อนไขการทดลองตามตารางที่ 2



รูปที่ 4 ผลการทดสอบ สัดส่วนผสมโฟมและหินเนอร์

จากรูปที่ 4 การทดลองทั้งหมด 24 ครั้ง เริ่มครั้งแรก โฟมเพิ่มขึ้น ครึ่งละ 20 กรัม รับน้ำหนักเริ่มต้นที่ 11 กิโลกรัม สูงสุด ครั้งที่ 19 ใช้โฟม 380 กรัม หินเนอร์ 300 กรัม สามารถ รับน้ำหนักได้ 56 กิโลกรัม เนื่องจาก ปริมาณของโฟมที่ทำละลายกับหินเนอร์เป็นน้ำยา ประสานมีปริมาณทั่วถึงทั้งแผ่นทำให้รับน้ำหนักได้ดี ซึ่งเพียงพอต่อการนำมาเป็นไม้อัด รับน้ำหนักได้ 56 กิโลกรัม ซึ่งเพียงพอต่อการนำมาเป็นไม้อัด

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองเปรียบเทียบ น้ำยาประสานไม้ อัดที่จะนำมาทดแทนน้ำยา PMDI พบว่า โฟมผสม กับหินเนอร์ดีที่สุด โดยชาวบ้านตำบลลุ่มสุ่มอำเภอ ไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี และสามารถลดใช้อุณหภูมิ ในการกดอัดที่ต่ำ 90 องศาเซลเซียส กดอัดนาน 20 นาที สามารถรองรับน้ำหนักได้ดีที่สุด 56 กิโลกรัม สามารถนำแผ่นไม้อัดจากเศษไม้ไผ่ที่ได้จากน้ำยา ประสาน โฟม ทดแทนแผ่นไม้อัดที่ใช้น้ำยาประสาน PMDI จากโรงงานไม้อัดได้ อีกทั้งยังสามารถลด ปริมาณขยะจากโฟมลงอีกนำมาใช้เป็นน้ำยา ประสานได้เป็นอย่างดี

References

- [1] Sirin Bunnag, Supakorn Boonyuen and Thanpisit Phuangchik. "A Study on Physical Characteristics of Some Bamboo", *Thai Journal of Science and Technology*, Vol 10, No 3, pp 315-326, 2021.
- [2] Suthat Dechwisit "Bamboo for bamboo love," Agro-communicata publisher, pp 200, 1994.
- [3] Thanpisit Puangchick and Bhornchai Harakotr. "A Survey, Collecting and Characterization of Natural Bamboo in Kanchanaburi Province, Thailand." *Thai Journal of Science and Technology*, Vol 7, No 4, pp 382-392, 2018.
- [4] Yoosuk, E. , Patcharavongsiri, M. , Sutchana, K. , and Sermsri, N. "Local Product Development for Bamboo Plywood of Kanchanaburi Thailand." *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, Vol 17, No 2, pp 418-429, 2020.

- [5] Natpinit, P. , Chantrawongphaisal, B. , Kongsomboon, C. , and Hongcharoensri, P. “Physical Properties of Cement Fibers from Napier Grass,” *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, Vol 7, No 2, pp 129-146, 2019.
- [6] Wanvipa Chaichan, Aneak Sawain and Weerasak Chaichan. “ Optimum Ratio for Co-producing Plant Pot from Organic Residues,” *Journal of Southern Technology*, Vol.12, No.1, pp 193-205, 2019.
- [7] Thailand Industrial Standards Institute “ industrial product standards. FLAT PRESSED PARTICLEBOARDS. TIS. 876-2547,” Ministry of Industry, pp 17, 2004.
- [8] Premnat Chumprom, Charoon Charoennetkul and Watthanaphon Cheewawuttipong. “Thermal insulation bamboo weaving sheet from wood sawdust/natural rubber composites,” The 27th National Convention on Civil Engineering, Chiang Rai, THAILAND, pp MAT06-1-7, 2022.
- [9] Kitchai Jitkhajornwanich. “ Adhesive. ” NAJUA: Architecture” , *Design and Built Environment*, Vol 22, pp 93-110, 2007.

สมรรถนะเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน: การติดตั้งฉนวนกันความร้อน ใต้หลังคาเมทัลชีท

วลี อมาตยกุล¹, จิระศักดิ์ พุกดำ^{2,*}, ดิษฐา นนทิวรวงษ์³, วิทยา พวงสมบัติ⁴

¹วิทยาลัยผู้ประกอบการสร้างสรรค์นานาชาติรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

^{2,*}สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

³คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

⁴สุตกำแพง ถนนพหลโยธิน ต.โกสัมพี อ.โกสัมพีนคร จ.กำแพงเพชร

Email: jirasak.puk@rmutr.ac.th*

Received: Feb 3, 2023

Revised: Apr 14, 2023

Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอสมรรถนะเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนที่ติดตั้งใต้หลังคาเมทัลชีท บ้านทดสอบ 3 หลังได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบ โดยที่บ้านทดสอบหลังที่ 1 ติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิด โยแก้ว (HGW) บ้านทดสอบหลังที่ 2 ติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน (HAB) และบ้านทดสอบหลังที่ 3 เป็นบ้านอ้างอิง (Ref) หลังคาบ้านเป็นหลังคาเพิงแหงนที่มีมุมหลังคา 5° และมีปริมาตรห้องและห้องใต้หลังคา อยู่ที่ 22.5 m^3 และ 5.4 m^3 ตามลำดับ สมรรถนะเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนแสดงในรูปของ อุณหภูมิ ความร้อนผ่านฝ้าเพดานและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความร้อนผ่านฝ้าเพดาน จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าบ้าน HGW มีอุณหภูมิของฉนวนต่ำกว่าบ้าน HAB อยู่ในช่วง 0.2°C ถึง 3.2°C ในขณะที่การ ลดลงของอุณหภูมิห้องใต้หลังคาสูงสุดของบ้าน HGW และ บ้าน HAB เท่ากับ 5.7°C และ 4.8°C เมื่อเทียบกับบ้านอ้างอิง นอกจากนี้ บ้าน HGW และ บ้าน HAB มีค่าความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานต่ำกว่าบ้านอ้างอิง ในขณะที่บ้าน HGW และ บ้าน HAB มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความร้อนผ่านฝ้าเพดานเมื่อเทียบกับบ้าน อ้างอิงถึง 50.75% และ 37.60% ตามลำดับ

คำสำคัญ : หลังคาเมทัลชีท, ฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว, ฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน, สมรรถนะเชิงความร้อน, ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

Thermal performance of thermal insulation: Installing the thermal insulation under the metal sheet roof

Valee Amatayakul¹, Jirasak Pukdum^{2,*}, Dittha Nonthiworawong³,
Withaya Puangsombut⁴

¹Rattanakosin International College of Creative Entrepreneurship
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

^{2,*}Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

³Faculty of Architecture and Design, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

⁴Sood-Kamphaeng, Phaholyothin Rd, Kosamphi, Kosamphi Nakhon, Kamphaeng Phet Thailand
Email : jirasak.puk@rmutr.ac.th*

Received: Feb 3, 2023

Revised: Apr 14, 2023

Accepted: May 31, 2023

Abstract

This paper presents the thermal performance of the thermal insulation installed under the metal sheet roof. Three test houses were utilized in the experiments. First test house installed the glass wool thermal insulation (HGW), the second test house installed the asbestos thermal insulation (HAB) and the third test house was a reference house (Ref). The roof was fixed 5° (shed roof), and the volume of the room and the attic was 22.5 m³ and 5.4 m³, respectively. The thermal performance of the thermal insulation was expressed in terms of temperature, ceiling heat gain and percent heat gain reduction. The experiments show that the HGW had an insulation temperature lower than the HAB between 0.2°C to 3.2°C, while the maximum attic temperatures reduction of HGW and HAB were 5.7°C and 4.8°C, respectively. Moreover, the HGW and HAB were reduced the ceiling heat transfer than a reference house, while the percentage ceiling heat gain reduction of HGW and HAB achieved to 50.75% and 37.60%, respectively.

Keywords : Metal sheet roof, Glass wool thermal insulation, Asbestos thermal insulation, Thermal performance, Ceiling heat gain

บทนำ

หลังคาเป็นส่วนประกอบของอาคารและบ้านพักอาศัยที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการรับรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่บริเวณที่พักอาศัยและบริเวณใช้ประโยชน์ภายในอาคาร ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนภายในบริเวณดังกล่าวและเกิดความไม่สบายเชิงความร้อนต่อผู้อยู่อาศัย ทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดความสบายต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคารและที่พักอาศัยนั้น ๆ จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ได้มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย การศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา [1] ผนังอาคาร [2-3] หน้าต่าง [4-5] และการลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคา [6] และภายในส่วนของห้องพักอาศัย [7-8] ซึ่งสามารถลดความร้อนผ่านกรอบอาคารและความร้อนสะสมภายในอาคารที่เป็นสาเหตุของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยนั้นตั้งอยู่ในเขตที่มีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี [9] อีกทั้งยังมีสภาพภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น [10] ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและการสะสมความร้อนภายในอาคารเป็นอย่างยิ่ง และอาคารแต่ละประเภทก็มีความต้องการการใช้อุปกรณ์สำหรับลดการถ่ายเทความร้อนที่มีความแตกต่างกันเพื่อให้เหมาะสมกับอาคารนั้น ๆ ซึ่งการใช้ฉนวนกันความร้อนหรือแผ่นสะท้อนความร้อนก็ยังเป็นสิ่งได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหรือแผ่นสะท้อนความร้อนนั้นมีการติดตั้งในรูปแบบที่แตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานของอาคารหรือบ้านพักอาศัยนั้น ๆ Puangsombut [11] ได้ทำการศึกษาการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดฉนวนใยแก้วกับบ้านทดสอบขนาดเล็ก

เพื่อเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบปกติที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อน ซึ่งสามารถลดความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเฉลี่ยได้ $2-4 \text{ W/m}^2$ และในชุดการทดสอบเดียวกัน ได้ทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนที่ได้หลังคาเปรียบเทียบกับติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนบนฝ้าเพดาน ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนได้หลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ในช่วงใกล้เคียงกัน ต่อมา Dechjirakul และ Chindavanig [12] ได้ศึกษาการติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้วกับผนังอาคาร โดยการศึกษาใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร จากการศึกษาพบว่า อาคารที่มีการออกแบบอาคารของอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเท่ากับหรือมากกว่า 30% ของอาคารจะมีผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารผ่านเกณฑ์ตามที่กระทรวงพลังงานกำหนด และฉนวนใยแก้วที่มีความหนาแน่น 16 kg/m^3 ความหนา 25 mm มีความคุ้มค่ามากที่สุดในทุกอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

ในปัจจุบันอาคารและบ้านพักอาศัยบางส่วนได้มีการออกแบบหลังคาเป็นหลังคาเมทัลชีท (Metal sheet roof) ซึ่งเป็นหลังคาที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีน้ำหนักเบาและสามารถเลือกความยาวของหลังคาได้ตามต้องการ อีกทั้งสะดวกต่อการติดตั้ง และจากการทดสอบของ [11] ในบทความนี้จึงได้ทำการศึกษาทดลองโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีทของบ้านทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารกับบ้านทดสอบปกติที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อน โดยฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในการทดสอบนี้มีด้วยกัน 2 แบบ ดังแสดงในหัวข้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทฤษฎี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ในกรณีติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีท และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ในรูปอุณหภูมิสะสมภายในห้องใต้หลังคาและเปอร์เซ็นต์การลดความร้อนที่ได้รับผ่านฝ้าเพดาน ของบ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนและบ้านทดสอบที่ไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน

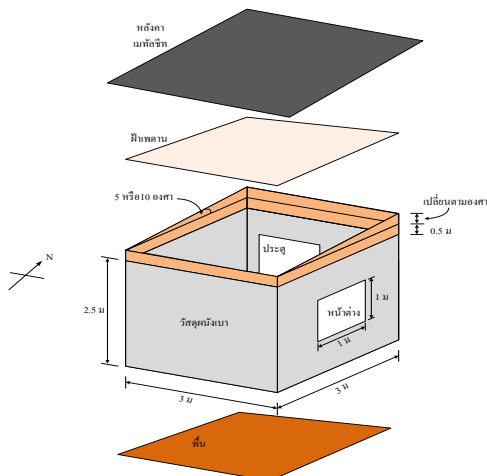
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทฤษฎี

ในการศึกษานี้ใช้ฉนวนกันความร้อน 2 ชนิด คือ ฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน (Asbestos) และฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว (Glass wool) โดยมีแผ่นสะท้อนความร้อนเป็นวัสดุห่อหุ้มฉนวนกันความร้อน โดยที่ฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้วมีความหนาแน่นของฉนวนเท่ากับ 32 kg/m^3 และมีความหนา 50 mm และฉนวนกันความร้อนชนิดใยหินมีความหนาแน่นของฉนวนเท่ากับ 80 kg/m^3 และมีความหนา 50 mm



รูปที่ 1 บ้านทดสอบ

รูปที่ 1 แสดงบ้านทดสอบทั้ง 3 หลัง ซึ่งแต่ละหลังมีความกว้าง 3 m ความยาว 3 m และความสูง 2.5 m หลังคาบ้านเป็นแบบเพิงหางน ทำมุมมุมเอียง 5° กับแนวระดับ ส่วนประกอบของบ้านทดสอบแต่ละหลังประกอบด้วย หลังคาเมทัลชีท ฝ้าเพดานทำจากแผ่นยิปซัม วัสดุผนังเบา พื้นทำจากแผ่นพื้นสำเร็จรูป หน้าต่างและประตูขนาดมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2 (ส่วนประกอบของบ้านทดสอบ)



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของบ้านทดสอบ

จากการทดลองและการเก็บข้อมูล การเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนและบ้านปกติที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อน ดัชนีที่มีความสำคัญในการประเมินความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานคือ เปอร์เซ็นต์การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน สามารถคำนวณได้จาก

$$\%HG \text{ red.} = \left(\frac{HG_{ref} - HG_{ins}}{HG_{ref}} \right) \quad (1)$$

เมื่อ

$\%HG \text{ red.}$ คือ เปอร์เซ็นต์การลดการ ถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน (%)

HG_{ref} คือ ความร้อนผ่านฝ้าเพดานบ้านที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อน (W/m^2)

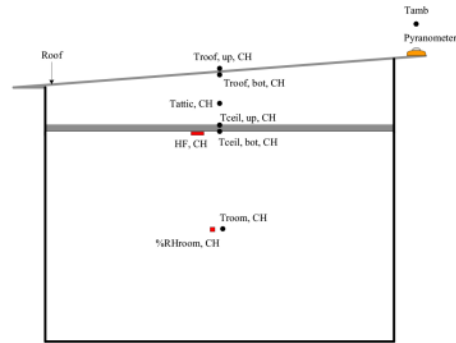
HG_{ins} คือ ความร้อนผ่านฝ้าเพดานบ้านที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน (W/m^2)

ระเบียบวิธีวิจัย

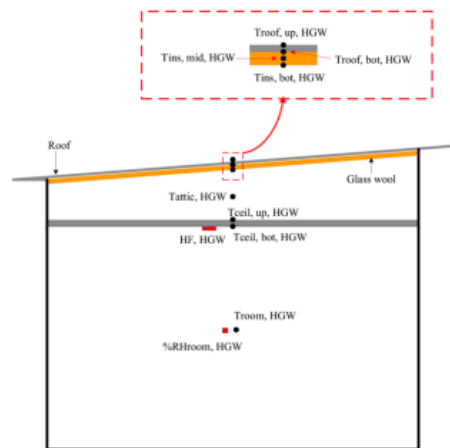
งานวิจัยนี้ได้ทดสอบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานของฉนวนกันความร้อน 2 ชนิด คือฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว และฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน ที่ติดตั้งได้หลังคาเมทัลชีท เปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อน โดยบ้านทดสอบแต่ละหลังมีขนาดของห้อง 22.5 m^3 และมีขนาดของห้องใต้หลังคา 5.4 m^3 หลังคาทำมุม 5° กับแนวระดับ

อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดและบันทึกข้อมูลประกอบด้วย เครื่องวัดค่ารังสีอาทิติย์ (Kipp & Zonen: Model CMP 11) สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ช่วงการวัด: $0-1250^\circ\text{C}$) ต่อตรงกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki: Model 8422-52) อุปกรณ์วัดความร้อนผ่านฝ้าเพดาน (EKO: FM-180) และบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที (06:00-18:00 น.) และกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fluke Ti200) สำหรับถ่ายภาพความร้อนที่ฝ้าเพดาน

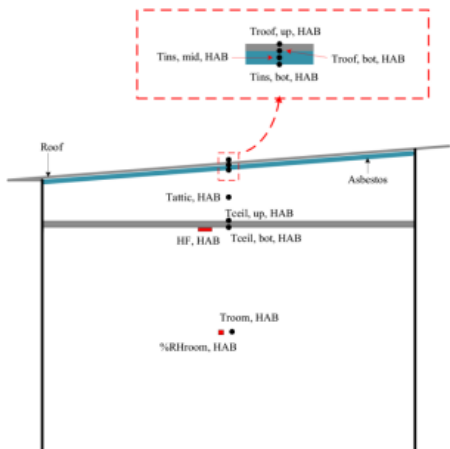
รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งตรวจวัดข้อมูลของบ้านทดสอบทั้ง 3 หลัง คือ รูปที่ 3 (a) บ้านทดสอบที่ไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน รูปที่ 3 (b) บ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว มีความหนาแน่น 32 kg/m^3 หนา 50 mm และรูปที่ 3 (c) บ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน ความหนาแน่น 80 kg/m^3 หนา 50 mm โดยบ้านทดสอบแต่ละหลัง มีตำแหน่งวัดอุณหภูมิหลังคา อุณหภูมิฉนวนกันความร้อน อุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคา อุณหภูมิด้านบนฝ้าเพดาน อุณหภูมิด้านล่างฝ้าเพดานอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความร้อนผ่านฝ้าเพดาน



(a) บ้านทดสอบที่ไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน



(b) บ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว (32 kg/m^3 , 50 mm)



(c) บ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน (80 kg/m^3 , 50 mm)

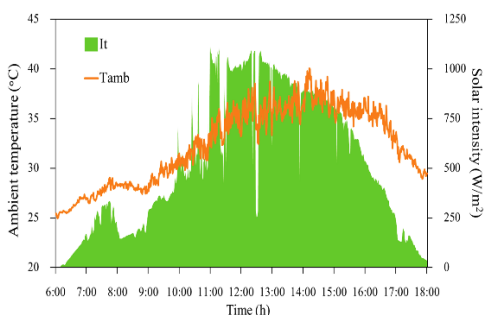
รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์กับบ้านทดสอบ

ผลการวิจัย

การทดสอบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาในกรณีที่ตั้งติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีทของบ้านทดสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อน ได้ดำเนินการทดสอบในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย

1. สภาพอากาศแวดล้อม

รูปที่ 4 แสดงค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จะเห็นได้ว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดโดยอุปกรณ์ที่ตั้งอยู่บนหลังคาบ้านทดสอบนั้นมีผลกระทบจากเงาที่เกิดการเคลื่อนที่ของเมฆเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ และค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดอยู่ที่ 1020 W/m^2 ที่เวลา 12:00 น. และ 40°C ที่เวลา 14:15 น. ตามลำดับ

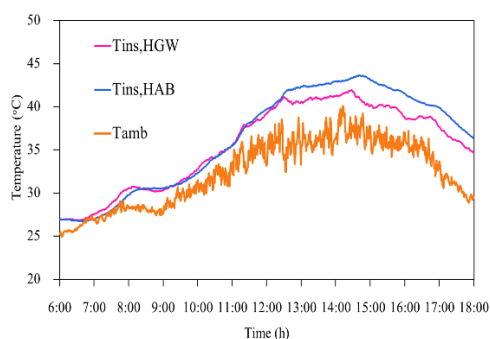


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่ารังสีอาทิตย์

2. อุณหภูมิและความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

จากการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลของบ้านทดสอบทั้ง 3 หลัง ประกอบด้วยบ้านทดสอบที่ตั้งติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้วที่มีความหนาแน่น 32 kg/m^3 และหนา 50 mm ติดตั้งอยู่ใต้หลังคาเมทัลชีท (HGW) และบ้านทดสอบที่ตั้งติดตั้งฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน ที่มีความหนาแน่น 80 kg/m^3 และหนา 50 mm ติดตั้งใต้หลังคาเมทัลชีท (HAB) เพื่อเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่ไม่ได้ทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อน (Ref)

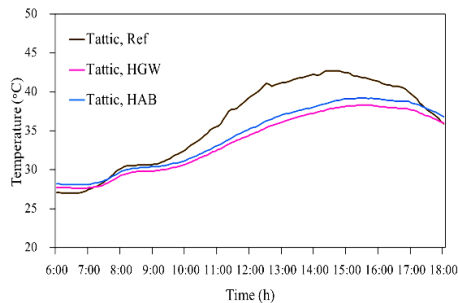
จากการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลของบ้านทดสอบ ในรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด จะเห็นได้ว่าในช่วง 06:00-12:00 น. อุณหภูมิของบ้านทดสอบ HGW และบ้านทดสอบ HAB มีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังจาก 12:00 น. บ้านทดสอบ HAB มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่าบ้านทดสอบ HGW และสูงสุดอยู่ที่เวลา 15:00 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิของฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด มีค่าลดลงอย่างช้า ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ซึ่งเกิดจากความร้อนที่สะสมภายในฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉนวนกันความร้อน

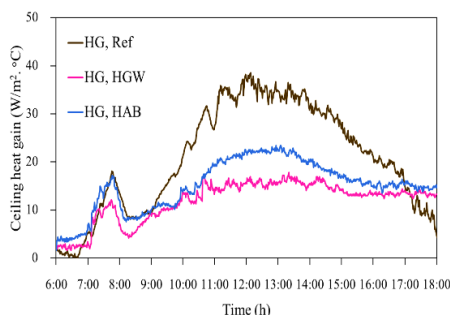
ซึ่งจากการวัดอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบทั้ง 3 หลังและแสดงผลในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบ Ref มีอุณหภูมิห้องใต้หลังคาสูงกว่าบ้านทดสอบ HGW และบ้านทดสอบ HAB ในช่วงเวลา 08:00-17:00 และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิห้องใต้หลังคาระหว่างบ้านทดสอบ Ref กับบ้านทดสอบ HGW สูงสุดอยู่ที่ 5.1°C และสำหรับบ้านทดสอบ HAB อยู่ที่ 4.1°C และจะเห็นได้ว่าหลังจาก 16:30 น. บ้านทดสอบ Ref มีอุณหภูมิห้องใต้หลังคาลดลงอย่างต่อเนื่องและมีค่าต่ำกว่าบ้านทดสอบ HGW และบ้านทดสอบ HAB ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนสะสมภายในห้องใต้

หลังคาของบ้านทดสอบ Ref สามารถถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด

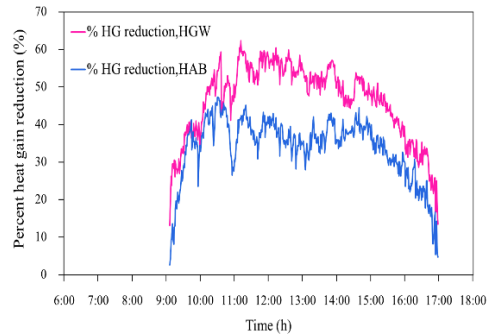


รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคา

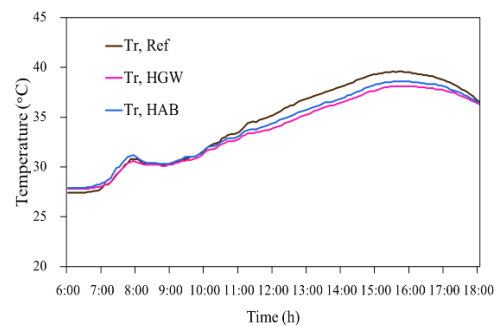
จากผลของการถ่ายเทความร้อนของบ้านทดสอบทั้ง 3 หลังส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าบ้านทดสอบ Ref มีค่าความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานมากกว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนทั้ง 2 ชนิด โดยมีค่าความแตกต่างของความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานระหว่างบ้านทดสอบ Ref กับบ้านทดสอบ HGW สูงสุด 22.37 W/m^2 และ 15.13 W/m^2 สำหรับบ้านทดสอบ Ref กับบ้านทดสอบ HAB ในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความร้อนผ่านฝ้าเพดานนั้น แสดงในรูปที่ 8 จะเห็นว่าบ้านทดสอบ HGW มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความร้อนผ่านฝ้าเพดานเมื่อเทียบกับบ้านทดสอบ Ref เฉลี่ยอยู่ที่ 50.75% และ 37.60% สำหรับบ้านทดสอบ HAB เมื่อเทียบกับบ้านทดสอบ Ref



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดาน



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดาน



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้อง

ผลจากการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในห้องของบ้านทดสอบทั้ง 3 หลัง ทำให้อุณหภูมิภายในห้องของบ้านทดสอบเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าบ้านทดสอบ Ref มีอุณหภูมิสูงกว่าบ้านทดสอบ HGW และ บ้านทดสอบ HAB เท่ากับ 1.7°C และ 1.1°C ตามลำดับ ส่วนบ้านทดสอบ HGW มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่าบ้านทดสอบ HAB ระหว่าง $0.1-0.6^\circ\text{C}$ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องของบ้านทดสอบมีผลมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารทั้ง 4 ด้านของบ้านทดสอบ อีกทั้งบ้านทดสอบทั้ง 3 หลังไม่มีการระบายอากาศภายในห้องทำให้เกิดการสะสมความร้อนของอากาศภายในห้องทดสอบด้วย

3. ภาพถ่ายความร้อนของฝ้าเพดาน

นอกจากทำการวัดอุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดานแล้วในการทดลองนี้ได้ใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพ

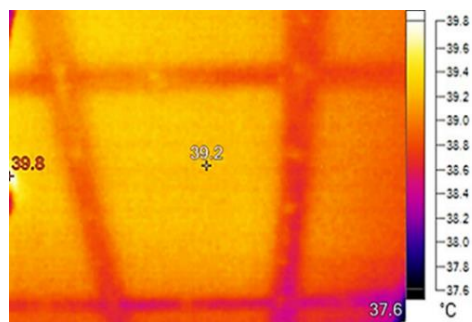
ความร้อนถ่ายเทที่ด้านล่างของฝ้าเพดานของบ้านทดสอบทั้ง 3 หลัง โดยภาพถ่ายความร้อนจะแสดงค่าอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวด้านล่างฝ้าเพดาน ดังแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าที่บ้านปกติที่ไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ย อยู่ที่ 39.8°C , 37.6°C และ 38.3°C ตามลำดับ ในขณะที่บ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว มีอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ย อยู่ที่ 34.0°C , 33.1°C และ 33.5°C และบ้านทดสอบที่ติดตั้งฉนวนใยหิน มีอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ย อยู่ที่ 34.3°C , 33.6°C และ 33.9°C

สรุปและอภิปรายผล

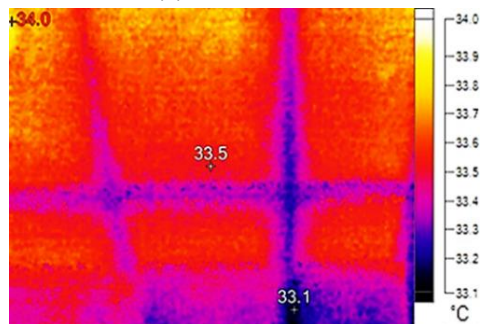
การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีทนั้น สามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติทางความร้อนและประกอบกับฉนวนทั้ง 2 ชนิดมีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันเมื่อเทียบกับต่อ 1 หน่วยปริมาตรจึงทำให้มวลของฉนวนมีค่าแตกต่างกันด้วย จากผลการทดสอบจะเห็นว่าอุณหภูมิของฉนวนกันความร้อนชนิดใยหินมีอุณหภูมิของตัวฉนวนสูงกว่าอุณหภูมิของฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว ทำให้ฉนวนกันความร้อนชนิดใยหินมีการสะสมความร้อนภายในเนื้อฉนวนมากกว่าฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว และเนื่องจากฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด ถูกวางอยู่ใต้หลังคาเมทัลชีทและวางอยู่บนโครงสร้างหลังคา ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันระหว่างโครงสร้างหลังคาและโครงสร้างฝ้าเพดาน ทำให้ความร้อนที่สะสมอยู่ในฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด ถ่ายเทผ่านโครงสร้างหลังคาเข้าสู่ฝ้าเพดานก่อนเข้าสู่ภายในห้องพักอาศัย ในขณะที่ความร้อนบางส่วนถูกถ่ายเทให้กับฝ้าเพดานโดยการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวฉนวน

ด้านล่าง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานระหว่างบ้าน Ref กับบ้าน HGW สูงสุด อยู่ที่ 22.37 W/m^2 และ สำหรับบ้าน Ref กับบ้าน HAB อยู่ที่ 15.13 W/m^2

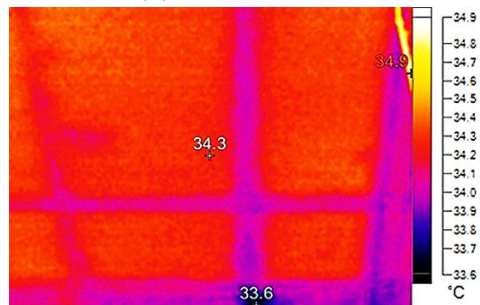
โดยสรุปในการทดลองนี้บ้านทดสอบที่ใช้นั้นมีฝ้าเพดานเป็นส่วนประกอบของหลังคา ซึ่งมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา ดังนั้นในกรณีของหลังคาที่ไม่มีฝ้าเพดานเป็นส่วนประกอบนั้นอาจมีผลการทดลองที่แตกต่างจากการทดลองนี้ด้วยเช่นกัน



(a) บ้านไม่ติดตั้งฉนวน



(b) บ้านติดตั้งฉนวนใยแก้ว



(c) บ้านติดตั้งฉนวนใยหิน

รูปที่ 10 ภาพถ่ายความร้อนที่ฝ้าเพดานด้านในตัวบ้าน

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีทเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้างต่อไปดังนี้

1. ทดสอบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีทของบ้านทดสอบ ร่วมกับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อศึกษาถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

2. ทดสอบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีทของบ้านทดสอบ เปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่มีการระบายอากาศภายในห้องใต้หลังคาเพื่อศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวอาคาร

3. ทดสอบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาเมทัลชีทของบ้านทดสอบ เปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนใต้หลังคาเมทัลชีทพร้อมทั้งมีการระบายอากาศภายในห้องใต้หลังคาเพื่อศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวอาคารรวมทั้งศึกษาถึงความสบายเชิงความร้อนที่เกิดขึ้นจากการระบายอากาศ

4. ศึกษาฉนวนกันความร้อนทั้งสองแบบที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการสะสมความร้อนและการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ที่พักอาศัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณ “สุดกำแพง” ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการออกแบบการทดลองและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบภาคสนามรวมถึงคำแนะนำเชิงวิชาการสำหรับงานวิจัยนี้

References

- [1] S. Phiraphat, R. Prommas and W. Puangsombut, “Experimental study of natural convection in PV roof solar collector,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol.89, pp. 31-38, December 2017.
- [2] K. Jantana, W. Puangsombut and T. Ananacha, “The performance of the interlocking block solar collector,” *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 619, pp. 130-134, 2014.
- [3] J. Khedari, C. Pongsatirat, W. Puangsombut and J. Hirunlabh, “Experimental performance of a partially-glazed Modified Trombe Wall,” *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 26, no.1, pp. 27-36, 2005.
- [4] W. Puangsombut, “Experimental performance of solar chimney window on school building,” *Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand*, Vol. 20, no. 4, pp. 70-75, December 2009.
- [5] W. Puangsombut, D. Nonthiworawong and T. Lohapansomboon, “Effect of moisture reduction on thermal comfort by solar chimney window with small ventilation fan”, *The Journal of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University*, Vol. 8, no. 1, pp. 22- 30, January – June 2020.

- [6] K. Juengpimonyanon, W. Puangsombut and T. Ananacha, "Field investigation on thermal performance of the tile ventilator," *Applied Mechanics and Materials*, Vols.619, pp. 73-77, 2014.
- [7] N. Nankongnab, W. Puangsombut, S. Insiripong, J. Hirunlabh and U-C. Shin, "Field investigation on hygrothermal performance of full-vent perforated soffit and ceiling," *Solar Energy*, Vol. 80, no. 8, pp. 936-948, August 2006.
- [8] D. Nonthiworawong, "Design of a light-vent pipe (LVP) to reduce building cooling load", Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment Technology and Management) , Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2017.
- [9] S. Janjai, I. Masiri, S. Pattarapanitchai, and J. Laksanaboonsong, "Mapping global solar radiation from long-term satellite data in the tropic using an improved model," *International Journal of Photoenergy*, Vol.2013, ID: 210159, 2013.
- [10] J. Khedari, A. Sangprajak and J. Hirunlabh, "Thailand climatic zones," *Renewable Energy*, Vol. 25, no. 2, pp. 267-280, February 2002.
- [11] W. Puangsombut, "Cooling load reduction by PV attic ventilation", M. Eng. Thesis (Thermal Technology), King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, TH, 2000.
- [12] J. Dechjirakul and T Chindavanig, "Fiberglass insulation performance in reducing heat transfer through wall system," *Sarasatr*, Vol. 3, no. 1, pp. 81-92, 2020.

ขั้นตอนและเครื่องมือวิจัยที่ใช้รวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์

โมเดลสมการโครงสร้าง(SEM)

ดร.ณัฏฐ์ เทียนถาวรพงษ์¹, เชิดชัย ชูระแพ่ง², ทองแท่ง ทองลิ้ม³, ยุทธ ไกยวรรณ⁴

¹สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

^{2,3}มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

⁴มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Received: Apr 16, 2023

Revised: Jun 15, 2023

Accepted: Jun 16, 2023

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง เป็นการวิเคราะห์ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบทฤษฎีว่าโมเดลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามทฤษฎีนั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ โดยจะวิเคราะห์ไปพร้อมกันในครั้งเดียว ทั้งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เครื่องมือที่ใช้คือแบบสังเกต ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัยเพื่อหาค่าความเที่ยง ค่าความเชื่อมั่น ค่าความโด่ง ความเบ้ และความผิดปกติของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ 5 ขั้นตอนดังนี้ 1) การกำหนดโมเดล 2) การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล 3) การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล 4) การตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล และ 5) การปรับโมเดล

คำสำคัญ : การวิเคราะห์, โมเดลสมการโครงสร้าง, เครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

Procedure and Research Instrument to use Collect Data for Structural Equation Model Analysis (SEM)

Dorn Teantavornwong¹, Chertchai Thurapaeng², Tongtan Tonglim², Yuth Kaiyawan³

¹Industrial Technology Management, Faculty of Industrial Technology Muban Chombueng Rajabhat University

²Muban Chombueng Rajabhat University

³Phranakhon Rajabhat University

Received: Apr 16, 2023

Revised: Jun 15, 2023

Accepted: Jun 16, 2023

Abstract

Structural equation model analysis is an analysis that aims to test the theory of whether it is consistent with empirical data. The analysis is analyzed simultaneously, including correlation analysis, regression analysis, and observational instruments. Check the quality of the research tool to determine the accuracy method. Sentiments and anomalies, data skewness, and anomalies of the analyzed data. SEM analysis consists of five steps: 1) modeling; Identifying the single feasibility of the model, 3) estimating the parameters of the model, 4) checking the consistency of the model, and 5) adjusting the model.

Keywords : Analysis, Structural Equation Models, Research Tools Used to Collect Data

บทนำ

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) เป็นการวิเคราะห์ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบทฤษฎี (Test the Theory) ว่าโมเดลที่สร้างขึ้นมาตามทฤษฎีมีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ โดยจะวิเคราะห์ไปพร้อมกันในครั้งเดียว ทั้งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เครื่องมือที่ใช้คือแบบสังเกต (Observed Form) เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์จากตัวอย่างเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ทั้งนี้ค่าคะแนนที่เก็บรวบรวมมาอาจมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 หรือมากกว่า วัดค่าจากตัวแปรสังเกตได้หลายตัว (Observed Variables ใน AMOS จะเรียกว่า Manifest) ภายในชุดของตัวแปรแฝง (Latent Variable) ในบทความนี้ผู้เขียนมีจุดมุ่งหมาย เพื่อแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) และการเตรียมเครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอนได้แก่ 1) ขั้นตอนการกำหนดโมเดล (Model Specification) เป็นขั้นตอนที่ผู้วิจัยต้องวาดโมเดลตามทฤษฎีที่ทบทวนมาอย่างหนักแน่น 2) ขั้นตอนการกำหนดโมเดล (Model Specification) ขั้นนี้ทำให้โมเดลมีลักษณะเป็น Over Identification 3) การประมาณค่าพารามิเตอร์ของ (Parameter Estimation of the Model) เป็นขั้นประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่าทั้งหมดของโมเดล 4) การตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Measures of the Model Fit) ขั้นนี้ตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลวิจัยกับโมเดลของข้อมูลเชิงประจักษ์และ 5) การปรับโมเดล (Model Modification) หากโมเดลยังไม่สอดคล้องก็ปรับโมเดลตามคำแนะนำของโปรแกรมซึ่งเป็นการจัดการกับค่าคลาดเคลื่อน (Error) โดยการปรับโมเดลและการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Error Term ในโมเดลต่างเมทริกซ์ได้ โดยพิจารณาจากค่า M.I. ที่สูงที่สุดแต่ละ

คู่ของ e หรือดูที่ Par Change ที่มีค่าสูงสุด ทั้งนี้บางครั้งคู่ e มีค่า M.I. สูงสุด แต่การเปลี่ยนแปลงของ χ^2 มีค่าต่ำ โปรแกรมจะไม่ยอมให้ปรับ จึงต้องพิจารณาดูและปรับที่ Par Change สูงสุด ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไปดังนี้

เนื้อหา

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) เป็นการวิเคราะห์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบทฤษฎี (Test the Theory) ว่าโมเดลที่สร้างขึ้นมาตามทฤษฎีนั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ ดังนั้นในการวิเคราะห์ SEM สมมติฐานที่กำหนดจึงเขียนเพื่อพิสูจน์ว่า “โมเดลที่พัฒนาขึ้นมาสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ โดยเขียนเป็นสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : โมเดลที่สร้างขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

H_1 : โมเดลที่สร้างขึ้นไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

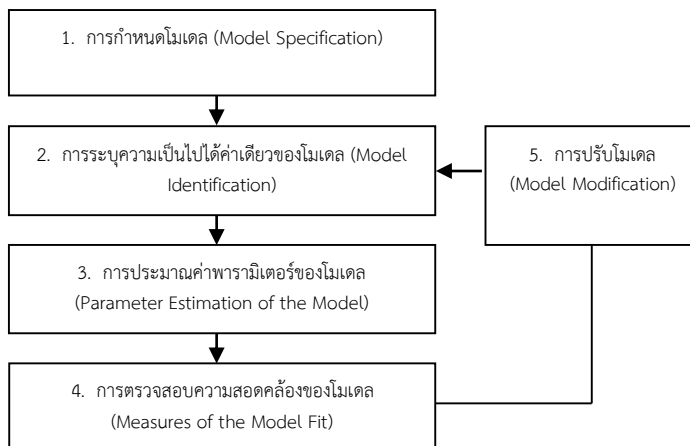
โดยการวิเคราะห์ SEM มีขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM

ในการวิเคราะห์ SEM มีขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน (Schumacker and Lomax)[1] ดังนี้

- 1) การกำหนดโมเดล (Model Specification)
- 2) การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)
- 3) การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล (Parameter Estimation of the Model)
- 4) การตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Measures of the Model Fit)
- 5) การปรับโมเดล (Model Modification)

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ SEM ด้วย AMOS ทั้ง 5 ขั้นตอน ดังแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM [2]

จากรูปที่ 1 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1) ขั้นตอนการกำหนดโมเดล (Model Specification)

ขั้นตอนการกำหนดโมเดล (Model Specification) เป็นขั้นตอนการสร้างโมเดลด้วยผู้วิจัยเอง (Generated Model by Researcher) จากการศึกษาทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างหนักแน่นและหนักแน่นเพียงพอ แล้วนำแนวคิดทฤษฎีนั้นมาสร้างเป็นโมเดลการวิจัยของผู้วิจัยเอง

ตัวอย่างงานวิจัยของดร. เทียนถาวรพงษ์ เรื่อง การพัฒนาโมเดลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการบริหารจัดการโรงแรมประเภทรีสอร์ท ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีอย่างหนักแน่นและกำหนดตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม ดังนี้[3]

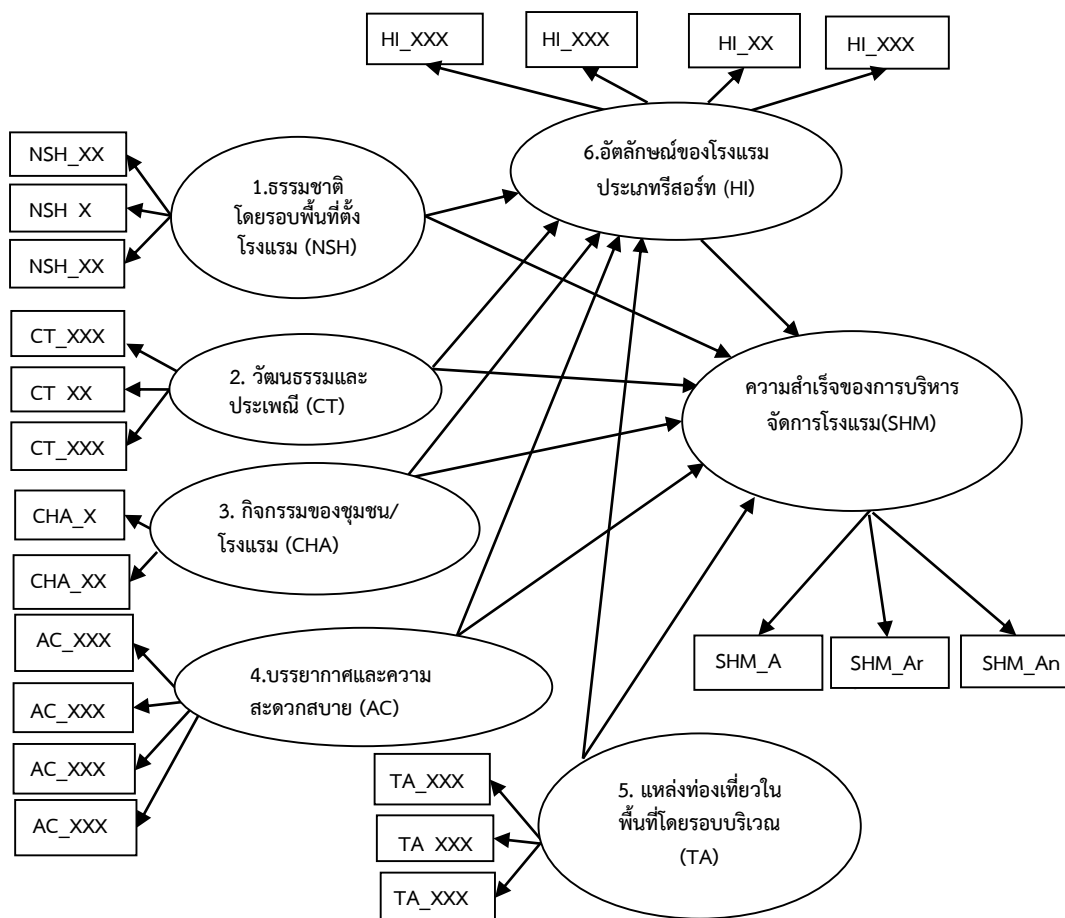
ตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระ

ตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระ ทั้ง 6 ตัวแปร ดังนี้

- (1) ธรรมชาติโดยรอบพื้นที่ตั้งโรงแรม (Nature Surrounding the Hotel Location: NSH)
- (2) วัฒนธรรมและประเพณี (Culture & Tradition: CT)
- (3) กิจกรรมชุมชน/โรงแรม (Community / Hotel Activity: CHA)
- (4) บรรยากาศและความสะดวกสบาย (Atmosphere & Convenience: AC)
- (5) แหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่รอบบริเวณ (Tourist Attractions Around the Hotel Area: TA)
- (6) อัตลักษณ์ของโรงแรม (Hotel Identity: HI)

ตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม

ตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม ได้แก่ ความสำเร็จของการบริหารจัดการโรงแรมประเภทรีสอร์ท (Success of Hotel Management Services: SHM) จากตัวแปรการวิจัยที่กำหนด ผู้วิจัยสร้างเป็นโมเดลการวิจัย ดังนี้



รูปที่ 2 โมเดลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการบริหารจัดการโรงแรมประเภทรีสอร์ท[4]

ทั้งนี้โมเดลที่สร้างขึ้นมานั้น ประกอบด้วยตัวแปรแฝงและตัวแปรสังเกตได้ (Manifests) ที่เป็นโมเดลการวัด (Measurement Model) หรืออาจมีเฉพาะตัวแปรแฝงในโมเดลโครงสร้าง (Structural Model) ในการกำหนดตัวแปรสังเกตได้ในชุดตัวแปรแฝง ควรกำหนดให้มีตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป แต่จะดีขึ้นเมื่อกำหนด 3 ตัวแปร และดีที่สุดเมื่อกำหนด 4 ตัวแปร ทั้งนี้ในการกำหนดตัวแปรสังเกตได้เพียง 2 ตัวแปร โมเดลอาจมีโอกาสเป็น Under Identification ได้ และอาจส่งผลถึงการอธิบายตัวแปรแฝงได้ไม่ครบสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในตัวแปรแฝงและเกิดความคลาดเคลื่อนในโมเดลได้ในที่สุด

2) ขั้นตอนการระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)

การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลการวิเคราะห์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการคำนวณจะเริ่มต้นคำนวณจากเมทริกซ์ความแปรปรวน (Variance) และความแปรปรวนร่วม (Covariance) ในการคำนวณสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ต้องการก็คือ ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าเดียวของโมเดล (Model Identification) หรือโมเดลต้องใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์มากพอ โปรแกรมจึงจะวิเคราะห์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเรื่องการระบุความเป็นไปได้ค่าเดียว ผู้เขียนขอเสนอแนวทางอธิบายเทียบเคียงกัน ดังนี้

ถ้าสมการหนึ่งเป็นดังนี้ $20 = a + b(y)$

ถ้ากำหนดให้ y มีค่าเท่ากับ 4 คำตอบที่ได้ที่เป็นค่าของ a และ b มีหลายคำตอบ เช่น

1) คำตอบแรกที่เป็นไปได้ $a = 8$ และ $b = 3$

2) คำตอบที่สองที่เป็นไปได้ $a = 4$ และ $b = 4$

3) คำตอบที่สามที่เป็นไปได้ $a = 28$ และ $b = -2$

จากกรณีการตัวอย่าง ถ้ากำหนดค่าใดค่าหนึ่งให้กับ y การหาคำตอบ a และ b จะมีหลายค่า แต่ถ้ามีการกำหนดค่า a เฉพาะเจาะจงลงไปเป็น 2 เท่าของ b จะทำให้การแก้สมการเพื่อหาค่า b ได้เพียงค่าเดียวหรือคำตอบเดียวเท่านั้น ดังนี้

$20 = a + b(y)$ เมื่อกำหนดให้ a เป็น 2 เท่าของ b

เช่น a กำหนดให้เป็น 4 ซึ่ง 2 เท่าของ b ดังนั้น b จะมีค่าเป็น 2 จะได้ $20 = 4 + 2(8)$ หรือกำหนดให้ a มีค่าเท่ากับ b เมื่อ a เป็น 4 และ b ก็เป็น 4, b ก็เป็น 4, สมการที่ได้คือ $20 = 4 + 4(4)$ ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) สิ่งทีนักวิจัยต้องการก็คือ ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าเดียวในโครงสร้างโมเดลที่สร้างขึ้น เพื่อแก้สมการทั้งหมดในคราวเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์จะต้องใช้ข้อมูลมากพอ ซึ่งควรมี 20 เท่าของตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) ทั้งนี้ถ้าใช้น้อยจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณไม่ถูกต้อง จึงกล่าวได้ว่าการระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification) จึงเป็นการตรวจสอบว่ามีข้อมูลมากพอ ที่จะวิเคราะห์เพื่อการประมาณพารามิเตอร์ของโมเดลให้ถูกต้อง และ มีค่าเดียวหรือมีคำตอบเดียวได้หรือไม่ ข้อมูลที่ตรวจสอบนี้คือ ค่าความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรที่สังเกตได้ (Manifest Variable) ที่อยู่ในรูปเมทริกซ์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม หากจำนวนพารามิเตอร์ที่ทราบค่า หรือ k มีน้อยกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า (t) โดยที่ $K(K + 1)/2$ น้อยกว่า ($<$) (t) โปรแกรมจะไม่มีประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimate Parameter) ของโมเดล [5]

3) ขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล (Parameter Estimation of the Model)

ในขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล เมื่อโมเดลมีลักษณะเป็น Over Identification โปรแกรมจะประมาณค่าพารามิเตอร์ทุกค่าในโมเดล แล้วนำค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นคำนวณเป็นค่า ความ

แปรปรวน (Variance) และค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของตัวแปรสังเกตได้ (Manifest Variables) ในโมเดลแล้วแสดงในรูปเมทริกซ์ที่ได้จากผลลัพธ์การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เรียก เมทริกซ์นี้ว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม จากการประมาณตามโมเดล (Computed Covariance Matrix: $\Sigma(\Theta)$ อ่านว่า Sigma Theta) เมทริกซ์นี้บางทีเรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของโมเดลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งเมทริกซ์นี้นำไปลบ (-) ออกจากเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมที่ได้จากตัวแปรสังเกตได้ (Manifest Variables) ของกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย เรียกเมทริกซ์นี้ว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical Samples Covariance Matrix: Σ) ค่าที่ได้เรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของส่วนที่เหลือ (Residual Covariance Matrix) ทดสอบความสอดคล้อง (Conformity) หรือความกลมกลืนกันของโมเดลด้วยค่า χ^2 ตามวิธี Likelihood Ratio หรือ Likelihood Ratio Chi-Square (CMIN) ถ้า $\Sigma - \Sigma(\Theta) = 0$ แสดงว่า โมเดลวิจัยที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่าง

โดยสมมติฐานที่ทดสอบ χ^2 -Test คือ

$$H_0: \Sigma = \Sigma(\Theta)$$

$$H_1: \Sigma \neq \Sigma(\Theta)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล เมื่อโมเดลมีลักษณะเป็น Over Identification โปรแกรมจะนำค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมาคำนวณเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ การประมาณค่า พารามิเตอร์ของโมเดล (Model estimation) เป็นขั้นตอนที่โปรแกรม AMOS วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ Maximum likelihood (ML)

4) ขั้นตอนการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Measures of the Model Fit)

โมเดลที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาตามทฤษฎีหรืองานวิจัยนั้นจะสอดคล้องกับข้อมูลที่รวบรวมมาจากกลุ่มตัวอย่าง (Samples) หรือไม่นั้น จะต้องตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล ถ้าหากมีความสอดคล้องเรียกว่า Model Fit ซึ่งการตรวจสอบก็คือ การตรวจสอบ Σ กับ $\Sigma(\theta)$ โดยพิจารณาจากดัชนีการตรวจสอบซึ่งมีหลายดัชนี ได้แก่ χ^2 , χ^2/df , P, RMR, RMSEA, GFI, CFI โดยที่ χ^2 จึงเป็นผลคูณระหว่าง df กับฟังก์ชันความสอดคล้อง ถ้าฟังก์ชันความสอดคล้องเป็น 0 หรือเข้าใกล้ 0 แสดงว่าโมเดล Σ กับโมเดล $\Sigma(\theta)$ สอดคล้องกัน นั่นคือ ถ้าค่า χ^2 มีค่าใกล้ 0 หรือมีค่าต่ำ หรือค่า P-Value > .05 จะยอมรับ H_0 แสดงว่าโมเดล Σ กับโมเดล $\Sigma(\theta)$ สอดคล้องกัน ค่าดัชนี χ^2/df เป็นสถิติเพื่อปรับลดอิทธิพลของตัวอย่างที่มีต่อสถิติ χ^2 ทั้งนี้ในการ SEM ใช้สถิติ χ^2 วิเคราะห์จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่มาก แต่เมื่อใช้ n ขนาดใหญ่แล้ว จะทำให้ค่า χ^2 มีค่าสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้มีโอกาสที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 มากขึ้นตามไปด้วย ทั้งที่ ความจริงอาจจะยอมรับสมมติฐาน H_0 ได้ ดังนั้นเมื่อผลการวิเคราะห์ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ควรพิจารณาดัชนี χ^2/df ประกอบค่าที่ใช้ในการพิจารณาความสอดคล้องคือ $\chi^2/df \leq 2$ แต่ค่าที่ยอมรับได้ว่าสอดคล้องค่า $\chi^2/df \leq 3$ แต่อย่างไรหาก χ^2/df มีค่า ≤ 5 ก็ยังพอยอมรับได้ ค่า RMR เป็นวิธีการหาจากค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลต่างของค่าตัวแปรสังเกตในเส้นทแยงมุมและที่อยู่นอกเส้นทแยงมุม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ผลต่างของโมเดลวิจัยและข้อมูลเชิงประจักษ์ที่เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม และยกกำลังของผลต่างนั้นเพื่อไม่คิดเครื่องหมาย โมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ค่า RMR จะต้องเข้าใกล้ 0

ค่า RMSEA ใช้ทดสอบว่า $\Sigma = \Sigma(\theta)$ หรือไม่ ถ้ามีค่าน้อยกว่า (<) .05 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องดี และถ้าเป็นศูนย์ (0) โมเดลจะดีมาก แต่ถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.08 แสดงว่า เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในการประมาณค่าประชากร ก็ยังถือว่าค่อนข้างสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-0.10 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ไม่มากและค่าที่มากกว่า (>) 0.10 แสดงว่าโมเดลไม่สอดคล้อง และ CFI คือ ดัชนีเปรียบเทียบโมเดลระหว่างโมเดล Σ กับโมเดล $\Sigma(\theta)$ ดัชนี CFI มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 เมื่อค่าดัชนี CFI เข้าใกล้ 1 แสดงว่า โมเดล Σ และ $\Sigma(\theta)$ มีความสอดคล้องดี

ในการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Model testing) เป็นขั้นตอนที่ผู้วิจัยต้องพิจารณาดัชนีตรวจสอบ ความสอดคล้องของโมเดลอย่างถี่ถ้วน โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาอย่างน้อย 3 ข้อ คือ 1) พิจารณาความสอดคล้องของโมเดลสมการโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ 2) พิจารณาค่าพารามิเตอร์แต่ละเส้นว่าแตกต่างจากศูนย์หรือไม่ และ 3) พิจารณาความสมเหตุสมผลของขนาดและทิศทางของค่าพารามิเตอร์แต่ละเส้น

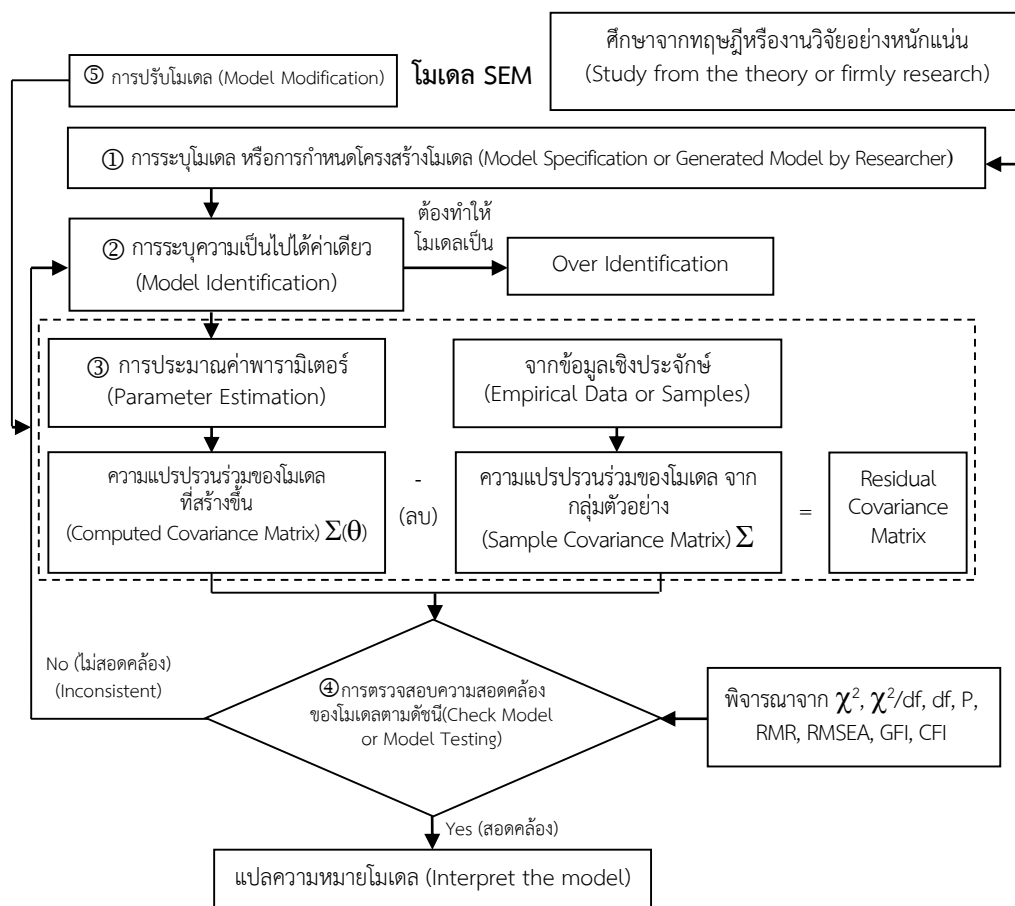
5) การปรับโมเดล (Model Modification)

ถ้าหากโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ก็ให้ปรับโมเดล ซึ่งการปรับโมเดลวิเคราะห์ที่ปรับที่โมเดล Σ การปรับทำได้โดยลากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามคำแนะนำของโปรแกรม โดยดูที่ M.I. (Modification Indices) โดยพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อนที่มีค่าความสัมพันธ์กันมากที่สุดให้ปรับก่อน โดยปรับทีละคู่ตามคำแนะนำของโปรแกรมจนหมดทุกคู่แล้วพิจารณาโมเดล

การวิเคราะห์ SEM ค่าที่ได้เรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของส่วนเหลือ (Residual Covariance Matrix) $\Sigma - \Sigma(\theta) =$ Residual Covariance Matrix การปรับโมเดล (Model modification) เป็น 2 ประเด็น คือ การปรับโมเดลสมการโครงสร้างในส่วน ที่เป็นความคลาดเคลื่อน

การปรับโมเดลสมการโครงสร้างในส่วนที่เป็นโมเดล
การวัดและ/หรือโมเดลสมการโครงสร้าง

สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM สรุปเป็นกรอบเอาไว้
ดังนี้



รูปที่ 3 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM [6]

5.1 การพิจารณาค่าส่วนเหลือ (Residual)

ในการพิจารณาค่าส่วนเหลือ (Residual) หรือบางทีเรียกว่า เมทริกซ์ ความแปรปรวนร่วมของส่วนเหลือ (Residual Covariance Matrix) ที่ได้จาก $\Sigma - \Sigma(\theta)$ เมื่อพบว่าค่าส่วนเหลือ (Residual) ไม่เท่ากับ 0 แสดงว่า โมเดลเกิดความคลาดเคลื่อนหรือโมเดลการวิจัยที่สร้างขึ้นมาจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไม่ตรงกับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่รวบรวมมาจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งการพิจารณาที่ง่ายที่สุดจะพิจารณาจากค่า P-Value หากมีค่า P-Value ไม่เกิน 0.05 แสดงว่าโมเดล Σ และโมเดล $\Sigma(\theta)$ มี

ความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการตรวจสอบที่ค่า P-Value เป็นการตรวจสอบที่ง่ายที่สุดซึ่งความจริงอาจยังไม่ถูกต้อง ผู้วิจัยควรตรวจสอบดัชนีตรวจสอบโมเดลที่มีค่าสถิติอื่น ๆ ประกอบ เพื่อให้เกิดความแน่ใจในการพิสูจน์สมมติฐานต่อไป

5.2) ผลการตรวจสอบโมเดล

หาก $\Sigma - \Sigma(\theta)$ มีค่าเป็น + แสดงว่า โมเดลที่สร้างขึ้นมาทำนายความแปรปรวนร่วมได้ต่ำกว่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลเชิงประจักษ์ และหาก $\Sigma - \Sigma(\theta)$ มีค่าเป็น - แสดงว่า โมเดลที่สร้างขึ้นมา

ทำนายความแปรปรวนร่วมได้สูงกว่าค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลเชิงประจักษ์

การพิจารณาค่าส่วนเหลือ (Residual) ใน SEM พิจารณาจากความสอดคล้องของโมเดลที่สร้างขึ้นมากับโมเดลของกลุ่มตัวอย่างค่าส่วนเหลือที่ควรมีค่าใกล้เคียง 0 และมีการแจกแจงแบบปกติ และหากมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากนี้พิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดลอื่น ๆ ประกอบ

2. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์ SEM

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์ SEM ผู้วิเคราะห์จะกำหนดตัวแปรแฝง (Latent Variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถวัดค่าออกมาได้ แต่จะวัดค่ามาจากตัวแปรสังเกตได้ซึ่งเป็นตัวแปรที่อยู่ในชุดของตัวแปรแฝงนั้น ๆ ด้วยเครื่องมือวิจัยคือ แบบสังเกต (Observed Form) กำหนดประเด็นการสังเกต (Observation issues) และสิ่งที่ต้องสังเกต (things to observe) ให้ครอบคลุมประเด็นการสังเกตนั้น ๆ หรือมีสิ่งต้องสังเกตหรือข้อสังเกตมากพอ นัก สรยัญญ์ (Nick Shryane)[7] ได้แนะนำว่า สิ่งสังเกตหรือข้อสังเกตควรมากกว่า 1 และต้องแน่ใจว่า

สิ่งสังเกตครอบคลุมตัวแปรแฝงนั้นแล้ว หากผู้วิเคราะห์ใช้ตัวแปรสังเกตได้ 3 ตัวแปรต่อตัวแปรแฝงนั้น สิ่งสังเกตหรือข้อสังเกตอาจมีมากกว่า 6-12 ข้อสังเกต และในข้อสังเกตในแต่ละข้อผู้สังเกต (Observer) ก็ให้ค่าคะแนนตามที่สังเกตเห็น อาจเป็นสเกลของ Likert ที่เป็นแบบ 5, 4, 3, 2 และ 1 ที่เป็นข้อมูลเรียงอันดับแต่ก็ยังคงความนิยมในกลุ่มนักวิจัยหรืออาจจะขยายสเกลให้มีตัวเลขหรือค่ากว้างมากขึ้นได้จาก 1 ถึง 5 เป็น 1 ถึง 7 หรือมากกว่าก็ได้

ตัวอย่างที่ 1 แบบสังเกตงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบริหารงานของผู้บริหารอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ของขวัญเรือน รัตมี [8]

คำชี้แจง ผู้วิจัยกำหนดประเด็นสังเกต (Determine the point of observation) และสิ่งที่ต้องสังเกต (Indicators) ให้ท่านพิจารณาให้คะแนนจากสิ่งที่ท่านสังเกตเห็นตามตัวชี้วัด หากท่านเห็นว่าเป็นไปตามสิ่งที่สังเกตเห็นให้ท่านให้คะแนนมากที่สุดคือ เต็ม 9 คะแนน และคะแนนอาจลดหลั่นน้อยลงตามที่ท่านสังเกตเห็นว่าเป็นไปตามสิ่งที่สังเกตน้อยลงหรือลดลง ซึ่งคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 คะแนน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการให้คะแนนจากสิ่งสังเกต

ข้อ	ประเด็นการสังเกต (Observation issues)	กำหนดคะแนน สังเกต	ให้คะแนน จากการสังเกต
HRM_1	แผนการบริหารงานของผู้บริหาร สังเกตจากสิ่งต่อไปนี้ (things to observe) - กำหนดแผนบริหารงานอย่างชัดเจน - กำหนดแผนการบริหารงานระหว่างนำแผนไปใช้ให้เกิดความเหมาะสม - แผนบริหารงานมีการแจ้งพนักงานในองค์กรได้รับทราบโดยทั่วกัน	9 คะแนน	7 คะแนน

ตัวอย่างที่ 2 แบบสังเกต งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการบริหารจัดการโรงแรมประเภทรีสอร์ทของ ผู้บริหาร หลังสภาวะการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ของดรณัฏ เทียนถาวรพงษ์[9]

คำชี้แจง แบบสังเกตเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการบริหารจัดการโรงแรมประเภท

รีสอร์ทของผู้บริหาร หลังสภาวะการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ผู้วิจัยกำหนดประเด็นสังเกต (Determine the point of observation) และสิ่งที่ต้องสังเกต (Indicators) ให้ท่านพิจารณาให้คะแนนจากสิ่งที่ท่านสังเกตเห็นตามตัวชี้วัด หากท่านเห็นว่าเป็นไปตามสิ่งที่สังเกตเห็นให้ท่านให้คะแนนมากที่สุดคือ เต็ม 5 คะแนน และคะแนนอาจลดหลั่น

น้อยลงตามที่ท่านสังเกตเห็นว่าเป็นไปตามสิ่งที่สังเกต
น้อยลงหรือลดลง ซึ่งคะแนนน้อยที่สุด คือ 1 คะแนน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการให้คะแนนจากสิ่งสังเกต

ข้อ	ข้อความ	กำหนดคะแนน สังเกต	ให้คะแนน จากการสังเกต
X1	ลักษณะสภาพเส้นทางคมนาคมเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยว สังเกตจากสิ่งต่อไปนี้ - เส้นทางคมนาคมสะดวกมีถนนลาดยางหรือถนนคอนกรีต ให้ 5 คะแนน - เส้นทางคมนาคมมีถนนลาดยางหรือถนนคอนกรีตระยะทางยาวแต่ยังไม่ถึงแหล่งท่องเที่ยว ให้ 4 คะแนน - เส้นทางคมนาคมมีถนนลาดยางหรือถนนคอนกรีต ในบางช่วง ให้ 3 คะแนน - มีถนนลาดยางหรือถนนคอนกรีตแต่ผู้ขับขี่หรืออยู่ในสภาพอยู่ไม่ได้แต่เดินทางได้ ให้ 2 คะแนน - ถนนลูกรังหรือถนนดิน ให้ 1 คะแนน	5 คะแนน	4 คะแนน

3. การตรวจสอบคุณภาพ

3.1 การตรวจสอบความเอนเอียงและความเอนเอียงของข้อมูล

ความเอนเอียงของข้อมูล (Skewness of Data) เป็นค่าการวัดลักษณะข้อมูลว่ามีลักษณะเอนเอียงหรือไม่ ค่าความเอนเอียงเป็น 0 ข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งปกติ (Normal) ค่าความเอนเอียงที่ได้จากการคำนวณจะไม่มีหน่วย โดยที่ค่าความเอนเอียงลบ (-) โค้งของข้อมูลมีลักษณะเอนเอียงซ้าย ค่าความเอนเอียงบวก (+) โค้งจะมีลักษณะเอนเอียงขวา ดังนั้นลักษณะของโค้งเป็นแบบปกติ ค่าความเอนเอียงจะต้องเข้าใกล้ 0

Skewness Index (SI) > 0 รูปกราฟของข้อมูลจะมี การแจกแจงลักษณะเอนเอียงและถ้าค่า SI < 0 รูปกราฟของข้อมูลจะมีการแจกแจงลักษณะเอนเอียง (Negative Skewness) การพิจารณาค่า Kurtosis ถ้า Kurtosis Index (KI) < 0 รูปกราฟของข้อมูลจะมีความโด่งน้อย และถ้า KI > 0 รูปกราฟของข้อมูลจะมีความโด่งมาก การวิเคราะห์ SEM ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องไม่เอนเอียงและไม่โด่งมากเกินไปจนผิดปกติ (พลพจน์ สุขสว่าง)[10] จากนั้น เร็ก บี เค (Rex)[11] ยังได้กล่าวถึงข้อมูลของตัวแปรสังเกตได้ ที่นำมาวิเคราะห์นั้นไม่ควรจะมีค่าความเอนเอียง (SI) เกิน 3 และค่าความโด่ง (KI) เกิน 10

3.2 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมืออย่างน้อยจะต้องตรวจสอบความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่น ดังนี้ (1) การตรวจสอบความเที่ยงตรง (Validity) การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลนั้นจะต้องมีค่าความเที่ยงตรงกับ สิ่งที่ต้องการจะวัด (Validity) โดยเฉพาะทางด้านเนื้อหาว่ามีความเที่ยงตรง (Content Validity) หรือไม่ ผู้วิจัยอาจจะให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ตรวจสอบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมานั้น มีความเที่ยงตรงหรือไม่ การตรวจสอบอาจจะใช้เทคนิคการหาค่า IOC (Index of Congruency) ซึ่งการตรวจสอบค่า IOC ควรมีค่าดัชนีมากกว่า 0.5

การตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นเครื่องมือวิจัยที่เป็นสเกล ปกติทั่วไปจะใช้การตรวจสอบหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ตามวิธีของครอนบาช (Cronbach) ที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาช (Cronbach Alpha Coefficient) มีค่า 0 ถึง 1 ซึ่งค่าความเชื่อมั่นควรมีค่าสูงหรือมากกว่า ($\geq$) 0.80 ทั้งนี้หากมีค่า $\geq$ 0.70 ถือว่าเครื่องมือมีความเชื่อมั่นพอได้ แต่ถ้า $\geq$ 0.80 ถือว่าเครื่องมือเชื่อมั่นได้มาก และถ้า $\geq$ 0.90 ถือว่าเครื่องมือเชื่อถือได้อย่างมาก การพัฒนาเครื่องมือเพื่อนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ทั้งนี้ถ้าค่าดัชนีความ

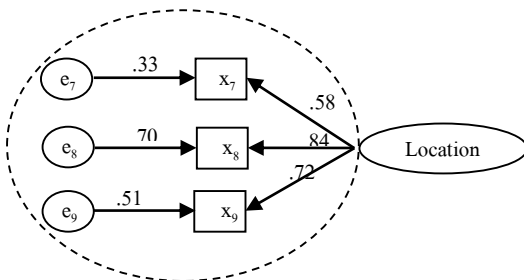
สอดคล้องของข้อคำถามที่ไม่ผ่านเกณฑ์จะต้องตัดข้อคำถามนั้นทิ้ง แต่ถ้าหากว่าข้อคำถามนั้นยังคิดว่ามีผลกระทบต่อโครงสร้างของเนื้อหาแล้วควรปรับปรุงหรือปรับแก้มากกว่าที่จะตัดทิ้ง ในการวิเคราะห์ SEM จะต้องมีการหาความเชื่อมั่นของตัวแปรบางที่เรียกว่า ความเชื่อมั่นขององค์ประกอบ (Construct Reliability: CR) และความแปรปรวนเฉลี่ยของตัวแปรแฝงที่สกัดได้ (Average Variance Extracted: AVE) ที่นำมาเป็นตัวแทนนั้นว่ามีความเหมาะสมถูกต้อง หรือ มีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด

3.2.1 การหาความเที่ยงตรงขององค์ประกอบ (Construct Reliability: CR)

ความเที่ยงตรงหรือความเชื่อมั่นขององค์ประกอบ (CR) หรือค่าที่แสดงระดับความเป็นตัวแทนของตัวแปรแฝง หรือค่าความถูกต้องเหมาะสมหรือความสอดคล้องภายในชุด (Internal Consistency) ของชุดข้อวัดในแต่ละตัวแปรแฝงหรือพูดอีกอย่างว่า เป็นค่าความเชื่อมั่นของตัวแปรแฝง คำนวณได้จากสูตร

$$\text{สูตร CR} = \frac{(\sum \lambda)^2}{(\sum \lambda)^2 + \sum \theta}$$

ตัวอย่างที่ 3 การหา CR ในชุดแปรแฝง Location



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง CR AVE และตัวแปรแฝงต่อการอธิบายเหตุการณ์

ตรวจสอบค่า CR ของตัวแปรแฝง Location จะได้

$$\begin{aligned} &= \frac{(.58 + .84 + .72)^2}{(.58 + .84 + .72)^2 + (.33 + .70 + .52)} \\ &= 4.5796 \\ &= 6.1296 \\ &= 0.7471 \end{aligned}$$

ไดอะแมนทอปอลอสและซิกาว (Diamantopoulos and Siguaw) [12] แนะนำว่าค่าที่เหมาะสม CR มากกว่า (> .60) หรือตั้งแต่ .70 ขึ้นไป

3.2.2 การคำนวณค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของ ตัวแปรแฝงที่สกัดได้ (Average Variance Extracted: AVE)

ความแปรปรวนเฉลี่ยของตัวแปรแฝงที่สกัดได้ก็คือ ตัวแปรแฝงที่สกัดได้ (Extracted) มีความถูกต้อง ซึ่งในที่นี้คือ Location มีความถูกต้องนำไปอธิบายเหตุการณ์ได้ ควรมีค่า > .50 หรือตั้งแต่ .60 ขึ้นไป จากรูปที่ 4 ของตัวอย่างที่ 3

การตรวจสอบ AVE ของตัวแปรแฝง Location ได้จากสูตร

Average Variance Extracted (AVE)

$$= \frac{\sum \text{Standardized Loading}^2}{\sum \text{Standardized Loading}^2 + \sum \theta}$$

$$\text{หรือสูตร AVE} = \frac{\sum \lambda^2}{\sum \lambda^2 + \sum \theta}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{.58^2 + .84^2 + .72^2}{.58^2 + .84^2 + .72^2 + (.33) + (.70) + (.52)} \\ &= 1.5604 \\ &= 3.1104 \end{aligned}$$

จะได้ค่า AVE = 0.502

หรือสูตรคำนวณ

$$\text{AVE} = \frac{\sum \text{Standardized Loading}^2}{\sum \text{Standardized Loading}^2 + \sum \theta}$$

$$= \frac{.58^2 + .84^2 + .72^2}{3}$$

$$= \frac{1.5604}{3}$$

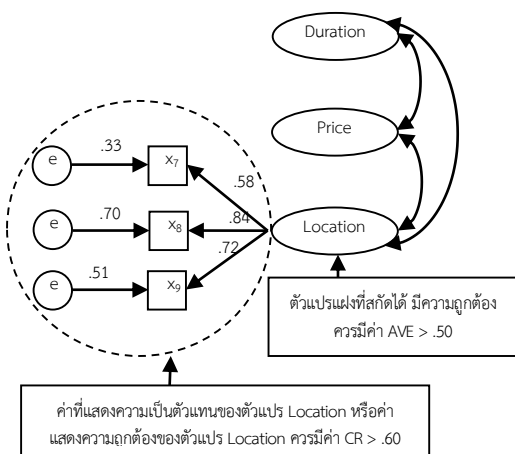
AVE

$$= 0.5201$$

ได้อะแนนทอปปาลอสและซิกัวร์ แนะนำว่า

ค่า AVE ที่เหมาะสมควรมีค่า AVE มากกว่า (>) .50 ตั้งแต่ .60 ขึ้นไป

ค่า CR และ AVE ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ เมื่อวิเคราะห์ตัวแปรแฝงที่ได้คือ Location ค่า CR > .60 แสดงว่าตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวแปร Location มีความถูกต้อง เหมาะสม หรือมีความสอดคล้องกันต่อการตัดสินใจซื้อบ้านมากถึง 60% และค่า AVE เท่ากับ .502 ตัวแปร Location อธิบายการตัดสินใจซื้อบ้านได้ 50.2 % ซึ่งถือว่าร้อยละการตัดสินใจซื้อบ้านอยู่ในระดับไม่สูงมากนักนั่นคือ มีแนวโน้มที่จะไม่ซื้อด้วยเหตุผลของ Location หรือกล่าวอีกว่าการตัดสินใจซื้อบ้าน Location อาจไม่ใช่ปัจจัยที่ต้องนำมาคิดความสัมพันธ์ระหว่าง CR AVE และตัวแปรแฝง Location ต่อเหตุการณ์ตัดสินใจซื้อบ้านแสดงไว้ดังนี้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง CR AVE และตัวแปรแฝงต่อการอธิบายเหตุการณ์ [13]

จากรูปที่ 5 ค่า AVE ของตัวแปรแฝงอธิบายเหตุการณ์ได้ร้อยละเท่าไร ในที่ตัวแปรแฝง Location อธิบายเหตุการณ์ คือการตัดสินใจซื้อบ้านร้อยละ

50.20 ส่วน CR เป็นความเชื่อมั่นของตัวแปร Manifest ร่วมกันเป็นตัวแทนหรืออธิบายตัวแปรแฝงได้ร้อยละเท่าไร ในที่นี้คือร้อยละ 74.71

สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ SEM เป็นการวิเคราะห์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการทดสอบทฤษฎีว่าโมเดลวิจัยที่สร้างขึ้นมาสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใช้เครื่องมือเป็นแบบสังเกต ข้อมูลที่รวบรวมมาวิเคราะห์ SEM และตรวจสอบโมเดลว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ด้วยค่าสถิติดัชนีตรวจสอบที่มีหลายตัวที่ง่ายที่สุดคือการพิจารณาค่า P-Value หากมีค่าเกิน .05 แสดงโมเดลทั้งสองโมเดลมีความสอดคล้องกัน หากมีค่าต่ำกว่า .05 ต้องปรับโมเดลตามคำแนะนำของโปรแกรมซึ่งอาจมีการปรับหลายครั้งเมื่อโมเดลมีสอดคล้องกันแล้วก็นำผลการประมาณค่าจากโปรแกรมนำเสนอต่อไป ในการวิเคราะห์ SEM ด้วย AMOS มักจะเกิดปัญหาดังนี้ ในการวิเคราะห์ SEM จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดการกับขนาดตัวอย่างและเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมา เช่น คุณภาพเครื่องมือต้องดี หรือตัวชี้วัดต้องไม่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) มากเกินไป ขนาดตัวอย่างต้องมีมากเพียงพอต่อการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์ปกติแล้วเมทริกซ์ของค่า Variance และ Covariance ของตัวแปรสังเกตได้จะต้องมีลักษณะเป็นบวก (+) แน่นอน แต่กรณีที่ไม่เป็น + หรือมีค่าเป็น - ปัญหาส่วนหนึ่งจะมาจาก 1) ตัวอย่างน้อยเกินไป 2) ตัวชี้วัดเป็นตัวแทนที่ไม่ดี 3) มีค่า loading ค่อนข้างสูงและ 4) เกิดความสัมพันธ์กันสูงระหว่างตัวชี้วัด การแก้ปัญหาอาจจะใช้วิธีตัดตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันแล้วหาค่าเฉลี่ยนำค่าเฉลี่ยมาใช้แทน เพื่อป้องกันปัญหานี้เกิดขึ้นอาจต้องวิเคราะห์ EFA มาก่อนทุกครั้งเพื่อลดจำนวนตัวชี้วัดลง

References

- [1] R. a. L. R. Schumacker, "*A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling*", New jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2010.
- [2] Y. Kaiyawan, "*Structural Equation Modeling*", Bangkok: Chulalongkorn University, 2019.
- [3] D. Teantavornwong, "*A Structural Equation Modeling Analysis of Factors Influencing the Success of Resort Hotel Management : After the Epidemic Situation of the Corona Virus 2019 (COVID 19)*", Rachaburi: Faculty of Industrial Tehnology Chom Bueng Rajabhat University, 2023.
- [4] D. Teantavornwong, "*A structural Equation Model Analysis of Factors Influencing the Success of Resort Management : After the Epidemic Situation of the Corona Virus 2019 (COVID 19)*", Rachaburi: Faculty of Industrial Technology Chom Bueng Rajabhat University, 2023.
- [5] Y. Kaiyawan, "*Structural Equation Modeling*", Baangkok: Chulalongkorn University Press, 2019.
- [6] Y. Kaiyawan, "*Structural Equation Modeling*", Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2019.
- [7] N. Shryane, "*Structural Equation Modeling*", Oxford: The University ofManchester University'Press, 2004.
- [8] K. Rasmhee, "*Analy of Structural Equation Model Influencing the Management Efficiency of Rachaburi Electronics Industry Executive*", Rachaburi: Industrial Technology Management Faculty of Industrial Technology Chom Bueng Rajabhat University, 2022.
- [9] D. Teantavornwong, "*A Structural Equation Model Analysis of Factors Influencing the Success of Resort Hotel Management of Executives, After the Epidemic Situation of the Corona Virus 2019 (COVID-19,*" Rachaburi: Faculty of Industrial Technology Chom Bueng Rajabhat University, 2023.
- [10] P. Suksawang, "*Structural Equation Modeling*", Bangkok: Wattanapanich, 2013.
- [11] B. K. Rex, "*Prinviples and Practice of Structural Equation Modeking*", New Yord : Guilford Publication, 2011.
- [12] D. A. a. S. A. D, "*Introducing LISREL ; A Guide for the Uninitiated*", London: Sage Publication, 2000.
- [13] Y. Kaiyawan, "*Structural Equation Modeling*", Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2019.

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตโพลีพรพิลีน

ด้วยวัสดุเสริมแรงอ้อยและเลา

วิทยา วงษ์กลาง¹, กริธา แก้วคงธรรม², รัฐนันท์ เอียนเล่ง³, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง⁴,

พรหมพักตร์ บุญรักษา^{5*}

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

^{3,4}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Email: promphak.dawan@gmail.com⁵

Received: May 15, 2023

Revised: May 30, 2023

Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตโพลีพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยและเลาเพื่อศึกษาคุณสมบัติของเส้นพลาสติกทั่วไปและเส้นพลาสติกที่มีส่วนผสมของวัสดุเส้นใยธรรมชาติในอัตราส่วนร้อยละ 0 – 25 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้ขยะพลาสติกอีกทั้งยังช่วยลดขยะพลาสติกที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากขยะ โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยเริ่มจากขั้นตอนที่ 1) คือใช้พลาสติกโพลีพรพิลีนจากฝาขวดพลาสติกที่ใช้แล้วนำมาทำความสะอาดและบดในรูปแบบเม็ด 2) ทำการกำหนดปริมาณส่วนผสมเส้นใยอ้อยและเลาเป็นอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ 3) ขั้นตอนต่อมาใช้กระบอกฉีดพลาสติกเพื่อทำตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ 4) ชิ้นงานที่ได้จะถูกนำไปทดสอบทางกลด้วยแรงดึงจากผลการทดสอบแรงดึงและการยืดระหว่างไบโอคอมโพสิตโพลีพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยและเลา พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณวัสดุเสริมแรงส่งผลให้โมดูลัสยืดหยุ่นและแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย กรณีที่ใช้อ้อยเป็นวัสดุเสริมแรงพบว่า อัตราส่วนร้อยละ 20 มีแรงกระทำสูงสุดที่ 3,706.03 นิวตัน และที่อัตราส่วนอ้อยร้อยละ 25 มีระยะยืดสูงสุด 19.75 มิลลิเมตร ในส่วนของกรณีที่ใช้เลาเป็นวัสดุเสริมแรงพบว่าที่อัตราส่วนเลาร้อยละ 25 มีแรงกระทำสูงสุดที่ 3,684.56 นิวตัน และมีระยะยืดสูงสุด 13.84 มิลลิเมตร จึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้วัสดุไบโอคอมโพสิตในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความสะดวกในการรีไซเคิล ประยุกต์ใช้งานกับการฉีดพลาสติก และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตให้มีความแข็งแรงได้

คำสำคัญ : ไบโอคอมโพสิต, สมบัติทางกล, วัสดุเสริมแรง, โพลีพรพิลีน

Analysis of the Mechanical Properties of Polypropylene Biocomposites with Sugarcane and Wild Sugarcane reinforced Materials

**Wittaya Wongklang¹, Kreetha Kaewkongtham², Ratthanan Ianleng³,
Wirote Ritthong⁴, Promphak Boonraksa^{5*}**

^{1,2}Faculty of Industrial Technology ,Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

^{3,4}Faculty of Engineering, Bangkok Thonburi University

⁵School of Electrical Engineering Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Email : promphak.dawan@gmail.com⁵

Received: May 15, 2023

Revised: May 30, 2023

Accepted: May 31, 2023

Abstract

This research proposed analyses the mechanical properties of polypropylene biocomposites reinforced with sugarcane and wild sugarcane and studies the properties of conventional plastic filaments and plastic filaments containing natural fibers at a percentage ratio of 0 – 25; This adds value to plastic waste and reduces plastic waste that causes environmental problems from the garbage. The method of conducting the research starts from step 1. It uses polypropylene plastic from used plastic bottle caps to be cleaned and crushed in granular form. 2. Determine the amount of sugarcane fiber mixture and the ratio of 5, 10, 15, 20, and 25 percent by weight, respectively. 3. The next step uses a plastic syringe to make a sample of the test specimen. 4. The specimen will be subjected to mechanical testing by tensile strength. The results of tensile and elongation tests between polypropylene biocomposites reinforced with sugarcane fibers and wild sugarcane. In the case of using sugarcane as a reinforcement, it was found that the maximum force of 20% was 3,706.03 Newtons and that the sugarcane ratio of 25% had a maximum stretch of 19.75 mm. When using the wild sugarcane as a reinforcing material, it was found that at a ratio of 25%, the maximum force was 3,684.56 Newtons, and the maximum stretch was 13.84 mm. It is possible to use biocomposite materials in industry. Because it is convenient to recycle, It can also be applied to injection molding and improve the mechanical properties of bio-composites for strength.

Keywords : Biocomposite, Mechanical properties, Reinforcement material, Polypropylene

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกยังคงเป็นเรื่องที่ต้องได้รับความสนใจเป็นพิเศษ ทั้งภาครัฐ เอกชน และประชาชนทั่วไป หลายภาคส่วนมีความพยายามที่จะใช้วัสดุธรรมชาติ[1] อีกทั้งในปี 2565 ผ่านมาประเทศไทยได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพจัดการประชุม APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation) เป็นการประชุมความร่วมมือทางเศรษฐกิจเอเชีย-แปซิฟิก ท่ามกลางบรรยากาศการฟื้นตัวจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 เน้นไปที่การขับเคลื่อนให้เอเปคเปลี่ยนผ่านไปสู่โลกยุคหลังโควิดที่ครอบคลุม สมดุล และยั่งยืน โดยนำโมเดลเศรษฐกิจบีซีจี (BCG Economy Model) ประกอบด้วยเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว มาเป็นแนวคิดหลักสำหรับขับเคลื่อนฟื้นฟูเศรษฐกิจในยุคหลังโควิด-19 [2-3] โดยหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เน้นการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต และการนำวัสดุเหลือทิ้งเดิมมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงทางอุตสาหกรรม ซึ่งช่วยลดขยะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม[4] ซึ่งในปัจจุบันมีหลายประเทศให้ความสนใจและศึกษาถึงการนำเส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์ โดยเฉพาะเส้นใยพืช (plant fibers) ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ เป็นวัสดุที่สามารถปลูกทดแทนได้และมีให้ใช้อย่างไม่จำกัด เมื่อสิ้นอายุการใช้งานสามารถทำลายได้โดยการฝังหรือเผาโดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจะเทียบเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการเติบโตของพืชให้เส้นใย ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก อีกทั้งยังไม่ทำลายสุขภาพของผู้ใช้งาน ไม่กัดกร่อนเครื่องมือขึ้นรูป มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ และความหนาแน่นต่ำทำให้มีประโยชน์ในการผลิตวัสดุที่ต้องการน้ำหนักเบากว่าการใช้เส้นใยสังเคราะห์ [5-7]

นอกจากนี้วัสดุพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงมีลักษณะเด่นในแง่

ของน้ำหนักเบาและความแข็งแรงจำเพาะ (strength / unit weight) สูงกว่าการใช้เส้นใยแก้วเส้นใยธรรมชาติสามารถใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์ทั้งชนิดที่เป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) และเทอร์โมเซต (thermosets) เช่น พอลิเอสเทอร์ เป็นต้น โดยพอลิเมอร์เหล่านี้จะถูกเรียกว่า “พอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer -matrices)” [8-12] และจากผลการสำรวจขยะภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชพบว่าขยะพลาสติก พลาสติกชนิดต่าง ๆ สะสมอยู่จำนวนมากโดยเฉพาะขวดน้ำพลาสติก และฝาขวดน้ำที่ทำมาจากวัสดุพอลิโพรพิลีน (PP) คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำวัสดุพอลิโพรพิลีนนี้มารีไซเคิลเพื่อให้นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก โดยการบดและหลอมพลาสติกขึ้นรูปเพื่อดึงเส้นพลาสติกนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น Print 3D การขึ้นรูปด้วยความร้อนซึ่งในการที่จะนำเส้นพลาสติกไปใช้ประโยชน์นั้น เส้นพลาสติกที่จะต้องทนต่อความร้อน และผ่านการทดสอบคุณสมบัติการดึง เพื่อที่จะให้ชิ้นงานนั้นมีคุณภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตโพลีโพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยและเลา เพื่อดูความทนทานของเส้นพลาสติกหลอมเหลวผสมกับวัสดุธรรมชาติเพื่อตรวจสอบคุณภาพของเส้นพลาสติกพร้อมทั้งตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับเส้นพลาสติกทั่วไปในท้องตลาด เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะใช้วัสดุไบโอคอมโพสิตในทางอุตสาหกรรมความสามารถในยุคที่ใช้งานกับการฉีดพลาสติกและปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตให้มีความแข็งแรงได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตโพลีโพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยและเลา

ระเบียบวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ผลิตวัสดุผสมจากพลาสติกและเส้นใยธรรมชาติ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยมีขั้นตอนดังนี้

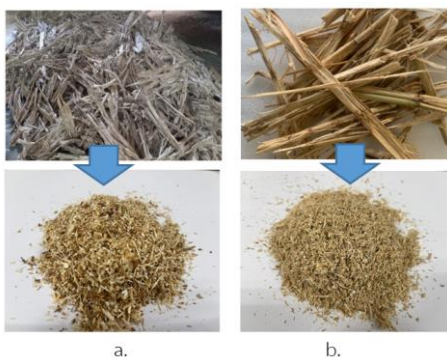
1. วิธีการบดฝาชวดพลาสติก และวัสดุธรรมชาติ

1.1 นำขวดพลาสติกที่ไม่ใช้แล้วมาแยกขวดและฝาชวดจากนั้นนำฝาชวดเข้าเครื่องบด เพื่อให้ฝาชวดมีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ฝาชวดน้ำพลาสติก

1.2 นำขานอ้อยดังรูปที่ 2 a.และต้นเลา ดังรูปที่ 2b.ที่ผ่านการตากแห้งแล้วมาเข้าเครื่องบด เพื่อให้มีขนาดเล็กลง



รูปที่ 2 วัสดุเสริมแรง a.ขานอ้อย b.ต้นเลา

2. วิธีการขึ้นรูปเส้นพลาสติกผสมเส้นใยธรรมชาติ

2.1 นำฝาชวดพลาสติกที่บดแล้ว มาผสมกันและขึ้นรูปเส้นพลาสติกที่มีอัตราส่วนของวัสดุธรรมชาติ ร้อยละ 0 – 25 ด้วยเครื่องหลอม และขึ้นรูปเส้นพลาสติกดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การขึ้นรูปเส้นพลาสติก 100% และขึ้นรูปเส้นพลาสติกผสมกับเส้นใยอ้อย และเลา

3. การกลึงเส้นพลาสติก

3.1 นำเส้นพลาสติกที่ขึ้นรูปแล้ว โดยที่เส้นพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบทุกเส้นมีความยาว 20 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร จากนั้นนำมากลึงให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งวัดจากหัว และท้ายของเส้นพลาสติกเว้นไว้ฝั่งละ 6 เซนติเมตรเพื่อใช้เป็นด้ามจับให้เครื่องจับในการทดสอบ ส่วนตรงกลางขนาด 8 เซนติเมตรกลึงให้มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงเหลือ 12 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4 จากนั้นก็นำเส้นพลาสติกที่กลึงแล้วนำไปทดสอบในขั้นต่อไป



รูปที่ 4 การกลึงเส้นพลาสติก 100 % และกลึงเส้นพลาสติกผสมกับเส้นใยอ้อย และเลา

4. วิธีการทดสอบคุณภาพของเส้นพลาสติกผสมเส้นใยธรรมชาติ

การทดสอบคุณภาพของเส้นพลาสติก โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine แสดงดังรูปที่

5 ในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของเส้นพลาสติกจากพลาสติกที่ใช้แล้วผสมเส้นใยธรรมชาติ สามารถทดสอบแรงดึงและความแข็งแรงของวัสดุ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด



รูปที่ 5 การกลึงเส้นพลาสติก 100% และกลึงเส้นพลาสติกผสมกับเส้นใยอ้อย และเลา

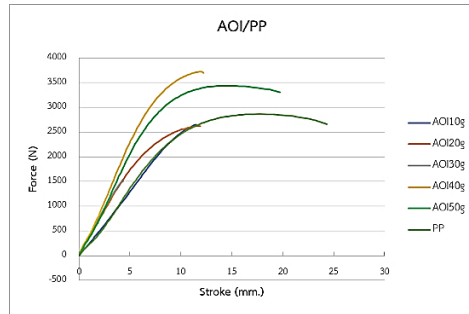
ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยจนกระทั่งถึงการทดลองทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิตโพลีพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยและเลา โดยกำหนดค่าร้อยละของวัสดุธรรมชาติที่ใช้เป็นอัตราส่วนผสมระหว่างฟางพลาสติกและวัสดุธรรมชาติ ซึ่งจะแบ่งเป็น ฟางพลาสติก 200 กรัม ผสมกับเส้นใยอ้อยร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

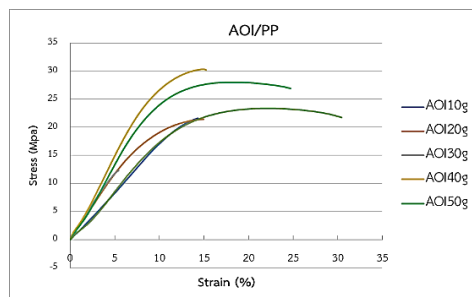
1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเส้นพลาสติกที่ผสมวัสดุธรรมชาติ

ผลการทดสอบแรงและการยืดระหว่างฟางพลาสติกผสมเส้นใยอ้อย โดยที่ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 0 จะมีแรงกระทำ 2668.06 นิวตัน และมีระยะยืด 24.31 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 5 จะมีแรงกระทำ 2,651.71 นิวตัน และมีระยะยืด 11.48 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 10 จะมีแรงกระทำ 2,623.72 นิวตัน และมีระยะยืด 11.93 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 15 จะมีแรงกระทำ 1,515.80 นิวตัน และมีระยะยืด 4.34 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 20 จะมีแรงกระทำ 3,706.03 นิวตัน

และมีระยะยืด 12.2 มิลลิเมตร และผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 25 จะมีแรงกระทำ 3,304.99 นิวตัน และมีระยะยืด 19.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการทดสอบแรงและการยืดระหว่างฟางพลาสติกผสมเส้นใยอ้อย

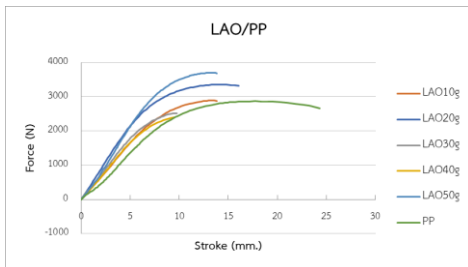


รูปที่ 7 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลระหว่างฟางพลาสติกผสมเส้นใยอ้อย

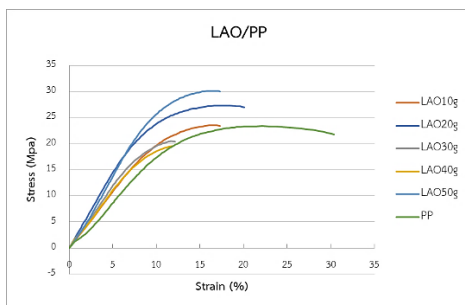
รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลระหว่างฟางพลาสติกผสมเส้นใยอ้อยที่ได้จากการทดสอบแรงดึง โดยที่ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 0 จะมีค่าความเค้น 30.38 และความเครียด 21.74 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 5 จะมีค่าความเค้น 14.35 และความเครียด 21.61 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 10 จะมีค่าความเค้น 14.91 และความเครียด 21.38 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 15 จะมีค่าความเค้น 5.43 และความเครียด 12.35 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 20 จะมีค่าความเค้น 15.25 และความเครียด 30.2 เมกะปาสคาล และผสมเส้นใยอ้อยร้อยละ 25 จะมีค่า

ความเค้น 24.69 และความเครียด 26.93 เมกะปาสคาล ตามลำดับ

ผลการทดสอบแรงและการยืดระหว่างฟลาชวอดพลาสติกผสมเส้นใยเลา โดยที่ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 0 จะมีแรงกระทำ 2,668.06 นิวตัน และมีระยะยืด 24.31 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 5 จะมีแรงกระทำ 2,876.09 นิวตัน และมีระยะยืด 13.84 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 10 จะมีแรงกระทำ 3,313.236 นิวตัน และมีระยะยืด 16.07 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 15 จะมีแรงกระทำ 2,506.41 นิวตัน และมีระยะยืด 9.73 มิลลิเมตร ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 20 จะมีแรงกระทำ 2,392.75 นิวตัน และมีระยะยืด 9.46 มิลลิเมตร และผสมเส้นใยเลาร้อยละ 25 จะมีแรงกระทำ 3,684.56 นิวตัน และมีระยะยืด 13.84 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการทดสอบแรงและการยืดระหว่างฟลาชวอดพลาสติกผสมเส้นใยเลา



รูปที่ 9 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลระหว่างฟลาชวอดพลาสติกผสมเส้นใยเลา

รูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลระหว่างฟลาชวอดพลาสติกผสมเส้นใยเลาที่ได้จากการทดสอบแรงดึง โดยที่ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 0 จะมีค่าความเค้นร้อยละ 30.38 และความเครียด 21.74 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 5 จะมีค่าความเค้น 17.3 และความเครียด 23.44 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 10 จะมีค่าความเค้น 20.09 และความเครียด 27 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 15 จะมีค่าความเค้น 12.16 และความเครียด 20.42 เมกะปาสคาล ผสมเส้นใยเลาร้อยละ 20 จะมีค่าความเค้น 11.82 และความเครียด 19.5 เมกะปาสคาล และผสมเส้นใยเลาร้อยละ 25 จะมีค่าความเค้น 17.3 และความเครียด 30.02 เมกะปาสคาล ตามลำดับ

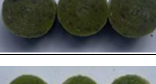
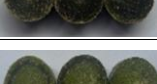
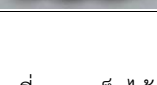
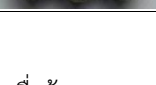
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความแข็งแรงของของไบโอคอมโพสิตโพลีโพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยและเลา

ร้อยละส่วนผสม	อ้อย / PP (นิวตัน)	ร้อยละที่เพิ่มขึ้น	เลา/PP (นิวตัน)	ร้อยละที่เพิ่มขึ้น
0	2668.06	-	2,668.06	-
5	2,651.71	-0.61	2,876.09	7.80
10	2,623.72	-1.66	3,313.24	24.18
15	1,515.80	-43.19	2,506.41	-6.06
20	3,706.03	38.90	2,392.75	-10.32
25	3,304.99	23.87	3,684.56	38.10

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนร้อยละ 20 มีแรงกระทำสูงสุดที่ 3,706.03 นิวตัน และที่อัตราส่วนอ้อยร้อยละ 25 มีระยะยืดสูงสุด 19.75 มิลลิเมตร ในส่วนของกรณีที่ใช้เลาเป็นวัสดุเสริมแรงพบว่าที่อัตราส่วนเลาร้อยละ 25 มีแรงกระทำสูงสุดที่ 3,684.56 นิวตัน และมีระยะยืดสูงสุด 13.84 มิลลิเมตร

2. ภาพการกระจายตัวของวัสดุธรรมชาติบนพื้นที่หน้าตัด

ตารางที่ 2 ภาพการกระจายตัวของเส้นใยอ้อยและ เลาบนผาขวดพลาสติก

เปอร์เซ็นต์ของเส้น ใยที่ผสมผาขวด พลาสติก	ภาพพื้นที่หน้าตัด	
	ส่วนต้นเส้นพลาสติก	ส่วนปลายเส้นพลาสติก
เส้นใยอ้อย 0%		
เส้นใยเลา 0%		
เส้นใยอ้อย 5%		
เส้นใยเลา 5%		
เส้นใยอ้อย 10%		
เส้นใยเลา 10%		
เส้นใยอ้อย 15%		
เส้นใยเลา 15%		
เส้นใยอ้อย 20%		
เส้นใยเลา 20%		
เส้นใยอ้อย 25%		
เส้นใยเลา 25%		

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อร้อยละของเส้นใยที่ผสมผาขวดพลาสติกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0-25 สีสันต้นและส่วนปลายเส้นพลาสติกมีสีเข้มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของร้อยละเส้นใยอ้อยและเลาที่เพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์สมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิต โพลีพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยและเลา สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ จากการศึกษาจากผลการทดสอบมีข้อสังเกตว่าสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิต โพลีพรพิลีนเสริมด้วยเส้นใยอ้อยพบว่า อัตราส่วนร้อยละ 20 มีแรงกระทำสูงสุดที่ 3,706.03 นิวตัน คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 38.90 และที่อัตราส่วนอ้อยร้อยละ 25 มีระยะยืดสูงสุด 19.75 มิลลิเมตร ในส่วนของกรณีที่ใช้เลาเป็นวัสดุเสริมแรงพบว่าที่อัตราส่วนเลาร้อยละ 25 มีแรงกระทำสูงสุดที่ 3,684.56 นิวตัน คิดเป็นร้อยละ 38.10 และมีระยะยืดสูงสุด 13.84 มิลลิเมตรผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าโมดูลัสยืดหยุ่นและแรงดึงเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยอ้อยและเลาทำให้คุณสมบัติทางกลของไบโอคอมโพสิต มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและจากผลการทดลองการฉีกเห็นได้ว่าเมื่อร้อยละของวัสดุเสริมแรงที่ผสมผาขวดพลาสติกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0-25 สีส่วนต้นและส่วนปลายเส้นพลาสติกมีสีเข้มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของร้อยละวัสดุเสริมแรงเส้นใยอ้อยและเลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสามารถนำวัสดุเสริมแรงนี้ไปผลิตเป็นวัสดุเพื่อการรองรับน้ำหนักทางวิศวกรรมและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรงสูง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษาให้นักวิจัยได้ทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- [1] U. Environment, “Plastic pollution,” UNEP, [Online]. Available from : <https://www.unep.org/plastic-pollution> (accessed May 30, 2023).

- [2] “The role of safety for transport in APEC post covid-19”, [Online]. Available from : <https://apec2022.prd.go.th/the-role-of-safety-for-transport-in-apec-post-covid-19/> (accessed May 15, 2023).
- [3] “The 29th APEC Economic Leaders’ Meeting during 18 - 19 November 2022 at Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok,” APEC, [Online]. Available from: <https://www.apec2022.go.th/th/apec-economic-leaders-meeting-aelw-th/> (accessed May 15, 2023).
- [4] “What is BCG Economy Model,” NSTDA, [Online]. Available from: https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/what-is-bcg-economy-model/ (accessed May 30, 2023).
- [5] A. S. Aparchit Sharma, “Review of effects of fiber content and fiber length on the mechanical properties of biocomposites,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol.10, no.3, pp. 12523–12532, 2020. doi:10.24247/ijmperdjun20201192
- [6] M. Mittal and R. Chaudhary, “Effect of fiber length and content on the mechanical properties of pineapple leaf fiber reinforced-epoxy composites,” *Advances in Science and Technology*, 2021. doi:10.4028/www.scientific.net/ast.106.68
- [7] S. Novisa, B. B. Nugroho, H. Budiastuti, and R. Manfaati, “Characterization and production of biodegradable plastics from cassava rubber starch and old newsprint using glycerol plasticizer,” *Proceedings of the International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2020)*, 2020. doi:10.2991/aer.k.201221.005
- [8] R. Saengsap et al. “Mechanical properties. and property of letting gas through polyethylene film mixed bagasse”. Faculty of Engineering. Khon Kaen University University Thesis. 2014.
- [9] F. Bellejoyes, “Freedom, Polypropylene, PP”, October 2012, [Online]. Available from: <http://arceehechanfreedom.blogspot.com/2012/10/> (accessed May 15, 2023).
- [10] “Plastic,” POLYMER,. [Online]. Available from: <https://enchemcom1po.wordpress.com/plastic> (accessed May 15, 2023).
- [11] J. Zhou, Z. Sun, and D. Retraint, “Elastic and elastic-plastic stress release due to material removal in measurement of in-depth residual stresses,” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol.191, p. 104380, 2021. doi:10.1016/j.ijpvp.2021.104380
- [12] S. J. Bispo, R. C. Freire Júnior, and E. M. Aquino, “Mechanical properties analysis of polypropylene biocomposites reinforced with Curaua fiber,” *Materials Research*, vol. 18, no. 4, pp. 833– 837, 2015. doi:10.1590/1516-1439.022815
- [13] C. Marsh, “Test Method for Tensile Properties of Plastics”. Astm, 1990.

การตรวจสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแชสซี สำหรับยานพาหนะการเกษตร

กฤษฎางค์ ศุกระมูล^{1*}, ศักย บุญชูวิทย์², วชิระ เพิ่มชาติ³, ชัยชโย ชื่นตรง⁴, สัตยลักษณ์ กิ่งทอง⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Email : krissadang.sook@vru.ac.th¹

Received: May 22, 2023

Revised: Jun 13, 2023

Accepted: Jun 20, 2023

บทคัดย่อ

ในภาคอุตสาหกรรมเกษตร การขนส่งผลิตผลมีบทบาทสำคัญในด้านเศรษฐกิจการค้าในปัจจุบัน สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาเช่นประเทศไทย นิยมใช้รถบรรทุกภาคเกษตรกรรมเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในการประกอบแชสซีรถบรรทุกและรถเอนกประสงค์ มีคุณสมบัติมากมายที่ต้องพิจารณารวมถึงการเลือกใช้วัสดุในการสร้าง อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก บทความนี้มุ่งเน้นศึกษาความเค้น ความเครียด ระยะยุบตัว และหาค่าความปลอดภัยของแชสซีรถเอนกประสงค์ใช้ในการเกษตรโดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลของงานวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำไปเลือกวัสดุในการสร้างยานพาหนะเพื่อการเกษตรโดยการทดสอบความแข็งแรงของแชสซีด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) ผลการทดลองพบว่าเมื่อเลือกใช้เหล็ก AISI 1035 ค่าความเค้นพอนมิชเชสมากที่สุดที่เกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของแชสซีมีค่า 170.7 MPa ค่าความเครียดสูงสุด 5.3×10^{-4} ค่าระยะขจัดสูงสุด 2.819 mm และค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.2 เมื่อเลือกใช้สแตนเลส SUS 304 ค่าความเค้นพอนมิชเชสมากที่สุดที่เกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของแชสซีมีค่า 169.6 MPa ค่าความเครียดสูงสุด 5.058×10^{-4} ค่าระยะขจัดสูงสุด 2.681 mm และค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.42 ยานพาหนะเพื่อการเกษตรที่ออกแบบโดยเลือกใช้วัสดุทั้ง 2 ประเภทนี้มีความแข็งแรงเพียงพอในการนำไปใช้งานในสภาวะปกติ

คำสำคัญ : วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, ยานยนต์เพื่อการเกษตร, ความเค้นพอนมิชเชส

Finite Element Investigation on Chassis Design for Agricultural Vehicle

**Krissadang Sookramoon^{1*}, Sakaya Bunchoowit², Watchara Permchart³,
Chaichayo Suetrong⁴, Sanyaluck Kingthong⁵**

¹⁻⁵ Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage

*Email : krissadang.sook@vru.ac.th

Received: May 22, 2023

Revised: Jun 13, 2023

Accepted: Jun 20, 2023

Abstract

In the agro-industrial sector, production transportation is essential in today's trade economy for developing countries like Thailand. The use of trucks in the agricultural region has increased significantly. In the assembly of truck chassis and utility vehicles, many features exist, including the choice of building material and strength-to-weight ratio. This article uses finite element method analysis to study the stress, strain, and deflection and determine the safety factor of the multipurpose agricultural vehicle chassis. The results showed that when expending AISI 1035 steel, the highest Von Mises stress occurring at the center of the chassis was 170.7 MPa, the maximum strain was 5.3×10^{-4} , the maximum displacement was 2.819 mm, and the minimum safety factor was 1.2. When selecting SUS 400, the highest Von Mises stress arising at the center of the chassis was 169.6 MPa, the maximum strain was 5.058×10^{-4} , the maximum displacement was 2.681 mm, and the minimum safety factor was 1.42. For multipurpose agriculture vehicles designed by verifying two types of these materials, it was found that the chassis was strong enough to be used in normal conditions.

Keywords : Finite Element Method, Multipurpose Agricultural Vehicle, Von mises stress

บทนำ

แชสซีเป็นส่วนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ในวงการอุตสาหกรรมยานยนต์ แชสซีของรถยนต์ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการสร้างความเสถียรแก่รถยนต์เมื่อต้องเผชิญกับสภาวะต่าง ๆ แชสซีเป็นโครงสร้างที่ยึดตัวเครื่องยนต์ เพลา และระบบกันสะเทือนระบบส่งกำลังไว้ด้วยกัน ใช้เป็นตัวยึดชิ้นส่วนรถยนต์ทั้งหมด โครงแชสซีแบบขับเคลื่อนได้ถือเป็นหนึ่งในรูปแบบที่เก่าแก่ที่สุดของแชสซีรถยนต์ เนื่องจากโครงขับเคลื่อนมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีเยี่ยม จึงใช้ได้กับรถเพื่อการพาณิชย์ส่วนใหญ่ร่วมกับรถ SUV ส่วนใหญ่ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงของแชสซี การขับขีที่ดีเยี่ยมและความสบายในการขับขีที่ยอดเยี่ยม ดังนั้นควรใช้แชสซีแบบขับเคลื่อนได้มากกว่าโครงแบบยูนิบอดีและ โครงขับเคลื่อนที่ทำหน้าที่เป็นลูกปืนสำหรับกระท่อมสปริงพร้อมขาคีดเพื่อรองรับร่างกายและเหล็กใบส่วนประกอบแชสซีสามารถติดเข้ากับข้อต่อแบบหมุดย้ำ ข้อต่อเชื่อม หรือสลักเกลียวได้ เพื่อรองรับการทำงานของสปริงของระบบกันสะเทือน โครงขับเคลื่อนถูกสร้างขึ้นที่ด้านหน้าและด้านหลัง เฟรมแคบไป ด้านหน้าเพื่อการล้อคพวงมาลัยที่ดีขึ้น ภาพตัดขวางหลายส่วนที่ใช้ในการก่อสร้างเฟรมได้แก่ ช่อง, กล่อง, ฝาปิด, ช่องคู่และส่วนการวิเคราะห์ความเครียดจะดำเนินการบนเฟรมเพื่อหาจุดวิกฤตที่มีแรงกดสูงสุดการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นำหลักการทางคณิตศาสตร์ที่นำค่าประมาณที่ได้จากแบบจำลองของการแก้ปัญหา ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยมาใช้ประมาณค่าผลลัพธ์ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมใช้กับงานวิศวกรรมนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลายสาขาแสดงรูปแบบการกระจายความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นขณะใช้งานวิธีการดังกล่าวถือเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาการออกแบบ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทดสอบซ้ำ ข้อดีคือลดต้นทุนการผลิตแบบจำลองต้นแบบในการศึกษา สะดวกต่อการขึ้นรูปแบบจำลอง และช่วยพัฒนาให้ผลลัพธ์เป็นไปในทางที่ดีขึ้นบทความนี้อธิบายและเน้นความรู้พื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์

เอลิเมนต์ ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รูปแบบพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุที่เหมาะสมกับงานวิศวกรรมและการออกแบบ ตลอดจนการนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง

บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

FM D Vijayakumar และคณะ[1] ได้ทำวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแชสซีรถบรรทุก โดยได้พิจารณาคุณสมบัติหลายอย่างทั้งการเลือกใช้วัสดุ บรรจุภัณฑ์ อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก ค่าความแข็ง และเน้นการศึกษาความเครียดของแชสซีรถบรรทุกโดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) โดยใช้โปรแกรมหลักคือ ANSYS ผลการวิจัยนี้ทำให้ทราบวิธีแก้ปัญหาเกี่ยวกับการเทคนิคการพัฒนาที่ทันสมัยในปัจจุบันสำหรับแชสซีของรถบรรทุก

Chandra M. R[2] และคณะได้ทำการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างของแชสซีของยานพาหนะขนาดใหญ่ที่ทำจากวัสดุผสมพอลิเมอร์ โดยส่วนตัวขวางที่แตกต่างกันสามส่วน โดยอธิบายถึงการออกแบบและการวิเคราะห์แชสซีของยานพาหนะขนาดใหญ่ การลดน้ำหนักเป็นปัญหาหลักในอุตสาหกรรมรถยนต์ โครงแชสซีเปรียบเสมือนเป็นกระดูกสันหลังของรถบรรทุกขนาดหนัก น้ำหนักหลักของมันคือรองรับการบรรทุกอย่างปลอดภัยที่โหลดสูงสุดสำหรับในทุกสภาพการใช้งานตามที่ต้องการ ออกแบบไว้ ในปัจจุบันแชสซีรถบรรทุกหนักที่มีอยู่ของยานพาหนะยี่ห้อ TATA 2515EX ถูกนำไปสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ของหนักแชสซีของรถด้วยวัสดุผสมที่แตกต่างกันสามแบบ ได้แก่ Carbon/Epoxy, E-glass/Epoxy และ S-glass/Epoxy ภายใต้แรงกดเช่นเดียวกับตัวถังเหล็ก ข้อจำกัดในการออกแบบคือความเค้นและการโก่งตัว ของแชสซียานยนต์หนักของแบบที่ประกอบขึ้นทั้งสามแบบที่แตกต่างกันได้ทำการจำลองโดยพิจารณาจากหน้าตัดที่แตกต่างกันสามแบบคือส่วน C, I และประเภทกล่อง สำหรับการตรวจสอบการออกแบบทำได้โดยใช้แรงในแนวตั้งที่กระทำกับส่วนตัดขวางที่แตกต่างกันในแนวนอน ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการนี้ทำงาน PRO – E

5.0 สำหรับการสร้างแบบจำลองใช้โปรแกรม ANSYS 12.0 สำหรับทำการวิเคราะห์

Salvi Gauri Sanjay และคณะ[3] ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัดของแอสซีรดับเพลิงสำหรับวัสดุเหล็กและคาร์บอนไฟเบอร์ แอสซีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของรถยนต์ที่ทำหน้าที่เป็นโครงเพื่อรองรับตัวรถ เพราะฉะนั้นโครงควรแข็งแรงมากและแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงสั่นสะเทือนและแรงกระแทกที่กระทำต่อการเคลื่อนไหวยานพาหนะ เหล็กกล้าในหลายรูปแบบเป็นวัสดุที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการผลิตแอสซีและอลูมิเนียมใช้เวลาได้รับการใช้งานแล้ว อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาวัสดุแบบดั้งเดิมถูกแทนที่ด้วยคาร์บอนไฟเบอร์น้ำหนักเบาเป็นพิเศษ วัสดุ คาร์บอนไฟเบอร์ที่มีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบาจึงเหมาะสำหรับนำมาทำการผลิตเป็นแอสซีสำหรับยานยนต์ บทความนี้แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างแบบโมเดลและแบบสถิติของโครงแอสซีรดับเพลิง TATA 407 สำหรับเหล็กเช่นกันเป็นเส้นใยคาร์บอน จากผลการวิเคราะห์ เปรียบเทียบค่าความเค้น ความเครียด และค่าการเสียรูปทั้งหมดสำหรับทั้งสองค่าวัสดุ เนื่องจากง่ายต่อการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงมีการปรับเปลี่ยนแอสซีการใช้ PRO-E และ Finite Element Analysis ดำเนินการโดยใช้ ANSYS workbench

Rohan Y Garud และคณะ[4] ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของแอสซียานยนต์ การปรับเปลี่ยนการออกแบบและการเพิ่มประสิทธิภาพ แอสซีเป็นชิ้นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของรถยนต์ทำหน้าที่ใช้รองรับชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ กระปุกเกียร์ คลัตช์เพลาขับ, เบรก, ถังน้ำมัน ฯลฯ ที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนยานพาหนะ ทำหน้าที่แบกภาระและน้ำหนักที่จำเป็นทั้งหมดของส่วนประกอบ; ดังนั้นจึงควรแข็งแรงพอที่จะรักษาการกระแทก การบิด การสั่นสะเทือน และความเครียดอื่น ๆ บทความนี้จึงกระตือรือร้นงานวิจัยที่ดำเนินการในพื้นที่ของแอสซีกับข้อจำกัดของความเค้นสูงสุด การโก่งตัว และบริเวณวิกฤตภายใต้เงื่อนไขการโหลด ได้นำเทคนิคการ

จำลองมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบเพื่อการลดน้ำหนัก วัสดุที่ดีขึ้นการใช้ประโยชน์และหน้าตัดที่เหมาะสม ความสูงของเว็บและเปลี่ยนขนาดความหนาเพื่อตรวจสอบผลกระทบต่อน้ำหนัก

Yuan Ren และคณะ[5] ทำการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงรถดั้มพ์รุ่น SX360 การวิเคราะห์ความถี่การสั่นสะเทือนตามธรรมชาติและโหมดไดนามิกของเฟรมเป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อให้มั่นใจถึงการดำเนินงานความสามารถของเฟรมรับแรง และแรงบิดต่าง ๆ ที่ส่งมาจากเครื่องยนต์ คลัตช์ ตัวถัง และสินค้า ในฐานะที่เป็นฐานรองรับของรถยนต์บรรทุกคอนเทนเนอร์ ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมทำได้ยากงานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ FEA ABAQUS ที่สามารถให้การกระจายความเค้นของเฟรมที่ถูกต้อง กฎการโก่งตัวของเฟรมที่ปลายทั้งสองด้านและจุดกึ่งกลาง และเฟรมชั่วคราวแบบพลวัต การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์มวลของเฟรมและการเพิ่มประสิทธิภาพโมเดลเท่านั้น โดยขาดการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนและโหมด ในบทความนี้ซอฟต์แวร์ ABAQUS ขนาดใหญ่ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ความถี่การสั่นสะเทือนตามธรรมชาติและโหมดไดนามิกของเฟรมของรถดั้มพ์ SX360 ที่ใช้พื้นฐานทางทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับการออกแบบเฟรมที่เหมาะสมที่สุด

ชาตรี บุญเชิดชู[6] ได้ทำวิทยานิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทำการใช้ซอฟต์แวร์ออกแบบ เลือกวัสดุ และวิเคราะห์ความแข็งแรง ความเหมาะสมของโครงสร้างรถไฟฟ้า และนำผลการวิเคราะห์ไปสร้างรถไฟฟ้าขนาดเล็กขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยเรื่องนี้จึงทำการศึกษาค้นคว้าความแข็งแรงของโครงแอสซีด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) อันเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยออกแบบโครงแอสซีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเผยแพร่ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้แก่

อุตสาหกรรม และชุมชนที่สนใจสร้างรายได้

การเลือกใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการจำลองสถานะการรับแรงจริงโดยมีความแตกต่างกับวิธีการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างจริง ในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างชิ้นงานขึ้นแล้วทดสอบจริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความแข็งแรงของวัสดุในการนำมาใช้สำหรับออกแบบแอสซีรอกเนกประสงค์ใช้ในการเกษตร
2. ศึกษาการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแอสซีรอกเนกประสงค์ใช้ในการเกษตร โดยเลือกวัสดุ 2 ชนิด คือ เหล็ก AISI 1035 และ SUS 304
3. ตรวจสอบความถูกต้องหรือความแม่นยำของการจำลอง

ความเค้น Von Mises[7]

ความเค้น Von Mises เป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาว่าวัสดุที่เลือกมาใช้งานนั้นจะคด โกงหรือเกิดการแตกหักหรือไม่ ส่วนใหญ่จะใช้กับวัสดุที่มีความเหนียว เช่น โลหะ เกณฑ์จุดครากของ Von Mises ระบุว่าหากความเค้นของ Von Mises ของวัสดุภายใต้การมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าขีดจำกัดครากของวัสดุชนิดเดียวกันภายใต้แรงดึงอย่างง่าย วัสดุนั้นก็จะถึงจุดคราก ในการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุพบว่าประวัติของทฤษฎีความยืดหยุ่นเริ่มต้นจากการศึกษาของ Robert Hooke ในศตวรรษที่ 17 ซึ่งสำรวจแนวคิดพื้นฐานของการเปลี่ยนรูปของสปริงและการเคลื่อนตัวของคาน อย่างไรก็ตาม เกณฑ์เชิงวิศวกรรมไม่ใช่เหตุผลเดียวสำหรับการศึกษาทฤษฎีความยืดหยุ่น เนื่องจากงานวิจัยนั้นได้เชื่อมโยงกับความพยายามในการตีความธรรมชาติและทฤษฎีของอีเทอร์ด้วย ในศตวรรษที่ 19 เท่านั้นที่เกิดทฤษฎีเชิงปริมาณและ

คณิตศาสตร์เกี่ยวกับความยืดหยุ่นของวัตถุพร้อมกับกลศาสตร์ความต่อเนื่อง ซึ่งอนุญาตให้ใช้แคลคูลัสเชิงปริพันธ์และเชิงอนุพันธ์เพื่อสร้างแบบจำลองปรากฏการณ์ยืดหยุ่น กลศาสตร์ความต่อเนื่องสมมติสิ่งที่เรียกว่าไฮโมจีโนเซชันของตัวกลาง เช่น ความผันผวนระดับจุลภาคจะถูกหาค่าเฉลี่ยและฟิลด์ต่อเนื่องที่สามารถจำลองตัวกลางได้ ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าในทุก ๆ ช่วงระยะเวลาและทุก ๆ จุดในอวกาศที่ถูกครอบครองโดยตัวกลาง จะมีอนุภาคที่ตรงต่อเวลา ทฤษฎีและแนวคิดมากมายได้มาจากแนวคิดพื้นฐานของกลศาสตร์ความต่อเนื่อง หนึ่งในนั้นคือทฤษฎีพลังงานบิดเบือนสูงสุด ซึ่งนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น การออกแบบตลับลูกปืนและการใช้งานกับวัสดุเหนียวอื่น ๆ มันถูกเสนอครั้งแรกโดย Hubert ในปี 1904 และพัฒนาเพิ่มเติมโดย Von Mises ในปี 1913 ได้ให้ความเห็นว่าการบิดเบือนถึงค่าวิกฤต ค่าวิกฤตนี้เป็นค่าเฉพาะสำหรับวัสดุแต่ละชนิด สามารถหาได้ง่ายโดยการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย

เกณฑ์ของ Von Mises

ขีดจำกัดความยืดหยุ่นที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ขึ้นอยู่กับการทดลองความเค้นอย่างง่ายหรือความเค้นแกนเดียว อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีพลังงานบิดเบือนสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อสังเกตว่าวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่มีความเหนียว มีพฤติกรรมแตกต่างออกไปเมื่อได้รับแรงดึงแบบไม่เรียบง่ายหรือความเค้นที่ไม่ใช่แกนเดียว ซึ่งแสดงค่าความต้านทานที่มากกว่าค่าที่สังเกตได้ระหว่างแรงดึงอย่างง่าย การทดลอง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับเทนเซอร์ความเค้นแบบเต็มรูปแบบ

ความเค้น Von Mises เป็นเกณฑ์สำหรับการให้ผลผลิต ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับโลหะและวัสดุเหนียวอื่น ๆ มันระบุว่าการยอมนะเกิดขึ้นในวัตถุถ้าส่วนประกอบของความเครียดที่กระทำต่อมันมีค่ามากกว่าเกณฑ์

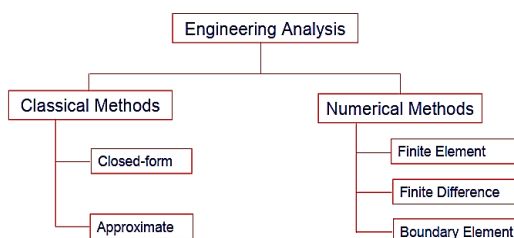
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Von Mises [7]

State of stress	Boundary conditions	von Mises equations
General	No restrictions	$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2] + 3(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)}$

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการหนึ่งในการนำมา

วิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม ดังรูปที่ 1



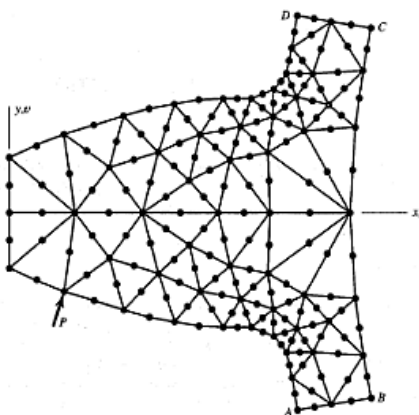
รูปที่ 1 การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรม [8]

รูปแบบของปัญหาในเชิงวิศวกรรมคือ การหาฟังก์ชันการกระจายตัวของตัวแปรในระบบสามมิติ ซึ่งปัญหาแต่ละข้อจะสามารถอธิบายด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ สมการการอินทิกรัล[8]

Finite element คือองค์ประกอบย่อย ๆ ของโดเมนโครงสร้างสำหรับวิธีการของ FEM โดเมนของโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นองค์ประกอบย่อยที่มีรูปร่างอย่างง่ายขนาดเล็ก องค์ประกอบย่อยนี้จะถูกเรียกเป็น “element” โดเมนของโครงสร้าง: มีระดับความเสรีแบบอนันต์ (infinite number of DOF)

โดเมนของแบบจำลอง : มีระดับความเสรีจำกัด (finite number of DOF) โดเมนของโครงสร้าง: มีระดับความเสรีแบบอนันต์ (infinite number of DOF) โดเมนของแบบจำลอง : มีระดับความเสรีจำกัด (finite number of DOF) ดังนั้นเองนี้จึงเป็นที่มาของ “Finite element method” ในแต่ละ element การกระจายตัวของตัวแปรที่เราสนใจนั้นจะมีค่าต่างกันตามตำแหน่งใด ๆ ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของรูปร่าง Mesh, Element และ Node

ตัวแปรที่เราสนใจคือ $u(x,y)$ (การขจัดตามแนวแกน x) และ $v(x,y)$ (การขจัดตามแนวแกน y) หลักการเบื้องต้นของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ ทำการแบ่งวัสดุที่ต้องการศึกษาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยที่กำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างเอลิเมนต์เช่นเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือรูปหลายเหลี่ยมและนำสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายปรากฏการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต้องการศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณขึ้นกับการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการเป็นสำคัญความสามารถในการพยากรณ์เหตุการณ์ของแบบจำลองสภาวะจริงเกี่ยวข้องกับความต้องการการกำหนดค่าตัวแปรที่เลือกใช้ในสมการการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประยุกต์ใช้ในงานออกแบบแชสซีผู้ออกแบบควรมีองค์ความรู้พื้นฐานพฤติกรรมเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพ การจำลองสภาวะแวดล้อม ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบจำลองความละเอียด รูปร่างวัสดุ การวิเคราะห์ที่มีความสำคัญทุกขั้นตอน ซึ่งส่งผลกระทบต่อข้อมูลที่ได้ นำไปเป็นแนวทางการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง



รูปที่ 2 รูปร่าง Mesh, Element และ Node

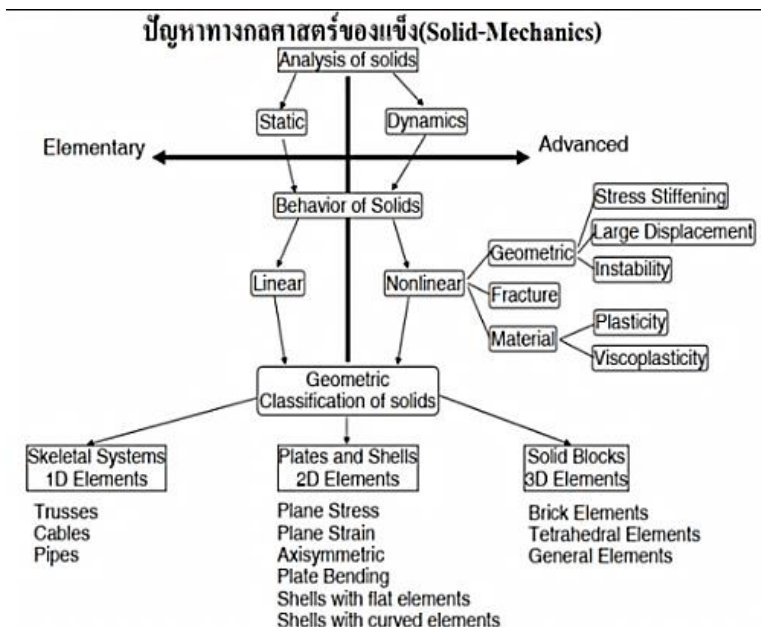
ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแชสซีรถเนกประสงค์ใช้ในการเกษตร และทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงโดยระเบียบวิธี

ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) วิธีการศึกษาใช้อุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ
- 2) โปรแกรม Solidworks



รูปที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะช่วยให้มองเห็นภาพแรงที่กระทำในจุดต่าง ๆ ของแชสซี และสามารถเสริมความแข็งแรงในส่วนที่ขาดได้ง่ายยิ่งขึ้น

ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลอง (Preprocessing phase)

1. การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง (Geometric construction) การแบ่งโดเมนของแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆต่อกัน โดยแต่ละเอลิเมนต์จะประกอบไปด้วยโนด (Discretization) การกำหนด shape function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของเอลิเมนต์หรือผลเฉลยของเอลิเมนต์ (ค่าประมาณ) สร้างสมการสำหรับเอลิเมนต์ กำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหลดและสภาวะ

ขอบให้กับปัญหา กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material properties)

2. ขั้นตอนการหาคำตอบ (Solution phase) การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โนดต่าง ๆ หรือค่าอุณหภูมิที่โนดต่าง ๆ (ในกรณีเป็นปัญหาการถ่ายเทความร้อน)

3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Postprocessing phase) การวิเคราะห์หาผลลัพธ์ ที่เราสนใจเพิ่มเติมเช่นเราอาจอยากจะทำหาค่าความเค้นหลัก 3 มิติ (Von Mises Stress) พลังค์ความร้อน เป็นต้น

วิธีการทดสอบ

การทดสอบหาความแข็งแรง ระยะโก่ง ระยะยุบตัว และค่าความปลอดภัยของรถทดสอบ เริ่มจากการเตรียมแบบของแชสซีของยานพาหนะ

การเกษตร 1 ชิ้นงานที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นเอง โดยเขียนขึ้นรูปจากโปรแกรม Solidwork ver.2021 เป็นแชสซีรถที่ออกแบบเพื่อใช้งานในภาคเกษตรกรรม เช่น เป็นรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก และใช้ลากรถพ่วงขนาดเล็กโดยนำมาทดลองตามขั้นตอนดังนี้ แล้วบันทึกข้อมูลการทดลองไว้ในรูปแบบของรูปแสดงผลการทดลอง

การทดสอบหาความแข็งแรง ระยะโก่ง ระยะยุบตัว และค่าความปลอดภัยของรถทดสอบมีการดำเนินการทดสอบ ดังนี้

1. เตรียมแบบของแชสซีสำหรับรถอเนกประสงค์สำหรับ pre processing
2. ใช้ Solidwork simulation ในส่วนของ static analysis การคำนวณอยู่ภายใต้สภาวะสถิตย
3. เลือกวัสดุ กำหนดจุดจับยึด ใส่ขนาดของแรงกระทำ เลือกใช้วัสดุ AISI 1035 และ SUS 400

กำหนดขนาดของแรงกระทำบนแชสซี ได้แก่ น้ำหนักเครื่องยนต์ 22 kg ชุดเฟืองเกียร์ 14 kg ถังน้ำมันไฮดรอลิก 20 kg น้ำหนักคนขับ 70 kg น้ำหนักแบตเตอรี่ 12 kg กำหนดขนาดของแชสซีเป็น square tube ขนาด 50.8×50.8 mm มีความหนา 2 mm

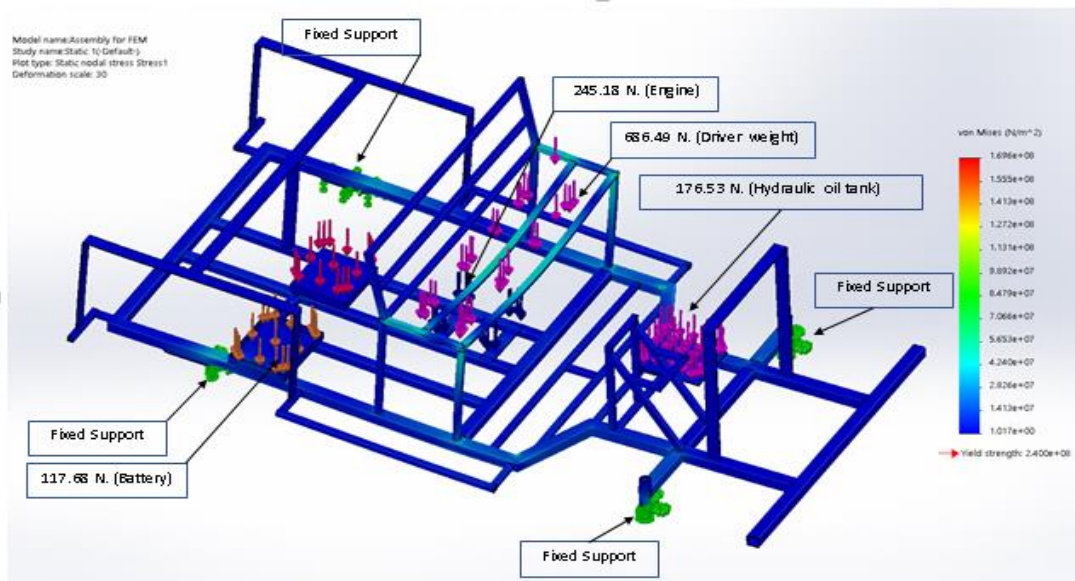
4. สั่งให้โปรแกรมประมวลผลการทดสอบ ได้แก่ หาความแข็งแรง ระยะโก่ง ระยะยุบตัว และค่าความปลอดภัยของรถทดสอบ

5. แสดงผลการวิเคราะห์ บันทึกผลการทดลอง และรูปของผลการทดลอง

6. วิเคราะห์ผลที่ได้

ข้อมูลสำหรับการทดสอบ

ขนาดและตำแหน่งของแรงกระทำบนแชสซีของยานพาหนะการเกษตร



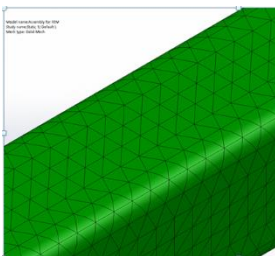
รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบและแรงกระทำที่จุดต่าง ๆ
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

ใช้โปรแกรม Solidwork มาประมวลผลจากสมการรวมระบบของแต่ละเอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นได้ค่าผลเฉลี่ยโดยประมาณ ความแม่นยำที่ได้จะแปรตามการกำหนดขนาด รูปร่าง และจำนวนของเอลิเมนต์

ที่แบ่งในงานวิจัยนี้มีการกำหนดเมชเป็น solid mesh มีจุดต่อจากโคเป็นจำนวน 4 จุดต่อ โดยแบ่งเอลิเมนต์เป็น 554,681 เอลิเมนต์ใช้เอลิเมนต์ชนิด tetrahedron

Mesh Details	
Study name	Static 4 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Meshes Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	6 mm
Tolerance	0.3 mm
Mesh quality	High
Total nodes	1084014
Total elements	554681
Maximum Aspect Ratio	98.734
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	74.6
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.0809
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:02:03
Computer name	

รูปที่ 5 ตารางแสดงรายละเอียดของเมชและเอลิเมนต์
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)



รูปที่ 6 เอลิเมนต์ชนิด tetrahedron
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

วัสดุชนิดที่ 1 ที่เลือกมาออกแบบแชสซีของรถอเนกประสงค์เพื่อการเกษตรได้ทำการเลือกเลือกใช้เหล็ก AISI 1035 ซึ่งมีค่าความเค้นคราก 28.26 MPa และความเค้นแรงดึงสูงสุด 585 MPa ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น 204,999.99 MPa คุณสมบัติของวัสดุแสดงดังรูปที่ 5

Material

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.049999984e+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	7.999999987e+10	N/m ²
Mass Density	7849.99987	kg/m ³
Tensile Strength	58500002.9	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	28268049	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-05	/K
Thermal Conductivity	43	W/(m-K)

Click [here](#) to access more materials using the SOLIDWORKS Materials Web Portal.

Open...

Apply

Close

Save

Config...

Help

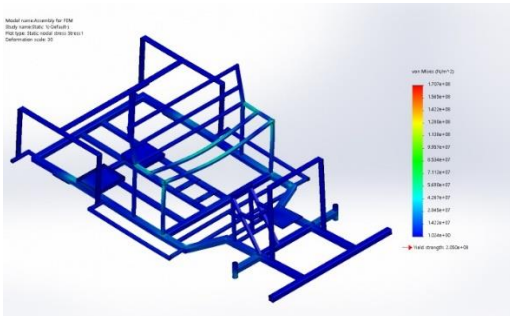
รูปที่ 7 ตารางแสดงรายละเอียดของวัสดุ AISI 1035
ที่เลือกใช้ในการออกแบบ
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

วัสดุชนิดที่ 2 ที่เลือกมาออกแบบแชสซีของรถอเนกประสงค์เพื่อการเกษตรได้ทำการเลือกเลือกใช้เหล็ก ไร้สนิม SUS 304 ซึ่งมีค่าความเค้นคราก 24.00 MPa และความเค้นแรงดึงสูงสุด 520 MPa ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น 200,000 MPa คุณสมบัติของวัสดุแสดงดังรูปที่ 6

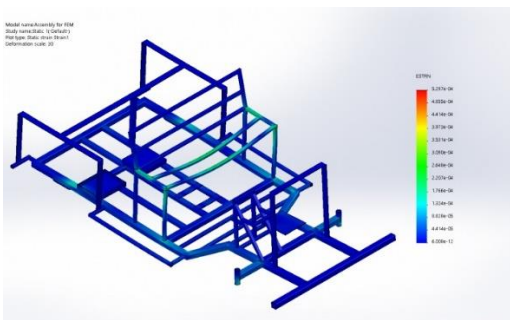
Property of SUS 304		
Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.00E+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.3	N/A
Shear Modulus	7.70E+10	N/m ²
Mass Density	8000.000133	kg/m ³
Tensile Strength	520000000	N/m ²
Compressive Strength	-	N/m ²
Yield Strength	240000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.70E-05	/K
Thermal Conductivity	16.3	W/(m-K)
Specific Heat	500	J/(kg-K)
Material Damping Ratio	-	N/A

รูปที่ 8 ตารางแสดงรายละเอียดของวัสดุ SUS 400
ที่เลือกใช้ในการออกแบบ
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

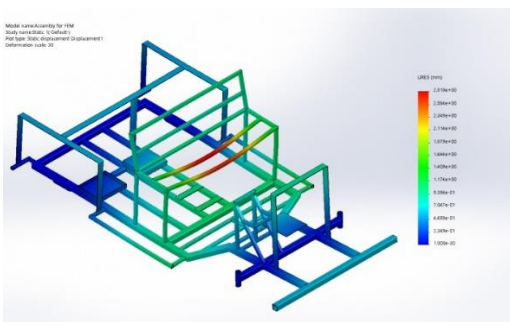
ผลการวิจัย



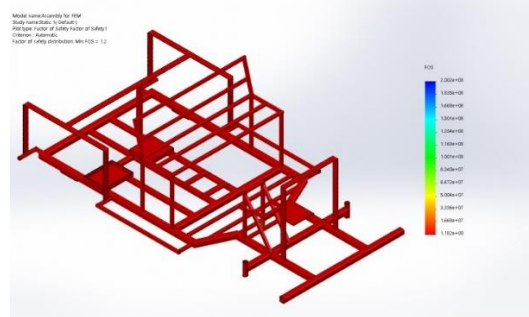
รูปที่ 9 ความเค้น Von Mises บนแชสซีของรถ
อเนกประสงค์เพื่อการเกษตร AISI 1035



รูปที่ 10 ความเครียดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร AISI 1035



รูปที่ 11 ระยะขจัดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร AISI 1035



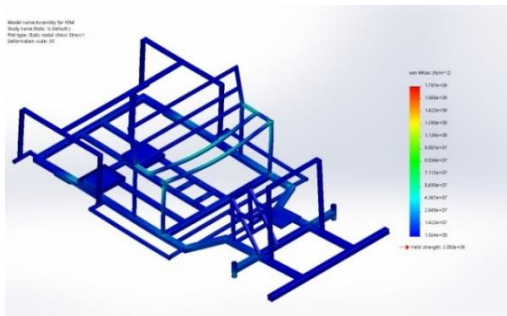
รูปที่ 12 ค่าความปลอดภัยของแชสซีของรถ
อเนกประสงค์เพื่อการเกษตร AISI 1035

การคำนวณค่าความปลอดภัยสำหรับวัสดุ AISI 1035

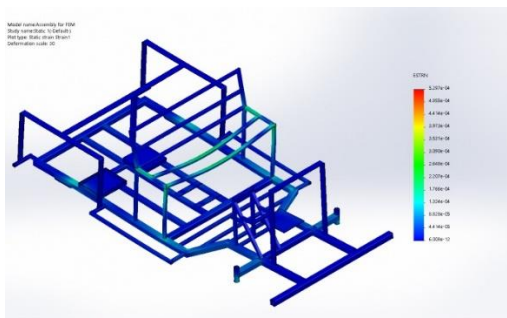
$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Stress}} \\ \text{Max. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Min. Stress}} \\ &= \frac{2.05 \times 10^8}{1.024} = 2 \times 10^8 \\ \text{Min. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Max. Stress}} \\ &= \frac{2.05 \times 10^8}{1.707 \times 10^8} = 1.2 \end{aligned}$$

ผลการคำนวณข้อมูลเพื่อหาคำตอบจากวิธีไฟ
ในเอลิเมนต์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบกราฟฟิก
(Graphical output) สำหรับวัสดุเหล็ก AISI 1035
แสดงผลเป็นแถบสี (Color-coded map) รูปแบบ
การกระจายความเค้น ความเครียดหรือการเคลื่อน
ขยับเมื่อมีแรงมากระทำ หรือการแสดงผลเชิงตัวเลข
(Numeric output) แสดงบริเวณที่วัสดุเกิดค่า
ความเค้นสูงสุด (Stress contour) แสดงดังรูปที่ 9
อธิบายแนวโน้มรูปแบบการกระจายความเค้นตาม
แถบสี โดยค่าความเค้นน้อยที่สุดดูจากแถบสี สีน้ำ
เงินเป็นค่าความเค้นวอนมิสต่ำสุดประมาณ
 1.024×10^{-6} เมกะปาสคาล ไ้ระดับสีไปจนถึงแถบสี
แดง เป็นค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดประมาณ 170.7
เมกะปาสคาล รูปที่ 10 แสดงค่าความเครียดสูงสุด
บนแชสซี 5.30×10^{-4} รูปที่ 11 ระยะขจัดบนแชสซี

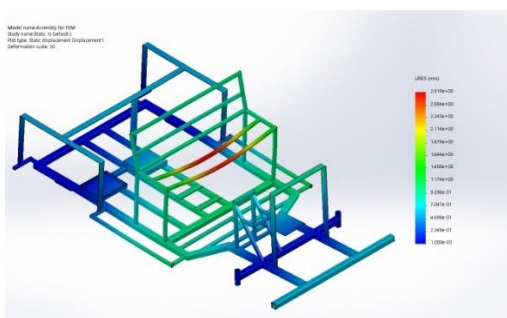
2.819 mm รูปที่ 12 แสดงค่าความปลอดภัยของ
แชสซีต่ำสุดมีค่า 1.2



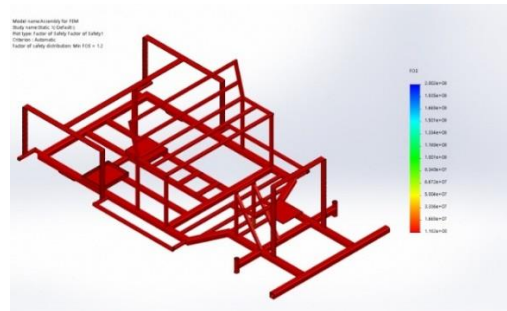
รูปที่ 13 ความเค้น Von Mises บนแชสซี
ของรถอเนกประสงค์เพื่อการเกษตร SUS 400



รูปที่ 14 ความเครียดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร SUS 400



รูปที่ 15 ระยะขจัดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร SUS 400



รูปที่ 16 ค่าความปลอดภัยของแชสซีของรถ
อเนกประสงค์เพื่อการเกษตร SUS 400

การคำนวณค่าความปลอดภัยสำหรับวัสดุ SUS304

$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Stress}} \\ \text{Max. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Min. Stress}} \\ &= \frac{2.4 \times 10^8}{9.873 \times 10^{-1}} \\ &= 2.431 \times 10^8 \\ \text{Min. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Max. Stress}} \\ &= \frac{2.4 \times 10^8}{1.696 \times 10^8} \\ &= 1.42 \end{aligned}$$

ผลการคำนวณข้อมูลเพื่อหาคำตอบจากวิธีไฟ
ในเอลิเมนต์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบกราฟฟิก
(Graphical output) สำหรับวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม
SUS 304 ผลการคำนวณข้อมูลเพื่อหาคำตอบจาก
วิธีไฟในเอลิเมนต์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบกราฟฟิก
(Graphical output) แสดงดังรูปที่ 13 อธิบายแนวโน้ม
รูปแบบการกระจายความเค้นตามแถบสี โดยค่า
ความเค้นน้อยที่สุดดูจากแถบสี สีนํ้าเงินเป็นค่า
ความเค้นวอนมิสต่ำสุดประมาณ 0.987×10^{-6} เมกะ
ปาสคาล ไล่ระดับสีไปจนถึงแถบสีแดง เป็นค่า
ความเค้นวอนมิสสูงสุดประมาณ 169.6 เมกะ
ปาสคาล รูปที่ 14 แสดงค่าความเครียดสูงสุดบน
แชสซี 5.058×10^{-4} รูปที่ 15 ระยะขจัดบนแชสซี
2.681 mm รูปที่ 16 แสดงค่าความปลอดภัยของ
แชสซีต่ำสุดมีค่า 1.42

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยใช้วัสดุต่างกันคือ เหล็กกล้า AISI 1035 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 พบว่า เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 มีความแข็งแรงกว่าเหล็กกล้า AISI 1035 เล็กน้อยสังเกตจากค่าความเค้นคราก และค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ในการพิจารณานำไปใช้งานจริงอาจพิจารณาถึงสภาวะการใช้งาน เช่น หากอยู่ใกล้ทะเลหรือสัมผัสกับน้ำทะเลควรเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 จะทำให้มีความทนทาน อายุการใช้งานยาวนานกว่า แต่หากใช้งานในพื้นที่ชนบทอื่นๆ อาจเลือกใช้เหล็กกล้า AISI 1035 เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ประมาณ 5 -10 เท่า ต้นทุนในการขึ้นรูปแชสซีในงานวิจัยนี้ประมาณ 10,000 บาท เมื่อใช้เหล็กกล้า AISI 1035

สรุปและอภิปรายผล

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีที่ใช้ตรวจสอบพฤติกรรมของวัสดุที่นิยมใช้ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรม โดยสามารถช่วยลดต้นทุนและเวลาเมื่อเทียบกับการสร้างชิ้นงานจริงขึ้นเพื่อนำไปทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เกิดการพัฒนาวัสดุ และใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างแบบจำลองให้มีรูปร่าง ลักษณะ และคุณสมบัติที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับสภาวะความเป็นจริงของวัสดุ โครงสร้างที่ต้องการศึกษา ทักษะความชำนาญของผู้สร้างแบบจำลอง ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีที่ผู้สร้างเลือกใช้ออกแบบและสร้างแบบจำลองย่อมส่งผลกระทบต่อการศึกษา ผู้วิจัยควรนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปตรวจสอบ (Validation) กับผลที่ได้จากการทดลองจริงทางห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันผลอีกครั้งหนึ่ง

จากการตรวจสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแชสซีสำหรับยานพาหนะการเกษตร โดยเลือกใช้วัสดุเหล็กกล้า AISI 1035 มีความเค้นที่จุดคราก 205 MPa ความเค้นพอนมิสเชสที่จำลองมีค่า 170.7 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นที่จุดคราก จึงใช้งานได้อย่างปลอดภัย มีค่าความปลอดภัยต่ำสุด

1.2 และสูงสุด 2×10^8 สำหรับวัสดุ SUS 304 มีความเค้นที่จุดคราก 240 MPa ความเค้นพอนมิสเชสที่จำลองมีค่า 169.6 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นที่จุดคราก มีค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.42 และสูงสุด 2.431×10^8 จึงใช้งานได้อย่างปลอดภัยเช่นเดียวกัน

การคำนวณเชิงวิศวกรรมพิจารณาองค์ประกอบโครงสร้างวัสดุแบบสามมิติ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสามแนวแกน ได้แก่ แกน x แกน y และแกน z ผลลัพธ์แสดงในรูปความเค้นหลัก (Principle stress) ความเค้นที่เกิดจากแรงดึง (Tensile stress) แรงอัด (Compressive stress) หรือแรงเฉือน (Shear stress) การแสดงค่าความเค้นวอนมิสเชส (Von Mises stress) เป็นค่าความเค้นรวมของทั้งสามแนวแกน หากค่าวอนมิสเชสสูงกว่าความเค้นจุดคราก (Yield strength) ของวัสดุแสดงว่าปริมาณแรงที่มากกว่าเกินขีดจำกัดของความสามารถที่วัสดุจะต้านทานได้ หรือเกิดความเค้นสะสมในวัสดุเป็นสาเหตุให้วัสดุเกิดความล้า (Fatigue) นำไปสู่ความวิบัติในที่สุด อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลงานของ FM. D. Vijayakumar ที่ใช้โปรแกรม ANSYS วิเคราะห์ ตลอดจนโครงสร้างของแชสซีมีรูปแบบเป็นแบบบันไดคล้ายกัน

ข้อเสนอแนะ

อาจมีการพัฒนางานวิจัยต่อโดยการนำแบบที่เขียนขึ้นไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ขั้นสูงเช่น ANSYS ที่สามารถหาผลเฉลยได้ละเอียด แม่นยำยิ่งขึ้นต่อไป เนื่องจาก solidworks เป็นโปรแกรม CAD ทั่วไปที่มีความสามารถจำกัดในการวิเคราะห์ FEA และ CFD หรืออาจสร้างยานยนต์อเนกประสงค์ขึ้นจริงแล้วไปทดสอบในสภาวะการใช้งานจริงในสภาวะต่าง ๆ เช่น รับน้ำหนักบรรทุก หาเสถียรภาพของรถเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม

References

- [1] FM. D. Vijayakumar, C. Ramesh Kannan, S. Manivannan, J. Vairamuthu, Samuel Tilahun and P M Bupathi Ram., “*Finite Element Analysis of Automotive Truck Chassis*,” J. Materials Science and Engineering. IOP Conference Series 988(1) : 012114. 2020.
- [2] Chandra M. R., Sreenivasulu S., Hussain S. A., “Modeling and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Made of Polymeric Composite Material by Three Different Cross Sections,” *Int. J. of Modern Engineering. Research*, vol. 2, Issue.4, July-Aug. ISSN: 2249-6645. 2012.
- [3] Salvi Gauri Sanjay, Kulkarni Abhijeet, Gandhi Pratik Pradeep, Baskar P., “Finite Element Analysis of Fire Truck Chassis for Steel and Carbon Fiber Materials,” *J. of Engineering Research and Applications*, vol.4, Issue7 (Version 2), July 2014, pp.69-74, 2014.
- [4] Rohan Y Garud., Shahid C Tamboli., An and Pandey. “Structural Analysis of Automotive Chassis, Design Modification and Optimization,” *Int. J. of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562 vol.13, Number 11 (2018) pp. 9887-9892, 2018.
- [5] Yuan Ren, Yongchang Yu, Binbin Zhao, Chuanhui Fan, He Li. “Finite Element Analysis and Optimal Design for the Frame of SX360 Dump Trucks,” *Procedia Engineering*, vol.174 pp.638 – 647, 2017.
- [6] Chatri Booncherdchum, “*Electric Vehicle Structural Analysis of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon*,” M.Eng. Thesis (Industrial Management Engineering for Sustainability) Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 2017.
- [7] Sim Scale Documentation. “*What is von Mises Stress*,” [Online]. Available: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>. 2023.
- [8] Monsak Pimsarn. “*Finite Element Method*,” [Online]. Source : http://eng.sut.ac.th/me/box/2_54/435301/IntroductionFEM.pdf. 2017.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่านต่อหนึ่งบทความ และต้องได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

การเตรียมต้นฉบับบทความ

ชื่อเรื่อง (Title)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรสั้น กระชับ ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ และสื่อความหมายของเรื่องที่ใช้อย่างชัดเจน
ชื่อ นามสกุลของผู้เขียน	ระบุชื่อนามสกุลเต็ม ของผู้เขียนให้ครบทุกคน <u>โดยไม่ต้องใส่คำนำหน้านามใด ๆ</u> ระบุสถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียน, ไปรษณีย์ อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
บทคัดย่อ (Abstract)	มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษเป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง ครอบคลุมวัตถุประสงค์ วิธิตำเนินการวิจัย ผลการวิจัย และผลสรุป มีความยาวไม่เกิน 250 คำ ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว
คำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ จำนวน 3-5 คำ
บทนำ	อธิบายถึงความสำคัญหรือที่มาของปัญหาที่ทำการศึกษา วัตถุประสงค์ และอาจรวมไปถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
เนื้อเรื่อง	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย กระชับรัดกุมและชัดเจน
วิธีการวิจัย	อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย
ผลการวิจัย	อธิบายผลการทดลองที่พบอย่างชัดเจน ครบถ้วน
สรุปและอภิปรายผล	เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร โดยต้องมีการอ้างทฤษฎีหรือ ผลการศึกษาของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ
กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง
เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลขตามมาตรฐานสากลดังที่แสดงไว้ในส่วนท้ายของประโยคนี้ [1] เอกสารอ้างอิงท้ายบทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ ตามรูปแบบของ IEEE (http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf)

โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ

รูปภาพและตาราง

ต้องมีความคมชัดเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน มีคำอธิบายสั้น ๆ ครบถ้วน และเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า “ตารางที่.....” และอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า “รูปที่.....” และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง

ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

- [1] ชื่อผู้แต่ง, *ชื่อหนังสือ(ตัวเอียง)*, (พิมพ์ครั้งที่), เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [2] สมชาย ประสิทธิ์จุตระกูล, *การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม*, กรุงเทพฯ: เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), 2001.
- [3] J.R. Quinlan, *C4.5: Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, California, 1993.

ตัวอย่างการอ้างอิงจากการประชุมวิชาการ

- [4] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ใน หรือ In, *ชื่อการประชุมวิชาการ, ชื่อย่อการประชุมวิชาการ, ชื่อสถานที่จัดงาน, วัน เดือน ปี ที่จัดงาน, เลขหน้า*.
- [5] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “การศึกษาแนวทางขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติงานของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา,” ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ครั้งที่ 8*: 2559, น. 726-735.
- [6] H. Worraruethai, “Staff Morale in Working at Suan Sunandha Rajabhat University,” in *XII International Conference on Human Resource Management and Professional Development (ICHRMPD 2014), Paris, France, 2014*, pp. 27-36.

ตัวอย่างการอ้างอิงจากวารสาร

- [7] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” *ชื่อวารสาร*, ปีที่, ฉบับที่, เลขหน้าบทความที่อ้างอิง, เดือนที่พิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [8] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “วัสดุทางวิศวกรรม,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, ปีที่4, ฉบับที่ 2, หน้า 37-42, มกราคม-มิถุนายน, 2559.
- [9] M. Ito et al., “Application of amorphous oxide TFT to electrophoretic display,” *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 354, no. 19, pp. 2777–2782, Feb. 2008.

การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์

- [10] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์,” วิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์ ชื่อย่อปริญญา (สาขา), ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, ชื่อประเทศ, ปีที่พิมพ์.
- [11] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการศึกษา,” วิทยานิพนธ์ บธ.ม. (การบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2551.

- [12] J. O. Williams, “*Narrow-band analyzer*,” Ph.D. dissertation (Electrical Engineering), Harvard University, Cambridge, MA, USA, 1993.

การส่งต้นฉบับบทความ

ส่งบทความผ่านระบบ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru> เท่านั้น หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit_journals@ssru.ac.th

แบบฟอร์มส่งบทความวิจัยเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

(ภาษาอังกฤษ)

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนบทความ

ระดับการศึกษาสูงสุดตำแหน่งทางวิชาการ

หน่วยงาน

สถานที่ติดต่อผู้เขียนบทความ

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล เขต/อำเภอ

จังหวัด รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (1)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล เขต/อำเภอ

จังหวัด รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (2)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล เขต/อำเภอ

จังหวัด รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร

E-mail.....

ข้าพเจ้า และผู้เขียนร่วม (ถ้ามี) ขอรับรองบทความที่เสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ดังนี้

1. บทความฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใด ๆ

2. เนื้อหาของบทความ ทั้งข้อความ รูปภาพ ทั้งหมดที่ปรากฏขอรับรองว่าเป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม ในกรณีที่มีการอ้างอิงผลงานจากผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมได้ดำเนินการตามจรรยาบรรณทางการวิจัยทุกประการ กรณีมีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอรับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

3. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมยอมรับเงื่อนไขการพิจารณาบทความ และยินยอมปรับแก้บทความตามคำแนะนำ ของผู้ทรงคุณวุฒิหรือตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร

4. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ให้แก่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ลงชื่อผู้ส่งบทความ

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หมายเหตุ : กองบรรณาธิการไม่รับพิจารณาบทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนด



คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

จัดพิมพ์โดย : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
1 ถนนอุททองนอก เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทร 0 2160 1438 ต่อ 23 เว็บไซต์ <https://ph01.tci-thajo.org/index.php/fit-ssru>