

การทดสอบและวิเคราะห์แบบจำลองโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดขนาดเล็กตามมาตรฐาน การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี

Testing and Analysis of a Small-scale Cricket Housing Model under Standard of Good Agricultural Practices

ธีระวัฒน์ เพชรดี¹ ชาตรี หอมเขียว² เปรมณัช ชุมพร้อม³ ธนากร อินทสุทธิ์⁴ และ ฐานวิทย์ แนนไส^{1,*}

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บ่อทราย เมือง จ.สงขลา 90000

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บ่อทราย เมือง จ.สงขลา 90000

³สาขาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บ่อทรายเมือง จ.สงขลา 90000

⁴สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บ่อทราย เมือง จ.สงขลา 90000

Theerawat Petdee¹ Chatree Homkhiew² Premmanat Chumprom³ Tanakorn Inthasuth⁴ and Thanwit Naemsai^{1,*}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Boyang, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Boyang, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

³Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Boyang,
Muang, Songkhla, 90000, Thailand

⁴Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Srivijaya, Boyang, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

*Corresponding Author E-mail: Thanwit.n@rmutsv.ac.th

Received: Apr 21, 2023; Revised: Jun 21, 2023; Accepted: Jun 22, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งทดสอบและวิเคราะห์แบบจำลองโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี โดยเลือกผนังโรงเรือนประเภทผนังสำเร็จรูปแบบผสม และศึกษาวัสดุผสมภายในผนังทั้งหมด 5 ชนิด ดังนี้ 1) อากาศ 2) แผ่นโฟม 3) จีลีส 50% ผสมพียูโฟม 50% 4) จีลีส 75% ผสมพียูโฟม 25% และ 5) จีลีส 100% ผลการทดลองพบว่า วัสดุผสมจีลีส 75% ผสมพียูโฟม 25% ให้ค่าความต้านทานต่อการเจาะทะลุ 282.71 N ให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำ 37.90 % และให้ค่าการนำความร้อน 0.65 W/m.K และเมื่อทดสอบในระดับภาคสนามของวัสดุผสมดังกล่าวให้ค่าผลการทดสอบใกล้เคียงกับผนังสำเร็จรูปในภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้เมื่อนำระบบอินเทอร์เน็ททุกสรรพสิ่งไปประยุกต์ใช้งาน ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนพบว่าค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของค่าอุณหภูมิระหว่างระบบ

อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งและระบบการวัดแบบมีสายให้ค่าต่ำกว่า 4.20% ดังนั้นข้อมูลผนังวัสดุผสมและระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสามารถนำไปสร้างได้จริงตามสถานประกอบการ

คำสำคัญ: วัสดุผสม, อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง, แบบจำลอง, โรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีด, มาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี

Abstract

This research aims to test and analyze a model of cricket housing units according to good agricultural practices standards. The study assessed the composite sandwich panels used for the walls of cricket housing units and analyzed five distinct materials mixed within the panels: (1) air space, (2) foam sheets, (3) a mixture of 50% sawdust and 50% polyurethane foam, (4) a mixture of 75% sawdust and 25% polyurethane foam, and (5) a mixture of 100% sawdust. The experimental results showed that the most suitable material was the sawdust material mixed with 25% foam, which provided a penetration resistance of 282.71 N, a water absorption capacity of 37.90%, and a thermal conductivity of 0.65 W/m.K. For the field test, the composite panel offered similar experimental results as industrial sandwich panels. Furthermore, when the internet of things was used to regulate the environment inside the housing unit, the mean absolute percentage error between the internet of things and the wired system was less than 4.20%. Therefore, the findings on the mixed material panels and the environmental control system can be implemented in real-world applications.

Keywords: Composite material, Internet of Things, Model, Cricket Housing, Standard of Good Agricultural Practices

1 บทนำ

ประเทศไทยมีนโยบายที่จะเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรโดยการเลี้ยงจิ้งหรีดและการรักษามาตรฐานฟาร์มจิ้งหรีดเพื่อการค้าระหว่างประเทศ ตามองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) ผ่านข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 8202–2560) ในหัวข้อมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practice, GAP) สำหรับฟาร์มจิ้งหรีดตามราชกิจจานุเบกษา เมื่อ 28 พฤศจิกายน 2560 [1] เพื่อขยายโอกาสทางการค้าและส่งเสริมการส่งออกจิ้งหรีดไปสู่ระดับโลกต่อไป ตามมาตรฐาน GAP นั้น ข้อกำหนดที่สำคัญของโรงเรือนคือผนังสร้างด้วยวัสดุที่คงทน แข็งแรง มีการระบายอากาศที่ดีและและยังปกป้องศัตรูจิ้งหรีดพร้อมเชื้อโรคในเวลาเดียวกัน [1],[2] ดังนั้นในการออกแบบโรงเรือนเพาะเลี้ยงจึงจำเป็นต้องพิจารณาองค์ความรู้ในด้านวัสดุศาสตร์ การระบายความร้อน และการประยุกต์ใช้ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) เพื่อลดเวลาการทำงานและความเสี่ยงจากการติดเชื้อจากผู้เลี้ยง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโรงเรือนที่เหมาะสมประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ การวิจัยผนังของโรงเรือน [3–11] และ ระบบการควบคุมสภาวะอากาศแบบอัตโนมัติ [12–14] สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผนังโรงเรือนพบว่ามีลักษณะเป็นผนังสำเร็จรูปในรูปแบบวัสดุผสม (Composite sandwich panel) และมุ่งเน้นไปที่การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานสากลที่ผ่านการรับรองจากสมาคม American Society for Testing and Materials (ASTM) โดยช่วงแรกของการวิจัยเริ่มจากการผสมโพลีเอสเตอร์ในผนังเพื่อให้ผ่านการทดสอบด้านความต้านทานต่อการเจาะทะลุตามมาตรฐาน ASTM D7766–11 และ ASTM D6264–98 [4] วิธีการดังกล่าวได้ค่าคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น แต่วัสดุไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ถัดมาจึงเริ่มนำผงขี้เลื่อยมาเน้นการเสริมแรงมากยิ่งขึ้นและยังสามารถเพิ่มค่าคุณสมบัติทนการดูดซึมผ่านผนังได้ดีขึ้นตามมาตรฐาน ASTM D570–98 [4] ถัดมาได้มีการคิดรูปแบบการใช้แกนไม้ยางพาราเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ดังงานของ Teng Teng et al. [5] ได้ใช้วัสดุผสมปรับเปลี่ยนความหนาของผนังตั้งแต่ 1 ถึง 3 mm และพบว่าความแข็งแรงดัด (Flexural strength) เพิ่มขึ้น 12.32% นอกจากนี้

ประเด็นทางด้านคำนวณทางความร้อนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องพิจารณาอย่างยิ่งในการออกแบบผนังโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดในปัจจุบัน เนื่องจากช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 33–35°C [2] ดังนั้นงานด้านคำนวณความร้อนภายในผนังสำเร็จรูปผสมจึงเริ่มจาก Hafed [6] ได้ใช้เชื้อผสมในผนังปูนซีเมนต์ เพิ่มการเป็นฉนวนทางความร้อนมากขึ้น แต่ลดค่าความแข็งแรงลงเล็กน้อย ในการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 5470 ซึ่งสามารถทดสอบได้ในช่วงค่าการนำความร้อน 0.1 ถึง 100 W/m.K [7] ต่อมามีการพัฒนาการทำผนัง precast โดยใช้วัสดุผสมในรูปแบบโฟมโพลียูรีเทน ซึ่งสามารถลดค่าการนำความร้อนลงได้ 20 % เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของผนังมาตรฐาน [8] ต่อจากนั้น Charai et al. [9] ได้ศึกษาคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของวัสดุผสมที่ใช้เชื้อผสมดินเหนียว เพื่อสร้างเป็นอิฐก่อสร้างเป็นผนังอาคารพบว่าสามารถลดค่าการนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้ถึง 21% เมื่อเปรียบเทียบกับผนังอิฐแดง นอกเหนือจากนั้นได้มีการนำการจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบผนังสำเร็จรูปวัสดุผสมเปรียบเทียบกันระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบา และผนังผสมระหว่างคอนกรีตมวลเบาและแคลเซียมซิลิเกตบอร์ด ผลที่ได้พบว่า ผนังผสมระหว่างคอนกรีตมวลเบาและแคลเซียมซิลิเกตบอร์ดให้ค่าความเป็นฉนวนได้ดีกว่าผนังคอนกรีตมวลเบา [10] และมีการต่อยอดไปในรูปแบบของผนังที่บางขึ้น [11]

สำหรับงานการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนนั้นได้มีการนำอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้งานเพื่อง่ายต่อการติดตามของเจ้าของฟาร์ม โดย เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล และคณะ [12] ได้เสนอระบบการให้อาหารและน้ำผ่าน IoT ภายในโรงเรือน ในการทดลองได้ทำการเลี้ยงจิ้งหรีดจำนวน 600 ตัวด้วยวิธีเดิมและ 600 ตัว ด้วยวิธีที่นำเสนอ ผลการทดลอง พบว่าความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการหมุนท่อพีวีซี คือ 71.5 รอบต่อนาที และเมื่อนำจิ้งหรีดมาเลี้ยงครบ 30 วัน วิธีที่นำเสนอนี้ จะช่วยเพิ่มจำนวนจิ้งหรีดที่รอดชีวิตและเพิ่มน้ำหนัก อีกทั้งยังช่วยลดความต้องการการใช้แรงงานในการเลี้ยงจิ้งหรีดได้ สำหรับ

ประเด็นระบบควบคุมสภาวะอากาศมีการพัฒนาระบบ IoT ภายในอาคารสามารถอ่านค่าสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความสว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนไหวของบุคคล ซึ่งจะต้องนำตัวรับรู้ต่าง ๆ มารวบรวมและพัฒนาลงในแผงวงจรเดียวกันเพื่อลดต้นทุนอุปกรณ์ต่อชิ้นลง อุปกรณ์ดังกล่าวได้ใช้เทคโนโลยีสื่อสาร ZigBee [13] และได้มีการพัฒนาต่อยอดทางด้านการประหยัดพลังงานและค่าความแม่นยำของข้อมูลผ่านงานวิจัย [14]

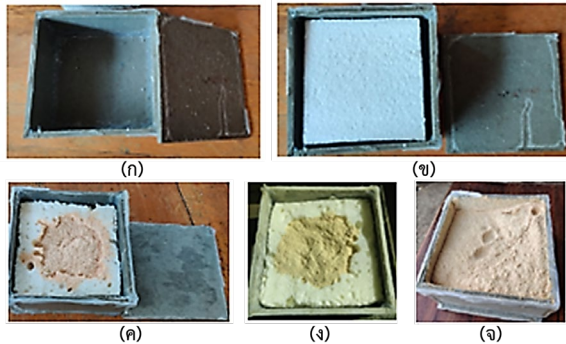
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการวิจัยที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการออกแบบโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดในพื้นที่ทางภาคใต้ได้ [5–9],[12–14] และยังคงมีความท้าทายในการพัฒนาเพื่อให้โรงเรือนมีความเหมาะสมกับบริบทเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้นทางภาคใต้ได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการวิเคราะห์และออกแบบแบบจำลองโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดขนาดเล็กตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีและตามมาตรฐานวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการออกแบบโรงเรือนให้มีความเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดได้จริงต่อไปในอนาคต

2 วัสดุและระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาผลกระทบของรูปแบบของวัสดุผสมที่มีต่อค่าคุณสมบัติเชิงกลทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้รูปทรงของกล่องสี่เหลี่ยมปิด วัสดุที่ใช้ทำกล่องผนังสี่เหลี่ยมคือ แผ่นซีเมนต์ใยแก้ว (สเมิร์ทบอร์ด) ที่ผ่านมาตรฐานเลขที่ มอก. 1427–2561 ซึ่งเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นซีเมนต์เส้นใย โดยมีขนาด 15 cm × 15 cm × 9 cm (ก × ข × น) ปรับเปลี่ยนวัสดุฉนวนที่บรรจุภายในออกเป็นทั้งหมด 5 รูปแบบโดยสัดส่วนเชิงปริมาตรดังนี้ 1) ฉนวนอากาศนิ่ง 2) ฉนวนแผ่นโฟม 3) ฉนวนซีเมนต์ 50% ผสมพียูโฟม 50% 4) ฉนวนซีเมนต์ 75% ผสมพียูโฟม 25% และ 5) ฉนวนซีเมนต์ 100% ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยสาเหตุที่เลือกวัสดุดังกล่าวมาจากการค้นหาวัสดุที่มีการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมสำหรับการอุดรอยรั่วตามอาคารคือ พียูโฟม และวัสดุเหลือใช้ตาม

ท้องถิ่นคือ ผงซีลี้อย โดยผงซีลี้อยเองนั้นมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกับการทำวัสดุผสมอย่างแพร่หลายในเชิงวิศวกรรม [15]



รูปที่ 1 ชุดตัวอย่างการทดสอบประเภทของฉนวน: (ก) อากาศนึ่ง (ข) แผ่นโฟม (ค) ซีลี้อย 50% และ พียูโฟม 50% (ง) ซีลี้อย 75% และ พียูโฟม 25% และ (จ) ซีลี้อย 100%

นอกจากนี้ในการสร้างโรงเรือนแบบจำลองขนาดเล็ก หลังจากได้ผลการทดสอบวัสดุในระดับปฏิบัติการ จะมีการติดตั้งหลังคาแผ่นเรียบซึ่งทำมาจากแผ่นเมทัลชีท ความหนา 0.35 mm ที่ผ่านมาตรฐานเลขที่ มอก. 1128-2562 ซึ่งเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นเหล็กมุงหลังคา

สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ ทั้งในระดับปฏิบัติการและภาคสนามประกอบด้วย เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) ยี่ห้อ Instron รุ่น 8878 Load cell 25 kN ถูกนำมาใช้ทดสอบเพื่อหาความแข็งแรงของวัสดุ เครื่องอัดร้อนด้วยแม่แรง มีความดันสูงสุดถึง 20 MPa โดยมีแผ่นเหล็กที่สามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิได้จนถึง 300°C นำมาใช้ทดสอบเพื่อเป็นแหล่งความร้อนในการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุผสม เครื่องเก็บข้อมูลยี่ห้อ Yokogawa MV1000 ซึ่งนำไปใช้เก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลประเภท Chromel-Alumel thermocouple (type K) (ค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ทดลองอยู่ที่ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) และใช้ในการเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยตัวตรวจรู้ยี่ห้อ Primus รุ่น HM-005-01 (ค่าความไม่แน่นอนอยู่ที่ $\pm 0.5\%$) ในการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้งานทางไฟฟ้าจะเก็บค่าจากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล ยี่ห้อ

Schneider Electric รุ่น PM 2100-Series (ค่าความไม่แน่นอนของค่าพลังงานไฟฟ้า $\pm 0.1\text{ kWh}$)

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ประกอบด้วย 3 งานหลักคือ (1) การทดสอบหาวัสดุที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ (2) นำวัสดุที่ได้ไปสร้างโรงเรือนจำลองขนาดเล็ก (3) ทดสอบในระดับภาคสนามในเงื่อนไขการใช้งานจริง ร่วมกับระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนผ่านอินเทอร์เนตทุกสรรพสิ่ง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานต่อไปนี้

1) นำวัสดุผสมดังรูปที่ 1 มาทำการทดสอบความต้านทานต่อการเจาะทะลุ แบบ Quasi-Static Indentation (QSI) ตามมาตรฐาน ASTM D 6264-98 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเจาะที่มีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลม (Hemispherical indenter) 12.7 mm ใช้ความเร็วที่ 1.25 mm/s และควบคุมความเครียดที่ 50% ของขนาดความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งเป็นการวัดค่าความเสียหายของวัสดุผสมภายใต้แรงเจาะที่จะนำไปใช้เป็นผนังโรงเรือน ส่วนการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 570-98 โดยทำการนำชิ้นตัวอย่างแช่น้ำไว้เป็นเวลา 24 h เมื่อครบเวลา ก็นำมาชั่งน้ำหนักคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการดูดซึมน้ำ ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุ (%W) สามารถคำนวณได้จากค่าน้ำหนักของวัสดุก่อนทดสอบ (W_0) น้ำหนักของวัสดุหลังการทดสอบแช่น้ำ (W_t) มีหน่วยเป็นกรัม ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\%W = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

และทดสอบค่าคุณสมบัติการนำความร้อน โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5470 ทดลองภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิให้ความร้อนคือ 60°C เวลาที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 7 h เพื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวของการทดลอง ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$Q = -kA \frac{T_{top} - T_{bottom}}{L} \quad (2)$$

โดยที่ Q คือ ค่าแหล่งความร้อนที่ให้กับชิ้นงานตัวอย่าง (W), k คือ ค่าการนำความร้อนของชิ้นงานตัวอย่าง (W/m.K), A คือ พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับแหล่งความร้อน (m^2), T_{top} คือค่าอุณหภูมิผิวด้านบนของชิ้นงานตัวอย่าง (K), T_{bottom} คือค่าอุณหภูมิผิวด้านล่างของชิ้นงานตัวอย่าง (K), L คือ ความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (m)

ในการทดลองแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน จะมีการทดลองซ้ำตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Average) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากนั้นสรุปผลชิ้นงานตัวอย่างทดสอบขนาดเล็กแล้วนำวัสดุที่ได้ไปทดสอบในระดับภาคสนาม

2) สร้างโรงเรือนขนาดเล็ก โดยใช้หลังคาขนาด $228\text{ cm} \times 960\text{ cm} \times 0.069\text{ cm}$ (ก \times ข \times น) ทำจาก เมทัลชีท AZ70 อลูซิงค์ เพื่อทดสอบการส่งถ่ายความร้อนผ่านตัวผนังโรงเรือนในระดับภาคสนามและติดอุปกรณ์การวัดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนด้านในจำนวน 4 จุด ด้านนอกจำนวน 4 จุด และอุณหภูมิอากาศภายในห้อง 1 จุด โดยในการทดสอบจะวัดค่าอุณหภูมิของผนังภายนอกและผนังภายใน รวมถึงค่าอุณหภูมิห้องโดยผ่านตัวบันทึกข้อมูล (Data logger) เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2 นอกจากนี้ยังใช้เงื่อนไขควบคุม การรับรู้รังสีแสงอาทิตย์ในด้านเดียวกันเป็นระยะเวลา 3 h ต่อเนื่องในช่วงที่ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีความสม่ำเสมอตามมาตรฐานการทดสอบ ANSI/ASHRAE และวางแผนที่ใช้ทดสอบในแนวทิศเหนือใต้ [17] ซึ่งข้อมูลที่ได้จะออกมาในรูปแบบของกราฟการเปลี่ยนแปลงของผลต่างอุณหภูมิผนังภายนอกและภายในตามเวลา

3) ออกแบบระบบการควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือนขนาดเล็กโดยเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีดั้งเดิม (รูปที่ 2) และวิธีควบคุมระบบผ่าน IoT สำหรับระบบ IoT ที่นำมาใช้สำหรับการเฝ้าสังเกตและควบคุมสภาพแวดล้อมแบบอัตโนมัติภายในโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดขนาดเล็ก ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ DHT22 เป็นตัวตรวจรู้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สื่อสารสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital signal) NB-IoT เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่สามารถเชื่อมต่อกับ

โครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้ในย่านความถี่ 900 MHz Arduino UNO เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมาจาก DHT22 ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล นอกจากนี้ Arduino UNO นี้ยังเชื่อมต่อกับ NB-IoT ผ่านการเชื่อมต่อด้วยซ็อกเก็ตของ Arduino โดยตรง ในการเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ซึ่งมี Library สำหรับการเรียกใช้งานคำสั่งโดยเฉพาะ คือ “DHT” และ “Magellan” ซึ่งเป็นรหัสแบบเปิดสามารถใช้งานควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน ดังแสดงในรูปที่ 3 ในการวัดค่าสภาพอากาศนี้ได้ติดตั้งตัวตรวจรู้แบบไร้สายทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน ซึ่งภายในโรงเรือนติดตั้ง 3 จุดในตำแหน่งบน กลางและล่างของโรงเรือน (T_1 , T_2 และ T_3) และบริเวณนอกโรงเรือนอีก 2 จุด (T_4 และ T_5) โดยการติดตั้งระบบวัดแสดงดังรูปที่ 4



(ก)



(ข)



(ค)

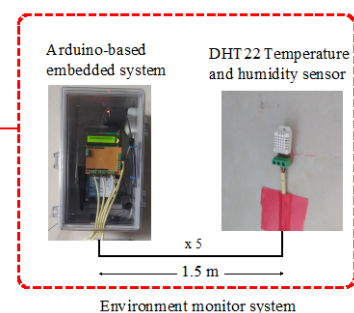


(ง)

รูปที่ 2 วิธีการวัดค่าอุณหภูมิของผนังโรงเรือน (ก) วางในที่โล่งแจ้งแนวทิศเหนือใต้ (ข) ชูดเก็บข้อมูลอุณหภูมิผนังเหนือใต้ (ค) ตำแหน่งวัดอุณหภูมิผนังภายใน และอุณหภูมิอากาศภายในห้อง และ (ง) ตำแหน่งวัดอุณหภูมิผนังภายนอก

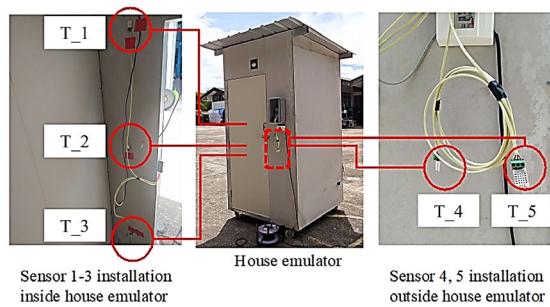


House emulator



Environment monitor system

รูปที่ 3 ระบบ IoT สำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อม



รูปที่ 4 จุดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

นอกจากนี้ในการตรวจสอบความถูกต้องของระบบการทำงาน IoT จะใช้ระบบวัดค่าอุณหภูมิชนิดมีสายมาทำการตรวจสอบความถูกต้อง โดยทำการทดสอบออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีที่ 1 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิระบบไร้สายกับระบบมีสาย ซึ่งจะทดสอบในสภาวะที่มีท้องฟ้าแจ่มใส และกรณีที่เมฆมาก และใช้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error, MAPE) ดังแสดงในสมการที่ (3) เป็นตัววัด

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \quad (3)$$

โดยที่ A_i คือ ค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัดแบบมีสาย ($^{\circ}\text{C}$), F_i คือ ค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัดแบบไร้สาย ($^{\circ}\text{C}$), n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 วัสดุผสมที่เหมาะสมของผนังสำเร็จรูปสำหรับผนังโรงเรือน

จากตารางที่ 1 เมื่อหัวเจาะเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็ว 1.25 mm/s ผ่านชั้นผนังแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีความหนา 5 mm จากนั้นหัวเจาะก็จะเคลื่อนที่ผ่านวัสดุฉนวนชั้นกลาง ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความต้านทานต่อการเจาะของวัสดุฉนวน โฟมพียูผสมกับขี้เลื่อยที่ปริมาณ 75% จะมีค่าแรงเฉลี่ยสูงสุดที่ 282.71 N กรณีอากาศหนึ่งให้ค่าแรงเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 141.51 N เนื่องจากภายในกล่องสี่เหลี่ยมไม่มีวัสดุช่วยเสริมแรง และเมื่อเริ่มบรรจุวัสดุแผ่นโฟมจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 70% โดยมีค่าเป็น 241.91 N

หลังจากนั้นเปลี่ยนชนิดโฟมเป็นแบบพียูโฟมเพื่อให้สามารถนำไปผสมกับวัสดุผงขี้เลื่อยได้ ซึ่งพบว่า ผงขี้เลื่อยมีคุณสมบัติเสริมแรงให้กับวัสดุประเภทโฟม เนื่องจากเข้าไปแทนที่ช่องว่างรูพรุนของเนื้อโฟมได้ แต่เมื่อผสมผงขี้เลื่อย 100% เจึงปริมาณกลับพบว่าค่าความต้านทานต่อการเจาะทะลุมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 25% ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [3–6] โดย Ferede [4] ได้เสนอแนวคิดว่าปริมาณผงขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้นในเชิงปริมาณสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานความต้านทานต่อการเจาะทะลุได้ดีขึ้น ถึงกระนั้นปริมาณที่มากเกินไปกลับส่งผลให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งเหตุผลดังกล่าวก็สอดคล้องกับงานวิจัยที่นำผงขี้เลื่อยเข้าไปผสมในเนื้อซีเมนต์ [6] เช่นกัน ดังนั้นสำหรับค่าความต้านทานต่อการเจาะทะลุที่ดีที่สุดคือวัสดุผสมผงขี้เลื่อย 75% และพียูโฟม 25% ของปริมาณช่องว่างของกล่องสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการเจาะทะลุ (Penetration resistance)

ประเภทฉนวน	Average maximum force (N)	SD
อากาศหนึ่ง	141.51	8.42
แผ่นโฟม	241.91	8.41
ขี้เลื่อย 50% พียู 50%	258.52	8.15
ขี้เลื่อย 75% พียู 25%	282.71	10.34
ขี้เลื่อย 100%	228.65	13.99

ตารางที่ 2 พบว่าการดูดซึมน้ำที่ผ่านวัสดุแผ่นซีเมนต์บอร์ดจะสามารถซึมผ่านได้ในอัตราที่ช้า เนื่องจากแผ่นซีเมนต์มีความทึบน้ำ เมื่อน้ำซึมผ่านชั้นแผ่นซีเมนต์บอร์ดก็จะเจอชั้นวัสดุฉนวนที่อยู่ภายใน จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าขี้เลื่อย มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด 39.3% และอากาศมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด 18% แต่ถ้ามองในแง่ของผนังที่เป็นวัสดุผสมกันระหว่างพียูโฟมร่วมกับขี้เลื่อยที่ปริมาณการผสมขี้เลื่อย 50% กับ 75% จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณขี้เลื่อย 75% มีการดูดซึมน้ำที่ 37.9% มากกว่าปริมาณขี้เลื่อย 50%

ผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [6] มองอีกนัยหนึ่งพฤติกรรมการดูดซึมน้ำที่มากกว่านั้นย่อมเป็นการบ่งชี้ว่าความชื้นจากภายนอกจะไม่สามารถเข้าไปถึงภายในห้องเพาะเลี้ยงจึงหรีดได้ง่าย เนื่องจากโคนวัสดุผสมดูดซึมน้ำไว้มาก่อนปล่อยเข้าสู่กระบวนการซึมผ่านผนังภายในโรงเรือน ดังนั้นวัสดุผสมผงซีลี้อย 75% และพืยูโฟม 25% จึงมีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด ถึงแม้กรรมวิธีผสมผงซีลี้อย 100% จึงมีประสิทธิภาพจะยังทำให้ค่าการซึมน้ำที่มากกว่าเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของวัสดุ (Water absorption)

ประเภทฉนวน	%W	SD
อากาศนิ่ง	18.0	3.52
แผ่นโฟม	35.0	3.41
ซีลี้อย 50% พืยู 50%	28.3	3.55
ซีลี้อย 75% พืยู 25%	37.9	4.30
ซีลี้อย 100%	39.3	5.19

ค่าความต้านทานความร้อนของแต่ละวัสดุแสดงดัง**ตารางที่ 3** ซึ่งพบว่าวัสดุฉนวนผสมซีลี้อย และวัสดุแผ่นโฟมจะให้ค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.63–0.65 W/m.K ซึ่งมีค่าต่ำกว่าฉนวนอากาศและฉนวนผงซีลี้อยถึง 30% และวัสดุที่ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดคือ ผงซีลี้อย 50% และ พืยูโฟม 50% ซึ่งเป็นไปตามหลักการการนำความร้อนเนื่องจาก ค่าการนำความร้อนของวัสดุผสมจะแปรผกผันกับค่าความพรุนของวัสดุ [16] ดังนั้นวัสดุผสมผงซีลี้อย 100 % จึงให้ค่าการนำความร้อนมากที่สุดในกลุ่มวัสดุผสม โดยผลการทดลองที่ได้ี้้นมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบจากวิจัยที่ผ่านมา [6],[8],[10] ซึ่งทุกงานได้อภิปรายไปในทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มค่าความพรุนให้กับวัสดุผสม โดยเฉพาะโฟมจะส่งผลต่อการลดค่าการนำความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ [8–10] มองอีกนัยหนึ่งวัสดุที่เป็นแผ่นซีเมนต์เมื่อเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยจะเป็นการเพิ่มค่าความพรุนโดยตรง จึงส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของวัสดุลดลง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [6] พบว่าค่าการนำความร้อนของวัสดุผสมที่ได้จาก

วัสดุซีลี้อย 50% และ พืยูโฟม 50% ของงานวิจัยนี้เป็นแบบ Sandwich wall (**รูปที่ 1(ค)**) มีค่าที่สูงกว่าค่าการนำความร้อนของวัสดุผสมซีลี้อย 30% และซีเมนต์ 70% ของงานวิจัยที่ผ่านมา [6] ประมาณ 0.5 W/m.K เนื่องจากวัสดุซีลี้อยที่ผสมกับแผ่นซีเมนต์ของงานวิจัย [6] มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ดังนั้นรูปแบบการนำความร้อนจึงอยู่ในลักษณะการต่อเนื่องกัน ขณะที่รูปแบบการนำความร้อนของงานวิจัยนี้เป็นแบบขนาน ซึ่งส่งผลให้เกิดการขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุฉนวนทางความร้อนที่น้อยกว่า [16]

เมื่อพิจารณาวัสดุฉนวนแผ่นโฟมและวัสดุผสมผงซีลี้อย 75% และพืยูโฟม 25% ซึ่งให้ค่าการนำความร้อนของทั้งสองวัสดุอยู่ที่ 0.65 W/m.K นั้นให้ค่าการนำความร้อนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านผนังวัสดุโรงเรือนได้ อย่างไรก็ตามวัสดุผสมซีลี้อยมีความน่าสนใจในการนำมาใช้งานมากกว่าเนื่องจากส่งผลกระทบต่อทิศทางด้าน การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

จะเห็นได้ว่าวัสดุผสมที่เหมาะสมของผนังสำเร็จรูปสำหรับผนังโรงเรือนคือวัสดุผสมผงซีลี้อย 75 % และ พืยูโฟม 25% เนื่องจากให้ค่าความสมดุลทางด้านคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าการต้านทานความต้านทานต่อการเจาะทะลุ ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการเป็นฉนวนความร้อน รวมถึงการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวยังคงรอการพิสูจน์ในระดับภาคสนามซึ่งแสดงในหัวข้อถัดไป

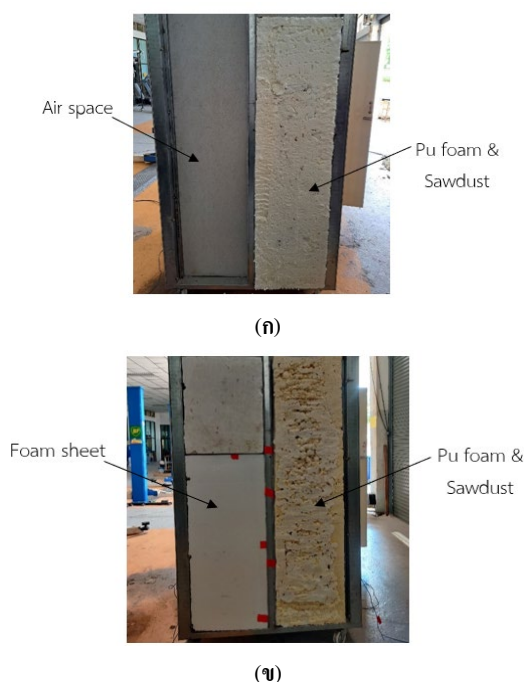
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานความร้อนของฉนวน (Thermal resistance)

ประเภทฉนวน	k	SD
อากาศนิ่ง	0.89	4.32
แผ่นโฟม	0.65	2.11
ซีลี้อย 50% พืยู 50%	0.63	5.15
ซีลี้อย 75% พืยู 25%	0.65	2.50
ซีลี้อย 100%	0.83	2.95

3.2 การทดสอบวัสดุผนังแบบผสมในภาคสนาม

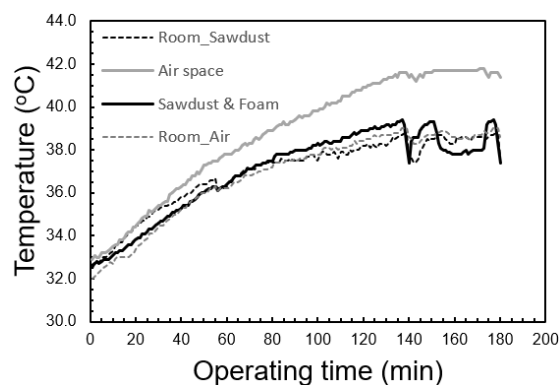
เพื่อเป็นการยืนยันผลของรูปแบบผนังโรงเรือนวัสดุผสมที่ใช้ ฉนวนซีลี้อย 75% ผสมพืยูโฟม 25% (Sawdust

& Foam) จะต้องนำวัสดุผสมดังกล่าวมาทดสอบในระดับภาคสนามโดยทำการเปรียบเทียบเกี่ยวกับรูปแบบผนังฉนวนอากาศนิ่ง (Air space) ที่ใช้กันตามอาคารและบ้านซึ่งเป็นรูปแบบวิธีแบบดั้งเดิม (กรณีศึกษาที่ 1) และเปรียบเทียบกับผนังฉนวนแผ่นโฟม (Foam sheet) ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม (กรณีศึกษาที่ 2) ขนาดของผนังวัสดุผสมที่ใช้ทดสอบมีความหนาอยู่ที่ 20 cm และมีขนาดของแผ่นที่ทดสอบต่อผนังวัสดุผสมคือ 1.2 m × 2.4 m (ก × ข) ดังแสดงในรูปที่ 5



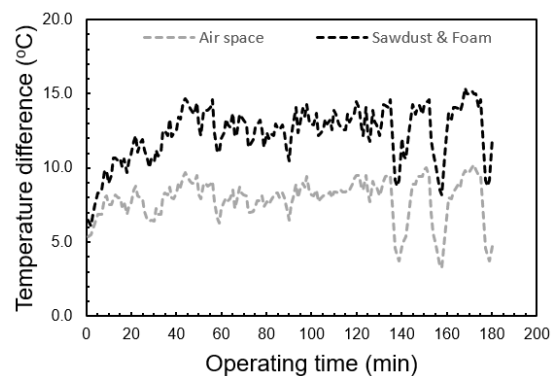
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบผนังวัสดุผสมด้วย (ก) อากาศนิ่ง และ (ข) แผ่นโฟม

ในการวิเคราะห์ผลของผนังทั้งสองรูปแบบเริ่มจากกรณีศึกษาที่ 1 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิผนังภายนอกแต่ละชนิดตามเวลาดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าผนังวัสดุผสมซีลี้อยและ พียูโฟมสามารถควบคุมค่าอุณหภูมิผนังภายในโดยรวมได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิห้อง ขณะที่ผนังวัสดุอากาศนิ่งนั้นมีความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนที่ไม่ดี เนื่องจากค่าอุณหภูมิผนังภายในโดยรวมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผนังภายในโดยรวมของวัสดุผสม ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณการนำความร้อนดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิผนังภายนอกตามเวลา

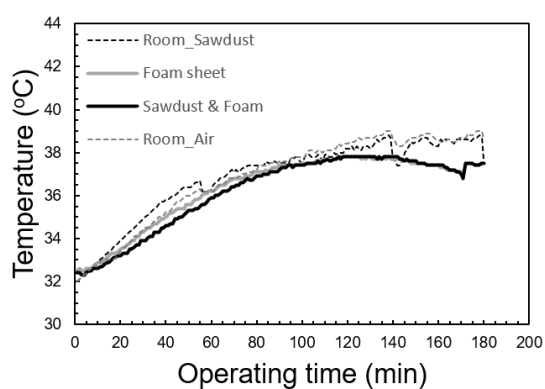
ข้อมูลดังกล่าวนี้มีการแสดงผลการทดลองที่อธิบายถึงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของผลต่างอุณหภูมิระหว่างผนังภายนอกและภายในของแต่ละชนิดผนังตามเวลาดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งพบว่า ผลต่างระหว่างอุณหภูมิผนังภายนอกและภายในของวัสดุผสมซีลี้อยและพียูโฟมมีค่าที่สูงกว่าค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิผนังภายนอกและภายในของวัสดุอากาศนิ่งอย่างมีนัยสำคัญซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานความร้อนที่ดีกว่าของวัสดุซีลี้อยและพียูโฟม



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของผลต่างอุณหภูมิผนังภายนอกและภายในตามเวลา (กรณีที่ 1)

หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบกรณีที่ 2 ระหว่างผนังที่ใช้ฉนวนซีลี้อย 75% ผสมพียูโฟม 25% และผนังที่ใช้แผ่นโฟม ซึ่งสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผนังภายในตามเวลาได้มีค่าใกล้เคียงกันและยังควบคุมให้มีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิห้องดังแสดงในรูปที่ 8 โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างผนังภายนอกและภายในดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของ

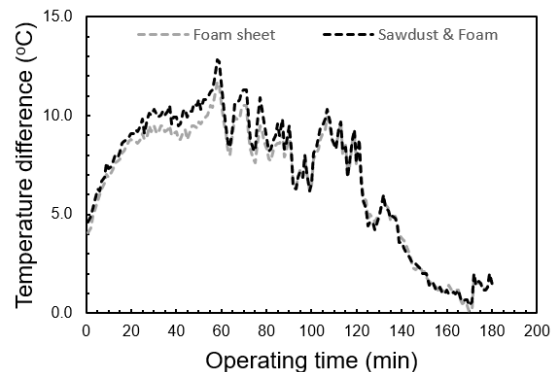
ผลต่างอุณหภูมิผนังภายนอกและภายในตามเวลา แผ่นโฟมเกิดการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่าในช่วง 60 นาทีแรก หลังจากนั้นมีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากความเป็นวัสดุเนื้อเดียวกันของแผ่นโฟมนั้นสามารถให้การนำความร้อนได้สมดุลทุกทิศทาง (Isotropic) มากกว่าวัสดุผสมที่ยังคงต้องใช้เวลาในการปรับอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากค่าการนำความร้อนยังคงเป็นแบบเหมือนสมดุลทุกทิศทาง (Quasi isotropic) [16] อย่างไรก็ตามผลการทดลองดังกล่าวเป็นการยืนยันได้ว่า ค่าการนำความร้อนที่คำนวณได้ในระดับปฏิบัติการมีความถูกต้อง (ตารางที่ 3)



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิผนังภายในตามเวลา

ข้อมูลการทดลองในระดับภาคสนามนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [8],[10],[11] ซึ่งทำการทดสอบวัสดุในรูปแบบแผ่นสำเร็จของวัสดุผสม และมีการศึกษาคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของวัสดุภายในทั้งในระดับภาคสนามและการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งพบว่า วิธีการสร้างวัสดุฉนวนต้องควบคุมค่าความพรุนผ่านการควบคุมวัสดุที่เติมให้เหมาะสม เนื่องจากการเพิ่มค่าความสามารถในการต้านทานความร้อนที่มากจะส่งผลต่อการลดลงของค่าความแข็งแรงของวัสดุ

ดังนั้นสรุปผลได้ว่ารูปแบบผนังวัสดุผสมที่มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบโรงเรือนขนาดเล็กจริงคือ วัสดุผสมขี้เลื่อย 75% ผสมพียูโฟม 25% และเป็นการส่งเสริมการนำวัสดุเหลือใช้ในรูปแบบ BCG กลับมาใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นไปตามนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อมของทางภาครัฐ

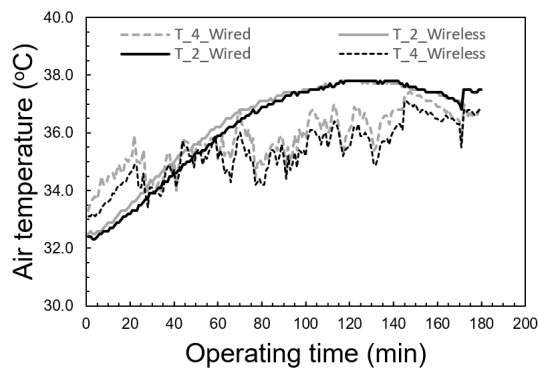


รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของผลต่างอุณหภูมิผนังภายนอกและภายในตามเวลา (กรณี ที่ 2)

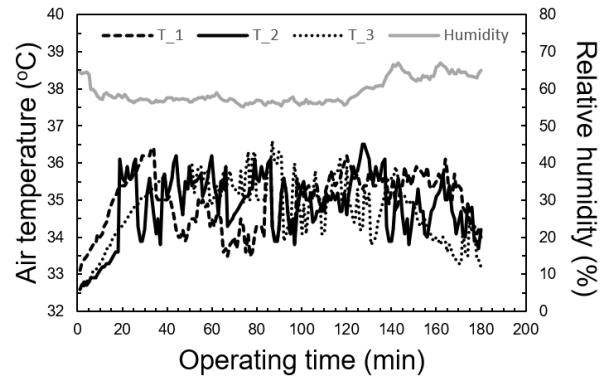
3.3 การควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน

ในการใช้งานโรงเรือนจริงประเด็นการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเป็นเรื่องที่ต้องนำเทคโนโลยีอัจฉริยะมาประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำระบบวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบไร้สายผ่านระบบ IoT มาศึกษาใช้งานภายในโรงเรือน โดยข้อควรระวังหลักของงานประเภทนี้คือ การตรวจสอบความถูกต้องของระบบการทำงานด้วยระบบวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบมีสายก่อนซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 ดังนั้นจึงแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

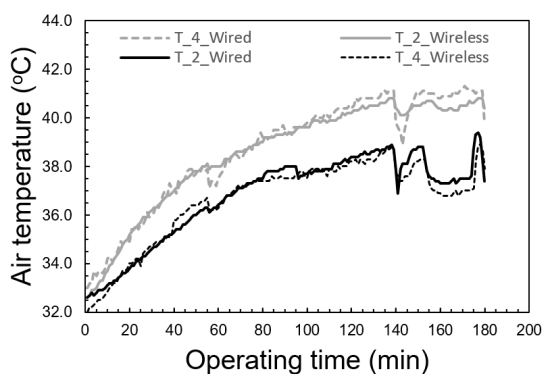
กรณีที่ 1 การตรวจสอบค่าอุณหภูมิระบบไร้สายกับระบบมีสาย ซึ่งจะทดสอบในสภาวะที่มีห้องฟ้าแจ่มใสดังแสดงในรูปที่ 10 และกรณีที่ 2 มีเมฆมากดังแสดงในรูปที่ 11 เมื่อพิจารณาผลการสอดคล้องผ่านการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error, MAPE) ของกรณีที่ห้องฟ้าแจ่มใสและกรณีที่เมฆมากคือ 3.57% และ 4.25% ตามลำดับ โดยทำการทดสอบในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 14.00 น. สำหรับการทดสอบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมซึ่งทำการทดสอบในสภาวะอากาศที่ควบคุมได้เพื่อจะศึกษาระบบการระบายความร้อนแบบอัตโนมัติ โดยทำการควบคุมค่าอุณหภูมิห้องให้อยู่ในช่วง $34 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง $50 \pm 10\%$ เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงจึงหรีด [2]



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิอากาศที่ระบบ
แตกต่างกันกรณีสภาวะที่มีห้องฟ้าแจ่มใส



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่าน
ระบบควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือน



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิอากาศที่ระบบ
แตกต่างกันกรณีสภาวะที่มีห้องฟ้ามีเมฆมาก

โดยผลการควบคุมค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแบบจำลองโรงเรือนจะแสดงดังรูปที่ 12 ผลที่ได้พบว่าระบบควบคุมสภาวะอากาศสามารถระบายความร้อนได้ในช่วงที่ระดับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ไม่สูงมากหรือสภาวะอากาศที่มีเมฆมาก ข้อมูลดังกล่าวจะนำไปใช้ในการต้องปรับปรุงพัฒนาระบบระบายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานในอนาคต เนื่องจากค่าอัตราการไหลที่ใช้ในการระบายความร้อนให้กับแบบจำลองโรงเรือนขนาดเล็กมีค่าไม่เพียงพอต่อค่าความร้อนสะสมจึงส่งผลให้ในบางช่วงเวลามีค่าอุณหภูมิเกิน 36°C อย่างไรก็ตามสามารถนำแนวทางดังกล่าวนี้ไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบโรงเรือนขนาดจริงได้

4 สรุปผลการทดลอง

การออกแบบและวิเคราะห์แบบจำลองโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดขนาดเล็กตามมาตรฐาน GAP ได้ศึกษาผลกระทบของวัสดุผสมสำหรับแผ่นสำเร็จรูปที่มีต่อค่าคุณสมบัติทางกายภาพของผนังโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดโดยนำวัสดุที่เหมาะสมจากการศึกษาไปสร้างจริงและทำการทดสอบในระดับภาคสนาม ผลที่ได้คือ วัสดุผสมซีเมนต์ 75% ผสมพียูโฟม 25% ให้ค่าความต้านทานความร้อนต่อการเจาะทะลุ 282.71 N ให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ 37.9% และให้ค่าการนำความร้อน 0.65 W/m.K เมื่อไปทดสอบในระดับภาคสนามสามารถช่วยป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในโรงเรือนได้ในระดับเดียวกันกับผนังสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรมห้องเย็น และสุดท้ายระบบควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือนที่ควบคุมผ่าน IoT สามารถใช้งานได้จริงทั้งในสภาวะห้องฟ้าแจ่มใสและมีเมฆมาก

ดังนั้นจากการศึกษาค้นคว้าหาคำตอบความรู้ในด้านวัสดุศาสตร์สำหรับการออกแบบผนังโรงเรือนทั้งการทดสอบในระดับปฏิบัติการและภาคสนาม และการค้นหาคำตอบความรู้การควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนนั้นสามารถนำสิ่งที่ได้ไปต่อยอดออกแบบแบบโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดตามมาตรฐาน GAP สำหรับพื้นที่ภาคใต้ผ่านวิธีการจำลองระบายอากาศภายในโรงเรือนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นงานวิจัยในอนาคตต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2565 ของหน่วยงานสำนักวิจัยแห่งชาติ (วช.) สัญญาเลขที่ N24A650500 และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนเครื่องจักรและอุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Good Agricultural Practices for Cricket Farm, TAS. 8202-2017, National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand, Nov. 28, 2017. (in Thai)
- [2] N. Thomee, “cricket enemies” *National Institute of Animal Health*, vol. 20 no. 2, 2020, pp. 1–4. (in Thai)
- [3] C. D. Muscat-Fenech, J. Cortis and C. Cassar, “Impact damage testing on composite marine sandwich panels, part 1: Quasi-static indentation,” *Journal of Sandwich Structures and Materials*, vol. 16, no.4, pp. 341–376, 2014, doi: 10.1177/109963621452995.
- [4] E. Ferede, “Evaluation of Mechanical and Water Absorption Properties of Alkaline-Treated Sawdust-Reinforced Polypropylene Composite,” *Journal of Engineering*, vol. 2020, 2020, Art. no. 3706176, doi: 10.1155/2020/3706176.
- [5] J. T. Teng Teng, M. Y. Yaakob, M. Amirhafizan Bin Husin, K. A. Mohamed, M. Yuzrina and W. Lau, “Flexural and Out-of-Plane Compression Performance of Hexagonal Rubber Wood Core Sandwich with Increasing Cell Wall Thickness”. *Manufacturing Technology*, vol. 22, no.2, pp.240–253, 2022, doi: 10.21062/mft.2022.023.
- [6] S. A. Hafed, “Study of thermal insulation and some mechanical properties for hybrid composites (cement – wood sawdust),” *International Journal of Computation and Applied Sciences*, vol. 3, no.2, pp. 212–216, 2017.
- [7] Z. Buliński, S. Pawlak, T. Krysiński, W. Adamczyk and R. Białecki, “Application of the ASTM D5470 standard test method for thermal conductivity measurements of high thermal conductive materials,” *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 95, no.2, pp.57–63, 2019, doi: 10.5604/01.3001.0013.7915.
- [8] R. O. Hegarty, A. Reilly, R. West and O. Kinname, “Thermal investigation of thin precast concrete sandwich panels,” *Journal of Building Engineering*, vol. 27, 2020, Art. no. 100937, doi: 10.1016/j.jobbe.2019.100937.
- [9] M. Charaia, H. Sghouri, A. Mezhab, M. Karkri, K. Elhammouti and H. Nasri, “Thermal Performance and Characterization of a Sawdust-Clay Composite Material,” *Procedia Manufacturing*, vol.46, pp. 690–697, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.03.098.
- [10] Z. Zhao, X. Yang, X. Qu, J. Zheng and F. Mai, “Thermal insulation performance evaluation of autoclaved aerated concrete panels and sandwich panels based on temperature fields: Experiments and simulations,” *Construction and Building Materials*, vol. 303, 2021, Art. no. 124560, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124560.
- [11] J. R. Dutra, S. L. M. R. Filho, A. Christoforo, T. Panzera and F. Scarpa, “Investigations on sustainable honeycomb sandwich panels containing eucalyptus sawdust, Piassava and cement particles,” *Thin-Walled Structures*, vol. 143, 2019, Art. no. 106191, doi: 10.1016/j.tws.2019.106191.
- [12] K. Kanjanawanishkul, J. Kaewsihawong, W. Uttaracha and S. Yangyuen, “Smart Cricket Farming Based on Internet of Things,” *Farm Engineering and*

- Automation Technology Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 98–112, 2020. (in Thai)
- [13] K. Sureeya and T. Inthasuth, “Packet Traffic Measurement of IEEE1888 WRITE Procedure between ZigBee Gateway and Storage for Building Energy Management System,” presented at 34th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC), Jeju, South Korea, Jun. 23–26, 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/ITC-CSCC.2019.8793437.
- [14] W. Anupan, S. Nunsong, B. Yotsavip, W. Boonsong, S. Somwong and T. Inthasuth, “Development and Accuracy Analysis of Embedded Based Instrumentation Toward ZigBee and NB-IoT Networks for Efficiency Energy Applications,” presented at 2023 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Singapore, Nov. 27–28, 2023, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICEIC57457.2023.10049870.
- [15] B. C. Olaiya, M. M. Lawan and K. A. Olonade, “Utilization of sawdust composites in construction—a review,” *SN Applied Sciences*, vol. 5, 2023, Art. no. 140, doi: 10.1007/s42452-023-05361-4.
- [16] D. Nield and A. Bejan, “Heat Transfer through a Porous Medium,” in *Convection in Porous Media*, New York, NY, USA: Springer, 2006, ch. 2, sec. 2.2.3, pp. 33–36.
- [17] Methods of testing to determine the thermal performance of unglazed flat-plate liquid-type solar collectors, ANSI/ASHRAE 96-1980 (RA 1989), American National Standards Institute, New York, NY, USA, 1989. [Online] Available: <https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashrae961980ra1989>