

โรงเรือนประหยัดพลังงานสำหรับการเพาะชำต้นกล้าบีทรูท

โดยการใช้เทคนิคการทำความเย็นแบบผสมผสาน

Energy-saving greenhouses for beetroot Seedling cultivation using Hybrid Cooling Techniques

ชลีตล อินยาศรี¹ เจริมธง พรารณารักษ์¹ และปองพล รักการงาน^{1*}

Chaleedol Inyasri¹ Chermdhong Prattanaruk¹ and Pongphol Rakkanrane^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพชรบุรี 76000

¹Division of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi 76000

Abstract

This research aims to design and construct an energy-saving greenhouse for beetroot seedling cultivation in a tropical climate and to investigate the performance of a hybrid environmental control system. The system consists of an evaporative cooling system, a mist spray system, and a shading system, utilizing a solar photovoltaic (PV) system with an installed capacity of 1,500 W. A comparative experiment was conducted between the controlled greenhouse and a conventional greenhouse in Phetchaburi Province. The results revealed that the hybrid environmental control system could reduce the internal temperature to be 3-5°C lower on average than that of the conventional greenhouse, achieving a cooling efficiency of 89.51%. This controlled environment resulted in a germination period that was 3 days faster and an average seedling height that was 1.5 cm greater compared to the conventional greenhouse. These findings demonstrate that the application of the hybrid cooling system significantly outperforms the conventional greenhouse in terms of both environmental control performance and the effectiveness of beetroot seedling growth.

Keywords: Energy-saving greenhouse / Evaporative cooling system/ Beetroot / Hybrid control system

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างโรงเรือนประหยัดพลังงานสำหรับการเพาะชำต้นกล้าปืทุทในสภาพอากาศร้อนชื้น และศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบผสมผสาน ซึ่งประกอบด้วย ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ระบบพ่นหมอก และระบบพรางแสง โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พิกัดกำลังการผลิต 1,500 วัตต์ เป็นแหล่งพลังงานหลัก ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างโรงเรือนควบคุมสภาวะแวดล้อม กับโรงเรือนปกติ ณ จังหวัดเพชรบุรี ผลการวิจัยพบว่า ระบบควบคุมแบบผสมผสานสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ต่ำกว่าโรงเรือนปกติเฉลี่ย 3-5 องศาเซลเซียส โดยมีประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงถึงร้อยละ 89.51 สภาวะแวดล้อมดังกล่าวส่งผลให้ต้นกล้าปืทุทมีระยะเวลาการงอกเร็วขึ้น 3 วัน และมีอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยมากกว่าโรงเรือนปกติ 1.5 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบทำความเย็นแบบผสมผสานมีประสิทธิภาพดีกว่าโรงเรือนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านของสมรรถนะการควบคุมสภาวะแวดล้อมและด้านประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าปืทุท

คำสำคัญ: โรงเรือนประหยัดพลังงาน / ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ / ปืทุท / ระบบควบคุมแบบผสมผสาน

บทนำ

บีทรูท (Beetroot) เป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะสารบีทานิน ซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้องอกและมะเร็ง อีกทั้งยังมีสารไนเตรตสูง ช่วยในการขยายหลอดเลือด ลดความดันโลหิต และเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนโลหิต จึงเป็นที่ต้องการของผู้รักสุขภาพและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร [1] บีทรูทเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเมดิเตอร์เรเนียนและทวีปยุโรป เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศหนาวเย็น เช่น พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย [2] อย่างไรก็ตาม การขยายพื้นที่เพาะปลูกมายังเขตร้อนมีอากาศร้อนชื้น เช่น จังหวัดเพชรบุรี มักประสบปัญหาสำคัญโดยเฉพาะระยะเพาะกล้า ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีความเปราะบางที่สุดต่อความร้อนและความผันผวนของสภาพอากาศ โดยอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ให้ผลผลิตต่ำ และมีความเสี่ยงสูงต่อการระบาดของโรคและแมลง ทำให้เกษตรกรต้องพึ่งพาสารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื้อถึงต้นทุนการผลิตและความปลอดภัยของผู้บริโภค

แนวทางการแก้ปัญหาการปลูกพืชต่างถิ่นในสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย คือการใช้ระบบโรงเรือน (Greenhouse) มาประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันความแปรปรวนของสภาพอากาศ เช่น ฝนที่ตกหนักทำลายระบบราก หรือการระบาดของแมลงศัตรูพืช อย่างไรก็ตาม การใช้โครงสร้างโรงเรือนเพียงอย่างเดียวในพื้นที่เขตร้อนอย่างจังหวัดเพชรบุรี อาจเกิดปัญหาความร้อนสะสมภายในที่สูงเกินไป จึงจำเป็นต้องมีการนำเทคโนโลยีการควบคุมสภาพแวดล้อมเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมสภาวะต่างๆ ตรงตามที่พืชต้องการ จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า การใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ (Evaporative Cooling System) ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดี [3 – 4] อีกทั้งการบูรณาการเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ร่วมกับระบบพ่นหมอกความละเอียดสูง ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและความชื้นเฉพาะจุดได้อย่างรวดเร็ว [5 – 7] นอกจากนี้ การนำระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับระบบควบคุมโรงเรือน ยังเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าและเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานให้กับเกษตรกร รวมถึงช่วยให้ระบบสามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงอีกด้วย [8 – 9]

จากแนวทางการศึกษาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาโรงเรือนประหยัดพลังงานสำหรับการเพาะชำต้นกล้าบีทรูท โดยการใช้เทคโนโลยีการทำความเย็นแบบผสมผสาน ได้แก่ ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ (Evaporative Cooling System) ระบบพ่นหมอก ระบบเปิด-ปิดม่านพรางแสง และระบบระบายอากาศ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักภายในโรงเรือน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบผสมผสาน สำหรับการเพาะปลูกต้นกล้าบีทรูทในสภาพอากาศจังหวัดเพชรบุรี
2. เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้าบีทรูทที่ปลูกในโรงเรือนที่ควบคุมสภาวะแวดล้อมกับโรงเรือนที่ไม่มีการควบคุมสภาวะ

วิธีการวิจัย

การศึกษาควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนด้วยเทคนิคการทำความเย็นแบบผสมผสาน ประกอบด้วย ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ระบบพ่นหมอก ระบบม่านพรางแสง และระบบระบายอากาศ เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้าบีทรูท โดยวัสดุปลูกที่ใช้ในการศึกษา คือ ขุยมะพร้าว เพื่อช่วยรักษาความชื้นและการระบายอากาศ ทำให้รากของพืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างอิสระและแข็งแรง โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบการเจริญเติบโตในด้านความสูงของต้นกล้าในโรงเรือนที่ควบคุมสภาวะแวดล้อมกับโรงเรือนที่ไม่มีการควบคุมสภาวะ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มรังสีอาทิตย์ ตั้งแต่เวลา 06.00 – 18.00 น. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบผสมผสานที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกต้นกล้าปิทรูทในสภาพอากาศร้อนชื้นของจังหวัดเพชรบุรี ช่วยเพิ่มอัตราการรอดและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปิทรูทซึ่งเป็นแนวทางในการจัดการโรงเรียนเกษตรอัจฉริยะที่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความสูญเสียและเพิ่มศักยภาพในการผลิตพืชนอกฤดูกาลได้

3.1 ออกแบบและสร้างโรงเรือน

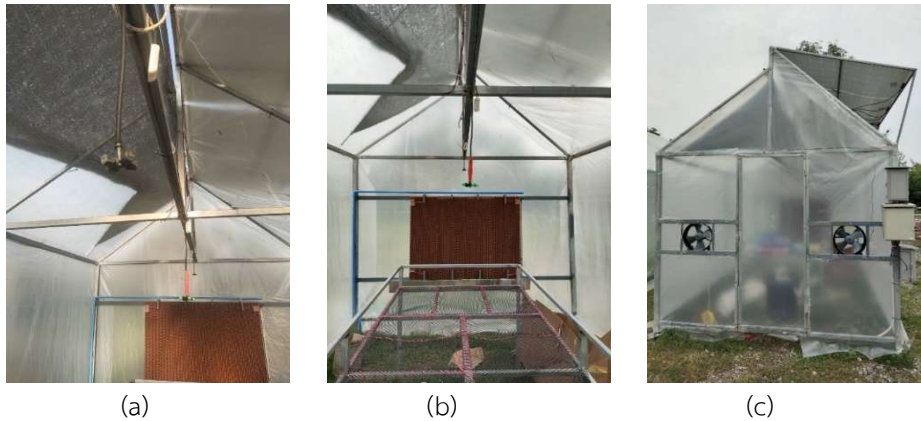
ในการออกแบบโครงสร้างโรงเรือนที่ใช้ในการทดสอบเป็นโรงเรือนแบบปิด โครงสร้างโรงเรือนเป็นลักษณะหลังคาทรงจั่วต่างระดับหรือทรงจั่วสองชั้น ซึ่งเป็นลักษณะหลังคาที่จุดยอดของหลังคาทั้งสองด้านไม่ชนกัน โดยจะมีด้านหนึ่งยกสูงกว่าอีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดช่องว่างในแนวตั้งบริเวณสันหลังคาขนาดกว้าง 0.15 เมตร ทำหน้าที่เป็นปล่องระบายอากาศ โดยในส่วนนี้มีการติดตั้งมุ้งกันแมลงเพื่อป้องกันศัตรูพืชเข้า แต่ยังสามารถระบายอากาศออกได้ ขนาดของโรงเรือน มีความกว้าง 2.5 เมตร ยาว 4 เมตร และสูง 3 เมตร วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหลังคาเป็นเหล็กกล่องโปร่งกัลป์วาไนซ์ ขนาด 1 นิ้ว ส่วนกรอบอาคารใช้เหล็กกล่องโปร่งกัลป์วาไนซ์ ขนาด 1.5 นิ้ว ส่วนเสริมเพิ่มความแข็งแรงในส่วนของหลังคาใช้เหล็กกล่องโปร่งกัลป์วาไนซ์ ขนาด 1.5 นิ้วคลุมด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดขุ่นคลุมทั้งโรงเรือน ในส่วนของหลังคาโรงเรือนทางทิศเหนือติดตั้งแสลงกันแสงสีเขียว 60% ทางทิศใต้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Thin film ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 5 แผง ติดตั้งแผง Cooling pad ทางด้านทิศตะวันออก และติดตั้งพัดลมดูดอากาศทางฝั่งตรงข้ามหรือทิศตะวันตกเพื่อการพาบังคับอากาศให้กระจายทั่วโรงเรือน ซึ่งโรงเรือนที่ใช้ทำการทดลองแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของโรงเรือนเพาะชำต้นกล้าของปิทรูท

3.2 การออกแบบระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ

การออกแบบระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ได้ทำการวัดความเร็วลมก่อนทำการจัดวางโรงเรือน พบว่ามีลมพัดผ่านจากทิศตะวันออกมากที่สุด จึงออกแบบติดตั้งแผง쿨ลิ่งแพตทางด้านทิศตะวันออก ขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 0.15 เมตร และสูง 0.90 เมตร และติดตั้งพัดลมดูดอากาศทางด้านทิศตะวันตก ขนาดหน้าตัด 12 นิ้ว 2 ตัว เพื่อดูดความเย็นจากแผง쿨ลิ่งแพต และระบายความชื้นออกจากโรงเรือน แสดงตำแหน่งในการติดตั้งดังภาพที่ 2

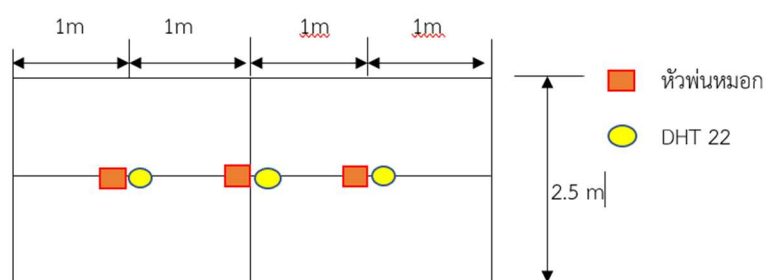


ภาพที่ 2 (a) ตำแหน่งติดตั้งระบบพ่นหมอก (b) ตำแหน่งติดตั้ง Cooling Pad และ (c) ตำแหน่งติดตั้งพัดลมดูดอากาศ

3.3 ออกแบบระบบระบายอากาศ

การออกแบบระบบระบายอากาศ นอกจากจะใช้หลักการของโครงสร้างของโรงเรือนร่วมกับระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำแล้ว ยังได้เพิ่มระบบการทำงานของระบบพ่นหมอก และระบบการทำงานของม่านพรางแสง โดยกำหนดให้ทำงานในช่วงเวลา 10:00 น. – 15:00 น. ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส การติดตั้งอุปกรณ์แสดงดังนี้

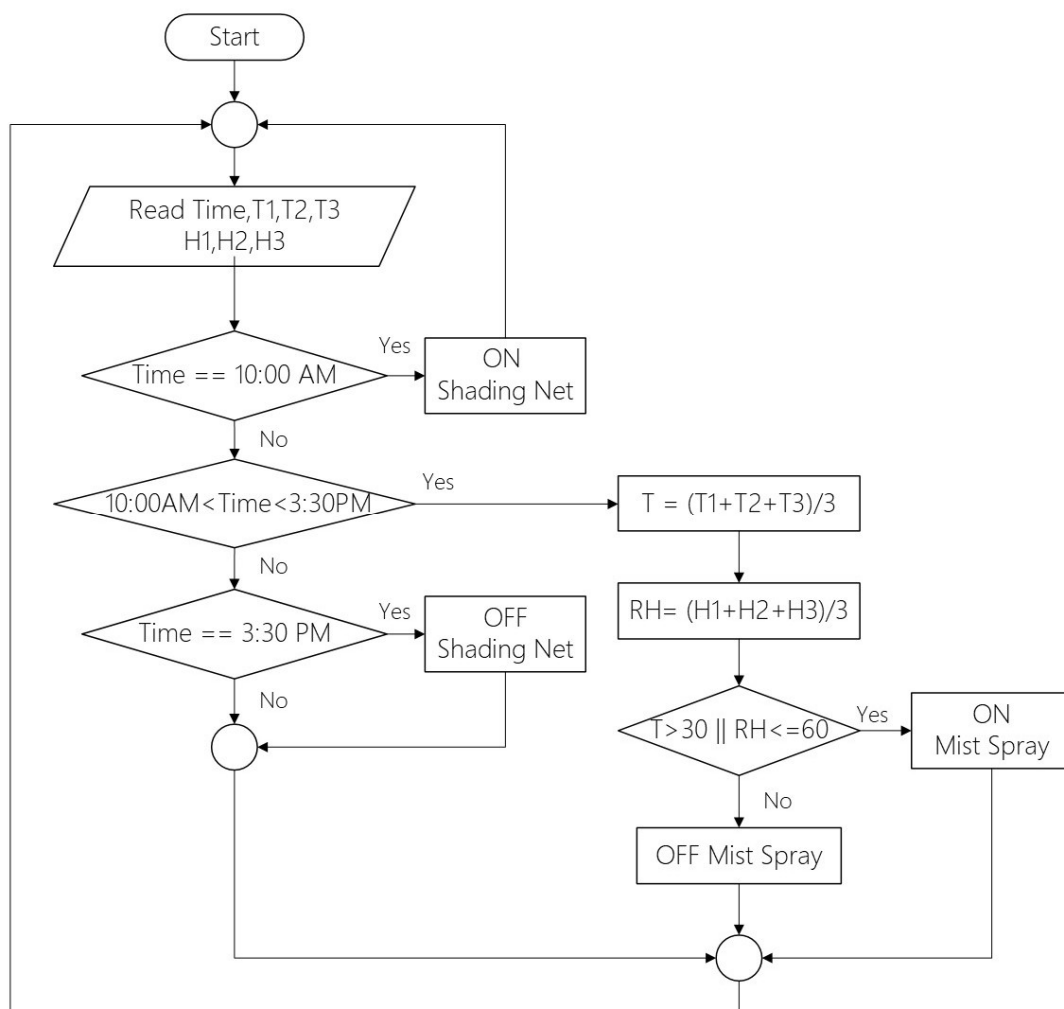
- 1) ออกแบบติดตั้งระบบพ่นหมอก เลือกใช้หัวพ่นหมอกแบบ 4 ทิศทาง ขนาดความละเอียด 0.6 มิลลิเมตร ติดตั้งภายในโรงเรือนจำนวน 3 จุด ระยะห่างในการติดตั้งจุดละ 1 เมตร พร้อมทั้งติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นด้วย Sensor DHT22 จำนวน 3 จุด ระยะห่างในการติดตั้งแต่ละจุด 1 เมตร แสดงดังแสดงในภาพที่ 3
- 2) การออกแบบติดตั้งม่านพรางแสง จะทำการติดตั้งม่านพรางแสงด้านบนหลังคาโรงเรือนทางด้านทิศเหนือของโรงเรือนเพียงทิศทางเดียว เนื่องจากทางด้านทิศใต้ได้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีการบังแดดอยู่แล้ว ม่านพรางแสงในโรงเรือน



ภาพที่ 3 ตำแหน่งการจัดวางหัวพ่นหมอก และตำแหน่งSensor DHT 22

3.4 การทำงานของระบบควบคุมระบบระบายอากาศ

อัลกอริทึมของระบบควบคุมการทำงานของระบบระบายอากาศ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อู๋โน้ เริ่มต้นทำงานรับข้อมูลเวลาจากโมดูลนาฬิกา (RTC) เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น DHT22 จำนวน 3 ตัว เพื่ออ่านค่าเวลาและอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นปัจจุบันเข้ามาในระบบ จากนั้นทำการตรวจสอบเวลาเปิดม่านพรางแสง หากพบว่าเป็นเวลา 10:00 น. จะสั่งให้เปิดม่านพรางแสง (On shading net) (เซอร์โวมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นเวลา 20 วินาที) จบการทำงานในรอบนี้ จากนั้นทำการตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2 เวลาอยู่ในช่วง 10:00 - 15:30 น. ระบบจะเข้าสู่กระบวนการควบคุมความชื้น โดยนำค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว มาคำนวณหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย และค่าความชื้นเฉลี่ย จากนั้นตรวจสอบเงื่อนไข หากอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้มีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส หรือ ความชื้นเฉลี่ยที่ได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60% ระบบจะสั่งให้เปิดระบบพ่นหมอกและทำงานเป็นเวลา 1 วินาที (หากไม่ตรงตามเงื่อนไขจะสั่งปิดระบบพ่นหมอก) และสุดท้ายหากตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3 พบว่าเป็นเวลาเท่ากับ 15:30 น. ระบบจะสั่งปิดม่านพรางแสง (เซอร์โวมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาเป็นเวลา 20 วินาที) ทั้งนี้หากเวลาไม่ตรงกับเงื่อนไขใด ๆ ที่กำหนดไว้เลย ระบบจะทำงานวนกลับไปเริ่มต้นใหม่เพื่อให้ระบบทำงานอัตโนมัติตลอดเวลา แสดงผังการทำงานของระบบควบคุมระบบระบายอากาศดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผังการทำงานของระบบควบคุมระบบระบายอากาศ

3.5 การคำนวณค่าประสิทธิภาพการระบายความร้อน

การคำนวณประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศร่วมกับระบบพ่นหมอก ระบบม่านพรางแสง และระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ คำนวณจากสมการดังนี้

1) การคำนวณประสิทธิภาพการระบายความร้อนของโรงเรือน

$$\eta = \frac{T_{D1}-T_{D2}}{T_{D1}-T_{W1}}, \eta_E = \frac{Q_{input}-Q_{out}}{Q_{input}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ η_E คือ ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหย (%)

T_{D1} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนผ่านระบบทำความเย็นแบบระเหย (°C)

T_{D2} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังผ่านระบบทำความเย็นแบบระเหย (°C)

T_{W1} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนผ่านระบบทำความเย็นแบบระเหย (°C)

2) การคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศ

เนื่องจากโรงเรือนเป็นระบบปิด ใช้การระบายอากาศแบบบังคับ คำนวณค่าอัตราการระบายอากาศได้จาก

$$G = \frac{S_T}{2} C_d \left[2g \epsilon^2 \left(\frac{\Delta T}{T} \right) \left(\frac{H}{2} \right) + C_W U^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

โดยที่ G คือ อัตราการระบายอากาศ (m^3/s)

S_T คือ ผลรวมของ $S_R + S_S$ (m^2)

C_d คือ Discharge Coefficient

g คือ Gravitational (m/s^2)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านในกับด้านนอก (K)

T คือ อุณหภูมิของอากาศด้านนอก (K)

H คือ ระยะความสูงระหว่างช่องอากาศเข้าและออก (m)

C_W คือ Wind effect coefficient

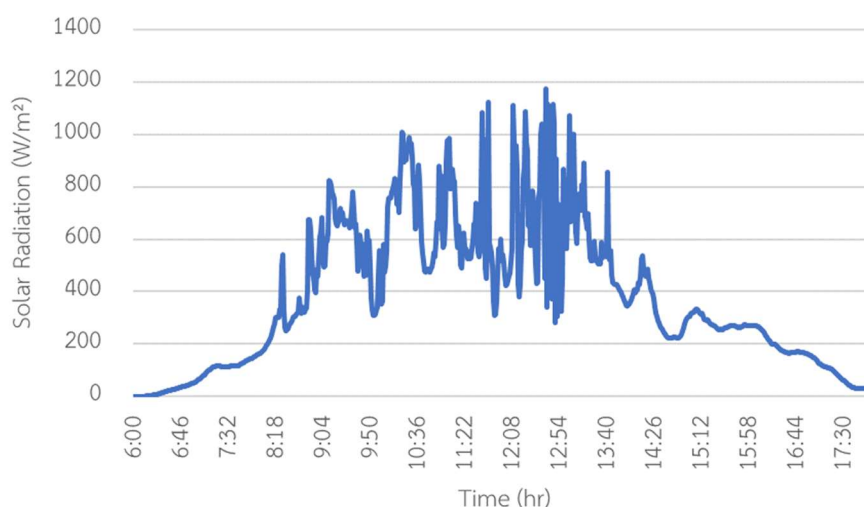
U คือ ความเร็วลมภายนอกโรงเรือน (m/s)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนสำหรับเพาะปลูกต้นกล้วยทูล โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำความเย็นแบบผสมผสาน ประกอบด้วย ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ระบบพ่นหมอก ระบบม่านพรางแสง และระบบระบายอากาศ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกับโรงเรือนที่ไม่ได้ควบคุมสภาวะแวดล้อม ผลการศึกษาตัวแปรสภาพแวดล้อมที่สำคัญ มีดังนี้

4.1 ค่ารังสีแสงอาทิตย์

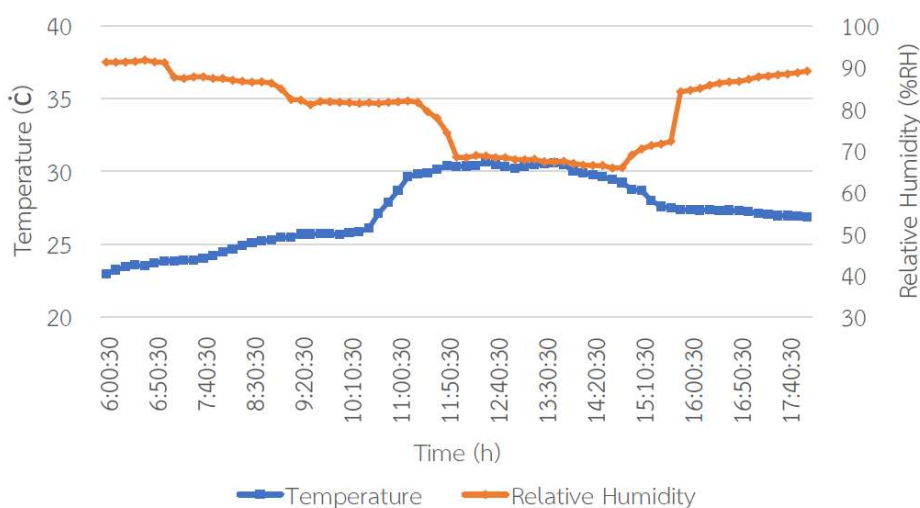
รังสีอาทิตย์ถือเป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อภาระความร้อนภายในโรงเรือน ส่งผลกับการเจริญเติบโตของพืช จากการเก็บบันทึกข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ในช่วงเวลา 6.00 น. – 18.00 น. พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีความผันผวนตลอดวันตามการเคลื่อนที่ของเมฆ โดยช่วงที่มีความเข้มแสงสูงที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 9:00 น. – 14:00 น. และมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดถึง 1,114 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความเข้มแสงที่สูงมากในช่วงเวลาประมาณ 12:00 – 13:00 น. และมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 384.10 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4 ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุมสภาวะในโรงเรือนด้วยเทคนิคการทำความเย็นแบบผสมผสานที่ได้ออกแบบนี้ เช่นการใช้ม่านพรางแสงเพื่อลดค่าความเข้มแสงในช่วงพัก และใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำร่วมกับระบบพัดลม เพื่อควบคุมโรงเรือนให้สามารถรักษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเพาะปลูกต้นกล้าได้ตลอดทั้งวัน



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์เทียบกับเวลา

4.2 อุณหภูมิและความชื้น

อุณหภูมิและความชื้นเป็นตัวแปรสำคัญของการควบคุมสภาวะในโรงเรือนพืชเพื่อจากอุณหภูมิและความชื้นส่งผลโดยตรงกับการเจริญเติบโตของพืช โดยอุณหภูมิและความชื้นของระบบการทำความเย็นแบบระเหยเป็นส่วนสำคัญ เก็บค่าอุณหภูมิและความชื้น โดยเก็บค่าทุก ๆ 1 นาที ตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น. ดังภาพที่ 5

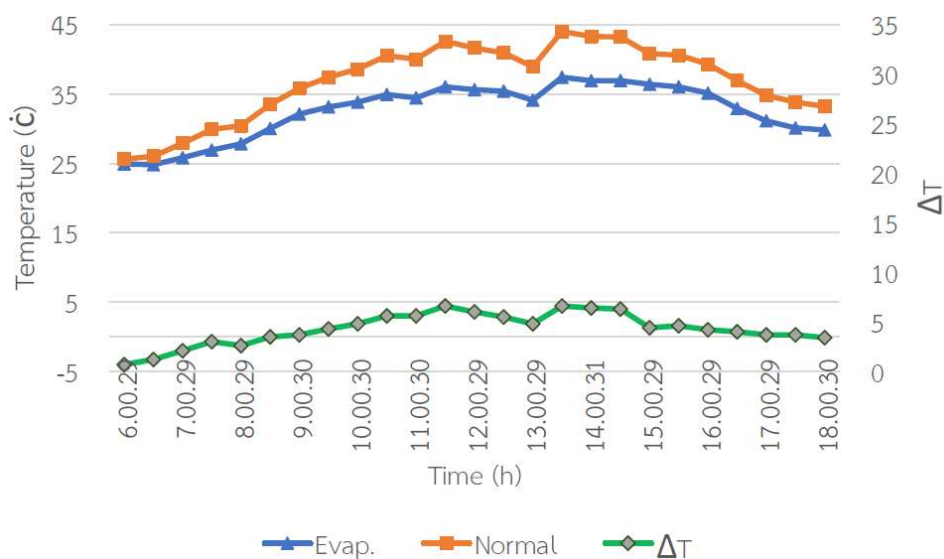


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้น

จากข้อมูลในภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนที่มีการปรับสภาพอากาศด้วยเทคนิคการทำความเย็นแบบผสมผสาน พบว่าช่วงที่อุณหภูมิมีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วคือในช่วงเวลา 10:30 น. – 11:30 น. และพบว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงสุดที่ประมาณ 30 – 31 องศาเซลเซียส และทรงตัวอยู่ในระดับนี้จนถึงช่วงเวลาประมาณ 15:00 น. ในขณะเดียวกันความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงในช่วงใกล้เคียงกันอยู่ที่ระดับประมาณ 65 – 70 %RH แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาวะในโรงเรือนสามารถรักษาอุณหภูมิสูงสุดไว้ไม่เกิน 31°C และรักษาความชื้นไม่ให้ต่ำกว่า 65% ในช่วงกลางวัน ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการควบคุมสภาวะเพื่อการเจริญเติบโตของพืช

4.3 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างโรงเรือนที่ควบคุมสภาวะกับโรงเรือนที่ไม่ได้ควบคุมสภาวะ

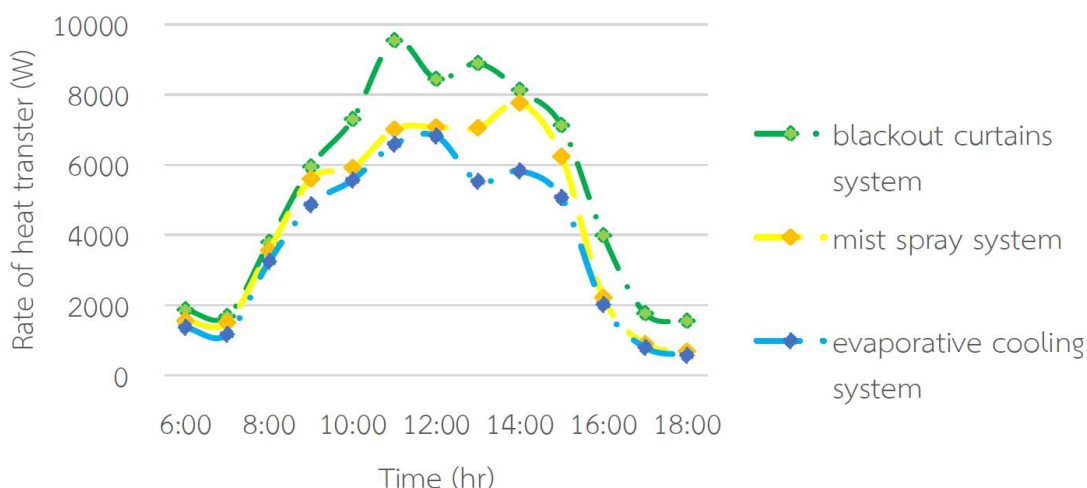
ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ใช้ระบบควบคุมแบบผสมผสานกับโรงเรือนที่ไม่ได้มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า ระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมสามารถลดอุณหภูมิสะสมภายในโรงเรือนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยในช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุด พบว่า โรงเรือนแบบปกติมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 43.3 องศาเซลเซียส ในขณะที่โรงเรือนที่ควบคุมสภาวะแวดล้อมสามารถรักษาอุณหภูมิได้ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 37.4 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13:30 น. เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวัน โรงเรือนควบคุมสภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 32.49 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าโรงเรือนปกติที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 36.78 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) เฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 4.29 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าระบบทำความเย็นแบบผสมผสานช่วยลดความร้อนสะสมในโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์อุณหภูมิโรงเรือนที่ควบคุมสภาวะเทียบกับโรงเรือนปกติ

4.4 ปริมาณความร้อนที่โรงเรือนได้รับ

ผลการศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรือนเปรียบเทียบทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ระบบม่านพรางแสง และระบบพ่นหมอก ในช่วงเวลา 6:00 น. – 18:00 น. แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความร้อนสะสมของโรงเรือน

จากภาพที่ 7 แสดงปริมาณอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรือนที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม พบว่า ลักษณะการถ่ายเทความร้อนมีการแปรผันตรงกับความเร็วลม โดยจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 10:00 น. – 15:00 น. จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 ระบบ พบว่า ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ มีประสิทธิภาพในการลดการสะสมความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 6,882.1 วัตต์ และมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 3,799.2 วัตต์ รองลงมาคือระบบพ่นหมอก ซึ่งมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 7,767.7 วัตต์ และมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 4,389.2 วัตต์ ในขณะที่ระบบม่านพรางแสง มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 9,550.5 วัตต์ และมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 5,386.1 วัตต์ แสดงให้เห็นว่า ระบบทำความเย็นแบบระเหย สามารถลดการสะสมความร้อนภายในโรงเรือนได้อย่างมีนัยสำคัญที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองระบบ เนื่องมาจากกลไกการทำงานที่อาศัยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ โดยระบบจะดึงความร้อนจากอากาศเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอ ส่งผลให้อุณหภูมิและความร้อนสะสมภายในโรงเรือนลดต่ำลงมากกว่าระบบอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ

คำนวณประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศของโรงเรือนที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมด้วยสมการที่ 1 พบว่าโรงเรือนที่ได้ออกแบบมีค่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนเท่ากับ 89.51%

4.5 อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าปีทูทู

จากการควบคุมสภาวะในโรงเรือนด้วยเทคนิคการทำความเย็นแบบผสมผสาน ได้แก่ ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ระบบพ่นหมอก ระบบเปิด-ปิดม่านพรางแสง และระบบระบายอากาศ ในโรงเรือนเพาะชำต้นกล้าปีทูทูเปรียบเทียบกับโรงเรือนปกติที่ไม่ได้ควบคุม ผลการเจริญเติบโตของต้นกล้าปีทูทูที่ปลูกในโรงเรือนที่ควบคุมสภาวะอากาศและโรงเรือนที่ไม่ได้ควบคุม โดยทำการวัดความสูงของลำต้น แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นกล้าปีทูทูปลูกในโรงเรือนที่ควบคุมสภาวะและโรงเรือนแบบปกติ

Greenhouse Type	Time				
	3 Day	7 Day	14 Day	21 Day	28 Day
โรงเรือนควบคุมสภาวะ	เริ่มงอก	2.5±0.5 cm	4.5±0.5 cm	6±1.0 cm	8.5±1.5 cm
โรงเรือนแบบปกติ	ยังไม่งอก	1.5±0.5 cm	3.5±0.5 cm	4.5±0.5 cm	6±1.0 cm

จากข้อมูลในตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้าปีทูทูระหว่างโรงเรือนควบคุมสภาวะและโรงเรือนแบบปกติ พบว่า ในโรงเรือนควบคุมสภาวะ เมล็ดปีทูทูเริ่มงอกแล้ว ในขณะที่โรงเรือนแบบปกติยังไม่มีการงอกของเมล็ด แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมที่ควบคุมเอื้อต่อการกระตุ้นให้เมล็ดงอกได้เร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบความสูงของลำต้นในระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า ต้นกล้าในโรงเรือนควบคุมสภาวะมีความสูงมากกว่าโรงเรือนแบบปกติในทุกช่วงการบันทึกข้อมูล โดยความแตกต่างของความสูงระหว่างสองโรงเรือนจะพบว่ายิ่งระยะเวลานานขึ้น ความแตกต่างของความสูงยิ่งเพิ่มมากขึ้นโดย

เฉลี่ยตลอดสิ้นสุดการทดลองเพาะต้นกล้า พบว่าความสูงต่างกันโดยเฉลี่ยคือ 1.5 cm แสดงให้เห็นว่าระบบทำความเย็นแบบผสมผสานในโรงเรือนควบคุมสภาวะมีประสิทธิภาพดีกว่าโรงเรือนแบบปกติ ทั้งในด้านของระยะเวลาในการงอกที่สั้นกว่าและอัตราการเจริญเติบโตที่มากกว่า

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างโรงเรือนประหยัดพลังงานสำหรับการเพาะชำต้นกล้าปีทูทในสภาพอากาศร้อนชื้น และศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมแบบผสมผสาน ซึ่งประกอบด้วย ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ ระบบพ่นหมอก และระบบพรางแสง โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพการควบคุมสภาวะแวดล้อม พบว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำมีประสิทธิภาพในการลดภาระความร้อนสะสมได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับระบบพ่นหมอกและม่านพรางแสง โดยภาพรวมระบบมีประสิทธิภาพการระบายความร้อน อยู่ที่ร้อยละ 89.51 ระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ต่ำกว่าโรงเรือนปกติโดยเฉลี่ยประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส และสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 6.8 องศาเซลเซียสในช่วงเวลากลางวัน สามารถรักษาอุณหภูมิเฉลี่ยให้อยู่ที่ 26.1 องศาเซลเซียส และรักษาความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ระหว่างร้อยละ 60-80 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของวิศพล และคณะ (2567) ซึ่งได้ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนระบบระเหยน้ำเย็น พบว่า สามารถควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยให้มีค่าประมาณ 25 องศาเซลเซียส และสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ประมาณร้อยละ 70 ได้ ส่วนผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของต้นกล้าปีทูท จากการทดลองพบว่าสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ช่วยกระตุ้นให้เมล็ดปีทูทงอกเร็วกว่าโรงเรือนปกติถึง 2-3 วัน ต้นกล้าในโรงเรือนควบคุมสภาวะมีการเจริญเติบโตด้านความสูงดีกว่าโรงเรือนปกติอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการทดลองเพาะต้นกล้า โดยมีความสูงมากกว่าโรงเรือนปกติเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 เซนติเมตร

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการทำความเย็นแบบผสมผสานเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงในการจัดการโรงเรือนเพาะชำในเขตภูมิอากาศร้อน ซึ่งช่วยลดความสูญเสียและเพิ่มอัตราการรอดของพืชเมืองหนาวอย่างปีทูทได้ และยังส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะในพื้นที่เขตร้อนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ วิชากิจชุมชนเกษตรอินทรีย์วิถีพอเพียงตำบลบางเค็ม อำเภอยะบอย จังหวัดเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อขอแนะนำในการวิจัย ขอขอบพระคุณ คุณอุไร กาลปักษ์ หัวหน้ากลุ่มยุทธศาสตร์และสารสนเทศ สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรี คุณสุพจน์ กลิ่นพ่วง ประธานศูนย์เรียนรู้วิชากิจชุมชนเกษตรอินทรีย์วิถีพอเพียงตำบลช่องสะแก อำเภอมือง จังหวัดเพชรบุรี สำหรับข้อเสนอแนะและข้อมูลด้านโรงเรือนในการศึกษาวิจัย ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการใช้เครื่องมือในการทำการศึกษารวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., & Stevenson, E. J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801-2822.
- [2] Somyaprasert, N., Nunwong, N., Mungrairklang, J., & Prasertsri, P. (2023). Sensory acceptance of beetroot juice jelly in healthy volunteers. *Burapha Journal of Medicine*, 10(2), 1-12.

- [3] ธนากร น้ำหอมจันทร์ และ อติกร เสรีพัฒนานนท์. (2557). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปร์ยละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 8(1), 98-111.
- [4] Junpayap, W., Treeamnuak, T., & Treeamnuak, K. (2024). Temperature and relative humidity control in a greenhouse evaporative cooling-pad system. RMUTP Research Journal Sciences and Technology, 18(2), 175–187.
- [5] Ariyapim, N., & Addoddorn, C. (2021). The design and construction of automatic temperature and humidity control system for fairy mushroom house controlled by microcontroller. Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College, 7(2), 59-72.
- [6] ปรีชา ทุมมู, ธนากร กองบาง, คมสัน มูลเพีย, และ วีรชาติ คงทวี. (2564). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทำความเย็นแบบท่อใต้ดินเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 31(4), 624-637.
- [7] Chuenatsadongkot T., & Chitphutthanakul S. (2022). Study and Development of Humidity and Temperature Control System by using Smartphones for Lettuce Greenhouses. VRU Research and Development Journal Science and Technology, 17(3), 33-46.
- [8] Jaroenrat, K., Phuangsombut A., Jaisin C., & Srichumroenrattana N. (2019). Development of Temperature and Humidity Control System for Mushroom House by using Air Sensors and Solar-Powered System. Veridian E-Journal Science and Technology Silpakom University, 6(1), 1-12.
- [9] วิชัย นระมาตย์ และ วศกร ไตรพัฒน์. (2567). การประยุกต์ใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนด้วยวิธีการพ่นหมอกและสั่งงานด้วยอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 14(2).
- [10] เฉลิมชาติ เสาวรัง, กระวี ตรีอำรรค และเทวรัตน์ ตรีอำรรค. (2561). สมรรถนะการทำงานร่วมของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกกับระบบระบายอากาศที่ควบคุมด้วยสมการสมดุลความชื้นของอากาศ.วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 24(2), 63-69.
- [11] จิตรา จันโสด, วานิด รอดเนียม, วันเพ็ญ บัวคง และศักดิ์อนันต์ แซ่ลิ้ม. (2567). การพัฒนาโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อเพิ่มผลผลิตผักอินทรีย์.วารสารแก่นเกษตร 52 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น ฉบับที่ 1: 75-88(2567)./doi:10.14456/kaj.2024.6
- [12] ปองพล รักการงาน. (2549). การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์และทดลองสมบัติการส่งผ่านของวัสดุคลุมโรงเรือน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี;
- [13] มานพ แยมแพง, จักรวาล บุญหวาน, ชีโนรส ละอองวรรณ, ณัฐฤช อัสนี, รัตน์ชัย ไพรินทร์ และ มนพร คุปตาสา (2563). การประยุกต์ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอน้ำใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไหม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลชัยบุรี, หน้า 13-23.