การศึกษาศักยภาพและประเมินทางเศรษฐศาสตร์พลังงานของการใช้ระบบทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศร่วมกับระบบทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่

STUDYING THE POTENTIAL AND ENERGY ECONOMIC ASSESMENT OF USING AN AIR-COOLED WATER CHILLER COMBINED WITH AN EVAPORATIVE COOLING SYSTEM IN STRAWBERRY CULTIVATION GREENHOUSE

ธัญญารัตน์ จันทร์โชค[1] และสุลักษณา มงคล[1*]

Tanyarat Janchoke[1], and Sulaksana Mongkon[1*]

Received: August 23, 2023

Revise: December 15, 2023

Accepted: December 19, 2023

[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Corresponding author, E-mail: sulaksana@mju.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพและประเมินเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนของระบบทำความเย็นที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบทำน้ำเย็นในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ โรงเรือนกว้าง 12 เมตร ยาว 40 เมตร และสูง 6 เมตร คลุมโรงเรือนด้วยพลาสติกพอลิเอธิลีน มีการทำงานของระบบทำความเย็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การทำงานโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยเพียงอย่างเดียว (EV) และระบบทำความเย็นแบบร่วมกัน (EV+CH) จากการศึกษาศักยภาพของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนต้นแบบ ในแต่ละเดือนที่ทำการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (I_T) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของวันอยู่ที่ระหว่าง 600-700 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยช่วงเดือนมีนาคม 2565 มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในโรงเรือนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2565 คิดเป็นค่าเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าที่ได้ยังไม่สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ตลอดในทุกช่วงเวลาตามที่สตรอว์เบอร์รี่ต้องการให้ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นพบว่า ในการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH มีค่าเท่ากับ 17 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV ที่มีค่าเท่ากับ 14 สำหรับการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนโดยทำการศึกษา 4 กรณี โดยมีเงื่อนไขที่แตกต่างกันทั้งในการเพิ่มรอบเพาะปลูกหรือบางกรณีมีการเพิ่มรางปลูกพบว่า หากมีการเพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่และเพิ่มรางปลูกจะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่า NPV และค่า IRR สูงที่สุดซึ่งมีค่าอยู่ที่ 909,854 บาท และ 20.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 6 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่สามารถคืนทุนได้เร็วกว่ากรณีอื่น ๆ

คำสำคัญ: ระบบทำความเย็นแบบระเหย ระบบทำน้ำเย็น โรงเรือนสตรอว์เบอร์รี่ เศรษฐศาสตร์

Abstract

This research aims to study the potential and evaluate the investment economics of a cooling system that combines evaporative cooling with a chiller system in a strawberry greenhouse. The greenhouse has dimensions of 12 m in width, 40 m in length, and 6 m in height. It is covered with polyethylene plastic. The experiments are divided into the following two operating modes: Evaporative Cooling System (EV) and Evaporative Cooling System

combined with Chiller System (EV+CH). From the study of the potential of the cooling system used in the prototype greenhouse. In each month studied it was found that, the daily average maximum solar radiation intensity (I_T) is between 600-700 W/m^2, it was found that during the month of March 2022, the highest average air temperature inside the greenhouse was observed when compared to the period from November 2021 to February 2022, with an average value of 32 °C. This value could not be reduced throughout all time periods as desired by strawberries, which require temperatures below 30 °C. Regarding the Coefficient of Performance (COP) of the cooling system, it was discovered that in the operation of the EV+CH cooling system was 17, which is higher than the operation of the EV cooling system of 14. For evaluating the investment economics of the cooling system in the greenhouse the study 4 cases with different conditions some cases are prescriptive adding the planting cycle or adding a bench, which it was found that increasing the planting cycle and adding a bench planting trough would be the most appropriate approach. This is since this case has the highest Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR), which are 909,854 Baht and 20.78%, respectively. Additionally, this case has a payback period (PB) are 4 years 6 months, making it the shortest period for recouping the investment compared to other cases.

Keywords: Evaporative cooling system, Chiller system, Strawberry greenhouse**,** Economic

1. บทนำ

สตรอว์เบอร์รี่เป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย นิยมปลูกทางพื้นที่สูงของภาคเหนือ เนื่องจากอุณหภูมิอากาศค่อนข้างต่ำกว่าภาคอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของสตรอว์เบอร์รี่ที่มีความต้องการอุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ปัจจุบันแนวโน้มความต้องการของการบริโภคสตรอว์เบอร์รี่มีเพิ่มมากขึ้นทั้งแบบสด และแบบแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ส่งผลให้ประเทศไทยมีการนำเข้าสตรอว์เบอร์รี่ ในปี พ.ศ. 2561 คิดเป็นมูลค่า 435 ล้านบาท (นำโชค บุญมี และคณะ, 2564) [1] จากความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีเกษตรกรหาวิธีการปลูกในพื้นที่ราบหรือการเพาะปลูกนอกฤดูโดยการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือน เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ตามความต้องการของสตรอว์เบอร์รี่ อีกทั้งยังลดปัญหาเรื่องแมลง และศัตรูพืช อย่างไรก็ตามในแต่ละช่วงฤดูกาลอาจมีสภาพอากาศแปรปรวนโดยเฉพาะอุณหภูมิแวดล้อมที่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณพื้นที่สูงที่ อีกทั้งในโรงเรือนจะมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าอากาศแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการทำความเย็นในโรงเรือน ระบบทำความเย็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling system; EV) ซึ่งหลักการทำงานพื้นฐาน คือ อากาศภายนอกที่อุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะถูกพัดลมดูดอากาศ (Exhaust fan) ดูดอากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) ซึ่งมีน้ำไหลผ่านอากาศจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำลดลง และมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น [2]

ในการศึกษาการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยสำหรับการปลูกพืช เช่น ภานุวิชญ์ พุทธรักษา และ สุลักษณา มงคล, 2560 [3] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหยด้วยการควบคุมการไหลของอากาศในโรงเรือนสตรอว์เบอร์รี่พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance; COP) ของการทำความเย็นแบบระเหยมีค่าประมาณ 52 ซึ่งทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง 7.8 องศาเซลเซียส แต่ยังมีข้อจำกัดในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงมากเกินความสามารถของระบบ EV โดยเห็นได้ชัดเจนในช่วงเวลาระหว่างเที่ยงวันถึงช่วงบ่าย โดยเฉพาะในฤดูร้อนในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา, 2566 [4] เป็นช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึงกลางเดือนพฤษภาคม โดยช่วงเดือนดังกล่าวยังมีการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในพื้นที่ แต่เนื่องจากระบบ EV สามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้ถึงจุดหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศให้ดีขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาระบบทำความเย็นที่นำมาเสริม ดังตัวอย่างงานวิจัย P. W. Sunu et.al., 2018 [5] ได้ทำการศึกษาโดยการใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air cooled chiller) โดยในการทดสอบระดับอุณหภูมิความร้อนยิ่งยวดของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการระบายความ

ร้อนด้วยอากาศค่าที่ดีที่สุดที่ระบบสามารถลดอุณหภูมิภายในได้อยู่ที่ประมาณ 5.05 องศาเซลเซียส ซึ่งหากมีการทำงานร่วมกันในระบบทำความเย็นแบบระเหย จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนได้มากขึ้น จึงได้มีการศึกษางานวิจัยเพิ่มเติมสำหรับการใช้งานระบบทำน้ำเย็นหรือ Chiller (O. Amer, et al., 2015) [6] ได้ศึกษาเทคโนโลยีการทำความเย็นแบบระเหย ผลการทดสอบ COP พบว่า ระบบ Adsorption system และระบบ EV อยู่ที่ 0.6-1.2 และ 15-20 ตามลำดับ การใช้งานระบบทำความเย็นแบบ Chiller ซึ่งมีค่า COP มากกว่าระบบ Adsorption นอกจากนี้ระบบ Chiller ยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถของระบบ EV ในการศึกษาระบบทำความเย็นเพิ่มเติม F.W. Yu, and K.T. Chan, 2006 [7] ศึกษาระบบทำความเย็นแบบระบบทำน้ำเย็นที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air cooled water chiller system; CH) พบว่า มีความเหมาะสมกับการใช้งานในโรงเรือนขนาดกลาง ระบบทำน้ำเย็นมีต้นทุน และค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า โดยศึกษาการใช้งานเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่อุณหภูมิกลั่นตัวต่ำ และให้ค่า COP ของระบบทำความเย็นซึ่งมีค่าแตกต่างกันในแต่ละวันประมาณ 1.8-2.6 ในขณะที่โหลดของเครื่องทำความเย็นมีความผันผวนระหว่าง 186-380 กิโลวัตต์ ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนโหลดที่มีค่า 0.4–0.8 (X. Xie, and Y. Jiang, 2015) [8] ศึกษาเปรียบเทียบระบบทำความเย็นแบบระเหยทางอ้อม (Indirect evaporative cooling system; IEC) 2 ชนิด เพื่อผลิตน้ำเย็น (Chiller) และเพื่อผลิตอากาศเย็น (Air cooled chiller) และทดสอบหา COP ของระบบ IEC Chiller ร่วมกับ IEC air cooled chiller เพื่อเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้า และค่า COP ของระบบ Chiller เพื่อผลิตน้ำเย็น และเพื่อผลิตอากาศเย็นพบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบมีค่าอยู่ที่ 5.005 และ 2.405 กิโลวัตต์ สำหรับค่า COP ของระบบ Chiller มีค่าอยู่ที่ 5.93 และ 4.16 ตามลำดับ นอกจากนี้ทำการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในอาคาร ในกรณีผลิตน้ำเย็นที่มีเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมเย็นที่ผลิตได้จะมีค่าประมาณ 19-20 องศาเซลเซียส ในส่วนของระบบ air cooled chiller ที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมเย็นที่ผลิตได้จะมีค่าประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส

จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าเครื่องน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ทำความเย็นในโรงเรือน และสามารถใช้ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบระเหย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาศักยภาพการทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบที่ตั้งอยู่พื้นที่ราบในจังหวัดเชียงใหม่ โดยในโรงเรือนมีการใช้งานระบบทำความเย็นแบบระเหย และนำระบบทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศมาใช้งานร่วมกัน เพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนให้ใกล้เคียงกับความต้องการของต้นสตรอว์เบอร์รี่มากที่สุด นอกจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์พลังงานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ เป็นแนวทางในการประเมินความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาศักยภาพของการใช้งานระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศภายในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่

2. เพื่อประเมินทางเศรษฐศาสตร์พลังงานรวมทั้งประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนของการใช้งานระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศภายในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาได้ดำเนินการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ด้วยไหลในโรงเรือน ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงเดือนมีนาคม 2565 ซึ่งเป็นช่วงเวลาฤดูในการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ ภายใต้สภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ โรงเรือนต้นแบบในการศึกษางานวิจัย เป็นโรงเรือนแบบหลังคาโค้งแบบหลังคาครึ่งทรงกลม คลุมโรงเรือนด้วยพลาสติกพอลิเอธิลีน (Polyethylene) โรงเรือนมีความกว้าง 12 เมตร ยาว 40 เมตร และสูง 6 เมตร วางตัวในทิศเหนือ-ใต้ ตั้งอยู่ ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

(ก) ทิศเหนือ (ข) ทิศใต้

(ค) ด้านข้างโรงเรือน

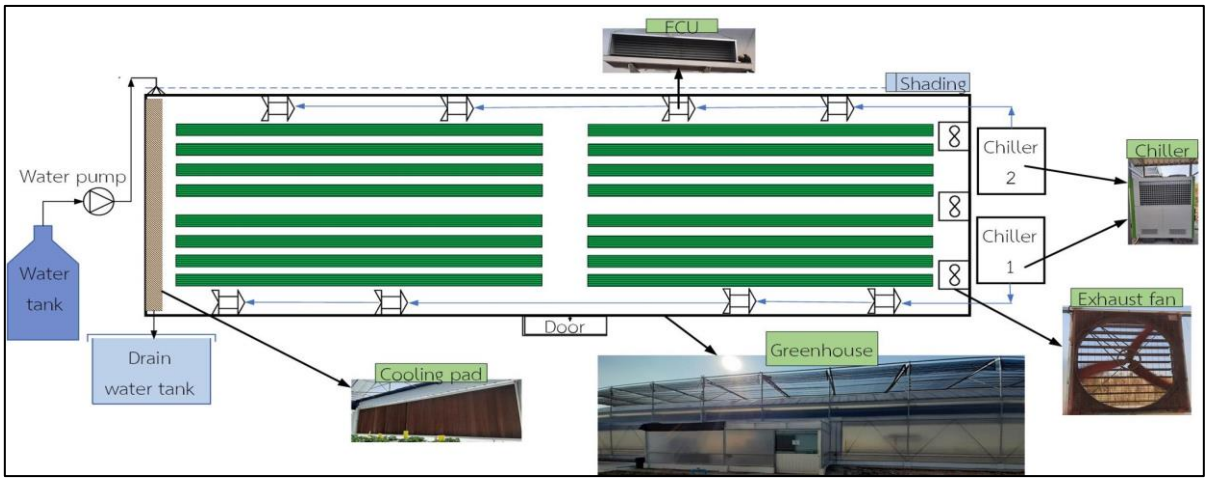
รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบ

(ก) ด้านพัดลมดูดอากาศ (Exhaust fan) (ข) ด้านแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad)

รูปที่ 2 ลักษณะภายในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบ

จากรูปที่ 1–2 แสดงลักษณะโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบสำหรับใช้ในการศึกษา โดยการวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาในโรงเรือนปลูกพืชที่มีการติดตั้งระบบทำความเย็นที่ใช้ 2 ระบบ คือ ระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยมีอุปกรณ์หลักในการทำงาน คือ ปั๊มน้ำ (Water pump) กำลังไฟฟ้า 0.75 กิโลวัตต์ จำนวน 1 เครื่อง พัดลมดูดอากาศ (Exhaust fan) กำลังไฟฟ้า 1.1 กิโลวัตต์ จำนวน 3 เครื่อง และพัดลมระบายอากาศ (Ventilation fan) กำลังไฟฟ้า 0.12 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง เพื่อให้อากาศไหลเวียนในโรงเรือน และระบบทำความเย็นแบบระบบทำน้ำเย็นที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยมีอุปกรณ์หลักในการทำงาน คือ เครื่องชิลเลอร์ (Chiller) ชนิดที่มีการระบายความร้อนด้วย

อากาศ (Air cooled) มีพิกัดการทำความเย็น 33.8 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง และเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็ก (Fan coil unit; FCU) จำนวน 8 เครื่อง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพองค์ประกอบของระบบทำความเย็นภายในโรงเรือนสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบ

ในการดำเนินวิจัยมีการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ทำการศึกษาศักยภาพการใช้งานระบบทำความเย็นภายในโรงเรือนสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบ โดยการใช้งานของระบบทำความเย็นจะใช้งาน 2 รูปแบบขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน ได้แก่ รูปแบบที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบระเหยทำงานเพียงระบบเดียว (Evaporative cooling system; EV) ทำโดยการตั้งค่าระบบ Auto สำหรับการเปิดใช้งานพัดลมดูดอากาศ คือ เมื่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส พัดลมดูดอากาศตัวที่ 2 โดยจะทำงาน เมื่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส พัดลมดูดอากาศตัวที่ 1 และ 2 จะทำงาน และเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส พัดลมดูดอากาศตัวที่ 1 2 และ 3 จะทำงาน จากนั้นได้ตั้งค่าระบบ Auto สำหรับปั๊มน้ำเพื่อส่งจ่ายน้ำไปยังแผ่นระเหยน้ำโดยจะทำงานเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 26 องศาเซลเซียส และหยุดทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรูปแบบที่ 2 จะทำงานโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบทำความเย็นแบบระบบทำน้ำเย็น (Evaporative cooling system combined with chiller system; EV+CH) โดยตั้งค่าระบบ Auto สำหรับการเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบระเหย ตามรูปแบบการทำงานที่ 1 ร่วมกับการทำงานของระบบทำน้ำเย็นโดยการเปิดใช้งาน แต่เงื่อนไขการทำงานจะเริ่มเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส โดยหลังจากเปิดใช้งานแล้วระบบทำน้ำเย็นทำงานต่อเนื่องจนกระทั่งเวลา 18.00 น. จึงทำการปิดระบบทำน้ำเย็น

ในแต่ละวันการเก็บข้อมูลจะบันทึกทุก ๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 18.00 น. โดยข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนต้นแบบ และ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม โดยใช้เครื่อง Temperature and humidity data logger (ยี่ห้อ TENMARS รุ่น TM-305U, Resolution : temperature 0.1 องศาเซลเซียส humidity 0.1 เปอร์เซ็นต์) และบันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนโดยใช้เครื่อง Pyranometer (Model Apogee SP-110) โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (GRAPHTEC midi LOGGER รุ่น GL240, Voltage : 20 มิลลิโวลต์ - 100 โวลต์, Resolution: 16 บิต) โดยค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เก็บข้อมูลใจแต่ละวันจะนำมาหาค่าเฉลี่ยรายวันและรายเดือนเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทำงานของระบบ นอกจากนั้นทำตรวจวัดการใช้พลังงาน (Energy consumption) ของระบบทำความเย็นที่ประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าของพัดลมดูดอากาศ และกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำ และสำหรับรูปแบบทำงานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH ตัวแปรที่เก็บเพิ่มเติม ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของเครื่องชิลเลอร์ โดยใช้เครื่อง Digital power clamp meter (ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT231, Accuracy : ± 1–3 เปอร์เซ็นต์) ซึ่ง

ค่าที่ได้นำมาใช้เพื่อประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และประเมินหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance; COP) ของระบบทำความเย็น ดังสมการที่ 1

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบระเหย สามารถหาจากสมการที่ (1) คือ ค่าความสามารถของการทำความเย็นต่อการใช้กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดของระบบทำความเย็น [3]

$$COP_{EV} = \frac{Q_{EV}}{P_{EV,net}} = \frac{\dot{m}_a \left(h_{i,pad} - h_{o,pad} \right)}{P_{pump} + P_{fan}} \quad (1)$$

เมื่อ COP_{EV} คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบระเหย
Q_{EV} คือ ความสามารถในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบระเหย (กิโลวัตต์)
$P_{EV,net}$ คือ กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ป้อนให้แก่ระบบทำความเย็นแบบระเหย (กิโลวัตต์)
$\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลของอากาศแห้ง (กิโลกรัม$_{อากาศแห้ง}$ต่อวินาที)
$h_{i,pad}$ คือ เอนทาลปีของอากาศก่อนผ่านเข้าแผ่นระเหยน้ำเข้าสู่โรงเรือน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
$h_{o,pad}$ คือ เอนทาลปีของอากาศหลังผ่านออกแผ่นระเหยน้ำเข้าสู่โรงเรือน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
P_{pump} คือ กำลังไฟฟ้าปั๊มน้ำ (กิโลวัตต์)
P_{fan} คือ กำลังไฟฟ้าพัดลมดูดอากาศ (กิโลวัตต์)

สำหรับกรณีศึกษาระบบทำความเย็นแบบระบบทำน้ำเย็นที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ (EV+CH) ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบเครื่องทำน้ำเย็น แสดงในรูปแบบของค่า COP ของระบบ ซึ่งนิยามด้วยอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็ก ความหมายคือปริมาณความเย็นที่สามารถทำได้ ต่อกำลังไฟฟ้าที่ระบบใช้ [10–11] ตามสมการที่ (2)

$$COP_{EV+CH} = \frac{Q_{EV} + \dot{Q}_{CH}}{P_{EV,net} + P_{CH,net}} = \left[\frac{\dot{m}_a \left(h_i - h_o \right)}{P_{pump} + P_{fan}} \right] + \left[\frac{\dot{m}_a \left(h_{re} - h_{sup} \right)}{P_{comp}} \right] \quad (2)$$

เมื่อ COP_{CH} คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำน้ำเย็น
$\dot{Q}_{CH}$ คือ อัตราการทำความเย็นของระบบทำน้ำเย็น (กิโลวัตต์)
$\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลของอากาศแห้ง (กิโลกรัม$_{อากาศแห้ง}$ต่อวินาที)
h_{re} คือ เอนทาลปีของอากาศที่ลมกลับเข้าเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็ก (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
h_{sup} คือ เอนทาลปีของอากาศที่ลมจ่ายออกจากเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็ก (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
$P_{CH,net}$ คือ กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ป้อนให้แก่ระบบทำน้ำเย็น (กิโลวัตต์)
P_{comp} คือ ความต้องการไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็น (กิโลวัตต์)

สำหรับการศึกษาส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้านพลังงานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบ เพื่อการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือน โดยทำการแบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดู (In season) กรณีที่ 2 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดูและเพิ่มรางปลูก (In season and add a bench) กรณีที่ 3 เพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ (Two crops/year) และกรณีที่ 4 เพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่และเพิ่มรางปลูก (Two crops/year and add a bench) โดยการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนต้นแบบ และประเมินผลความคุ้มค่าในการลงทุน ประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุน (Payback

period; PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return; IRR) และการวิเคราะห์ต้นทุนทางพลังงานของระบบทำความเย็น รายละเอียดการวิเคราะห์ [12] ตามสมการที่ (3)–(5)

PB = มูลค่าในการลงทุนรวม ÷ ผลตอบแทนสุทธิสะสมรายปี (3)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลบวกของรายรับทั้งหมด และรายจ่ายทั้งหมดที่ได้จากโครงการโดยจะต้องมีการปรับค่าทุกค่ามาที่เวลาปัจจุบัน ตามสมการที่ (4)

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC \quad (4)$$

เมื่อ R_n คือ ผลตอบแทนในปีที่ n (บาท)

C_n คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (บาท)

N คือ ระยะเวลาโครงการ

i คือ อัตราส่วนลด (Discount rate) หรือ อัตราดอกเบี้ย (Interest)

TIC คือ เงินลงทุนทั้งหมด ณ เวลาปัจจุบัน (Total investment cost)

อัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิที่ได้จากค่าตอบแทนการลงทุนมีค่าเป็นศูนย์ โดยการสมมติ ค่า IRR หรือ i ที่ทำให้ค่า NPV = 0 สามารถคำนวณ ตามสมการที่ (5)

$$\sum_{n=0}^{N} \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad (5)$$

4. ผลการวิจัย

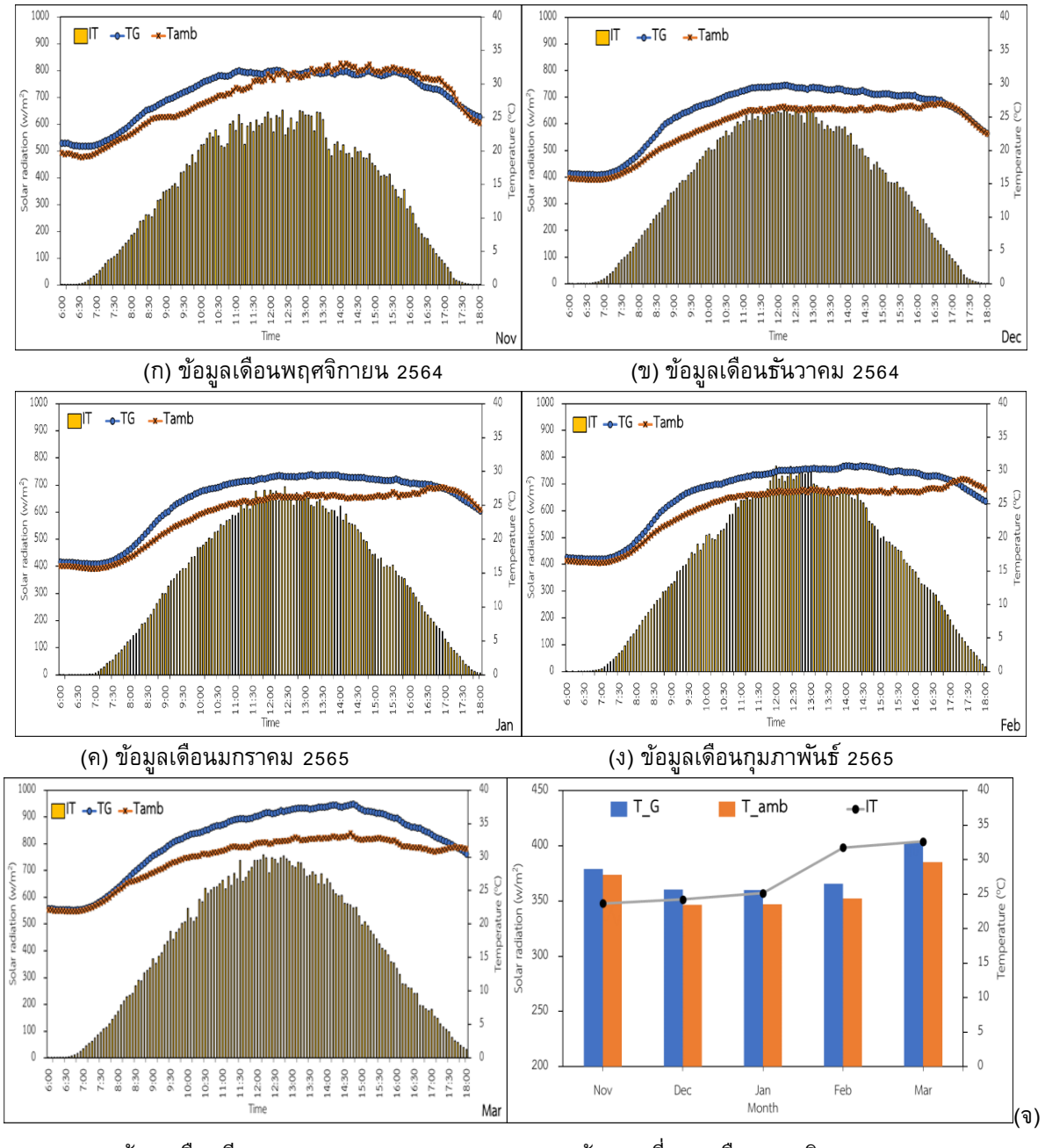
4.1 ผลการศึกษาศักยภาพของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนต้นแบบ

รูปที่ 4 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในโรงเรือน อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนโดยเริ่มตั้งแต่ระยะเพาะปลูกโดยใช้ไหล จนถึงช่วงเวลาเก็บผลผลิตสตรอว์เบอร์รี่ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนมีนาคม 2565

จากรูปที่ 4 (ก) - (ฉ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน (T_G) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{amb}) และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (I_T) ในช่วงเวลาตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. ในแต่ละเดือนที่ทำการศึกษาพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนจะสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเกือบทุกช่วงเวลาโดยเฉพาะในช่วงกลางวัน ซึ่งเป็นผลมาจากการสะสมความร้อนจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านสู่โรงเรือนที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของวันตั้งแต่ 600–700 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมตั้งแต่เดือนธันวาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวจะมีค่าตั้งแต่ 0–4 องศาเซลเซียส สำหรับในเดือนพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศน้อยกว่าเดือนอื่น ๆ ประมาณ 0–3 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นเดือนที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนธันวาคม 2564 ถึง เดือนมีนาคม 2565 และโดยเฉพาะช่วงเวลากลางวันหากมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สูง จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตาม เนื่องจากมีการสะสมความร้อนจากวัสดุคลุมโรงเรือน หรือโครงสร้างประกอบอื่น ๆ รวมทั้งปัจจัยสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงเวลาสำหรับเดือนมีนาคมเป็นช่วงปลายของการเพาะปลูก และเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนความแตกต่างอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน

และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเริ่มสูงขึ้นถึง 5 องศาเซลเซียส ทำให้บางช่วงเวลาระบบทำความเย็นมีการใช้งานในรูปแบบ EV+CH

เมื่อนำค่าอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน (T_G) และค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือน (RH_G) ของแต่ละเดือนมาเปรียบเทียบเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. ตลอดระยะเวลาการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5

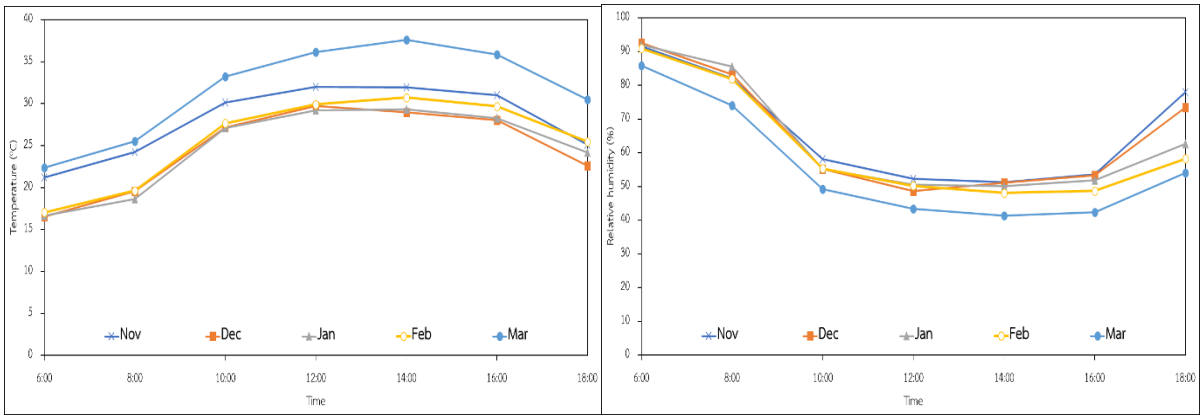


(ก) ข้อมูลเดือนพฤศจิกายน 2564 (ข) ข้อมูลเดือนธันวาคม 2564

(ค) ข้อมูลเดือนมกราคม 2565 (ง) ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2565

ข้อมูลเดือนมีนาคม 2565 (ฉ) ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึงเดือนมีนาคม 2565 (จ)

รูปที่ 4 ข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. และข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนมีนาคม 2565



(ก) อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน (ข) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือน

รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน และค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือน ในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 06.00 น. – 18.00 น. ตลอดช่วงเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนมีนาคม 2565

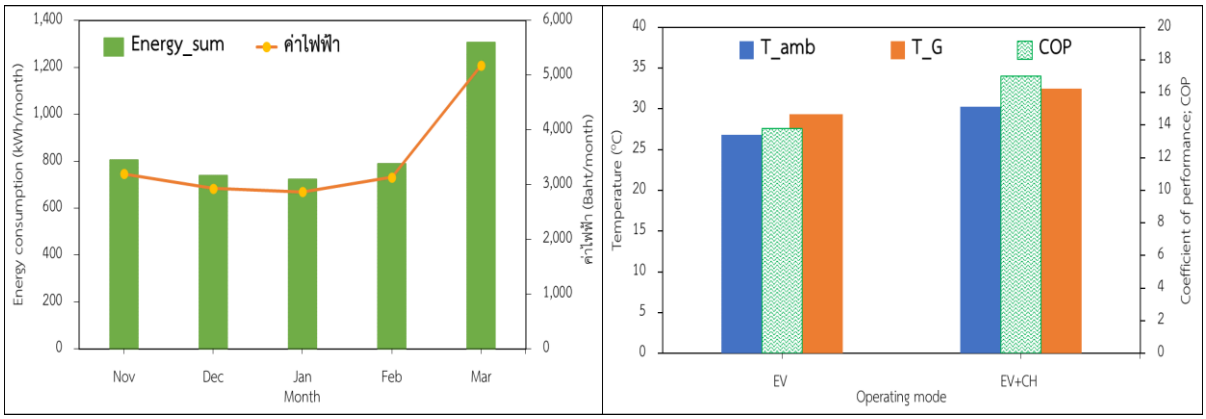
ในรูปที่ 5 (ก) แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนพบว่า ค่าเฉลี่ยในเดือนธันวาคม 2564 เดือนมกราคม 2565 และ เดือนกุมภาพันธ์ 2565 มีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีค่าที่ค่อนข้างต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนพฤศจิกายน 2564 และเดือนมีนาคม 2565 โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนมีค่าประมาณ 26–27 องศาเซลเซียส ณ เวลา 6.00 น. – 12.00 น. หลังจากนั้นช่วงเวลา 12.00 น. – 16.00 น. จะเริ่มสูงขึ้น 28–30 องศาเซลเซียส สำหรับเดือนพฤศจิกายน 2564 และ เดือนมีนาคม 2565 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่มีค่าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากเป็นช่วงต้นฤดูหนาว และเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อนตามลำดับ โดยในเดือนมีนาคม 2565 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด ณ ช่วงเวลา 14.00 น. ประมาณ 38 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 5 (ข) แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนพบว่า ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีลักษณะรูปแบบการเพิ่มขึ้น และลดลงในแต่ละช่วงเวลาที่คล้ายกัน ในช่วงเช้าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าค่อนข้างสูงประมาณ 80–90 เปอร์เซ็นต์ และเริ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นซึ่งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดประมาณ 45–55 เปอร์เซ็นต์ เดือนที่มีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนที่ค่อนข้างต่ำ คือ เดือนมีนาคม 2565 สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอีก 4 เดือนที่เหลือมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าเดือนมีนาคม 2565 ในทุกช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล ในการเก็บข้อมูลทั้ง 5 เดือน พบว่า เมื่อนำผลมาวิเคราะห์กับระดับความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่เหมาะสมของพืชโดยส่วนใหญ่ รวมทั้งสตรอว์เบอร์รี่พบว่า ต้องการค่าอยู่ที่ 70–80 เปอร์เซ็นต์ แต่ในการศึกษาอาจมีบางช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยเห็นได้ชัดเจนในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. – 16.00 น. ซึ่งอาจจะต้องหาวิธีเพิ่มความชื้นร่วมกับการทำความเย็นแบบระเหยและระบบทำน้ำเย็นด้วย

จากผลการศึกษาตลอดช่วงเวลาที่ทำการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส อาจมีการใช้งานของระบบทำความเย็นในรูปแบบ EV+CH ซึ่งทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และต้องทำการลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนให้ได้ตามความต้องการของต้นสตรอว์เบอร์รี่มากที่สุด เนื่องจากค่าอุณหภูมิอากาศที่ต้องการต้องต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจทำให้มีปัญหาต่อการติดดอก สอดคล้องกับการศึกษาของ (กรมวิชาการเกษตร, 2565) [13] ที่ทำการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพืชในโรงเรือนระบบปิดแบบอัจฉริยะ จากการทดสอบปลูกสตรอว์เบอร์รี่นอกฤดู ซึ่งทำการศึกษาในช่วงเดือนมิถุนายน 2563 ถึง เดือนมีนาคม 2564 สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนที่ใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH ไม่มีความเหมาะสมต่อการออกดอก และติดผลของสตรอว์เบอร์รี่ เนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการศึกษาของ ปรีดา นาเทเวศน์ และสิริวัฒน์ สาครวาสี, 2555 [14] ที่แสดงให้เห็นผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ว่ามีผล

ต่อการออกดอก และติดผลของสตรอว์เบอร์รี่ ทำให้จำนวนช่อดอกน้อย ช่อดอกไม่สม่ำเสมอ ติดผลน้อย ผลมีขนาดเล็ก นอกจากนี้เมื่อเวลากลางวันผลจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นตามชั่วโมงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน มีผลมาจากผนังโรงเรือน หลังคาโรงเรือน พื้น และอากาศที่รั่วผ่านเข้ามาในโรงเรือน

จากนั้นทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็น (Energy consumption) มาใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพการใช้งานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือน และหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance; COP) ของระบบทำความเย็น ดังแสดงรูปที่ 6



(ก) พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าในระบบทำความเย็น (ข) การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ และค่า COP ในแต่ละรูปแบบการใช้งานของระบบทำความเย็น

รูปที่ 6 พลังงานไฟฟ้า ค่าไฟฟ้าในระบบทำความเย็น ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนมีนาคม 2565 ที่มีการเพาะปลูกใสตรอว์เบอร์รี่ในฤดูกาล และการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ และค่า COP ในแต่ละรูปแบบการใช้งานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนต้นแบบ

จากรูปที่ 6 (ก) แสดงความสัมพันธ์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็น ในโรงเรือนต้นแบบพบว่า ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2565 มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นรวมที่ใกล้เคียงกันอยู่ที่ 806 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน 739 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน 722 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน และ 791 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน ตามลำดับ ซึ่งเดือนที่มีค่าสูงที่สุด คือ เดือนมีนาคม 2565 มีค่าเท่ากับ 1,306 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน เนื่องจากมีช่วงบางวันของเดือนดังกล่าว มีการเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH มากกว่าเดือนอื่น ๆ ซึ่งในตลอดช่วงระยะเวลาการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือนต้นแบบมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4,365 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อรอบเพาะปลูก คิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 17,329 บาทต่อรอบเพาะปลูก

ในรูปที่ 6(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance; COP) ของระบบทำความเย็นในแต่ละรูปแบบการใช้งานที่ใช้ในโรงเรือนต้นแบบ โดยจะใช้งาน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบระเหยทำงานเพียงระบบเดียว (Evaporative cooling system; EV) และรูปแบบที่ 2 จะทำงานโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบทำความเย็นแบบระบบทำน้ำเย็น (Evaporative cooling system combined with chiller system; EV+CH) โดยเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน (T_G) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{amb}) จากตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 6.00 น. – 18.00 น. ซึ่งข้อมูลที่ทำการศึกษาสำหรับการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV เป็นข้อมูลของวันที่ 6 มีนาคม 2565 พบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม มีค่าอยู่ที่ 29 และ 27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลที่ทำการศึกษาสำหรับการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH ซึ่งเป็นข้อมูลของวันที่ 22 มีนาคม 2565 พบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน และ

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม มีค่าอยู่ที่ 33 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส จึงต้องมีการเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเย็น และช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน โดยผลต่างของอุณหภูมิอากาศสำหรับการใช้งานระบบทำความเย็นทั้ง 2 รูปแบบ มีค่าอยู่ที่ประมาณ 2–3 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาพบว่าค่า COP ของการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH มีค่าอยู่ที่ 17 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV ที่มีค่าอยู่ที่ 14 โดยค่าที่ได้มีความใกล้เคียงจากการศึกษาของ O. Amer, et al., 2015 [6] ที่มีศึกษาการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ (EV) โดยค่า COP ของระบบทำความเย็นที่ได้มีค่าอยู่ที่ 15–20 นอกจากนี้ในการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH ซึ่งมีการแบ่งเป็นค่า COP ของระบบทำความเย็นแบบ EV ที่มีค่าอยู่ที่ประมาณ 15.86 และค่า COP ของระบบทำความเย็นแบบ CH ที่มีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.14 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ F.W. Yu, and K.T. Chan, 2006 [7] ที่มีการศึกษาการใช้งานเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (CH) ที่อุณหภูมิกลั่นตัวต่ำ โดยมีค่า COP ของระบบทำความเย็นอยู่ที่ 1.8–2.6 โดยค่า COP ของระบบทำความเย็น คือ อัตราส่วนพลังงานระหว่างความสามารถในการทำความเย็นสุทธิต่อการใช้พลังงานในระบบทำความเย็น ซึ่งสามารถใช้แสดงถึงความสามารถในการทำความเย็น หรือความสามารถในการช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนต้นแบบที่ทำการศึกษา

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พลังงานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบ

เพื่อการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือน โดยแบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดู (In season) ทำการประเมินค่าช่วงเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนมีนาคม 2565 เป็นกรณีที่มีการใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงการผลิตสตรอว์เบอร์รี่โดยใช้ไหลปลูก พร้อมตั้งสมมติฐานในส่วนรายรับ โดยทำการประเมินและเปรียบเทียบเพื่อหารายได้จากผลผลิตสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือนที่มีการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย จะมีจำนวนผลผลิตสตรอว์เบอร์รี่คิดเป็นประมาณ 82.42 กรัม/ต้น [14]

สำหรับกรณีที่ 2-4 เป็นกรณีที่มีการใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในส่วนที่ 1 ร่วมกับการกำหนดเงื่อนไขและสมมติฐานเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มแนวทางในการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์พลังงานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือน โดยในกรณีที่ 2 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดูและเพิ่มรางปลูก (In season and add a bench) ทำการประเมินโดยเพิ่มรางปลูกเพิ่มเติม ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ได้แก่ วัสดุปลูก ไหลสตรอว์เบอร์รี่ และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มรางปลูก โดยทำการเพิ่มรางปลูกจากเดิม16 แถว เป็น 32 แถว และในส่วนรายรับที่ได้ให้มีค่าเพิ่มเป็น 1 เท่า จากกรณีที่ 1 สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 เพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ (Two crops/year) ทำการประเมินโดยเพิ่มรอบการเพาะปลูกต่อปีจากเดิมที่มีการปลูกในฤดู ได้เพิ่มการปลูกนอกฤดู มีการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมในส่วนค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือน โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าในฤดูให้มีค่าสอดคล้องตามกรณีที่ 1 สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้านอกฤดู ทำการตั้งสมมติฐานให้คิดค่าการใช้พลังงานจากรูปแบบการทำงานของระบบทำความเย็นแบบระเหย (EV) ร่วมกับระบบทำน้ำเย็น (CH) เนื่องจากช่วงเดือนที่ทำการเพาะปลูกนอกฤดู คือ ช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนตุลาคม (กรมวิชาการเกษตร, 2565) [13] อุณหภูมิอากาศในโรงเรือนโดยเฉลี่ยมีค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าช่วงเวลาการเพาะปลูกในฤดู ซึ่งจากการประเมินพลังงานไฟฟ้า จากการศึกษาของ T. Janchoke, and S. Mongkon, 2023 [16] พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนที่ใช้ EV ร่วมกับ CH มีค่าอยู่ที่ประมาณ 187 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ในส่วนค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม คือ วัสดุปลูก และสำหรับรายรับที่ได้ในฤดูให้มีค่าสอดคล้องตามกรณีที่ 1 ส่วนนอกฤดูทำการประเมิน และเปรียบเทียบจาก (กรมวิชาการเกษตร, 2565) [13] การทดสอบปลูกสตรอว์เบอร์รี่นอกฤดูในสภาพโรงเรือนระบบปิดที่มีการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย และระบบทำน้ำเย็น ซึ่งมีจำนวนผลผลิตสตรอว์เบอร์รี่คิดเป็นประมาณ 68.8 กรัม/ต้น [13]

ในกรณีที่ 4 เพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่และเพิ่มรางปลูก (Two crops/year and add a bench) ทำการประเมินโดยเพิ่มรอบการเพาะปลูกต่อปี และเพิ่มรางปลูก มีการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมเป็นช่วงการผลิตสตรอว์เบอร์รี่ในส่วนค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม คือ วัสดุปลูกเพิ่มเป็น 2 เท่าจากกรณีที่ 2 และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มรางปลูกให้มีค่าสอดคล้องตามกรณีที่ 2 ในส่วนค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนให้มีค่าสอดคล้องตามกรณีที่ 3 และสำหรับรายรับที่ได้จากผลผลิตสตรอว์เบอร์รี่ ประเมินได้จากผลรวมของรายรับที่ได้ในฤดู โดยให้มีค่าสอดคล้องตามกรณีที่ 2 และที่ได้นอกฤดูให้มีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า จากกรณีที่ 3

ในการพิจารณาต้นทุนสำหรับการปลูกพืชสตรอว์เบอร์ในโรงเรือน แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย รายจ่าย รายรับ และต้นทุนการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในแต่ละกรณี แสดงตามตารางที่ 1–2 โดยแบ่งการวิเคราะห์ตามกรณีที่ทำการประเมินทั้งหมด 4 กรณี

ตารางที่ 1 รายจ่ายและรายรับการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในแต่ละกรณี

รายละเอียด	กรณีที่1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
พลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี)	4,365	4,365	32,415	32,415
ค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (บาทต่อปี)	17,329	17,329	128,687	128,687
ราคาไหลสตรอว์เบอร์รี่ (บาท/ต้น)	6	6	6	6
จำนวนไหลรวม (ต้น)	2,590	5,180	5,180	10,360
ค่าไหลสตรอว์เบอร์รี่รวม (บาทต่อปี)	15,540	31,080	31,080	62,160
ค่าวัสดุปลูก[1] (บาทต่อปี)	15,546	31,092	31,092	62,184
ค่าน้ำ และปุ๋ย (บาทต่อปี)	31,286	64,372	65,792	131,585
รายจ่ายในการดำเนินงานรวม (บาทต่อปี)	79,701	142,073	256,653	384,618
ค่าอุปกรณ์รางปลูก[2] (บาท)	-	64,256	-	64,256
ค่าระบบทำความเย็นรวม[3] (บาท)	428,900	428,900	428,900	428,900
รายจ่ายในการลงทุนรวม (บาท)	428,900	493,156	428,900	493,156
รวมรายจ่ายทั้งหมด (บาท)	508,601	635,229	685,553	877,774
ผลผลิตเฉลี่ยรวม (กิโลกรัม)	213.50	427	391	783
ราคาสตรอว์เบอร์รี่ในฤดู[4] (บาทต่อกิโลกรัม)	120	120	120	120
ราคาสตรอว์เบอร์รี่นอกฤดู[4] (บาทต่อกิโลกรัม)	-	-	400	400
รวมรายรับทั้งหมด (บาทต่อปี)	25,620	51,240	96,900	193,800

หมายเหตุ: [1]วัสดุปลูก ประกอบด้วย (ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ และแกลบดำ),
[2]อุปกรณ์รางปลูก ประกอบด้วย (พลาสติกดำ ผ้าป่าน ท่อหยดน้ำ ท่อเหล็กกลม และข้อต่อ),
[3]ระบบทำความเย็น คือ ระบบทำความเย็นแบบระเหย และระบบทำน้ำเย็นที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ,
[4]ราคาผลผลิตสตรอว์เบอร์รี่ใน และนอกฤดู คือ 120 และ 400 บาทต่อกิโลกรัม [13],
ค่าไฟฟ้า 3.97 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง [17], ค่าน้ำดิบ 5 บาทต่อหน่วย [18]

http://jeet.siamtechu.net

ตารางที่ 2 ต้นทุนการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในแต่ละกรณี

รายละเอียด	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
ต้นทุนทั้งหมดเฉลี่ย (บาท)	508,601	635,229	685,553	877,774
ต้นทุนต่อกิโลกรัม (บาทต่อกิโลกรัม)	2,382	1,487	1,750	1,120
SEC (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)	20.45	10.22	82.75	41.37
เป็นเงิน (บาทต่อกิโลกรัม)	81	40	328	164

หมายเหตุ: Specific Energy Consumption (SEC) คือการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อการผลิต ในหน่วยของกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม

จากตารางที่ 1 รายจ่าย และรายรับการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในแต่ละกรณี โดยมีการตั้งสมมติฐานเพิ่มเติม เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละกรณี โดยการเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ในกรณีที่ 1 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดู และกรณีที่ 2 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดูและเพิ่มรางปลูก กำหนดให้มีการตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมให้มีการออกแบบรางปลูกในกรณีที่ 2 เพื่อให้พืชสามารถรักษาอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือน รวมทั้งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชไว้ได้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับในกรณีที่ 1 รวมทั้งการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นมีการกำหนดให้ทั้ง 2 กรณีทำการเพาะปลูกในช่วงเดือนเดียวกัน คือ การปลูกในฤดูเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ ซึ่งมีการเลือกใช้รูปแบบการใช้งานของระบบทำความเย็นในรูปแบบเดียวกัน ส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่เท่ากัน ซึ่งเป็นการกำหนดให้ปัจจัยที่กล่าวไว้ข้างต้นไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ สำหรับการเพิ่มจำนวนไหลสตรอว์เบอร์รี่ที่ใช้ในการเพาะปลูกในกรณีที่ 2 เนื่องจากมีการเพิ่มรางปลูกเป็นการกำหนดให้ในกรณีที่ 2 มีปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น 1 เท่าจากกรณีที่ 1

จากตารางที่ 2 แสดงต้นทุนการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในแต่ละกรณี โดยค่าต้นทุนต่อกิโลกรัม ซึ่งวิเคราะห์จากผลรวมของรายจ่ายทั้งหมดที่ได้จากการดำเนินงาน และการลงทุนในการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ ต่อ น้ำหนักของผลผลิตสตรอว์เบอร์รี่ที่ได้พบว่า ค่าต้นทุนต่อกิโลกรัมในกรณีที่ต่ำที่สุด คือ กรณีที่ 4 เพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่และเพิ่มรางปลูก เท่ากับ 1,120 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้มีความเหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด เนื่องจากเป็นกรณีที่ต้นทุนการเพาะปลูก ต่อผลผลิตที่ได้มีค่าต่ำที่สุด และถึงแม้จะเป็นกรณีที่ใช้ต้นทุนการผลิตที่สูง แต่เมื่อคำนึงถึงผลผลิตที่ได้ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตให้ได้ในปริมาณที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ๆ และเมื่อผลผลิตที่ได้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้จำนวนรายรับที่ได้เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ลำดับถัดมาได้แก่ กรณีที่ 2 กรณีที่ 3 โดยมีค่า 1,487 บาทต่อกิโลกรัม และ 1,750 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ 1 มีต้นทุนสูงที่สุดเท่ากับ 2,382 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงเป็น 2 เท่าของกรณีที่ 4 เนื่องจากการวิเคราะห์ในรอบ 1 ปีที่ทำการเพาะปลูก โดยปริมาณผลผลิตที่ได้ในกรณีที่ 1 มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 4 ประมาณ 4 เท่า เนื่องจากกรณีที่ 4 มีการเพิ่มรอบการเพาะปลูกเป็น 2 รอบต่อปี ในขณะที่กรณีที่ 1 ให้ผลผลิตเพียงแค่ 1 รอบต่อปี รวมทั้งในกรณีที่ 4 มีการเพิ่มพื้นที่ในการเพาะปลูกโดยการเพิ่มรางปลูกในโรงเรือน ทำให้ผลผลิตที่ได้มีเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เป็นการเพิ่มจำนวนเงินที่ได้เนื่องจากราคาผลผลิตในช่วงนอกฤดูมีค่าที่สูงกว่าในฤดู ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนที่มาจากการลงทุนในส่วนของระบบทำความเย็น ซึ่งเป็นการลงทุนที่มีมูลค่าที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการเพิ่มผลผลิต และเพิ่มรายรับที่ได้ จึงจะสามารถลดระยะเวลาคืนทุนได้สั้นที่สุด ซึ่งจากการวิเคราะห์ดังกล่าวส่งผลให้กรณีที่ 1 อาจไม่เหมาะสมต่อการลงทุนมากในกรณีการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือนที่มีการใช้ระบบทำความเย็นที่ทำการศึกษา ในส่วนการวิเคราะห์ค่า Specific Energy Consumption (SEC) คือการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อการผลิต ซึ่งจากกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 เป็นกรณีที่ทำการเพาะปลูก 1 รอบต่อปี ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี) ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 3 และ กรณีที่ 4 ที่ทำการเพาะปลูก 2 รอบต่อปี ซึ่งการเพิ่มจำนวนรอบที่ทำการเพาะปลูกใน 1 ปี มีผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพาะปลูกในช่วงนอกฤดูจำเป็นต้องมีการเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบร่วมกัน (EV+CH) เมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะปลูกในฤดูที่มีการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยเพียงอย่างเดียว (EV) ส่งผลให้การใช้

พลังงานไฟฟ้าในช่วงนอกฤดูการเพาะปลูกมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มการใช้งานของระบบทำน้ำเย็น ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบร่วมกัน EV+CH มีค่ามากกว่าประมาณ 4 เท่าสำหรับการเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบระเหยเพียงอย่างเดียว EV ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าค่า SEC ในกรณีที่ต่ำที่สุด และสูงที่สุด ได้แก่ กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 มีค่าอยู่ที่ 10.22 และ 82.75 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

หลังการวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับการปลูกพืชสตรอว์เบอร์ในโรงเรือนที่มีการใช้ระบบทำความเย็น นำผลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้านพลังงานของระบบทำความเย็น ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุน (Payback period; PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return; IRR) โดยแบ่งตามกรณีที่ทำการประเมินทั้งหมด 4 กรณี ผลแสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ด้านพลังงานของการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในแต่ละกรณี

กรณี	PB	NPV (บาท)	IRR (เปอร์เซ็นต์)
กรณีที่ 1 ปลูกในฤดู	19 ปี 10 เดือน	-272,280	-4.11
กรณีที่ 2 ปลูกในฤดู และเพิ่มรางปลูก	12 ปี 5 เดือน	-162,587	2.49
กรณีที่ 3 เพิ่มรอบการปลูก	7 ปี 1 เดือน	208,261	11.28
กรณีที่ 4 เพิ่มรอบการปลูก และเพิ่มรางปลูก	4 ปี 6 เดือน	909,854	20.78

หมายเหตุ: ดอกเบี้ยเท่ากับ 6.8 เปอร์เซ็นต์ [19], อายุโครงการเท่ากับ 15 ปี (คิดตามอายุการใช้งานเครื่องชิลเลอร์) [20]

ในการประเมินต้นทุนด้านพลังงานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือน ซึ่งพลังงานไฟฟ้ารวมในกรณีที่ 1 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดู และกรณีที่ 2 ปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในฤดูและเพิ่มรางปลูก มีค่าเท่ากันอยู่ที่ 4,365 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ส่วนในกรณีที่ 3 เพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ (2 crops/year) และกรณีที่ 4 เพิ่มรอบเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่และเพิ่มรางปลูก มีค่าเท่ากันอยู่ที่ 32,415 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ตามลำดับ หลังจากนั้นวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์พลังงานของระบบทำความเย็นในการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในแต่ละกรณี เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน พบว่า กรณีที่ 4 เพิ่มรอบการปลูกและเพิ่มรางปลูก มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือนต้นแบบมากที่สุด เนื่องจากมีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV เท่ากับ 909,854 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่า โครงการนี้เหมาะสมในการลงทุน ควรเลือกสำหรับลงทุนในอนาคต นอกจากนี้กรณีที่ 4 ยังมีค่า IRR เท่ากับ 20.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยที่ใช้ประเมิน โดยในงานวิจัยนี้กำหนดค่าอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 6.8 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นถึงการที่โครงการนั้นเหมาะสมในการลงทุน นอกจากนั้นจากการประเมินพบว่า มีระยะเวลาคืนทุน (PB) มีค่า 4 ปี 6 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่สามารถคืนทุนหรือได้เงินที่ลงทุนไปกลับคืนมาในระยะเวลาสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ๆ กรณีที่ 4 จึงเป็นกรณีที่น่าลงทุนมากที่สุด สำหรับในกรณีอื่น ๆ พบว่า มีกรณีที่ 3 อีกกรณีที่ให้ค่า NPV เป็นบวก และมีค่า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ย ซึ่งเป็นอีกทางเลือกที่น่าลงทุนแต่มีค่าระยะเวลาคืนทุนนานขึ้นมากกว่ากรณีที่ 4 ประมาณ 3 ปี สำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ให้ค่า NPV ติดลบซึ่งหมายความว่าโครงการไม่น่าลงทุน และมีค่า IRR น้อยกว่าอัตราดอกเบี้ยที่ใช้ประเมิน

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการใช้งานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ต้นแบบรวมทั้งวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พลังงาน โดยเริ่มตั้งแต่ระยะเพาะปลูกโดยใช้ไหลจนถึงช่วงเวลาเก็บผลผลิต ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนมีนาคม 2565 พบว่า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (I_T) ในแต่ละเดือนที่ทำการศึกษา ในช่วงเวลาตั้งแต่ 6.00 น. – 18.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของวันอยู่ที่ระหว่าง 600–700 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสำหรับการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 26–32 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่

ละเดือน แต่ช่วงกลางฤดูเพาะปลูกเช่นในเดือนธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์ จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในโรงเรือนที่ใกล้เคียงกัน ทำให้การทำความเย็นในโรงเรือนใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย (EV) เป็นหลัก สำหรับช่วงเดือนมีนาคม 2565 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนมีค่าที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนอื่นๆ ที่ทำการศึกษา จึงมีบางวันที่ทำการเปิดการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH เพื่อช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนและพบว่า ทำให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนลดลงโดยมีค่าตั้งแต่ 22-38 องศาเซลเซียส อย่างไรการใช้ระบบทำความเย็นแบบ EV+CH ยังไม่สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนได้ตามความต้องการได้ทุกช่วงเวลาให้ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสม สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นในตลอดช่วงระยะเวลาการเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือนต้นแบบ มีค่าพลังงานไฟฟ้าจากระบบทำความเย็นรวมทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 17,329 บาทต่อรอบการเพาะปลูก สำหรับค่า COP ของระบบทำความเย็นในแต่ละรูปแบบการใช้งานพบว่าค่า COP ของการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV+CH มีค่าอยู่ที่ 17 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้งานระบบทำความเย็นแบบ EV ที่มีค่าอยู่ที่ 14 สำหรับการประเมินต้นทุนด้านพลังงานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโรงเรือนพบว่า กรณีที่ 4 มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกสตรอว์เบอร์รี่ในโรงเรือนต้นแบบ เนื่องจากมีค่า NPV เป็นบวกและสูงกว่ากรณีอื่น ๆ นอกจากนี้มีค่า IRR สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยที่กำหนด แสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด

6. ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาต่อควรมีการศึกษาความสามารถของระบบทำความเย็นที่มีความเหมาะสมกับขนาดของโรงเรือนที่มีขนาดใหญ่ที่ใช้เพาะปลูกเชิงพาณิชย์ พร้อมทั้งศึกษารูปแบบการกระจายตัวของอากาศในโรงเรือนเนื่องจากมีแหล่งผลิตอากาศเย็นสองแหล่งทั้งระบบทำความเย็นแบบระเหย และจากตัวส่งลมเย็นของระบบทำน้ำเย็น

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการสนับสนุนทุนในการศึกษา “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” ประจำปีการศึกษา 2563 ขอขอบคุณสำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับการสนับสนุน “ทุนนักศึกษาเรียนดี” ในโครงการทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2563 และขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สำหรับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย “โครงการทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)” ประจำปี 2565 รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (SEEU) ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในทุกด้าน

8. เอกสารอ้างอิง

[1] นำโชค บุญมี, พัฒนา สุขประเสริฐ, สุวิสา พัฒนเกียรติ และ ศิรส ทองเชื้อ, “ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการปลูกสตรอว์เบอร์รี่อย่างยั่งยืนของเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่”, *Journal of Agriculture, CMU*, 37(3), 2564, pp. 327–336.

[2] ชัยวัฒน์ ยิ้มช้าง. (2566, มิถุนายน. 18). ระบบการทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://ph02.tci- thaijo.org/index.php/JSTNSRU/article/view/25459/21632

[3] ภานุวิชญ์ พุทธรักษา และ สุลักษณา มงคล. “การเพิ่มศักยภาพการทำความเย็นบริเวณทรงพุ่มสตรอว์เบอร์รี่โดยการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับการบังคับทิศทางอากาศใต้รางปลูกและท่อน้ำเย็น”. *The 13th International Conference on Ecomaterials 2017 (ICEM13)*. pp. 152-158. 2560.

[4] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2566, มิถุนายน. 12). ภูมิอากาศจังหวัดเชียงใหม่, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://climate.tmd.go.th/data/province/เหนือ/ภูมิอากาศเชียงใหม่.pdf

[5] P. W. Sunu, D. A. Simon, I. M. Rasta, Y. B. Lukiyanto, I. D. M. Susila, and I. K. Suarsana, “Effect of Various Superheat Condition on Working Condition of Air Cooled Chiller”. *International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*. 2018.

[6] O. Amer, R. Boukhanouf, and H. G. Ibrahim, “A Review of Evaporative Cooling Technologies”, *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(2), 2015, pp. 111-117.

[7] F.W. Yu, and K.T. Chan, “Tune up of the set point of condensing temperature for more energy efficient air cooled chillers”, *Energy Conversion and Management*, 47, 2006, pp. 2499–2514.

[8] X. Xie, and Y. Jiang, “Comparison of Two Kinds of Indirect Evaporative Cooling System : To Produce Cold Water and To Produce Cooling Air”, *Procedia Engineering,* 121, 2015, pp. 881-890.

[9] K.T. Chan, and F.W. Yu, “Applying condensing-temperature control in air-cooled reciprocating water chillers for energy efficiency”, *Applied Energy,* 72, 2002, pp. 565–581.

[10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2566, มิถุนายน. 24). ระบบปรับอากาศ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_15.pdf

[11] สราวุธ พลวงษ์ศรี, *Air Conditioning System,* RE 423 Energy Conservation and Management in Building and Factory, เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2562.

[12] สราวุธ พลวงษ์ศรี, *Assessment of economic value,* RE 421 Economics and Energy Business Planning, เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2562.

[13] กรมวิชาการเกษตร, วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพืชในโรงเรือนระบบปิดแบบอัจฉริยะ [รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม], 2565.

[14] ปรีดา นาเทเวศน์ และ สิริวัฒน์ สาครวาสี, การพัฒนาระบบการระบายความร้อนวัสดุปลูกเพื่อการผลิต สตรอว์เบอร์รี่นอกฤดู [รายงานผลการวิจัย], เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2555.

[15] Weather Spark. (2566, มิถุนายน. 10). ภูมิอากาศและสภาพอากาศเฉลี่ยตลอดปีที่ท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://th.weatherspark.com/y/149062/สภาพอากาศโดยเฉลี่ย-ที่-ท่าอากาศยานนานาชาติเชียงใหม่-ไทย-ตลอดปี

[16] T. Janchoke, and S. Mongkon. “Performance Study of an Evaporative Cooling System Combined with a Chiller System for a Strawberry Greenhouse”. *The 17th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2023)*. pp. 135-140. 2023.

[17] สุรเดช คิดการงาน. การใช้พลังงานไฟฟ้าตามหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำเดือนธันวาคม 2564. มหาวิทยาลัยแม่โจ้: งานจัดการพลังงาน, 2564.

[18] มหาวิทยาลัยแม่โจ้. อัตราการเรียกเก็บเงินรายได้ผลประโยชน์จากการใช้กระแสไฟฟ้า น้ำดิบ และน้ำประปาของหน่วยงานที่ใช้พื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2564.

[19] ธนาคารกรุงไทย. (2566, กรกฎาคม. 17). The Chiller Life Cycle, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://krungthai.com/th/rates/viewdetail/4

[20] Air cooled chillers. (2023, June. 23). The Chiller Life Cycle, [Online] Available: https://www.johnsoncontrols.com/campaigns/chiller-life-cycle