



## การศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบการทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

A study of the ability to reduce the temperature and increase the relative humidity of a greenhouse using an evaporative cooling pad system

วัศพล จันพ่าย<sup>1\*</sup>, เทวรัตน์ ตรีอานรรค<sup>1</sup>, กระวี ตรีอานรรค<sup>2</sup>

Watsapon Junpayap<sup>1\*</sup>, Tawarat Treeamnuk<sup>1</sup>, Krawee Treeamnuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

<sup>1</sup>School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

\*Corresponding author: Tel: +66-8-2865-5058, E-mail: [watsapon.m6402679@gmail.com](mailto:watsapon.m6402679@gmail.com)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (EC) และระบบระบายอากาศด้วยพัดลม (NEC) ด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. เป็นเวลา 4 วัน แบ่งเป็นระบบ EC 2 วัน และระบบ NEC 2 วัน ผลการทดสอบ พบว่าระบบ EC สามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 5-8°C ในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างเย็น โรงเรือนมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยต่อวันที่ 18°C และ 78% ตามลำดับ ส่วนในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โรงเรือนมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยต่อวันที่ 28°C และ 85% ตามลำดับ ส่วนระบบ NEC สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้เล็กน้อยแต่ไม่สามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศได้ จะเห็นได้ว่าโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหมาะสมแก่การปลูกพืชที่ต้องการอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 15-30°C แต่ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์นั้นยังมีค่าเฉลี่ยสูงเกินกว่าที่พืชต้องการ ดังนั้นโรงเรือนเพาะปลูกนี้หากต้องการใช้เพาะปลูกพืชจะต้องทำการพัฒนาระบบให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชต่อไป

คำสำคัญ: โรงเรือนเพาะปลูก, ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ, อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

### Abstract

The purpose of this research was to test the ability to reduce the temperature and increase the relative humidity in a greenhouse equipped with an evaporative cooling pad system. By collecting the temperature and relative humidity inside the greenhouse using the evaporative cooling system (EC) and the fan ventilation system or the Non-evaporative cooling pad system (NEC) with temperature and humidity sensors from 8:00 a.m. to 5:00 p.m. 4 days, divided into 2-day EC system and 2-day NEC system. The test results show that the EC system

Received: 8 August, 2023

Revised: 30 April, 2024

Accepted: 30 April, 2024

Available Online: 28 December, 2024

can reduce the average daily temperature to 5-8°C on a relatively cool day. The mean house temperature and relative humidity were 18°C and 78%, respectively. The average daily house temperature and relative humidity were 28°C and 85%, respectively. It can be seen that houses equipped with evaporative cooling systems can control the temperature suitable for growing plants that require temperatures in the range of 15-30°C, but the relative humidity is still above average for plants need. Therefore, this greenhouse, if wanting to grow plants, will have to develop a system to control the relative humidity to suit the needs of plants in the future.

Keywords: Greenhouse, Evaporative cooling pad system, Temperature and relative humidity

## 1 บทนำ

ประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ผลผลิตทางการเกษตรจึงถือเป็นธุรกิจสำคัญที่สร้างรายได้ให้เกษตรกร มีทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ในการปลูกพืชเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมการผลิตและควบคุมคุณภาพให้ได้มาตรฐาน แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ยังมักประสบปัญหาในการควบคุมการผลิตและคุณภาพ และพืชผักบางชนิดปลูกได้ในสภาพอากาศที่เหมาะสมเท่านั้น หากนำไปปลูกในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้ผลผลิตน้อยกว่าปกติหรือไม่สามารถปลูกได้ เพื่อให้ได้การผลิตและการควบคุมคุณภาพที่ได้มาตรฐานจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมแก่การปลูกพืช จึงมีการพัฒนาการปลูกพืชในระบบโรงเรือนซึ่งสามารถควบคุมการผลิตพืชให้ได้ทั้งปริมาณ คุณภาพ ตลอดจนช่วยป้องกันความเสียหายจากสภาพอากาศที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชผัก

โรงเรือนเพาะปลูก (Greenhouse) คือสิ่งก่อสร้างที่มีโครงสร้างของผนังและหลังคาเป็นวัสดุโปร่งแสงที่ให้แสงซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชผ่านเข้ามาได้ และมีความสูงเพียงพอต่อการเข้าไปปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงาน โรงเรือนเพาะปลูกนั้นมีประโยชน์ที่สำคัญคือสามารถปกป้องพืชจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น อุณหภูมิ ศัตรูธรรมชาติ และภัยธรรมชาติต่างๆ ซึ่งยังสามารถควบคุมปัจจัยที่จำเป็นและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและช่วยเพิ่มผลผลิต ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ ซึ่งการปลูกพืชในโรงเรือนให้เจริญเติบโตได้นั้นอุณหภูมิในโรงเรือนควรอยู่ในช่วง 15-30°C (Sultan et al., 2016) และความชื้นสัมพัทธ์ควรอยู่ที่ 60-80% (Amani et al., 2020)

เนื่องด้วยสภาพอากาศในประเทศไทยนั้นจัดอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้นจึงทำให้ในฤดูร้อนอุณหภูมิภายในโรงเรือนนั้นมีอุณหภูมิสูง มีการสะสมความร้อนภายในโรงเรือนและไม่มีการระบายอากาศออกสู่ภายนอก ส่งผลให้อุณหภูมิสูงเกินกว่าที่พืชต้องการจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของพืช ในการแก้ปัญหาเรื่องความร้อนภายในโรงเรือน ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ จึงเป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในโรงเรือนเพาะปลูกในพื้นที่เขตร้อน มีข้อดีคือ สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ซึ่งระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำที่นิยมใช้มี 2 ระบบ ได้แก่ แบบพ่นหมอก และแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นมีจุดเด่นกว่าแบบพ่นหมอกคือ สามารถลดอุณหภูมิได้รวดเร็ว และเพิ่มความชื้นในอากาศ โดยที่ความชื้นในอากาศที่ได้ไม่สูงเกินไปเหมือนกับแบบพ่นหมอกที่มีความชื้นสูงจนเกิดหยดน้ำไปเกาะที่ผิวใบพืชซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของพืชและประหยัดการใช้น้ำกว่าแบบพ่นหมอก ยิ่งไปกว่านั้น ความชื้นที่มากเกินไปจะทำให้เชื้อราและโรคต่างๆ เจริญเติบโตได้ดีและเข้าทำลายพืชได้ (FAO, 2013)

ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad system) เป็นระบบทำความเย็นที่ใช้แผ่นระเหยน้ำหรือแผงรังผึ้ง (Cooling pad) ร่วมกับพัดลม อาศัยหลักการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) คือเมื่ออากาศร้อนผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เปียก ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ของอากาศจะสูญเสียไป เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นการทำความเย็นแฝง (Latent heat) น้ำที่ระเหยจากแผ่นระเหยน้ำจะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงและความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการระเหยนี้มาจากความร้อนของอากาศไม่จำเป็นต้องจัดหาพลังงานใดมาให้ความร้อน พัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งหน้าแผ่นระเหยน้ำทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ให้อากาศเคลื่อนที่ เมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะปลูกให้ต่ำกว่าสภาพอากาศภายนอกได้ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วจะสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 5-8°C สำหรับสภาพอากาศในประเทศไทย

แต่ยังมีปัจจัยหลายส่วนที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของโรงเรือน เช่น สถานที่ทดลอง ช่วงเวลาทำการทดลอง (นิติรงค์ และคณะ , 2558) ขนาดและความยาวของโรงเรือนที่ทำให้อุณหภูมิและความชื้นในแต่ละช่วงที่ระยะห่างจากแผ่นระเหยน้ำไม่เท่ากัน (Xu et al., 2015)

ปัจจุบันโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำถูกนำมาใช้ในการปลูกพืชเชิงพาณิชย์ เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต เช่น ภาณุวิชญ์ และคณะ (2560) ได้ใช้โรงเรือนปลูกสตรอเบอร์รี่ ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นประมาณ 2.5 เท่า Tsafaras et al (2021) ได้ปลูกมะเขือเทศ ผลผลิตน้ำหนักสดที่ได้เพิ่มขึ้น 14% ซึ่งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเมื่อร่วมกับตาข่ายพรางแสง สามารถช่วยลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศภายในโรงเรือน (Aljubury and Ridha, 2017) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ทดสอบหาค่าความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการและเหมาะสมกับการทำการเกษตรได้ต่อไป

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 โรงเรือนเพาะปลูก

โรงเรือนแบบปิดขนาด  $4 \times 8 \times 3 \text{ m}^3$  คลุมด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน หลังคาทรงโค้งคลุมเสริมด้วยตาข่ายพรางแสง 50 % ดัง Figure 1 ตั้งอยู่ที่อาคารจักรเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย (ตำแหน่งพิกัด ละติจูด  $14.8925 \text{ N}$ , ลองจิจูด  $102.0039 \text{ E}$ ) ประกอบด้วยพัดลมหมุนเวียนอากาศขนาด 12 นิ้ว กำลังไฟ 27 W ปริมาณลม  $15 \text{ ft}^3 \text{ min}^{-1}$  จำนวน 2 ตัวภายในโรงเรือน พัดลมระบายอากาศขนาด 16 นิ้ว กำลังไฟ 190 W ปริมาณลม  $4,000 \text{ ft}^3 \text{ min}^{-1}$  จำนวน 4 ตัวด้านหน้าของโรงเรือนซึ่งทำหน้าที่ดึงอากาศภายในโรงเรือนออกสู่ภายนอกโรงเรือน แผ่นระเหยน้ำขนาด  $1.8 \times 3.6 \times 0.15 \text{ m}^3$  ด้านหลังโรงเรือน ใช้ปั๊มน้ำขนาด 0.5 HP มีอัตราการไหลของน้ำ  $32 \text{ L min}^{-1}$  หมุนเวียนน้ำให้แผ่นระเหยน้ำ

### 2.2 การวัดค่าข้อมูลของสภาพอากาศและการใช้พลังงาน

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 ถูกติดตั้งภายในและภายนอกโรงเรือน โดยตำแหน่งการวัดที่ 1, 2, 3 อยู่ภายในโรงเรือนและตำแหน่งที่ 4 อยู่ภายนอก

โรงเรือน (สภาพแวดล้อม) ที่ระยะต่างๆ แสดงใน Figure 1 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งประมวลผลโดยใช้บอร์ด Arduino Mega360 ในการรับข้อมูลและแสดงค่า ใช้ Solar power meter รุ่น TM-20813 ในการอ่านค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ใช้การตวงน้ำและเติมน้ำชดเชยเพื่อหาปริมาณการใช้น้ำ การใช้พลังงานไฟฟ้าอ่านค่าจากมิเตอร์ไฟฟ้า

### 2.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง เป็นอัตราส่วนระหว่างผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำและอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ กับผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ ดังสมการ (1) (ASHARE, 2008)

$$Eff = \frac{T_{do} - T_{di}}{T_{do} - T_{wo}} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ  $T_{do}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{di}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{wo}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ( $^{\circ}\text{C}$ )

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คืออุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ด้วยเทอร์มิสเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียก เมื่อมีอากาศไหลผ่าน แสดงบนเส้นแนวทแยงของแผนภูมิไซโครเมตริก สามารถคำนวณได้จากสมการ (2) (Stull, 2011)

$$T_{wb} = T_{db} \tan^{-1}[0.151977(\%RH + 8.313659)^{1/2}] + \tan^{-1}(T_{db} + \%RH) - \tan^{-1}(\%RH - 1.676331) + 0.00391838(\%RH)^{3/2} \tan^{-1}(0.023101\%RH) - 4.686035 \quad (2)$$

เมื่อ  $T_{db}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{wb}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\%RH$  คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (%)

### 2.4 การทดสอบโรงเรือน

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ระบบ 1. ระบบทำความเย็นที่ไม่ใช้แผ่นระเหยน้ำ Non-evaporative cooling pad system (NEC) ซึ่งใช้พัดลมระบายอากาศอย่างเดียว ทำการทดสอบเมื่อ

วันที่ 29 มกราคม 2566 และวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2566 เป็นวันที่อากาศมีอุณหภูมิไม่สูงมาก (อากาศเย็น) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 17–29°C และวันที่อากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง (อากาศร้อน) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26–39°C ตามลำดับ โดยเปิดพัดลมของโรงเรือน 6 ตัว เพื่อใช้ในการระบายและดึงอากาศภายในโรงเรือนออกสู่ภายนอก โดยระบบ NEC จะไม่มีการหมุนเวียนน้ำที่แผ่นระเหยน้ำ 2. ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ Evaporative cooling pad system (EC) ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2566 และวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2566 เป็นวันที่อากาศมีอุณหภูมิไม่สูงมาก (อากาศเย็น) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 17–30°C และวันที่

อากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง (อากาศร้อน) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27–38°C ตามลำดับ โดยเปิดพัดลมของโรงเรือน 6 ตัว และเปิดปั๊มน้ำเพื่อใช้หมุนเวียนน้ำให้แผ่นระเหยน้ำ ซึ่งทั้ง 2 ระบบนี้เก็บข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 5 นาที ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้น้ำและค่ารังสีความร้อนดวงอาทิตย์เก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง เนื่องจากใช้เครื่องมือวัดค่าข้อมูล ซึ่งไม่ได้ใช้เซนเซอร์ในการรับข้อมูล จึงทำการวัดและเก็บข้อมูลโดยผู้ทดสอบ การทดสอบและเก็บข้อมูลอยู่ช่วงเวลา 08:00-17:00 น.

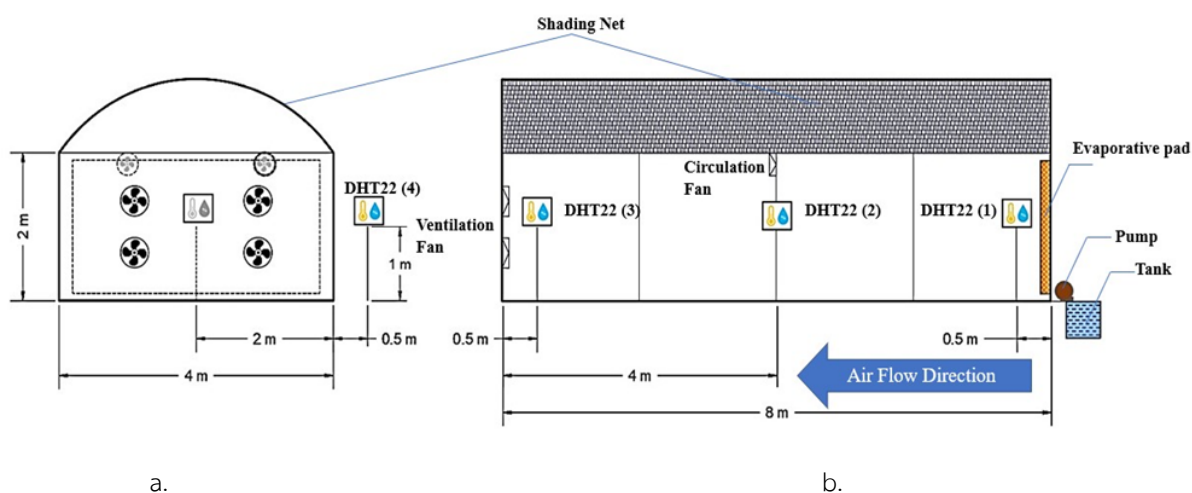


Figure 1 Component of greenhouse a. The front view of the greenhouse. b. The side view of the greenhouse.

### 3 ผลและวิจารณ์

#### 3.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกและภายในโรงเรือนแสดงใน Figure 2 พบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) ภายนอกโรงเรือนของระบบ NEC และระบบ EC จะมีค่าอยู่ในช่วง 51-871 W m<sup>-2</sup> ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยที่ช่วงเวลา 12:00-13:00 น. จะมีค่าสูงสุด แต่ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของวันที่ 10/02/2023 ช่วงเวลา 12:00-15:00 น. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวันอื่นๆ เนื่องจากช่วงเวลาที่วัดค่าข้อมูล มีเมฆฝนบังแสงอาทิตย์ ทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้มีค่าน้อย และค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนของทั้งสองระบบจะมีค่าอยู่ในช่วง 4-114 W m<sup>-2</sup> จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน เนื่องมาจากหลังคาโรงเรือนได้ทำการติดตั้งตาข่ายพรางแสงเพื่อลดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือน โดยตาข่ายพรางแสงจะทำหน้าที่ดูด

ซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้ ส่งผลให้อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนมีค่าลดลง แต่ตาข่ายพรางแสงที่ดูดซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้นั้นก็ก็จะค่อยๆ ปลดปล่อยพลังงานความร้อนให้ผ่านผนังโรงเรือนหรือแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีนเข้าสู่โรงเรือนได้ แต่จะมีค่าความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการไม่คลุมตาข่ายพรางแสง ดังนั้นการติดตั้งตาข่ายพรางแสงช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนลงได้

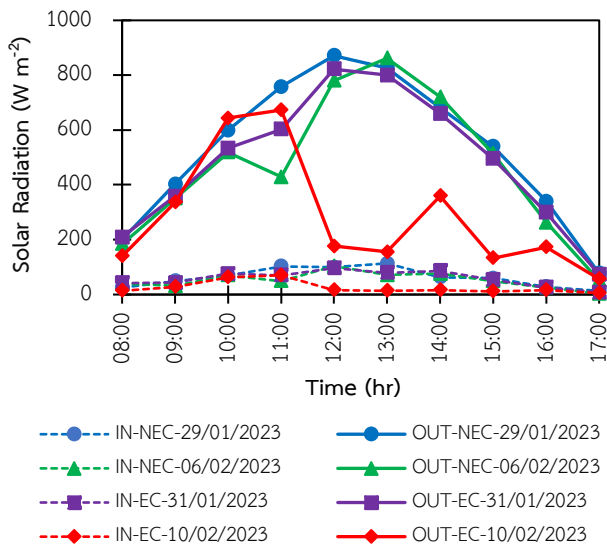


Figure 2 Solar Radiation.

### 3.2 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศภายนอก โรงเรือนหรือสภาพแวดล้อม (Tout) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในโรงเรือน (T1, T2, T3) ที่ตำแหน่งการวัดค่าต่าง ๆ ที่ทำการติดตาม เซอร์ พบว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนที่ทำการทดสอบระบบ NEC ในวันที่ 29/01/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศเย็น (Figure 3) และวันที่ 06/02/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศร้อน (Figure 4) มีความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 08:00-17:00 น. อยู่ที่ 17-29°C และ 26-38°C ตามลำดับ เมื่อระบบ NEC ทำงานต่อเนื่องส่งผลให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ย (Tavg) ภายในโรงเรือนจะมีความเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาดังกล่าวของทั้งสองวันอยู่ที่ 18-28°C และ 25-39°C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในวันที่ 29/01/2023 ระบบ NEC สามารถลดอุณหภูมิได้เล็กน้อยจากตำแหน่งแผ่นระเหยน้ำถึงกึ่งกลางโรงเรือน สังเกตได้จากตำแหน่งการวัด (T1, T2) ส่วนระยะท้ายโรงเรือนหรือก่อนที่พัดลมจะดูดอากาศออก (T3) แสดงใน Figure 3 จะมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกโรงเรือน ส่วนในวันที่ 06/02/2023 ซึ่งอากาศร้อน ระบบ NEC นั้นไม่สามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนได้ สังเกตได้จากตำแหน่งการวัด (T1, T2, T3) แสดงใน Figure 4 จะเห็นได้ระบบ NEC ของทั้งสองวันนั้นไม่สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนลงได้ และเกิดการไล่ระดับของอุณหภูมิภายในโรงเรือนตามระยะทางจากแผ่นระเหยน้ำไปถึงพัดลมดูดอากาศ โดยที่ตำแหน่งใกล้แผ่นระเหยน้ำอุณหภูมิจะต่ำกว่าด้านหน้าโรงเรือนที่ติดตั้งพัดลมดูดอากาศออกภายนอกโรงเรือน เนื่องจากอากาศที่เข้าสู่โรงเรือนจะรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เกิด

การสะสมความร้อนทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกในขณะ ที่อากาศเคลื่อนที่อุณหภูมิของอากาศจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น

จากการทดสอบระบบทำความเย็นของโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (EC) พบว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือน ในวันที่ 31/01/2023 ซึ่งมีอากาศเย็น (Figure 5) และวันที่ 10/02/2023 ซึ่งมีอากาศร้อน (Figure 6) มีความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 08:00-17:00 น. อยู่ที่ 17-30°C และ 27-38°C ตามลำดับ เมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยภายในโรงเรือนจะมีความเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาดังกล่าวของทั้งสองวันอยู่ที่ 13-20°C และ 26-30°C ตามลำดับ ซึ่งในวันที่ 31/01/2023 ระบบสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนโดยที่อุณหภูมิลดลงเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 7.9°C ส่วนในวันที่ 10/02/2023 ระบบสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันที่ 5.2°C และมีบางช่วงเวลาที่เกิดเมฆฝนทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงทำให้อุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงแสดงใน Figure 6 คล้ายกับงานวิจัยของ Mehmet and Silileli (2015) ซึ่งทำการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแนวลำตัวโรงเรือนซึ่งเป็นแนวยาวกับการปลูกพืชในโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำร่วมกับตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งได้หลังคา ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนเฉลี่ย 7°C จะเห็นได้ว่าระบบ EC สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน แต่ยังเกิดการไล่ระดับของอุณหภูมิเช่นเดียวกับระบบ NEC ที่กล่าวมาข้างต้น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนนั้นจะใกล้เคียงกับตำแหน่งของอุณหภูมิที่ตำแหน่งการวัดที่กึ่งกลางโรงเรือน

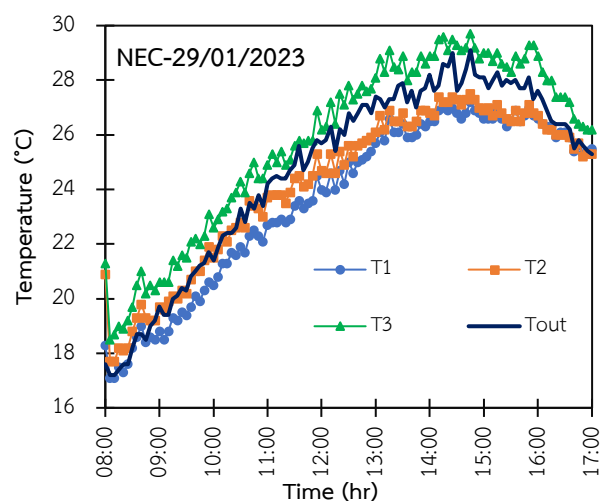


Figure 3 Temperature NEC 29/01/2023.

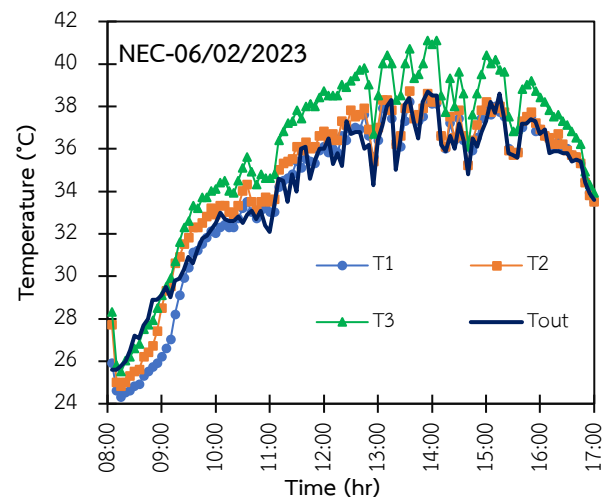


Figure 4 Temperature NEC 06/02/2023.

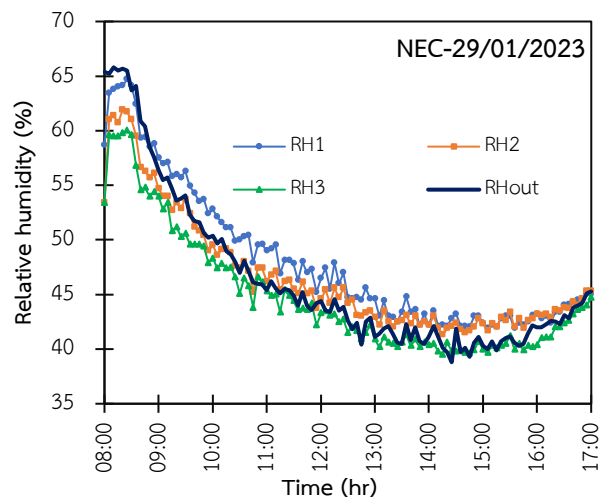


Figure 7 Relative humidity NEC 29/01/2023.

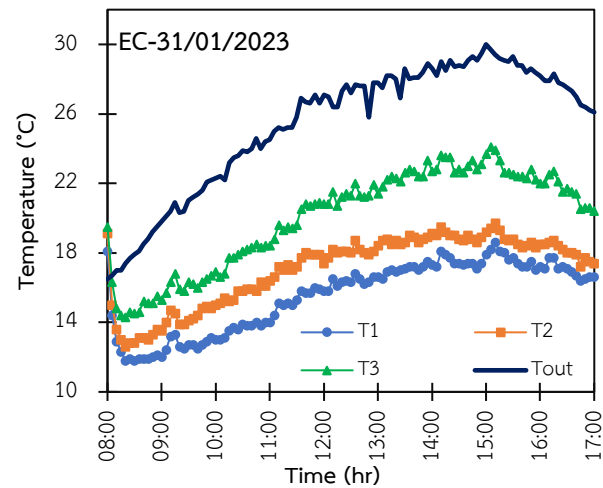


Figure 5 Temperature EC 31/01/2023.

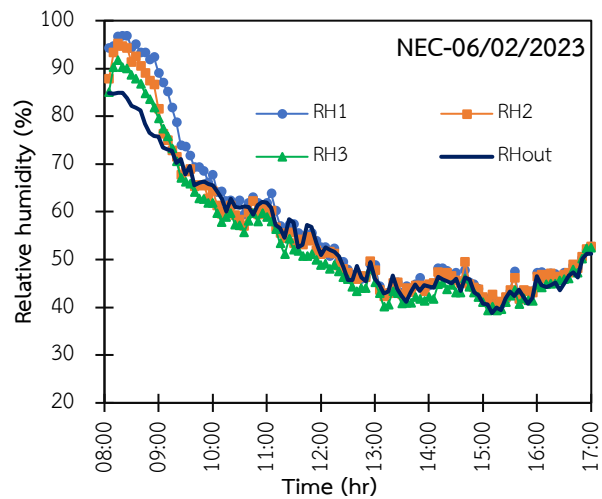


Figure 8 Relative humidity NEC 06/02/2023.

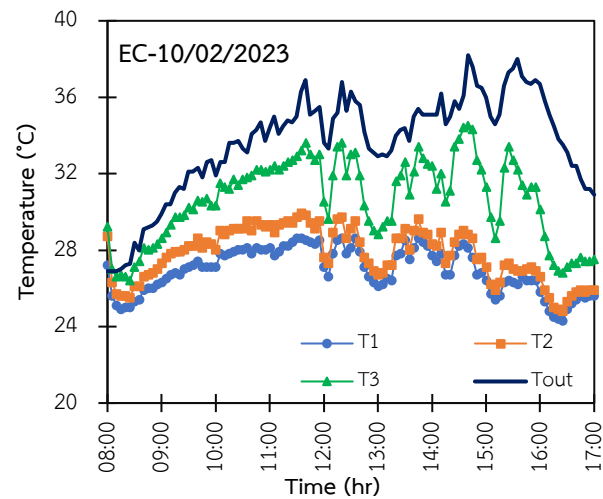


Figure 6 Temperature EC 10/02/2023.

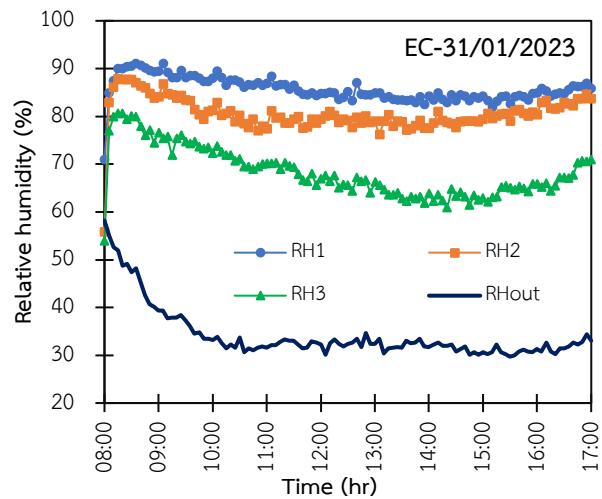


Figure 9 Relative humidity EC 31/01/2023.

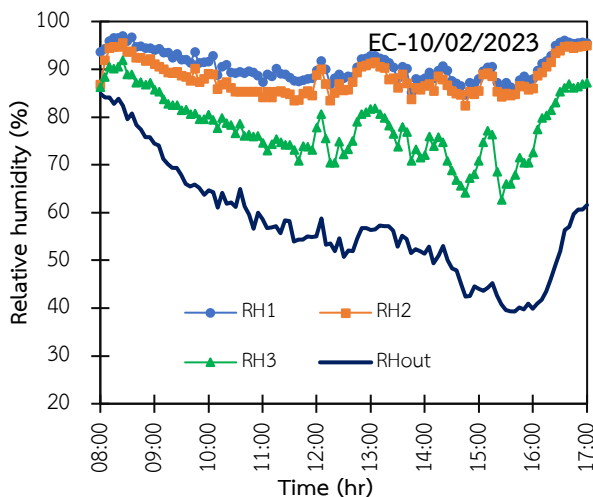


Figure 10 Relative humidity EC 10/02/2023.

### 3.3 ความชื้นสัมพัทธ์

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก โรงเรือนหรือสภาพแวดล้อม (RHout) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน (RH1, RH2, RH3) ที่ตำแหน่งการวัดค่าต่าง ๆ ที่ติดตั้งเซนเซอร์ พบว่าเมื่อระบบ NEC ทำงานอย่างต่อเนื่องความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจะมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนแสดงใน Figure 7 และ Figure 8 โดยในวันที่วันที่ 29/01/2023 ซึ่งมีอากาศเย็น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างต่ำและลดต่ำลงเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 08:00-15:00 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในช่วงเวลา 14:00-15:00 น. โดยมีค่าต่ำสุดคือ 38.3% เช่นเดียวกับในวันที่ 6/02/2023 ซึ่งมีอากาศร้อนค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดคือ 38.0% จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่อง ระบบ NEC นั้นไม่สามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศภายในโรงเรือนได้ แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับภายนอกโรงเรือน เนื่องจากเมื่อระบบทำงานต่อเนื่องจะส่งผลให้อากาศจากภายนอกโรงเรือนเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในโรงเรือนและถ่ายเทออกจากภายนอกโรงเรือนอย่างต่อเนื่อง จึงไม่มีการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ

เมื่อระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำหรือระบบ EC ทำงานอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพิ่มสูงขึ้น โดยในวันที่ 31/01/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศเย็นมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างต่ำแสดงใน Figure 9 เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 31.1% ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 78.2% เช่นเดียวกับในวันที่ 10/02/2023 ซึ่งเป็นวันที่อากาศร้อนแสดงใน Figure 10 เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์

ภายนอกโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 57.3% ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 85.4% จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้ เมื่ออากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เปียกชุ่มมีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา น้ำจะระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นผลทำให้อากาศที่ผ่านตัวแผ่นระเหยน้ำเข้าใกล้สภาวะอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าเมื่อระบบ EC ทำงานอย่างต่อเนื่องค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนนั้นมีค่าไม่สม่ำเสมอ เกิดการไล่ระดับของค่าความชื้นสัมพัทธ์ตามระยะทางจากแผ่นระเหยน้ำไปถึงพัดลมดูดอากาศออกนอกโรงเรือน โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ใกล้แผ่นระเหยน้ำมีค่าสูง จากนั้นค่าความชื้นสัมพัทธ์ค่อยๆ ลดลงตามระยะทางเพิ่มขึ้น ( $RH1 > RH2 > RH3$ ) สังเกตได้จากค่าความชื้นสัมพัทธ์ตามตำแหน่งที่ระยะต่างๆ แสดงใน Figure 9 และ Figure 10 ดังนั้นเมื่ออากาศในโรงเรือนเคลื่อนที่ อุณหภูมิจากตำแหน่งที่ 1-3 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในตำแหน่งที่ดังกล่าวเช่นกัน แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์แปรผันตามอุณหภูมิ

### 3.4 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

Figure 11 แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (EC) และผลต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ (Tdo-Tdi) พบว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นของวันที่ 31/01/2023 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 79.2% ซึ่งมากกว่าวันที่ 10/02/2023 ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 71.9% ทั้งนี้เนื่องจากในวันที่ 31/01/2023 มีสภาพอากาศที่เย็นและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าต่ำกว่าวันที่ 10/02/2023 ทำให้น้ำสามารถระเหยและเติมไอน้ำเข้าสู่อากาศได้มากกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิลดลงได้มากกว่าซึ่งสามารถลดอุณหภูมิลงได้เฉลี่ย  $7.9^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่วันที่ 10/02/2023 นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สูงกว่าทำให้สามารถเติมไอน้ำได้น้อยกว่า อุณหภูมิในอากาศจึงลดลงได้น้อยกว่าซึ่งสามารถลดอุณหภูมิลงได้เฉลี่ย  $5.2^{\circ}\text{C}$  จึงเห็นได้ว่าระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นสามารถช่วยลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนลงได้  $5-8^{\circ}\text{C}$  และสามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศได้

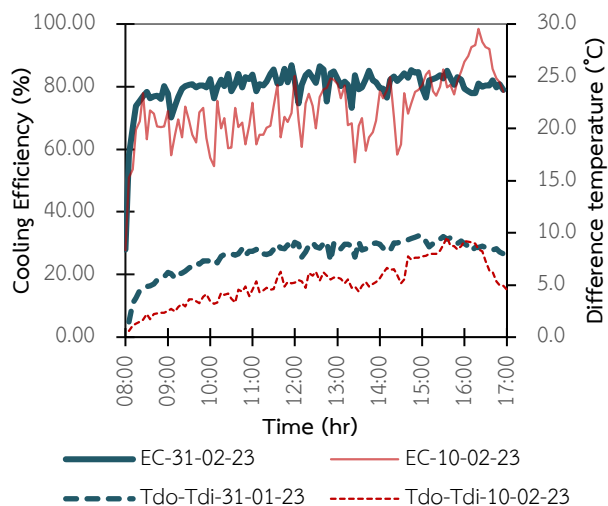


Figure 11 Cooling Efficiency.

### 3.5 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้า

การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนที่ใช้ระบบ NEC มีอัตราการใช้พลังงานต่อชั่วโมงละ 0.66 kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนระบบ EC ที่มีอัตราการใช้พลังงานต่อชั่วโมงละ 0.75 kWh เนื่องจากระบบ EC มีการทำงานของปั้มน้ำที่ใช้หมุนเวียนน้ำให้แผ่นระเหยน้ำ โดยวันที่ 31/01/2023 มีการใช้น้ำสูงสุด 2 ช่วงเวลาคือ 14:00-15:00 น. และ 15:00-16:00 น. ซึ่งมีการใช้น้ำ 53 L และวันที่ 10/02/2023 การใช้น้ำสูงสุดที่ช่วงเวลา 14:00-15:00 น. ซึ่งมีการใช้น้ำ 45L จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้น้ำนั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศที่เข้าสู่โรงเรือนในแต่ละช่วงเวลา ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกภายในโรงเรือนแสดงใน Figure 12 ซึ่งผลต่างมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าอากาศในเวลานั้นแห้ง ส่งผลให้ระบบจะต้องสูญเสียน้ำมากขึ้นเพื่อระเหยให้กับอากาศแวดล้อมที่ผ่านระบบมากขึ้น

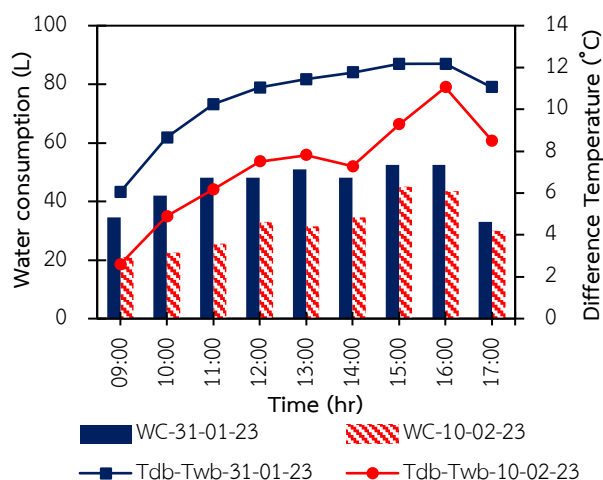


Figure 12 Water consumption.

## 4 สรุป

การศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูก พบว่าระบบ NEC ซึ่งใช้การเปิดพัดลมระบายอากาศเพียงอย่างเดียวสามารถลดอุณหภูมิได้เล็กน้อยและไม่สามารถเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนได้ เมื่อเทียบกับระบบ EC ที่ใช้พัดลมร่วมกับการจ่ายน้ำให้กับแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 5-8°C และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้สูงขึ้นได้อีก 28-47% แต่มีการใช้น้ำค่อนข้างสูงในช่วงที่อากาศร้อนและแห้ง ดังนั้นในการใช้งานในอนาคตควรมีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การปลูกพืช เพื่อลดความสิ้นเปลืองของน้ำและพลังงานไฟฟ้า และสามารถนำไปปรับใช้กับเกษตรกรในระดับครัวเรือนได้จริงต่อไป

## 5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนเครื่องมือและพื้นที่ในการทดสอบ

## 6 เอกสารอ้างอิง

- นิติรงค์ พงษ์พานิช, วชิรพล ชยประเสริฐ, ภัทราพร สัตยชาติเจตน์, อธิเดช มูลมั่งมี, ฤทธาพร แสงเพชรส่อง. 2558. การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบ Evaporative cooling. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 361-365. 17-19 มีนาคม 2558, บางนา, กรุงเทพมหานคร
- ภาณุวิชญ์ พุทธรักษา, ปรีดา นาเทเวศน์, สุกฤษณา มงคล. 2560. ศักยภาพการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่เชตร้อน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13, 56-64. 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560, เมืองเชียงใหม่, เชียงใหม่
- Amani, M., Foroushani, S., Sultan, M., Bahrami, M. 2020. Comprehensive review on dehumidification strategies for agricultural greenhouse applications. Applied Thermal Engineering 181, 115979.
- Aljubury, I. M. A., Ridha, H. D. 2017. Enhancement of evaporative cooling system in a greenhouse using geothermal energy. Renewable Energy 111, 321-331.
- ASHRAE, 2008. ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2008.
- FAO. 2013. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Mehmet, A., Silleli, D. 2015. Performance analysis of a greenhouse fan-pad cooling system: Gradients of horizontal temperature and relative humidity. *Tarım Bilimleri Dergisi* 21(1), 132-143.
- Stull, R. 2011. Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50(11), 2267-2269.
- Sultan, M., Miyazaki, T., Saha, B. B., Koyama, S. 2016. Steady-state investigation of water vapor adsorption for thermally driven adsorption based greenhouse air-conditioning system. *Renewable Energy* 86, 785-795.
- Tsafaras, I., Campen, J. B., Stanghellini, C., de Zwart, H. F., Voogt, W., Scheffers, K., Harbi, A. A., & Assaf, K. A. 2021. Intelligent greenhouse design decreases water use for evaporative cooling in arid regions. *Agricultural Water Management*, 250.
- Xu, J., Li, Y., Wang, R. Z., Liu, W., Zhou, P. 2015. Experimental performance of evaporative cooling pad systems in greenhouses in humid subtropical climates. *Applied Energy* 138, 291-301.