การควบคุมสภาพอากาศของโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

นายวัศพล จันพายัพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2566

CLIMATE CONTROL OF GREENHOUSE USING EVAPORATIVE COOLING PAD SYSTEM

WATSAPON JUNPAYAP

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2023

การควบคุมสภาพอากาศของโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผศ. ดร.ประกิต ทิมขำ)

ประธานกรรมการ

.....

(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

.....

(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

.....

(ผศ. ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน)

กรรมการ

.....

(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)

กรรมการ

.....

(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

.....

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วัศพล จันพายัพ : การควบคุมสภาพอากาศของโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (CLIMATE CONTROL OF GREENHOUSE USING EVAPORATIVE COOLING PAD SYSTEM)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 200 หน้า

คำสำคัญ : โรงเรือนเพาะปลูก / ควบคุมสภาพอากาศ / ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ และทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือน ซึ่งโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ทดสอบมีขนาดกว้าง 4 m ยาว 8 m สูง 3 m ผนังและหลังคาคลุมด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน หลังคาทรงโค้งติดตั้งตาข่ายพรางแสง ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นระเหยน้ำมีพื้นที่ 1.8x3.6 m^2 หนา 0.15 m ปั๊มน้ำขนาด 370 W พัดลมระบายอากาศขนาด 27 W จำนวน 2 ตัว และพัดลมดูดอากาศขนาด 190 W จำนวน 4 ตัว ระบบควบคุมสภาพอากาศใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการรับข้อมูลและประมวลผลค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์ (DHT22) ทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิ การเพิ่มความชื้นและประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือน พบว่าระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนได้ประมาณ 4-8 °C เพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้มีค่าสูงกว่าภายนอกโรงเรือนได้ประมาณ 24-44% RH และมีประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ย 78% ทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD) กำหนดค่าการควบคุมที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% RH และ VPD 0.85 kPa ตามลำดับ พบว่าโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศมีค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนที่เหมะสมต่อการปลูกพืชมากที่สุด

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

WATSAPON JUNPAYAP : CLIMATE CONTROL OF GREENHOUSE USING EVAPORATIVE COOLING PAD SYSTEM.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TAWARAT TREEAMNUK, D.Eng, 200 PP.

Keyword : GREENHOUSE / CLIMATE CONTROL / EVAPORATIVE COOLING PAD SYSTEM

This research aims to develop a greenhouse equipped with an evaporative cooling system to regulate temperature and relative humidity, followed by an evaluation of the system's cooling effectiveness. The testing greenhouse has dimensions of width of 4 m, 8 m of length, and 3 m of height, featuring walls and a roof covered with polyethylene plastic. Additionally, the curved roof is outfitted with camouflage netting. Deploy an evaporative plate cooling system, comprising a water evaporation plate measuring 1.8 x 3.6 m^2 with a thickness of 0.15 m, a 370 W water pump, two 27 W ventilation fans, and four 190 W exhaust fans. The climate control system utilizes an Arduino microcontroller board to receive data on dry bulb temperature and relative humidity values from the DHT22 sensor and processes the information. Test results for the ability to reduce temperature, increase humidity, and enhance the cooling efficiency of the greenhouse revealed that the evaporative pad cooling system was able to lower the temperature inside the greenhouse to be approximately 4-8 °C lower than outside the greenhouse. It also increased the relative humidity inside the greenhouse by approximately 24-44% RH higher than outside the greenhouse and demonstrated an average cooling efficiency of 78%. The three types of temperature and relative humidity control systems are the temperature control system, relative humidity control system, and temperature and relative humidity control system through the vapor pressure deficit (VPD). The control values were set at a temperature of 25 °C, a relative humidity of 70% RH, and a VPD of 0.85 kPa, respectively. It was found that greenhouses using temperature and relative humidity control systems through VPD maintained temperature and relative humidity values within the greenhouse that are most suitable for growing crops.

School of Agricultural Engineering
Academic Year 2023

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....
Co Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยและการเข้าร่วมประชุมวิชาการ ตลอดจนคำแนะนำในการเขียน การตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้ทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ บัณฑิตศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการและน้องๆ สาขาวิศวกรรมเกษตรและวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้อบรมเลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

วัศพล จันพายัพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 โรงเรือนเพาะปลูก 3
2.2 ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 5
2.3 สมบัติของอากาศ 8
2.3.1 ความดันไอน้ำอิ่มตัว 8
2.3.2 แผนภูมิไซโครเมตริก 8
2.3.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 9
2.3.4 อุณหภูมิกระเปาะเปียก 9
2.3.5 อุณหภูมิจุดกลั่นตัว 10
2.3.6 อัตราส่วนความชื้น 10
2.3.7 ความดันบรรยากาศ 11
2.3.8 ความชื้นสัมพัทธ์ 11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.9 เอนทาลปี 11
2.3.10 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ 12
2.4 สมบัติของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำในระบบทำความเย็นแบบระเหย 12
2.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็น 14
2.6 ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือน 14
2.6.1 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังและหลังคาสู่โรงเรือน 14
2.6.2 ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศภายในเรือน 15
2.7 การเคลื่อนที่ของอากาศภายในโรงเรือน 15
2.8 แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 16
2.9 อุปกรณ์ควบคุมและเซนเซอร์ที่ใช้ในโรงเรือน 18
2.9.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino 18
2.9.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 18
2.10 ผักไฮโดรโปรนิกส์ 19
2.10.1 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 19
2.10.2 น้ำและสารละลายธาตุอาหาร 20
2.11 ปริทัศน์วรรณกรรม 20
3 วิธีการดำเนินการวิจัย 26
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 26
3.2 การออกแบบโรงเรือนเพาะปลูก 27
3.3 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน 29
3.3.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของตู้ควบคุมการทำงานของโรงเรือน 29
3.3.2 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 31
3.3.3 การออกแบบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 32
3.3.4 การออกแบบระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 33
3.4 การทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำ 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว 34
3.4.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว 35
3.4.3 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว 36
3.5 การทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของอากาศ 37
3.6 การทดสอบเพื่อหาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม 37
3.6.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 37
3.6.2 ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 38
3.6.3 ระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 39
3.7 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช 40
3.7.1 การปลูกพืชภายในโรงเรือน 40
3.7.2 การปลูกพืชภายนอกโรงเรือน 41
3.7.3 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค 41
4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 42
4.1 ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เหมาะสม 42
4.2 ผลการทดสอบโรงเรือน 43
4.2.1 โรงเรือนทดสอบที่ใช้ระบบระบายอากาศ 43
4.2.2 โรงเรือนทดสอบที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 46
4.3 ผลการเปรียบเทียบสภาพอากาศภายในโรงเรือนกับสภาพอากาศภายนอกโรงเรือน 50
4.3.1 ความสามารถในการลดอุณหภูมิ 50
4.3.2 ความสามารถในการเพิ่มความชื้น 52
4.3.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น 54
4.3.4 ความสิ้นเปลืองพลังงาน 56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการทดลองเพื่อหารูปแบบการควบคุมอุณหภูมิ
และความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม 56
4.4.1 การควบคุมอุณภูมิ 56
4.4.2 การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 59
4.4.3 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่า
แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 62
4.5 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช 66
4.5.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในการทดลอง
ปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค 66
4.5.2 การเปรียบเทียบการเจริญเจริญเติบโตของผักในโรงเรือน
กับนอกโรงเรือน 67
5 สรุป 71
5.1 อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เหมาะสม 71
5.2 การทดสอบโรงเรือน 72
5.3 การเปรียบเทียบสภาพอากาศภายในโรงเรือนกับสภาพอากาศภายนอกโรงเรือน 72
5.4 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม 72
5.5 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผัก 73
5.6 ข้อเสนอแนะ 73
รายการอ้างอิง 74
ภาคผนวก 79
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง 79
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ 187
ภาคผนวก ค รูปขณะทำการทดสอบ 192
ภาคผนวก ง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 198
ประวัติผู้เขียน 200

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของตู้ควบคุมการทำงานของโรงเรือน....29
4.1 อัตราการไหลของอากาศและความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ 41
4.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เหมาะสม....43
4.3 อุณหภูมิกระเปราะแห้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน....51
4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน....53
4.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน....55
4.6 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน....56
4.7 ข้อมูลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิ....59
4.8 ข้อมูลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์....62
4.9 ข้อมูลการทดสอบระบบควบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ....65
4.10 จำนวนใบ (ใบ) ความกว้างทรงพุ่ม (cm) และความสูงต้น (cm) ของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน....68
4.11 น้ำหนักต้นสด (g) น้ำหนักต้นแห้ง (g) ของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุครบกำหนด....70
ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว....80
ก.1.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว....89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ
ที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว 90
ก.2.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็น
แบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว 99
ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ
ที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว 100
ก.3.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็น
แบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว 109
ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ 110
ก.4.2 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ..... 119
ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ..... 120
ก.5.2 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็น
แบบแผ่นระเหยน้ำ 129
ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูก
ที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 130
ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูก
ที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 139
ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูก
ที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 148
ก.9 ผลการทดสอบการใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนเพาะปลูก
ที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 157
ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้
ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 158
ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้
ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 167

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 176
ก.13.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งวันทั้งภายในและภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก 185
ก.13.2 ตัวอย่างค่าแสงภายในและภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก 186

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โรงเรือนเพาะปลูกพืช 5
2.2 ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 6
2.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นระเหยน้ำ 6
2.4 โรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 7
2.5 แผนภูมิไซโครเมตริก 9
2.6 สมบัติของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำในระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยตรงในทางอุดมคติบนแผนภูมิไซโครเมตริก 13
2.7 ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 17
2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Mega 2560 18
2.9 DHT 22 19
3.1 โรงเรือนทดสอบระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 28
3.2 ขนาดโรงเรือนและตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 28
3.3 ตู้ควบคุมการทำงานของโรงเรือน 30
3.4 แผนภาพการทำงานระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 31
3.5 แผนภาพการทำงานระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 32
3.6 แผนภาพการทำงานระบบควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 33
3.7 ตำแหน่งการวัดการไหลของอากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำ 34
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเวลาทดสอบของระบบระบายอากาศ 44
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลาทดสอบของระบบระบายอากาศ 45
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และเวลาทดสอบของระบบระบายอากาศ 46
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเวลาทดสอบของระบบทำความเย็น แบบแผ่นระเหยน้ำ 47
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลาทดสอบของระบบทำความเย็น แบบแผ่นระเหยน้ำ 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และเวลาทดสอบของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ 49
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเวลาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน 50
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน 52
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำความเย็นและเวลาเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน 55
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิ 57
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิ 58
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 61
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 63
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ 64
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในและภายนอกโรงเรือน 64
4.17 อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในและภายนอกโรงเรือนในแต่ละวันที่ทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค 66
4.18 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือนในแต่ละวันที่ทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค 67
4.19 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือน 69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.20 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือน 69
ค.1 โรงเรือนเพาะปลูกที่พัฒนา (ด้านหน้า) 193
ค.2 โรงเรือนเพาะปลูกที่พัฒนา (ด้านหลัง) 193
ค.3 ตู้ควบคุมระบบทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูก 194
ค.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ (DHT22) 194
ค.5 การวัดค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ 195
ค.6 แปลงผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือน 195
ค.7 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนอายุ 30 วัน 196
ค.8 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือนอายุ 30 วัน 196
ค.9 การวัดค่าแสงภายนอกโรงเรือน 197
ค.10 การชั่งน้ำหนักสดผักสลัดกรีนโอ๊ค 197

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C_1 = ค่าคงที่ มีค่า -5.8002206 x 10^3, ไม่มีหน่วย

C_2 = ค่าคงที่ มีค่า 1.3914993, ไม่มีหน่วย

C_3 = ค่าคงที่ มีค่า -4.8640239x10^{-2}, ไม่มีหน่วย

C_4 = ค่าคงที่ มีค่า 4.1764768x10^{-5}, ไม่มีหน่วย

C_5 = ค่าคงที่ มีค่า -1.4452093x10^{-8}, ไม่มีหน่วย

C_6 = ค่าคงที่ มีค่า 6.5459673, ไม่มีหน่วย

P_{ws} = ความดันไออิ่มตัว, Pa

T_{db} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, K

T_{wb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก, °C

θ = ความชื้นสัมพัทธ์, ไม่มีหน่วย

ω = อัตราส่วนความชื้น, $kg_w/kg_{dry\ air}$

m_w = มวลไอน้ำในอากาศ, kg_w

m_a = มวลอากาศแห้ง, $kg_{dry\ air}$

P = ความดันบรรยากาศ, Pa

P_w = ความดันไอน้ำในอากาศ, Pa

Z = ความสูงจากระดับน้ำทะเล, m

m_{ws} = มวลไอน้ำที่อากาศขณะนั้นรับได้, kg_w

h = เอนทาลปีของอากาศ, kJ/kg

v = ปริมาตรจำเพาะของอากาศ, m^3/kg

V_a = ปริมาตรของอากาศ, m^3

ω_i = อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, $kg_w/kg_{dry\ air}$

ω_o = อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, $kg_w/kg_{dry\ air}$

C_{pa} = ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของอากาศแห้ง, kJ/kg °C

C_{pv} = ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของไอน้ำ, kJ/kg °C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

h_{fg}	=	ความร้อนแฝงในการระเหยเป็นไอของน้ำที่อุณหภูมิ T_o, kJ/kg
Eff	=	ประสิทธิภาพการทำความเย็น, %
T_{do}	=	อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, °C
T_{di}	=	อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, °C
T_{wo}	=	อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, °C
$\dot{Q}_H$	=	ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือน, kW
$\dot{Q}_{solar}$	=	ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่หลังคาสู่โรงเรือน, kW
$\dot{Q}_i$	=	ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศในโรงเรือน, kW
U	=	ค่า Over all heat transfer coefficient วัสดุหลังคาที่ใช้, W/m^2 °C
A_c	=	พื้นที่ของผนังและหลังคา, m^2
T_i	=	อุณหภูมิภายในโรงเรือน, °C
T_o	=	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน, °C
ρ_i	=	ความหนาแน่นของอากาศภายในโรงเรือน, kg/m^3
N	=	อัตราการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกโรงเรือน, 1/s หรือ 1/h
V	=	ปริมาตรของอากาศภายในโรงเรือน, m^3
$c_{p,i}$	=	ค่าความร้อนจำเพาะในโรงเรือนเพาะปลูก, kJ/kg °C
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิภายในโรงเรือน, kJ/kg
θ_i	=	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน, ไม่มีหน่วย
θ_o	=	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน, ไม่มีหน่วย
V_{evap}	=	ความเร็วลมหน้าแผ่นระเหยน้ำ, m/s
$\dot{m}_{out}$	=	ปริมาณอากาศที่ถูกดูดออกจากโรงเรือน, m^3/s
A_p	=	พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน, m^2
VPD	=	แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ, kPa
VP_{sat}	=	ความดันไอน้ำอิ่มตัวของอากาศ, kPa
VP_{air}	=	ความดันไอน้ำของอากาศ, kPa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
ที่มาและความสำคัญ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ผลผลิตทางการเกษตรจึงถือเป็นอาชีพที่สำคัญที่สร้างรายได้ให้เกษตรกร มีทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศและส่งออกไปต่างประเทศ ในการปลูกพืชเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกนั้นจำเป็นจะต้องมีการควบคุมการผลิตและควบคุมคุณภาพให้ได้มาตรฐาน แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ยังมักประสบปัญหาในการควบคุมการผลิตและคุณภาพ เพื่อให้ได้การผลิตและการควบคุมคุณภาพที่ได้มาตรฐานจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมแก่การปลูกพืช จึงมีการพัฒนาการปลูกพืชในระบบโรงเรือนซึ่งสามารถควบคุมการผลิตพืชให้ได้ทั้งปริมาณ คุณภาพ ตลอดจนช่วยป้องกันความเสียหายจากสภาพอากาศที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชเช่น ฝน พายุ เป็นต้น

โรงเรือนเพาะปลูก มีข้อดีอยู่หลายประการเช่น สามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ย การป้องกันแมลงศัตรูพืช การปนเปื้อนและระบาดของเชื้อโรค ตลอดจนสามารถความคุมสภาวะอากาศให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น ๆ แต่เนื่องด้วยสภาพอากาศในประเทศไทยนั้นจัดอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้นจึงทำให้ในฤดูร้อนอุณหภูมิภายในโรงเรือนนั้นมีค่าสูง มีการสะสมความร้อนภายในโรงเรือนและไม่มีการระบายอากาศออกสู่ภายนอก ส่งผลให้อุณหภูมิสูงเกินกว่าที่พืชต้องการจึงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ในการแก้ปัญหาเรื่องความร้อนภายในโรงเรือน ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ จึงเป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในโรงเรือนเพาะปลูกในพื้นที่เขตร้อน ซึ่งมีข้อดีคือสามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ซึ่งระบบทำความเย็นแบบการระเหยน้ำที่นิยมใช้มี 2 ระบบ ได้แก่ แบบพ่นหมอก และแบบแผ่นระเหยน้ำ ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นมีจุดเด่นกว่าแบบพ่นหมอกคือ สามารถลดอุณหภูมิได้รวดเร็ว และเพิ่มความชื้นในอากาศ โดยความชื้นในอากาศที่ได้ไม่มากเกินไปเหมือนกับแบบพ่นหมอกที่มีความชื้นสูงจนเกิดหยดน้ำไปเกาะที่ผิวใบพืชซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีอัตราการใช้น้ำที่ต่ำกว่าแบบพ่นหมอก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่สามารถความคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมและทดสอบประสิทธิภาพของโรงเรือนที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการและเหมาะสมกับการทำการเกษตรได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โรงเรือนเพาะปลูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ
2. ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการควบคุม
3. สถานที่ทำการทดลอง ณ อาคารจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา (ตำแหน่งพิกัด ละติจูด 14.8925 N, ลองจิจูด 102.0039 E)
4. สมบัติทางความร้อนของวัสดุและอุปกรณ์ของโรงเรือนเพาะปลูกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
5. สมบัติทางความร้อนของอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
6. พิจารณาการรั่วไหลของอากาศเข้า-ออกโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการระบายอากาศของพัดลมที่ติดตั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โรงเรือนเพาะปลูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ
2. ช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชจากการควบคุมอุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสามารถนำระบบทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกไปประยุกต์ใช้ให้กับเกษตรกรได้

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงเรือนเพาะปลูก

โรงเรือนเพาะปลูก (Greenhouse) คือสิ่งก่อสร้างที่มีโครงสร้างของผนังและหลังคาเป็นวัสดุโปร่งแสงที่ให้แสงซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชผ่านเข้ามาได้ และมีความสูงเพียงพอต่อการเข้าไปปฏิบัติงานของมนุษย์ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2550) โรงเรือนเพาะปลูกนั้นมีประโยชน์ที่สำคัญคือสามารถปกป้องพืชจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น อุณหภูมิ ศัตรูธรรมชาติ และภัยธรรมชาติต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งยังสามารถควบคุมปัจจัยที่จำเป็นและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและช่วยเพิ่มผลผลิต ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ จากประโยชน์เหล่านี้ทำให้เกษตรกรสามารถนำพืชที่ไม่สามารถปลูกภายนอกโรงเรือนได้เนื่องจากมีอุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสมนั้นมาทำการปลูกภายในโรงเรือนและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามที่พืชต้องการได้ (จุมพล ประสมทรัพย์, 2541)

สภาพอากาศในโรงเรือนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นค่าที่ขึ้นต่อกันเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเช่นเดียวกันเมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูง แต่ก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ด้วย อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ซึ่งสำคัญต่อการแผ่ขยายของใบและการเจริญเติบโตของราก พืชจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 10-24 °C (Nelson, 2003) แต่สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนให้เจริญเติบโตได้ดีนั้นอุณหภูมิในโรงเรือนควรอยู่ในช่วง 15-30 °C (Sultan, Miyazaki, Saha, & Koyama, 2016) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแต่ละชนิด และพืชในแต่ละช่วงอายุก็ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเช่นกัน

2. ความชื้น

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ในโรงเรือนแบบปิดมีความสำคัญต่อสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำและสูงเกินจะส่งผลต่อความเครียดจากการคายน้ำของพืช ระดับความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบปิดยังขึ้นอยู่กับกระบวนการคายน้ำและการระบายความร้อนของพืชที่ขึ้นอยู่กับแรงดึงระเหยน้ำของอากาศอีกด้วย ในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำจะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลให้ขนาดของใบและลำต้นไม่เจริญเติบโต และในสภาพความชื้นสัมพัทธ์สูง จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผนังและหลังคาโรงเรือน ทำให้การส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ลดลง แต่เมื่อความชื้นในโรงเรือนที่สูงมากเกินไปจะทำให้เกิดโรคและเชื้อราต่าง ๆ กับพืชได้ (Baudoin, Nono-Womdim, Lutaladio, & Hodder, 2013; Nelson, 2003) ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชในโรงเรือนควรอยู่ที่ 60-80% RH (Amani, Foroushani, Sultan, & Bahrami, 2020)

การกำหนดระดับความชื้นที่พืชต้องการจะถูกกำหนดจากความเครียดจากน้ำในพืช ซึ่งกำหนดในแง่ของแรงดึงระเหยน้ำ (VPD) หรือการขาดดุลแรงดันไอ ซึ่งหมายถึงความแตกต่างระหว่างแรงดันไอน้ำที่ความอิ่มตัว (VP_{sat}) และแรงดันไอน้ำจริงที่อุณหภูมิของโรงเรือน (VP_{air}) แรงดึงระเหยน้ำจะมีค่าสูงเมื่อความชื้นต่ำและอุณหภูมิสูง ซึ่งจะถูกกล่าวในหัวข้อต่อไป

3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีความจำเป็นสำหรับพืช เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ประโยชน์สำหรับการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรือนจะทำให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงเนื่องจากจะไปเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นประมาณ 50% เมื่อเทียบกับพืชที่ปลูกภายใต้สภาวะความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับปกติ (Drak, Gonzàlez-Meler, & Long, 1997) ความเหมาะสมของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในโรงเรือนอยู่ระหว่าง 700-900 mmol mol^{-1} ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Drak et al., 1997; Mortensen, 1987)

4. รังสีดวงอาทิตย์

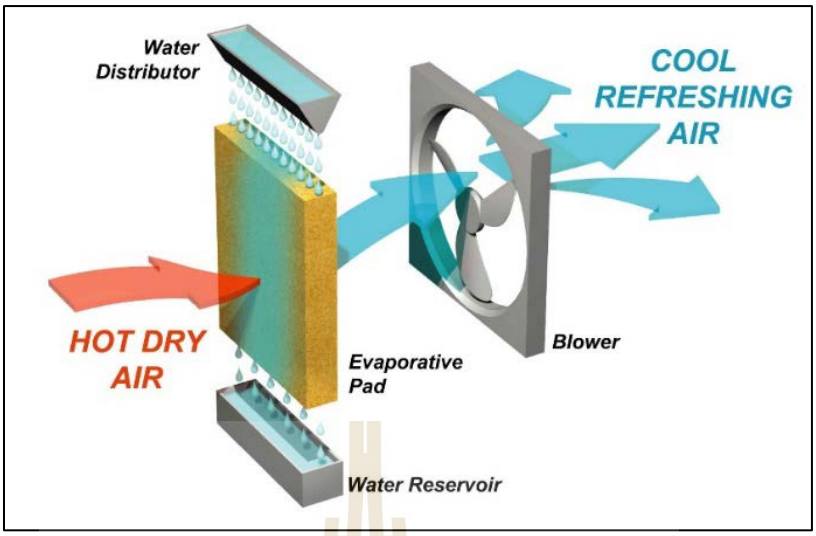
รังสีดวงอาทิตย์เป็นค่าหลักสำหรับการเลือกพื้นที่ตั้งโรงเรือนเพื่อให้มีแสงเพียงพอต่อความต้องการของพืชเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง รังสีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักที่ทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้นในตอนกลางวัน และค่าความร้อนที่ถูกกักเก็บไว้ที่ดินในเวลากลางวันจะถูกปล่อยออกในเวลากลางคืน

รูปที่ 2.1 โรงเรือนเพาะปลูกพืช
(ที่มา: https://www.netafim.co.th)

2.2 ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

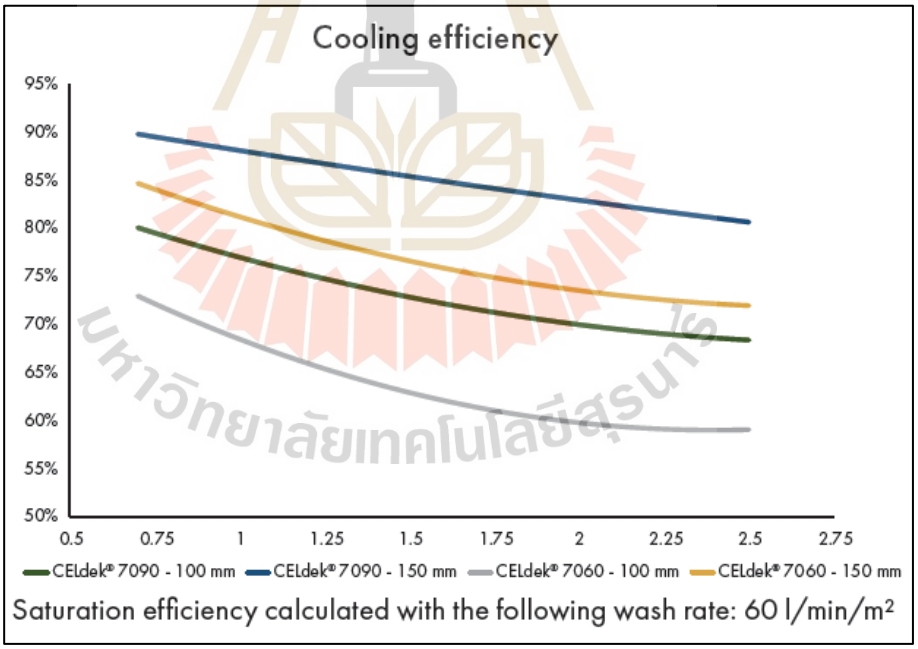
โรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad system) เป็นระบบทำความเย็นที่ใช้แผ่นระเหยน้ำหรือแผงรังผึ้ง (Cooling pad) ร่วมกับพัดลมที่ติดตั้งในตำแหน่งตรงกันข้าม อาศัยหลักการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) คือเมื่ออากาศร้อนผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เปียก ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ของอากาศจะสูญเสียไป เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นความร้อนแฝง (Latent heat) น้ำที่ระเหยจากแผ่นระเหยน้ำจะทำให้อากาศเย็นลงและความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการระเหยนี้มาจากความร้อนของอากาศไม่จำเป็นต้องจัดหาพลังงานใดมาให้ความร้อน พัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งหน้าแผ่นระเหยน้ำทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ให้อากาศเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.2

ในการเลือกใช้แผ่นระเหยน้ำ ปั๊มน้ำ พัดลมดูดอากาศของโรงเรือนเพาะปลูกจะต้องคำนึงถึงการออกแบบของโรงเรือนให้มีอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำมีค่าเหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงและป้องกันการเกาะตัวของฝุ่นละอองและหินปูน ซึ่งอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำควรอยู่ในช่วง 0.75-1.5 m/s และอัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นระเหยน้ำควรอยู่ในช่วง 2-5 L/min/m^2 (ASAE, 2003) หรือการเลือกใช้อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมสามารถเลือกใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิต ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

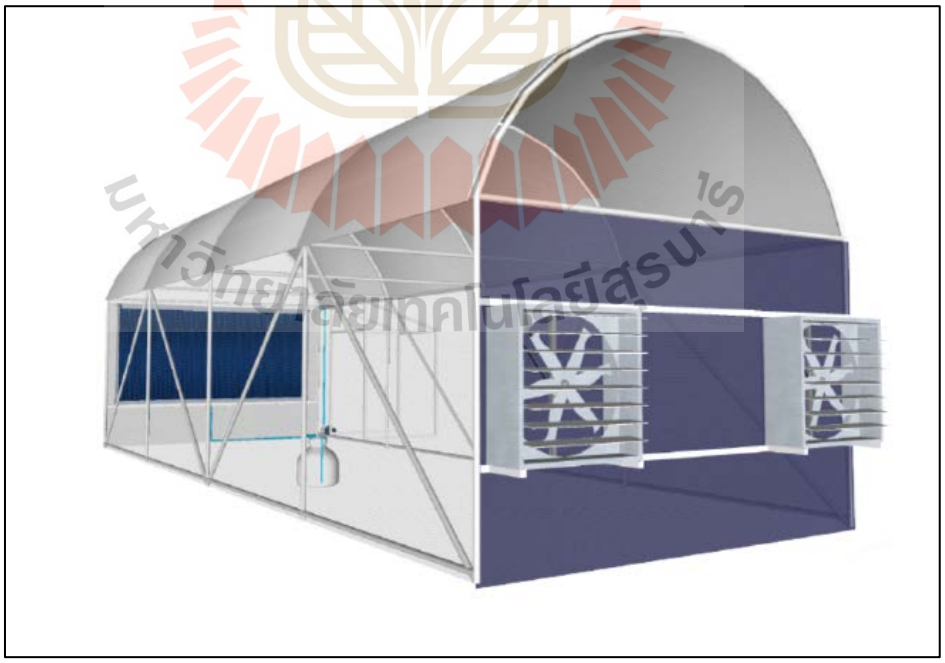
(ที่มา https://gmcaircon.co.za.)



รูปที่ 2.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นระเหยน้ำ

(ที่มา https://Munters.com)

โรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำดังรูปที่ 2.4 โรงเรือนจะต้องปิดมิดชิดมีส่วนอากาศไหลผ่านเข้าโรงเรือนทางแผ่นระเหยชุ่มด้วยน้ำเท่านั้น โดยมีปั๊มน้ำทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำให้กับแผ่นระเหยน้ำ ขณะเดียวกันพัดลมจะติดตั้งอยู่อีกด้านของโรงเรือนเพื่อดูดอากาศจากภายในออกสู่ภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก เมื่อระบบทำงานพัดลมจะดูดอากาศในโรงเรือนออกสู่ภายนอกและอากาศภายนอกจะไหลเข้ามาแทนที่อากาศภายในโรงเรือนโดยผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เปียก ขณะที่อากาศเคลื่อนตัวผ่านแผ่นระเหยที่เปียกนั้น อากาศจะได้รับการเพิ่มความชื้นและลดอุณหภูมิ เมื่อระบบทำงานอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะปลูกให้ต่ำกว่าสภาพภายนอกได้ตามประสิทธิภาพซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วจะสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 5-8 °C สำหรับสภาพอากาศในประเทศไทย (ไกรสร รวยป้อม, 2546) และยังมีข้อดีที่สำคัญคือเป็นระบบทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงโดยไม่มีการพ่นน้ำในโรงเรือนเพาะปลูกและยังสามารถเพิ่มความชื้นสูงให้กับอากาศภายในโรงเรือน แต่ยังมีปัจจัยหลายส่วนที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเช่น สถานที่ทดลอง ช่วงเวลาที่ทำการทดลองซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นเป็นต้น (นิติรงค์ พงษ์พานิช, วัชรพล ชยประเสริฐ, ภัทราพร สัญชาตเจตน์, อิทธิเดช มูลมั่งมี และกฤษฎา แสงเพ็ชร์ส่อง, 2558)



รูปที่ 2.4 โรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ
(ที่มา https://www.kubotasolutions.com)

2.3 สมบัติของอากาศ

2.3.1 ความดันไอน้ำอิ่มตัว

ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturation vaper pressure) คือบริเวณที่อากาศอิ่มตัวหรือมีไอน้ำได้เต็มที่ที่อุณหภูมิและความดัน ณ ขณะนั้น ๆ เพื่อใช้กำหนดคุณสมบัติของอากาศชื้นหรือใช้คำนวณหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยความดันไอน้ำอิ่มตัวในช่วงอุณหภูมิ 0 - 200 °C สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (2.1) (ASHRAE, 2009)

$$\ln P_{ws} = \frac{C_1}{T_{db}} + C_2 + C_3 T_{db} + C_4 T_{db}^2 + C_5 T_{db}^3 + C_6 \ln T_{db} \quad (2.1)$$

เมื่อ C_1 คือ -5.8002206×10^3

C_2 คือ 1.3914993

C_3 คือ $-4.8640239 \times 10^{-2}$

C_4 คือ 4.1764768×10^{-5}

C_5 คือ $-1.4452093 \times 10^{-8}$

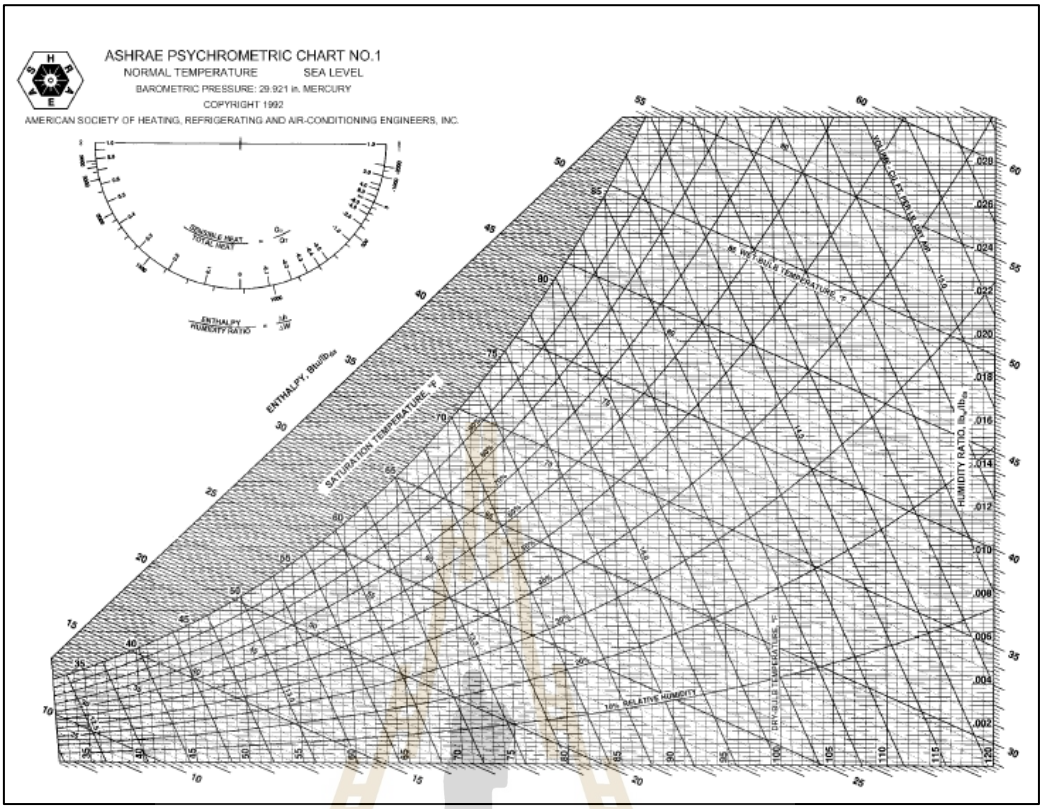
C_6 คือ 6.5459673

P_{ws} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว, Pa

T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, K

2.3.2 แผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) คือแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปนอยู่ สามารถใช้ค่าสมบัติของอากาศเหล่านี้มาประเมินหาภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของระบบปรับอากาศ รวมถึงการหาปริมาณน้ำที่ควบแน่นหรือไอน้ำที่ถูกเติมเข้าไปในอากาศได้ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภูมิไซโครเมตริก
(ASHRAE, 2009)

2.3.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry blub temperature) คืออุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะแห้ง ซึ่งในการวัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ในอากาศที่มีการถ่ายเทสะดวก โดยค่าอุณหถูมิกระเปาะแห้งจะแสดงในแนวแกน X ของแผนภูมิไซโครเมตริก

2.3.4 อุณหภูมิกระเปาะเปียก

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) คืออุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียกเมื่อมีอากาศไหลผ่าน แสดงบนเส้นแนวทแยงของแผนภูมิไซโครเมตริก และสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2) (Stull, 2011)

$$T_{wb} = T_{db}\tan^{-1}[0.151977(\theta+8.313659)^{1/2}]+\tan^{-1}(T_{db}+\theta)-\tan^{-1}(\theta-1.676331) +0.00391838(\theta)^{3/2}\tan^{-1}(0.023101\theta)-4.686035 \quad (2.2)$$

เมื่อ T_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก, ℃

θ คือ ความชื้นสัมพัทธ์, ไม่มีหน่วย

2.3.5 อุณหภูมิจุดกลั่นตัว

อุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dew point temperature) คืออุณหภูมิที่อากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิ่มตัวและกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ความดันคงที่ (ASHRAE, 2009)

2.3.6 อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ (Humidity ratio) คืออัตราส่วนระหว่างมวลไอน้ำในอากาศต่อมวลอากาศแห้ง ซึ่งแสดงในแนวแกน y ของแผนภูมิไซโครเมตริก เขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2.3)

$$\omega = \frac{m_w}{m_a} \tag{2.3}$$

เมื่อ ω คือ อัตราส่วนความชื้น, $kg_w/kg_{dry\ air}$

m_w คือ มวลไอน้ำในอากาศ, kg_w

m_a คือ มวลอากาศแห้ง, $kg_{dry\ air}$

นอกจากนี้ ยังสามารถคำนวนหาอัตราส่วนความชื้นได้จากความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำจริงในอากาศกับความดันบรรยากาศอากาศ ดังสมการ (2.4) (ASHRAE, 2009)

$$\omega = 0.62198\frac{P_w}{P - P_w} \tag{2.4}$$

เมื่อ P คือ ความดันบรรยากาศ, Pa

P_w คือ ความดันไอน้ำในอากาศ, Pa

2.3.7 ความดันบรรยากาศ

ความดันบรรยากาศ (Pressure atmosphere) คือแรงที่มวลอากาศกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pascal) ความดันที่ใช้อ้างอิงเป็นมาตรฐานคือความดันที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 101.325 kPa โดยสามารถคำนวณหาความดันบรรยากาศที่ระดับความความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ตามสมการ (2.5) (ASHRAE, 2009)

$$P = 101.325(1 - 2.2557 \times 10^{-5} Z)^{5.2599} \quad (2.5)$$

เมื่อ Z คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล, m

2.3.8 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือมวลไอน้ำในอากาศต่อมวลไอน้ำที่อากาศขณะนั้นสามารถรับได้ หรือความดันไอน้ำในอากาศต่อความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100% RH ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะแสดงบนเส้นโค้งของแผนภูมิไซโครเมตริก สามารถคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามสมการ (2.6) (ASHRAE, 2009)

$$\theta = \frac{m_w}{m_{ws}} = \frac{P_w}{P_{ws}} \quad (2.6)$$

เมื่อ m_{ws} คือ มวลไอน้ำที่อากาศขณะนั้นรับได้, kg_w

P_{ws} คือ ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว, Pa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3.9 เอนทาลปี

เอนทาลปี (Enthalpy) คือพลังงานความร้อนในอากาศซึ่งสามารถอ่านค่าได้ตามเส้นทแยงที่มีความชันใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกในแผนภูมิไซโครเมตริก ซึ่งเป็นผลรวมของความร้อนสองส่วนดังนี้

1) ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) คือความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่มีอัตราส่วนความชื้นคงที่

2) ความร้อนแฝง (Latent heat) คือความร้อนของการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำในอากาศ หรือการเปลี่ยนแปลงมวลไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่ สามารถคำนวณหาเอนทาลปีของอากาศได้ตามสมการ (2.7) (ASHRAE, 2009)

$$h = 1.006T_{db} + \omega(1501 + 1.805T_{db)}) \quad (2.7)$$

เมื่อ h คือ เอนทาลปีของอากาศ, kJ/kg

2.3.10 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ

ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume) คือปริมาตรของอากาศขณะนั้นต่อมวลของอากาศแห้งขณะนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.8) (ASHRAE, 2009)

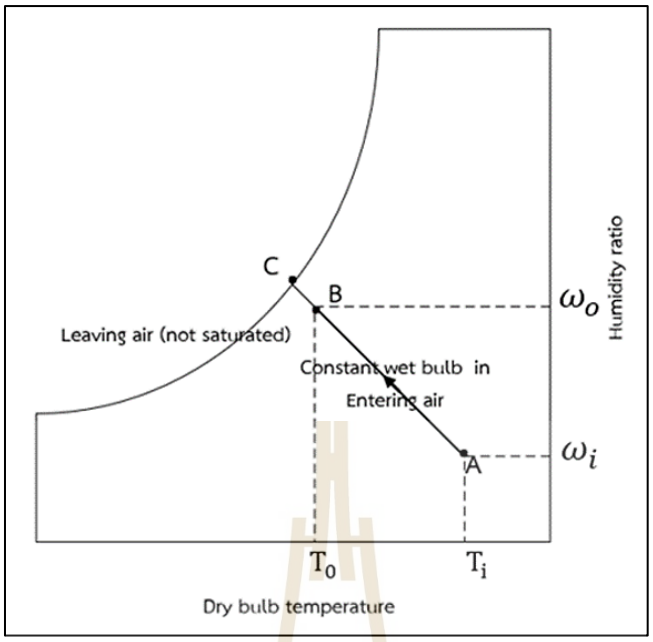
$$v = \frac{V_a}{m_a} = \frac{0.287(T_{db} + 273.15)(1 + 1.067\omega)}{P} \quad (2.8)$$

เมื่อ v คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศ, m^3/kg

V_a คือ ปริมาตรของอากาศ, m^3

2.4 สมบัติของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำในระบบทำความเย็นแบบระเหย

อากาศที่ไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำสามารถหาสมบัติต่างๆ บนแผนภูมิไซโครเมตริกดังรูปที่ 2.6 โดยแสดงสภาวะอากาศภายนอก (อากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ) ที่จุด A และสภาวะอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำที่จุด B กระบวนการในอุดมคติดำเนินบนเส้นเอนทาลปีคงที่หรือบนเส้นอุณหภูมิกระเปราะเปียกคงที่ AB คือ ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกระบบทำความเย็น (Adiabatic process) โดยสมมติให้อุณหภูมิของน้ำที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำเท่ากับอุณหภูมิของกระเปาะเปียกของอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ และอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำทั้งหมดจะอิ่มตัว ดังแสดงที่จุด C แต่ในทางปฏิบัติอากาศจะเกือบถึงจุดอิ่มตัว



รูปที่ 2.6 สมบัติของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำในระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงในทางอุดมคติบนแผนภูมิไซโครเมตริก (Watt, Koral, Crow, & Greenberg, 1986)

เมื่อพิจารณากระบวนการทำความเย็นเป็นแบบอะเดียแบติก พบว่าความร้อนสัมผัสที่อากาศสูญเสียเท่ากับความร้อนแฝงที่น้ำได้รับ โดยสามารถแสดงเป็นสมการสมดุลความร้อนต่อมวลของอากาศแห้งได้ดังสมการ (2.9) (อัครเดช สินธุภัค, 2543)

$$(C_{pa} + C_{pv}\omega_i)(T_i - T_o) = h_{fg}(\omega_o - \omega_i) \qquad (2.9)$$

เมื่อ ω_i คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, kg_w/kg_{dry}

ω_o คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, kg_w/kg_{dry}

T_i คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

T_o คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

C_{pa} คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของอากาศแห้ง, kJ/kg ℃

C_{pv} คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของไอน้ำ, kJ/kg ℃

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงในการระเหยเป็นไอของน้ำที่อุณหภูมิ T_o, kJ/kg

2.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (Cooling efficiency) นิยามว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำและอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ กับผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำ ดังสมการ (2.10) (ASHRAE, 2011)

$$\text{Eff} = \frac{T_{do} - T_{di}}{T_{do} - T_{wo}} \times 100 \tag{2.10}$$

เมื่อ T_{do} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

T_{di} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

T_{wo} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

2.6 ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือน

ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังและหลังคาเข้าสู่โรงเรือนและความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศภายในโรงเรือน สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (2.11) (ASAE, 2003)

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_{solar} + \dot{Q}_i \tag{2.11}$$

เมื่อ $\dot{Q}_H$ คือ ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือน, kW

$\dot{Q}_{solar}$ คือ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังและหลังคาสู่โรงเรือน, kW

$\dot{Q}_i$ คือ ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศในโรงเรือน, kW

2.6.1 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังและหลังคาสู่โรงเรือน

ความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือน คือ ความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ การพาความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์กับผิวหลังคากับผนังของโรงเรือน และการนำความร้อนผ่านวัสดุหลังคาของโรงเรือน โดยความร้อนเข้าสู่โรงเรือนหาได้จากสมการ (2.12) (ASAE, 2003)

$$\dot{Q}_{solar} = UA_c(T_i - T_o) \tag{2.12}$$

เมื่อ U คือ ค่า Over all heat transfer coefficient วัสดุหลังคาที่ใช้, W/m^2 °C

A_c คือ พื้นที่ของหลังคาและผนัง, m^2

T_i คือ อุณหภูมิภายในโรงเรือน, °C

T_o คือ อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน, °C

2.6.2 ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศภายในเรือน

ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศภายในโรงเรือน คือ ความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสถานะของน้ำภายในโรงเรือน หาได้จากสมการ (2.13) (ASAE, 2003)

$$\dot{Q}_i = \rho_i NV\left[c_{p,i}\left(T_i - T_o\right) + h_{fg}(\theta_i - \theta_o)\right] \quad (2.13)$$

เมื่อ ρ_i คือ ความหนาแน่นของอากาศภายในโรงเรือน, kg/m^3

N คือ อัตราการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกโรงเรือน, 1/s หรือ 1/h

V คือ ปริมาตรของอากาศภายในโรงเรือน, m^3

$c_{p,i}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะในโรงเรือนเพาะปลูก, kJ/kg °C

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิภายในโรงเรือน, kJ/kg

θ_i คือ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน, ไม่มีหน่วย

θ_o คือ ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน, ไม่มีหน่วย

2.7 การเคลื่อนที่ของอากาศภายในโรงเรือน

ความเร็วหน้าแผ่นระเหยน้ำ จะสัมพันธ์กับการอิ่มตัวในการดูดซับน้ำเอาไว้ของแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งเมื่อความเร็วยิ่งสูงมากเท่าไร การอิ่มตัวในการดูดซับน้ำก็จะน้อยลงตามด้วย ดังนั้นในการเลือกใช้แผ่นระเหยน้ำ เราควรพิจารณาความเร็วลมที่ต้องการ การอิ่มตัวในการดูดซับน้ำและความหนาของแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้เกี่ยวข้องกับการทำมุมของกระดาษที่ผลิตเป็นแผ่นระเหยน้ำ ดังสมการ (2.14)

$$V_{evap} = \frac{\dot{m}_{out}}{A_p} \quad (2.14)$$

เมื่อ V_{evap} คือ ความเร็วลมหน้าแผ่นระเหยน้ำ, m/s

$\dot{m}_{out}$ คือ ปริมาณอากาศที่ถูกดูดออกจากโรงเรือน, m^3/s

A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน, m^2

2.8 แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (Vapor pressure deficit, VPD) คือความต่างของแรงดันไอน้ำอิ่มตัวของอากาศเทียบกับแรงดันไอน้ำของอากาศ เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถของสิ่งแวดล้อมที่น้ำระเหยได้ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.15-2.17) (Murray, 1967)

$$VPD = VP_{sat} - VP_{air} \tag{2.15}$$

$$VP_{sat} = 0.61078\left(e^{\left[\frac{(17.27)(T_{db})}{237.3+T_{db}}\right]}\right) \tag{2.16}$$

$$VP_{air} = \left(\frac{\theta}{100}\right)\left(VP_{sat}\right) \tag{2.17}$$

เมื่อ VPD คือ แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ, kPa

VP_{sat} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวของอากาศ, kPa

VP_{air} คือ ความดันไอน้ำของอากาศ, kPa

T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, ℃

นอกจากนี้ ยังสามารถคำนวณหาค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศได้จากสมการ (2.18) (ASAE, 2003)

$$VPD = P_{ws} - P_w \tag{2.18}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชจะอยู่ที่ 0.5-1.2 kPa ดังรูปที่ 2.7 ถ้ามีค่าที่ต่ำกว่า 0.5 kPa แสดงว่าความชื้นในอากาศสูงและเข้าใกล้จุดน้ำค้าง ส่งผลให้การคายน้ำของพืชต่ำทำให้พืชดูดซึมน้ำและสารอาหารจากดินได้น้อยลง หากมากกว่า 1.2 kPa แสดงว่าสภาวะของอากาศนั้นแห้งทำให้การคายน้ำของพืชสูงส่งผลให้พืชเกิดการสูญเสียน้ำและแห้งเหี่ยวได้ โดยการคายน้ำของพืชนั้นจะสัมพันธ์ต่อการเปิด-ปิด ปากใบของพืชที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช จะเห็นได้ว่าเมื่อสภาพอากาศชื้นสูงจะส่งผลให้ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศมีค่าต่ำและในทางกลับกันที่สภาพอากาศแห้งจะส่งผลให้ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศสูง (Lu et al, 2015) ดังนั้นการควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศที่เหมาะสมของพืชจะช่วยพืชเจริญเติบโตได้ดีและเพิ่มผลผลิตในการปลูกพืช (Song, Bai, Ding, & Li, 2021)

TEMPERATURE		Relative Humidity													
°C	°F	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
15	59	1.11	1.02	0.94	0.85	0.77	0.68	0.60	0.51	0.43	0.34	0.26	0.17	0.09	0
16	61	1.18	1.09	1.00	0.91	0.82	0.73	0.64	0.55	0.45	0.36	0.27	0.18	0.09	0
17	63	1.26	1.16	1.06	0.97	0.87	0.77	0.68	0.58	0.48	0.39	0.29	0.19	0.10	0
18	64	1.34	1.24	1.13	1.03	0.93	0.83	0.72	0.62	0.52	0.41	0.31	0.21	0.10	0
19	66	1.43	1.32	1.21	1.10	0.99	0.88	0.77	0.66	0.55	0.44	0.33	0.22	0.11	0
20	68	1.52	1.40	1.29	1.17	1.05	0.93	0.82	0.70	0.58	0.47	0.35	0.23	0.12	0
21	70	1.62	1.49	1.37	1.24	1.12	0.99	0.87	0.75	0.62	0.50	0.37	0.25	0.12	0
22	72	1.72	1.59	1.45	1.32	1.19	1.06	0.92	0.79	0.66	0.53	0.40	0.26	0.13	0
23	73	1.82	1.68	1.54	1.40	1.26	1.12	0.98	0.84	0.70	0.56	0.42	0.28	0.14	0
24	75	1.94	1.79	1.64	1.49	1.34	1.19	1.04	0.89	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0
25	77	2.06	1.90	1.74	1.58	1.42	1.27	1.11	0.95	0.79	0.63	0.47	0.32	0.16	0
26	79	2.18	2.02	1.85	1.68	1.51	1.34	1.18	1.01	0.84	0.67	0.50	0.34	0.17	0
27	81	2.32	2.14	1.96	1.78	1.60	1.43	1.25	1.07	0.89	0.71	0.53	0.36	0.18	0
28	82	2.46	2.27	2.08	1.89	1.70	1.51	1.32	1.13	0.94	0.76	0.57	0.38	0.19	0
29	84	2.60	2.40	2.20	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20	0
30	86	2.76	2.54	2.33	2.12	1.91	1.70	1.48	1.27	1.06	0.85	0.64	0.42	0.21	0
31	88	2.92	2.69	2.47	2.24	2.02	1.80	1.57	1.35	1.12	0.90	0.67	0.45	0.22	0
32	90	3.09	2.85	2.61	2.38	2.14	1.90	1.66	1.43	1.19	0.95	0.71	0.48	0.24	0
33	91	3.27	3.02	2.76	2.51	2.26	2.01	1.76	1.51	1.26	1.01	0.75	0.50	0.25	0
34	93	3.46	3.19	2.92	2.66	2.39	2.13	1.86	1.59	1.33	1.06	0.80	0.53	0.27	0
35	95	3.65	3.37	3.09	2.81	2.53	2.25	1.97	1.69	1.40	1.12	0.84	0.56	0.28	0

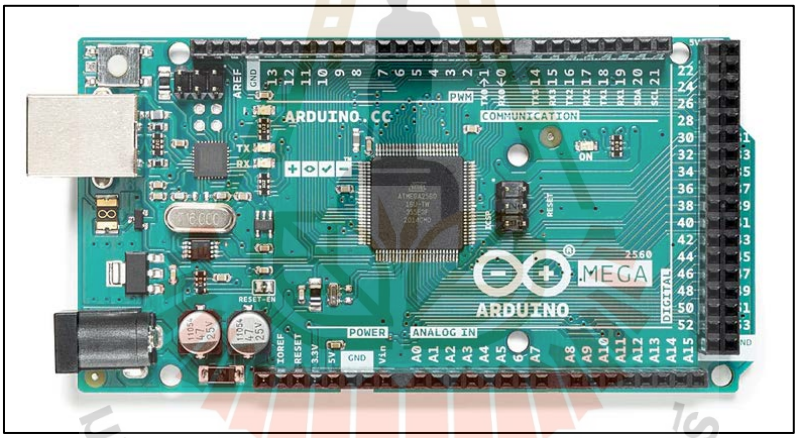
รูปที่ 2.7 ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

(ที่มา https://www.perfectgrower.com/knowledge/knowledge-base/vpd-chart-vapor-pressure-deficit/)

2.9 อุปกรณ์ควบคุมและเซนเซอร์ที่ใช้ในโรงเรือน

2.9.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

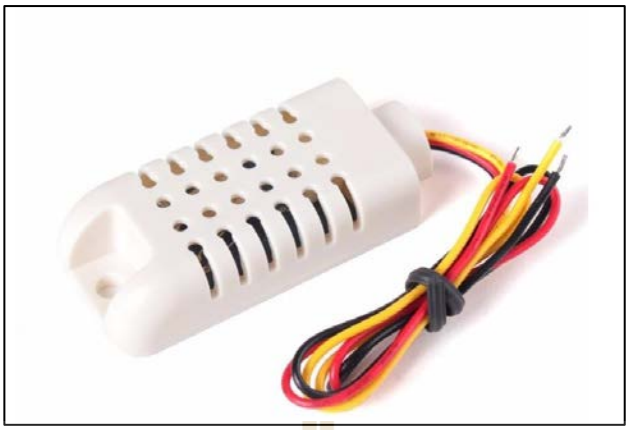
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มต้นจะศึกษา ข้อดีของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้คือการเปิดเผยรหัสโปรแกรมที่สามารถพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้ Upload Code เข้าตัวบอร์ดได้ง่ายขึ้น และมีโปรแกรมสำหรับพัฒนา Software สำหรับ Arduino โดยเฉพาะ เช่น Arduino IDE มีลักษณะเป็นภาษา C ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้บอร์ด Arduino รุ่น Mega 2560 ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมี digital input/output 54 ขา ใช้เป็น output แบบ PWM ได้ 15 ขา มี analog inputs 16 ขา มี UARTs (hardware serial ports) 4 ขา ทำงานที่ความถี่ 16 MHz สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้ adaptor AC-to-DC มาใช้ในการอ่านและรับค่าจากเซนเซอร์ อุปกรณ์ตรวจจับ การควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ออกแบบ



รูปที่ 2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Mega 2560
ที่มา (https://www.arduino.cc)

2.9.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22

DHT 22 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and Relative humidity sensor) ดังรูปที่ 2.9 ผลิตโดยบริษัท Aosong Electronics สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองได้หลากหลายเช่น การวัดเพื่อควบคุมการทำงานและบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ที่สนใจ DHT 22 ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 3-5V สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ถึง 80 °C ที่ความแม่นยำ ±0.5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 0-100% RH ที่ความคลาดเคลื่อน 2-5%



รูปที่ 2.9 DHT 22
ที่มา (https://www.imiconsystem.com)

2.10 ผักไฮโดรโปรนิกส์

2.10.1 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponic) คือการปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน แต่จะใช้น้ำผสมกับธาตุอาหารหรือสารละลายอาหารในการเพาะเลี้ยง โดยสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาโรคระบาดที่อาจเกิดจากดิน ซึ่งผักที่นิยมปลูกจะเป็นผักสลัดที่กินใบและมีอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้น อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 40-60 วัน เช่น กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค กรีนคอส ผักกาดหอม เป็นต้น แต่ในปัจจุบันการปลูกผักแบบไฮโดรโปรนิกส์ยังนำมาใช้ในการปลูกพืชชนิดอื่นด้วยเช่น สตรอว์เบอร์รี มะเขือเทศ เมล่อน เป็นต้น แต่ในการปลูกผักไฮโดรโปรนิกส์นั้นสิ่งที่ควรคำนึงถึงคือการเลือกใช้ภาชนะที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชในแต่ละชนิด ธาตุอาหารที่พืชต้องการ ตลอดไปจนถึงสภาพอากาศด้วย ในปัจจุบันได้มีการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์ที่หลากหลาย ซึ่งสามารถแบ่งระบบการปลูกผักได้ดังนี้

1) ระบบน้ำลึก (Deep flow technique) หรือ (DFT) เป็นการปลูกผักโดยให้สารละลายไหลผ่านรากผักในระดับน้ำลึก ใช้วิธีการปลูกแบบลอยน้ำ ซึ่งมีช่องว่างระหว่างแผ่นปลูกกับสารละลายธาตุอาหารพืชประมาณ 3-5 cm เพื่อให้รากบางส่วนสัมผัสกับอากาศและส่วนที่เหลือแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความลึกประมาณ 10-15 cm ระบบน้ำลึกนี้สามารถปลูกผักได้หลายประเภทและใช้ต้นทุนในการปลูกต่ำ

2) ระบบน้ำตื้น (Nutrient film technique) หรือ (NFT) เป็นการปลูกผักโดยใช้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ประมาณ 1-3 mm อย่างต่อเนื่องบนรางปลูกที่มีความชันเล็กน้อย พืชจะได้รับสารอาหารและออกซิเจนอย่างเพียงพอ มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุ

อาหาร แต่ระบบนี้มีการใช้เงินลงทุนสูงในการปลูกและหากระบบขัดข้องหรือหยุดทำงาน อาจทำให้รากพืชเสียหายได้ เนื่องจากรางปลูกจะไม่มีสารละลายธาตุอาหารไหลอยู่ในรางปลูก

3) ระบบกึ่งน้ำลึก (Dynamic root floating technique) หรือ (DRFT) เป็นการปลูกผักโดยใช้สารอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในรางปลูก เป็นการพัฒนาระบบมาจากระบบ NFT โดยมีระดับความลึกของสารละลายอยู่ที่ 1-10 cm ในระบบ DRFT เมื่อระบบขัดข้องหรือหยุดทำงานรากพืชจะยังคงสามารถดูดซึมสารอาหารได้เพราะรางปลูกยังคงมีสารละลายธาตุอาหาร

2.10.2 น้ำและสารละลายธาตุอาหาร

น้ำ เป็นส่วนที่ส่วนสำคัญในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการผสมระหว่างน้ำกับสารอาหารให้ได้เป็นสารละลายธาตุอาหารของผัก ให้มีองค์ประกอบของธาตุอาหารครบทั้ง 13 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, กำมะถัน, เหล็ก, แมงกานีส, สังกะสี, ทองแดง, โบรอน, โมลิบดีเนียม, คลอรีน โดยอัตราส่วนที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผักในแต่ละชนิด โดยสารละลายธาตุอาหารควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม จะทำให้พืชดูดซึมสารละลายธาตุอาหารผ่านรากได้ดีและทำให้พืชมีการเจริญเติบโต สารละลายควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-6.5 และค่าความเข้มข้นของสารละลายหรือที่เรียกว่าค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity) หรือค่า (EC) ควรอยู่ในช่วง 0.5-5.0 mS/cm แต่สำหรับการปลูกผักสลัดค่า EC ควรอยู่ในช่วง 0.5-2.0 mS/cm โดยค่าการนำไฟฟ้า EC จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งในการควบคุมค่า EC ของการปลูกผักสลัดโดรโปนิกส์จะให้ค่า EC ต่ำเมื่อผักยังเล็ก และความคุมให้ค่า EC มีค่าสูงขึ้นเมื่อผักเริ่มโตขึ้น

2.11 ปริทัศน์วรรณกรรม

การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

Arble, Yekutieli, and Barak (1999) ได้ทดสอบระบบการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบการทำความเย็นแบบใช้แผ่นระเหยน้ำเทียบกับระบบพ่นหมอก ทำการทดสอบในโรงเรือนเพาะปลูกขนาด 16x24 m^2 โรงเรือนเพาะปลูกแบ่งเป็น 2 ส่วน เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ หัวพ่นหมอกขนาด 2-60 μm และแผ่นระเหยน้ำขนาด 9.6 m^2 พบว่าประสิทธิภาพของระบบพ่นหมอกดีกว่าระบบทำความเย็นแบบใช้แผ่นระเหยน้ำ เนื่องจากมีการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นที่สม่ำเสมอ โดยที่ระบบทำความเย็นที่ใช้แผ่นระเหยน้ำนั้นมีช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 5 °C และ ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง 20% RH ทุก ๆ ระยะทาง 6 m จากระยะของแผ่นระเหยน้ำ

บัณฑูร ชุนสิทธิ์, พจนา สีมันตร, ปราโมทย์ สฤษดิ์นิรันดร์ และสุพร จันธนู (2544) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของโรงเรือนปลูกพืชระบบการทำความเย็นแบบระเหยน้ำ โรงเรือนมีขนาดพื้นที่ภายในรวม 369 m^2 โครงสร้างใช้เหล็กกัลวาไนซ์คลุมด้วยพลาสติกชนิด polyethylene เคลือบสารป้องกันแสง UV ติดตั้งระบบน้ำแบบพ่นฝอยที่ควบคุมด้วยการตั้งเวลาอัตโนมัติ ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ระบบระบายอากาศใช้พัดลม 2 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพัดลม 1.38 m ผลที่ได้ประสิทธิภาพของโรงเรือนปลูกพืชโดยระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระดับความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะอากาศแวดล้อม และสภาวะอากาศภายในโรงเรือน พื้นที่และขนาดของแผ่นระเหยน้ำ จำนวนและขนาดของพัดลม

Kittas, Bartzanas, and Jaffrin (2003) ศึกษาการไล่ระดับอุณหภูมิในโรงเรือนขนาดใหญ่ที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยและติดตั้งตาข่ายพรางแสงบางส่วน โรงเรือนกว้าง 50 m ยาว 60 m ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำขนาด 61 m^2 หนา 10 cm ทางด้านใต้ของโรงเรือนและพัดลมดูดอากาศ 9 ตัวที่ด้านตะวันออกของโรงเรือน คลุมตาข่ายพรางแสงในช่วง 30 m ทางด้านตะวันออกของโรงเรือน บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น 3 ตำแหน่งคือ ด้านหน้าแผ่นระเหยน้ำ (ถัดออกมาจากแผ่นระเหยน้ำ) กึ่งกลางโรงเรือน และ ด้านหน้าพัดลมดูดอากาศ พบว่าระบบทำความเย็นสามารถควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนให้ต่ำกว่า 28 °C ในทุกสถานการณ์ ซึ่งอุณหภูมิภายในโรงเรือนต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนถึง 10 °C ในขณะที่อากาศอากาศภายนอกโรงเรือนช่วงบ่ายซึ่งสูงถึง 38 °C เนื่องจากความชื้นภายนอกโรงเรือนต่ำ โรงเรือนมีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงถึง 80% การไล่ระดับของอุณหภูมิเกิดขึ้นในทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ (ตามแนวยาวของโรงเรือน) ซึ่งอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามระยะของแผ่นระเหยน้ำไปจนถึงพัดลมสูงถึง 8 °C ของสภาพอากาศในตอนเที่ยงที่มีการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สูงสุด และการไล่ระดับของอุณหภูมิในส่วนของโรงเรือนที่ไม่มีการพรางแสงจะเห็นได้ชัดเจนกว่าส่วนของโรงเรือนที่มีการพรางแสง

Lertsatitthanakorn, Rerngwongwitaya, and Soponronnarit (2006) ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเพื่อควบคุมสภาพอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไหม ได้ทดสอบในโรงเรือนขนาด 32 m^2 ที่มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำขนาด 18x36 m^2 ที่ผนังด้านเหนือโรงเรือน และพัดลมดูดอากาศถูกติดตั้งทางด้านทิศใต้โรงเรือน ทำการทดลองในช่วงสองฤดูกาล ได้แก่ ฤดูหนาว (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2546) และฤดูร้อน (มีนาคม-เมษายน 2547) พบว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนลดลง 6-13 °C และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 30-40% RH จะเห็นได้ว่าระบบการทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำมีความสามารถที่จะลดอุณหภูมิในโรงเรือนเลี้ยงไหม

Dağtekin, Karaca, and Yıldız (2009) ศึกษาประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อในภูมิภาคเมดิเตอร์เรเนียนที่ประเทศตุรกี โรงเรือนมีขนาด 85x12 m^2 ที่ความ

จุไก่ 15,000 ตัว ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำตามแนวยาวของโรงเรือนที่ผนังด้านทิศตะวันตกและตะวันออก ขนาด 2.6x1.9 m^2 และพัดลมดูดอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.27 m จำนวน 6 ตัว แบ่งเป็นที่ผนังด้านทิศเหนือ 4 ตัว และทางด้านทิศตะวันตกและตะวันออกอย่างละ 1 ตัว ทำการทดลองในช่วงวันที่ 18 กรกฎาคม 2549 – 3 สิงหาคม 2549 พบว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยของวันที่ 18 กรกฎาคม, 19 กรกฎาคม, 25 กรกฎาคม, 29 กรกฎาคม และ 3 สิงหาคม คือ 69.2%, 70.1%, 69.4%, 70.8%, และ 72.0% ตามลำดับ และอุณหภูมิในโรงเรือนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอกลดลง 6.1 °C, 7.3 °C, 4.4 °C, 5 °C และ 5.9 °C ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจะอยู่ในช่วง 86-92% RH ที่ความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกโรงเรือนในช่วง 54-80% RH

Oz, Atilgan, Buyuktas, and Alagoz (2009) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (fan-pad cooling system) ของโรงเรือนหลังคาทรงรูปสามเหลี่ยม ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำ 3 แผ่น ขนาด 2.5x1.6 m^2 และพัดลม 2 ตัว ขนาด 0.55 kW แผ่นระเหยน้ำและพัดลมติดตั้งตรงกันข้ามกันคือด้านหัวและด้านท้ายโรงเรือน ใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 12 จุดในโรงเรือน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ถูกวัดค่าอย่างสม่ำเสมอตลอดฤดูกาลเพาะปลูกมะเขือเทศ พบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอย่างมากระหว่างอุณหภูมิที่ออกจากแผ่นระเหยกับอุณหภูมิด้านหน้าพัดลมก่อนที่จะถูกดูดออกจากโรงเรือน เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอกจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำ (ด้านหน้าแผ่นระเหยน้ำ) มีค่าลดลง 13 °C จุดกึ่งกลางโรงเรือนลดลง 8 °C และด้านหน้าพัดลมลดลง 7 °C จากแผนภาพการกระจายตัวของอุณหภูมิในโรงเรือนจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะห่างระหว่างแผ่นระเหยน้ำ และการทดสอบในวันมีความชื้นต่ำสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 10 °C ประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนมีค่า 80%

ธนากร น้ำหอมจันทร์, ธีรพงษ์ บริรักษ์, ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ, และ กุลวดี เถนว้อง (2558) ได้ออกแบบและสร้างโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินสำหรับบ้านพักอาศัย ขนาด 2x4x3.5 m^3 ทำความเย็นด้วยระบบระเหยน้ำ (Evaporative Cooling System) ระบบความคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติโดยใช้ PLC เป็นตัวควบคุมและระบบควบคุมคุณภาพสารละลายธาตุอาหารพืชแบบอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นส่วนควบคุมและสั่งการ ซึ่งการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิพบว่าการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำโดยใช้แผ่นระเหยน้ำร่วมกับระบบสเปรย์ละอองน้ำ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28-30 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ในช่วง 70-80% RH ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การปลูกพืช

นิติรงค์ พงษ์พานิช และคนอื่น ๆ (2558) ได้พัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบ Evaporative cooling และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโรงเรือนขนาด 2x6x2.5 m^3 ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำขนาด 2x2.5 m^2 ปั๊มน้ำขนาดเล็ก 2 ตัว พัดลมดูดอากาศ 6 ตัว ใช้วงจรไมโครโพรเซสเซอร์ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำและพัดลมระบาย

อากาศเพื่อให้ได้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตามที่ออกแบบไว้ สามารถลดอุณหภูมิได้ 4-6 °C จากอุณหภูมิภายนอกภายในระยะเวลาประมาณ 12 นาที ประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนสูงสุดอยู่ที่ 58% และยังพบอีกว่ามีปัจจัยหลายส่วนที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของโรงเรือน เช่น สถานที่ทดลอง ช่วงเวลาที่ทำการทดลองซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นเป็นต้น

DAYIOĞLU and SİLLELİ (2015) ได้ทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (Fan-Pad) เพื่อศึกษาการไล่ระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนที่ปลูกมะเขือเทศ โรงเรือนมีพื้นที่ 64 m^2 ติดตั้งระบบระบายอากาศตามธรรมชาติ ตาข่ายพรางแสง พัดลมระบายความร้อน ระบบพ่นหมอกแรงดันสูง ระบบพัดลมกับแผ่นระเหยน้ำ ระบบน้ำหยด เครื่องทำความร้อนแบบอินฟราเรด และระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นแบบดิจิตอล 5 ตัว ภายในโรงเรือนตามแนวแกนยาวตามแนวปลูกมะเขือเทศ เซนเซอร์วัดรังสีดวงอาทิตย์ 2 ตัว ติดตั้งภายในโรงเรือนและบนหลังคาโรงเรือน ในการทดลองได้ปลูกมะเขือเทศบนดินและให้น้ำระบบน้ำหยดและระบบต่าง ๆ ถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อให้สภาพอากาศเหมาะแก่การเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ใช้ระบบระบายความร้อนแบบแผ่นระเหย 2-4 ชั่วโมงต่อวัน ร่วมกับตาข่ายพรางแสง ในช่วงเวลา 13.14-17.00 น. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแผ่นระเหยน้ำในช่วงเวลา 180 นาที พบว่าเมื่อปิดระบบอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมง ที่ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2, 3, 4 และ 5 จะอยู่ที่ประมาณ 33 °C, 31 °C, 32 °C และ 30 °C ตามลำดับ ตามแกนนอนจากแผ่นระเหยน้ำถึงพัดลมดูดอากาศ หลังจากเปิดระบบแผ่นระเหยน้ำ (Fan-Pad) เมื่อสภาวะการทำความเย็นคงที่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2, 3, 4 และ 5 จะลดลงเหลือประมาณ 20 °C, 24 °C, 27 °C และ 26 °C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสามารถลดลงได้มากถึง 12.75 °C, 6.6 °C, 4.9 °C และ 3.8 °C ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เมื่อปิดระบบทำความเย็น ระดับความชื้นเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2, 3, 4 และ 5 จะอยู่ที่ประมาณ 30% RH, 41% RH, 39% RH และ 47% RH ตามลำดับ ซึ่งระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีมากขึ้นเนื่องจากการคายน้ำของพืช แม้กระทั่งการเปิดระบบ เวลา 14:00 – 15:00 น. ระดับความชื้นเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2, 3, 4 และ 5 ตำแหน่งเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 68% RH, 56% RH, 50% RH และ 57 RH% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอากาศที่ตำแหน่งการวัดตามแนวยาวโรงเรือนมีความชื้นมากขึ้นถึง 38% RH, 15% RH, 11% RH และ 10% RH ตามลำดับ ดังนั้นข้อเสียเปรียบของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำก็คือการไล่ระดับของอุณหภูมิในแนวนอนซึ่งมีความแตกต่างมากถึง 14 °C ระหว่างแผ่นระเหยน้ำถึงพัดลม ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนยังขึ้นอยู่กับการคายน้ำของพืช และประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ที่ 76.8%

Xu, Li, Wang, Liu, and Zhou (2015) ประเมินประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำของโรงเรือนในสภาพอากาศกึ่งร้อนชื้นที่เซี่ยงไฮ้ โรงเรือนมีขนาดความกว้าง 48 m ยาว

48 m ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำความยาว 42.1 m กว้าง 1.9 m ที่ผนังทิศเหนือ และพัดลมดูดอากาศขนาด 1.1 kW จำนวน 10 ตัวที่ผนังทิศใต้ของโรงเรือน พัดลมหมุนเวียนอากาศขนาด 10 W ภายในโรงเรือนเพื่อให้อากาศไหลเวียนได้สม่ำเสมอ ด้านบนโรงเรือนติดตั้งแผงบังแดดและตะแกรงกันความร้อนแบบเลื่อนพับได้และตาขายบังแสงสีดำด้านนอกหลังคา วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ระยะและตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วทั้งโรงเรือน การทำงานของระบบทำความเย็นได้แบ่งการทำงานของระบบต่าง ๆ ออกเป็น 5 โหมด ที่ทำงานกันคนละเวลาและทำงานร่วมกัน พบว่าที่สภาวะด้านนอกโรงเรือนมีความชื้นสูง อุณหภูมิภายในโรงเรือนมีความสามารถลดลงน้อยกว่าสภาวะด้านนอกโรงเรือนที่มีความชื้นต่ำ โดยที่สภาวะด้านนอกที่มีความชื้นสูงมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70% RH อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะมีค่าประมาณ 28 °C แต่เมื่อใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำอย่างเดียว พบว่าส่วนพื้นที่ครึ่งหนึ่งของโรงเรือนที่ใกล้กับพัดลมดูดอากาศผลของการทำความเย็นจะไม่ได้ผล ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 37 °C ที่ระยะ 44 m ที่ห่างจากแผ่นระเหยน้ำ แต่ค่าของอุณหภูมิในช่วงครึ่งแรกที่ใกล้กับแผ่นระเหยน้ำนั้นยังเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่เมื่อใช้ตาข่ายบังแดดภายนอกและฉากกันความร้อนร่วมด้วย โรงเรือนสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และทำให้การไล่ระดับของอุณหภูมิในโรงเรือนลดลง โดยที่ผลต่างระหว่างตำแหน่งที่ 4 m กับ 44 m (ระยะห่างระหว่างตำแหน่งหน้าแผ่นระเหยน้ำถึงหน้าพัดลมดูดอากาศ) คือ 6 °C และ 7 °C โดยการใช้ตาข่ายบังแดดภายนอกและฉากกันความร้อนภายในโรงเรือนตามลำดับ สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนได้ประมาณ 80% RH ซึ่งสูงกว่าภายนอกโรงเรือนถึง 15% RH

สุรินทร์ ดันใจ และ สุลักษณา มงคล (2559) ศึกษาศักยภาพการทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเพื่อประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัยที่ตั้งในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับแล้งของจังหวัดเชียงใหม่ ทำการทดสอบระบบทำความเย็นในห้องขนาด 3x3x2.5 m^3 ระบบทำความเย็นแบบระเหยใช้แผ่นระเหยน้ำขนาดหน้าตัด 0.122 m^2 ร่วมกับพัดลมขนาด 65 W ผลที่ได้คือระบบทำความเย็นสามารถลดอุณหภูมิอากาศในห้องได้ 0.2-3.1 °C และทำให้ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้องเพิ่มขึ้น 7.1-12% RH แต่มีบางช่วงเวลาที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินไปเมื่อเทียบกับความสบายของมนุษย์ และพบว่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นเล็กน้อย

ภานุวิชญ์ พุทธรักษา, ปรีดา นาเวศน์, และสุลักษณา มงคล (2560) ศึกษาศักยภาพในการควบคุมภูมิอากาศจุลภาคภายในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ที่มีการใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำในภูมิภาคเขตร้อนของจังหวัดเชียงใหม่ โรงเรือนขนาด 6x24x2.4 m^3 มีช่องระบายอากาศทางหลังคากว้าง 0.3 m ระบบทำความเย็นแบบระเหยใช้แผ่นระเหยน้ำที่มีพื้นที่ 14.04 m^2 ร่วมกับพัดลมระบายอากาศขนาด 50 W โดยติดตั้งพัดลมหน้าแผ่นระเหยน้ำใต้รางปลูกสตรอว์เบอร์รี เพื่อทำหน้าที่ให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านแนวปลูกสตรอว์เบอร์รี มีการใช้ตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งไว้บริเวณหลังคาในตอนกลางวัน ผลที่ได้คือระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายใน

โรงเรือนได้ 1.1-2.7 ℃ และมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น 7.5% RH และเมื่อใช้ร่วมกับตาข่ายพรางแสงสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนได้สูงสุด 3.3 ℃ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 10% RH

Aljubury and Ridha (2017) ได้ทดสอบระบบทำความเย็นของโรงเรือนในสภาพอากาศแบบทะเลทรายในประเทศอิรัก ซึ่งในช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนสูงถึง 50 °C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำประมาณ 10% RH โรงเรือนที่ใช้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำความเย็นแบบระเหยทางอ้อมและแผ่นระเหยน้ำ 3 ชั้น ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นแบบระเหยทางตรง ใช้น้ำใต้ดินซึ่งบ่อลึก 8 m ในการหมุนเวียนให้ระบบทำความเย็น มีการพรางแสงช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ พบว่าระบบทำความเย็นสามารถลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ 12.1-21 °C เมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมภายนอก และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้จาก 8% RH เป็น 62 % RH เมื่อใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ประสิทธิภาพการทำความเย็นมีค่า 77.5% และเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้นเป็น 108% ซึ่งการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำในการหมุนเวียนระบบยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น และการใช้ตาข่ายพรางแสงยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิละเพิ่มความชื้นให้กับอากาศในโรงเรือน

ประทีป ตุ้มทอง, สันติ สาแก้ว, ปราโมทย์ นิยมทอง, ณัฏฐ์ธนัน กีรติญาดาธนภัทร, และณัฏฐ์ สุวรรณกูฏ (2564) ศึกษาระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำและแบบพ่นหมอกของโรงเรือนเพาะเห็ดที่มีขนาดความสูง 1.95 m ยาว 2 m กว้าง 1.5 m ภายในโรงเพาะเห็ดใช้ปั๊มน้ำให้ความชื้นกับแผ่นระเหยน้ำและใช้พัดลมระบายอากาศ 2 ตัว ในการเพิ่มความชื้นและลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะเห็ด ควบคุมโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะเห็ดระหว่าง 28-30 ℃ และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 75-85% RH พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนเพาะเห็ดที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำและแบบพ่นหมอกเท่ากับ 29.3 และ 31.3 °C ตามลำดับ ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำจะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่าแบบพ่นหมอกแต่จะมีการใช้น้ำต่อวันต่ำกว่าแบบพ่นหมอก

Tsafaras et al (2021) ออกแบบและปรับปรุงโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเพื่อศึกษาความสามารถในการลดการใช้น้ำของโรงเรือน เปรียบเทียบการลดการใช้น้ำและผลผลิตระหว่างโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำที่ใช้งานทั่วไปกับโรงเรือนที่ได้รับการออกแบบและปรับปรุง โดยควบคุมอุณหภูมิในช่วงกลางวันที่ 25-28 °C และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงกลางวันอยู่ที่ 65-85% RH ซึ่งทั้งสองโรงเรือนสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าสภาพแวดล้อมภายนอกโรงเรือนได้ถึง 14 °C ประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนทั่วไปและโรงเรือนที่ได้ปรับปรุงอยู่ที่ 80% และ 85% ตามลำดับ โรงเรือนที่ได้ออกแบบและปรังปรุงให้ผลผลิตน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นประมาณ 14% และประหยัดน้ำได้มากกว่า 40%

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกพืชโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำร่วมกับการใช้ตาข่ายพรางแสง และควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน เพื่อให้มีสภาพอากาศภายในโรงเรือนเหมาะสมแก่การปลูกพืช

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

โรงเรือนทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยถูกติดตั้งที่อาคารจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเพื่อใช้ควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือน โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือวัดดังต่อไปนี้

1) โรงเรือนเพาะปลูกแบบปิดหลังคาทรงโค้ง กว้าง 4 m ยาว 8 m และสูง 3 m โครงสร้างเป็นท่อเหล็กเคลือบสังกะสี (Galvanized steel pipe) ผนังและหลังคาคลุมด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene) มีความหนา 0.25 mm และหลังคาคลุมด้วยตาข่ายพรางแสง (Shading Net) ยี่ห้อ Fonte ที่สามารถกรองได้ 50%

2) แผ่นระเหยน้ำ ยี่ห้อ HUNTER cooling PAD ขนาดต่อแผ่นกว้าง 0.30 m สูง 1.8 m และหนา 0.15 m ผลิตจากเยื่อกระดาษ Kraft จากประเทศฟินแลนด์ มีลอนกระดาษสูง 7 mm ทำมุมตัดกัน 90 องศา แบบ 45x45 องศา หรือทำมุม 45 องศากับแนวระดับทั้ง 2 ด้าน

3) ปั๊มน้ำยี่ห้อ TAIFU กำลังไฟฟ้า 370 W อัตราการไหลของน้ำ 32 L/min แรงดันสูงสุดที่ 28 m

4) พัดลมระบายอากาศยี่ห้อ VENZ รุ่น IF 16 ขนาดใบพัด 16 นิ้ว อัตราการไหลของอากาศ 4000 cfm กำลังไฟฟ้า 190 W จำนวน 4 ตัว

5) พัดลมระบายอากาศยี่ห้อ Hatari รุ่น HF-VW30M3(N) มีขนาดใบพัด 12 นิ้ว อัตราการไหลของอากาศ 15 cfm กำลังไฟฟ้า 27 W จำนวน 2 ตัว

6) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ DHT22 ยี่ห้อ ASAIR รุ่น AM2302 มีความคลาดเคลื่อน ± 2% RH ± 0.5 °C จำนวน 4 ตัว

7) เครื่องวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Solar power meter) ยี่ห้อ TENMARS รุ่น TM-206 ที่มีความคลาดเคลื่อน ± 0.38 W/m^2

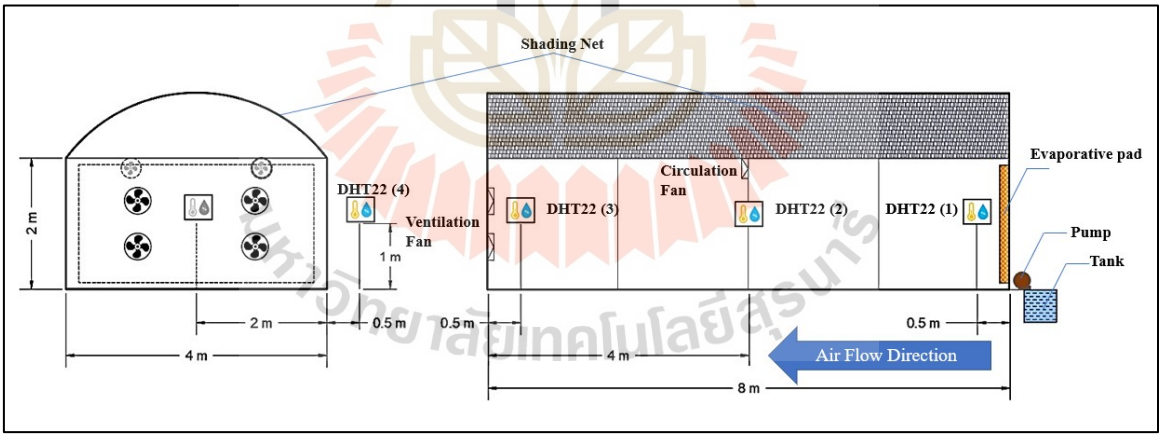
8) เครื่องวัดความเร็วลม (Hot wire anemometer) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM8903 ช่วงการวัดความเร็วลม 0-30 m/s ความแม่นยำ ±3%

9) เครื่องวัดแสง (Luminous intensity measurement instrument) ยี่ห้อ TESTO รุ่น testo 545 ช่วงการวัดแสง 0-100,000 Lux ความแม่นยำ ±5%

3.2 การออกแบบโรงเรือนเพาะปลูก

โรงเรือนเพาะปลูกแบบปิดหลังคาทรงโค้งที่มีขนาดความกว้าง 4 m ความยาว 8 m สูง 3 m มีโครงสร้างเป็นท่อเหล็กเคลือบสังกะสี หลังคาและผนังคลุมด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน และหลังคาเสริมด้วยตาข่ายพรางแสง ดังรูปที่ 3.1 ติดตั้งแผ่นระเหยน้ำด้านท้ายโรงเรือนเพาะปลูกให้มีขนาดความกว้าง 3.6 m สูง 1.8 m ใช้ปั๊มน้ำขนาดกำลังไฟฟ้า 370 W ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำ 32 L/min ทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำให้กับแผ่นระเหยน้ำ ใช้ถังเก็บน้ำขนาด 160 ลิตร ฝังอยู่ใต้ดินเพื่อทำหน้าที่กักเก็บน้ำด้านหลังโรงเรือน บริเวณกึ่งกลางโรงเรือนติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 12 นิ้ว จำนวน 2 ตัว และบริเวณด้านหน้าโรงเรือนติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาด 16 นิ้ว จำนวน 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ดึง (ดูด) อากาศภายในโรงเรือนออกสู่ภายนอกโรงเรือน และติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 จำนวน 4 ตัว ประกอบด้วยด้านในโรงเรือนจำนวน 3 ตัว ติดตั้งตามแนวยาวของโรงเรือนบริเวณกึ่งกลางโรงเรือน ซึ่งตัวแรกติดตั้งที่ด้านท้ายโรงเรือนห่างจากผนังแผ่นระเหยน้ำ 0.5 m ตัวที่สองติดตั้งที่บริเวณกึ่งกลางโรงเรือน และตัวที่สามติดตั้งที่ด้านหน้าโรงเรือนห่างจากผนังด้านหน้าโรงเรือน 0.5 m และตัวที่สี่ติดตั้งด้านนอกโรงเรือนซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางโรงเรือนห่างจากผนังโรงเรือน 1 m ซึ่งเซนเซอร์ทุกตัวติดตั้งสูงจากพื้น 1 m ดังรูปที่ 3.2 เพื่อใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน

รูปที่ 3.1 โรงเรือนทดสอบระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ



รูปที่ 3.2 ขนาดโรงเรือนและตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

3.3 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน ได้แบ่งการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ออกจากกัน เนื่องจากค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่แปรผกผันกัน โดยแบ่งการควบคุมออกเป็นการควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

3.3.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของตู้ควบคุมการทำงานของโรงเรือน

ระบบควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือน ถูกติดตั้งด้านนอกโรงเรือน ซึ่งตู้ควบคุมระบบควบคุมสภาพอากาศของโรงเรือนมีรายละเอียดอุปกรณ์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของตู้ควบคุมการทำงานของโรงเรือน

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย
1	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Mega 2560	1	ตัว
2	เมนเบรกเกอร์ 15 แอมป์	4	ตัว
3	สวิทชิ่ง 12 โวลต์ 5 แอมป์	1	ตัว
4	โซลิดสเตตรีเลย์	3	ตัว
5	จอแสดงผล LCD ขนาดตัวอักษร 20x4	3	ตัว
6	จอแสดงผล LCD ขนาดตัวอักษร 16x2	1	ตัว
7	สเตปดาว	2	ตัว
8	โมดูลนาฬิกา (RTC) รุ่น DS1302	1	ตัว
9	โมดูลสำหรับเขียน/อ่าน MicroSD card	1	ตัว
10	มิเตอร์ไฟฟ้า	1	ตัว

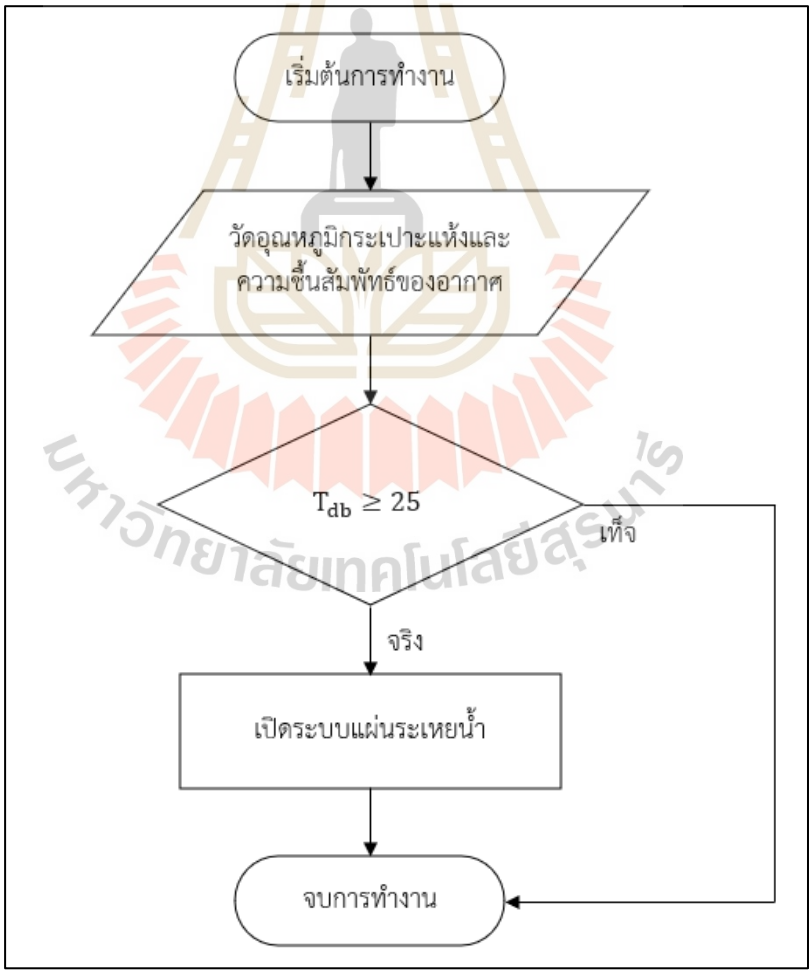
ระบบควบคุมใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Mega 2560 ในการรับค่าและสั่งการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งตู้ควบคุมประกอบไปด้วยมิเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้ในการอ่านค่าการใช้พลังงาน โดยเริ่มจ่ายไฟให้กับมิเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นต่อไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้าสู่เมนเบรกเกอร์หลัก (ตัวที่ 1) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิด-เปิด ไฟฟ้าให้กับ

ระบบควบคุม จากนั้นกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกต่อเข้า สวิทชิ่ง และรีเลย์ทั้ง 3 ตัว ซึ่งสวิทชิ่ง จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดัน 12 โวลต์ จากนั้นต่อไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์เข้ากับ สเตปดาว 2 ตัว โดยตัวที่ 1 แปลงแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ให้เหลือ 9 โวลต์ เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับบอร์ด Arduino และตัวที่ 2 แปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 5 โวลต์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าใช้กับจอแสดงผล โมดูลนาฬิกา โมดูล SD card รีเลย์ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 ซึ่งโมดูลนาฬิกามีหน้าที่สำหรับใช้ตั้งค่าเวลาสำหรับการจัดเก็บข้อมูล โมดูลอ่านเขียน SD card ใช้สำหรับอ่านและบันทึกข้อมูล จอแสดงผล LCD รุ่น20x4 จำนวน 3 ตัวและรุ่น 16x2 จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้แสดงข้อมูลต่าง ๆ ใช้รีเลย์จำนวน 3 ตัว แบ่งการควบคุมออกเป็น รีเลย์ตัวที่ 1 ใช้สั่งการทำงานของปั๊มน้ำ ตัวที่ 2 ใช้สั่งการทำงานของพัดลมที่กึ่งกลางโรงเรือน และตัวที่ 3 ใช้สั่งการทำงานของพัดลมดูดอากาศด้านหน้าโรงเรือน ซึ่งรีเลย์ทั้ง 3 ตัว เมื่อสั่งการทำงานกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกต่อผ่านเบรกเกอร์อีก 3 ตัว เพื่อใช้เป็นสวิตซ์เปิด-ปิดในกรณีฉุกเฉิน และใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 ใช้รับค่าข้อมูลสภาพอากาศทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ตู้ควบคุมการทำงานของโรงเรือน

3.3.2 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

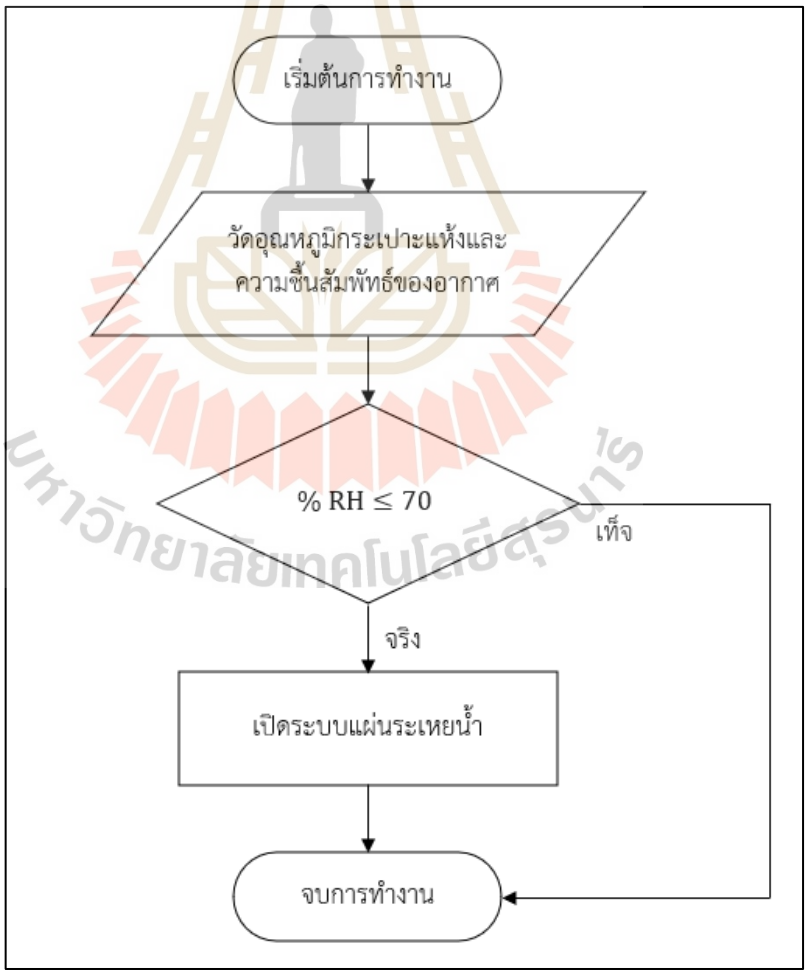
ระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน จะเริ่มการทำงานเมื่อเปิดระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนถูกใช้วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะรับค่าและประมวณผลของค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน โดยใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเป็นตัวกำหนดค่า โดยให้มีค่าเท่ากับ 25 °C เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่ามากว่า 25 °C บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะสั่งการทำงานของรีเลย์ เพื่อให้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำทำงาน ซึ่งประกอบด้วยการทำงานของปั๊มน้ำ พัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ แต่เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 °C ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำจะหยุดทำงาน ซึ่งมีกระบวนการทำงาน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

3.3.2 การออกแบบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

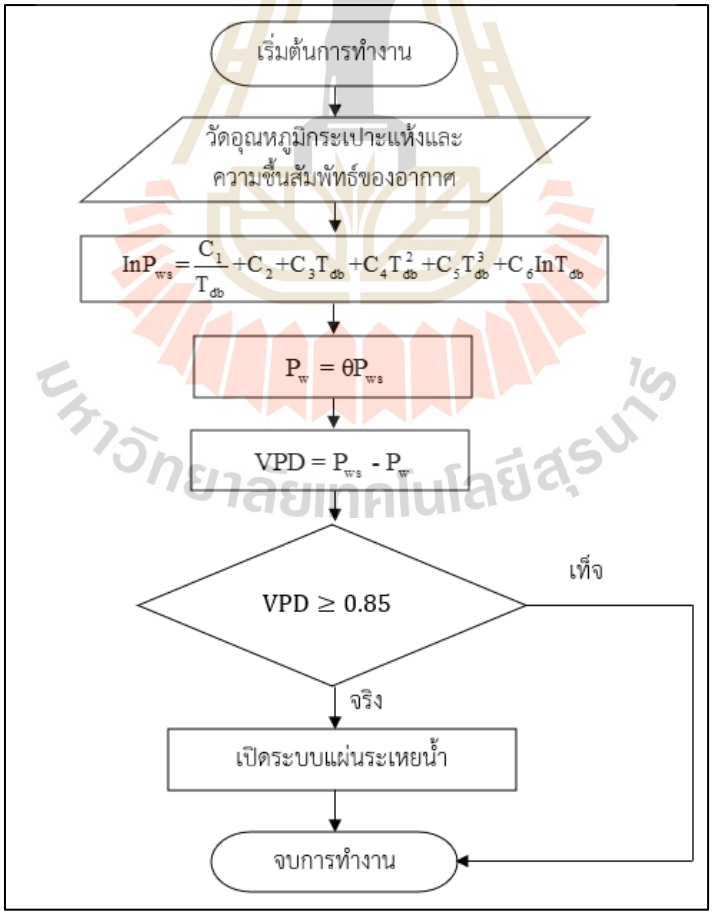
ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ จะเริ่มการทำงานเมื่อเปิดระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนถูกใช้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะรับค่าและประมวณผลของค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน โดยใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนเป็นตัวกำหนดค่า โดยให้มีค่าเท่ากับ 70% RH โดยที่เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าน้อยกว่า 70% RH บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะสั่งการทำงานของรีเลย์ เพื่อให้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำทำงาน ซึ่งประกอบด้วยการทำงานของปั๊มน้ำ พัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ แต่เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนมากกว่าหรือเท่ากับ 70% RH ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำจะหยุดทำงาน ซึ่งมีกระบวนการทำงาน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำงานระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

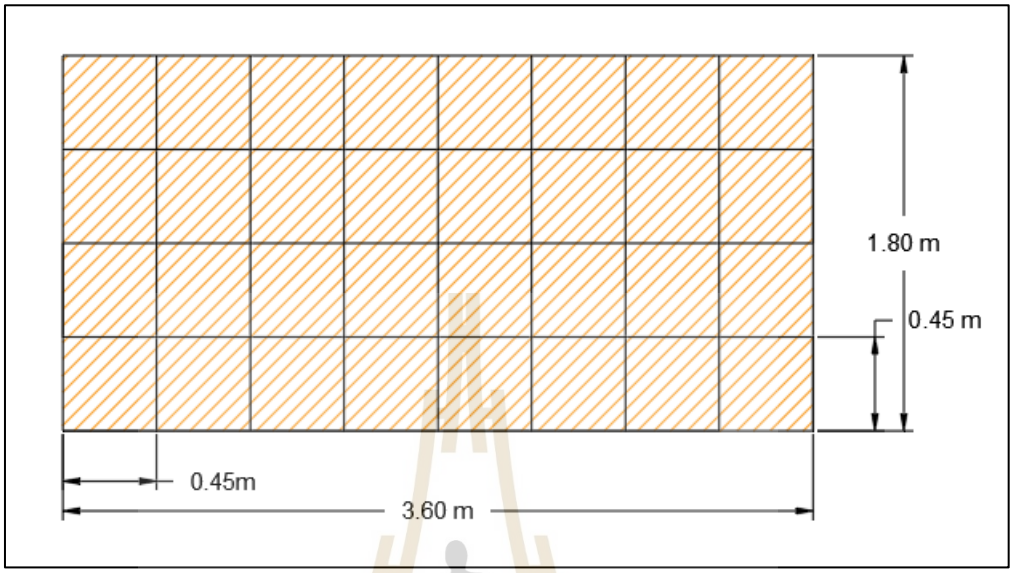
3.3.3 การออกแบบระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

ระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ จะเริ่มการทำงานเมื่อเปิดระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนถูกใช้วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน มาทำการประมวณผลและคำนวนเป็นค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ โดยใช้ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD) มาเป็นตัวกำหนดค่า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.85 kPa โดยที่เมื่อค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในโรงเรือนมีค่ามากกว่า 0.85 kPa บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะสั่งการทำงานของรีเลย์ เพื่อให้ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำทำงาน ซึ่งประกอบด้วยการทำงานของปั๊มน้ำ พัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ แต่เมื่อค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในโรงเรือนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 0.85 kPa ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำจะหยุดทำงาน ซึ่งมีกระบวนการทำงาน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานระบบควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

3.4 การทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำ



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งการวัดการไหลของอากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำ

การทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำ เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมต่อการออกแบบโรงเรือนเพาะปลูก ซึ่งให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สูงและสอดคล้องกับการเลือกใช้ชนิดของแผ่นระเหยน้ำ จึงได้แบ่งการทดสอบเป็น 3 กรณี 1) ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว กรณีที่ 2) ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว กรณีที่ 3) ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว โดยสามารถทำการทดลองได้ดังนี้

3.4.1 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว

1) เขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานของโรงเรือน เพื่อสั่งเปิดการทำงานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยการทำงานของอุปกรณ์ 3 ชุด ได้แก่ 1. ปั๊มน้ำ 2. พัดลมระบายอากาศ 3. พัดลมดูดอากาศ

2) ใช้พัดลมดูดอากาศด้านหน้าโรงเรือนจำนวน 2 ตัว

3) เปิดใช้งานโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยให้ระบบทำงานต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) วัดอัตราการไหลของอากาศที่แผ่นระเหยน้ำตามจุดการวัด (จุดตัดของเส้น) ตามรูปที่ 3.7 ในช่วงเวลาที่สภาพอากาศด้านนอกโรงเรือนมีลมพัดผ่านโรงเรือนน้อยมาก

5) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งเริ่มการทดลองตั้งแต่ 8.00-17.00 น. โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

6) บันทึกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ทุกๆ 1 ชั่วโมง

7) ทำการตวงน้ำและเติมน้ำ เข้าถังเก็บน้ำ เพื่อหาอัตราการใช้น้ำ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

8) ทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง

9) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.4.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว

1) เขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานของโรงเรือน เพื่อสั่งเปิดการทำงานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยการทำงานของอุปกรณ์ 3 ชุด ได้แก่ 1. ปั๊มน้ำ 2. พัดลมระบายอากาศ 3. พัดลมดูดอากาศ

2) ใช้พัดลมดูดอากาศด้านหน้าโรงเรือนจำนวน 3 ตัว

3) เปิดใช้งานโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยให้ระบบทำงานต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

4) วัดอัตราการไหลของอากาศที่แผ่นระเหยน้ำตามจุดการวัด (จุดตัดของเส้น) ตามรูปที่ 3.7 ในช่วงเวลาที่สภาพอากาศด้านนอกโรงเรือนมีลมพัดผ่านโรงเรือนน้อยมาก

5) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งเริ่มการทดลองตั้งแต่ 8.00-17.00 น. โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

6) บันทึกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ทุกๆ 1 ชั่วโมง

7) ทำการตวงน้ำและเติมน้ำ เข้าถังเก็บน้ำ เพื่อหาอัตราการใช้น้ำ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

8) ทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง

9) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.4.3 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว

1) เขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานของโรงเรือน เพื่อสั่งเปิดการทำงานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยการทำงานของอุปกรณ์ 3 ชุด ได้แก่ 1. ปั๊มน้ำ 2. พัดลมระบายอากาศ 3. พัดลมดูดอากาศ

2) ใช้พัดลมดูดอากาศด้านหน้าโรงเรือนจำนวน 4 ตัว

3) เปิดใช้งานโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยให้ระบบทำงานต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

4) วัดอัตราการไหลของอากาศที่แผ่นระเหยน้ำตามจุดการวัด (จุดตัดของเส้น) ตามรูปที่ 3.7 ในช่วงเวลาที่สภาพอากาศด้านนอกโรงเรือนมีลมพัดผ่านโรงเรือนน้อยมาก

5) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งเริ่มการทดลองตั้งแต่ 8.00-17.00 น. โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

6) บันทึกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ทุกๆ 1 ชั่วโมง

7) ทำการตวงน้ำและเติมน้ำ เข้าถังเก็บน้ำ เพื่อหาอัตราการใช้น้ำ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

8) ทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง

9) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.5 การทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของอากาศ

จากการทดสอบหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมของโรงเรือนจากหัวข้อที่ 3.4 ที่กล่าวมา ทำให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมของโรงเรือนที่ใช้ทดสอบ โดยใช้พัดลมดูดอากาศจำนวน 4 ตัว แต่เนื่องด้วยสภาพอากาศในแต่ละวันต่างกัน จึงได้แบ่งวันทดสอบออกเป็นในวันที่สภาพอากาศเย็น (มีอุณหภูมิต่ำ) และวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน (มีอุณหภูมิสูง) ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

1) เขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานของโรงเรือน เพื่อสั่งเปิดการทำงานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยการทำงานของอุปกรณ์ 3 ชุด ได้แก่ 1. ปั๊มน้ำ 2. พัดลมระบายอากาศ 3. พัดลมดูดอากาศ

2) เปิดใช้งานโรงเรือนที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยให้ระบบทำงานต่อเนื่องตลอดทั้งวัน

3) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งเริ่มการทดลองตั้งแต่ 8.00-17.00 น. โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

4) บันทึกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ทุกๆ 1 ชั่วโมง

5) ทำการตวงน้ำและเติมน้ำ เข้าถังเก็บน้ำ เพื่อหาอัตราการใช้น้ำ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

6) ทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ทุกๆ 1 ชั่วโมง

7) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.6 การทดสอบเพื่อหาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม

3.6.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

การทดสอบระบบควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำโดยการควบคุมค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน ทำการทดสอบตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00-17.00 น. ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนให้มีค่าไม่เกิน 25 °C

2) ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งการวัดภายในโรงเรือน เพื่อให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์รับค่าและสั่งการทำงานของปั๊มน้ำและพัดลม

3) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งเริ่มการทดลองตั้งแต่ 8.00-17.00 น. โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

4) บันทึกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ทุกๆ 1 ชั่วโมง

5) ทำการตวงน้ำและเติมน้ำ เข้าถังเก็บน้ำ เพื่อหาอัตราการใช้น้ำ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

6) ทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ทุกๆ 1 ชั่วโมง

7) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.6.2 ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

การทดสอบระบบควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำโดยการควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน ทำการทดสอบตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00-17.00 น. ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนให้มีค่าเท่ากับ 70% RH

2) ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งการวัดภายในโรงเรือน เพื่อให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์รับค่าและสั่งการทำงานของปั๊มน้ำและพัดลม

3) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งเริ่มการทดลองตั้งแต่ 8.00-17.00 น. โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

4) บันทึกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ทุกๆ 1 ชั่วโมง

5) ทำการตวงน้ำและเติมน้ำ เข้าถังเก็บน้ำ เพื่อหาอัตราการใช้น้ำ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

6) ทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ทุกๆ 1 ชั่วโมง

7) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.6.3 ระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

การทดสอบระบบควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในโรงเรือน ทำการทดสอบตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00-17.00 น. ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำโดยการควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในโรงเรือนให้มีค่าท่ากับ 0.85 kPa

2) ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งการวัดภายในโรงเรือน เพื่อให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์รับค่าและสั่งการทำงานของปั๊มน้ำและพัดลม

3) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งเริ่มการทดลองตั้งแต่ 8.00-17.00 น. โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

4) บันทึกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน ทุกๆ 1 ชั่วโมง

5) ทำการตวงน้ำและเติมน้ำ เข้าถังเก็บน้ำ เพื่อหาอัตราการใช้น้ำ ทุกๆ 1 ชั่วโมง

6) ทำการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ทุกๆ 1 ชั่วโมง

7) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.7 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช

การทดสอบการปลูกพืชเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต จะทำการปลูกพืชภายในโรงเรือนที่มีการควบคุมสภาพอากาศเทียบกับการปลูกพืชภายนอกโรงเรือนหรือการปลูกพืชภายนอกโรงเรือนโดยทั่วไปที่ไม่ได้มีการควบคุมสภาพอากาศ โดยการปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คซึ่งใช้ระบบปลูกแบบไฮโดรโปรนิกส์ ควบคุมสารละลายปุ๋ยหรือธาตุอาหารและค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ เพื่อให้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของผักทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

3.7.1 การปลูกพืชภายในโรงเรือน

1) โรงเรือนเพาะปลูกพืชใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศผ่านการควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ โดยควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในโรงเรือนให้มีค่า 0.85 kPa เปิดใช้งานระบบควบคุมตั้งแต่ช่วงเวลา 7.00-17.00 น.

2) ปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คภายในโรงเรือนใช้ระบบไฮโดโปรนิกส์แบบ NFT ซึ่งประกอบไปด้วยรางปลูกขนาดกว้าง 1.5 m ยาว 3.5 m สูง 1 m มีรางปลูก 5 ราง รางปลูกละ 15 ต้น ถังน้ำขนาด 40 ลิตร ปั๊มน้ำขนาด 32 W

3) ต้นกล้าที่นำมาลงรางปลูกมีอายุ 20 วัน หลังจากหยอดเมล็ด มีขนาดต้นที่สมบูรณ์และขนาดของต้นกล้าที่ใกล้เคียงกัน

4) ควบคุมค่าการนำไฟฟ้าภายในสารละลายธาตุอาหาร (EC) อยู่ในช่วง 1.5-2.0 mS/cm และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.5-7.5

5) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยให้บอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์บันทึกค่าทุกๆ 5 นาที โดยมีข้อมูลการบันทึกค่าดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านนอกโรงเรือน

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือน

6) บันทึกค่าการเจริญเติบโตของผักสลัด เมื่อมีอายุ 20 25 30 35 40 วัน หลังจากเพาะเมล็ด ซึ่งรายละเอียดการวัดจะกล่าวในหัวข้อ 3.7.3

7) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.7.2 การปลูกพืชภายนอกโรงเรือน

1) การปลูกพืชภายนอกโรงเรือน ใช้การปลูกผักสลัดแบบทั่วไปไม่ควบคุมสภาพอากาศ ซึ่งสภาพอากาศมีการแปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน

2) ปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คระบบไฮโดโปรนิกส์แบบ NFT ซึ่งประกอบไปด้วยรางปลูกขนาดกว้าง 1.5 m ยาว 3.5 m สูง 1 m มีรางปลูก 5 ราง รางปลูกละ 15 ต้น ถังน้ำขนาด 40 ลิตร ปั๊มน้ำขนาด 32 W

3) ต้นกล้าที่นำมาลงรางปลูกมีอายุ 20 วัน หลังจากหยอดเมล็ด มีขนาดต้นที่สมบูรณ์และขนาดของต้นกล้าที่ใกล้เคียงกัน

4) ควบคุมค่าการนำไฟฟ้าภายในสารละลายธาตุอาหาร (EC) อยู่ในช่วง 1.5-2.0 mS/cm และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.5-7.5

5) บันทึกค่าการเจริญเติบโตของผักสลัด เมื่อมีอายุ 20 25 30 35 40 วัน หลังจากเพาะเมล็ด ซึ่งรายละเอียดการวัดจะกล่าวในหัวข้อ 3.7.3

6) นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์

3.7.3 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คภายในและภายนอกโรงเรือน จะทำการวัดการเจริญเติบโต เมื่อผักสลัดมีอายุ 20 25 30 35 40 วันหลังจากการเพาะเมล็ด จำนวนตัวอย่าง 40 ตัวอย่างทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน โดยทำการวัดการเจริญเติบโตดังนี้

1) จำนวนใบ ทำการนับจำนวนใบที่กางเต็มที่

2) ความกว้างทรงพุ่ม วัดความกว้างทรงพุ่มในแนวที่กว้างที่สุด

3) ความสูง วัดความสูงจากโคนต้น จนถึงส่วนที่สูงที่สุดของต้น

4) น้ำหนักสด ชั่งน้ำหนักสดของผักหลักจากเก็บเกี่ยวโดยตัดรากออก และนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5) น้ำหนักแห้ง นำผักสดไปอบแห้ง ที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตโดยใช้โปรแกรม Minitab ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 1 ตัวแปร (ANOVA)

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลของอากาศและความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์

กรณีที่	อัตราการไหลของอากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำ (m/s)	ผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือนเฉลี่ย (°C)	ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือนเฉลี่ย (% RH)
1	0.23	3.9	24.7
2	0.44	5.9	29.8
3	0.64	6.6	33.1

หมายเหตุ กรณีที่ 1 โรงเรือนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว
กรณีที่ 2 โรงเรือนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว
กรณีที่ 3 โรงเรือนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว

จากการทดลองการหาอัตราการไหลของอากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำ พบว่า ค่าอัตราการไหลของอากาศจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนพัดลมดูดอากาศที่ใช้ (ตารางที่ 4.1) เมื่อใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว จะได้ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำมีค่าสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.64 m/s โดยมีค่าอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงถึง 90% (ตามคู่มือการใช้แผ่นระเหยน้ำ) สามารถลดอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยทั้งวันได้ถึง 6.6 °C และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้สูงขึ้นถึง 33.1% RH ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้พัดลมดูดอากาศของโรงเรือนจำนวน 4 ตัว ซึ่งจะใช้ในการทดสอบระบบควบคุมสภาพอากาศของเรือนเพาะปลูกในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เหมาะสม

กรณีที่	อัตราการไหลของอากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำ (m/s)	การใช้น้ำต่อชั่วโมง (L)	การใช้น้ำตลอดทั้งวัน (L)	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวัน (kW-h)
1	0.23	26.7	240	0.51	4.55
2	0.44	34.7	312	0.68	6.09
3	0.64	47.0	423	0.83	7.47

หมายเหตุ กรณีที่ 1 โรงเรือนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว
กรณีที่ 2 โรงเรือนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว
กรณีที่ 3 โรงเรือนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว

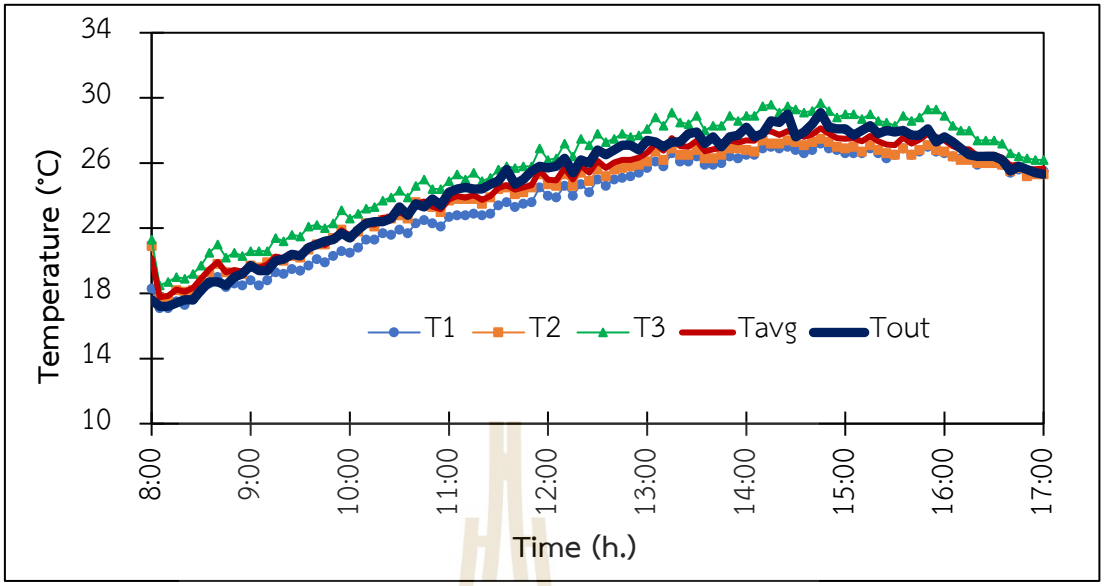
จากการทดลองหาอัตราการไหลของอากาศผ่านแผ่นระเหยน้ำ ได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว จะมีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด เนื่องจากมีการทำงานของพัดลมดูดอากาศที่มากกว่าการทดลองในกรณีที่ 1 และกรณที่ 2 ส่วนการใช้น้ำนั้นก็จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำ จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงสุดในกรณีที่ 4 การใช้น้ำจะมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากความเร็วลมของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำจะทำให้น้ำระเหยออกจากแผ่นระเหยน้ำได้เร็วจึงทำให้มีการใช้น้ำสูงที่สุด

4.2 ผลการทดสอบโรงเรือน

4.2.1 โรงเรือนทดสอบที่ใช้ระบบระบายอากาศ

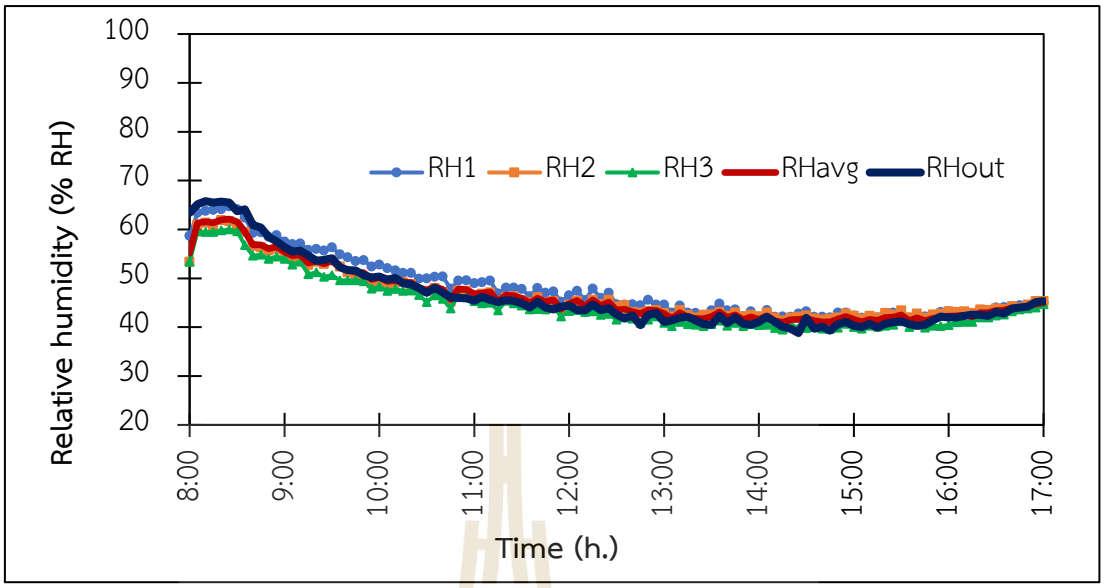
การทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกโดยใช้พัดลมหมุนเวียนอากาศและพัดลมระบายอากาศทั้งหมดที่ติดตั้งของโรงเรือน ทำการทดสอบวันที่ 29 มกราคม 2566 ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



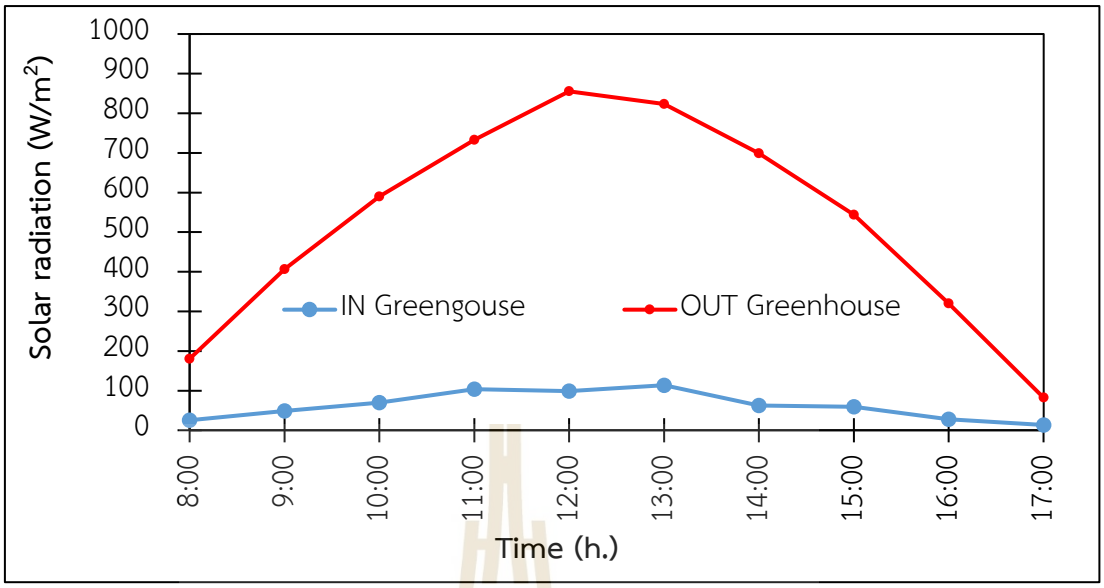
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเวลาทดสอบของระบบระบายอากาศ

จากการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งใช้แค่ระบบระบายอากาศเพียงอย่างเดียว เมื่อเริ่มการทดสอบระบบควบคุมจะเปิดการทำงานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะรับค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 จากนั้น ระบบจะสั่งการทำงานของพัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อระบบระบายอากาศของโรงเรือนเพาะปลูกเริ่มต้นทำงานที่เวลา 8.00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือน (Tavg) มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (Tout) จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือน (Tavg) จะมีค่าลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนทั้งสามจุดวัด โดยจุดวัดที่ 1 (T1) คือตำแหน่งหน้าแผ่นระเหยน้ำ ตำแหน่งการวัดที่ 2 (T2) คือตำแหน่งกึ่งกลางโรงเรือน และตำแหน่งการวัดที่ 3 (T3) ตำแหน่งด้านหน้าโรงเรือน ซึ่งแนวโน้มของอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่าสูงสุดที่เวลา 14.45 น. ซึ่งมีอุณหภูมิ 28.1 °C จะเห็นได้ว่าระบบระบายอากาศของโรงเรือนเพาะปลูก มีความสามารถในการระบายอากาศเพียงพอทำให้ไม่มีการสะสมความร้อนภายในโรงเรือน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าใกล้เคียงกับภายนอกโรงเรือน (T1, T2, T3, และTout มีค่าใกล้เคียงกัน)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลาทดสอบของระบบระบายอากาศ

จากรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อเริ่มทำการทดสอบระบบระบายอากาศของโรงเรือนที่เวลา 8.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือน (RHavg) มีค่าต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (RHout) แต่เมื่อระบบระบายอากาศของโรงเรือนทำงานผ่านไปประมาณ 45 นาที ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่าใกล้เคียงความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน และค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทั้ง 3 จุดการวัดได้แก่ RH1 RH2 และRH3 ซึ่งเป็นตำแหน่งวัดเดียวกันกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ดังที่กล่าวมาแล้วในตำแหน่งการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน โรงเรือน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนจะมีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน โดยในช่วงเวลา 8.00 น. ไปจนถึง 15.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าลดลง จากนั้นเมื่อเวลา 15.00 น. ไปจนถึงเวลา 17.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก็จะเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าระบบระบายอากาศของโรงเรือนมีความสามารถในการระบายอากาศเพียงพอ โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทั้ง 3 จุดการวัดจะมีค่าใกล้เคียงกับและมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (RH1, RH2, RH3, และRHout มีค่าใกล้เคียงกัน)

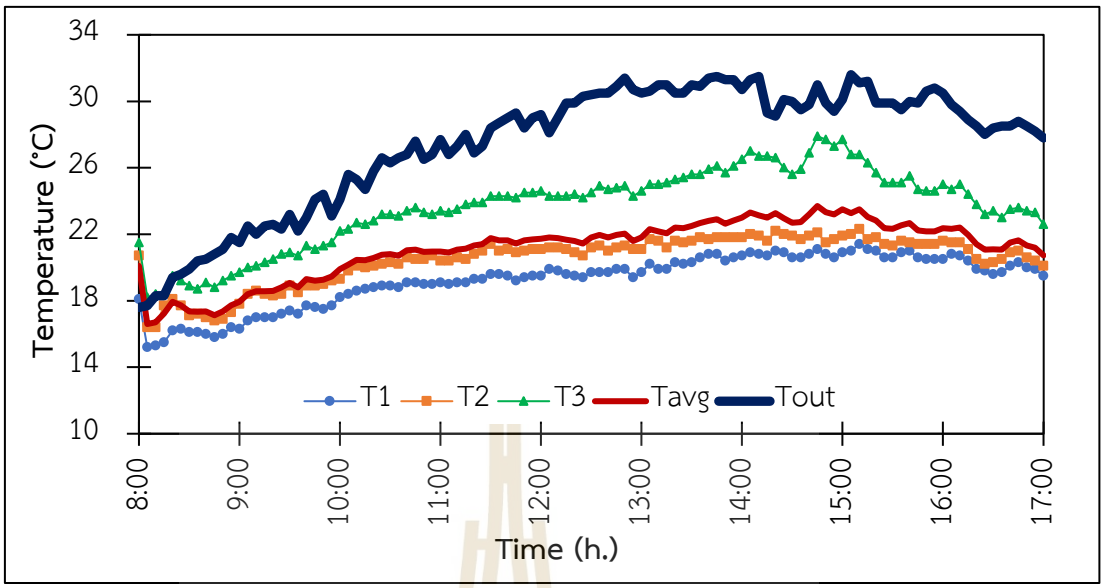


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และเวลาทดสอบของระบบระบายอากาศ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือน (OUT Greenhouse) และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือน (IN Greenhouse) มีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนมีค่าสูงกว่าภายในโรงเรือน เนื่องจากโรงเรือนเพาะปลูกมีการติดตั้งตาข่ายพรางแสงที่หลังคาของโรงเรือนซึ่งทำหน้าที่ช่วยลดและดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ไว้ จึงทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านหลังคาเข้าสู่โรงเรือนมีค่าลดลง โดยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. ซึ่งมีค่า 855 W/m^2 ส่วนค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนมีค่าสูงสุดที่เวลา 13.00 น. ซึ่งมีค่า 144 W/m^2

4.2.2 โรงเรือนทดสอบที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

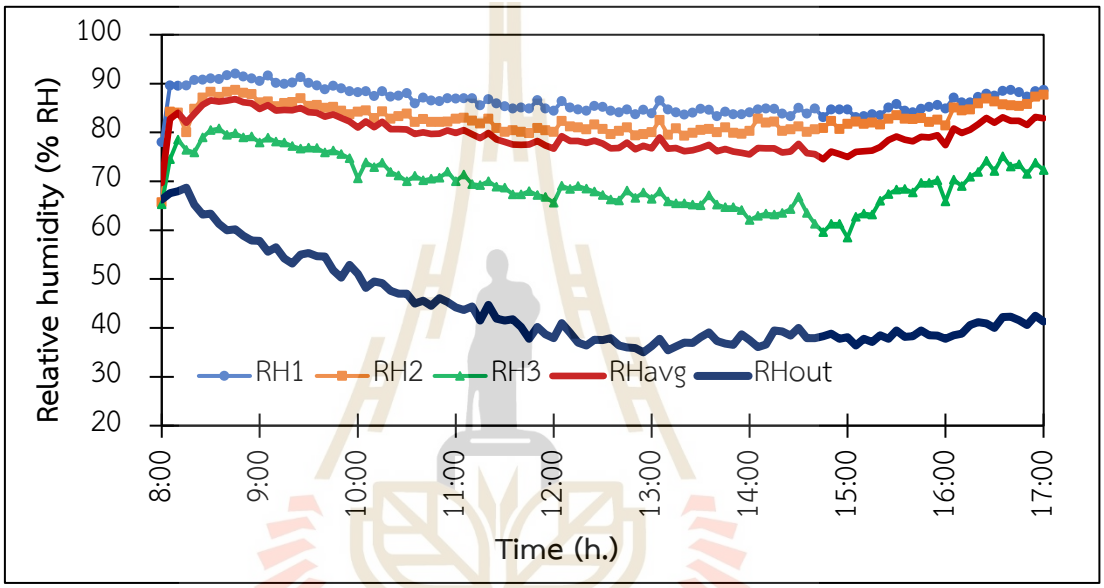
การทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งมีการทำงานของปั๊มน้ำที่หมุนเวียนน้ำให้แผ่นระเหยน้ำร่วมกับพัดลมดูดอากาศ ทำการทดสอบวันที่ 31 มกราคม 2566 ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น.



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเวลาทดสอบของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

จากการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ เมื่อเริ่มการทดสอบระบบควบคุมจะเปิดการทำงานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะรับค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 จากนั้น ระบบจะสั่งการทำงานของปั๊มน้ำ พัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำของโรงเรือนเริ่มทำงานที่เวลา 8.00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือน (Tavg) มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (Tout) จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน แต่จะเห็นได้ว่าเกิดการไล่ระดับของอุณหภูมิภายในโรงเรือนตามแนวยาวของโรงเรือน โดยจุดวัดที่ 1 (T1) ตำแหน่งด้านท้ายโรงเรือนเป็นตำแหน่งที่ใกล้แผ่นระเหยน้ำมีอุณหภูมิต่ำสุด และตำแหน่งด้านหน้าโรงเรือนที่จุดวัดที่ 3 (T3) มีอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิจุดวัดที่ 3 กับจุดวัดที่ 1 มีค่าสูงสุง 6.9 °C ที่เวลา 14.50 น. เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ DAYIOĞLU and SİLLELİ (2015) ซึ่งมีผลต่างของอุณหภูมิสูงถึง 14 °C ซึ่งมีค่ามากกว่า เนื่องจากระยะห่างระหว่างแผ่นระเหยน้ำไปถึงพัดลมดูดอากาศมีค่ามากกว่าทำให้การดึงอากาศออกสู่ภายนอกโรงเรือนทำได้ช้า จึงทำให้ความร้อนภายในโรงเรือนสะสมและเพิ่มสูงขึ้น ผลต่างของอุณหภูมิจึงมีค่าสูง อีกทั้งผลต่างของอุณหภูมิยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการระบายอากาศเหมือนกับงานวิจัยของ Xu, Li, Wang, Liu, and Zhou (2015)

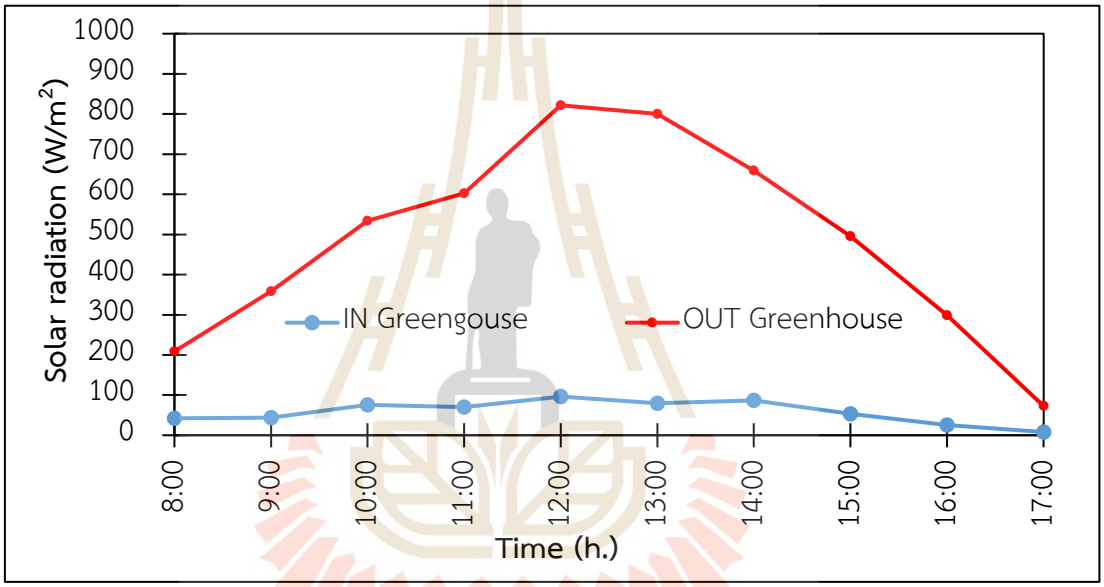
ซึ่งโรงเรือนที่ใช้ทดสอบมีขนาดยาวถึง 48 m แต่ผลต่างของอุณหภูมิมีค่า 7 °C ส่วนตำแหน่งกึ่งกลางโรงเรือนที่จุดวัดที่ 2 (T2) จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือน ซึ่งตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยภายในโรงเรือน มีค่าต่ำสุดคือ 16.6 °C ที่เวลา 8.05 นาที และสูงสุดคือ 23.7 °C ที่เวลา 14.45 นาที ซึ่งอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 21.1 °C และอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 27.4 °C จะเห็นได้ว่าโรงเรือนสามารถลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนอยู่ที่ 6.3 °C



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลาทดสอบของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำของโรงเรือนเริ่มทำงานที่เวลา 8.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนมีค่าใกล้เคียงกัน จากนั้นความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจะเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือน (RHavg) จะมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกโรงเรือน (RHout) ตลอดช่วงเวลาทดสอบ จะเห็นได้ว่าเกิดการไล่ระบบของความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเช่นเดียวกับการไล่ระดับของอุณหภูมิ ซึ่งตำแหน่งที่อยู่ใกล้แผ่นระเหยน้ำ (RH1) จะมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าลดลงตามระยะทางตามแนวยาวของโรงเรือน ซึ่งตำแหน่งด้านหน้าของโรงเรือน (RH3) มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด ส่วนที่ตำแหน่งกึ่งกลางของโรงเรือน (RH2) จะมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือน

โดยตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่าต่ำสุดคือ 69.7% RH ที่เวลา 8.00 น. และสูงสุดคือ 86.8% RH ที่เวลา 8.45 น. ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 79.7% RH และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 44.2% RH จะเห็นได้ว่าโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้สูงกว่าภายนอกโรงเรือนอยู่ที่ 35.5% RH ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกโรงเรือนเพาะปลูกจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และเวลาทดสอบของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

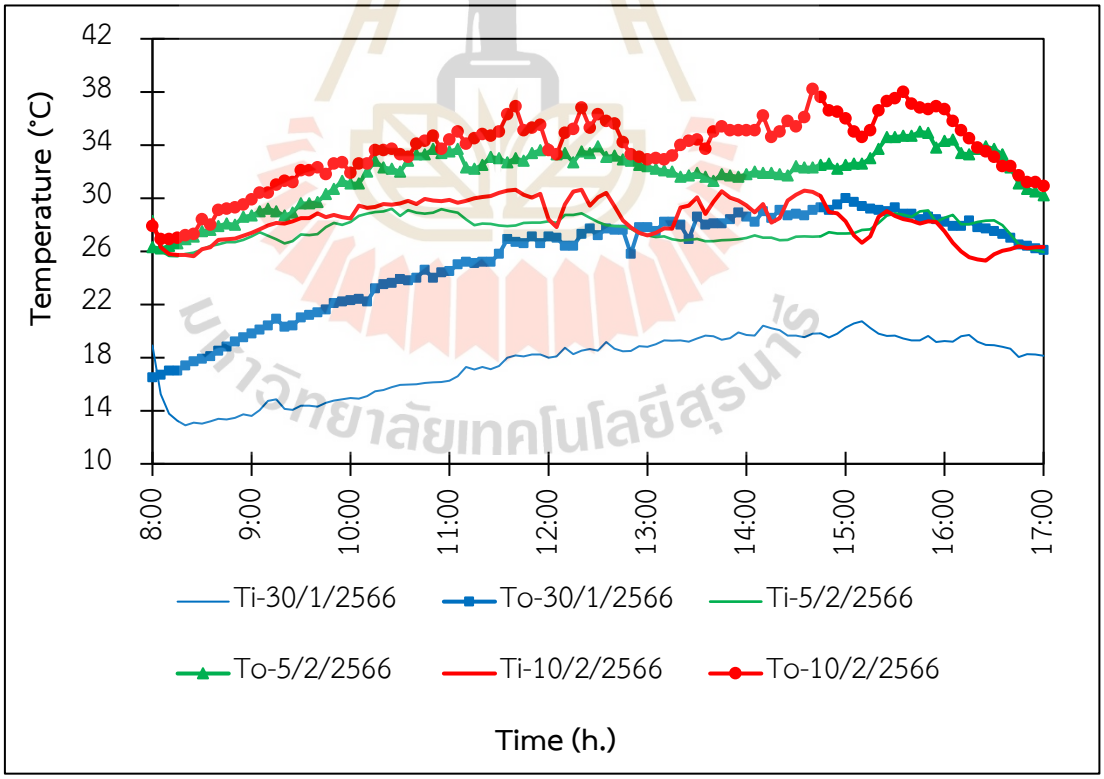
จากรูปที่ 4.6 พบว่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือน (IN Greenhouse) มีค่าต่ำกว่ารังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือน ซึ่งค่ารังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. ซึ่งมีค่า 822 W/m^2 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนนั้นมีค่าต่ำและมีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งวันซึ่งมีค่าสูงสุดที่เวลา 12.00 น. ซึ่งมีค่า 96 W/m^2 จะเห็นได้ว่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าอุณหภูมิกระเปราะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ภายใน

โรงเรือนภายในโรงเรือนเปลี่ยนแปลงไปด้วย เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานความร้อนหลักที่เข้าสู่โรงเรือนเพาะปลูก

4.3 ผลการเปรียบเทียบสภาพอากาศภายในโรงเรือนกับสภาพอากาศภายนอกโรงเรือน

ในการทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศภายในโรงเรือน ได้ทำการทดสอบในวันที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกันได้แก่ในวันที่อากาศมีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก (อากาศเย็น) และวันที่อากาศมีอุณหภูมิสูง (อากาศร้อน) ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น. ซึ่งได้เปิดใช้งานโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำตลอดเวลาทดสอบ โดยมีผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 ความสามารถในการลดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเวลาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิกระเปราะแห้งภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน

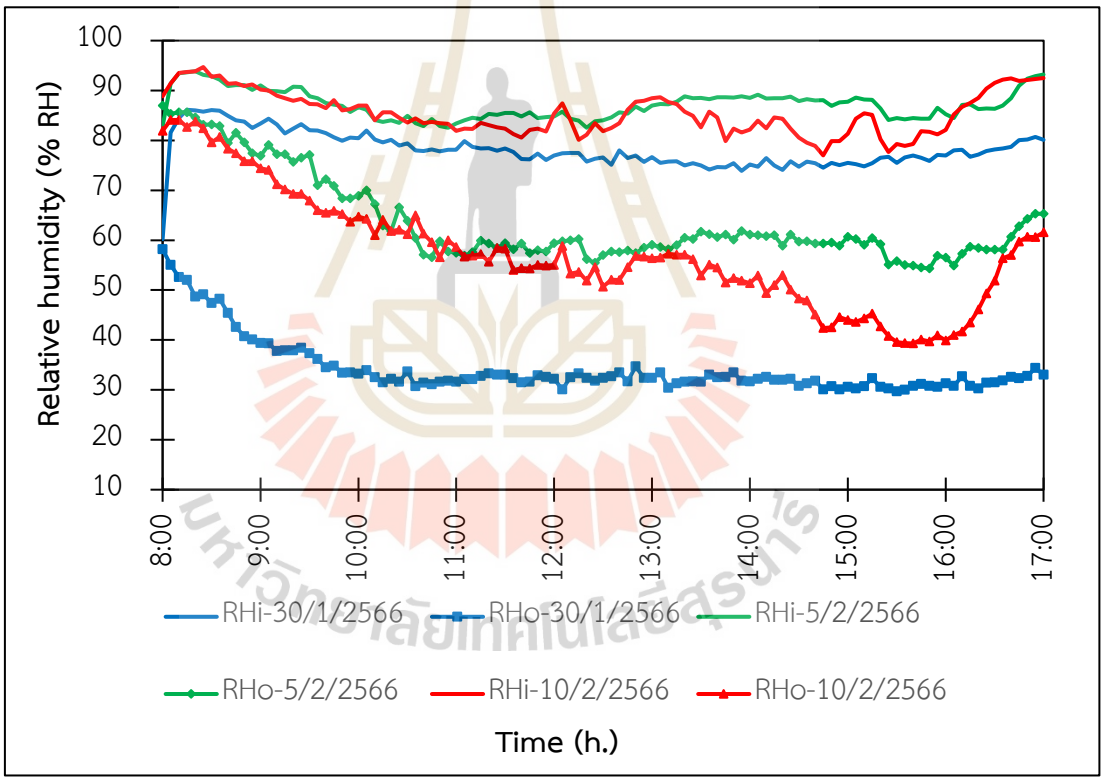
วันที่ทดสอบ	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)			อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)			ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	
30/1/2566	12.9	20.7	17.6	16.5	30	25.4	7.8
5/2/2566	25.6	29.2	27.7	26.2	35	31.8	4.1
10/2/2566	25.3	30.6	28.4	26.9	38.2	33.6	5.2

จากการทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเพื่อเปรียบเทียบกับสภาพอากาศภายนอกโรงเรือน เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิ จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.3 พบว่าในวันที่ 30 มกราคม 2566 ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก (อากาศเย็น) เมื่อเริ่มการทดสอบเวลา 8.00 น. อุณหภูมิภายในโรงเรือน (Ti-30/1/2566) และอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (To-30/1/2566) จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.7 และเมื่อเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนลดลงมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวัน ซึ่งอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 25.4 °C และอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 17.6 °C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนประมาณ 7.8 °C ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2566 ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง เมื่อเริ่มการทดสอบเวลา 8.00 น. อุณหภูมิภายในโรงเรือน (Ti-5/2/2566) และอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (To-5/2/2566) จะมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนลดลงมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวัน ซึ่งอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 31.8 °C อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 27.7 °C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนประมาณ 4.1 °C และในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2566 ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิสูง (อากาศร้อน) เมื่อเริ่มการทดสอบเวลา 8.00 น. อุณหภูมิภายในโรงเรือน (Ti-10/2/2566) และอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (To-10/2/2566) จะมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนลดลงมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวัน ซึ่งอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 33.6 °C และอุณหภูมิภายในโรงเรือน

เฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 28.4 °C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่ากว่าภายนอกโรงเรือนประมาณ 5.2 °C

จะเห็นได้ว่าโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนประมาณ 4-8 °C แต่ความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากตัวอย่างการทดสอบทั้ง 3 วันที่กล่าวมานั้น ความสามารถในการลดอุณหภูมินั้นมีค่าที่แตกต่างกัน และยังสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือนก่อนเข้าสู่โรงเรือนซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.3.2 ความสามารถในการเพิ่มความชื้น



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และเวลาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน

ตารางที่ 4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน

วันที่ทดสอบ	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)			ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)			ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	
30/1/2566	60.2	86.1	78.2	29.7	58.2	34.2	44
5/2/2566	82.5	93.9	87.2	54.3	87	63.7	23.5
10/2/2566	77	94.7	85.4	39.3	84.1	57.5	27.9

จากการทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำเพื่อเปรียบเทียบกับสภาพอากาศภายนอกโรงเรือน เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความชื้น จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.4 พบว่าในวันที่ 30 มกราคม 2566 ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิต่ำ (อากาศเย็น) เมื่อเริ่มการทดสอบเวลา 8.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (RHi-30/1/2566) และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (RHo-30/1/2566) จะมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวัน ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นและแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 34.2% RH ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 78.2% RH จะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าภายนอกโรงเรือนอยู่ที่ 44.0% RH ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2566 ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง เมื่อเริ่มการทดสอบเวลา 8.00 น ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (RHi-5/2/2566) และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (RHo-5/2/2566) จะมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปิดใช้งานโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวัน โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 63.7% RH ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 87.2% RH จะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าภายนอกโรงเรือนอยู่ 23.5% RH และในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2566 ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง เมื่อเริ่มการทดสอบเวลา 8.00 น ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (RHi-10/2/2566) และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (RHo-10/2/2566) จะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปิดใช้งานโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำให้ความชื้น

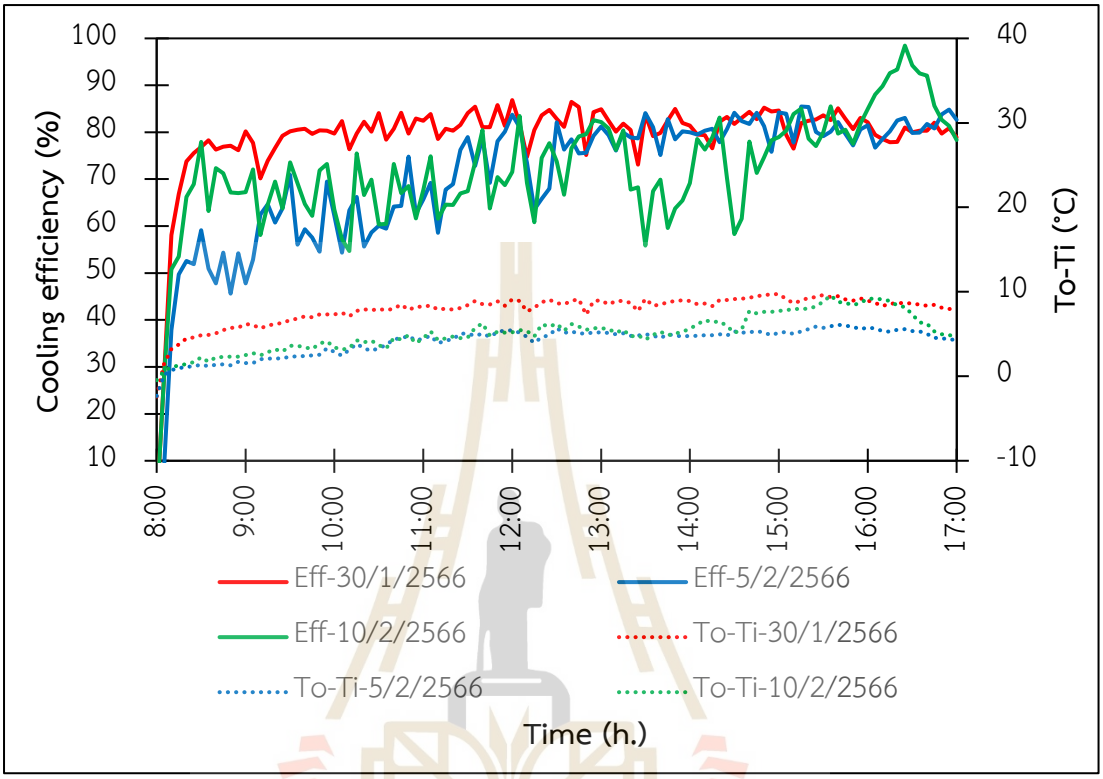
สัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนตลอดทั้งวัน โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 57.3% RH ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 85.4% RH จะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าภายนอกโรงเรือนอยู่ที่ 27.9% RH

จะเห็นได้ว่าโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นสามารถเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนให้สูงกว่าภายนอกโรงเรือนประมาณ 23-44% RH แต่ความสามารถในการเพิ่มความชื้นของอากาศภายในโรงเรือนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากตัวอย่างการทดสอบทั้ง 3 วันที่กล่าวมา ความสามารถในการเพิ่มความชื้นมีค่าที่แตกต่างกัน โดยในวันที่อากาศเย็นซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ มีปริมาณไอน้ำในอากาศน้อย จึงทำให้เมื่อเปิดใช้งานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำแล้ว สามารถเติมไอน้ำเข้าไปในอากาศได้ในปริมาณที่มากกว่าวันที่อากาศมีความชื้นสูง จึงทำให้มีผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงเช่นในวันที่ 30 มกราคม 2566 ส่วนวันที่สภาพอากาศภายนอกโรงเรือนมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง เช่นในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2566 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยอยู่ที่ 63.7% RH ซึ่งผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ของภายในโรงเรือนกับภายนอกโรงเรือนมีค่าที่น้อยเมื่อเทียบกับวันที่ 30 มกราคม 2566 และ10 กุมภาพันธ์ 2566 ซึ่งค่าผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่าน้อยจะส่งผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือน โดยผลต่างของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง จะทำให้มีความสามารถในการลดอุณหภูมิที่สูงเช่นเดียวกัน และในทางตรงกันข้ามผลต่างของค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะทำให้ความสามารถในการลดอุณหภูมิมีค่าต่ำ

4.3.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

จากรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.5 พบว่าทั้งสามวันที่ทำการทดสอบใช้งานระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำของโรงเรือน เมื่อเวลา 8.00 น. ประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือน (Eff) จะมีค่า 0% เนื่องจากอุณหภูมิภายในโรงเรือนยังมีค่ามากกว่าภายนอกโรงเรือน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 นาที จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นจะเพิ่มสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกในวันที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ (อากาศเย็น วันที่ 30 มกราคม 2566) โรงเรือนเพาะปลูกมีประสิทธิภาพการทำความเย็น (Eff-30/1/2566) สูงสุด 79.2% เมื่อเทียบกับวันที่อากาศมีอุณหภูมิสูงในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2566 และ 10 กุมภาพันธ์ 2566 โดยประสิทธิภาพการทำความเย็น (Eff-5/2/2566) อยู่ที่ 70.7 และ (Eff-10/2/2566) อยู่ที่ 71.9% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อโรงเรือนมีความสามารถในการลดอุณหภูมิสูง ก็จะส่งผลให้โรงเรือนมี

ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สูง ซึ่งสังเกตได้จากผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือนกับอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (To-Ti)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำความเย็นและเวลาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน

วันที่ทดสอบ	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)
30/1/2566	17.6	78.2	25.4	34.2	79.2
5/2/2566	27.7	87.2	31.8	63.7	70.7
10/2/2566	28.4	85.4	33.6	57.5	71.9

4.3.4 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

จากตารางที่ 4.6 พบว่าทั้ง 3 วันที่ทำการทดสอบคือวันที่ 30 มกราคม 2566 วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2566 และวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2566 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน เนื่องจากมีการทำงานของปั๊มน้ำ พัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ ส่วนการใช้น้ำจะเห็นได้ว่าในวันที่ 30 มกราคม 2566 อัตราการใช้น้ำสูงที่สุดคือ 50.7 L/hr. ซึ่งในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2566 และ 10 กุมภาพันธ์ 2566 มีอัตราการใช้น้ำต่ำกว่าคือ 29.7 และ 33.7 L/hr. ตามลำดับ ซึ่งในวันที่ 30 มกราคม 2566 มีการใช้น้ำที่สูงเนื่องจากสภาพอากาศที่เย็นและความชื้นในอากาศมีค่าต่ำ เมื่อระบบทำความเย็นของโรงเรือนทำงาน อากาศจะไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำ ทำให้น้ำระเหยและเติมไอน้ำเข้าไปในอากาศปริมาณมาก เนื่องจากสัดส่วนความชื้นในอากาศมีค่าน้อย อากาศจึงมีความสามารถในการรับไอน้ำได้สูง จึงทำให้อากาศภายในโรงเรือนมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากดังที่กล่าวมาในหัวข้อความสามารถในการเพิ่มความชื้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในวันที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำจะมีอัตราการใช้น้ำที่สูง

ตารางที่ 4.6 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสภาวะอากาศภายนอกและภายในโรงเรือน

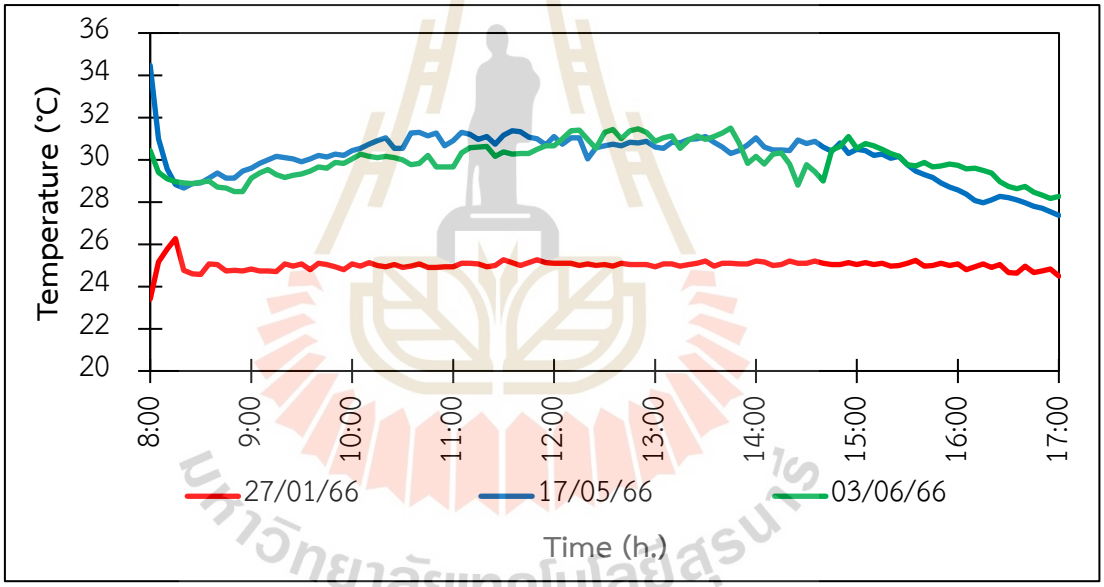
วันที่ทดสอบ	การใช้น้ำต่อชั่วโมง (L/hr.)	การใช้น้ำตลอดทั้งวัน (L)	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวัน (kW-h)
30/1/2566	50.7	456	0.83	7.47
5/2/2566	29.7	267	0.83	7.47
10/2/2566	33.7	303	0.83	7.47

4.4 ผลการทดลองเพื่อหารูปแบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม

4.4.1 การควบคุมอุณภูมิ

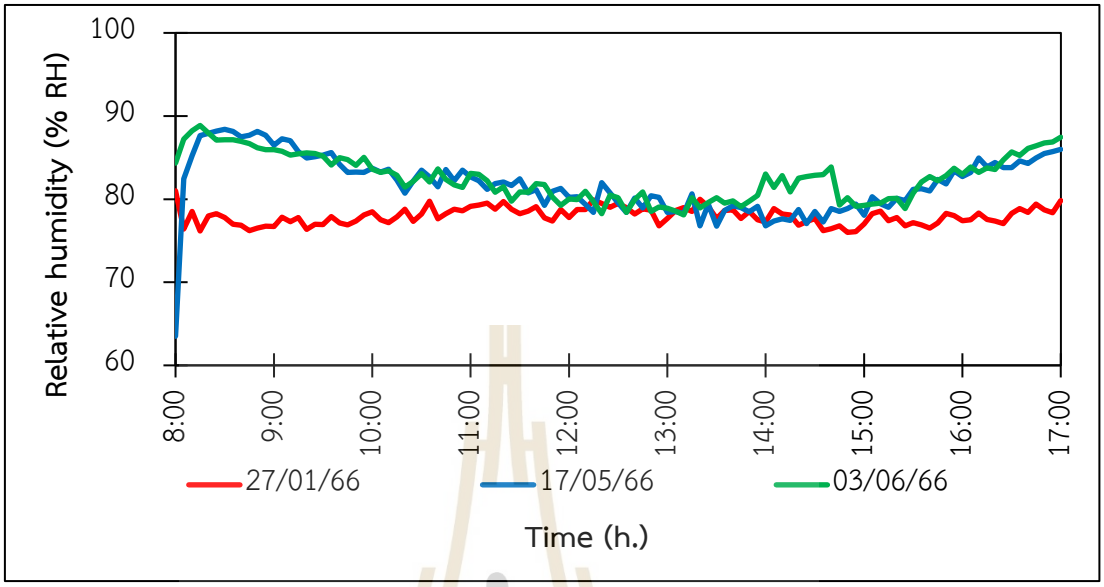
การทดสอบการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน กำหนดค่าควบคุมให้มีอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ 25 °C ทำการทดสอบในวันที่ 27 มกราคม 2566 วันที่ 17 พฤษภาคม 2566 และวันที่ 3 มิถุนายน 2566 ในช่วงเวลา 8.00-17.00 น. โดยมีผลการทดสอบดังนี้

จากการทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิของอากาศ จากรูปที่ 4.10 พบว่าในวันที่สภาพอากาศภายนอกโรงเรือนมีอุณหภูมิต่ำ (อากาศเย็น) เช่นในวันที่ 27 มกราคม 2566 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 29.6 °C ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนให้มีค่าประมาณ 25 °C ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 25 °C แต่ในวันที่อากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง เช่นในวันที่ 17 พฤษภาคม 2566 และ 3 มิถุนายน 2566 มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 36.7 และ 35.2 °C ระบบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้มีค่าตามที่กำหนดได้ โดยมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 30.2 และ 30.0 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ในวันที่ 27 มกราคม 2566 ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนให้มีค่าประมาณ 25 °C เมื่อเวลา 8.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าลดต่ำลง เนื่องจากอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่า 25 °C ระบบควบคุมจึงไม่สั่งการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ และเมื่อระบบควบคุมทำงาน ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 78.0% RH และในวันที่ 17 พฤษภาคม 2566 และ 3 มิถุนายน 2566 เมื่อระบบควบคุมทำงานค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 81.8 และ 82.6% RH

จากตารางที่ 4.7 เมื่อวิเคราะห์การใช้น้ำและพลังงาน พบว่าในวันที่ 17 พฤษภาคม 2566 และ 3 มิถุนายน 2566 ซึ่งเป็นวันที่อากาศมีอุณหภูมิสูง ระบบควบคุมอุณหภูมิทำงานตลอดเวลาจึงทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากันอยู่ที่ 7.47 kW-h ส่งผลให้มีการใช้น้ำตลอดทั้งวันอยู่ที่ 423.0 และ 406.5 L ตามลำดับ ส่วนในวันที่ 27 มกราคม 2566 มีอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าเนื่องจากระบบควบคุมทำงานเป็นบางช่วงเวลา ซึ่งมี

การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันอยู่ที่ 4.43 kW-h ส่งผลให้มีการใช้น้ำตลอดทั้งวันอยู่ที่ 264.0 L จึงเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้น้ำของโรงเรือนจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิ

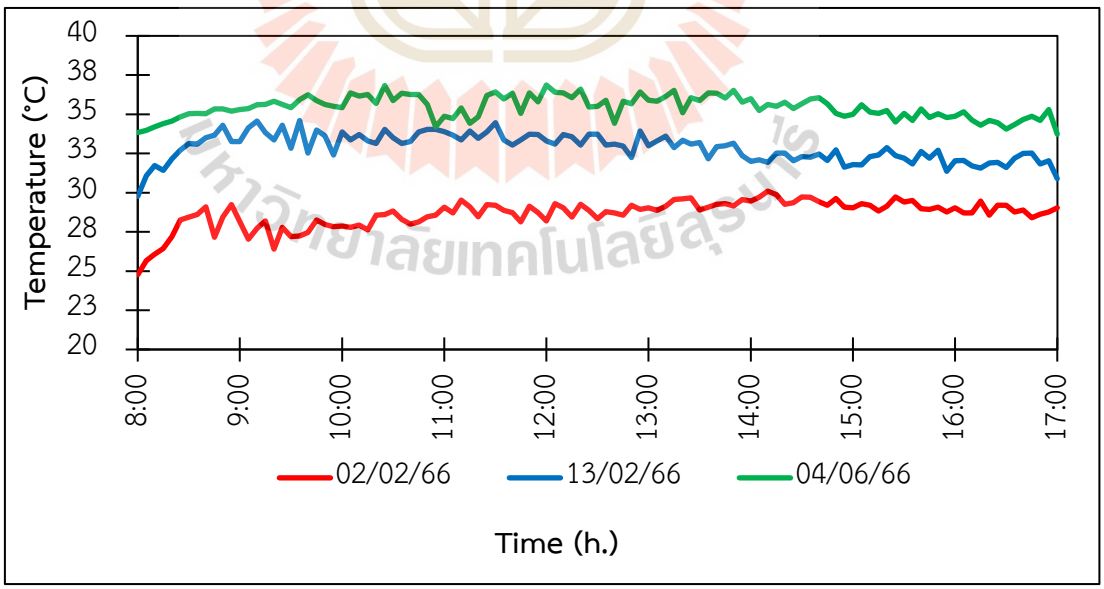
ข้อมูล	27/01/2566	17/05/2566	03/06/2566
อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (℃)	29.6	36.7	35.2
ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	50.0	48.9	52.2
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (℃)	25.0	30.2	30.0
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (% RH)	78.0	81.8	82.6
แรงดึงระเหยน้ำของอากาศเฉลี่ยในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (kPa)	0.70	0.79	0.74
การใช้น้ำตอลดทั้งวัน (L)	264.0	423.0	406.5
การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวัน (kW-h)	4.43	7.47	7.47

4.4.2 การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

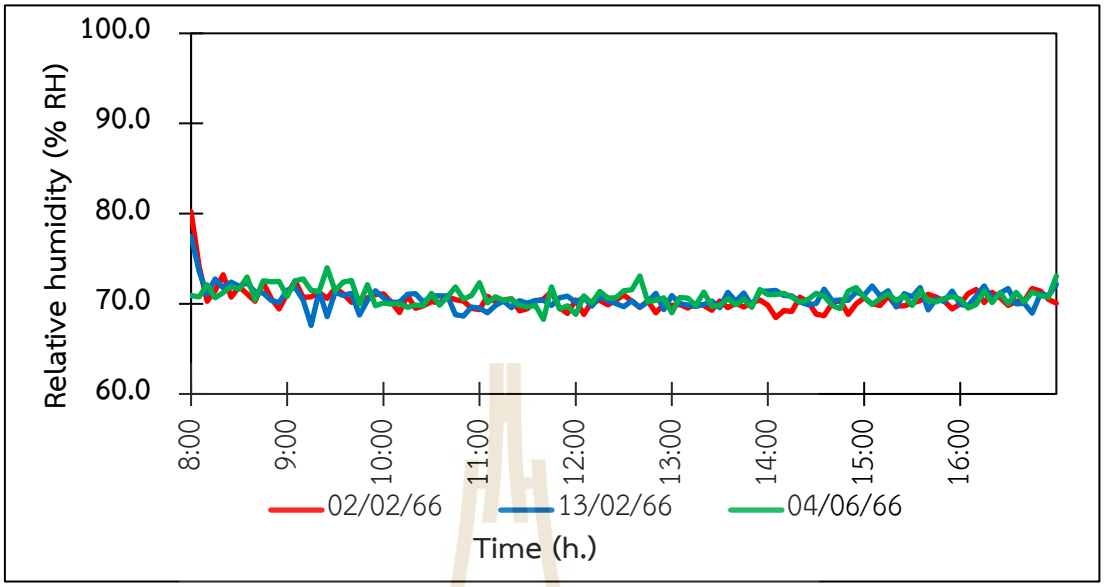
จากการทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จากรูปที่ 4.13 พบว่าในวันที่สภาพอากาศภายนอกโรงเรือนมีอุณหภูมิต่ำ (อากาศเย็น) เช่นในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566 เมื่อเวลา 8.00 น.ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เริ่มทำงานเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่า 70% RH ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 70.4% RH ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 46.1 % RH และในวันที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง (อากาศร้อน) เช่นในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2566 และวันที่ 4 มิถุนายน 2566 เมื่อเวลา 8.00 น. ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์จะยังไม่สั่งการทำงานของระบบทำความเย็น เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนสูงกว่า 70 % RH จากนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าลดลงและต่ำกว่า 70% RH ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์จะสั่งการทำงานระบบทำความเย็น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 70.6 และ 70.8% RH ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 53.8 และ 58.5% RH ดังตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้มีค่าประมาณ 70% RH ได้ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ เนื่องจาก

ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำมีความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้มากกว่า 70% RH จึงทำให้สามารถควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนได้

จากรูปที่ 4.12 พบว่า เมื่อระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้มีค่าประมาณ 70% RH ได้ตลอดทั้งวัน แต่ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนนั้นแปรผันไปตามสภาพอากาศด้านนอกโรงเรือน โดยในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566 ซึ่งมีอากาศค่อนข้างเย็นทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 28.6 °C ในขณะที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.6 °C ในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2566 และ4 มิถุนายน 2566 ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.9 และ 35.4 °C ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 34.4 และ 35.4 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในวันที่อากาศมีอุณหภูมิสูงระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้น้อยหรือในบางวันนั้นไม่สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้มีค่าต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนเช่นในวันที่ 4 มิถุนายน 2566 อีกทั้งความสามารถในการลดอุณหภูมิยังขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศภายนอกโรงเรือนก่อนที่จะเคลื่อนเข้าสู่โรงเรือนดังที่กล่าวมาในหัวข้อความสามารถในการลดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทำการทดสอบโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

จากตารางที่ 4.8 เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้น้ำ พบว่าในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้น้ำสูงที่สุดคือ 232.5 L เนื่องจากสภาพอากาศภายนอกโรงเรือนมีความชื้นต่ำ ระบบทำความเย็นทำงานจึงใช้เวลาในการทำงานที่มากกว่าเพื่อให้มีการระเหยของน้ำที่เติมเข้าสู่อากาศภายในโรงเรือนให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ที่ 70% RH และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีน้อยจึงต้องใช้การระเหยน้ำที่มากกว่าเพื่อเติมไอน้ำเข้าไปในอากาศจึงทำให้มีการใช้น้ำที่สูงกว่าวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2566 และวันที่ 4 มิถุนายน 2566 ซึ่งมีการใช้น้ำอยู่ที่ 162 และ 147 L ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 วันนี้ มีการใช้น้ำที่น้อยกว่าเนื่องจากสภาพอากาศภายนอกโรงเรือนมีความชื้นสูง และเมื่อระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำงาน และน้ำระเหยเพื่อเติมไอน้ำเข้าสู่อากาศจึงทำให้มีการเติมไอน้ำที่น้อยกว่า เพื่อให้ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ตามที่ต้องการ แต่ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทำงานระยะเวลาที่น้อยนี้ จะส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าสูงดังที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อมีการใช้น้ำสูงและระบบควบคุมทำงานนานขึ้นการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จึงมีค่าสูงเช่นในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566 ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดคือ 2.84 kW-h ส่วนในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2566 และวันที่ 4 มิถุนายน 2566 ระบบควบคุมมีเวลาการทำงานที่สั้นกว่าจึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 1.89 และ 1.87 kW-h

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

ข้อมูล	2/02/2566	13/02/2566	04/06/2566
อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (℃)	32.6	34.4	35.4
ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	46.1	53.8	58.5
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (℃)	28.6	32.9	35.4
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (% RH)	70.4	70.6	70.8
แรงดึงระเหยน้ำของอากาศเฉลี่ยในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (kPa)	1.17	1.47	1.69
การใช้น้ำตอลดทั้งวัน (L)	232.5	162.0	147.0
การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวัน (kW-h)	2.84	1.89	1.87

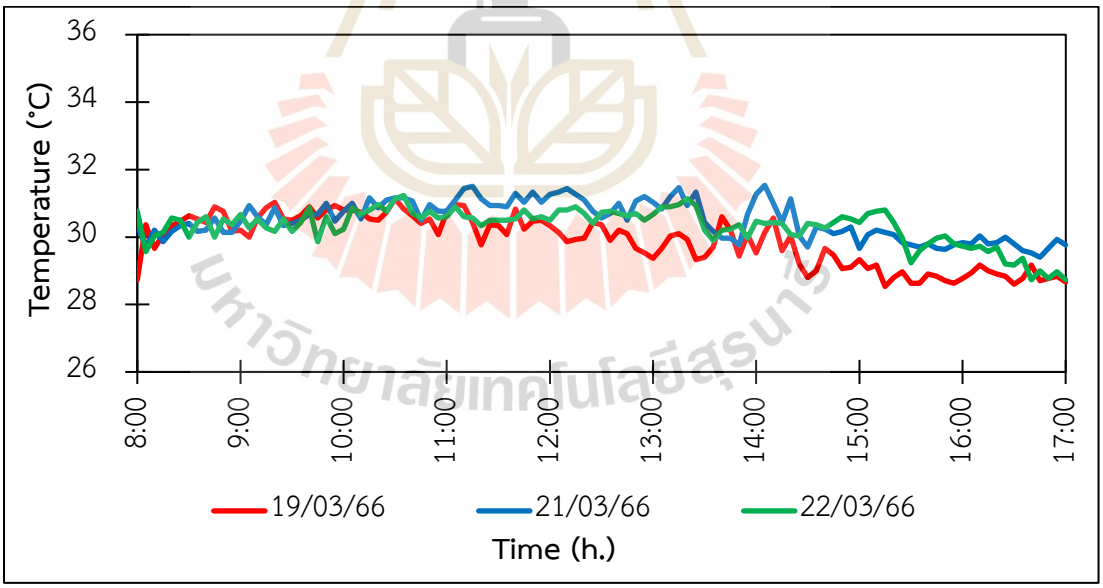
4.4.3 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

จากการทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ จากรูปที่ 4.14 และ 4.16 พบว่าระบบควบคุมทำงานสามารถควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในโรงเรือน (VPDi) ให้มีค่าใกล้เคียง 0.85 kPa และมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายนอกโรงเรือน (VPDo) ของทั้ง 3 วันที่ได้ทดสอบ โดยในวันที่ 22 มีนาคม 2566 เป็นวันที่สภาพอากาศร้อนซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 37.8 ˚C ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศเฉลี่ยในโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 0.95 kPa ส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 30.3 ˚C ผลการทดสอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบในวันที่ 19 มีนาคม 2566 และ 21 มีนาคม 2566 ซึ่งมีค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศเฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 0.88 และ 0.90 kPaตามลำดับ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 29.9 และ 30.5 ˚C จะเห็นได้ว่าระบบความคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศส่งผลให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าประมาณ 30 ˚C

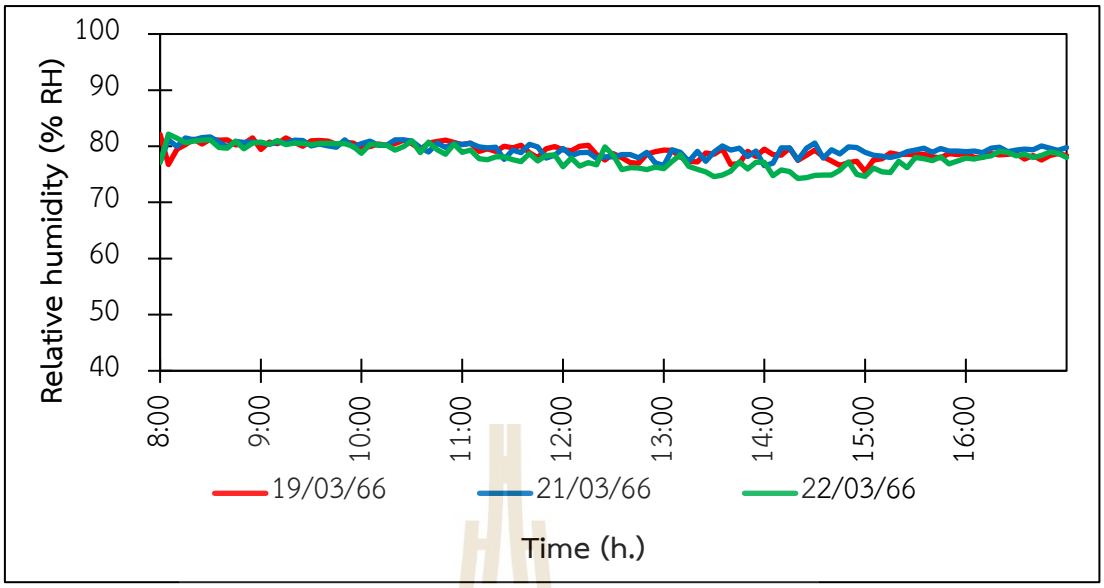
จากรูปที่ 4.15 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้ระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำ พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบควบคุมตั้งแต่เวลา 8.00 น. ไปจนถึง 17.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าค่อนข้างคงที่โดยมีค่าประมาณ 80% RH โดยในวันที่อากาศร้อนเช่นในวันที่ 22 มีนาคม 2566 ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 41.1% RH ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่

78.1% RH เช่นเดียวกับในวันที่อากาศร้อนและชื้น เช่นในวันที่ 19 มีนาคม 2566 และ 21 มีนาคม 2566 ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 50.9 และ 49.1% RH ตามลำดับ ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวันอยู่ที่ 79.2 และ 79.5% RH ตามลำดับ ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนที่ได้ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

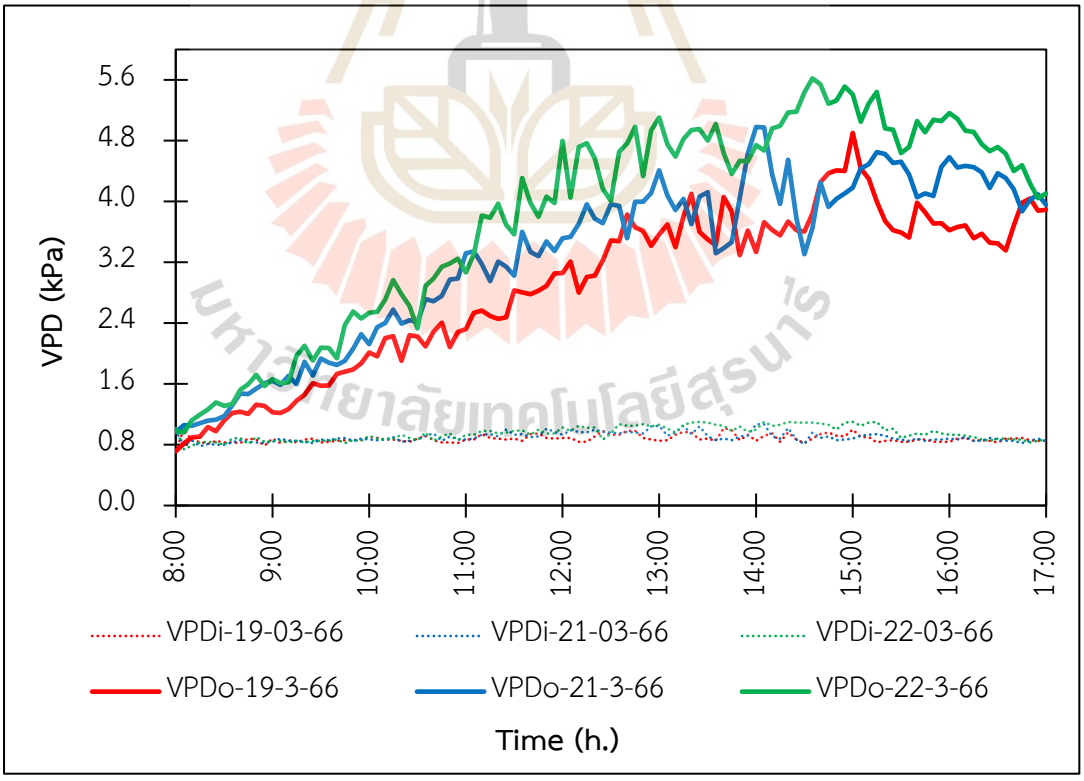
จากตารางที่ 4.9 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนที่ใช้ระบบควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ พบว่าในวันที่อากาศร้อนและมีความชื้นต่ำเช่นในวันที่ 22 มีนาคม 2566 จะมีการใช้น้ำสูงที่สุดคือ 415.5 L เนื่องจากสภาพอากาศภายนอกโรงเรือนที่ร้อนและความชื้นต่ำ จึงทำให้ระบบควบคุมทำงานยาวนานกว่าจึงทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันอยู่ที่ 6.16 kW-h ซึ่งมีค่าสูงกว่าการทดสอบวันที่ 19 มีนาคม 2566 และ21 มีนาคม 2566 โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันอยู่ที่ 5.05 และ 5.76 kW-h ตามลำดับที่มีการใช้น้ำตลอดทั้งวันอยู่ที่ 309 และ 357 L จะเห็นได้ว่าในวันที่อากาศร้อนและแห้งระบบควบคุมจะทำงานยาวนานเพื่อให้ได้สภาพอากาศตามที่กำหนดไว้ และใช้น้ำในการระเหยเพื่อเติมไอน้ำเข้าสู่อากาศในปริมาณที่สูงกว่าในวันที่อากาศมีอุณหภูมิที่ต่ำและมีความชื้นสูง



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและเวลาทดสอบเมื่อทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในและภายนอกโรงเรือน

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการทดสอบระบบควบคุมควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

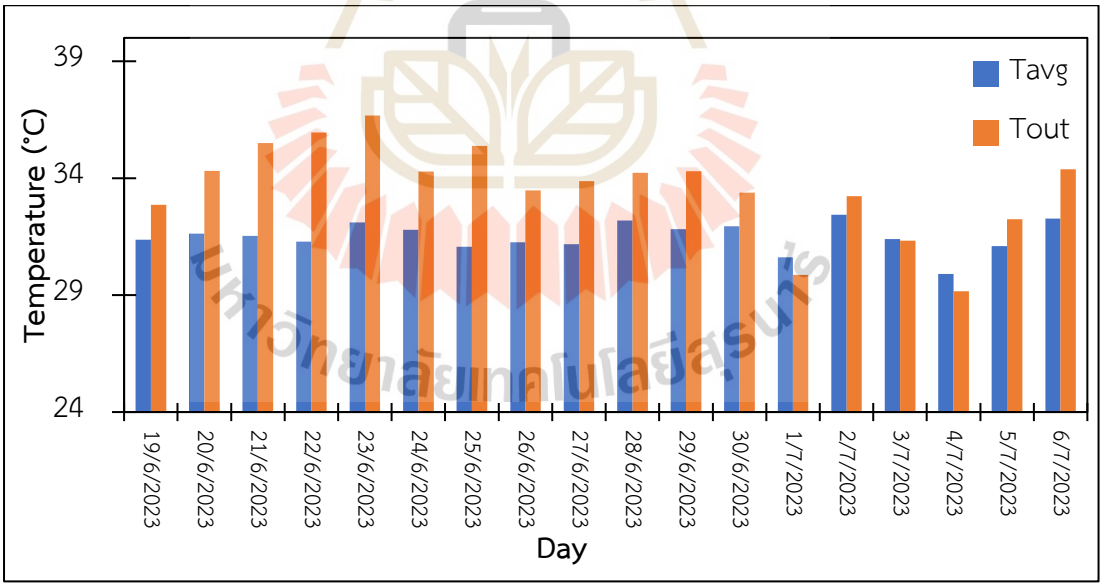
ข้อมูล	19/03/2566	21/03/2566	22/03/2566
อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (℃)	34.9	36.6	37.8
ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	50.9	49.1	41.1
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (℃)	29.9	30.5	30.3
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (% RH)	79.2	79.5	78.1
แรงดึงระเหยน้ำของอากาศเฉลี่ยในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (kPa)	0.88	0.90	0.95
การใช้น้ำตอลดทั้งวัน (L)	309.0	357.0	415.5
การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวัน (kW-h)	5.05	5.76	6.16

จากการควบคุมทั้ง 3 รูปแบบพบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าตามที่กำหนดไว้ในวันที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิสูง ทำให้ระบบทำงานตลอดเวลา ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าสูง เมื่อเทียบกับระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์สามารถควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด แต่ค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าสูง ส่วนระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำ สามารถควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำให้มีค่าใกล้เคียงค่าที่กำหนดได้ ทำให้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช เนื่องจากระบบควบคุมอุณหภูมิทำงานเกือบตลอดเวลา จึงทำให้มีการใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ถัดมาคือระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ และใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดคือระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นได้ว่าระบบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ เปรียบเสมือนการนำข้อดีของระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์คือ สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

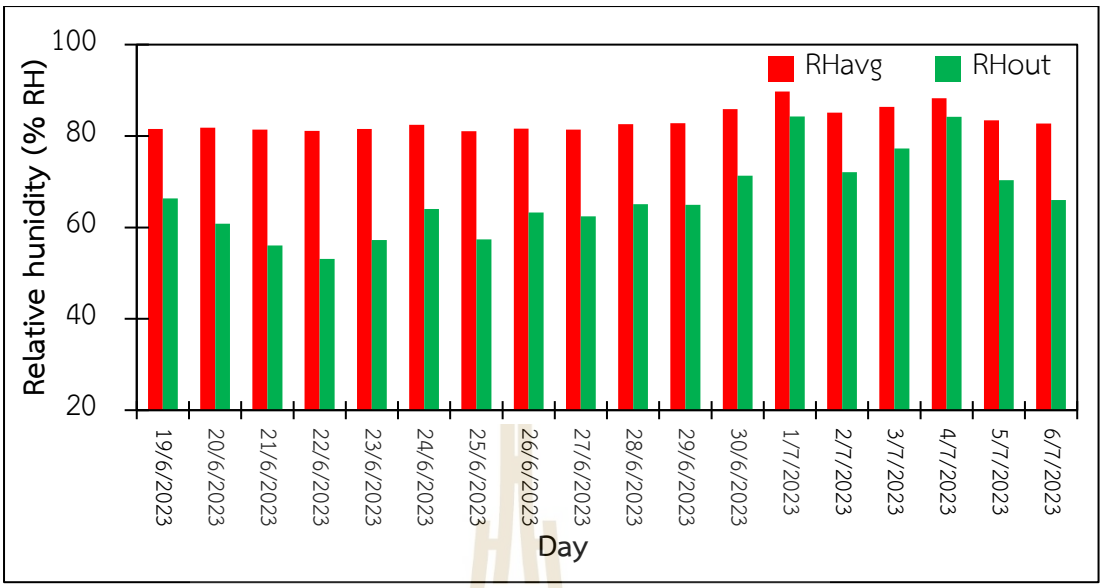
4.5 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช

4.5.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในการทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค

จากผลการทดลองการปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน จากรูปที่ 4.17 พบว่า เมื่อใช้ระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการปลูกผักสลัดพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน (Tavg) ของวันที่ทำการทดสอบมีค่าอยู่ในช่วง 30-32 °C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวัน (Tout) อยู่ที่ 2-6 °C แต่จะเห็นได้ว่าในวันที่ 1 3 4 กรกฎาคม 2566 ซึ่งอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เนื่องจากในช่วงระหว่างวันที่ทำการทดสอบได้เกิดฝนตกทำให้อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนมีค่าต่ำและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูง เมื่อระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศทำงานที่ 0.85 kPa ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนจะอยู่ในช่วง 30-32 °C แต่เนื่องจากสภาพอากาศอุณหภูมิด้านนอกโรงเรือนต่ำ จึงทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าภายนอกโรงเรือน



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในและภายนอกโรงเรือนในแต่ละวันที่ทดลองปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค



รูปที่ 4.18 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือนในแต่ละวันที่ทดลองปลูกผัก สลัดกรีนโอ๊ค

จากรูปที่ 4.18 พบว่า เมื่อใช้ระบบควบคุมแรงดึงระเหยน้ำของอากาศในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการปลูกผักสลัดพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดทั้งวันของวันที่ทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 80-92% RH ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนนั้นมีค่าสูงกว่าความต้องการของพืช เนื่องมาจากภายในโรงเรือนมีการคายน้ำของพืชจึงทำให้มีไอน้ำที่ได้จากระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำร่วมกับการคายน้ำของพืช ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าสูง ซึ่งมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 20-30% RH ส่วนในวันที่ 1 3 4 กรกฎาคม 2566 ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าสูง เนื่องจากในช่วงระหว่างวันที่ทำการทดสอบได้เกิดฝนตกดังที่กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้านี้

4.5.2 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักในโรงเรือนกับนอกโรงเรือน

จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค หลังจากลงปลูกในแปลงปลูกระบบไฮโดรโปนิกส์ เมื่อผักสลัดมีอายุ 20 วัน และวัดการเจริญเติบโต พบว่าจำนวนใบและความสูงต้นของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนเทียบกับภายนอกโรงเรือนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีจำนวนใบอยู่ในช่วง 4.90-4.95 ใบ และความสูงต้นอยู่ในช่วง 2.97-3.02 cm ส่วนความกว้างทรงพุ่มของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในและภายนอก

โรงเรือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) จะเห็นได้ว่าผักสลัดกรีนโอ๊คหลังลงปลูกเมื่อมีอายุ 20 วัน ผักสลัดกรีนโอ๊คภายในโรงเรือนเริ่มมีความกว้างทรงพุ่มมากกว่าผักสลัดภายนอกโรงเรือน เมื่อผักสลัดกรีนโอ๊คมีอายุ 25 30 35 40 วัน พบว่าความกว้างทรงพุ่มและความสูงต้นของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนเทียบกับภายนอกโรงเรือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยที่ผักสลัดกรีนโอ๊คภายในโรงเรือนจะมีความกว้างทรงพุ่มและความสูงต้นที่มากกว่าผักสลัดกรีนโอ๊คภายนอกโรงเรือน ดังรูปที่ 4.19-4.20 เนื่องจากภายในโรงเรือนนั้นมีแสงที่ไม่เพียงพอต่อผักสลัดกรีนโอ๊คทำให้ผักสลัดมีพฤติกรรมที่มีใบและลำต้นยืดเข้าหาแสงส่วนจำนวนใบของผักสลัดกรีนโอ๊คภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) โดยจะมีจำนวนใบที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.10 จำนวนใบ (ใบ) ความกว้างทรงพุ่ม (cm) และความสูงต้น (cm) ของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน

อายุ (วัน)	จำนวนใบ (ใบ)		ความกว้างทรงพุ่ม (cm)		ความสูงต้น (cm)	
	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน
20	4.90±0.44^{a}	4.95±0.32^{a}	9.42±1.63^{a}	8.51±1.03^{b}	3.02±0.77^{a}	2.97±0.55^{a}
25	7.90±0.63^{a}	7.95±0.45^{a}	18.82±2.19^{a}	15.05±1.65^{b}	5.96±1.36^{a}	5.11±0.77^{b}
30	11.93±1.05^{a}	12.48±0.82^{b}	26.36±2.09^{a}	21.15±1.80^{b}	10.66±1.90^{a}	8.72±1.23^{b}
35	17.00±1.55^{a}	17.40±0.84^{a}	30.07±2.06^{a}	24.57±1.76^{b}	20.94±3.46^{a}	14.32±1.56^{b}
40	21.30±1.81^{a}	22.35±4.12^{a}	29.96±2.29^{a}	25.88±2.16^{b}	28.53±3.67^{a}	18.95±2.82^{b}

หมายเหตุ ตัวเลขหลังเครื่องหมาย ± คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และตัวอักษรกำกับค่าในตารางที่เหมือนกันในแถวเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

รูปที่ 4.19 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือน

รูปที่ 4.20 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือน

ตารางที่ 4.11 น้ำหนักต้นสด (g) น้ำหนักต้นแห้ง (g) ของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือนที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุครบกำหนด

อายุ (วัน)	น้ำหนักต้นสด (g)		น้ำหนักต้นแห้ง (g)	
	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน
40	67.25±15.77[a]	115.09±21.17[b]	2.63±0.74[a]	5.98±1.24[b]

หมายเหตุ ตัวเลขหลังเครื่องหมาย ± คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และตัวอักษรกำกับค่าในตารางที่เหมือนกันในแถวเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการวัดการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คเมื่อทำการเก็บเกี่ยว พบว่าน้ำหนักต้นสดของผักสลัดกรีนโอ๊คภายนอกโรงเรือนเปรียบเทียบกับผักสลัดกรีนโอ๊คภายในโรงเรือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เช่นเดียวกับน้ำหนักต้นแห้งซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือนมีน้ำหนักต้นสดและน้ำหนักต้นแห้งมากกว่าผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือน จึงเห็นได้ว่าผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือนมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนและลักษณะของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ได้มีรูปทรงที่เป็นไปตามเกณฑ์การเจริญเติบโต (ปกติ)

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือน ควบคุมธาตุอาหารของพืช แต่สิ่งที่ไม่ได้ควบคุมและเป็นตัวแปรหลักต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ แสง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างมาก ส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมที่ส่งผลต่อพัฒนาการเจริญเติบโตและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Fankhauser & Chory, 1997; Smith, 1982) เนื่องจากแสงภายในโรงเรือนมีค่าน้อยกว่าภายนอกโรงเรือน จึงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยที่ค่าแสงภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าประมาณ 5,000 Lux ส่วนค่าแสงภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าประมาณ 25,000 Lux

บทที่ 5
สรุป

5.1 อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำที่เหมาะสม

จากการทดสอบพบว่าการเลือกใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว ที่ความเร็วอากาศไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 0.64 m/s ซึ่งเมื่อระบบทำงานตลอดทั้งวันจะมีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมงอยู่ที่ 0.83 kW-h จึงได้ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำกรณีนี้ เพื่อใช้ทดสอบและออกแบบระบบควบคุมสภาพอากาศของโรงเรือน

5.2 การทดสอบโรงเรือน

จากการทดสอบโรงเรือนได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่การทดสอบโรงเรือนที่ใช้ระบบระบายอากาศและการทดสอบโรงเรือนระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ พบว่า

1) โรงเรือนที่ใช้ระบบระบายอากาศนั้นไม่สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนได้ แต่เมื่อโรงเรือนใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้สูงกว่าภายนอกโรงเรือน ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนได้ถึง 6.3 °C และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้สูงกว่าภายนอกโรงเรือนได้ถึง 35.5% RH

2) ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำนั้นมีข้อเสียคือเกิดการไล่ระดับของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน โดยตำแหน่งการวัดที่ใกล้แผ่นระเหยน้ำจะมีอุณหภูมิต่ำ จากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มสูงตามระยะทาง ซึ่งด้านหน้าโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงสุด ส่วนทางด้านความชื้นสัมพัทธ์การไล่ระดับจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยตำแหน่งการวัดที่ใกล้แผ่นระเหยน้ำจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และลดลงตามระยะทางที่ห่างจากแผ่นระเหยน้ำ

5.3 การเปรียบเทียบสภาพอากาศภายในโรงเรือนกับสภาพอากาศภายนอกโรงเรือน

จากการทดสอบได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่การทดสอบในวันที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิต่ำ (อากาศเย็น) และในวันที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิสูง (อากาศร้อน) พบว่า

1) ในวันที่สภาพอากาศเย็นระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันให้ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 7.8 °C และในวันที่สภาพอากาศร้อนสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันให้ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 4.1-5.2 °C

2) ในวันที่สภาพอากาศเย็นระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันให้สูงกว่าภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 44.0% RH และในวันสภาพอากาศร้อนสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันให้สูงกว่าภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 23.5-27.9% RH

3) ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนประมาณ 4-8 °C และสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้สูงกว่าภายนอกโรงเรือนประมาณ 24-44% RH

5.4 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม

จากการทดสอบได้แบ่งการควบคุมออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ พบว่า

1) ระบบควบคุมอุณหภูมิ สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้มีค่าตามที่กำหนดได้ในวันที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิต่ำ ส่วนในวันที่มีอุณหภูมิสูงระบบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าตามที่กำหนดได้ โดยอุณหภูมิภายในโรงเรือนจะอยู่ในช่วง 30-32 °C

2) ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ สามารถควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ที่ 70% RH แต่อุณหภูมิภายในโรงเรือนนั้นยังมีค่าสูง

3) ระบบควบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ สามารถควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำตามค่าที่กำหนดไว้ได้ในบางช่วงเวลา ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าสูง แต่ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นั้นยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

5.5 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช

จากการทดสอบการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนที่ควบคุมสภาพอากาศกับภายนอกโรงเรือน พบว่า ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือนมีการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักและรูปทรงที่ดีกว่าผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือน เนื่องจากภายในโรงเรือนนั้นมีความเข้มแสงน้อยกว่าภายนอกโรงเรือน จึงส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการสร้างอาหารของผักสลัดกรีนโอ๊ค จึงทำให้ผักสลัดกรีนโอ๊คภายในโรงเรือนนั้นมีการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน

5.6 ข้อเสนอแนะ

1) โรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ได้ใช้อัตราการหมุนเวียนน้ำผ่านแผ่นระเหยน้ำเพียงค่าเดียว หากในการทดสอบได้ศึกษาอัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นระเหยน้ำที่อัตราการไหลที่แตกต่างกัน อาจเห็นแนวโน้มของการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนได้

2) การทดสอบของโรงเรือนได้ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนที่บริเวณกึ่งกลางโรงเรือนตามแนวยาว หากต้องการเห็นการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนที่ชัดเจนขึ้น ควรเพิ่มการติดตั้งเซนเซอร์ตามแนวขวางหรือด้านกว้างของโรงเรือนในระยะห่างที่ลดลงและเพิ่มจุดการวัดตามแนวดิ่งหรือด้านสูงของโรงเรือนเพิ่ม

3) หากต้องการปลูกพืชภายในโรงเรือนควรคำนึงเรื่องแสงให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณผลผลิต

4) ควรมีการติดตั้งระบบแสง LED และเซนเซอร์วัดแสงภายในโรงเรือน เพื่อให้มีแสงเพียงพอต่อความต้องการของพืชในช่วงเวลาที่มีแสงน้อย

5) ควรควบคุมช่วงเวลาการเปิด-ปิดของปั๊มน้ำ แต่ต้องคำนึงถึงความอิ่มตัวของแผ่นระเหยน้ำเพื่อลดการใช้พลังงานฟ้าของระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

6) ควรหุ้มฉนวนถังเก็บน้ำเพื่อไม่ให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าแผ่นระเหยน้ำสูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อการลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน

รายการอ้างอิง

ไกรสร รวยป้อม. (2546). *การออกแบบระบบควบคุมสภาวะอากาศกึ่งอัตโนมัติโรงเรือนเพาะปลูก* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์). สืบค้นจาก http://www.lib.ku.ac.th/KUthesis/KrisornRua/index.html

จุมพล ประสมทรัพย์. (2541). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำความเย็นในโรงเรือนไม้ดอกโดยใช้เทคนิคการทำความเย็นแบบระเหย* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี). สืบค้นจาก https://digial.lib.kmutt.ac.th/thesis/index.php?pageNum_thesis=45&totalRows _thesis=891&select=1&textfield=ac

ธนากร น้ำหอมจันทร์, ธีรพงษ์ บริรักษ์, ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ, และกุลวดี เถนว้อง. (2558). ต้นแบบโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบอัตโนมัติสำหรับบ้านพักอาศัย. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 9(2), 187-195.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2550). *การปลูกพืชผักในโรงเรือน*. สืบค้นจาก https://ebook.lib.ku.ac.th/ebook/2011-002-0231/#p=2

นิติรงค์ พงษ์พานิช, วัชรพล ชยประเสริฐ, ภัทราพร สัญชาตเจตน์, อิทธิเดช มูลมั่งมี และกฤษฎา แสงเพ็ชร์ส่อง. (2558). การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนแบบ Evaporative cooling. ใน *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2558 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8* (หน้า 361-365). กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ร่วมกับ บริษัท วีเอ็นยู เอ็กซิบิชั่นส์ เอเชีย แปซิฟิค จำกัด.

บัณฑูร ชุนสิทธิ์, พจนา สีมันตร, ปราโมทย์ สฤษดิ์นิรันดร์ และสุพร จันธนู. (2544). การศึกษาประสิทธิภาพของโรงเรือนปลูกพืชแบบระเหยน้ำ. ใน *การประชุมวิชาการประจำปี 2544 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย* (หน้า 378-387). ขอนแก่น: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

ประทีป ตุ้มทอง, สันติ สาแก้ว, ปราโมทย์ นิยมทอง, ณัฏฐ์ธนัน กีรติญาดาธนภัทร, และณัฏฐ์ สุวรรณกูฏ. (2564). การศึกษาระบบการทำความเย็นแบบระเหยและแบบพ่นหมอกสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ด. *Industrial Technology Journal, 6*(2), 33-40.

ภานุวิชญ์ พุทธรักษา, ปรีดา นาเวศน์, และสุลักษณา มงคล. (2560). ศักยภาพการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนปลูกสตอเบอรี่เขตร้อน. ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13* (หน้า 56-64). เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สุรินทร์ ดันใจ และสุลักษณา มงคล. (2559). ศักยภาพการทำความเย็นแบบระเหยเพื่อประยุกต์ใช้ในบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนสลับแล้ง. ใน *การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเมความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 15* (หน้า 188-195). สุราษฎร์ธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อัครเดช สินธุภัค. (2543). ไซโครเมตริกพื้นฐานของการทำความเย็นแบบระเหย. ใน อัครเดช สินธุภัค (บก.), *การปรับอากาศ* (หน้า 549-551), กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Aljubury, I. M. A., & Ridha, H. D. (2017). Enhancement of evaporative cooling system in a greenhouse using geothermal energy. *Renewable Energy, 111*, 321-331. doi:10.1016/j.renene.2017.03.080

Amani, M., Foroushani, S., Sultan, M., & Bahrami, M. (2020). Comprehensive review on dehumidification strategies for agricultural greenhouse applications. *Applied Thermal Engineering, 181*. doi:10.1016/j.applthermaleng.2020.115979

Arble, A. Yekutieli, O. & Barak, M. (1999). Performance of a Fog system for Cooling Greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research, 72*, 129-136. doi:10.1006/jaer.1998.0351

ASAE. (2003). Heating, Ventilating and Cooling Greenhouse. *ASAE STANDARDS*, EP406.4 JAN03, 698-707.

ASHRAE. (2009). *ASHRAE handbook fundamentals: Psychrometrics*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE. (2011). *ASHRAE handbook heating, ventilating, and air-conditioning applications: Evaporative cooling*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., & Hodder, A. (2013). *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops*. Italy: Food and Agriculture Organization - FAO.

Drak, B. G., Gonzàlez-Meler, M. A., & Long, S. P. (1997). MORE EFFICIENT PLANTS: A Consequence of Rising Atmospheric CO_2?. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 48*, 609-639. doi:10.1146/annurev.arplant.48.1.609

Dağtekin, M., Karaca, C., & Yıldız, Y. (2009). Performance characteristics of a pad evaporative cooling system in a broiler house in a Mediterranean climate. Biosystems Engineering, 103(1), 100-104. doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.02.011

Fankhauser, C., & Chory J. (1997). Light control of plant development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 13, 203–229. doi:10.1146/annurev.cellbio.13.1.203

Kittas, C., Bartzanas, T., & Jaffrin, A. (2003). Temperature Gradients in a Partially Shaded Large Greenhouse equipped with Evaporative Cooling Pads. *Biosystems Engineering, 85*(1), 87-94. doi:10.1016/s1537-5110(03)00018-7

Lertsatitthanakorn, C., Rerngwongwitaya, S., & Soponronnarit, S. (2006). Field Experiments and Economic Evaluation of an Evaporative Cooling System in a Silkworm Rearing House. *Biosystems Engineering, 93*(2), 213-219. doi:10.1016/j.biosystemseng.2005.12.003

Lu, N., Nukaya, T., Kamimura, T., Zhang, D., Kurimoto, I., Takagaki, M., Maruo, T., Kozai , T., & Yamori, W. (2015). Control of vapor pressure deficit (VPD) in greenhouse enhanced tomato growth and productivity during the winter season. Scientia Horticulturae, 197, 17-23. doi:10.1016/j.scienta.2015.11.001

DAYIOĞLU, M. A., & SİLLELİ, H.H. (2015). Performance Analysis of a Greenhouse Fan-Pad Cooling System: Gradients of Horizontal Temperature and Relative Humidity. *Journal of Agricultural Sciences, 21* (1), 132-143. doi:10.1501/Tarimbil_0000001314

Mortensen, L. M. (1987). Review: CO2 enrichment in greenhouses. Crop responses. *Scientia Horticulturae, 33*(1-2), 1-25. doi:10.1016/0304-4238(87)90028-8

Murray, F. W. (1967). On the computation of saturation vapor pressure. *Journal of Applied Meteorology and Climatology, 6*, 203-204. doi:10.1175/1520-0450(1967)006<0203:OTCOSV>2.0.CO;2

Nelson, P. V. (2003). *Greenhouse operation and management (6 ed.): Light and temperature*. USA: Prentice.

Oz, H., Atilgan, A., Buyuktas, K., & Alagoz, T. (2009). The Efficiency of Fan-Pad Cooling System in Greenhouse and Building Up of Internal Greenhouse Temperature Map. *African Journal of Biotechnology, 8*, 5436-5444. doi: 10.4314/ajb.v8i20.65986

Smith, H. (1982). Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annual Review of Plant Physiology. 33*, 481–518. doi: 10.1146/annurev.pp.33.060182.002405

Song, X., Bai, P., Ding, J., & Li, J. (2021). Effect of vapor pressure deficit on growth and water status in muskmelon and cucumber. *Plant Science, 303*. doi:10.1016/j.plantsci.2020.110755

Stull, R. (2011). Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology, 50*, 2267-2269. doi: 10.1175/jamc-d-11-0143.1

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. doi:10.1016/j.renene.2015.09.015

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*. doi:10.1016/j.agwat.2021.106807

Watt, J.R., Koral, R.L., Crow, L.W. & Greenberg, A. (1986). *Evaporative air conditioning handbook: Theory of direct evaporative cooling.* (pp. 12-24). New York: CHAPMAN&HALL.

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. doi:10.1016/j.apenergy.2014.10.061

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ก.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
8:00	33.07	66.30	29.70	71.50	-3.37	-5.20
8:05	31.27	81.27	30.20	71.60	-1.07	9.67
8:10	30.57	82.97	30.30	70.20	-0.27	12.77
8:15	30.30	83.50	30.90	68.00	0.60	15.50
8:20	30.30	83.27	30.80	68.70	0.50	14.57
8:25	30.43	83.50	30.90	68.00	0.47	15.50
8:30	30.53	83.13	30.80	68.60	0.27	14.53
8:35	30.73	82.77	31.60	67.30	0.87	15.47
8:40	30.73	82.73	31.80	65.00	1.07	17.73
8:45	30.87	82.53	32.00	65.50	1.13	17.03
8:50	30.83	82.37	32.10	64.30	1.27	18.07
8:55	31.03	81.70	32.20	66.20	1.17	15.50
9:00	31.43	81.03	32.40	64.60	0.97	16.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
9:05	31.50	81.90	32.50	63.10	1.00	18.80
9:10	31.87	80.47	32.40	65.20	0.53	15.27
9:15	31.87	80.40	33.20	61.10	1.33	19.30
9:20	32.07	79.20	33.10	63.10	1.03	16.10
9:25	32.03	79.23	32.90	62.00	0.87	17.23
9:30	32.37	78.90	33.30	58.50	0.93	20.40
9:35	32.43	76.83	33.30	58.70	0.87	18.13
9:40	32.20	77.57	33.60	59.00	1.40	18.57
9:45	32.30	76.20	33.60	58.40	1.30	17.80
9:50	32.43	76.47	34.20	57.60	1.77	18.87
9:55	32.40	76.20	33.90	56.00	1.50	20.20
10:00	32.43	75.87	33.90	53.20	1.47	22.67
10:05	32.47	77.00	34.40	55.70	1.93	21.30
10:10	32.90	75.93	34.20	57.50	1.30	18.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
10:15	32.97	76.33	34.70	57.10	1.73	19.23
10:20	33.17	74.93	35.70	53.90	2.53	21.03
10:25	33.47	73.97	35.50	51.50	2.03	22.47
10:30	33.60	72.87	35.70	50.50	2.10	22.37
10:35	33.37	72.27	34.80	54.30	1.43	17.97
10:40	33.30	73.27	35.30	52.70	2.00	20.57
10:45	33.20	74.27	35.70	52.70	2.50	21.57
10:50	33.37	73.70	35.60	51.30	2.23	22.40
10:55	33.57	73.37	37.60	51.30	4.03	22.07
11:00	32.87	73.80	37.60	49.50	4.73	24.30
11:05	32.40	76.03	35.40	50.80	3.00	25.23
11:10	33.33	73.37	36.80	50.70	3.47	22.67
11:15	33.43	73.70	37.40	48.50	3.97	25.20
11:20	33.97	71.47	36.20	49.50	2.23	21.97

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
11:25	33.80	72.03	36.90	50.10	3.10	21.93
11:30	34.17	71.20	36.80	50.80	2.63	20.40
11:35	33.23	72.70	37.30	46.60	4.07	26.10
11:40	33.87	72.87	37.90	48.10	4.03	24.77
11:45	33.17	72.73	37.20	46.80	4.03	25.93
11:50	33.30	72.13	38.40	45.10	5.10	27.03
11:55	33.27	70.00	39.70	42.10	6.43	27.90
12:00	33.43	70.47	38.40	42.70	4.97	27.77
12:05	33.20	70.40	39.30	42.10	6.10	28.30
12:10	33.10	71.20	39.30	43.50	6.20	27.70
12:15	33.60	70.80	38.70	44.20	5.10	26.60
12:20	33.73	69.37	36.30	47.30	2.57	22.07
12:25	33.50	70.67	37.90	44.30	4.40	26.37
12:30	33.47	71.23	38.60	42.40	5.13	28.83

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
12:35	33.57	70.57	38.70	43.00	5.13	27.57
12:40	34.13	67.87	37.00	43.90	2.87	23.97
12:45	33.83	68.57	39.00	41.60	5.17	26.97
12:50	33.67	68.77	38.00	41.90	4.33	26.87
12:55	33.83	68.70	37.60	43.70	3.77	25.00
13:00	33.60	68.63	39.30	39.70	5.70	28.93
13:05	34.00	66.93	37.70	43.40	3.70	23.53
13:10	34.07	68.60	37.80	41.90	3.73	26.70
13:15	33.93	68.70	38.80	40.40	4.87	28.30
13:20	33.73	69.00	37.60	43.70	3.87	25.30
13:25	33.63	68.77	38.90	40.80	5.27	27.97
13:30	33.47	68.70	40.00	38.40	6.53	30.30
13:35	33.43	69.43	38.90	42.00	5.47	27.43
13:40	33.67	68.30	38.00	40.10	4.33	28.20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
13:45	33.53	67.83	39.50	40.30	5.97	27.53
13:50	33.03	69.37	39.20	39.20	6.17	30.17
13:55	33.67	67.77	37.60	43.70	3.93	24.07
14:00	33.30	68.87	39.50	40.70	6.20	28.17
14:05	33.00	69.43	39.70	41.30	6.70	28.13
14:10	32.67	72.10	38.50	40.90	5.83	31.20
14:15	33.03	69.43	39.00	39.90	5.97	29.53
14:20	33.07	68.13	39.10	38.50	6.03	29.63
14:25	33.40	68.77	38.30	41.80	4.90	26.97
14:30	32.97	68.27	38.90	39.90	5.93	28.37
14:35	33.37	68.77	38.50	41.90	5.13	26.87
14:40	33.07	68.43	39.60	38.20	6.53	30.23
14:45	33.20	68.03	38.80	41.00	5.60	27.03
14:50	32.70	68.33	39.20	39.10	6.50	29.23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
14:55	32.87	69.00	39.20	39.40	6.33	29.60
15:00	32.70	69.80	38.90	39.60	6.20	30.20
15:05	32.63	70.77	39.10	40.10	6.47	30.67
15:10	32.80	69.43	38.40	39.50	5.60	29.93
15:15	32.73	69.80	39.00	40.00	6.27	29.80
15:20	32.33	69.43	37.50	40.20	5.17	29.23
15:25	32.47	69.60	37.70	41.60	5.23	28.00
15:30	32.07	70.53	38.30	40.60	6.23	29.93
15:35	32.50	69.63	36.70	42.00	4.20	27.63
15:40	31.93	70.73	38.30	39.80	6.37	30.93
15:45	31.77	71.90	38.00	39.70	6.23	32.20
15:50	31.63	72.40	37.30	43.30	5.67	29.10
15:55	31.63	71.87	37.30	42.90	5.67	28.97
16:00	31.23	72.23	37.90	41.00	6.67	31.23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
16:05	31.43	71.30	36.30	41.80	4.87	29.50
16:10	31.30	72.27	36.80	41.00	5.50	31.27
16:15	31.00	72.50	37.00	41.30	6.00	31.20
16:20	30.83	73.77	36.50	41.80	5.67	31.97
16:25	30.53	73.53	36.40	41.10	5.87	32.43
16:30	30.63	73.27	35.90	42.20	5.27	31.07
16:35	30.17	73.90	36.00	41.80	5.83	32.10
16:40	29.77	76.10	35.70	42.80	5.93	33.30
16:45	29.43	77.13	35.90	42.30	6.47	34.83
16:50	29.10	77.53	35.50	43.70	6.40	33.83
16:55	29.23	76.47	35.30	42.90	6.07	33.57
17:00	29.30	76.27	35.20	42.70	5.90	33.57
ต่ำสุด	**29.10**	**66.30**	**29.70**	**38.20**	**-3.37**	**-5.20**
สูงสุด	**34.17**	**83.50**	**40.00**	**71.60**	**6.70**	**34.83**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
เฉลี่ย	32.47	73.27	36.33	48.58	3.86	24.69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว

เวลา	**การใช้น้ำต่อชั่วโมง (ลิตร)**	**การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)**
8:00	0.00	0.00
9:00	63.00	0.52
10:00	21.00	0.51
11:00	24.00	0.51
12:00	22.50	0.50
13:00	25.50	0.50
14:00	30.00	0.49
15:00	25.50	0.51
16:00	28.50	0.50
17:00	0.00	0.51
เฉลี่ย	**24.00**	**0.46**
ทั้งหมด	**240.00**	**4.55**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.2 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
8:00	33.40	67.37	30.80	71.60	-2.60	-4.23
8:05	30.13	84.20	30.90	70.40	0.77	13.80
8:10	29.53	86.70	31.10	71.50	1.57	15.20
8:15	29.47	87.43	31.60	69.50	2.13	17.93
8:20	29.73	87.13	32.00	68.00	2.27	19.13
8:25	29.63	86.90	31.70	68.00	2.07	18.90
8:30	29.50	87.40	32.00	67.80	2.50	19.60
8:35	29.73	87.50	33.10	65.50	3.37	22.00
8:40	30.07	86.90	32.90	63.80	2.83	23.10
8:45	29.97	86.47	32.50	65.90	2.53	20.57
8:50	30.33	85.73	32.80	63.10	2.47	22.63
8:55	30.10	85.53	32.50	64.20	2.40	21.33
9:00	30.37	86.03	33.00	63.80	2.63	22.23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
9:05	30.50	85.40	33.60	64.90	3.10	20.50
9:10	30.80	85.10	34.50	61.30	3.70	23.80
9:15	31.07	84.30	34.00	60.60	2.93	23.70
9:20	31.10	84.60	34.10	61.90	3.00	22.70
9:25	31.07	83.70	33.90	60.10	2.83	23.60
9:30	30.90	83.10	33.30	61.80	2.40	21.30
9:35	30.90	83.60	33.30	60.50	2.40	23.10
9:40	31.13	84.37	34.80	58.40	3.67	25.97
9:45	31.30	84.20	35.20	57.50	3.90	26.70
9:50	31.67	82.67	34.20	59.90	2.53	22.77
9:55	31.70	82.63	34.80	59.20	3.10	23.43
10:00	31.70	82.33	35.60	57.40	3.90	24.93
10:05	31.63	81.17	36.50	54.40	4.87	26.77
10:10	31.47	80.80	36.30	52.70	4.83	28.10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
10:15	31.33	82.17	37.00	51.60	5.67	30.57
10:20	31.80	81.30	36.60	53.50	4.80	27.80
10:25	32.10	79.37	36.10	54.90	4.00	24.47
10:30	32.20	78.73	36.00	53.30	3.80	25.43
10:35	32.00	79.07	37.40	51.10	5.40	27.97
10:40	31.83	79.53	38.50	49.00	6.67	30.53
10:45	31.73	79.63	38.50	51.90	6.77	27.73
10:50	31.53	79.70	38.70	49.00	7.17	30.70
10:55	31.63	79.83	39.10	48.80	7.47	31.03
11:00	31.90	78.53	38.90	47.30	7.00	31.23
11:05	31.93	79.37	38.70	47.70	6.77	31.67
11:10	31.80	80.07	38.90	47.40	7.10	32.67
11:15	31.93	79.67	38.60	47.40	6.67	32.27
11:20	31.90	78.87	39.10	47.90	7.20	30.97

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
11:25	32.00	79.03	39.60	47.20	7.60	31.83
11:30	32.13	79.73	38.30	47.30	6.17	32.43
11:35	32.20	78.60	38.70	48.20	6.50	30.40
11:40	32.27	78.53	39.40	46.80	7.13	31.73
11:45	32.20	76.97	39.70	45.30	7.50	31.67
11:50	32.17	78.83	39.10	47.80	6.93	31.03
11:55	32.40	77.83	38.40	45.80	6.00	32.03
12:00	32.47	77.57	39.20	46.70	6.73	30.87
12:05	32.43	78.13	39.10	47.80	6.67	30.33
12:10	32.50	78.10	40.00	44.80	7.50	33.30
12:15	32.70	77.87	38.00	48.40	5.30	29.47
12:20	32.77	76.73	39.10	47.10	6.33	29.63
12:25	32.30	79.20	39.20	46.10	6.90	33.10
12:30	32.70	77.03	37.10	47.30	4.40	29.73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
12:35	32.80	77.47	38.70	48.00	5.90	29.47
12:40	33.00	77.37	39.00	47.50	6.00	29.87
12:45	32.93	76.17	39.90	43.60	6.97	32.57
12:50	32.83	76.27	38.90	47.30	6.07	28.97
12:55	32.67	76.17	39.50	45.60	6.83	30.57
13:00	32.70	76.73	40.00	44.30	7.30	32.43
13:05	33.07	77.03	40.10	44.90	7.03	32.13
13:10	32.40	77.60	40.40	43.30	8.00	34.30
13:15	32.60	78.80	40.10	44.10	7.50	34.70
13:20	32.67	75.67	40.90	42.20	8.23	33.47
13:25	33.00	77.13	38.90	45.30	5.90	31.83
13:30	32.83	77.87	39.20	45.40	6.37	32.47
13:35	32.13	77.87	39.60	45.40	7.47	32.47
13:40	31.57	80.03	37.90	46.80	6.33	33.23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
13:45	31.57	79.23	38.70	46.10	7.13	33.13
13:50	31.37	78.40	39.20	44.90	7.83	33.50
13:55	32.17	78.00	40.40	42.50	8.23	35.50
14:00	32.20	78.93	39.40	45.90	7.20	33.03
14:05	31.97	78.93	39.00	45.00	7.03	33.93
14:10	32.10	77.00	40.00	41.40	7.90	35.60
14:15	31.60	76.50	39.70	40.60	8.10	35.90
14:20	32.17	76.30	40.50	41.40	8.33	34.90
14:25	32.10	75.07	41.30	40.30	9.20	34.77
14:30	32.30	75.57	41.20	40.90	8.90	34.67
14:35	32.47	74.97	40.20	42.40	7.73	32.57
14:40	32.47	75.27	40.00	41.00	7.53	34.27
14:45	32.07	75.60	39.20	42.80	7.13	32.80
14:50	32.10	77.07	38.70	43.80	6.60	33.27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
14:55	32.07	76.23	39.90	41.60	7.83	34.63
15:00	31.93	78.20	40.30	41.50	8.37	36.70
15:05	32.13	78.07	39.50	42.90	7.37	35.17
15:10	31.93	76.13	40.50	41.20	8.57	34.93
15:15	31.70	76.73	40.30	42.70	8.60	34.03
15:20	31.87	76.93	38.40	43.20	6.53	33.73
15:25	31.87	77.07	38.00	46.30	6.13	30.77
15:30	31.53	77.77	38.50	42.90	6.97	34.87
15:35	31.60	77.53	37.80	45.60	6.20	31.93
15:40	31.37	78.77	38.10	46.30	6.73	32.47
15:45	31.23	78.53	38.20	45.00	6.97	33.53
15:50	31.00	78.57	38.20	44.40	7.20	34.17
15:55	30.77	80.17	38.10	46.00	7.33	34.17
16:00	30.83	79.53	37.00	45.60	6.17	33.93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
16:05	30.60	80.70	36.60	47.50	6.00	33.20
16:10	30.63	81.30	38.20	44.60	7.57	36.70
16:15	30.60	80.83	36.60	47.50	6.00	33.33
16:20	30.10	83.10	37.40	45.10	7.30	38.00
16:25	30.20	81.80	36.40	47.60	6.20	34.20
16:30	29.80	83.03	36.90	48.60	7.10	34.43
16:35	29.53	84.70	37.10	47.80	7.57	36.90
16:40	29.47	84.40	36.20	48.10	6.73	36.30
16:45	29.33	84.80	35.90	48.40	6.57	36.40
16:50	29.03	85.13	35.70	49.80	6.67	35.33
16:55	28.87	86.33	35.80	48.80	6.93	37.53
17:00	28.83	86.57	35.90	50.20	7.07	36.37
ต่ำสุด	**28.83**	**67.37**	**30.80**	**40.30**	**-2.60**	**-4.23**
สูงสุด	**33.40**	**87.50**	**41.30**	**71.60**	**9.20**	**38.00**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
เฉลี่ย	31.49	80.14	37.34	50.30	5.85	29.84

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 3 ตัว

เวลา	**การใช้น้ำต่อชั่วโมง (ลิตร)**	**การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)**
8:00	0.00	0.00
9:00	72.00	0.68
10:00	28.50	0.66
11:00	37.50	0.65
12:00	36.00	0.69
13:00	31.50	0.67
14:00	33.00	0.69
15:00	37.50	0.73
16:00	33.00	0.64
17:00	3.00	0.68
เฉลี่ย	**31.20**	**0.61**
ทั้งหมด	**312.00**	**6.09**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.3 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
8:00	31.00	63.50	31.20	71.00	0.20	-7.50
8:05	31.00	82.43	31.90	67.70	0.90	14.73
8:10	29.57	85.20	32.20	67.10	2.63	18.10
8:15	28.83	87.63	31.90	67.30	3.07	20.33
8:20	28.67	87.93	31.80	65.40	3.13	22.53
8:25	28.87	88.20	32.40	65.30	3.53	22.90
8:30	28.90	88.40	32.40	67.70	3.50	20.70
8:35	29.13	88.13	33.10	63.00	3.97	25.13
8:40	29.37	87.50	32.80	62.60	3.43	24.90
8:45	29.13	87.67	32.90	62.00	3.77	25.67
8:50	29.13	88.13	32.90	62.20	3.77	25.93
8:55	29.47	87.70	33.90	62.00	4.43	25.70
9:00	29.60	86.50	33.50	60.90	3.90	25.60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
9:05	29.83	87.27	34.60	60.10	4.77	27.17
9:10	30.00	87.03	33.50	64.20	3.50	22.83
9:15	30.17	85.70	34.30	59.80	4.13	25.90
9:20	30.10	84.93	34.80	59.40	4.70	25.53
9:25	30.03	85.10	35.30	56.00	5.27	29.10
9:30	29.90	85.30	33.70	59.50	3.80	25.80
9:35	30.03	85.60	34.50	59.30	4.47	26.30
9:40	30.20	84.17	34.80	54.70	4.60	29.47
9:45	30.13	83.20	35.80	53.70	5.67	29.50
9:50	30.27	83.27	35.80	53.10	5.53	30.17
9:55	30.20	83.23	36.60	53.20	6.40	30.03
10:00	30.43	83.73	36.90	53.30	6.47	30.43
10:05	30.53	83.27	36.80	51.80	6.27	31.47
10:10	30.73	83.60	35.30	51.70	4.57	31.90

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
10:15	30.90	82.30	36.70	54.20	5.80	28.10
10:20	31.03	80.70	35.40	50.40	4.37	30.30
10:25	30.53	82.17	35.10	52.60	4.57	29.57
10:30	30.53	83.50	34.90	54.60	4.37	28.90
10:35	31.27	82.67	35.60	54.00	4.33	28.67
10:40	31.30	81.50	37.50	51.20	6.20	30.30
10:45	31.13	83.57	35.70	54.90	4.57	28.67
10:50	31.27	82.23	38.10	50.40	6.83	31.83
10:55	30.67	83.50	38.20	50.90	7.53	32.60
11:00	30.90	82.67	37.10	52.80	6.20	29.87
11:05	31.30	82.23	37.10	51.10	5.80	31.13
11:10	31.20	81.17	38.30	50.50	7.10	30.67
11:15	30.97	81.87	36.10	54.40	5.13	27.47
11:20	31.10	82.07	36.80	53.10	5.70	28.97

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
11:25	30.73	81.63	38.30	50.00	7.57	31.63
11:30	31.17	82.43	36.70	50.00	5.53	32.43
11:35	31.37	80.73	36.60	47.90	5.23	32.83
11:40	31.33	81.13	37.60	46.60	6.27	34.53
11:45	31.07	79.27	38.40	43.40	7.33	35.87
11:50	31.00	80.93	38.00	45.10	7.00	35.83
11:55	30.70	81.30	36.70	47.90	6.00	33.40
12:00	31.10	80.20	38.00	47.00	6.90	33.20
12:05	30.73	80.30	39.00	43.80	8.27	36.50
12:10	31.03	79.37	37.40	45.60	6.37	33.77
12:15	31.03	78.40	38.20	43.30	7.17	35.10
12:20	30.03	81.97	36.80	47.80	6.77	34.17
12:25	30.57	80.73	36.90	45.80	6.33	34.93
12:30	30.67	79.57	38.40	45.10	7.73	34.47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
12:35	30.73	78.40	37.90	45.20	7.17	33.20
12:40	30.67	80.13	38.50	44.10	7.83	36.03
12:45	30.83	78.93	38.60	43.40	7.77	35.53
12:50	30.80	80.40	38.10	43.90	7.30	36.50
12:55	30.87	80.20	38.20	43.30	7.33	36.90
13:00	30.60	78.40	37.00	45.10	6.40	33.30
13:05	30.53	78.53	39.70	40.40	9.17	38.13
13:10	30.83	78.27	40.20	40.80	9.37	37.47
13:15	30.80	80.63	38.60	43.40	7.80	37.23
13:20	30.97	76.80	39.80	40.80	8.83	36.00
13:25	31.00	79.40	38.20	42.60	7.20	36.80
13:30	31.10	76.73	40.10	41.70	9.00	35.03
13:35	30.83	78.63	38.40	42.20	7.57	36.43
13:40	30.60	79.20	38.00	43.60	7.40	35.60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
13:45	30.30	78.97	39.00	43.90	8.70	35.07
13:50	30.43	78.47	39.20	41.40	8.77	37.07
13:55	30.70	79.13	38.70	40.10	8.00	39.03
14:00	31.03	76.77	40.30	38.90	9.27	37.87
14:05	30.60	77.37	40.50	37.30	9.90	40.07
14:10	30.47	77.63	39.60	37.80	9.13	39.83
14:15	30.47	77.43	38.20	41.20	7.73	36.23
14:20	30.43	78.77	38.20	39.70	7.77	39.07
14:25	30.93	77.07	39.00	41.10	8.07	35.97
14:30	30.77	78.50	38.30	41.60	7.53	36.90
14:35	30.87	77.23	37.60	42.00	6.73	35.23
14:40	30.60	78.87	38.80	42.60	8.20	36.27
14:45	30.40	78.53	37.70	42.50	7.30	36.03
14:50	30.80	78.87	39.40	41.40	8.60	37.47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
14:55	30.30	79.40	38.30	41.20	8.00	38.20
15:00	30.50	78.07	38.20	40.60	7.70	37.47
15:05	30.43	80.30	38.90	42.60	8.47	37.70
15:10	30.20	79.43	37.80	42.30	7.60	37.13
15:15	30.27	79.00	38.70	41.10	8.43	37.90
15:20	30.07	80.10	38.40	40.90	8.33	39.20
15:25	30.17	79.83	38.50	41.60	8.33	38.23
15:30	29.77	81.17	36.90	43.10	7.13	38.07
15:35	29.47	81.27	37.50	42.10	8.03	39.17
15:40	29.30	81.00	36.50	43.60	7.20	37.40
15:45	29.17	82.37	36.60	42.80	7.43	39.57
15:50	28.90	81.83	36.20	42.20	7.30	39.63
15:55	28.70	83.40	36.50	42.40	7.80	41.00
16:00	28.57	82.73	36.10	43.50	7.53	39.23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
16:05	28.37	83.20	35.80	42.90	7.43	40.30
16:10	28.07	84.97	35.80	43.50	7.73	41.47
16:15	27.97	83.87	35.70	44.50	7.73	39.37
16:20	28.10	84.40	35.90	43.90	7.80	40.50
16:25	28.27	83.80	36.10	43.30	7.83	40.50
16:30	28.20	83.80	36.00	43.90	7.80	39.90
16:35	28.10	84.60	35.80	46.20	7.70	38.40
16:40	27.97	84.30	36.50	43.00	8.53	41.30
16:45	27.80	84.93	36.00	43.60	8.20	41.33
16:50	27.70	85.50	36.00	45.00	8.30	40.50
16:55	27.53	85.73	35.70	44.20	8.17	41.53
17:00	27.37	86.00	35.80	43.80	8.43	42.20
ต่ำสุด	**27.37**	**63.50**	**31.20**	**37.30**	**0.20**	**-7.50**
สูงสุด	**31.37**	**88.40**	**40.50**	**71.00**	**9.90**	**42.20**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกโรงเรือน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
เฉลี่ย	30.12	81.81	36.67	48.70	6.55	33.11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.2.2 การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศ 4 ตัว

เวลา	**การใช้น้ำต่อชั่วโมง (ลิตร)**	**การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)**
8:00	0.00	0.00
9:00	84.00	0.82
10:00	42.00	0.84
11:00	37.50	0.84
12:00	51.00	0.83
13:00	46.50	0.83
14:00	49.50	0.82
15:00	52.50	0.83
16:00	45.00	0.83
17:00	15.00	0.83
เฉลี่ย	**42.30**	**0.75**
ทั้งหมด	**423.00**	**7.47**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.4 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (˚C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (˚C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (˚C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (˚C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (˚C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
8:00	18.3	58.7	20.9	53.4	21.3	53.4	20.2	55.2	17.6	63.4
8:05	17.1	63.4	17.7	61.0	18.5	59.6	17.8	61.3	17.2	65.2
8:10	17.1	63.8	17.7	61.4	18.7	59.5	17.8	61.6	17.2	65.8
8:15	17.5	64.0	18.2	60.7	19.0	59.5	18.2	61.4	17.4	65.5
8:20	17.3	64.1	18.1	61.9	18.9	59.8	18.1	61.9	17.6	65.7
8:25	17.6	64.7	18.2	61.7	19.2	60.0	18.3	62.1	17.6	65.5
8:30	18.2	64.1	18.8	61.0	19.7	59.6	18.9	61.6	18.2	63.7
8:35	18.6	62.4	19.3	59.5	20.5	56.8	19.5	59.6	18.7	64.1
8:40	19.0	59.3	19.8	56.6	21.0	54.6	19.9	56.8	18.7	60.9
8:45	18.4	59.4	19.3	56.3	20.2	54.8	19.3	56.8	18.5	60.4
8:50	18.6	58.5	19.2	55.7	20.5	54.0	19.4	56.1	19.0	58.5
8:55	18.5	58.8	19.2	56.1	20.3	54.4	19.3	56.4	19.2	57.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
9:00	18.8	57.5	19.7	54.7	20.6	54.0	19.7	55.4	19.7	56.4
9:05	18.5	57.0	19.6	54.0	20.6	52.8	19.6	54.6	19.4	55.5
9:10	18.8	57.1	19.9	54.0	20.6	53.4	19.8	54.8	19.4	55.7
9:15	19.3	55.8	20.1	52.7	21.4	50.8	20.3	53.1	20.0	54.7
9:20	19.2	56.0	20.0	53.4	21.2	51.2	20.1	53.5	20.1	53.6
9:25	19.5	55.7	20.3	52.9	21.6	50.3	20.5	53.0	20.4	53.8
9:30	19.4	56.3	20.2	53.7	21.5	50.6	20.4	53.5	20.3	54.1
9:35	19.7	54.9	20.7	52.4	22.1	49.6	20.8	52.3	20.8	52.3
9:40	20.1	54.3	21.0	51.2	22.2	49.6	21.1	51.7	21.0	51.7
9:45	19.9	53.5	21.0	50.8	22.0	49.6	21.0	51.3	21.2	51.6
9:50	20.3	53.7	21.4	50.4	22.3	49.4	21.3	51.2	21.3	50.6
9:55	20.6	52.4	21.9	49.0	23.1	47.9	21.9	49.8	21.7	50.2
10:00	20.5	52.8	21.5	49.5	22.6	48.3	21.5	50.2	21.4	50.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
10:05	20.8	52.1	21.8	48.6	22.9	47.4	21.8	49.4	21.9	49.7
10:10	21.3	51.6	22.3	49.1	23.2	47.8	22.3	49.5	22.3	50.1
10:15	21.3	51.1	22.1	49.2	23.3	47.4	22.2	49.2	22.4	49.0
10:20	21.7	51.1	22.5	48.8	23.7	47.5	22.6	49.1	22.4	48.7
10:25	21.6	49.9	22.6	47.6	23.9	46.6	22.7	48.0	22.6	48.0
10:30	21.9	50.0	22.8	47.4	24.3	45.1	23.0	47.5	23.3	47.0
10:35	21.7	50.3	22.6	48.0	23.9	46.5	22.7	48.3	22.8	48.1
10:40	22.3	50.4	23.6	47.1	24.6	45.8	23.5	47.8	23.5	47.1
10:45	22.5	47.9	23.4	45.2	25.0	43.8	23.6	45.6	23.3	46.1
10:50	22.3	49.5	23.3	47.4	24.4	46.6	23.3	47.8	23.8	46.0
10:55	22.1	49.6	23.0	47.4	24.4	46.1	23.2	47.7	23.4	45.9
11:00	22.7	49.0	23.7	46.2	24.9	45.3	23.8	46.8	24.2	45.4
11:05	22.8	49.2	23.8	46.8	25.3	44.9	24.0	47.0	24.4	46.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
11:10	22.8	49.5	23.8	47.1	25.0	45.0	23.9	47.2	24.5	45.6
11:15	22.9	46.9	23.8	45.4	25.4	43.4	24.0	45.2	24.4	45.1
11:20	22.8	48.1	23.5	46.2	24.9	45.4	23.7	46.6	24.4	45.5
11:25	22.9	48.1	23.9	46.3	25.1	44.9	24.0	46.4	24.7	45.4
11:30	23.4	47.8	24.4	45.5	25.6	44.4	24.5	45.9	24.9	44.9
11:35	23.6	46.3	24.5	45.1	25.8	43.6	24.6	45.0	25.6	44.0
11:40	23.3	48.0	24.1	46.1	25.7	43.7	24.4	45.9	24.7	45.2
11:45	23.5	47.0	24.2	45.1	25.8	43.6	24.5	45.2	25.0	44.0
11:50	23.6	47.3	24.5	45.3	25.8	44.2	24.6	45.6	25.5	43.6
11:55	24.5	45.2	25.3	43.7	26.9	42.2	25.6	43.7	25.8	44.2
12:00	24.0	46.5	24.7	44.6	26.2	43.3	25.0	44.8	25.7	44.4
12:05	23.9	47.4	24.6	45.4	26.3	43.5	24.9	45.4	25.8	43.5
12:10	24.6	45.5	25.3	44.2	27.2	43.1	25.7	44.3	26.3	43.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
12:15	24.0	47.9	24.6	45.6	26.4	43.2	25.0	45.6	25.4	44.6
12:20	24.7	46.0	25.4	44.7	27.5	42.5	25.9	44.4	26.2	43.5
12:25	24.2	47.0	24.9	45.6	27.1	42.7	25.4	45.1	26.0	43.9
12:30	25.0	44.7	25.6	44.2	27.8	41.5	26.1	43.5	26.8	42.6
12:35	24.6	44.6	25.2	44.5	27.3	42.0	25.7	43.7	26.5	41.8
12:40	25.0	44.7	25.6	43.1	27.5	41.7	26.0	43.2	26.8	42.4
12:45	25.1	44.5	25.7	43.0	27.8	40.9	26.2	42.8	27.1	40.4
12:50	25.2	45.6	25.8	43.3	27.6	41.5	26.2	43.5	27.1	42.5
12:55	25.4	44.6	25.9	43.5	27.7	42.2	26.3	43.4	26.8	42.9
13:00	25.7	44.6	26.1	42.9	28.1	40.9	26.6	42.8	27.4	41.1
13:05	26.1	43.0	26.7	42.2	28.8	40.2	27.2	41.8	27.3	41.4
13:10	25.8	44.4	26.2	43.5	28.3	41.1	26.8	43.0	27.0	41.9
13:15	26.6	43.0	26.9	42.5	29.1	40.6	27.5	42.0	27.3	42.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
13:20	26.1	42.9	26.5	42.0	28.5	40.5	27.0	41.8	27.3	41.4
13:25	26.1	42.5	26.5	42.5	28.4	40.2	27.0	41.7	27.8	40.6
13:30	26.4	43.4	26.8	42.6	28.9	40.6	27.4	42.2	27.9	40.5
13:35	25.9	44.8	26.3	43.1	28.0	41.3	26.7	43.1	27.2	42.3
13:40	25.9	43.4	26.3	42.3	28.3	40.3	26.8	42.0	27.6	40.8
13:45	26.0	43.6	26.5	43.0	28.3	40.9	26.9	42.5	27.0	42.0
13:50	26.4	42.2	26.9	42.2	28.9	40.2	27.4	41.5	27.6	40.7
13:55	26.3	43.2	26.9	42.5	28.6	40.6	27.3	42.1	27.7	40.5
14:00	26.5	42.2	26.8	42.2	28.9	40.4	27.4	41.6	28.2	41.1
14:05	26.5	43.5	26.7	43.0	28.9	40.5	27.4	42.3	27.6	42.1
14:10	26.9	42.1	27.4	41.9	29.5	39.8	27.9	41.3	27.8	41.1
14:15	27.0	42.2	27.2	41.3	29.6	39.5	27.9	41.0	28.6	40.1
14:20	26.9	42.1	27.2	41.9	29.1	40.6	27.7	41.5	28.5	39.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
14:25	27.0	42.8	27.4	42.1	29.5	39.8	28.0	41.6	29.0	38.8
14:30	26.8	43.2	27.3	42.4	29.3	39.8	27.8	41.8	27.6	41.9
14:35	26.6	42.1	27.1	41.8	29.1	40.0	27.6	41.3	27.9	39.7
14:40	26.8	42.1	27.3	41.5	29.2	39.7	27.8	41.1	28.4	40.1
14:45	27.2	42.0	27.5	41.7	29.7	39.6	28.1	41.1	29.1	39.3
14:50	26.9	43.0	27.3	42.0	29.2	39.9	27.8	41.6	28.2	40.6
14:55	26.8	43.0	27.0	42.8	28.8	40.7	27.5	42.2	28.1	41.1
15:00	26.6	42.4	26.9	42.3	29.0	40.0	27.5	41.6	28.1	40.3
15:05	26.6	41.9	27.0	41.7	29.0	39.7	27.5	41.1	27.7	40.0
15:10	26.6	42.2	26.7	42.3	28.7	40.3	27.3	41.6	28.0	40.7
15:15	26.9	42.0	27.1	42.0	29.0	40.1	27.7	41.4	28.3	39.9
15:20	26.6	42.8	26.8	42.9	28.6	40.3	27.3	42.0	27.8	40.7
15:25	26.3	43.0	26.6	42.6	28.5	40.5	27.1	42.0	28.0	41.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
15:30	26.5	43.0	26.5	43.4	28.3	41.2	27.1	42.5	27.9	41.2
15:35	26.9	41.9	26.9	42.0	28.9	40.0	27.6	41.3	28.0	40.6
15:40	26.5	42.4	26.5	42.8	28.6	40.5	27.2	41.9	27.7	40.3
15:45	26.7	42.2	26.8	41.9	28.8	39.9	27.4	41.3	27.7	40.5
15:50	27.0	42.5	27.1	42.6	29.3	40.3	27.8	41.8	28.1	41.4
15:55	26.7	43.1	26.8	42.8	29.3	40.2	27.6	42.0	27.3	42.2
16:00	26.6	43.2	26.7	43.2	28.9	40.4	27.4	42.3	27.6	42.0
16:05	26.4	42.8	26.4	43.1	28.3	41.0	27.0	42.3	27.3	42.0
16:10	26.3	43.0	26.2	43.2	28.0	41.1	26.8	42.4	26.9	42.3
16:15	26.3	42.4	26.2	42.9	28.0	41.1	26.8	42.1	26.5	42.6
16:20	25.9	43.4	26.0	43.6	27.4	42.0	26.4	43.0	26.4	42.5
16:25	26.1	43.4	26.0	43.5	27.4	42.0	26.5	43.0	26.4	42.3
16:30	26.1	44.0	26.0	43.8	27.4	42.4	26.5	43.4	26.4	43.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
16:35	25.9	44.1	25.9	43.7	27.2	42.6	26.3	43.5	26.2	42.8
16:40	25.4	44.3	25.5	44.3	26.6	43.2	25.8	43.9	25.5	43.8
16:45	25.6	44.5	25.7	44.0	26.4	43.6	25.9	44.0	25.8	44.0
16:50	25.3	44.5	25.2	44.6	26.3	43.8	25.6	44.3	25.6	44.2
16:55	25.4	45.0	25.3	45.3	26.2	44.0	25.6	44.8	25.4	45.1
17:00	25.5	45.0	25.3	45.3	26.2	44.7	25.7	45.0	25.3	45.3
ต่ำสุด	**17.1**	**41.9**	**17.7**	**41.3**	**18.5**	**39.5**	**17.8**	**41.0**	**17.2**	**38.8**
สูงสุด	**27.2**	**64.7**	**27.5**	**61.9**	**29.7**	**60.0**	**28.1**	**62.1**	**29.1**	**65.8**
เฉลี่ย	**23.6**	**48.1**	**24.2**	**46.7**	**25.8**	**44.9**	**24.5**	**46.6**	**24.7**	**46.4**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.4.2 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบระบายอากาศ

เวลา	**ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือน (W/m^2)**	**ความเข้มรังสีด้วงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือน (W/m^2)**
8:00	26	180
9:00	49	407
10:00	70	590
11:00	103	733
12:00	99	855
13:00	114	823
14:00	63	699
15:00	59	544
16:00	28	320
17:00	13	82
เฉลี่ย	**62**	**523**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.5 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
8:00	18.1	78.0	20.7	65.7	21.5	65.3	20.1	69.7	17.6	66.3
8:05	15.2	89.6	16.4	84.2	18.2	74.5	16.6	82.8	17.7	67.6
8:10	15.3	89.5	16.4	84.0	18.4	78.5	16.7	84.0	18.3	68.0
8:15	15.5	89.6	17.7	80.0	18.5	76.4	17.2	82.0	18.3	68.7
8:20	16.2	90.7	18.1	84.8	19.5	75.9	17.9	83.8	19.4	65.2
8:25	16.3	90.8	17.7	87.1	19.2	79.0	17.7	85.6	19.6	63.2
8:30	16.1	91.0	17.1	88.3	18.9	80.5	17.4	86.6	19.9	63.4
8:35	16.1	90.9	17.2	87.2	18.7	80.8	17.3	86.3	20.4	61.3
8:40	16.0	91.7	17.0	88.3	19.1	79.5	17.4	86.5	20.5	60.0
8:45	15.8	92.0	16.8	88.7	18.8	79.8	17.1	86.8	20.8	60.2
8:50	16.0	91.4	16.9	88.1	19.2	79.0	17.4	86.2	21.1	58.9
8:55	16.4	91.0	17.3	87.8	19.5	79.2	17.7	86.0	21.8	57.9

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
9:00	16.3	90.5	17.8	86.1	19.7	77.9	17.9	84.8	21.5	57.8
9:05	16.8	91.6	18.4	86.3	20.0	78.9	18.4	85.6	22.5	55.6
9:10	17.0	90.1	18.6	85.3	20.1	78.1	18.6	84.5	22.0	56.5
9:15	17.0	89.9	18.4	86.0	20.3	77.9	18.6	84.6	22.5	54.2
9:20	17.0	90.2	18.3	86.2	20.5	77.2	18.6	84.5	22.6	53.2
9:25	17.2	91.3	18.4	87.0	20.8	76.7	18.8	85.0	22.3	55.0
9:30	17.4	90.1	18.9	85.4	20.9	76.9	19.1	84.1	23.2	55.3
9:35	17.2	89.6	18.5	85.6	20.7	76.8	18.8	84.0	22.2	54.7
9:40	17.7	88.8	18.9	85.0	21.3	75.9	19.3	83.2	23.0	54.6
9:45	17.6	89.5	18.9	85.2	21.1	76.3	19.2	83.7	24.1	51.8
9:50	17.5	89.0	19.0	84.4	21.3	75.6	19.3	83.0	24.4	50.3
9:55	17.7	88.4	19.2	83.7	21.5	74.7	19.5	82.3	23.1	52.9
10:00	18.2	88.2	19.3	84.2	22.2	70.6	19.9	81.0	24.1	51.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
10:05	18.4	88.4	19.8	84.5	22.3	73.9	20.2	82.3	25.6	48.2
10:10	18.6	87.4	20.1	82.9	22.7	72.9	20.5	81.1	25.3	49.5
10:15	18.7	88.4	20.0	84.3	22.6	73.8	20.4	82.2	24.7	49.2
10:20	18.8	87.3	20.1	82.8	22.8	71.9	20.6	80.7	25.8	47.6
10:25	18.9	87.5	20.2	83.3	23.2	71.2	20.8	80.7	26.6	47.0
10:30	18.9	88.0	20.3	83.8	23.2	70.0	20.8	80.6	26.3	47.0
10:35	18.8	85.9	20.2	82.1	23.1	71.1	20.7	79.7	26.6	45.0
10:40	19.1	87.1	20.6	82.7	23.4	70.2	21.0	80.0	26.8	45.6
10:45	19.1	86.5	20.5	82.1	23.6	70.5	21.1	79.7	27.6	44.5
10:50	19.0	86.4	20.5	82.1	23.3	70.7	20.9	79.7	26.5	46.1
10:55	19.0	87.0	20.7	82.2	23.2	72.0	21.0	80.4	26.8	45.3
11:00	19.1	86.9	20.4	82.8	23.4	70.0	21.0	79.9	27.7	44.2
11:05	19.0	87.0	20.4	83.0	23.3	71.4	20.9	80.5	26.8	43.7

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
11:10	19.1	87.0	20.6	82.4	23.5	69.4	21.1	79.6	27.3	44.4
11:15	19.1	85.5	20.5	81.8	23.8	69.2	21.1	78.8	28.0	41.5
11:20	19.3	86.8	20.8	82.8	23.9	70.0	21.3	79.9	26.9	44.7
11:25	19.3	85.9	21.0	80.9	23.9	68.9	21.4	78.6	27.3	41.9
11:30	19.6	85.3	21.4	80.1	24.3	68.7	21.8	78.0	28.4	41.5
11:35	19.6	84.9	21.0	80.4	24.3	67.3	21.6	77.5	28.7	41.8
11:40	19.5	85.1	21.1	80.1	24.3	67.3	21.6	77.5	29.0	40.2
11:45	19.2	84.9	20.9	79.8	24.2	68.0	21.4	77.6	29.3	37.8
11:50	19.4	86.6	21.0	80.9	24.5	67.2	21.6	78.2	28.4	40.2
11:55	19.5	84.9	21.1	80.4	24.5	66.8	21.7	77.4	29.0	38.7
12:00	19.5	84.4	21.1	80.1	24.6	65.6	21.7	76.7	29.2	37.9
12:05	19.9	86.4	21.2	82.3	24.3	69.1	21.8	79.3	28.1	41.0
12:10	19.8	85.1	21.2	81.2	24.3	68.4	21.8	78.2	29.0	39.0

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
12:15	19.6	84.7	21.1	81.0	24.3	69.0	21.7	78.2	29.9	37.0
12:20	19.5	84.4	20.9	80.6	24.4	68.5	21.6	77.8	29.9	36.4
12:25	19.4	85.4	20.7	81.6	24.2	67.9	21.4	78.3	30.3	37.6
12:30	19.7	85.2	21.2	80.7	24.5	67.2	21.8	77.7	30.4	37.5
12:35	19.7	84.4	21.3	79.6	24.9	66.3	22.0	76.8	30.5	37.9
12:40	19.7	84.1	21.0	80.3	24.7	66.1	21.8	76.8	30.5	36.4
12:45	19.9	84.7	21.2	81.0	24.8	68.1	22.0	77.9	30.9	36.0
12:50	19.9	83.7	21.3	79.4	24.9	66.6	22.0	76.6	31.4	35.9
12:55	19.4	84.6	21.1	79.6	24.3	67.7	21.6	77.3	30.7	35.0
13:00	19.7	83.9	21.1	80.0	24.6	66.4	21.8	76.8	30.5	36.3
13:05	20.2	86.5	21.7	82.5	25.0	67.9	22.3	79.0	30.6	37.8
13:10	19.9	84.7	21.6	79.5	25.0	65.9	22.2	76.7	31.0	35.4
13:15	19.9	84.1	21.2	80.8	25.1	65.5	22.1	76.8	31.0	36.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
13:20	20.3	83.6	21.6	79.3	25.3	65.5	22.4	76.1	30.5	37.0
13:25	20.2	84.0	21.5	79.9	25.4	65.2	22.4	76.4	30.5	36.9
13:30	20.3	84.8	21.6	80.5	25.6	65.1	22.5	76.8	31.0	38.1
13:35	20.6	84.6	21.8	80.7	25.6	67.1	22.7	77.5	30.9	39.1
13:40	20.8	83.3	21.7	80.0	25.9	65.2	22.8	76.2	31.4	37.3
13:45	20.8	84.2	21.8	81.0	26.1	64.7	22.9	76.6	31.5	36.8
13:50	20.4	83.7	21.8	79.9	25.7	64.7	22.6	76.1	31.3	36.5
13:55	20.6	83.7	21.8	79.7	26.1	64.1	22.8	75.8	31.3	38.7
14:00	20.7	84.1	21.8	80.3	26.5	62.1	23.0	75.5	30.7	37.5
14:05	20.9	84.7	22.0	82.8	27.0	62.9	23.3	76.8	31.3	36.1
14:10	20.8	84.9	21.9	82.0	26.7	63.4	23.1	76.8	31.5	36.6
14:15	20.7	84.8	21.6	82.2	26.7	63.2	23.0	76.7	29.3	39.5
14:20	21.0	83.8	22.2	80.3	26.6	63.5	23.3	75.9	29.1	39.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
14:25	20.9	83.3	22.0	80.6	26.0	64.3	23.0	76.1	30.1	38.4
14:30	20.6	85.0	21.9	81.2	25.6	66.8	22.7	77.7	30.0	40.0
14:35	20.6	83.8	21.7	80.1	25.9	63.5	22.7	75.8	29.5	37.9
14:40	20.8	84.9	21.9	80.6	26.9	61.3	23.2	75.6	29.8	37.9
14:45	21.1	83.1	22.1	80.9	27.9	59.6	23.7	74.5	31.0	38.3
14:50	20.8	84.7	21.5	82.3	27.7	61.3	23.3	76.1	29.9	38.8
14:55	20.6	84.7	21.7	80.7	27.3	61.3	23.2	75.6	29.4	37.8
15:00	20.9	84.7	21.9	81.7	27.7	58.5	23.5	75.0	30.1	38.1
15:05	21.0	83.1	22.0	82.2	26.8	62.7	23.3	76.0	31.6	36.4
15:10	21.4	83.3	22.3	81.7	26.8	63.4	23.5	76.1	31.1	37.8
15:15	21.1	83.7	21.7	82.0	26.3	63.2	23.0	76.3	31.2	37.1
15:20	21.0	83.5	21.8	81.6	25.7	66.0	22.8	77.0	29.9	38.5
15:25	20.6	85.1	21.4	82.8	25.1	67.4	22.4	78.4	29.9	37.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
15:30	20.6	85.8	21.3	83.5	25.1	68.3	22.3	79.2	29.9	39.5
15:35	20.9	84.4	21.6	82.8	25.1	68.4	22.5	78.5	29.5	38.2
15:40	21.0	84.1	21.5	82.7	25.5	67.7	22.7	78.2	30.0	38.3
15:45	20.6	84.8	21.4	82.9	24.7	69.7	22.2	79.1	29.9	39.5
15:50	20.5	85.2	21.4	82.1	24.6	69.7	22.2	79.0	30.6	38.5
15:55	20.5	85.6	21.4	82.6	24.6	70.2	22.2	79.5	30.8	38.4
16:00	20.5	84.9	21.6	81.4	25.0	65.9	22.4	77.4	30.5	37.8
16:05	20.8	87.1	21.5	85.1	24.7	70.3	22.3	80.8	29.8	38.5
16:10	20.7	86.1	21.5	84.5	25.0	69.0	22.4	79.9	29.4	38.8
16:15	20.4	86.1	21.1	84.7	24.4	70.9	22.0	80.6	28.9	40.6
16:20	19.9	87.2	20.5	85.9	23.8	71.9	21.4	81.7	28.5	41.2
16:25	19.8	87.9	20.2	86.9	23.2	74.2	21.1	83.0	28.0	40.9
16:30	19.6	87.5	20.3	86.3	23.4	72.1	21.1	82.0	28.4	40.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	ภายในโรงเรือน								ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 1 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 1 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 2 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 2 (% RH)	อุณหภูมิ จุดวัดที่ 3 (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ จุดวัดที่ 3 (% RH)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)
16:35	19.7	88.5	20.5	85.7	23.0	75.1	21.1	83.1	28.5	42.2
16:40	20.1	88.7	20.9	85.5	23.5	73.0	21.5	82.4	28.5	42.3
16:45	20.3	88.2	21.0	85.4	23.6	73.5	21.6	82.4	28.8	41.6
16:50	20.0	87.3	20.6	85.8	23.4	71.5	21.3	81.5	28.5	40.6
16:55	19.9	88.4	20.4	87.3	23.3	73.8	21.2	83.2	28.2	42.5
17:00	19.5	88.7	20.1	87.7	22.6	72.3	20.7	82.9	27.8	41.3
ต่ำสุด	**15.2**	**78.0**	**16.4**	**65.7**	**18.2**	**58.5**	**16.6**	**69.7**	**17.6**	**35.0**
สูงสุด	**21.4**	**92.0**	**22.3**	**88.7**	**27.9**	**80.8**	**23.7**	**86.8**	**31.6**	**68.7**
เฉลี่ย	**19.2**	**86.5**	**20.5**	**82.7**	**23.7**	**69.9**	**21.1**	**79.7**	**27.4**	**44.2**

ตารางที่ ก.5.2 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของการทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	**ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือน (W/m^2)**	**ความเข้มรังสีด้วงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือน (W/m^2)**
8:00	42	209
9:00	44	359
10:00	76	534
11:00	70	603
12:00	96	822
13:00	80	800
14:00	87	659
15:00	54	495
16:00	26	299
17:00	8	73
เฉลี่ย	**58**	**485**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
8:00	18.9	16.5	28.6	26.3	28.4	27.9
8:05	15.2	16.7	26.0	26.2	26.3	26.9
8:10	13.8	17.0	25.7	26.4	25.8	26.9
8:15	13.2	17.0	25.6	26.6	25.7	27.0
8:20	12.9	17.4	25.8	26.9	25.7	27.2
8:25	13.1	17.7	25.9	27.1	25.6	27.3
8:30	13.0	17.9	26.1	27.5	26.2	28.4
8:35	13.2	18.1	26.4	27.6	26.3	28.0
8:40	13.4	18.5	26.5	27.9	26.9	29.1
8:45	13.3	18.8	26.7	28.1	26.9	29.2
8:50	13.5	19.2	26.7	28.0	27.0	29.3
8:55	13.7	19.5	26.9	28.6	27.2	29.5
9:00	13.6	19.8	27.1	28.7	27.4	29.9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
9:05	14.0	20.1	27.4	29.0	27.7	30.4
9:10	14.7	20.4	27.2	29.2	27.9	30.4
9:15	14.9	20.9	26.9	29.0	28.1	31.0
9:20	14.1	20.3	26.6	28.7	28.1	31.3
9:25	14.1	20.4	26.8	28.9	28.3	31.2
9:30	14.4	21.0	27.3	29.6	28.5	32.1
9:35	14.4	21.2	27.2	29.6	28.5	32.1
9:40	14.3	21.4	27.3	29.7	28.9	32.3
9:45	14.6	21.6	27.8	30.3	28.6	31.8
9:50	14.8	22.1	28.1	30.7	28.7	32.6
9:55	14.9	22.2	28.0	31.3	28.6	32.7
10:00	15.0	22.3	28.2	31.1	28.5	31.9
10:05	14.9	22.4	28.7	31.1	29.4	32.6
10:10	15.1	22.2	28.8	32.0	29.3	32.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
10:15	15.5	23.2	29.0	32.8	29.3	33.6
10:20	15.6	23.5	29.0	32.3	29.6	33.6
10:25	15.8	23.6	29.2	32.2	29.5	33.7
10:30	15.9	23.9	28.7	32.0	29.6	33.3
10:35	16.0	23.8	29.1	32.8	29.8	33.1
10:40	16.0	24.0	28.9	33.3	29.6	34.1
10:45	16.1	24.6	28.8	33.3	29.9	34.3
10:50	16.1	24.0	28.9	33.7	29.8	34.7
10:55	16.2	24.4	29.2	33.4	29.8	33.7
11:00	16.3	24.5	29.0	33.5	29.9	34.4
11:05	16.6	25.0	28.9	33.7	29.7	35.0
11:10	17.3	25.2	28.4	32.3	29.8	34.1
11:15	17.1	25.1	28.0	32.2	30.0	34.5
11:20	17.3	25.2	28.1	32.5	30.1	34.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
11:25	17.1	25.2	28.1	33.1	30.2	34.7
11:30	17.4	25.8	27.9	33.0	30.4	35.0
11:35	18.0	26.9	27.9	32.7	30.6	36.3
11:40	18.2	26.7	27.9	33.0	30.6	36.9
11:45	18.1	26.6	28.1	32.8	30.3	35.1
11:50	18.2	27.1	28.2	33.4	30.0	35.3
11:55	18.2	26.6	28.2	33.6	30.3	35.5
12:00	18.0	27.1	28.3	33.7	28.4	33.6
12:05	18.1	27.0	28.1	33.3	27.8	33.3
12:10	18.7	26.4	28.7	33.4	29.5	34.9
12:15	18.3	26.4	28.7	32.7	30.5	35.2
12:20	18.5	27.3	28.9	33.5	30.6	36.8
12:25	18.6	27.7	28.5	33.4	29.4	35.3
12:30	18.5	27.2	28.2	33.9	30.1	36.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
12:35	19.2	27.7	28.0	33.1	30.4	35.8
12:40	18.7	27.6	27.9	33.2	29.4	35.6
12:45	18.5	27.6	27.9	32.9	28.3	34.2
12:50	18.5	25.8	27.7	32.8	27.8	33.3
12:55	18.9	27.8	27.3	32.5	27.4	33.1
13:00	18.8	27.8	27.2	32.4	27.2	32.9
13:05	19.0	27.5	27.1	32.2	27.4	33.0
13:10	19.3	28.2	27.1	32.1	27.7	32.9
13:15	19.3	28.2	26.9	32.0	27.7	33.2
13:20	19.3	28.0	26.8	31.6	29.3	34.0
13:25	19.2	26.9	26.9	31.7	29.4	34.3
13:30	19.4	28.6	26.9	31.9	30.1	34.4
13:35	19.7	28.0	26.8	31.6	28.8	33.7
13:40	19.6	28.1	26.8	31.3	29.7	35.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
13:45	19.3	28.1	26.8	31.8	30.5	35.4
13:50	19.5	28.4	26.9	31.7	30.0	35.1
13:55	19.9	28.9	26.9	31.6	29.8	35.1
14:00	19.7	28.6	27.0	31.8	29.5	35.1
14:05	19.7	28.2	27.2	32.0	28.9	35.1
14:10	20.4	29.0	27.0	31.9	29.6	36.2
14:15	20.2	28.5	27.0	31.9	28.2	34.6
14:20	20.1	29.1	26.8	31.8	28.5	35.0
14:25	19.7	28.7	26.9	31.7	29.8	35.8
14:30	19.7	28.8	27.1	32.4	30.3	35.4
14:35	19.5	28.7	27.1	32.3	30.6	36.1
14:40	19.8	29.1	27.1	32.3	30.5	38.2
14:45	19.8	29.3	27.1	32.5	30.2	37.6
14:50	19.5	29.1	27.4	32.6	29.0	36.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
14:55	19.8	29.5	27.3	32.2	28.9	36.5
15:00	20.3	30.0	27.3	32.5	28.3	36.0
15:05	20.6	29.7	27.4	32.6	27.2	35.0
15:10	20.7	29.4	27.6	32.6	26.6	34.6
15:15	20.2	29.2	27.7	33.0	27.1	35.1
15:20	19.8	29.1	28.1	33.7	28.6	36.6
15:25	19.6	29.0	28.7	34.6	29.0	37.3
15:30	19.7	29.3	28.9	34.6	28.7	37.5
15:35	19.4	28.8	28.8	34.7	28.4	38.0
15:40	19.3	28.8	28.6	34.7	28.3	37.1
15:45	19.3	28.4	29.0	35.0	28.1	36.8
15:50	19.6	28.6	29.1	34.9	28.3	36.7
15:55	19.2	28.4	28.2	33.8	28.2	36.9
16:00	19.2	28.2	28.5	34.3	27.5	36.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
16:05	19.2	27.9	28.7	34.4	26.6	35.8
16:10	19.6	27.9	28.0	33.4	26.0	35.1
16:15	19.7	28.3	28.0	33.3	25.6	34.5
16:20	19.2	27.8	28.2	33.7	25.4	33.8
16:25	19.0	27.7	28.3	33.9	25.3	33.5
16:30	18.9	27.5	28.3	33.7	25.8	33.1
16:35	18.8	27.3	28.0	33.3	26.0	32.4
16:40	18.7	27.0	27.3	32.3	26.2	32.4
16:45	18.0	26.5	26.5	31.1	26.4	31.7
16:50	18.3	26.4	26.2	30.7	26.2	31.2
16:55	18.2	26.2	26.1	30.5	26.3	31.2
17:00	18.1	26.1	25.9	30.2	26.3	30.9
ต่ำสุด	**12.9**	**16.5**	**25.6**	**26.2**	**25.3**	**26.9**
สูงสุด	**20.7**	**30.0**	**29.2**	**35.0**	**30.6**	**38.2**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (°C)
เฉลี่ย	17.6	25.4	27.7	31.8	28.4	33.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
8:00	60.2	58.2	82.8	87.0	88.8	81.9
8:05	81.6	55.0	91.4	85.3	91.4	84.1
8:10	84.5	52.6	93.5	85.6	93.5	84.1
8:15	86.1	52.0	93.7	85.6	93.7	82.7
8:20	86.0	48.7	93.9	84.6	93.8	83.8
8:25	85.8	49.1	93.1	83.1	94.7	82.4
8:30	86.1	47.4	92.9	83.2	92.7	79.6
8:35	86.0	48.2	92.2	82.9	93.0	80.7
8:40	84.9	45.4	90.9	79.5	91.3	78.3
8:45	84.0	42.6	91.1	81.5	91.5	77.4
8:50	83.8	40.7	91.1	79.6	90.9	75.8
8:55	82.5	40.1	90.1	77.4	91.2	75.8
9:00	83.4	39.4	91.0	76.9	90.2	74.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
9:05	84.3	39.3	89.9	79.1	90.0	74.1
9:10	83.2	37.8	89.9	77.2	89.0	71.2
9:15	81.4	37.9	89.7	77.2	88.4	70.2
9:20	82.4	37.9	90.8	75.7	88.0	69.3
9:25	83.3	38.4	90.7	76.5	88.3	69.3
9:30	82.1	37.3	88.8	77.1	87.3	67.9
9:35	82.0	36.2	88.4	71.0	87.2	66.0
9:40	81.5	34.5	87.5	72.2	86.4	65.5
9:45	80.6	34.8	87.2	70.9	88.1	65.9
9:50	79.9	33.4	86.9	68.4	86.0	65.2
9:55	80.6	33.5	85.7	68.4	86.3	63.7
10:00	80.5	33.2	86.7	68.9	87.0	64.7
10:05	82.0	33.9	86.2	70.0	87.0	64.3
10:10	80.2	32.5	84.1	67.2	84.0	61.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
10:15	79.6	31.5	83.7	62.9	85.6	64.1
10:20	80.1	32.2	84.0	61.8	85.6	61.8
10:25	79.0	31.6	83.5	66.6	84.5	62.1
10:30	79.4	33.7	84.9	63.9	83.6	61.2
10:35	78.0	30.7	83.5	60.4	84.4	65.0
10:40	77.9	31.4	82.9	57.1	83.4	61.3
10:45	78.2	31.1	84.3	56.6	83.7	59.6
10:50	77.8	31.6	82.9	59.8	83.4	56.6
10:55	78.1	31.8	82.5	57.7	83.3	60.0
11:00	78.1	31.6	83.4	57.5	81.9	58.6
11:05	79.8	32.1	84.0	56.9	82.3	56.7
11:10	78.7	32.1	84.6	57.6	82.3	56.9
11:15	78.4	32.8	84.3	59.9	83.5	57.2
11:20	78.5	33.3	85.3	59.3	83.0	55.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
11:25	77.9	33.0	85.1	58.4	82.6	58.4
11:30	78.4	33.0	85.5	59.4	82.3	58.3
11:35	77.7	32.3	85.5	58.2	81.3	54.0
11:40	76.2	31.5	84.8	59.3	80.5	54.4
11:45	76.2	31.6	85.6	57.4	82.1	54.3
11:50	77.4	32.9	84.5	58.0	82.3	55.0
11:55	76.1	32.6	84.7	57.7	81.8	54.9
12:00	77.0	32.2	84.8	59.4	85.4	55.0
12:05	77.4	30.1	85.8	59.8	87.4	58.8
12:10	77.5	32.5	84.3	60.0	84.1	53.3
12:15	77.5	33.3	84.0	60.2	80.1	53.6
12:20	75.7	32.4	82.5	56.2	81.2	51.9
12:25	76.3	31.8	83.8	55.5	83.5	54.6
12:30	76.6	32.4	84.0	57.0	81.9	50.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
12:35	75.1	32.7	84.6	57.7	82.5	52.1
12:40	78.0	33.5	85.6	57.6	83.5	52.0
12:45	76.5	31.7	85.4	57.9	86.2	54.6
12:50	77.0	34.7	86.8	57.4	87.7	56.8
12:55	75.7	32.4	85.9	58.5	88.0	56.7
13:00	76.6	32.4	87.0	59.1	88.5	56.4
13:05	75.5	33.5	87.3	58.6	88.6	56.5
13:10	75.8	30.4	87.2	58.2	87.7	57.3
13:15	75.8	31.3	87.8	59.0	87.3	57.1
13:20	75.0	31.6	88.8	60.5	85.7	57.1
13:25	75.4	31.7	88.5	60.2	84.9	56.2
13:30	75.0	31.6	88.5	61.7	82.6	52.9
13:35	74.2	33.0	88.3	61.2	85.8	55.1
13:40	74.6	32.5	88.6	60.6	84.6	54.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
13:45	74.6	32.6	88.6	61.1	79.8	51.5
13:50	75.4	33.5	88.6	60.1	82.4	52.4
13:55	73.9	31.8	88.8	61.8	81.6	51.9
14:00	75.2	31.7	88.5	61.1	82.2	51.4
14:05	74.7	32.2	89.1	61.0	84.0	52.9
14:10	76.5	32.6	88.4	60.8	82.4	49.4
14:15	75.0	32.0	88.4	61.0	84.6	51.0
14:20	74.1	32.0	88.4	58.9	84.3	53.0
14:25	75.8	32.2	88.8	61.1	82.3	50.1
14:30	74.7	30.8	87.9	59.7	80.5	48.3
14:35	75.8	31.3	88.2	59.8	79.6	47.9
14:40	75.4	31.8	88.0	59.3	78.9	45.1
14:45	74.5	30.1	88.1	59.3	77.0	42.4
14:50	75.5	30.7	86.9	59.5	79.8	42.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
14:55	75.0	30.1	87.6	58.9	79.9	44.6
15:00	75.5	30.6	87.8	60.7	81.3	44.0
15:05	75.3	30.3	88.6	60.2	84.3	43.6
15:10	74.8	30.7	88.2	59.1	85.5	44.3
15:15	75.4	32.3	88.1	60.4	85.1	45.3
15:20	76.5	30.6	86.4	59.2	80.3	42.7
15:25	76.7	30.3	84.1	55.1	77.7	40.8
15:30	75.5	29.7	84.5	55.8	79.3	39.6
15:35	76.6	30.0	84.2	55.0	78.9	39.4
15:40	77.0	30.8	84.5	54.9	79.3	39.3
15:45	76.5	31.2	84.3	54.5	81.9	40.1
15:50	75.9	30.8	84.3	54.3	81.7	39.7
15:55	77.1	30.6	86.5	56.9	81.2	40.9
16:00	77.0	31.3	85.2	56.5	82.1	39.9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
16:05	78.0	30.8	84.5	54.9	85.2	41.0
16:10	78.1	32.7	87.1	57.3	86.7	41.7
16:15	76.7	30.8	87.2	58.7	87.5	43.5
16:20	77.2	30.3	86.3	58.4	88.5	46.1
16:25	77.9	31.4	86.4	58.1	90.4	49.3
16:30	78.2	31.5	86.4	58.1	91.5	51.9
16:35	78.4	31.9	87.0	58.1	92.2	56.4
16:40	78.7	32.6	88.5	60.7	92.4	57.0
16:45	80.1	32.3	91.0	62.8	91.9	59.7
16:50	80.2	32.8	92.4	64.3	92.1	60.7
16:55	80.7	34.4	92.9	65.3	92.3	60.6
17:00	80.1	33.0	93.2	65.3	92.5	61.6
ต่ำสุด	**60.2**	**29.7**	**82.5**	**54.3**	**77.0**	**39.3**
สูงสุด	**86.1**	**58.2**	**93.9**	**87.0**	**94.7**	**84.1**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบความสามารถในการเพิ่มความชื้นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน (% RH)	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือน (% RH)
เฉลี่ย	78.2	34.2	87.2	63.7	85.4	57.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
8:00	0.0	-2.4	0.0	-2.3	0.0	-0.5
8:05	28.0	1.5	8.4	0.2	27.7	0.6
8:10	58.1	3.2	37.8	0.7	50.8	1.1
8:15	66.8	3.8	49.7	1.0	53.5	1.3
8:20	73.8	4.5	52.5	1.1	66.2	1.5
8:25	75.5	4.6	51.9	1.2	68.9	1.7
8:30	76.8	4.9	59.2	1.4	78.0	2.2
8:35	78.3	4.9	50.9	1.2	63.2	1.7
8:40	76.3	5.1	47.8	1.4	72.3	2.2
8:45	76.9	5.5	54.3	1.4	71.3	2.3
8:50	77.1	5.7	45.6	1.3	67.2	2.3
8:55	76.1	5.8	54.2	1.7	67.0	2.3
9:00	80.2	6.2	47.8	1.6	67.3	2.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
9:05	77.8	6.1	52.9	1.6	72.1	2.7
9:10	70.1	5.7	62.4	2.0	58.1	2.5
9:15	73.9	6.0	64.7	2.1	64.6	2.9
9:20	76.7	6.2	60.8	2.1	69.5	3.2
9:25	79.3	6.3	63.7	2.1	63.8	2.9
9:30	80.2	6.6	70.9	2.3	73.6	3.6
9:35	80.6	6.8	56.1	2.4	69.2	3.6
9:40	80.8	7.1	59.4	2.4	64.7	3.4
9:45	79.7	7.0	57.6	2.5	62.2	3.2
9:50	80.4	7.3	54.5	2.6	71.9	3.9
9:55	80.3	7.3	69.5	3.3	73.3	4.1
10:00	79.7	7.3	62.3	2.9	63.5	3.4
10:05	82.3	7.5	54.3	2.4	57.2	3.2
10:10	76.4	7.1	63.3	3.2	54.7	3.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
10:15	79.7	7.7	66.2	3.8	75.5	4.3
10:20	82.2	7.9	55.7	3.3	66.6	4.0
10:25	80.1	7.8	58.7	3.0	69.9	4.2
10:30	84.1	8.0	60.1	3.3	60.4	3.7
10:35	78.4	7.8	59.5	3.7	60.5	3.3
10:40	80.8	8.0	64.2	4.4	73.3	4.5
10:45	84.1	8.5	64.3	4.5	67.0	4.4
10:50	79.7	7.9	74.8	4.8	68.5	4.9
10:55	82.9	8.2	62.6	4.2	61.7	3.9
11:00	82.4	8.2	65.6	4.5	67.6	4.5
11:05	83.9	8.4	69.2	4.8	74.9	5.3
11:10	78.5	7.9	58.6	3.9	61.6	4.3
11:15	80.8	8.0	67.8	4.2	64.6	4.5
11:20	80.3	7.9	69.0	4.4	64.5	4.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
11:25	81.6	8.1	76.3	5.0	66.9	4.5
11:30	84.1	8.4	79.0	5.1	67.4	4.6
11:35	85.5	8.9	72.8	4.8	73.6	5.7
11:40	81.1	8.5	78.8	5.1	80.5	6.3
11:45	81.1	8.5	69.2	4.7	63.7	4.8
11:50	85.8	8.9	78.1	5.2	70.5	5.3
11:55	81.4	8.4	80.1	5.4	68.7	5.2
12:00	86.9	9.1	83.8	5.4	71.5	5.2
12:05	81.8	8.9	81.1	5.2	83.4	5.5
12:10	74.7	7.7	73.5	4.7	69.2	5.4
12:15	80.5	8.1	63.5	4.0	60.8	4.7
12:20	83.6	8.8	65.8	4.6	74.6	6.2
12:25	84.8	9.1	68.0	4.9	77.7	5.9
12:30	82.8	8.7	82.1	5.7	73.8	6.2

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
12:35	81.1	8.5	76.3	5.1	66.7	5.4
12:40	86.4	8.9	78.5	5.3	76.6	6.2
12:45	85.4	9.1	75.5	5.0	79.1	5.9
12:50	75.2	7.3	75.6	5.1	79.6	5.5
12:55	84.3	8.9	79.3	5.2	82.6	5.7
13:00	84.9	9.0	81.2	5.2	82.2	5.7
13:05	82.4	8.5	79.3	5.1	80.8	5.6
13:10	80.1	8.9	76.1	5.0	76.3	5.2
13:15	81.8	8.9	79.9	5.1	80.4	5.5
13:20	80.5	8.7	78.9	4.8	67.8	4.7
13:25	73.1	7.7	78.7	4.8	68.2	4.9
13:30	83.7	9.2	84.1	5.0	55.8	4.3
13:35	79.2	8.3	81.0	4.8	67.5	4.9
13:40	79.8	8.5	75.1	4.5	69.9	5.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
13:45	82.5	8.8	82.8	5.0	59.6	4.9
13:50	85.0	8.9	78.5	4.8	63.7	5.1
13:55	82.0	9.0	80.2	4.7	65.5	5.3
14:00	81.4	8.9	80.0	4.8	69.2	5.6
14:05	79.5	8.5	79.5	4.8	78.5	6.2
14:10	79.4	8.6	80.3	4.9	76.3	6.6
14:15	76.6	8.3	80.8	4.9	78.9	6.4
14:20	82.3	9.0	77.9	5.0	83.1	6.5
14:25	83.3	9.0	80.7	4.8	70.2	6.0
14:30	81.8	9.1	84.1	5.3	58.3	5.1
14:35	83.1	9.2	82.4	5.2	61.6	5.5
14:40	84.4	9.3	81.8	5.2	78.0	7.7
14:45	82.8	9.5	84.1	5.4	71.3	7.4
14:50	85.3	9.6	81.3	5.2	74.7	7.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
14:55	84.4	9.7	75.8	4.9	78.3	7.6
15:00	84.7	9.7	84.2	5.2	79.0	7.7
15:05	79.5	9.1	84.0	5.2	80.3	7.8
15:10	76.5	8.7	77.8	5.0	83.9	8.0
15:15	81.9	9.0	85.5	5.3	85.0	8.0
15:20	82.4	9.3	85.3	5.6	78.6	8.0
15:25	82.7	9.4	80.0	5.9	77.0	8.3
15:30	83.6	9.6	79.2	5.7	80.0	8.8
15:35	82.6	9.4	80.1	5.9	85.5	9.6
15:40	85.1	9.5	82.2	6.1	79.7	8.8
15:45	82.8	9.1	79.6	6.0	80.6	8.7
15:50	80.7	9.0	77.2	5.8	77.6	8.4
15:55	83.1	9.2	80.6	5.6	81.8	8.7
16:00	82.1	9.0	81.5	5.8	85.0	9.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
16:05	79.5	8.7	76.7	5.7	88.0	9.2
16:10	78.6	8.3	78.6	5.4	89.8	9.1
16:15	77.9	8.6	80.2	5.3	92.6	8.9
16:20	78.0	8.6	82.5	5.5	93.3	8.4
16:25	81.0	8.7	83.1	5.6	98.5	8.2
16:30	80.0	8.6	79.9	5.4	94.2	7.3
16:35	80.3	8.5	79.9	5.3	92.6	6.4
16:40	80.3	8.3	81.7	5.0	92.1	6.2
16:45	82.0	8.5	80.8	4.6	85.6	5.3
16:50	79.7	8.1	83.8	4.5	82.7	5.0
16:55	80.9	8.0	84.8	4.4	81.3	4.9
17:00	78.9	8.0	82.6	4.3	78.3	4.6
ต่ำสุด	**0.0**	**-2.4**	**0.0**	**-2.3**	**0.0**	**-0.5**
สูงสุด	**86.9**	**9.7**	**85.5**	**6.1**	**98.5**	**9.6**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
เฉลี่ย	79.2	7.9	70.7	4.1	71.9	5.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.9 ผลการทดสอบการใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบการใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	30/1/2566		5/2/2566		10/2/2566	
	การใช้น้ำต่อชั่วโมง (ลิตร)	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)	การใช้น้ำต่อชั่วโมง (ลิตร)	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)	การใช้น้ำต่อชั่วโมง (ลิตร)	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง (kW-h)
9:00	93.00	0.83	63.00	0.83	52.50	0.83
10:00	42.00	0.83	22.50	0.83	22.50	0.83
11:00	48.00	0.83	28.50	0.83	25.50	0.83
12:00	48.00	0.83	33.00	0.83	33.00	0.83
13:00	51.00	0.83	30.00	0.83	31.50	0.83
14:00	48.00	0.83	25.50	0.83	34.50	0.83
15:00	52.50	0.83	28.50	0.83	45.00	0.83
16:00	52.50	0.83	33.00	0.83	43.50	0.83
17:00	21.00	0.83	3.00	0.83	15.00	0.83
เฉลี่ย	**50.67**	**0.83**	**29.67**	**0.83**	**33.67**	**0.83**
ทั้งหมด	**456.00**	**7.47**	**267.00**	**7.47**	**303.00**	**7.47**

ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
8:00	23.4	81.0	0.55	34.5	63.5	1.99	30.4	84.3	0.68
8:05	25.2	76.4	0.76	31.0	82.4	0.79	29.4	87.2	0.52
8:10	25.8	78.5	0.71	29.6	85.2	0.61	29.1	88.2	0.47
8:15	26.3	76.2	0.81	28.8	87.6	0.49	29.0	88.9	0.45
8:20	24.8	78.0	0.69	28.7	87.9	0.47	28.9	88.0	0.48
8:25	24.6	78.2	0.67	28.9	88.2	0.47	28.9	87.1	0.51
8:30	24.6	77.8	0.69	28.9	88.4	0.46	28.9	87.1	0.51
8:35	25.1	77.0	0.73	29.1	88.1	0.48	29.0	87.1	0.52
8:40	25.0	76.9	0.73	29.4	87.5	0.51	28.7	86.9	0.51
8:45	24.7	76.2	0.74	29.1	87.7	0.50	28.7	86.7	0.52
8:50	24.8	76.5	0.73	29.1	88.1	0.48	28.5	86.2	0.54
8:55	24.7	76.7	0.73	29.5	87.7	0.51	28.5	85.9	0.55
9:00	24.8	76.7	0.73	29.6	86.5	0.56	29.1	86.0	0.57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
9:05	24.7	77.8	0.69	29.8	87.3	0.54	29.4	85.8	0.58
9:10	24.7	77.3	0.71	30.0	87.0	0.55	29.5	85.3	0.61
9:15	24.7	77.8	0.69	30.2	85.7	0.61	29.3	85.5	0.59
9:20	25.1	76.4	0.75	30.1	84.9	0.64	29.2	85.6	0.58
9:25	25.0	77.0	0.73	30.0	85.1	0.63	29.3	85.5	0.59
9:30	25.1	76.9	0.73	29.9	85.3	0.62	29.3	85.2	0.61
9:35	24.8	77.9	0.69	30.0	85.6	0.61	29.5	84.1	0.65
9:40	25.1	77.1	0.73	30.2	84.2	0.68	29.7	85.0	0.62
9:45	25.0	76.9	0.73	30.1	83.2	0.72	29.6	84.8	0.63
9:50	24.9	77.4	0.71	30.3	83.3	0.72	29.9	84.1	0.67
9:55	24.8	78.1	0.69	30.2	83.2	0.72	29.8	85.0	0.63
10:00	25.1	78.5	0.69	30.4	83.7	0.71	30.0	83.6	0.70
10:05	25.0	77.5	0.71	30.5	83.3	0.73	30.3	83.2	0.72
10:10	25.1	77.2	0.73	30.7	83.6	0.73	30.2	83.4	0.71

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
10:15	25.0	77.9	0.70	30.9	82.3	0.79	30.1	82.9	0.73
10:20	24.9	78.8	0.67	31.0	80.7	0.87	30.2	81.4	0.80
10:25	25.0	77.3	0.72	30.5	82.2	0.78	30.1	82.1	0.76
10:30	24.9	78.2	0.69	30.5	83.5	0.72	30.0	83.1	0.72
10:35	25.0	79.7	0.64	31.3	82.7	0.79	29.8	82.1	0.75
10:40	25.1	77.6	0.71	31.3	81.5	0.85	29.8	83.6	0.69
10:45	24.9	78.2	0.69	31.1	83.6	0.74	30.2	82.4	0.76
10:50	24.9	78.8	0.67	31.3	82.2	0.81	29.7	81.7	0.76
10:55	24.9	78.6	0.68	30.7	83.5	0.73	29.7	81.4	0.77
11:00	24.9	79.1	0.66	30.9	82.7	0.77	29.7	83.1	0.70
11:05	25.1	79.3	0.66	31.3	82.2	0.81	30.3	83.0	0.74
11:10	25.1	79.5	0.65	31.2	81.2	0.86	30.6	82.2	0.78
11:15	25.1	78.8	0.67	31.0	81.9	0.81	30.6	80.8	0.84
11:20	24.9	79.7	0.64	31.1	82.1	0.81	30.6	81.5	0.82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
11:25	25.0	78.8	0.67	30.7	81.6	0.81	30.2	79.8	0.87
11:30	25.3	78.2	0.70	31.2	82.4	0.80	30.4	80.9	0.83
11:35	25.1	78.6	0.68	31.4	80.7	0.88	30.3	80.8	0.83
11:40	25.0	79.1	0.66	31.3	81.1	0.86	30.3	81.9	0.78
11:45	25.1	77.7	0.71	31.1	79.3	0.94	30.3	81.8	0.79
11:50	25.3	77.4	0.73	31.0	80.9	0.86	30.5	80.2	0.86
11:55	25.1	78.8	0.68	30.7	81.3	0.83	30.7	79.3	0.91
12:00	25.1	77.8	0.71	31.1	80.2	0.90	30.7	80.0	0.88
12:05	25.1	78.7	0.68	30.7	80.3	0.87	31.0	79.9	0.90
12:10	25.1	78.7	0.68	31.0	79.4	0.93	31.4	80.9	0.88
12:15	25.0	79.9	0.64	31.0	78.4	0.97	31.4	79.7	0.93
12:20	25.1	79.5	0.65	30.0	82.0	0.77	31.0	78.3	0.98
12:25	25.0	79.0	0.66	30.6	80.7	0.85	30.5	80.5	0.85
12:30	25.0	79.5	0.65	30.7	79.6	0.90	31.3	80.2	0.91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
12:35	25.0	79.0	0.67	30.7	78.4	0.96	31.4	78.4	1.00
12:40	25.1	78.2	0.70	30.7	80.1	0.88	31.0	79.9	0.90
12:45	25.0	78.8	0.67	30.8	78.9	0.94	31.4	80.9	0.88
12:50	25.0	78.7	0.68	30.8	80.4	0.87	31.5	78.5	0.99
12:55	25.0	76.8	0.74	30.9	80.2	0.88	31.3	79.1	0.96
13:00	24.9	77.7	0.70	30.6	78.4	0.95	30.9	78.9	0.94
13:05	25.1	78.6	0.68	30.5	78.5	0.94	31.0	78.6	0.97
13:10	25.1	79.0	0.67	30.8	78.3	0.97	31.1	78.1	0.99
13:15	25.0	78.5	0.68	30.8	80.6	0.86	30.5	80.2	0.87
13:20	25.0	80.0	0.64	31.0	76.8	1.04	30.9	78.9	0.94
13:25	25.1	79.1	0.67	31.0	79.4	0.93	31.1	79.6	0.92
13:30	25.2	77.7	0.72	31.1	76.7	1.05	31.0	80.2	0.89
13:35	25.0	78.6	0.68	30.8	78.6	0.95	31.1	79.5	0.93
13:40	25.1	78.7	0.68	30.6	79.2	0.91	31.3	79.8	0.92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
13:45	25.1	77.7	0.71	30.3	79.0	0.91	31.5	79.1	0.97
13:50	25.1	78.5	0.68	30.4	78.5	0.94	30.8	79.8	0.90
13:55	25.1	77.5	0.71	30.7	79.1	0.92	29.8	80.4	0.82
14:00	25.2	77.2	0.73	31.0	76.8	1.05	30.2	83.0	0.73
14:05	25.2	78.9	0.68	30.6	77.4	0.99	29.8	81.4	0.78
14:10	25.0	78.2	0.69	30.5	77.6	0.98	30.3	82.8	0.74
14:15	25.0	78.1	0.70	30.5	77.4	0.98	30.3	80.9	0.83
14:20	25.2	76.9	0.74	30.4	78.8	0.92	29.8	82.5	0.73
14:25	25.1	77.3	0.72	30.9	77.1	1.03	28.8	82.7	0.68
14:30	25.1	77.7	0.71	30.8	78.5	0.95	29.8	82.9	0.72
14:35	25.2	76.2	0.76	30.9	77.2	1.02	29.4	82.9	0.70
14:40	25.1	76.4	0.75	30.6	78.9	0.93	29.0	83.9	0.65
14:45	25.0	76.8	0.74	30.4	78.5	0.93	30.5	79.3	0.90
14:50	25.0	76.0	0.76	30.8	78.9	0.94	30.6	80.2	0.87

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
14:55	25.1	76.1	0.76	30.3	79.4	0.89	31.1	79.1	0.94
15:00	25.0	77.0	0.73	30.5	78.1	0.96	30.5	79.3	0.91
15:05	25.1	78.2	0.70	30.4	80.3	0.86	30.8	79.4	0.91
15:10	25.0	78.6	0.68	30.2	79.4	0.88	30.7	79.5	0.90
15:15	25.1	77.4	0.72	30.3	79.0	0.91	30.5	80.1	0.87
15:20	25.0	77.8	0.70	30.1	80.1	0.85	30.3	80.1	0.86
15:25	25.0	76.8	0.74	30.2	79.8	0.86	30.2	78.9	0.91
15:30	25.1	77.2	0.73	29.8	81.2	0.79	29.8	80.7	0.81
15:35	25.2	76.9	0.74	29.5	81.3	0.77	29.7	82.1	0.75
15:40	25.0	76.5	0.74	29.3	81.0	0.77	29.9	82.7	0.73
15:45	25.0	77.1	0.72	29.2	82.4	0.71	29.7	82.2	0.74
15:50	25.1	78.3	0.69	28.9	81.8	0.72	29.7	82.8	0.72
15:55	25.0	78.0	0.70	28.7	83.4	0.65	29.8	83.7	0.68
16:00	25.1	77.4	0.72	28.6	82.7	0.67	29.7	83.0	0.71

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
16:05	24.8	77.5	0.70	28.4	83.2	0.65	29.6	83.9	0.67
16:10	24.9	78.3	0.68	28.1	85.0	0.57	29.6	83.2	0.70
16:15	25.1	77.6	0.71	28.0	83.9	0.61	29.5	83.8	0.67
16:20	24.9	77.4	0.71	28.1	84.4	0.59	29.4	83.6	0.67
16:25	25.0	77.1	0.73	28.3	83.8	0.62	29.0	84.7	0.61
16:30	24.7	78.3	0.67	28.2	83.8	0.62	28.7	85.7	0.57
16:35	24.6	78.9	0.66	28.1	84.6	0.59	28.6	85.3	0.58
16:40	25.0	78.4	0.68	28.0	84.3	0.59	28.7	86.1	0.55
16:45	24.7	79.4	0.64	27.8	84.9	0.56	28.5	86.4	0.53
16:50	24.7	78.7	0.66	27.7	85.5	0.54	28.3	86.8	0.51
16:55	24.8	78.4	0.68	27.5	85.7	0.53	28.2	86.9	0.50
17:00	24.5	79.8	0.62	27.4	86.0	0.51	28.3	87.4	0.48
ต่ำสุด	**23.4**	**76.0**	**0.55**	**27.4**	**63.5**	**0.46**	**28.2**	**78.1**	**0.45**
สูงสุด	**26.3**	**81.0**	**0.81**	**34.5**	**88.4**	**1.99**	**31.5**	**88.9**	**1.00**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	27/1/2566			17/5/2566			3/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
เฉลี่ย	25.0	78.0	0.70	30.2	81.8	0.79	30.0	82.6	0.74

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
8:00	24.8	80.2	0.62	29.8	77.5	0.94	33.8	70.9	1.53
8:05	25.7	74.1	0.85	31.1	73.6	1.19	34.0	70.8	1.55
8:10	26.1	70.3	1.00	31.7	71.1	1.36	34.2	72.1	1.50
8:15	26.4	71.5	0.98	31.4	72.8	1.25	34.4	70.7	1.60
8:20	27.2	73.2	0.97	32.2	71.8	1.36	34.6	71.2	1.58
8:25	28.3	70.7	1.12	32.7	72.4	1.37	34.8	71.9	1.57
8:30	28.4	71.9	1.09	33.1	71.9	1.42	35.0	71.6	1.60
8:35	28.6	71.1	1.13	33.1	72.3	1.40	35.1	73.0	1.53
8:40	29.1	70.3	1.20	33.5	71.3	1.49	35.0	70.4	1.67
8:45	27.2	72.4	1.00	33.7	71.2	1.51	35.3	72.5	1.57
8:50	28.4	70.6	1.14	34.3	70.4	1.60	35.3	72.4	1.58
8:55	29.2	69.4	1.24	33.3	70.1	1.53	35.2	72.5	1.57
9:00	28.2	71.1	1.10	33.3	71.5	1.45	35.3	70.8	1.67

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
9:05	27.0	72.5	0.98	34.1	71.8	1.51	35.4	72.6	1.58
9:10	27.7	70.7	1.09	34.6	70.4	1.62	35.6	72.8	1.58
9:15	28.2	70.8	1.12	33.8	67.6	1.71	35.6	71.5	1.66
9:20	26.4	71.3	0.99	33.4	71.4	1.47	35.8	71.4	1.69
9:25	27.8	70.6	1.10	34.3	68.6	1.70	35.6	74.0	1.52
9:30	27.2	71.7	1.02	32.8	71.3	1.43	35.4	71.5	1.64
9:35	27.2	71.1	1.04	34.6	70.9	1.60	35.9	72.4	1.64
9:40	27.5	70.2	1.09	32.5	71.2	1.41	36.2	72.6	1.65
9:45	28.3	70.2	1.15	34.0	68.8	1.66	35.9	70.0	1.77
9:50	28.0	70.7	1.11	33.6	70.4	1.55	35.6	72.1	1.62
9:55	27.8	71.0	1.08	32.4	71.5	1.39	35.5	69.8	1.75
10:00	27.9	71.1	1.08	33.9	70.7	1.55	35.4	70.1	1.72
10:05	27.8	70.2	1.12	33.4	70.2	1.53	36.4	70.0	1.82
10:10	27.9	69.0	1.17	33.7	70.2	1.56	36.2	70.0	1.80

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
10:15	27.6	70.9	1.08	33.3	71.1	1.48	36.3	69.6	1.83
10:20	28.6	69.5	1.19	33.1	71.1	1.46	35.7	69.9	1.76
10:25	28.6	69.8	1.18	34.0	70.2	1.59	36.8	69.8	1.88
10:30	28.8	70.2	1.18	33.5	70.9	1.50	35.9	71.2	1.70
10:35	28.3	70.1	1.15	33.1	70.9	1.48	36.3	69.9	1.82
10:40	28.0	70.8	1.10	33.3	70.9	1.49	36.3	70.8	1.76
10:45	28.1	70.5	1.13	33.9	68.8	1.65	36.3	71.9	1.70
10:50	28.5	70.3	1.15	34.0	68.6	1.67	35.6	70.5	1.72
10:55	28.6	69.5	1.19	34.0	69.6	1.62	34.2	70.9	1.56
11:00	29.1	69.4	1.23	33.9	69.5	1.61	34.9	72.3	1.55
11:05	28.7	70.8	1.15	33.7	69.0	1.62	34.7	70.1	1.66
11:10	29.5	70.2	1.23	33.4	69.8	1.55	35.4	70.8	1.68
11:15	29.1	70.4	1.19	33.9	70.3	1.58	34.4	70.4	1.61
11:20	28.5	70.6	1.14	33.5	69.6	1.57	34.8	70.5	1.64

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
11:25	29.2	69.2	1.25	33.9	70.3	1.57	36.2	69.8	1.82
11:30	29.2	69.5	1.24	34.5	70.1	1.64	36.4	69.7	1.85
11:35	28.9	70.3	1.18	33.4	70.4	1.52	36.0	69.8	1.79
11:40	28.7	70.5	1.16	33.0	70.4	1.49	36.3	68.3	1.92
11:45	28.1	71.3	1.09	33.4	69.8	1.55	35.1	71.9	1.59
11:50	29.1	69.6	1.23	33.7	70.7	1.54	36.4	69.4	1.85
11:55	28.7	68.9	1.23	33.7	70.8	1.53	35.8	69.8	1.78
12:00	28.2	70.4	1.13	33.3	70.2	1.53	36.9	68.8	1.94
12:05	29.3	68.8	1.27	33.1	70.7	1.48	36.4	70.9	1.77
12:10	29.0	70.2	1.20	33.7	69.7	1.58	36.4	70.1	1.81
12:15	28.4	70.4	1.15	33.6	70.8	1.52	36.1	71.4	1.71
12:20	29.3	69.9	1.23	33.0	70.3	1.50	36.6	70.6	1.80
12:25	28.9	70.4	1.18	33.7	70.0	1.57	35.5	70.7	1.69
12:30	28.3	71.0	1.12	33.7	69.7	1.59	35.5	71.4	1.65

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
12:35	28.8	70.3	1.18	33.0	70.3	1.50	35.9	71.6	1.68
12:40	28.7	69.6	1.20	33.1	69.6	1.54	34.4	73.1	1.47
12:45	28.6	70.3	1.16	33.0	70.2	1.50	35.8	70.2	1.75
12:50	29.2	69.0	1.26	32.2	71.2	1.39	35.7	70.4	1.73
12:55	28.9	70.0	1.20	33.9	69.4	1.62	36.4	70.7	1.79
13:00	29.0	69.8	1.21	33.0	70.9	1.46	35.9	69.0	1.83
13:05	28.9	69.9	1.20	33.3	70.0	1.53	35.8	70.7	1.73
13:10	29.1	69.5	1.23	33.6	69.9	1.57	36.1	70.6	1.76
13:15	29.6	70.0	1.24	32.9	69.7	1.51	36.5	69.8	1.85
13:20	29.6	69.8	1.25	33.3	69.9	1.54	35.1	71.3	1.62
13:25	29.7	69.3	1.28	33.1	70.3	1.50	36.1	69.7	1.81
13:30	28.9	70.3	1.18	33.2	69.6	1.55	35.9	69.8	1.78
13:35	29.1	69.6	1.22	32.2	71.3	1.38	36.4	70.6	1.79
13:40	29.3	70.1	1.22	32.9	70.3	1.49	36.3	69.9	1.82

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
13:45	29.3	69.6	1.24	33.0	71.2	1.45	36.0	70.5	1.76
13:50	29.2	70.1	1.21	33.2	69.7	1.54	36.5	69.6	1.86
13:55	29.6	70.4	1.22	32.4	71.4	1.39	35.8	71.6	1.67
14:00	29.5	69.9	1.24	32.0	71.4	1.36	36.0	71.0	1.72
14:05	29.7	68.5	1.32	32.1	71.5	1.36	35.2	71.0	1.65
14:10	30.1	69.2	1.31	31.9	70.9	1.38	35.6	71.2	1.68
14:15	29.9	69.1	1.30	32.5	70.9	1.43	35.5	70.7	1.69
14:20	29.3	70.7	1.19	32.5	70.2	1.46	35.8	70.2	1.75
14:25	29.4	70.2	1.22	32.0	69.9	1.44	35.4	70.5	1.69
14:30	29.7	68.9	1.30	32.3	70.0	1.45	35.7	71.2	1.68
14:35	29.7	68.7	1.31	32.3	71.6	1.37	36.0	70.8	1.73
14:40	29.4	70.1	1.23	32.5	70.3	1.45	36.1	69.8	1.80
14:45	29.2	70.4	1.20	32.1	70.4	1.41	35.7	69.5	1.78
14:50	29.6	68.8	1.30	32.7	70.4	1.47	35.1	71.4	1.62

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
14:55	29.1	70.0	1.21	31.6	71.3	1.34	34.9	71.8	1.58
15:00	29.0	70.7	1.18	31.8	71.0	1.37	35.0	70.7	1.65
15:05	29.3	70.0	1.22	31.8	72.0	1.32	35.6	69.9	1.75
15:10	29.2	69.8	1.22	32.3	70.8	1.41	35.1	70.6	1.67
15:15	28.8	70.8	1.16	32.4	71.4	1.39	35.1	71.1	1.63
15:20	29.1	69.7	1.22	32.9	69.6	1.52	35.2	70.3	1.69
15:25	29.7	69.8	1.26	32.4	71.1	1.40	34.5	70.9	1.59
15:30	29.4	70.1	1.23	32.2	70.8	1.41	35.1	69.8	1.70
15:35	29.5	70.3	1.22	31.8	71.8	1.33	34.6	71.4	1.57
15:40	29.0	71.1	1.16	32.6	69.3	1.51	35.3	70.4	1.70
15:45	28.9	70.7	1.17	32.2	70.6	1.42	34.8	70.2	1.66
15:50	29.1	70.3	1.20	32.7	70.2	1.47	35.0	70.6	1.66
15:55	28.8	69.4	1.21	31.4	71.4	1.31	34.8	70.8	1.63
16:00	29.0	70.0	1.20	32.0	69.9	1.43	34.9	70.5	1.65

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
16:05	28.7	71.1	1.14	32.1	69.8	1.44	35.2	69.5	1.73
16:10	28.7	71.6	1.12	31.7	70.8	1.36	34.6	69.9	1.66
16:15	29.5	70.1	1.23	31.6	72.0	1.30	34.3	71.4	1.55
16:20	28.6	71.3	1.12	31.9	70.5	1.39	34.6	70.1	1.64
16:25	29.2	70.7	1.19	31.9	71.2	1.37	34.5	71.2	1.57
16:30	29.2	69.8	1.22	31.6	71.7	1.32	34.1	70.0	1.60
16:35	28.8	70.3	1.18	32.2	70.0	1.44	34.3	71.3	1.56
16:40	28.9	70.3	1.18	32.5	70.1	1.47	34.7	70.2	1.65
16:45	28.4	71.7	1.10	32.5	69.0	1.52	34.9	71.3	1.60
16:50	28.6	71.4	1.12	31.8	71.1	1.36	34.6	70.9	1.60
16:55	28.8	70.5	1.17	32.0	70.9	1.39	35.3	70.7	1.67
17:00	29.0	70.1	1.20	30.9	72.2	1.24	33.7	73.1	1.41
ต่ำสุด	**24.8**	**68.5**	**0.62**	**29.8**	**67.6**	**0.94**	**33.7**	**68.3**	**1.41**
สูงสุด	**30.1**	**80.2**	**1.32**	**34.6**	**77.5**	**1.71**	**36.9**	**74.0**	**1.94**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ (ต่อ)

เวลา	2/2/2566			13/2/2566			4/6/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
เฉลี่ย	28.6	70.4	1.17	32.9	70.6	1.47	35.4	70.8	1.69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
8:00	28.7	82.1	0.71	30.4	77.2	0.99	30.8	77.1	1.02
8:05	30.4	76.7	1.01	29.7	81.2	0.79	29.6	82.2	0.74
8:10	29.7	79.5	0.85	30.2	79.9	0.86	30.0	81.4	0.79
8:15	30.1	80.3	0.84	29.9	81.5	0.78	30.1	80.6	0.83
8:20	30.3	81.3	0.81	30.2	81.1	0.81	30.6	80.9	0.84
8:25	30.5	80.4	0.85	30.3	81.6	0.80	30.5	81.1	0.83
8:30	30.6	81.2	0.83	30.4	81.7	0.80	30.0	81.2	0.80
8:35	30.5	81.1	0.83	30.2	80.7	0.83	30.4	79.8	0.88
8:40	30.4	81.2	0.82	30.2	79.9	0.86	30.6	79.7	0.89
8:45	30.9	80.2	0.88	30.6	80.9	0.84	30.0	80.9	0.81
8:50	30.8	80.4	0.87	30.1	80.7	0.83	30.5	79.5	0.90
8:55	30.2	81.5	0.79	30.1	80.8	0.82	30.4	80.6	0.84
9:00	30.2	79.4	0.88	30.5	80.6	0.84	30.7	80.7	0.85

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
9:05	30.0	80.8	0.82	30.9	80.3	0.88	30.3	80.3	0.85
9:10	30.6	80.5	0.86	30.6	80.7	0.85	30.5	81.0	0.83
9:15	30.9	81.5	0.83	30.4	80.5	0.85	30.3	80.3	0.85
9:20	31.0	80.7	0.87	30.9	81.1	0.84	30.2	80.6	0.83
9:25	30.5	80.0	0.88	30.3	81.0	0.82	30.5	80.5	0.85
9:30	30.5	81.0	0.83	30.4	80.1	0.87	30.2	80.3	0.85
9:35	30.6	81.0	0.84	30.5	80.4	0.86	30.4	80.5	0.85
9:40	30.9	80.9	0.85	30.7	80.1	0.88	30.9	80.5	0.87
9:45	30.6	80.4	0.86	30.7	79.8	0.89	29.9	80.4	0.82
9:50	30.8	80.7	0.86	31.0	81.1	0.85	30.6	80.4	0.86
9:55	30.9	80.6	0.87	30.5	79.9	0.88	30.1	80.0	0.85
10:00	30.8	79.8	0.90	30.8	80.4	0.87	30.2	78.7	0.92
10:05	30.8	80.0	0.89	31.0	80.9	0.86	30.9	80.4	0.88
10:10	30.7	80.4	0.87	30.5	80.2	0.87	30.7	80.3	0.87

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
10:15	30.5	80.2	0.87	31.2	80.2	0.90	30.8	80.2	0.88
10:20	30.5	80.4	0.85	30.9	81.1	0.84	31.0	79.3	0.93
10:25	30.7	81.1	0.84	31.1	81.1	0.85	30.8	79.9	0.89
10:30	31.1	80.5	0.88	31.2	80.9	0.87	31.1	81.0	0.86
10:35	30.8	79.4	0.92	31.2	79.8	0.92	31.2	78.9	0.96
10:40	30.6	80.6	0.86	31.1	79.0	0.95	30.7	80.8	0.85
10:45	30.4	80.8	0.83	30.5	80.6	0.85	30.6	79.4	0.91
10:50	30.5	81.1	0.83	31.0	79.8	0.91	30.8	78.6	0.95
10:55	30.1	80.7	0.82	30.8	80.4	0.87	30.6	80.4	0.86
11:00	30.7	80.3	0.87	30.8	80.3	0.87	30.6	78.9	0.93
11:05	31.0	80.6	0.87	31.1	80.5	0.88	30.9	79.3	0.93
11:10	30.9	79.1	0.94	31.4	79.9	0.93	30.6	77.8	0.98
11:15	30.4	79.6	0.89	31.5	79.7	0.94	30.6	77.6	0.98
11:20	29.8	79.1	0.88	31.1	79.8	0.91	30.3	78.1	0.95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
11:25	30.4	80.0	0.87	30.9	77.7	1.00	30.5	78.1	0.96
11:30	30.3	79.7	0.88	30.9	79.3	0.93	30.5	77.6	0.98
11:35	30.1	80.2	0.85	30.9	78.9	0.94	30.5	77.3	0.99
11:40	30.8	78.9	0.94	31.3	80.4	0.90	30.5	78.7	0.93
11:45	30.2	77.9	0.95	31.0	79.9	0.91	30.8	77.4	1.00
11:50	30.5	79.6	0.89	31.3	77.9	1.01	30.5	78.4	0.95
11:55	30.5	79.9	0.88	31.0	78.4	0.97	30.6	78.5	0.95
12:00	30.3	79.4	0.89	31.3	79.6	0.93	30.5	76.4	1.03
12:05	30.1	79.2	0.89	31.3	78.4	0.99	30.8	77.9	0.98
12:10	29.9	80.0	0.84	31.4	78.9	0.97	30.8	76.5	1.05
12:15	29.9	80.2	0.84	31.3	78.9	0.96	30.9	77.1	1.02
12:20	30.0	78.5	0.91	31.1	77.8	1.00	30.7	76.7	1.03
12:25	30.4	77.5	0.98	30.8	78.1	0.97	30.4	79.9	0.87
12:30	30.4	78.7	0.93	30.6	78.1	0.96	30.7	78.4	0.95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
12:35	29.9	78.0	0.93	30.7	78.5	0.95	30.8	75.8	1.07
12:40	30.2	77.1	0.98	31.0	78.5	0.97	30.7	76.2	1.05
12:45	30.1	77.0	0.98	30.5	77.9	0.96	30.6	76.1	1.05
12:50	29.7	78.6	0.89	31.1	78.9	0.95	30.7	75.8	1.07
12:55	29.5	79.0	0.87	31.2	77.0	1.04	30.5	76.3	1.04
13:00	29.4	79.3	0.85	31.0	76.6	1.05	30.7	76.0	1.06
13:05	29.7	79.3	0.86	30.8	79.4	0.92	30.9	77.3	1.01
13:10	30.0	78.1	0.93	31.2	78.9	0.96	30.9	78.5	0.96
13:15	30.1	77.3	0.97	31.5	77.3	1.05	31.0	76.4	1.06
13:20	29.9	77.2	0.96	30.9	79.1	0.94	31.1	75.9	1.09
13:25	29.3	78.8	0.87	31.3	77.3	1.04	30.9	75.4	1.10
13:30	29.4	78.6	0.88	30.4	79.0	0.91	30.2	74.6	1.09
13:35	29.7	79.5	0.85	30.2	80.0	0.86	29.9	74.9	1.06
13:40	30.6	76.8	1.02	30.0	79.3	0.88	30.2	75.6	1.05

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
13:45	30.2	76.9	0.99	30.0	79.6	0.86	30.2	77.2	0.98
13:50	29.4	79.1	0.86	29.8	78.2	0.91	30.4	76.0	1.04
13:55	30.1	78.2	0.93	30.7	79.2	0.92	30.0	77.1	0.97
14:00	29.5	79.5	0.85	31.3	76.5	1.07	30.5	77.2	1.00
14:05	30.1	78.5	0.92	31.5	77.0	1.07	30.4	74.8	1.10
14:10	30.6	78.4	0.95	31.0	79.7	0.91	30.4	75.8	1.05
14:15	29.6	79.7	0.84	30.4	79.7	0.88	30.4	75.5	1.06
14:20	30.0	77.5	0.96	31.1	77.5	1.02	30.1	74.3	1.10
14:25	29.2	78.4	0.87	30.0	79.6	0.87	30.0	74.4	1.09
14:30	28.8	79.3	0.82	29.7	80.6	0.81	30.4	74.8	1.09
14:35	29.0	78.1	0.88	30.3	77.9	0.96	30.4	74.9	1.09
14:40	29.7	77.4	0.94	30.2	79.4	0.89	30.3	74.9	1.08
14:45	29.5	76.6	0.96	30.1	78.6	0.91	30.4	75.7	1.06
14:50	29.1	77.1	0.92	30.2	79.9	0.86	30.6	77.2	1.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
14:55	29.1	77.3	0.91	30.3	79.8	0.87	30.5	75.0	1.09
15:00	29.3	75.5	1.00	29.7	78.9	0.88	30.4	74.7	1.10
15:05	29.1	77.6	0.90	30.1	78.4	0.92	30.7	76.1	1.05
15:10	29.2	77.8	0.90	30.2	78.2	0.93	30.8	75.5	1.09
15:15	28.5	78.8	0.83	30.1	78.0	0.94	30.8	75.3	1.10
15:20	28.8	78.5	0.85	30.1	78.4	0.92	30.4	77.3	0.99
15:25	29.0	78.6	0.86	29.8	79.0	0.88	30.0	76.2	1.01
15:30	28.6	78.5	0.84	29.8	79.3	0.87	29.2	78.0	0.89
15:35	28.6	78.6	0.84	29.7	79.7	0.85	29.6	77.8	0.92
15:40	28.9	78.1	0.87	29.8	78.9	0.88	29.8	77.4	0.95
15:45	28.8	78.0	0.87	29.7	79.6	0.85	30.0	78.1	0.93
15:50	28.7	78.7	0.84	29.6	79.2	0.87	30.0	76.9	0.98
15:55	28.6	78.5	0.84	29.8	79.1	0.87	29.8	77.4	0.95
16:00	28.8	78.7	0.84	29.8	79.0	0.88	29.7	77.9	0.93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
16:05	28.9	78.0	0.88	29.8	79.2	0.87	29.7	77.7	0.93
16:10	29.2	78.0	0.89	30.0	78.9	0.90	29.7	78.1	0.92
16:15	29.0	78.7	0.85	29.8	79.6	0.85	29.6	78.3	0.90
16:20	28.9	78.5	0.86	29.8	79.8	0.85	29.7	79.1	0.87
16:25	28.8	78.6	0.85	30.0	79.0	0.89	29.2	78.9	0.85
16:30	28.6	78.7	0.83	29.8	79.3	0.87	29.2	78.3	0.88
16:35	28.8	77.7	0.88	29.6	79.5	0.85	29.4	78.6	0.88
16:40	29.2	78.3	0.88	29.5	79.4	0.85	28.7	78.0	0.87
16:45	28.7	77.5	0.89	29.4	80.1	0.82	29.0	78.4	0.87
16:50	28.8	78.3	0.86	29.7	79.7	0.85	28.8	79.0	0.83
16:55	28.8	78.7	0.85	29.9	79.3	0.88	29.0	78.8	0.85
17:00	28.7	78.3	0.85	29.8	79.8	0.85	28.7	78.0	0.87
ต่ำสุด	**28.5**	**75.5**	**0.71**	**29.4**	**76.5**	**0.78**	**28.7**	**74.3**	**0.74**
สูงสุด	**31.1**	**82.1**	**1.02**	**31.5**	**81.7**	**1.07**	**31.2**	**82.2**	**1.10**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ต่อ)

เวลา	19/3/2566			21/3/2566			22/3/2566		
	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (% RH)	แรงดึงระเหยน้ำ (kPa)
เฉลี่ย	29.9	79.2	0.88	30.5	79.5	0.90	30.3	78.1	0.95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.13 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

ตารางที่ ก.13.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งวันทั้งภายในและภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก

วันที่	ภายในโรงเรือน		ภายนอกโรงเรือน	
	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (% RH)
19/6/2023	31.4	81.5	32.9	66.4
20/6/2023	31.6	81.8	34.3	60.8
21/6/2023	31.5	81.4	35.5	56.0
22/6/2023	31.3	81.1	36.0	53.1
23/6/2023	32.1	81.5	37.7	52.8
24/6/2023	31.8	82.5	34.3	62.3
25/6/2023	31.1	81.1	36.2	53.5
26/6/2023	31.3	81.6	34.0	59.5
27/6/2023	31.2	81.4	35.0	58.3
28/6/2023	32.2	82.6	35.0	61.1
29/6/2023	31.8	82.8	34.3	61.8
30/6/2023	31.9	85.9	32.9	71.1
1/7/2023	30.6	89.7	30.5	80.9
2/7/2023	32.4	85.1	32.8	71.2
3/7/2023	31.4	86.4	30.9	77.3
4/7/2023	29.9	88.2	28.6	84.7
5/7/2023	31.1	83.5	31.2	70.5
6/7/2023	32.3	82.8	34.6	62.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.13.2 ตัวอย่างค่าแสงภายในและภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก

เวลา	ค่าแสง (Lux)					
	25/6/2566		30/6/2566		5/7/2566	
	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน	ภายในโรงเรือน	ภายนอกโรงเรือน
7:00	1,040	5,110	2,380	3,810	1,350	3,910
8:00	1,860	13,540	4,130	4,400	3,240	9,540
9:00	5,570	18,480	5,600	6,980	5,750	6,850
10:00	4,090	22,680	11,630	56,330	8,260	37,450
11:00	3,730	21,270	10,230	73,790	11,400	59,860
12:00	6,350	44,910	14,040	85,660	7,890	49,950
13:00	8,350	71,030	4,860	13,620	11,350	65,980
14:00	4,030	61,790	6,780	28,910	7,160	25,480
15:00	3,680	20,510	2,040	5,620	5,270	16,540
16:00	3,080	15,980	3,530	9,590	3,190	10,920
17:00	2,230	9,930	2,150	4,890	2,460	7,090
18:00	450	2,230	650	2,780	810	1,700
เฉลี่ย	**3,710**	**25,620**	**5,670**	**24,700**	**5,680**	**24,610**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 ความเร็วลมหน้าแผ่นระเหยน้ำ

โรงเรือนเพาะปลูกหลังคาทรงโค้งมีพื้นที่หน้าตัด 10.80 m^2 ใช้พัดลมดูดอากาศซึ่งมีปริมาตรการถ่ายเทของอากาศ 4000 cfm หรือเท่ากับ 1.89 m^3/s จำนวน 4 ตัว

$$V_{evap} = \frac{\dot{m}_{out}}{A_p}$$

$$V_{evap} = \frac{1.89 \times 4}{10.80}$$

$$V_{evap} = 0.70 \text{ m/s}$$

เมื่อ V_{evap} คือ ความเร็วลมหน้าแผ่นระเหยน้ำ, m/s

$\dot{m}_{out}$ คือ ปริมาณอากาศที่ถูกดูดออกจากโรงเรือน, m^3/s

A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน, m^2

ความเร็วลมหน้าแผ่นระเหยน้ำ 0.70 m/s

ข.2 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

โรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ทดสอบหาประสิทธิภาพการทำความเย็น เมื่อระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำทำงานต่อเนื่องที่เวลา 9.00 น. พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่า 27.1 ℃ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่า 91.0 % RH ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนมีค่า 28.7 ℃ และความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 76.9 % RH หาประสิทธิภาพการทำความเย็นได้จากสมการ

$$Eff = \frac{T_{do} - T_{di}}{T_{do} - T_{wo}} \times 100$$

เมื่อ T_{do} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

T_{di} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

T_{wo} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำ, ℃

หาอุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผ่นระเหยน้ำจากสมการ

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

$$T_{wo} = 28.7\times\tan^{-1}[0.151977(76.9+8.313659)^{1/2}]+\tan^{-1}(28.7+76.9) -\tan^{-1}(76.9-1.676331)+0.00391838(76.9)^{3/2}\tan^{-1}(0.023101\times 76.9) -4.686035$$

$$T_{wo} = 25.4\ ^{\circ}C$$

เมื่อ T_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก, $^{\circ}C$

T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, $^{\circ}C$

θ คือ ความชื้นสัมพัทธ์, % RH

ดังนั้น ประสิทธิภาพการทำความเย็นจะได้

$$Eff = \frac{28.7 - 27.1}{28.7 - 25.4}\times 100$$

$$Eff = 48.50\ \%$$

ประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเวลา 9.00 น. คือ 48.50 %

ข.3 แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

โรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ เมื่อเวลา 10.00 น. พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่า 30.8 $^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่า 80.4% RH หาค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศจากสมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$VPD = P_{ws} - P_w$$

เมื่อ P_{ws} คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวของอากาศ, Pa

P_W คือ ความดันไอน้ำของอากาศ, Pa

หาความดันไอน้ำอิ่มตัวของอากาศ จากสมการ

$$\ln P_{ws} = \frac{C_1}{T_{db}} + C_2 + C_3 T_{db} + C_4 T_{db}^2 + C_5 T_{db}^3 + C_6 \ln T_{db}$$

$$\begin{aligned}\ln P_{ws} = {} & \frac{(-5.8002206 \times 10^3)}{(30.8 + 273.15)} + (1.3914993) \\ & + \left[\left(-4.8640239 \times 10^{-2}\right)(30.8 + 273.15)\right] \\ & + \left[\left(4.1764768 \times 10^{-5}\right)(30.8 + 273.15)^2\right] \\ & + \left[\left(-1.4452093 \times 10^{-8}\right)(30.8 + 273.15)^3\right] \\ & + \left[6.5459673 \ln(30.8 + 273.15)\right]\end{aligned}$$

P_{ws} = 4.44 kPa

เมื่อ C_1 คือ -5.8002206×10^3

C_2 คือ 1.3914993

C_3 คือ $-4.8640239 \times 10^{-2}$

C_4 คือ 4.1764768×10^{-5}

C_5 คือ $-1.4452093 \times 10^{-8}$

C_6 คือ 6.5459673

P_{ws} คือ ความดันไออิ่มตัว, Pa

T_{db} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, K

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หาความดันไอน้ำอิ่มตัวของอากาศ จากสมการ

$$\theta = \frac{P_w}{P_{ws}}$$

$$P_w = \theta P_{ws}$$

$$P_w = \left(\frac{80.4}{100}\right)4.44$$

$$P_w = 3.56\,\text{kPa}$$

ดังนั้น ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศจะได้

$$\text{VPD} = 4.44 - 3.56$$

$$\text{VPD} = 0.88\,\text{kPa}$$

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศภายในโรงเรือนเวลา 10.00 น. คือ 0.88 kPa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

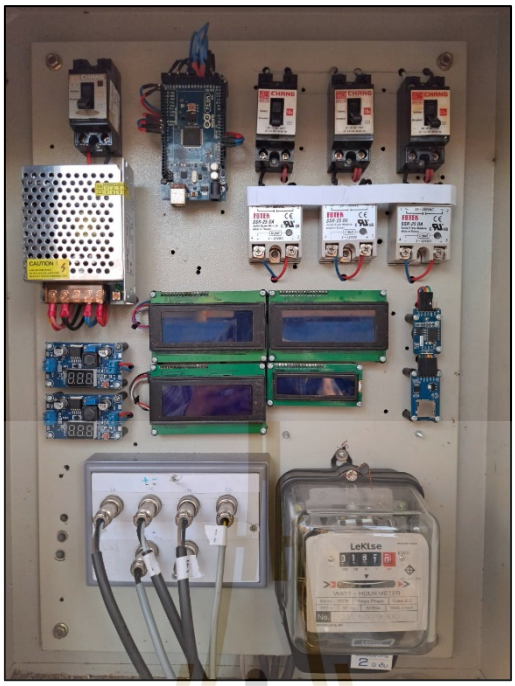
ภาคผนวก ค

รูปขณะทำการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ค.1 โรงเรือนเพาะปลูกที่พัฒนา (ด้านหน้า)

รูปที่ ค.2 โรงเรือนเพาะปลูกที่พัฒนา (ด้านหลัง)

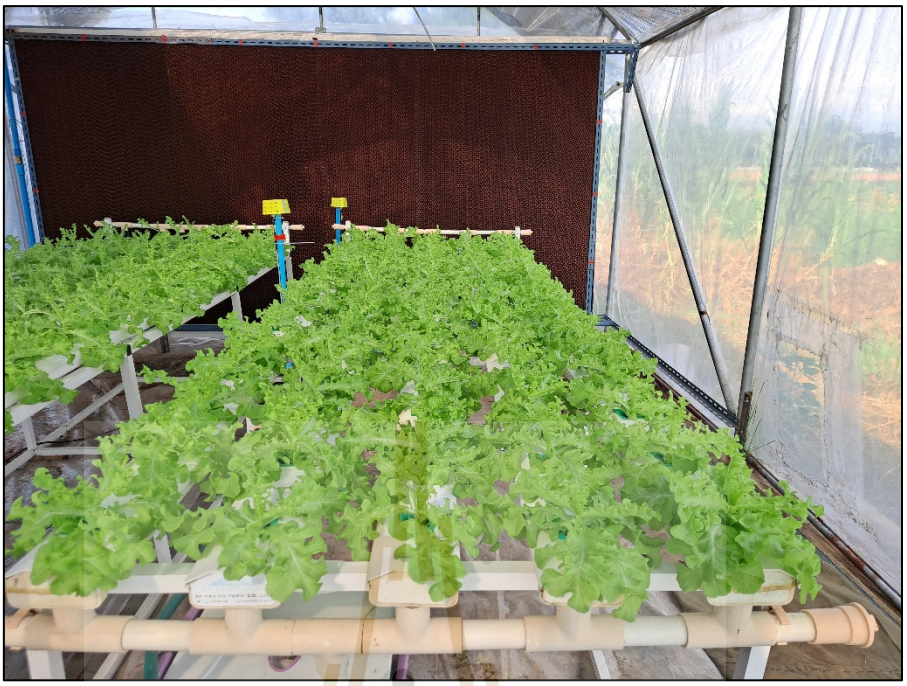


รูปที่ ค.3 ตู้ควบคุมระบบทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูก

รูปที่ ค.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ (DHT22)

รูปที่ ค.5 การวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์

รูปที่ ค.6 แปลงผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือน



รูปที่ ค.7 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายในโรงเรือนอายุ 30 วัน

รูปที่ ค.8 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกภายนอกโรงเรือนอายุ 30 วัน

รูปที่ ค.9 การวัดค่าแสงภายนอกโรงเรือน

รูปที่ ค.10 การชั่งน้ำหนักสดผักสลัดกรีนโอ๊ค

ภาคผนวก ง
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

เทพพิทักษ์ กุนอก, วัศพล จันพายัพ, กระวี ตรีอำนรรค, และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2565). ผลของอุณหภูมิและความชื้นอากาศที่มีต่อแรงดึงระเหยน้ำในโรงเรือนปลูกพืช. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14.

วัศพล จันพายัพ, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, และกระวี ตรีอำนรรค. (2566). การศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24.

วัศพล จันพายัพ, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, และกระวี ตรีอำนรรค. (xxxx). การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบแผ่นระเหยน้ำ. *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร*, (x),xx-xx.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายวัศพล จันพายัพ เกิดเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนครบุรี อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปีการศึกษา 2558 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิศวกรรมเกษตร มหวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2562 และเข้าทำงานที่บริษัท น้ำตาละครบุรี จำกัด (มหาชน) ตำแหน่งนักส่งเสริมชาวไร่ เป็นเวลา 1 ปี จากนั้นใน 2564 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สาขาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้รับทุนกิตติบัณฑิต เป็นระยะเวลา 2 ปี ในระหว่างการศึกษาได้รับมอบหมายให้เป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชา 521355 ปฏิบัติการเครื่องจักรกลเกษตร, 521356 ปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร I, 521357 ปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร II, 521344 ปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตรและอาหาร I, 521412 ปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตรและอาหาร II, และรายวิชา 521423 การสำรวจทางการเกษตร ในช่วงการช่วยสอนทำให้ได้ความรู้และประสบการณ์ ตลอดจนสามารถนำมาใช้ในการทำงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี