

การลดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงเรือนเพาะปลูกระบบพ่นหมอก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2562

**REDUCTION OF HEAT FROM SOLAR ENERGY
FOR MISTING GREENHOUSE**



Khachonsak Simek

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process
System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2019**

การลดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงเรียนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.การุญ พิงสุวรรณรักษ์)

ประธานกรรมการ



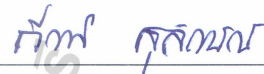
(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนาจ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)



(ผศ. ดร.กীরดี สุกฤษณ์)

กรรมการ



(ผศ. ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ขจรศักดิ์ สีเมฆ : การลดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงเรือนเพาะปลูก
แบบพ่นหมอก (REDUCTION OF HEAT FROM SOLAR ENERGY FOR MISTING
GREENHOUSE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กระจวี ตรีอำนาจ, 136 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกอัตโนมัติที่มีระบบ
ระบายความร้อนของตาข่ายพรางแสงที่นำมาปกคลุมหลังคาของโรงเรือน และเพื่อประเมิน
สมรรถนะการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนที่พัฒนาขึ้น โดยใช้บอร์ด
ไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Arduino รุ่น MEGA 2560 ทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและ
ความชื้น DHT22 สำหรับควบคุมการพ่นหมอก ตัวโรงเรือนมีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 8 เมตร และ
สูง 3 เมตร ผนังและหลังคาของโรงเรือนคลุมด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน 2 ชั้น โดยหลังคาโรงเรือน
มีลักษณะเป็นหลังคาโค้งและคลุมด้วยตาข่ายพรางแสงทับด้านบนอีก 1 ชั้น ติดตั้งหัวสปริงเกอร์
รอบหลังคาโรงเรือนจำนวน 10 ตัว ภายในโรงเรือนติดตั้งหัวพ่นหมอกจำนวน 18 หัว พัฒลมสำหรับ
หมุนเวียนอากาศจำนวน 2 ตัว ด้านหน้าของโรงเรือนติดตั้งพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัว
เพื่อระบายอากาศในโรงเรือนออกหลังจากพ่นหมอกเสร็จสิ้น ผลการศึกษาพบว่า การควบคุมการพ่น
หมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนมีความเหมาะสมมากกว่า
การควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน และ
ในการทดลองการใช้โรงเรือนทั้ง 4 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลม
ระบายอากาศ กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน
กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบ
พ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน พบว่า กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก
มีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเฉลี่ยตลอดวัน
เท่ากับ 39.52°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 2.49°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศใน
โรงเรือนเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 60.10% ซึ่งสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อม 27.91% โดยที่อุณหภูมิ
และความชื้นสัมพัทธ์นี้เหมาะสำหรับปลูกพืชไร่ดิน เช่น ผักกรีนโอ๊ค ผักเรดโอ๊ค ผักบัตเตอร์เฮด
และผักบัตตาเวีย และมีความสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยชั่วโมงละ 0.2213 kW-h ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ
การทดลองในกรณีอื่น ๆ ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ
ที่เป็นไปได้หลังจากการพ่นหมอกพบว่า ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าที่วัดจริง 6.43% และการพ่นหมอก
มีประสิทธิภาพเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 29.12%

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา ขจรศักดิ์ สีเมฆ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กระจวี ตรีอำนาจ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. น. น.

KHACHONSAK SIMEK : REDUCTION OF HEAT FROM SOLAR
ENERGY FOR MISTING GREENHOUSE. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. KRAWEE TREEAMNUK, Ph.D., 136 PP.

GREENHOUSE/FOGGING SYSTEM/EMPIRICAL MODELLING

The objective of this research was to develop the automatic misting greenhouse with a shading net covered roof cooling system and test the performance of air dry-bulb temperature and relative humidity control of the prototype. Arduino model MEGA 2560 and DHT22 sensor were used to control misting system. The prototype has 4×8×3 meter in width×length×height and covered with double polyethylene sheets. The curved roof was covered with a sun shading net and installed 10 water sprinklers around the roof of the greenhouse for spraying the water to reduce the temperature of the sun shading net. Two electric ventilation fans were installed on the greenhouse and 18 fogging nozzles were installed inside the greenhouse too. Inside the greenhouse two electric circulating fans were equipped on the wall. The prototype were tested in 4 case experiments, Case 1: greenhouses operate only the ventilation fans. Case 2: Greenhouses operate the ventilation fans and spray water on the roof. Case 3: Greenhouses operate only the misting system. And Case 4: Greenhouses operate misting system and spray water on the roof. The result found that the, misting system controlled by the relative humidity of the air in the greenhouse was more suitable than the misting system controlled by the dry-bulb temperature of the air in the greenhouse, In Case 3: Greenhouses operate only the misting system is suitable for use because the average dry-bulb temperature of the air throughout the day is 39.52°C, which is higher than the ambient temperature of 2.49°C and the average relative humidity in the greenhouse is 60.10%, which is 27.91%

higher than the environmental relative humidity. This temperature and relative humidity are suitable for hydroponics planting such as green oak, red oak, butterhead and batavia plant. The average energy consumption per hour is 0.2213 kW-h, which is lower than other cases. The numerical analysis result of dry bulb temperature of the air after fogging showed that the predicted value is 6.43% lower than the actual measured value and the average fogging efficiency all day is 29.12%.



School of Mechanical Engineering

Academic year 2019

Student's Signature *Khachornrat*

Advisor's Signature *Krawee Treeamhuk*

Co-Advisor's Signature *Dr. W. B.*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ด้วยดีทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและคณะบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำเรื่องการทำวิจัยในส่วนต่าง ๆ รวมถึงสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยนี้จำนวนมาก จนกระทั่งผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณเพชร ว่องไพศาลกิจ คุณทิวา สายประดิษฐ์ และคุณรัฐกร มากหวาน นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ ที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือด้านการสร้างชุดทดลอง และให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง รวมถึงรุ่นพี่และรุ่นน้องในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคลากร ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษาและการสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด และสนับสนุนทุนทรัพย์ต่าง ๆ ให้ผู้วิจัยใช้ตลอดการศึกษานี้จนประสบความสำเร็จ

ขจรศักดิ์ สีเมฆ

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----------|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... | ก |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ง |
| สารบัญ..... | จ |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ฉ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... | ณ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 โรงเรียนเพาะปลูก..... | 4 |
| 2.2 คุณสมบัติของอากาศ..... | 4 |
| 2.2.1 ความดันอ้อมตัวของไอน้ำ..... | 4 |
| 2.2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก..... | 5 |
| 2.2.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง..... | 5 |
| 2.2.4 อุณหภูมิกระเปาะเปียก..... | 5 |
| 2.2.5 อุณหภูมิจุดกลั่นตัว..... | 7 |
| 2.2.6 อัตราส่วนความชื้น..... | 7 |
| 2.2.7 ความดันบรรยากาศ..... | 8 |
| 2.2.8 ความชื้นสัมพัทธ์..... | 8 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|--------|---|----|
| 2.2.9 | เอนทรานปี..... | 9 |
| 2.2.10 | ปริมาตรจำเพาะของอากาศ..... | 9 |
| 2.3 | กระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ..... | 9 |
| 2.4 | การคำนวณหาความร้อนที่อากาศในโรงเรือนคายออกมา..... | 12 |
| 2.5 | ความผิดพลาดในสถานะคงตัว (Steady state error)..... | 12 |
| 2.6 | ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือน..... | 13 |
| 2.6.1 | ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังและหลังคาสู่โรงเรือน..... | 13 |
| 2.6.2 | ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศภายในเรือน..... | 14 |
| 2.7 | การสมดุลมวลและการสมดุลพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูก..... | 15 |
| 2.8 | การระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงของโรงเรือนเพาะปลูก..... | 17 |
| 2.8.1 | ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกหลังคาดูดซับ..... | 17 |
| 2.8.2 | การระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสง..... | 18 |
| 2.9 | แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ..... | 19 |
| 2.10 | ปริทัศน์วรรณกรรม..... | 21 |
| 2.10.1 | การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับ โรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก..... | 21 |
| 2.10.2 | ประสิทธิภาพของ โรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก..... | 23 |
| 2.10.3 | การวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ..... | 23 |
| 3 | วิธีดำเนินการวิจัย..... | 24 |
| 3.1 | อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... | 24 |
| 3.2 | การออกแบบโรงเรือนเพาะปลูก..... | 25 |
| 3.3 | การออกแบบการควบคุมการพ่นหมอกของโรงเรือน..... | 26 |
| 3.3.1 | การจัดวางอุปกรณ์สำหรับผู้ควบคุมการทำงานของระบบ พ่นหมอก..... | 26 |
| 3.3.2 | การออกแบบการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุม อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก..... | 28 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.3 | การออกแบบการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก..... | 29 |
| 3.4 | การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลัง การพ่นหมอก..... | 31 |
| 3.5 | การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก..... | 32 |
| 3.5.1 | เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหล ของการพ่นหมอก..... | 33 |
| 3.5.2 | ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก..... | 33 |
| 3.6 | การทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน เพาะปลูก..... | 34 |
| 3.6.1 | เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหล ของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูก..... | 34 |
| 3.6.2 | ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำ ก่อนการสเปรย์ที่หลังคา..... | 34 |
| 3.6.3 | ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลกลับ จากหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกหลังการสเปรย์ที่หลังคา..... | 35 |
| 3.7 | การทดลองเพื่อหาการควบคุมการพ่นหมอกที่เหมาะสม..... | 35 |
| 3.7.1 | การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิ กระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก..... | 35 |
| 3.7.2 | การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้น สัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก..... | 36 |
| 3.8 | การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก..... | 37 |
| 3.8.1 | กรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ..... | 37 |
| 3.8.2 | กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน..... | 38 |
| 3.8.3 | กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก..... | 38 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.8.4 | กรณีศึกษาที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน..... | 39 |
| 4 | ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล..... | 41 |
| 4.1 | ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก..... | 41 |
| 4.2 | ผลการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน เพาะปลูก..... | 41 |
| 4.3 | ผลการทดลองเพื่อหาการควบคุมการพ่นหมอกที่เหมาะสม..... | 42 |
| 4.3.1 | ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุม อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก..... | 42 |
| 4.3.2 | การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก..... | 43 |
| 4.4 | ผลการทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก..... | 44 |
| 4.4.1 | ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะ พัดลมระบายอากาศ..... | 44 |
| 4.4.2 | ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลม ระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน..... | 48 |
| 4.4.3 | ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบ พ่นหมอก..... | 73 |
| 4.4.4 | ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบ พ่นหมอก และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน..... | 61 |
| 4.5 | เปรียบเทียบผลการทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก..... | 70 |
| 4.4.1 | ความสามารถในการลดอุณหภูมิ..... | 70 |
| 4.4.2 | ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ..... | 71 |
| 4.4.3 | การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง..... | 73 |
| 4.4.4 | การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า..... | 74 |
| 4.4.5 | การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือน..... | 75 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.4.6 | อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการ พ่นหมอก..... | 76 |
| 4.4.7 | ประสิทธิภาพของการพ่นหมอก..... | 78 |
| 5 | สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 80 |
| 5.1 | การควบคุมการพ่นหมอกที่เหมาะสม..... | 80 |
| 5.2 | การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก..... | 80 |
| 5.2.1 | ความสามารถในการลดอุณหภูมิ..... | 80 |
| 5.2.2 | ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ..... | 80 |
| 5.2.3 | การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง..... | 81 |
| 5.2.4 | การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า..... | 81 |
| 5.2.5 | การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือน..... | 81 |
| 5.2.6 | อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการ พ่นหมอก..... | 81 |
| 5.2.7 | ประสิทธิภาพของการพ่นหมอก..... | 81 |
| 5.3 | โรงเรือนเพาะปลูกที่เหมาะสมจากการทดลองโรงเรือนเพาะปลูก..... | 82 |
| 5.4 | ข้อเสนอแนะ..... | 82 |
| | รายการอ้างอิง..... | 84 |
| | ภาคผนวก | |
| | ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง..... | 86 |
| | ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ..... | 112 |
| | ภาคผนวก ค. รูปขณะทำการทดสอบ..... | 118 |
| | ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา..... | 119 |
| | ประวัติผู้เขียน..... | 136 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|--|
| 2.1 | ค่าประมาณของ Over all heat transfer coefficient สำหรับวัสดุที่ใช้ สร้างโรงเรือน 14 |
| 2.2 | อัตราการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกโรงเรือน 15 |
| 2.3 | ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ในหน่วย kPa 20 |
| 3.1 | แสดงอุปกรณ์สำหรับการจัดวางอุปกรณ์ในตู้ควบคุมการทำงาน ของระบบพ่นหมอก 27 |
| 3.2 | แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหล ของการพ่นหมอก 33 |
| 3.3 | แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำ ที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูก 34 |
| 4.1 | ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก 41 |
| 4.2 | ผลการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูก 42 |
| 4.3 | การเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 4 กรณี 70 |
| 4.4 | การเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ทั้ง 4 กรณี 72 |
| 4.5 | การเปรียบเทียบการดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงทั้ง 4 กรณี 73 |
| 4.6 | การเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทั้ง 4 กรณี 74 |
| 4.7 | การเปรียบเทียบการระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนทั้ง 2 กรณี 75 |
| 4.8 | การเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการ พ่นหมอกทั้ง 2 กรณี 77 |
| 4.9 | การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี 78 |
| ก.1.1 | ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก 86 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ก.2.1 ผลการทดลองการควบคุมการฟุ้งหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก..... | 88 |
| ก.3.1 ผลการทดลองกรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ..... | 90 |
| ก.3.2 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 1 | 92 |
| ก.4.1 ผลการทดลองกรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน | 93 |
| ก.4.2 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนในการทดลองกรณีที่ 2 | 95 |
| ก.4.3 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 2 | 97 |
| ก.5.1 ผลการทดลองกรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบฟุ้งหมอก | 98 |
| ก.5.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการฟุ้งหมอกในการทดลอง กรณีที่ 3 | 100 |
| ก.5.3 ประสิทธิภาพของการฟุ้งหมอกในการทดลองกรณีที่ 3 | 102 |
| ก.5.4 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 3 | 103 |
| ก.6.1 ผลการทดลองกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบฟุ้งหมอก และสเปรย์น้ำ ที่หลังคาโรงเรือน | 104 |
| ก.6.2 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนในการทดลองกรณีที่ 2 | 106 |
| ก.6.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการฟุ้งหมอก ในการทดลองกรณีที่ 4 | 108 |
| ก.6.4 ประสิทธิภาพของการฟุ้งหมอกในการทดลองกรณีที่ 4 | 110 |
| ก.6.5 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 4 | 111 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 2.1 | แผนภูมิไซโครเมตริก6 |
| 2.2 | การจำลองการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ6 |
| 2.3 | (ก) ระบบการเพิ่มความชื้นให้อากาศ..... 10 |
| 2.3 | (ข) กระบวนการบนแผนภูมิไซโครเมตริก 10 |
| 2.4 | แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศหลังจากได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์..... 15 |
| 2.5 | แสดงความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดซับจากตาข่ายพรางแสง17 |
| 2.6 | แสดงความร้อนที่ถูกระบายออกจากตาข่ายพรางแสง..... 18 |
| 2.7 | เส้นกระบวนการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของอากาศจะบนแผนภูมิไซโครเมตริก 22 |
| 3.1 | การวางตำแหน่งหัวพ่นหมอกและเซนเซอร์25 |
| 3.2 | การควบคุมการทำงานของระบบพ่นหมอกและการระบายอากาศ.....26 |
| 3.3 | การจัดวางอุปกรณ์สำหรับผู้ควบคุมการทำงานของระบบพ่นหมอก28 |
| 3.4 | แผนภาพการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก 30 |
| 3.5 | แผนภาพการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน31 |
| 3.6 | การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก32 |
| 4.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา..... 44 |
| 4.2 | ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา45 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา | 46 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนกับเวลา..... | 47 |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเวลา..... | 48 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา..... | 49 |
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา..... | 50 |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน โรงเรือนกับเวลา | 50 |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนกับเวลา..... | 51 |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เก็บสะสมในต๋ายพรางแสงและความร้อนที่ระบายออกจากการสเปร์ย์น้ำกับเวลา..... | 52 |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเวลา..... | 53 |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา..... | 54 |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา | 55 |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา | 56 |
| 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนกับเวลา..... | 56 |
| 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเวลา..... | 57 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายใน โรงเรือนจากการวัด และการวิเคราะห์ห้กับเวลา..... | 58 |
| 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการวัด และการวิเคราะห์ห้กับเวลา..... | 59 |
| 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการพ่นหมอกกับเวลา..... | 60 |
| 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลี้งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายใน โรงเรือนกับเวลา..... | 61 |
| 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน โรงเรือนกับเวลา..... | 62 |
| 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน โรงเรือนกับเวลา..... | 63 |
| 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือน และอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนกับเวลา..... | 64 |
| 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เก็บสะสมในตาข่ายพรางแสงและความร้อน ที่ระบายออกจากการสเปย์น้ำกับเวลา..... | 65 |
| 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้า กับเวลา..... | 66 |
| 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายใน โรงเรือนจากการวัด และการวิเคราะห์ห้กับเวลา..... | 67 |
| 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการวัด และการวิเคราะห์ห้กับเวลา..... | 68 |
| 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการพ่นหมอกกับเวลา..... | 69 |
| 4.29 การเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 4 กรณี..... | 71 |
| 4.30 การเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้ง 4 กรณี..... | 72 |
| 4.31 การเปรียบเทียบการดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงทั้ง 4 กรณี..... | 74 |
| 4.32 การเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทั้ง 4 กรณี..... | 75 |
| 4.33 การเปรียบเทียบการระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนทั้ง 2 กรณี..... | 76 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.34 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก ทั้ง 2 กรณี | 77 |
| 4.35 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี | 78 |
| ค.1 โรงเรือนต้นแบบที่สร้างขึ้น | 120 |
| ค.2 ติดตั้งหัวสปริงเกอร์สำหรับการสเปรย์น้ำเพื่อลดอุณหภูมิให้กับตาข่ายพรางแสง..... | 120 |
| ค.3 การต่อเครื่องสูบน้ำสำหรับสูบน้ำให้ผ่านไปยังหัวสปริงเกอร์ | 121 |
| ค.4 เซนเซอร์ DHT22..... | 121 |
| ค.5 หัวพ่นหมอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร | 122 |
| ค.6 เครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอก..... | 122 |
| ค.7 การหาอัตราการไหลของของการพ่นหมอก | 123 |
| ค.8 การวัดอุณหภูมิที่ระบายความร้อนจากกลับ | 123 |
| ค.9 ผู้ควบคุมการทำงานองระบบพ่นหมอก | 124 |
| ค.10 การวัดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์..... | 124 |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

อักษรภาษาอังกฤษ

| | | |
|----------------|---|---|
| A_c | = | พื้นที่ของหลังคาโรงเรือน, (m^2) |
| $c_{p,a}$ | = | ความร้อนจำเพาะของอากาศ, ($kJ/kg\cdot K$) |
| $c_{p,i}$ | = | ค่าความร้อนจำเพาะในโรงเรือนเพาะปลูก, ($kJ/kg\cdot ^\circ C$) |
| c_{sn} | = | ความร้อนจำเพาะของตาข่ายพรางแสง, ($kJ/kg\cdot ^\circ C$) |
| C_1 | = | ค่าคงที่ มีค่า -5.8002206×10^3 , (ไม่มีหน่วย) |
| C_2 | = | ค่าคงที่ มีค่า 1.3914993 , (ไม่มีหน่วย) |
| C_3 | = | ค่าคงที่ มีค่า $-4.8640239 \times 10^{-2}$, (ไม่มีหน่วย) |
| C_4 | = | ค่าคงที่ มีค่า 4.1764768×10^{-5} , (ไม่มีหน่วย) |
| C_5 | = | ค่าคงที่มีค่า $-1.4452093 \times 10^{-8}$, (ไม่มีหน่วย) |
| C_6 | = | ค่าคงที่มีค่า 6.5459673 , (ไม่มีหน่วย) |
| h | = | เอนทาลปีของอากาศ, (kJ/kg) |
| h_{cw} | = | เอนทาลปีของน้ำระบายความร้อนตาข่ายพรางแสง, (kJ/kg) |
| h_e | = | ค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำ, (kJ/kg) |
| h_{fg} | = | ความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิภายในโรงเรือน, (kJ/kg) |
| h_{wf} | = | เอนทาลปีของน้ำที่ใช้พ่นหมอก, (kJ/kg) |
| m_a | = | มวลอากาศแห้ง, (kg_{dry}) |
| m_{sn} | = | มวลของตาข่ายพรางแสง, (kg) |
| m_η | = | มวลไอน้ำอากาศ, (kg_{dry}) |
| m_{wf} | = | มวลของน้ำที่ใช้พ่นหมอก, (kg) |
| m_{ws} | = | มวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศขณะนั้นรับได้, (kg_w) |
| \dot{m}_a | = | อัตราการไหลของอากาศแห้ง, (kg/s) |
| \dot{m}_{cw} | = | อัตราการการของน้ำระบายความร้อนตาข่ายพรางแสง, (kg/s) |
| \dot{m}_e | = | อัตราการระเหยของน้ำระบายความร้อนวัสดุที่บแสง, (kg/s) |
| \dot{m}_{wc} | = | อัตราการไหลของน้ำจากเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอก, (kg/s) |
| \dot{m}_{wf} | = | อัตราการไหลของน้ำที่ฉีดเข้าไปในระบบ, (kg/s) |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | |
|---------------------------|---|---|
| N | = | อัตราการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกโรงเรียน |
| P | = | ความดันบรรยากาศ, (Pa) |
| P_w | = | ความดันไอน้ำในอากาศ, (Pa) |
| P_{ws} | = | ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว, (Pa) |
| Q_{air} | = | พลังงานความร้อนที่อากาศคายออกมา, (kJ) |
| \dot{Q}_{absorb} | = | อัตราความร้อนที่ต่ายพรางแสงดูดซับ, (kW) |
| \dot{Q}_{cool} | = | อัตราความร้อนที่น้ำระบายให้กับต่ายพรางแสง, (kW) |
| \dot{Q}_i | = | อัตราความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในของอากาศภายในเรือน, (kW) |
| \dot{Q}_{leak} | = | อัตราความร้อนที่เข้าสู่โรงเรียน, (kW) |
| \dot{Q}_{solar} | = | อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านวัสดุทึบแสงสู่โรงเรียน, (kW) |
| $\dot{Q}_{solar,inside}$ | = | อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในโรงเรียนเพาะปลูก, (kW) |
| $\dot{Q}_{solar,outside}$ | = | อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรียนเพาะปลูก, (kW) |
| t | = | เวลาในการพ่นหมอก, (s) |
| t_{tot} | = | เวลาการทำงานของระบบพ่นหมอกทั้งหมด, (s) |
| T_{db} | = | อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, (K) |
| T_i | = | อุณหภูมิภายในโรงเรียน, ($^{\circ}C$) |
| T_o | = | อุณหภูมิภายนอกโรงเรียน, ($^{\circ}C$) |
| T_{sn} | = | อุณหภูมิของต่ายพรางแสง, ($^{\circ}C$) |
| T_{wb} | = | อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ, ($^{\circ}C$) |
| T_L | = | อุณหภูมิผิวใบของพืช, ($^{\circ}C$) |
| U | = | ค่า Over all heat transfer coefficient วัสดุหลังคาที่ใช้, ($W/m^2-^{\circ}C$) |
| v | = | ปริมาตรจำเพาะของอากาศ, (m^3/kg) |
| V_a | = | ปริมาตรของอากาศภายในโรงเรียน, (m^3) |
| V_t | = | ปริมาตรของโรงเรียนเพาะปลูก, (m^3) |
| VP_{air} | = | ความดันของอากาศ, (kPa) |
| VP_{sat} | = | ความดันอิ่มตัวในใบของพืช, (kPa) |

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | |
|------------------|---|--|
| x | = | อัตราส่วนความชื้น, ($\text{kg}_w/\text{kg}_{\text{dry}}$) |
| Z | = | ความสูงจากระดับน้ำทะเล, (m) |
| อักษรกรีก | | |
| η_{ic} | = | ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก, (%) |
| η_{mc} | = | ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก ตลอดช่วงเวลาการทำงาน, (%) |
| ρ_i | = | ความหนาแน่นของอากาศภายในโรงเรือน, (kg/m^3) |
| ϕ | = | ความชื้นสัมพัทธ์, (ไม่มีหน่วย) |
| ตัวห้อย | | |
| 1 | = | สภาวะก่อนการพ่นหมอก หรือสภาวะที่ 1 |
| 2 | = | สภาวะหลังการพ่นหมอก หรือสภาวะที่ 2 |
| 2' | = | จุดที่อากาศอิ่มตัว |
| i | = | ด้านทางเข้าหรือด้านในโรงเรือน |
| o | = | ด้านทางออกหรือด้านนอกโรงเรือน |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ผักปลอดสารพิษเป็นที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มบุคคลที่ต้องการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ ในปัจจุบันเมื่อมีโซเซียลเน็ตเวิร์กเข้ามาสู่ชีวิตประจำวันของคนไทย กระแสการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผักปลอดสารพิษเป็นที่ต้องการในท้องตลาดมากขึ้น การปลูกพืชผักให้ปราศจากสารพิษทำได้ยาก และมีต้นทุนที่สูง เนื่องจากไม่สามารถควบคุมปริมาณแร่ธาตุภายในดินและน้ำให้คงที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกได้ ทำให้ผลผลิตที่ได้น้อยลง บางครั้งจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อบำรุงผักเหล่านั้นให้ได้รับแร่ธาตุสารอาหารที่เพียงพอและเหมาะสม ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนให้แก่เกษตรกรส่วนหนึ่ง แมลงศัตรูพืชเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของผักลดลง เพราะแมลงเหล่านี้จะเข้าไปกัดกินผลผลิตโดยตรง แมลงบางชนิด เช่น เพลี้ยไฟ จะเข้าไปทำลายน้ำเลี้ยงในยอดอ่อนหรือใบอ่อนทำให้ผักหยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด การกำจัดแมลงศัตรูพืชนี้ต้องใช้สารเคมีซึ่งจะทำให้มีสารพิษตกค้างในผักที่ปลูกได้และเป็นการเพิ่มต้นทุนของเกษตรกรด้วย โรคของพืชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของผักปลอดสารพิษมีปริมาณที่ลดลง และยังสามารถทำลายผักได้ทั้งแปลงได้หากมีการแพร่ระบาดของเชื้อรา เชื้อไวรัส และเชื้อแบคทีเรีย โดยต้องใช้สารเคมีบางชนิดมาฉีดพ่นเพื่อป้องกันและรักษาโรคระบาด ทำให้ผักเหล่านั้นปนเปื้อนสารเคมีที่เป็นพิษรวมถึงเพิ่มต้นทุนเข้ามาอีกด้วย และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ ผักบางชนิดปลูกได้ในสภาพอากาศที่เหมาะสมเท่านั้น หากนำไปปลูกในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าปกติ หรือไม่สามารถปลูกได้ ทำให้ผักเหล่านี้ขาดแคลนในบางพื้นที่ วิธีการหนึ่งที่น่านำมาใช้ในการปลูกผักให้ปราศจากโรคระบาด แมลงศัตรูพืช สามารถควบคุมแร่ธาตุ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศได้คือ การเพาะปลูกพืชในโรงเรือนเพาะปลูก แต่ยังคงเป็นการลงทุนที่สูงซึ่งเกษตรกรรายย่อยไม่สามารถลงทุนได้ โรงเรือนเพาะปลูกในปัจจุบันสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในได้ แต่อุปกรณ์ภายในระบบโรงเรือนมีราคาสูง โรงเรือนรูปแบบหนึ่งที่มีราคาถูก สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้ระดับหนึ่งคือ โรงเรือนแบบพ่นหมอก แต่โรงเรือนแบบนี้ยังคงทำงานได้ไม่ดีนัก เนื่องจากพลังงานความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายัง โรงเรือนมีปริมาณค่อนข้างสูง ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกขึ้นภายในโรงเรือน การติดตามข่ายพรางแสงสามารถ

ลดอุณหภูมิของอากาศภายใน โรงเรือนได้ แต่เมื่อตาข่ายพรางแสงนั้นได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นเวลานานจะเกิดความร้อนสะสมในตัวตาข่ายพรางแสงนั้น ความร้อนจากตาข่ายพรางแสงจะถูกถ่ายเทในรูปแบบการแผ่รังสีความร้อนเข้ามาในโรงเรือนเพาะปลูกทำให้ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงควรระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงนี้เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนได้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการสร้างระบบระบายความร้อนของตาข่ายพรางแสงที่นำมาปกคลุมหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกเพื่อลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และทดสอบสมรรถนะการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากโรงเรือนที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้เกษตรกรรายย่อยสามารถนำไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมแก่การเพาะปลูกของตนได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกอัตโนมัติที่มีระบบระบายความร้อนของตาข่ายพรางแสงที่นำมาปกคลุมหลังคาของโรงเรือน
2. เพื่อประเมินสมรรถนะการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ โรงเรือนที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โรงเรือนเพาะปลูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยการพ่นหมอกละอองน้ำ
2. ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น MEGA 2560 ในการควบคุมระบบพ่นหมอก
3. สถานที่ทำการทดลอง ณ อาคารจักรกลเกษตร ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา (พิกัดละติจูด $14^{\circ}53'32.5''\text{N}$ ลองจิจูด $102^{\circ}00'18.1''\text{E}$)
4. โรงเรือนเพาะปลูกมีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 8 เมตร และสูง 3 เมตร ชนิดหลังคาโค้งวางตัวตามแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
5. ควบคุมค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD) ระหว่าง 0.5 kPa ถึง 1.2 kPa
6. ติดตั้งตาข่ายพรางแสงที่ส่วน โคนหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกเท่านั้น
7. ในการศึกษาวิจัยพิจารณาพลังงานความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนจากรังสีดวงอาทิตย์เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โรงเรียนเพาะปลูกด้วยแบบพ่นหมอกที่สามารถลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ พร้อมกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้
2. ทราบถึงสมรรถนะการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ โรงเรือนที่พัฒนาขึ้น



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงเรือนเพาะปลูก

โรงเรือนเพาะปลูกคือโรงเรือนที่มีโครงสร้างของผนังและหลังคาเป็นวัสดุโปร่งแสง ซึ่งแสงสามารถผ่านเข้ามายังโรงเรือนได้ทุกความยาวคลื่นแสง (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2550) จุดเด่นของโรงเรือนเพาะปลูกคือสามารถปลูกพืชผักได้ทุกชนิดในทุกพื้นที่ เนื่องจากภายในโรงเรือนมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นรวมถึงความเข้มของแสงที่อาจเป็นอันตรายต่อพืชผักเหล่านั้นได้อีกทั้งยังสามารถควบคุมปริมาณแร่ธาตุที่พืชผักต้องการ สามารถลดโอกาสการติดโรคระบาดพืชจากภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก ป้องกันแมลงศัตรูพืชเข้ามากัดกินและทำลายพืชผักภายในโรงเรือนเพาะปลูกได้ จุดเด่นเหล่านี้จึงเป็นการลดการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืชและสารเคมีรักษาโรคของพืชได้ จึงกล่าวได้ว่า พืชผักที่ปลูกภายในโรงเรือนเพาะปลูกเป็นพืชผักปลอดสารพิษ (วิไลภรณ์ ชนกันนำชัย และปฎิวัติ วงศ์รัตนธรรม, 2551)

โรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก เป็นโรงเรือนแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เพาะปลูกพืชในพื้นที่เขตร้อน ซึ่งมีการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) ข้อดีของโรงเรือนแบบนี้คือ ช่วยให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนลดลงจากการระเหยของน้ำ ส่งผลให้ความร้อนภายในโรงเรือนลดลง และทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงขึ้น (เฉลิมชาติ เสาวราช, กระจวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2561) การลดอุณหภูมิด้วยการพ่นหมอกคือ การระเหยน้ำแบบหนึ่ง อาศัยการพ่นหมอกขนาดเล็กผ่านหัวพ่นหมอก หมอกที่ได้นี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 60 ไมโครเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ (Arbel A. A. Shklyar and M. Barak, 2000) โดยจะพ่นหมอกเหนือพื้นที่เพาะปลูกให้ตกลงมาอย่างอิสระและสัมผัสกับอากาศภายในโรงเรือน แล้วเกิดการระเหยกลายเป็นไอน้ำอึดตัวรวมตัวอยู่กับอากาศ ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงและมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงขึ้น

2.2 คุณสมบัติของอากาศ

2.2.1 ความดันอึดตัวของไอน้ำ

ความดันไอน้ำอึดตัว (Saturation pressure) คือ ความดันที่น้ำเริ่มกลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งความดันไอน้ำอึดตัวนี้เป็นค่าคุณสมบัติของอากาศที่จำเป็นในการวิเคราะห์หาค่า

คุณสมบัติของอากาศอื่น ๆ โดยความดันไออิ่มตัวของอากาศในช่วงอุณหภูมิ 0°C ถึง 200°C สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 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 ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ -5.8002206×10^3 |
| | C_2 | คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 1.3914993 |
| | C_3 | คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $-4.8640239 \times 10^{-2}$ |
| | C_4 | คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 4.1764768×10^{-5} |
| | C_5 | คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $-1.4452093 \times 10^{-8}$ |
| | C_6 | คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 6.5459673 |
| | P_{ws} | คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัว, Pa |
| | T_{db} | คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, K |

2.2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก

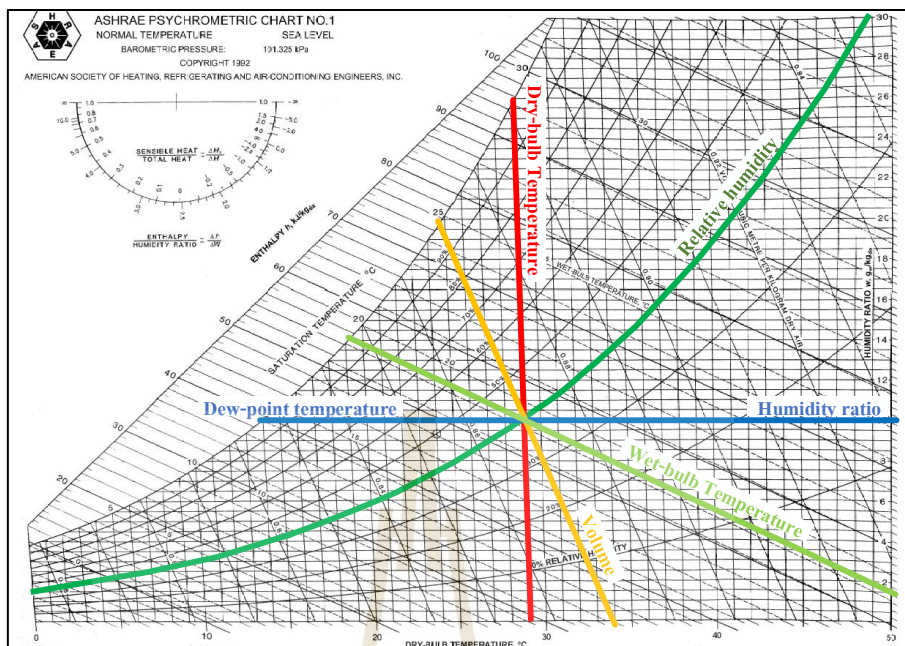
แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) คือ แผนภูมิที่แสดงค่าคุณสมบัติของอากาศที่สถานะต่าง ๆ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 ซึ่งสามารถใช้ค่าคุณสมบัติของอากาศเหล่านี้มาประเมินหาภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของระบบปรับอากาศ รวมถึงการหาปริมาณน้ำที่ควบแน่นหรือไอน้ำที่ถูกเติมเข้าไปในอากาศได้

2.2.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

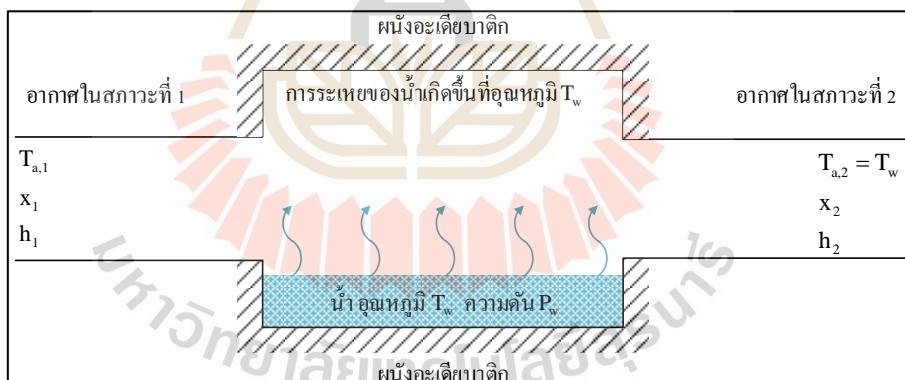
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-Blub temperature) คือ อุณหภูมิของอากาศที่สามารถอ่านได้โดยตรงจากเทอร์โมมิเตอร์ โดยค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งจะแสดงในแนวแกนนอนของแผนภูมิไซโครเมตริก

2.2.4 อุณหภูมิกระเปาะเปียก

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Blub temperature) คือ อุณหภูมิที่น้ำระเหยเข้าไปในอากาศและทำให้อากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริก (ASHRAE, 2009)



รูปที่ 2.2 การจำลองการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

รูปที่ 2.2 เป็นการจำลองการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศโดยการใส่ลำลี ชุ่มน้ำหุ้มเทอร์โมมิเตอร์ และพิจารณาลำลีในส่วนเล็ก ๆ เป็นผนังอะเดียบาติก ภายในลำลีมีน้ำบรรจุอยู่ เมื่ออากาศในสภาวะที่ 1 ซึ่งเป็นอากาศไม่อิ่มตัว ผ่านเข้าไปลำลี น้ำจะระเหยไปยังอากาศ เนื่องจากความดันของน้ำมีมากกว่าความดันของอากาศ เมื่อน้ำระเหยเข้าไปในอากาศ ความดันของน้ำจะลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำลดลงไปด้วย เมื่อน้ำระเหยเข้าไปในอากาศจนอากาศอิ่มตัว หรืออากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้อีก อุณหภูมิของน้ำจะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศอิ่มตัวขณะนั้น

ซึ่งอุณหภูมินี้คืออุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่วัดได้ (สุรพล พฤษพานิช, 2529) ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะแสดงอุณหภูมิกระเปาะเปียกตามแนวเส้นทแยงของแผนภูมิ ดังรูปที่ 2.2 หากทราบอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จะสามารถคำนวณหาอุณหภูมิกระเปาะเปียกได้จากสมการที่ 2.2 (Roland Stull, 2011)

$$T_{wb} = T_{db} \tan^{-1}(0.0151977(\phi + 8.313659)^{1/2}) + \tan^{-1}(T_{db} + \phi) - \tan^{-1}(\phi - 1.676331) + 0.00391838(\phi)^{3/2} \tan^{-1}(0.023101 \phi) - 4.686035 \quad (2.2)$$

เมื่อ T_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก, °C
 ϕ คือ ความชื้นสัมพัทธ์, ไม่มีหน่วย

2.2.5 อุณหภูมิจุดกลั่นตัว

อุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dew-Point temperature) คือ อุณหภูมิที่เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิมตัวและกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ (Condensate) ที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) คงที่ (ASHRAE, 2009)

2.2.6 อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ (Humidity ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลไอน้ำในอากาศต่อมวลอากาศแห้ง ซึ่งแสดงในแนวแกน y ของแผนภูมิไซโครเมตริก เขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.3

$$x = \frac{m_w}{m_a} \quad (2.3)$$

เมื่อ x คือ อัตราส่วนความชื้น, kg_w/kg_{dry}
 m_w คือ มวลไอน้ำในอากาศ, kg_w
 m_a คือ มวลอากาศแห้ง, kg_{dry}

นอกจากนี้ ยังสามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นได้จากความสัมพัทธ์ของความดันไอน้ำจริงในอากาศกับความดันอากาศ ดังสมการที่ 2.4 (ASHRAE, 2009)

$$x = 0.62198 \frac{P_w}{P - P_w} \quad (2.4)$$

เมื่อ P คือ ความดันบรรยากาศ, Pa
 P_w คือ ความดันไอน้ำในอากาศ, Pa

2.2.7 ความดันบรรยากาศ

ความดันบรรยากาศ (Pressure atmosphere) คือ แรงกดของอากาศที่กระทำกับพื้นที่หนึ่งหน่วย ซึ่งมีหน่วยเป็น ปาสกาล (Pascal) ซึ่งความดันที่นิยมใช้อ้างอิงเป็นมาตรฐานคือ ความดันที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 101.325 โดยสามารถคำนวณหาความดันบรรยากาศที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ตามสมการที่ 2.5 (ASHRAE, 2009)

$$P = 101.325(1 - 2.25577 \times 10^{-5})^{5.2559} \quad (2.5)$$

เมื่อ Z คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล, m

2.2.8 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ ความสัมพันธ์ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลไอน้ำในอากาศต่อมวลไอน้ำที่อากาศขณะนั้นรับได้ หรือความดันไอน้ำในอากาศต่อความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์จะแสดงบนเส้นโค้งของแผนภูมิไซโครเมตริกดังรูปที่ 2.1 ซึ่งสามารถคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามสมการที่ 2.6 (ASHRAE, 2009)

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

เมื่อ m_{ws} คือ มวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศขณะนั้นรับได้, kg_w
 P_{ws} คือ ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว, Pa

2.2.9 เอนทาลปี

เอนทาลปี (Enthalpy) คือ ปริมาณความร้อนในอากาศซึ่งสามารถอ่านค่าได้ตามเส้นทะแยงที่มีความชันใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกในแผนภูมิไซโครเมตริก ซึ่งเป็นผลรวมของความร้อนสองส่วนดังนี้

1) ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) คือ ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่มีอัตราส่วนความชื้นคงที่

2) ความร้อนแฝง (Latent heat) คือ ความร้อนของการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำในอากาศ หรือการเปลี่ยนแปลงมวลไอน้ำในอากาศ ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่

เมื่อทราบค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศแล้วสามารถคำนวณหาเอนทาลปีของอากาศได้ตามสมการที่ 2.7 (ASHRAE, 2009)

$$h = 1.006T_{db} + x(2501 + 1.805T_{db}) \quad (2.7)$$

เมื่อ h คือ เอนทาลปีของอากาศ, kJ/kg

2.2.10 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ

ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume) คือ ปริมาตรของอากาศขณะนั้นต่อมวลของอากาศขณะนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 (ASHRAE, 2009)

$$v = \frac{V_a}{m_a} = \frac{0.287(T_{db} + 273.15)(1 + 1.607x)}{P} \quad (2.8)$$

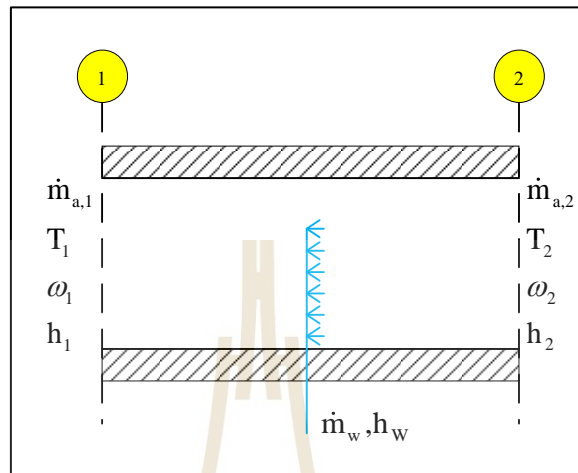
เมื่อ v คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศ, m^3/kg

V_a คือ ปริมาตรของอากาศ, m^3

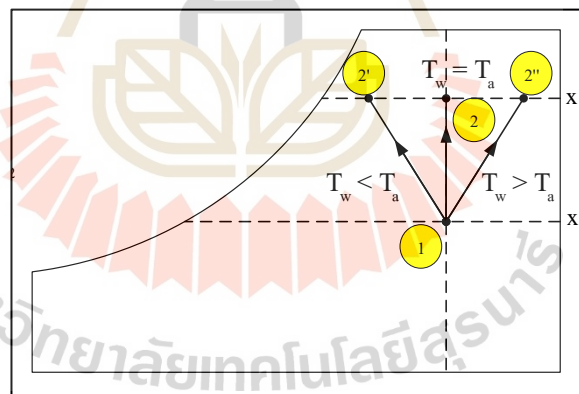
2.3 กระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ

กระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ (รูปที่ 2.3 ก) คือ กระบวนการที่เติมไอน้ำเข้าไปในอากาศแห้งทำให้อัตราส่วนความชื้นและเอนทาลปีของอากาศสูงขึ้น ตามเส้นกระบวนการ 1 - 2 (รูปที่ 2.3 ข) อัตราส่วนความชื้นของอากาศสูงขึ้นเนื่องจากอากาศมีมวลไอน้ำเพิ่มขึ้น เอนทาลปี

ของอากาศเพิ่มขึ้นเนื่องจากเอนทรานปีของไอน้ำที่ถูกเพิ่มเข้าไปในอากาศ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกกระบวนการเพิ่มความชื้นว่ากระบวนการทำให้ความร้อนแฝงเปลี่ยน (สุรพล พุกษพานิช, 2529)



รูปที่ 2.3 (ก) ระบบการเพิ่มความชื้นให้อากาศ



รูปที่ 2.3 (ข) กระบวนการบนแผนภูมิไซโครเมตริก

จากรูปที่ 2.3ก สามารถเขียนสมการสมดุลมวลและสมดุลพลังงานได้ดังนี้
การสมดุลมวลของอากาศแห้ง

$$\dot{m}_{a,1} = \dot{m}_{a,2} \quad (2.9)$$

การสมดุลมวลของไอน้ำในอากาศ

$$\dot{m}_{a,1} x_1 + \dot{m}_{wf} = \dot{m}_{a,2} x_2 \quad (2.10)$$

การสมดุลพลังงาน

$$\dot{m}_{a,1} h_1 + \dot{m}_{wf} h_{wf} = \dot{m}_{a,2} h_2 \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.9 ถึงสมการที่ 2.11 สามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 2.12

$$h_{wf} = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} \quad (2.12)$$

| | | |
|-------|-----------------|---|
| เมื่อ | $\dot{m}_{a,1}$ | คือ อัตราการไหลของอากาศแห้งสถานะที่ 1, kg/s |
| | $\dot{m}_{a,2}$ | คือ อัตราการไหลของอากาศแห้งสถานะที่ 2, kg/s |
| | \dot{m}_{wf} | คือ อัตราการไหลของน้ำที่ฉีดเข้าไปในระบบ, kg/s |
| | x_1 | คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศในสถานะที่ 1, kg _w /kg _{dry} |
| | x_2 | คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศในสถานะที่ 2, kg _w /kg _{dry} |
| | h_1 | คือ เอนทาลปีของอากาศในสถานะที่ 1, kJ/kg |
| | h_2 | คือ เอนทาลปีของอากาศในสถานะที่ 2, kJ/kg |
| | h_{wf} | คือ เอนทาลปีของน้ำที่ฉีดเข้าไปในระบบ, kJ/kg |

จากรูปที่ 2.3 (ข) และสมการที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าในกระบวนการเพิ่มความชื้นนี้จะทำให้ อัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจะเป็นไปได้ 3 กรณี

- 1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเพิ่มขึ้น ตามเส้นกระบวนการ 1 - 2" ดังรูปที่ 2.3 (ข)
เมื่อ อุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ ($T_w > T_a$)
- 2) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศคงที่ ตามเส้นกระบวนการ 1 - 2" ดังรูปที่ 2.3 (ข)
เมื่ออุณหภูมิของน้ำเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของ ($T_w = T_a$)

- 3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศลดลง ตามเส้นกระบวนการ 1 – 2' ดังรูปที่ 2.3 (ข)
เมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ ($T_w < T_a$)

2.4 การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการพ่นหมอก

พิจารณาให้มวลของน้ำที่ใช้พ่นหมอกมีสถานะคงตัว (Steady state condition) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและเป็นไปตามกฎทรงมวล โดยสามารถหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการพ่นหมอกได้ดังสมการที่ 2.13

$$m_w = \frac{V_t (x_2 - x_1)}{V_1} \quad (2.13)$$

| | | |
|-------|-------|---|
| เมื่อ | m_w | คือ มวลของน้ำที่ใช้พ่นหมอก, kg |
| | V_t | คือ ปริมาตรของโรงเรือนเพาะปลูก, m^3 |
| | V_1 | คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศก่อนการพ่นหมอก, m^3/kg_{dry} |
| | x_1 | คือ อัตราส่วนความชื้นก่อนการพ่นหมอก, kg_w/kg_{dry} |
| | x_2 | คือ อัตราส่วนความชื้นหลังการพ่นหมอก, kg_w/kg_{dry} |

2.5 การคำนวณหาความร้อนที่อากาศในโรงเรือนคายออกมา

เมื่อพ่นหมอกเข้าสู่โรงเรือนแล้ว อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนจะเปลี่ยนแปลงไป เกิดจากการคายความร้อนของอากาศแห้งในโรงเรือนสู่อุณหภูมิไอน้ำในอากาศ สามารถคำนวณหาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ได้ตามสมการที่ 2.14

$$Q_{air} = \frac{V_t c_{p,a} (T_{db,2} - T_{db,1})}{V_1} \quad (2.14)$$

| | | |
|-------|------------|--|
| เมื่อ | Q_{air} | คือ พลังงานความร้อนที่อากาศคายออกมา, kJ |
| | $c_{p,a}$ | คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ, kJ/kg K |
| | $T_{db,1}$ | คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก, °C |
| | $T_{db,2}$ | คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนหลังการพ่นหมอก, °C |

2.6 ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือน

ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนัง และหลังคาโรงเรือน และความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศภายใน โรงเรือน สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.15 (ASAE, 2003)

$$\dot{Q}_{\text{leak}} = \dot{Q}_{\text{solar}} + \dot{Q}_i \quad (2.15)$$

เมื่อ \dot{Q}_{leak} คือ ความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือน, kW
 \dot{Q}_{solar} คือ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านตาข่ายพรางแสงสู่โรงเรือน, kW
 \dot{Q}_i คือ ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศภายในเรือน, kW

2.6.1 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังและหลังคาโรงเรือน

ความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือน คือ ความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ การพาความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์กับผิวหลังคาที่ผนังของโรงเรือน และการนำความร้อนผ่านวัสดุหลังคาของโรงเรือน โดยความร้อนเข้าสู่โรงเรือนหาได้จากสมการที่ 2.16 (ASAE, 2003)

$$\dot{Q}_{\text{solar}} = UA_c (T_i - T_o) \quad (2.16)$$

เมื่อ U คือ ค่า Over all heat transfer coefficient วัสดุหลังคาที่ใช้ หาได้จากตารางที่ 2.1
 A_c คือ พื้นที่ของหลังคา, m^2
 T_i คือ อุณหภูมิภายในโรงเรือน, $^{\circ}C$
 T_o คือ อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน, $^{\circ}C$

ตารางที่ 2.1 ค่าประมาณของ Over all heat transfer coefficient สำหรับวัสดุที่ใช้สร้าง โรงเรือน

| วัสดุปกคลุมโรงเรือน | Over all heat transfer coefficient | |
|---|------------------------------------|-------------------|
| | W/m ² ·°C | Btu/(h · ft · °F) |
| Single glass, sealed | 6.2 | 1.1 |
| Single glass, low emissivity | 5.4 | 0.95 |
| Double glass, sealed | 3.7 | 0.65 |
| Single plastic | 6.2 | 1.1 |
| Single polycarbonate, corrugated | 6.2-6.8 | 1.1-1.2 |
| Single fiberglass, corrugated | 5.7 | 1.0 |
| Double polyethylene | 4.0 | 0.70 |
| Double polyethylene, IR inhibited | 2.8 | 0.50 |
| Rigid acrylic, double-wall | 3.2 | 0.56 |
| Rigid polycarbonate, double-wall | 3.2-3.6 | 0.56-0.63 |
| Rigid acrylic, w/polystyrene pellets | 0.57 | 0.10 |
| Double polyethylene over glass | 2.8 | 0.50 |
| Single glass and thermal blanket | 4.0 | 0.70 |
| Double polyethylene and thermal blanket | 2.5 | 0.44 |

ที่มา : ASAE (2003)

2.6.2 ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศภายในเรือน

ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศภายใน โรงเรือน คือ ความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสถานะของน้ำภายในโรงเรือน หาได้จากสมการที่ 2.17 (ASAE, 2003)

$$\dot{Q}_i = \rho_i NV \left[c_{p,i} (T_i - T_o) + h_{fg} (\phi_i - \phi_o) \right] \quad (2.17)$$

- เมื่อ
- ρ_i คือ ความหนาแน่นของอากาศภายในโรงเรือน, kg/m³
 - N คือ อัตราการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกโรงเรือน, s⁻¹ หรือ h⁻¹ หาได้จากตารางที่ 2.2
 - V คือ ปริมาตรของอากาศภายในโรงเรือน, m³
 - $c_{p,i}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะในโรงเรือนเพาะปลูก, kJ/kg·°C

- h_{fg} คือ ความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิภายในโรงเรือน, kJ/kg
- ϕ_1 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน, ไม่มีหน่วย
- ϕ_2 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน, ไม่มีหน่วย

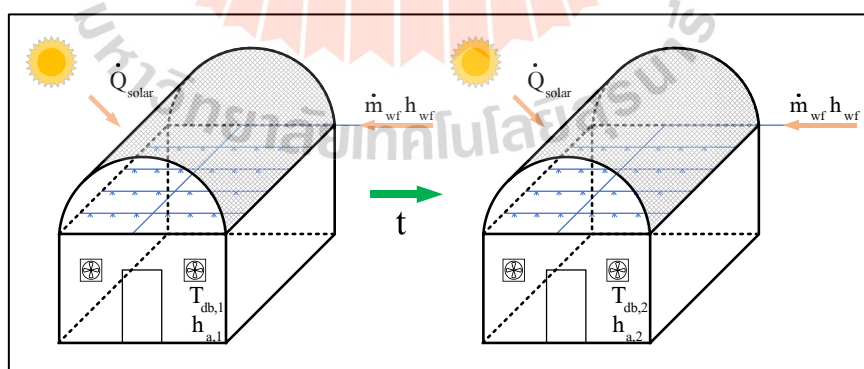
ตารางที่ 2.2 อัตราการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกโรงเรือน

| ชนิดของวัสดุ | อัตราการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกโรงเรือน | |
|--------------------------|--|------------|
| | s^{-1} | h^{-1} |
| <u>New construction</u> | | |
| double plastic film | $2.1 \times 10^{-4} - 4.1 \times 10^{-4}$ | 0.75 - 1.5 |
| glass or fiberglass | $1.4 \times 10^{-4} - 2.8 \times 10^{-4}$ | 0.5 - 1.0 |
| <u>Old construction:</u> | | |
| glass, good maintenance | $2.8 \times 10^{-4} - 5.6 \times 10^{-4}$ | 1.0 - 2.0 |
| glass, poor maintenance | $5.6 \times 10^{-4} - 11.1 \times 10^{-4}$ | 2.0 - 4.0 |

ที่มา : ASAE (2003)

2.7 การสมดุลมวลและการสมดุลพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูก

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศ เมื่ออากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และพลังงานจากการพ่นหมอกเข้าสู่โรงเรือน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศหลังจากได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบพ่นหมอก อากาศจะมีอุณหภูมิเท่ากับ $T_{db,1}$ และเอนทาลปีมีค่าเท่ากับ $h_{a,1}$ เมื่อเวลาผ่านไปอากาศภายในโรงเรือนได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และ

ได้รับมวลของน้ำที่พ่นหมอกเข้าไปเป็นระยะเวลา t วินาที อากาศจะมีอุณหภูมิเป็น $T_{db,2}$ และเอนทาลปีเท่ากับ $h_{a,2}$ ซึ่งเอนทาลปีของอากาศในสภาวะหลังการพ่นหมอกนี้สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 2.18

$$\dot{Q}_{solar} + \dot{m}_{wf} h_{wf} = \frac{m_a (h_{a,2} - h_{a,1})}{t} \quad (2.18)$$

เมื่อ \dot{Q}_{solar} คือ ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านตาข่ายพรางแสงสู่โรงเรือน, kW
 \dot{m}_{wf} คือ อัตราการไหลของน้ำจากเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอก, kg/s
 t คือ เวลาในการพ่นหมอก, s
 h_{wf} คือ เอนทาลปีของน้ำที่ใช้พ่นหมอก, kJ/kg

ในกรณีที่ไม่นับพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์สามารถคำนวณหาค่าเอนทาลปีของอากาศในสภาวะหลังการพ่นหมอกได้ดังสมการที่ 2.19

$$\dot{m}_{wf} h_{wf} = \frac{m_a (h_{a,2} - h_{a,1})}{t} \quad (2.19)$$

จากสมการที่ 2.18 และสมการที่ 2.19 ทำให้สามารถทราบถึงเอนทาลปีของอากาศในสภาวะหลังจากการพ่นหมอก นำไปสู่การวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในสภาวะหลังการพ่นหมอก ($T_{db,2}$) ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.7 มาจัดรูปใหม่ ซึ่งจะได้ดังสมการที่ 2.20 (ASHRAE, 2009)

$$T_{db,2} = \frac{h_{a,2} - 2501x_2}{1.006 + 1.805x_2} \quad (2.20)$$

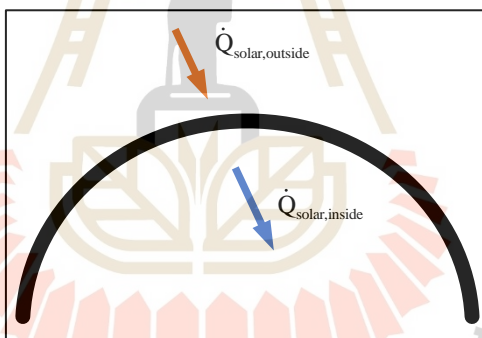
เมื่อ x_2 คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศในโรงเรือนหลังการพ่นหมอก, kg_w/kg_{dry}

2.8 การระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงของโรงเรือนเพาะปลูก

การติดตาข่ายพรางแสงที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูกสามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนได้ แต่เมื่อตาข่ายพรางแสงนั้นได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นเวลานานจะเกิดความร้อนสะสมในตัวตาข่ายพรางแสง ความร้อนจากตาข่ายพรางแสงจะแผ่รังสีความร้อนเข้ามาในโรงเรือนเพาะปลูกทำให้ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงควรระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงนี้เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนได้ดียิ่งขึ้น (เฉลิมชาติ เสาวราช, 2560)

2.8.1 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกหลังคาดูดซับ

เนื่องจากหลังคาของโรงเรือนที่คลุมตาข่ายพรางแสงมีส่วนช่วยดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ได้ ดังนั้น ตาข่ายพรางแสงซึ่งเป็นตาข่ายพรางแสงจะกักเก็บความร้อนไว้ในตัววัสดุ ทำให้แสงที่ผ่านเข้าไปในโรงเรือนมีความร้อนที่ลดลง ดังรูปที่ 2.5 และความร้อนที่ถูกตาข่ายพรางแสงดูดซับไว้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.21



รูปที่ 2.5 แสดงความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดซับจากตาข่ายพรางแสง

$$\dot{Q}_{\text{absorb}} = \dot{Q}_{\text{solar,outside}} - \dot{Q}_{\text{solar,inside}} \quad (2.21)$$

| | | |
|-------|----------------------------------|--|
| เมื่อ | \dot{Q}_{absorb} | คือ อัตราความร้อนที่ตาข่ายพรางแสงดูดซับ, kW |
| | $\dot{Q}_{\text{solar,outside}}$ | คือ อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนเพาะปลูก, kW |
| | $\dot{Q}_{\text{solar,inside}}$ | คือ อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในโรงเรือนเพาะปลูก, kW |

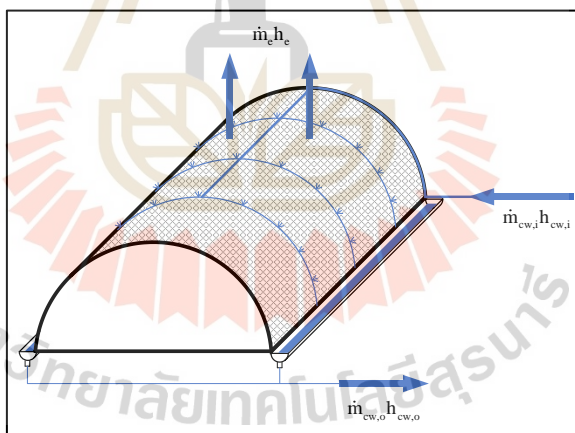
โดยที่ค่าอัตราความร้อนที่ตาข่ายพรางแสงดูดซับสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตาข่ายพรางแสงได้ดังสมการที่ 2.22

$$\dot{Q}_{\text{absorb}} = \frac{m_{\text{sn}} c_{\text{sn}} (T_{\text{sn},2} - T_{\text{sn},1})}{t} \quad (2.22)$$

| | | |
|-------|-------------------|--|
| เมื่อ | m_{sn} | คือ มวลของตาข่ายพรางแสง, kg |
| | c_{sn} | คือ ความร้อนจำเพาะของตาข่ายพรางแสง, kJ/kg-°C |
| | $T_{\text{sn},1}$ | คือ อุณหภูมิของตาข่ายพรางแสงในสถานะที่ 1, °C |
| | $T_{\text{sn},2}$ | คือ อุณหภูมิของตาข่ายพรางแสงในสถานะที่ 2, °C |

2.8.2 การระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสง

เมื่อตาข่ายพรางแสงได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นเวลานานจะเกิดความร้อนสะสมในตัวตาข่ายพรางแสง ดังนั้นการระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงสามารถทำได้โดยการพ่นน้ำเพื่อให้ น้ำรับความร้อนจากตาข่ายพรางแสงจะส่งผลให้อุณหภูมิของตาข่ายพรางแสงลดลง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 และเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.23



รูปที่ 2.6 แสดงความร้อนที่ถูกระบายออกจากตาข่ายพรางแสง

$$\dot{Q}_{\text{cool}} = \dot{m}_{\text{cw},o} h_{\text{cw},o} - \dot{m}_{\text{cw},i} h_{\text{cw},i} - \dot{m}_e h_e \quad (2.23)$$

| | | |
|-------|-------------------------|--|
| เมื่อ | \dot{Q}_{cool} | คือ ความร้อนที่น้ำระบายให้กับตาข่ายพรางแสง, kW |
| | $\dot{m}_{\text{cw},i}$ | คือ อัตราการไหลทางเข้าของน้ำระบายความร้อนตาข่ายพรางแสง, kg/s |
| | $\dot{m}_{\text{cw},o}$ | คือ อัตราการไหลทางออกของน้ำระบายความร้อนตาข่ายพรางแสง, kg/s |

- $h_{cw,i}$ คือ เอนทาลปีของน้ำระบายความร้อนตาข่ายพรางแสงด้านทางเข้า, kJ/kg
 $h_{cw,o}$ คือ เอนทาลปีของน้ำระบายความร้อนตาข่ายพรางแสงด้านทางออก, kJ/kg
 \dot{m}_c คือ อัตราการระเหยของน้ำระบายความร้อนตาข่ายพรางแสง, kg/s
 h_c คือ ค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำ, kJ/kg

2.9 แร้งดึงระเหยน้ำของอากาศ

แร้งดึงระเหยน้ำของอากาศ (Vapor pressure deficit, VPD) คือ ค่าที่บ่งบอกความสามารถของสิ่งแวดล้อมที่ดึงเอาน้ำออกจากพืช ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิผิวใบของพืช ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$VPD = VP_{sat} - VP_{air} \quad (2.24)$$

$$VP_{sat} = \frac{610.7 \times 10^{((7.5T_L)/(237.3+T_L))}}{1000} \quad (2.25)$$

$$VP_{air} = \frac{(610.7 \times 10^{((7.5T_{lb})/(237.3+T_{lb}))}) \left(\frac{\phi}{100}\right)}{1000} \quad (2.26)$$

- เมื่อ VP_{sat} คือ ความดันอิ่มตัวในใบของพืช, kPa
 VP_{air} คือ ความดันของอากาศ, kPa
 T_L คือ อุณหภูมิผิวใบของพืช, °C

ค่าแร้งดึงระเหยน้ำของอากาศที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชจะอยู่ที่ 0.5-1.2 kPa ถ้ามีค่าที่ต่ำกว่า 0.5 การคายน้ำของพืชต่ำส่งผลให้พืชดูดซึมน้ำและสารอาหารจากดินได้น้อยลง หากมากกว่า 1.2 kPa การคายน้ำของพืชจะสูงส่งผลให้พืชเกิดการสูญเสียน้ำและแห้งเหี่ยวได้ ในปี ค.ศ. 2009 ทางบริษัท Argus Control Systems ได้สรุปค่าแร้งดึงระเหยน้ำของอากาศที่อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลงเป็นตารางเพื่อสะดวกต่อการนำค่าแร้งดึงระเหยน้ำของอากาศไปวิเคราะห์ใช้ในการสร้างโรงเรือนเพาะปลูก ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ในหน่วย kPa
(Argus Control Systems Limited., 2009)

| อุณหภูมิ (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ (%) | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| 15 | 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 | 0.00 |
| 16 | 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 | 0.00 |
| 17 | 1.26 | 1.16 | 1.07 | 0.97 | 0.87 | 0.77 | 0.68 | 0.58 | 0.48 | 0.39 | 0.29 | 0.19 | 0.10 | 0.00 |
| 18 | 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 | 0.00 |
| 19 | 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 | 0.00 |
| 20 | 1.52 | 1.40 | 1.29 | 1.17 | 1.05 | 0.94 | 0.82 | 0.70 | 0.58 | 0.47 | 0.35 | 0.23 | 0.12 | 0.00 |
| 21 | 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 | 0.00 |
| 22 | 1.72 | 1.59 | 1.45 | 1.32 | 1.19 | 1.06 | 0.93 | 0.79 | 0.66 | 0.53 | 0.40 | 0.26 | 0.13 | 0.00 |
| 23 | 1.83 | 1.69 | 1.54 | 1.40 | 1.26 | 1.12 | 0.98 | 0.84 | 0.70 | 0.56 | 0.42 | 0.28 | 0.14 | 0.00 |
| 24 | 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 | 0.00 |
| 25 | 2.06 | 1.90 | 1.74 | 1.58 | 1.43 | 1.27 | 1.11 | 0.95 | 0.79 | 0.63 | 0.48 | 0.32 | 0.16 | 0.00 |
| 26 | 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 | 0.00 |
| 27 | 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 | 0.00 |
| 28 | 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 | 0.00 |
| 29 | 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 | 0.00 |
| 30 | 2.76 | 2.55 | 2.33 | 2.12 | 1.91 | 1.70 | 1.48 | 1.27 | 1.06 | 0.85 | 0.64 | 0.42 | 0.21 | 0.00 |
| 31 | 2.92 | 2.69 | 2.47 | 2.25 | 2.02 | 1.80 | 1.57 | 1.35 | 1.12 | 0.90 | 0.67 | 0.45 | 0.22 | 0.00 |
| 32 | 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 | 0.00 |
| 33 | 3.27 | 3.02 | 2.77 | 2.51 | 2.26 | 2.01 | 1.76 | 1.51 | 1.26 | 1.01 | 0.75 | 0.50 | 0.25 | 0.00 |
| 34 | 3.46 | 3.19 | 2.92 | 2.66 | 2.39 | 2.13 | 1.86 | 1.60 | 1.33 | 1.06 | 0.80 | 0.53 | 0.27 | 0.00 |
| 35 | 3.65 | 3.37 | 3.09 | 2.81 | 2.53 | 2.25 | 1.97 | 1.69 | 1.41 | 1.12 | 0.84 | 0.56 | 0.28 | 0.00 |
| 36 | 3.86 | 3.56 | 3.27 | 2.97 | 2.67 | 2.38 | 2.08 | 1.78 | 1.48 | 1.19 | 0.89 | 0.59 | 0.30 | 0.00 |
| 37 | 4.08 | 3.76 | 3.45 | 3.14 | 2.82 | 2.51 | 2.20 | 1.88 | 1.57 | 1.25 | 0.94 | 0.63 | 0.31 | 0.00 |
| 38 | 4.31 | 3.97 | 3.64 | 3.31 | 2.98 | 2.65 | 2.32 | 1.99 | 1.66 | 1.32 | 0.99 | 0.66 | 0.33 | 0.00 |
| 39 | 4.54 | 4.19 | 3.84 | 3.49 | 3.15 | 2.80 | 2.45 | 2.10 | 1.75 | 1.40 | 1.05 | 0.70 | 0.35 | 0.00 |
| 40 | 4.79 | 4.42 | 4.06 | 3.69 | 3.32 | 2.95 | 2.58 | 2.21 | 1.84 | 1.47 | 1.11 | 0.74 | 0.37 | 0.00 |
| 41 | 5.05 | 4.67 | 4.28 | 3.89 | 3.50 | 3.11 | 2.72 | 2.33 | 1.94 | 1.56 | 1.17 | 0.78 | 0.39 | 0.00 |
| 42 | 5.33 | 4.92 | 4.51 | 4.10 | 3.69 | 3.28 | 2.87 | 2.46 | 2.05 | 1.64 | 1.23 | 0.82 | 0.41 | 0.00 |
| 43 | 5.61 | 5.18 | 4.75 | 4.32 | 3.89 | 3.45 | 3.02 | 2.59 | 2.16 | 1.73 | 1.30 | 0.86 | 0.43 | 0.00 |
| 44 | 5.91 | 5.46 | 5.00 | 4.55 | 4.09 | 3.64 | 3.18 | 2.73 | 2.27 | 1.82 | 1.36 | 0.91 | 0.45 | 0.00 |
| 45 | 6.23 | 5.75 | 5.27 | 4.79 | 4.31 | 3.83 | 3.35 | 2.87 | 2.39 | 1.92 | 1.44 | 0.96 | 0.48 | 0.00 |

Too high or Too low VPD

Borderline VPD

Optimal VPD

ที่มา : Argus Control Systems Limited. (2009)

2.10 ปรีทัศน์วรรณกรรม

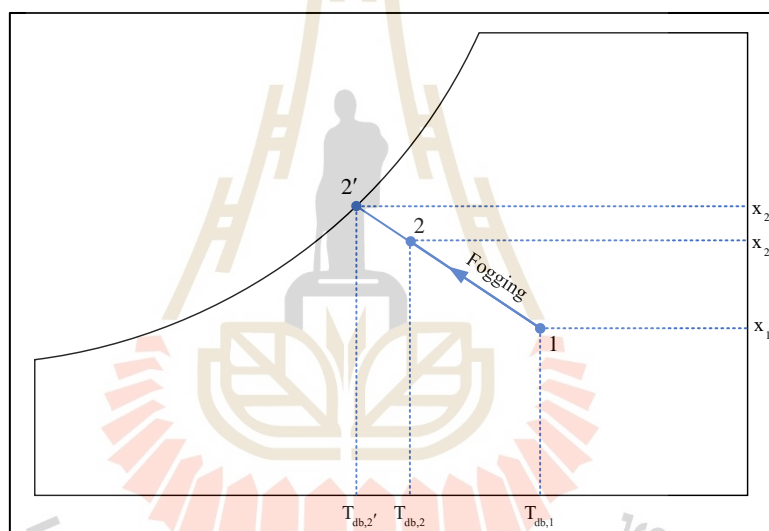
2.10.1 การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก

ธนากร น้ำหอมจันทร์ และอดิกร เสรีพัฒนานนท์ (2557) ได้ออกแบบและสร้างโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling system) ร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบออตโนมัตติ (Fogging system) โดยการใช้ PLC มาเป็นตัวควบคุมระบบเพื่อรักษาอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนระหว่าง 25°C ถึง 35°C และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 60% ถึง 80% พบว่า อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนที่ออกแบบและสร้างเฉลี่ยอยู่ที่ 30.45°C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเฉลี่ย 80.45% โดยใช้การสเปรย์น้ำเฉลี่ย 10 นาทีต่อวัน และใช้การระเหยของน้ำเฉลี่ย 6.73 ชั่วโมงต่อวัน

บุญญฤทธิ์ เผือกสามัญญ ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์ และบัญญัติ เสรฐฐิติ(2557) ได้นำหอทำน้ำเย็น (Cooling tower) มาประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์เพื่อเพิ่มผลผลิตพืช โดยการใช้หอทำน้ำเย็นลดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลายแร่ธาตุและสารอาหารร่วมกับระบบการลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกโดยการพ่นหมอกไอน้ำร่วมกัน แบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธี ได้แก่ (1) ไม่ติดตั้งระบบทำความเย็น (CT0F0) (2) ติดตั้งเฉพาะหอทำน้ำเย็น (CT1F0) (3) ติดตั้งเฉพาะระบบพ่นหมอก (CT0F1) (4) ติดตั้งทั้งหอทำน้ำเย็นและระบบพ่นหมอก (CT1F1) จากผลการทดสอบทั้ง 4 กรรมวิธีใน 2 ฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูหนาว การติดตั้งหอทำน้ำเย็นและระบบพ่นหมอกร่วมกันมีความสามารถในการเพิ่มผลผลิตของเรดโอ๊ค แต่ผลผลิตของบัตเตอร์เฮดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนในช่วงฤดูร้อน การติดตั้งหอทำน้ำเย็นและระบบพ่นหมอกร่วมกันมีความสามารถในการเพิ่มผลผลิตของผักทุกชนิดขึ้น แต่กรีนโอ๊คจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

ศุภวุฒิ ผลกา, สันติ วงศ์ใหญ่ และอดิสร ฤมยา (2557) ได้พัฒนาระบบการลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมแก่การเพาะเห็ดของโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อเป็น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปางโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ADU842 ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ SHT15 ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ในตัวเดียวกันมาควบคุมการทำงานของปั๊มที่จ่ายให้กับหัวสปริงเกอร์ภายในโรงเพาะเห็ดให้มีอุณหภูมิของอากาศอยู่ในช่วง 22°C ถึง 36°C และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 70% ถึง 90% ผลที่ได้หลังจากทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คือ ได้ปริมาณเห็ดเพิ่มขึ้นจาก 8.9 กิโลกรัมเป็น 19 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 113% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำของหัวสปริงเกอร์โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมีปริมาณการใช้น้ำลดลงจาก 110 ลิตร เหลือ 40 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเปิด-ปิดหัวสปริงเกอร์โดยคน

เฉลิมชาติ เสาวราช และคณะ (2561) ได้แสดงการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความชื้นที่จุด 2 (x_2) โดยจุด 1 คือ จุดคุณสมบัติอากาศก่อนพ่นหมอกสามารถวัดได้โดยการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง จุด 2' คือ จุดที่อากาศอิ่มตัวความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 100% ซึ่งจะมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ($T_{db,2'} = T_{wb,2'} = T_{wb,1}$) เส้นกระบวนการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของอากาศจะเริ่มจากจุด 1 ตามเส้นคงที่บนแผนภูมิไซโครเมตริกของอุณหภูมิกระเปาะเปียกไปยังจุด 2 ดังรูปที่ 2.6 ในการศึกษาที่กำหนดให้เส้นกระบวนการหยุดที่จุด 2 ซึ่งมีอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 80% ของอัตราส่วนความชื้นในจุด 2' เพื่อควบคุมไม่ให้อากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินไป โดยอัตราส่วนความชื้นที่จุด 2 จะพิจารณาได้จากสมการที่ 2.27



รูปที่ 2.7 เส้นกระบวนการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นของอากาศจะบนแผนภูมิไซโครเมตริก

$$x_2 = x_1 + 0.8(x_{2'} - x_1) \quad (2.27)$$

- เมื่อ x_1 คือ อัตราส่วนความชื้นที่จุด 1 เป็นจุดคุณสมบัติของอากาศก่อนการพ่นหมอก, kg_w/kg_{dry}
 x_2 คือ อัตราส่วนความชื้นที่จุด 2 เป็นจุดคุณสมบัติของอากาศหลังการพ่นหมอกมีอัตราส่วนความชื้น 80% ของอัตราส่วนความชื้นจุด 2', kg_w/kg_{dry}
 $x_{2'}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่จุด 2' เป็นจุดที่อากาศอิ่มตัว, kg_w/kg_{dry}

2.10.2 ประสิทธิภาพของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก

Abdel-Ghany A. M. and Kozai T. (2006) ได้เสนอวิธีการหาประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศก่อนพ่นหมอกและหลังพ่นหมอก แสดงได้ดังสมการที่ 2.28

$$\eta_{ic} = \frac{T_{db,1} - T_{db,2}}{T_{db,1} - T_{wb,2}} \quad (2.28)$$

หรือสามารถหาประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกตลอดช่วงเวลาการทำงานได้จากสมการ

$$\eta_{mc} = \frac{1}{t_{tot}} \int_0^{t_{tot}} \eta_{ic}(t) dt \quad (2.29)$$

เมื่อ η_{ic} คือ ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก
 η_{mc} คือ ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกตลอดช่วงเวลาการทำงาน
 t_{tot} คือ เวลาการทำงานของระบบพ่นหมอกทั้งหมด, วินาที

2.10.3 การวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

Abdel-Ghany A. M. และ Kozai T. (2006) ได้เสนอสมการการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมาคำนวณ ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 2.2 เมื่อเปรียบเทียบการคำนวณจากสมการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 5% ถึง 99% อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ -20°C ถึง 50°C พบว่า ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ได้จากการวัดจริงในอากาศมีความคลาดเคลื่อนกับการคำนวณจากสมการอยู่ที่ 0.3°C

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการสร้างระบบระบายความร้อนของตาข่ายพรางแสงที่นำมาปกคลุมหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกเพื่อลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ และทดสอบสมรรถนะการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากโรงเรือนที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้เกษตรกรรายย่อยสามารถนำไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมแก่แปลงผักของตนได้ต่อไป

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการดำเนินการวิจัยสร้างโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกต้นแบบและทดสอบประสิทธิภาพของโรงเรือนในแต่ละกรณีมีดังนี้

- 1) โรงเรือนเพาะปลูกมีขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร และสูง 3 เมตร โดยใช้ท่อเหล็กเคลือบสังกะสี (Galvanized steel pipe) เป็นโครงสร้างและคลุมด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) 2 ชั้น
- 2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเซนเซอร์ DHT22 ยี่ห้อ ASAIR รุ่น AM2302 ที่มีความคลาดเคลื่อน $\pm 2\%RH \pm 0.5^{\circ}C$ จำนวน 3 ตัวร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Arduino รุ่น MEGA 2560
- 3) เครื่อง Solar Power Meter ยี่ห้อ TENMARS รุ่น TM-206 ที่มีความคลาดเคลื่อน ± 0.38 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หมายเลขเครื่อง 111004621
- 4) เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด ยี่ห้อ testo รุ่น 830-T1 ที่มีความคลาดเคลื่อน $\pm 1^{\circ}C$ ที่อุณหภูมิ $0.1^{\circ}C$ ถึง $400^{\circ}C$ หมายเลขเครื่อง 41852330
- 5) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลยี่ห้อ Timer Scale รุ่น MS-K07 ขนาด 3,000 กรัม ความละเอียด 0.1 กรัม สำหรับการชั่งน้ำหนักของน้ำที่ไหล เข้า-ออกจากเครื่องสูบน้ำ
- 6) หัวพ่นหมอกยี่ห้อ Fogeasy ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร จำนวน 18 หัว ทำงานร่วมกับเครื่องสูบน้ำยี่ห้อ Fogeasy ขนาด 24 โวลต์โดยใช้ไฟฟ้าแบบกระแสตรง ความดัน 12 บาร์ อัตราการไหล 5 ลิตรต่อวินาที
- 7) ตาข่ายพรางแสงยี่ห้อ Fonte รุ่น SH-02 สีดำ สามารถพรางแสงแดดได้ 50%
- 8) เครื่องสูบน้ำยี่ห้อ Vigotech รุ่น TCPM-158B ขนาด 1 แรงม้า (0.75 วัตต์) สำหรับการ สเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือนเพื่อระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสง

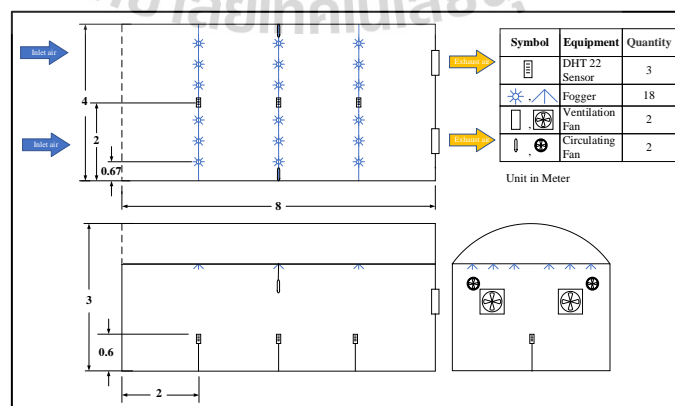
9) พัดลมระบายอากาศยี่ห้อ VENZ รุ่น IF 14 ขนาดใบพัด 14 นิ้ว อัตราการไหลของอากาศ 2,100 CFM กินกำลังไฟฟ้า 1/4 แรงม้า จำนวน 2 ชุด

10) พัดลมระบายอากาศยี่ห้อ Hatari รุ่น HF-VW30M3(N) มีขนาดใบพัด 12 นิ้ว อัตราการไหล 15 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที กินกำลังไฟฟ้า 27 วัตต์ จำนวน 2 ตัว

11) หัวสปริงเกอร์ ยี่ห้อไฮโยไปป์ รุ่น 321-L จำนวน 10 หัว

3.2 การออกแบบโรงเรือนเพาะปลูก

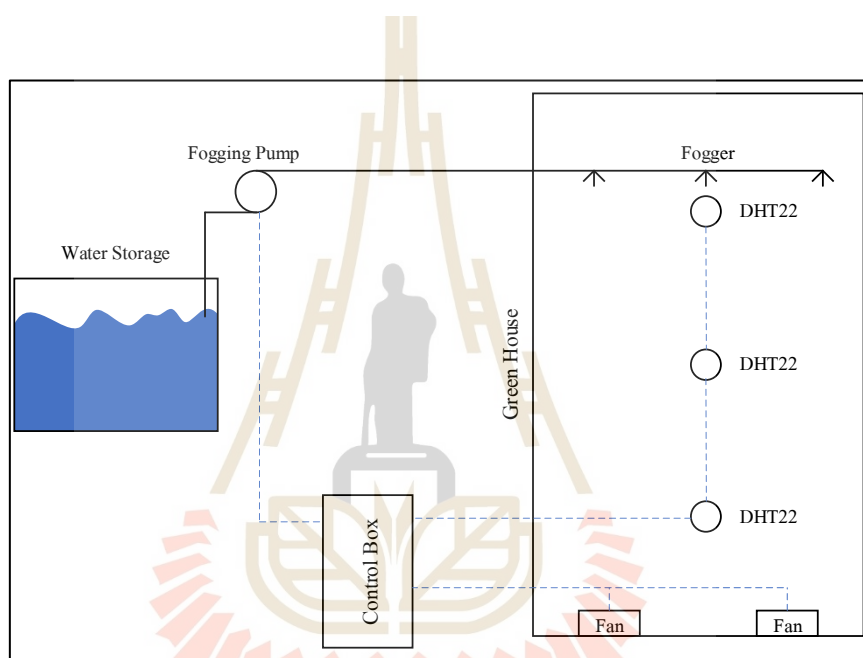
โรงเรือนเพาะปลูกมีขนาดความกว้าง 4 เมตร ความยาว 8 เมตร สูง 3 เมตร ใช้โครงสร้างท่อเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized steel pipe) ผึงและหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกใช้พลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) 2 ชั้นมาปกคลุม โดยหลังคาโรงเรือนมีลักษณะเป็นหลังคาโค้งและคลุมด้วยตาข่ายพรางแสง (Shading net) ยี่ห้อ Fonte ที่สามารถพรางแสงแดดได้ 50% เพิ่มเข้าไปอีก 1 ชั้น ติดตั้งหัวสปริงเกอร์รอบหลังคาโรงเรือนจำนวน 10 หัว สำหรับการสเปรย์น้ำเพื่อลดอุณหภูมิให้กับตาข่ายพรางแสง และต่อชุดหัวสปริงเกอร์นี้เข้ากับเครื่องสูบน้ำยี่ห้อ Vigotech เพื่อสูบน้ำให้ผ่านไปยังหัวสปริงเกอร์ ภายในโรงเรือนเพาะปลูกติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (DHT22) จำนวน 3 ตัว ห่างกัน 2 เมตร บริเวณแนวกึ่งกลางโรงเรือนเพาะปลูก ติดตั้งหัวพ่นหมอกจำนวน 18 หัว ในระยะที่เท่ากันเพื่อให้สามารถพ่นหมอกได้กระจายไปทั่วโรงเรือน และติดตั้งพัดลมสำหรับหมุนเวียนอากาศจำนวน 2 ตัว ยี่ห้อ Hatari รุ่น HF-VW30M3(N) เพื่อช่วยให้อากาศภายในโรงเรือนหมุนเวียนได้ดี ส่วนด้านหน้าของโรงเรือน ติดตั้งพัดลมระบายอากาศยี่ห้อ VENZ รุ่น IF 14 จำนวน 2 ตัว สำหรับการระบายอากาศภายในตัวโรงเรือนเพาะปลูก ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การวางตำแหน่งหัวพ่นหมอกและเซนเซอร์

3.3 การออกแบบการควบคุมการพ่นหมอกของโรงเรือน

ในการศึกษานี้ได้แบ่งการควบคุมการพ่นหมอกของโรงเรือนเพาะปลูกออกเป็น 2 แบบ คือ การควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในโรงเรือน และการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูก โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกเพื่อนำค่าที่ได้ไปประมวลผลที่ตู้ควบคุมการพ่นหมอก (Control box) เพื่อสั่งการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอก (Fogging pump) และพัดลมระบายอากาศ (Fan) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การควบคุมการทำงานของระบบพ่นหมอกและการระบายอากาศ 296 445

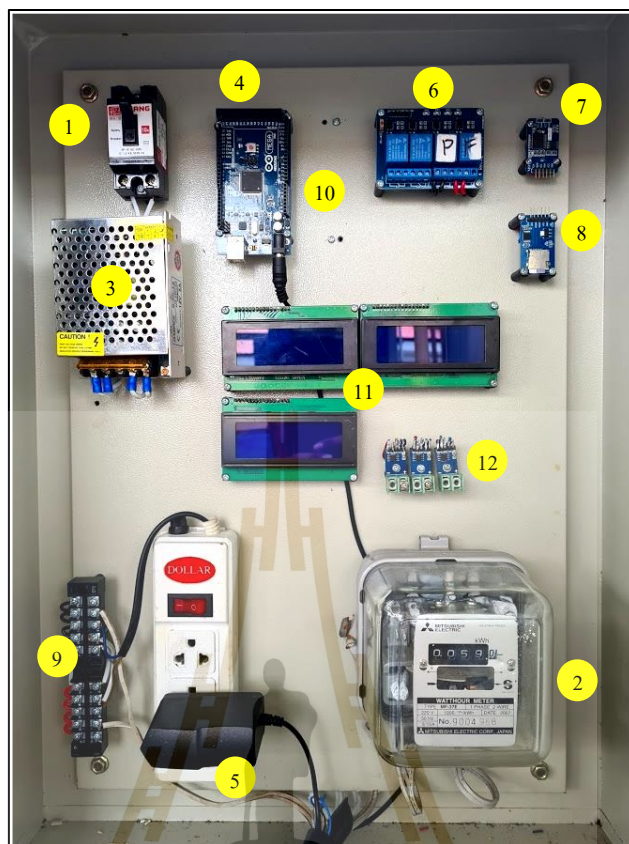
3.3.1 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับผู้ควบคุมการทำงานของระบบพ่นหมอก

การศึกษานี้จำเป็นต้องสร้างตู้ควบคุมการทำงานของระบบพ่นหมอก เพื่อให้มีความเป็นระเบียบและสะดวกต่อการศึกษามากขึ้น โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้สร้างระบบการควบคุมการพ่นหมอกแสดงดังตารางที่ 3.1 และการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เริ่มต้นจากนำมิเตอร์ไฟฟ้า (2) ติดตั้งลงตู้ควบคุม จากนั้นเดินสายไฟฟ้ากระแสสลับออกจากมิเตอร์ไฟฟ้าไปสู่เมนเบรกเกอร์ (1) เพื่อใช้เป็นสวิตช์ควบคุมการจ่ายไฟให้กับตู้ควบคุม จากนั้นเดินสายไฟฟ้ากระแสสลับไปสู่เทอร์มินอลต่อสายไฟฟ้ากระแสสลับ (9) เพื่อกระจายไฟฟ้าไปยัง สวิตชิง (3) อะแดปเตอร์ (5) และ รีเลย์ (6) อะแดปเตอร์จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์

เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์เพื่อจ่ายไฟให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 (4) จากนั้นเดินสายไฟไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ไปยังเทอร์มินอลต่อสายไฟไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งติดตั้งด้านหลังตู้ควบคุม (10) และต่อสายสัญญาณสำหรับรับข้อมูลอุณหภูมิจากโมดูลเทอร์โมคัปเปิล (12) ต่อสายสัญญาณสำหรับรับข้อมูลอุณหภูมิกระแสเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากเซนเซอร์ DHT22 ที่อยู่ภายในโรงเรือนเพาะปลูก ต่อสายสัญญาณสำหรับรับข้อมูล วันที่และเวลาจากโมดูลนาฬิกา (7) จากนั้นต่อสายสัญญาณสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศไปที่รีเลย์ จากนั้นต่อสายสัญญาณสำหรับการแสดงผลไปที่จอ LCD (11) และต่อสายสัญญาณสำหรับบันทึกข้อมูลลง MicroSD card ไปที่โมดูลสำหรับเขียน/อ่าน MicroSD card (8)

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์สำหรับการจัดวางอุปกรณ์ในตู้ควบคุมการทำงานของระบบพ่นหมอก

| ลำดับ | รายการ | จำนวน | หน่วย |
|-------|--|-------|-------|
| 1 | เมนเบรกเกอร์ 10 แอมป์ | 1 | ตัว |
| 2 | มิเตอร์ไฟฟ้า | 1 | ตัว |
| 3 | สวิตซ์ 12 โวลต์ 5 แอมป์ | 1 | ตัว |
| 4 | บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 | 1 | ตัว |
| 5 | อะแดปเตอร์ 5 โวลต์ 1 แอมป์ AC to DC | 1 | ตัว |
| 6 | โมดูลรีเลย์ 4 คอนแทก ขนาด 5 โวลต์ DC 220 โวลต์ AC | 1 | ตัว |
| 7 | โมดูลนาฬิกา (RTC) รุ่น DS1302 | 1 | ชุด |
| 8 | โมดูลสำหรับเขียน/อ่าน MicroSD card | 1 | ชุด |
| 9 | เทอร์มินอลต่อสาย AC | 1 | ตัว |
| 10 | เทอร์มินอลต่อสาย DC | 1 | ตัว |
| 11 | จอ LCD แสดงผลข้อความ 20 ตัวอักษร 4 แถว เชื่อมต่อผ่าน I2C | 3 | ชุด |
| 12 | โมดูลเทอร์โมคัปเปิล รุ่น K-Type Thermocouple MAX6675 | 3 | ชุด |



รูปที่ 3.3 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับตู้ควบคุมการทำงานของระบบพัดลม

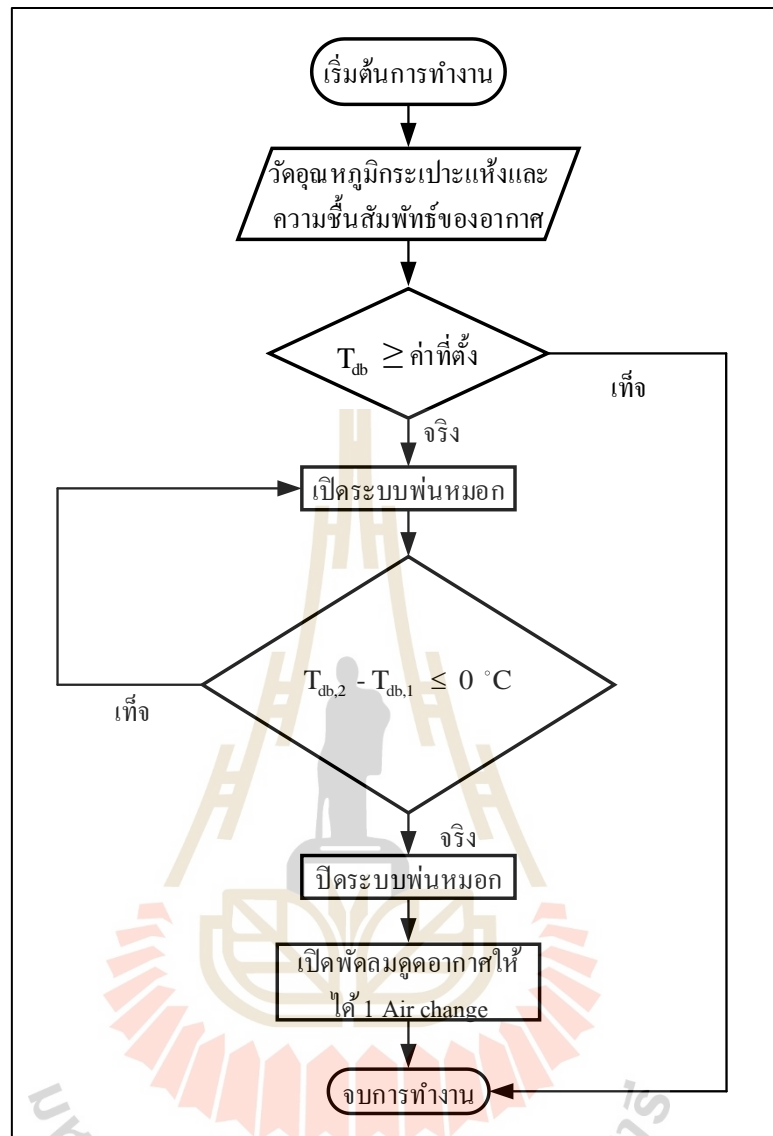
3.3.2 การออกแบบการควบคุมการพัดลมโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

การควบคุมการพัดลมโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก จะใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรับค่าวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูก โดยให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ เริ่มต้นการทำงานของระบบพัดลมหากอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์เพื่อให้เครื่องสูบน้ำสำหรับการพัดลมทำงาน เมื่อเวลาผ่านไป 1 คาบเวลาบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผล หากผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนก่อนคาบเวลาปัจจุบันลบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนในคาบเวลาปัจจุบันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 ($T_{db,2} - T_{db,1} \leq 0$) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้รีเลย์ทำงานเครื่องสูบน้ำสำหรับการพัดลมต่อไป หากผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

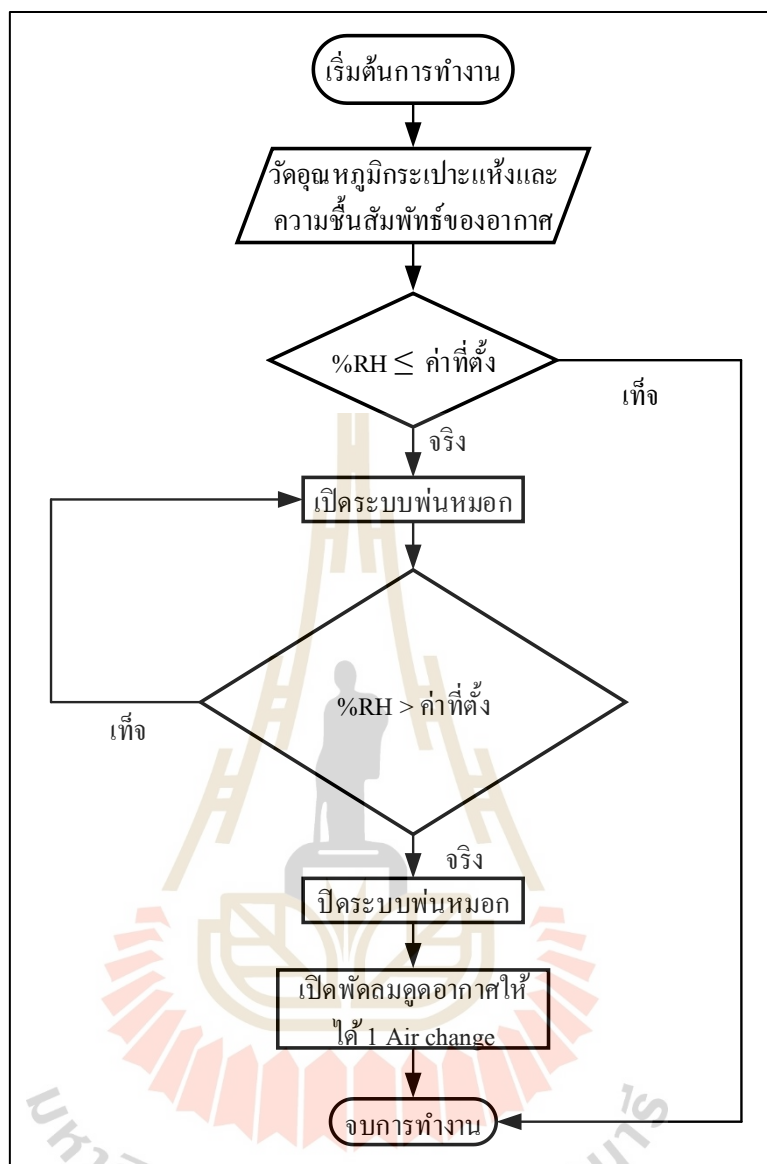
ภายในโรงเรือนก่อนคาบเวลาปัจจุบันลบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน ในคาบเวลาปัจจุบันมากกว่า 0 ($T_{db,2} - T_{db,1} > 0$) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้รีเลย์หยุดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอก และสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงานโดยใช้เวลาเท่ากับการระบายอากาศ 1 อัตราการหมุนเวียนอากาศ (1 Air change rate) จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในคาบเวลาปัจจุบัน หากมีค่ามากกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้รีเลย์เปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกต่อไป หากมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้รีเลย์ปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ จนกว่าจะมีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่สูงกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ โดยมีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.4

3.3.3 การออกแบบการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

การควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรับค่าวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูก โดยให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เริ่มต้นการทำงานของระบบพ่นหมอก หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณสั่งให้รีเลย์เปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอก เมื่อเวลาผ่านไป 1 คาบเวลา บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพื่อนำมาประมวลผล หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณสั่งให้รีเลย์เปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกต่อไป หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าสูงกว่าที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้รีเลย์ปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกและเปิดพัดลมระบายอากาศโดยใช้เวลาเท่ากับการระบายอากาศ 1 อัตราการหมุนเวียนอากาศ จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในคาบเวลาปัจจุบัน หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้รีเลย์เปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกต่อไป หากมีค่ามากกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตั้งไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้รีเลย์ปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำ จนกว่าจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต่ำกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ โดยมีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แผนภาพการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ
ภายในโรงเรือนเพาะปลูกร

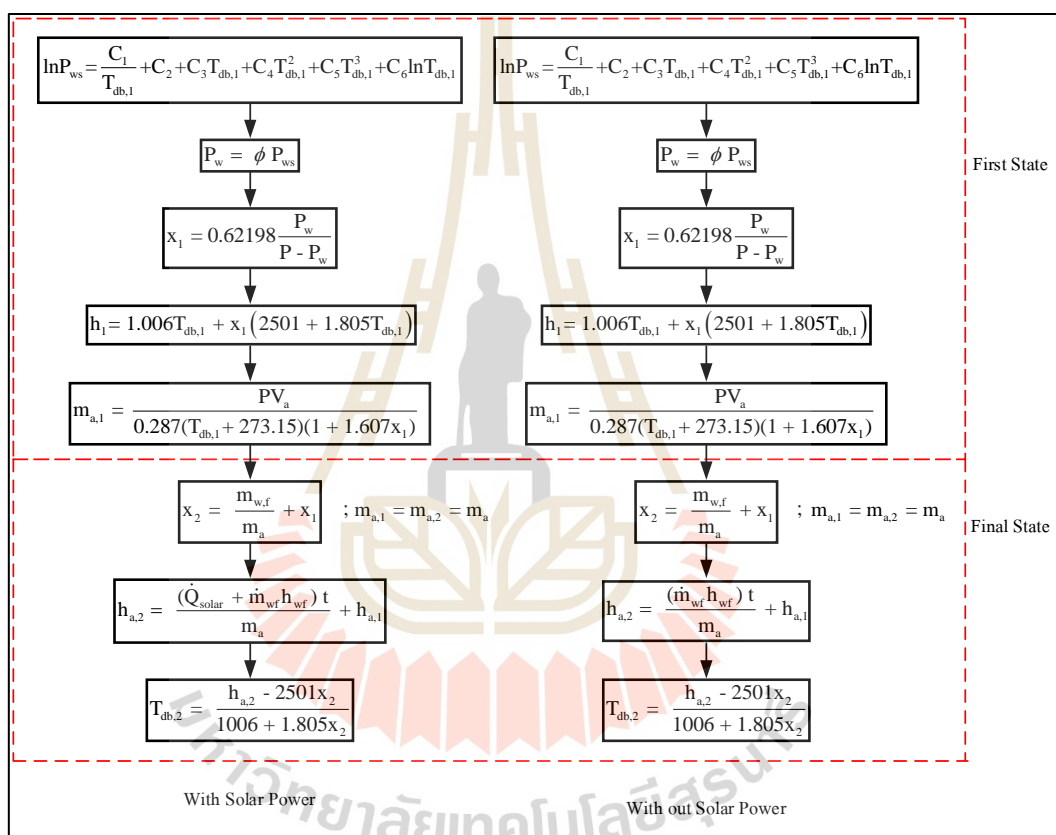


รูปที่ 3.5 แผนภาพการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน
โรงเรือนเพาะปลูก

3.4 การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก

การวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในสภาวะหลังพ่นหมอก เริ่มจากการคำนวณหาความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว จากนั้นคำนวณหาความดันของไอน้ำจริงในอากาศ อัตราส่วนความชื้นและเอนทรานปีของอากาศในสภาวะก่อนการพ่นหมอก จากนั้นพิจารณาว่ามวลของอากาศแห้งที่อยู่ภายในโรงเรือนเพาะปลูก พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่เปลี่ยนแปลงจะมีเฉพาะมวล

ของไอน้ำที่อยู่ในอากาศ ดังนั้น $m_{a,1} = m_{a,2} = m_a$ จะสามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นของอากาศในโรงเรือนสภาวะหลังการพ่นหมอกได้ นำไปสู่การหาค่าเอนทรานปีจากการสมดุลพลังงานในรูปที่ 2.4 ซึ่งอยู่ในรูปของสมการที่ 2.18 ในกรณีที่ไม่นพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ จะพิจารณาสมการที่ 2.19 แทนสมการที่ 2.18 จากนั้นคำนวณหาอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในสภาวะหลังการพ่นหมอกตามสมการที่ 2.20 ดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 3.6 โดยทำการคำนวณค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มจากเวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.



รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก

3.5 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก

ในการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกในสภาวะหลังการพ่นหมอก ตัวแปรหนึ่งที่สำคัญคืออัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการพ่นหมอก ซึ่งสามารถทำการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำได้ดังนี้

3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก

ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก

| ลำดับ | รายการ | จำนวน | หน่วย |
|-------|--|-------|---------|
| 1 | หัวพ่นหมอกยี่ห้อ Fogeasy ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร | 18 | หัว |
| 2 | เครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกขนาด 24 โวลต์ความดัน 12 บาร์ | 1 | ตัว |
| 3 | ตาชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม | 1 | เครื่อง |
| 4 | นาฬิกาจับเวลา | 1 | เรือน |
| 5 | บีกเกอร์สำหรับตวงน้ำขนาด 1000 มิลลิลิตร | 1 | ใบ |

3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก

- 1) นำหัวพ่นหมอกทั้ง 18 หัว ติดตั้งลงในโรงเรือนเพาะปลูก จากนั้นเดินสายเข้าสู่เครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอก
- 2) ตวงน้ำใส่บีกเกอร์ จากนั้นนำน้ำไปชั่งด้วยตาชั่งดิจิตอลเพื่อหามวลน้ำก่อนการเปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอก
- 3) นำเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอกต่อเข้ากับบีกเกอร์ที่ตวงน้ำแล้วในข้อที่ 2
- 4) เปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอกเพื่อให้น้ำไหลออกไปยังหัวพ่นหมอกทั้ง 18 หัว ใช้เวลา 60 วินาที
- 5) ปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอกและนำบีกเกอร์ชั่งด้วยตาชั่งดิจิตอลอีกครั้งเพื่อหามวลของน้ำหลังการพ่นหมอก
- 6) นำค่ามวลของน้ำก่อนการทดลองมาลบกับมวลของน้ำหลังการทดลองเพื่อหามวลของน้ำที่ใช้ในการพ่นหมอกในเวลา 60 วินาที
- 7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 อีก 4 ครั้ง จากนั้นนำมวลของน้ำที่ใช้ในการพ่นหมอก 60 วินาทีมาหาค่าเฉลี่ย และนำค่าเฉลี่ยนั้นมาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำในการพ่นหมอกในหน่วย kg/s

3.6 การทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียนเพาะปลูก

3.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียนเพาะปลูก

ตารางที่ 3.3 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียนเพาะปลูก

| ลำดับ | รายการ | จำนวน | หน่วย |
|-------|---|-------|---------|
| 1 | นาฬิกาจับเวลา | 1 | เรือน |
| 2 | ตาชั่ง 100 กิโลกรัม | 1 | เครื่อง |
| 3 | ตาชั่งดิจิทัลความละเอียด 0.1 กรัม | 1 | เครื่อง |
| 4 | บีกเกอร์สำหรับตวงน้ำขนาด 3000 มิลลิลิตร | 1 | ใบ |
| 5 | ถังน้ำขนาด 200 ลิตร | 1 | ใบ |
| 6 | เครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียน | 1 | เครื่อง |
| 7 | หัวสปริงเกอร์ | 8 | หัว |

3.6.2 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำก่อนการสเปรย์ที่หลังคา

- นำถังน้ำ 200 ลิตร วางบนตาชั่ง 100 กิโลกรัม
- ต่อเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียนเข้ากับถังน้ำปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับหัวสปริงเกอร์ทั้ง 8 หัว
- เติมน้ำลงถังน้ำให้ตาชั่งแสดงน้ำหนัก 50 กิโลกรัม
- เปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียนเพื่อให้น้ำไหลออกไปยังหัวสปริงเกอร์ทั้ง 10 หัว ใช้เวลา 60 วินาที
- ปิดเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียน และอ่านค่าน้ำหนักที่ตาชั่ง 100 กิโลกรัม
- นำค่ามวลของน้ำก่อนการทดลองมาลบกับมวลของน้ำหลังการทดลอง เพื่อหามวลของน้ำที่ใช้ในการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียนในเวลา 60 วินาที
- ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 อีก 4 ครั้ง จากนั้นนำมวลของน้ำที่ใช้ในการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียน 60 วินาที มาหาค่าเฉลี่ย และนำค่าเฉลี่ยนั้นมาคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำก่อนการสเปรย์ที่หลังคาในหน่วย kg/s

3.6.3 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกหลังการสเปรย์ที่หลังคา

- 1) นำบีกเกอร์สำหรับตวงน้ำขนาด 3,000 มิลลิลิตร (3 ลิตร) ไปชั่งน้ำหนักที่ตาชั่งความละเอียด 0.1 กรัม
- 2) นำบีกเกอร์สำหรับตวงน้ำขนาด 3,000 มิลลิลิตร ตวงน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกหลังการสเปรย์ที่หลังคา พร้อมจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา
- 3) เมื่อน้ำใกล้เต็มบีกเกอร์ ให้รีบดึงบีกเกอร์ออกมาพร้อมกับหยุดเวลาของนาฬิกาจับเวลา
- 4) นำบีกเกอร์ที่ตวงน้ำไปชั่งเพื่อหามวลของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกหลังการสเปรย์ที่หลังคา
- 5) นำมวลของบีกเกอร์ที่ตวงน้ำลบด้วยมวลของบีกเกอร์ก่อนการตวงน้ำเพื่อหามวลของน้ำไหลกลับจากหลังคาของโรงเรือนหลังการสเปรย์ที่หลังคา
- 6) นำค่ามวลของน้ำไหลกลับจากหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกที่ได้มาหารด้วยเวลาจากนาฬิกาจับเวลาเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาหลังการสเปรย์ที่หลังคา
- 7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 อีก 2 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาหลังการสเปรย์ที่หลังคาในหน่วย kg/s

3.7 การทดลองเพื่อหาการควบคุมการพ่นหมอกที่เหมาะสม

3.7.1 การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 09.00 น. ถึง 17.00 น. โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เขียน โปรแกรมสำหรับการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนไม่ให้เกิน 30°C เพื่อให้เหมาะสมกับการปลูกพืช
- 2) ต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นของอากาศ และรีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศ

- 3) จ่ายไฟให้กับระบบการควบคุมการพ่นหมอกที่สร้างขึ้น
- 4) เก็บบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มจากเวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.
 - (1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (3) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่โรงเรือนเพาะปลูก
 - (4) อุณหภูมิของน้ำสำหรับการพ่นหมอก
 - (5) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (6) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (7) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
- 5) นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บันทึกมาวิเคราะห์ตามแผนภาพดังรูปที่ 3.6 เพื่อหาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังจากการพ่นหมอก
- 6) หาประสิทธิภาพของการพ่นหมอก

3.7.2 การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะเริ่มตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุมการพ่นหมอก โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนไม่ให้มีค่าเกิน 80%RH เพื่อให้เหมาะสมกับการปลูกพืช
- 2) ต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นของอากาศและรีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศ
- 3) จ่ายไฟให้กับระบบการควบคุมการพ่นหมอกที่สร้างขึ้น
- 4) เก็บบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มจากเวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.
 - (1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (3) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่โรงเรือนเพาะปลูก
 - (4) อุณหภูมิของน้ำสำหรับการพ่นหมอก

- (5) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (6) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (7) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
- 5) นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บันทึกมาวิเคราะห์ตามแผนภาพ ดังรูปที่ 3.6 เพื่อหาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังจากการพ่นหมอก
 - 6) หาประสิทธิภาพของการพ่นหมอก

3.8 การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก

ในทดลองเพื่อหาการควบคุมการพ่นหมอกที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.7 แบ่งออกเป็น 2 กรณี ซึ่งผลการทดลองทั้ง 2 กรณีนี้จะนำมาใช้เป็นตัวเลือกในการปรับตั้งค่าตัวแปรในการควบคุมการพ่นหมอกในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกนี้จะแบ่งออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

3.8.1 กรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัฒนาผลผลิตมะเขือเทศ

การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกที่เปิดเฉพาะพัฒนาผลผลิตมะเขือเทศเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 09.00 น. ถึง 17.00 น. โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) เขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุมพัฒนาผลผลิตมะเขือเทศให้ทำงานตลอดเวลา
 - 2) ต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นของอากาศ และรีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของพัฒนาผลผลิตมะเขือเทศ
 - 3) จ่ายไฟให้กับระบบการควบคุมการทำงานของพัฒนาผลผลิตมะเขือเทศที่สร้างขึ้น
 - 4) เก็บบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มจากเวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.
 - (1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายใน โรงเรือนเพาะปลูก
 - (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน โรงเรือนเพาะปลูก
 - (3) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่โรงเรือนเพาะปลูก
 - (4) อุณหภูมิของน้ำสำหรับการพ่นหมอก
 - (5) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (6) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (7) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
- 5) นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บันทึกมาวิเคราะห์

3.8.2 กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัฒลระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัฒลระบายอากาศ และ สเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเริ่มต้นตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) เขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุมพัฒลระบายอากาศให้ทำงานตลอดเวลา
- 2) ต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นของอากาศ และรีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของพัฒลระบายอากาศ
- 3) จ่ายไฟให้กับเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือน
- 4) จ่ายไฟให้กับระบบการควบคุมการทำงานของพัฒลระบายอากาศที่สร้างขึ้น
- 5) เก็บบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มจากเวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.

- (1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (3) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่โรงเรือนเพาะปลูก
 - (4) อุณหภูมิของน้ำสำหรับการพ่นหมอก
 - (5) อุณหภูมิของน้ำก่อนการสเปรย์ให้กับหลังคาของโรงเรือน
 - (6) อุณหภูมิของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาหลังการสเปรย์ที่หลังคา
 - (7) อัตราการไหลของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาหลังการสเปรย์ที่หลังคา
 - (8) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (9) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (10) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
- 6) นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บันทึกมาวิเคราะห์

3.8.3 กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกที่เปิดเฉพาะ ระบบพ่นหมอกเริ่มต้นตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) เขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุมการพ่นหมอกโดยปรับตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อที่ 3.7
- 2) ต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นของอากาศ และรีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอกและพัฒลระบายอากาศ

- 3) จ่ายไฟให้กับระบบการควบคุมการพ่นหมอกที่สร้างขึ้น
- 4) เก็บบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มจากเวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.
 - (1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (3) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่โรงเรือนเพาะปลูก
 - (4) อุณหภูมิของน้ำสำหรับการพ่นหมอก
 - (5) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (6) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
 - (7) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรือนเพาะปลูก
- 5) นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บันทึกมาวิเคราะห์ตามแผนภาพ ดังรูปที่ 3.6 เพื่อหาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังจากการพ่นหมอก
- 6) หาประสิทธิภาพของการพ่นหมอก

3.8.4 กรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเริ่มต้นตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) เขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุมการพ่นหมอกโดยปรับตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อที่ 3.7
- 2) ต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นของอากาศ และรีเลย์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอกและพัดลมระบายอากาศ
- 3) จ่ายไฟให้กับเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือน
- 4) จ่ายไฟให้กับระบบการควบคุมการพ่นหมอกที่สร้างขึ้น
- 5) เก็บบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ทุก ๆ 30 นาที โดยเริ่มจากเวลา 09.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.
 - (1) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก
 - (3) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่โรงเรือนเพาะปลูก
 - (4) อุณหภูมิของน้ำสำหรับการพ่นหมอก
 - (5) อุณหภูมิของน้ำก่อนการสเปรย์ให้กับหลังคาของโรงเรือน

- (6) อุณหภูมิของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาหลังการสเปรย์ที่หลังคา
 - (7) อัตราการไหลของน้ำที่ไหลกลับจากหลังคาหลังการสเปรย์ที่หลังคา
 - (8) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกโรงเรียนเพาะปลูก
 - (9) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรียนเพาะปลูก
 - (10) อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ภายนอกโรงเรียนเพาะปลูก
- 5) นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่บันทึกมาวิเคราะห์ตามแผนภาพดังรูปที่ 3.6 เพื่อหาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังจากการพ่นหมอก
 - 6) หาประสิทธิภาพของการพ่นหมอก



บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอก

| ครั้งที่ | มวลน้ำก่อนเปิด เครื่องสูบน้ำ (g) | มวลน้ำหลังเปิด เครื่องสูบน้ำ (g) | มวลน้ำที่ใช้ (g) | อัตราการไหลของ การพ่นหมอก (kg/s) |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1 | 792.4 | 380.0 | 412.4 | 0.006873 |
| 2 | 804.5 | 387.4 | 417.1 | 0.006952 |
| 3 | 678.4 | 263.5 | 414.9 | 0.006915 |
| 4 | 929.2 | 514.7 | 414.5 | 0.006908 |
| 5 | 826.6 | 410.6 | 416.0 | 0.006933 |
| ค่าเฉลี่ย | | | 0.006916 | |

จากการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของการพ่นหมอกจำนวน 5 ครั้ง ดังตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของการพ่นหมอกสำหรับหัวพ่นหมอกจำนวน 18 หัว เท่ากับ 0.006916 kg/s ในการศึกษานี้จะใช้ค่าอัตราการไหลของการพ่นหมอกจากการทดลองนี้วิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกตามแผนภาพ ดังรูปที่ 3.6

4.2 ผลการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูก

จากการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูกจำนวน 5 ครั้ง ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูกจากเครื่องสูบน้ำสู่วาล์วสปริงเกอร์ทั้ง 10 หัว เท่ากับ 0.4540 kg/s ในการศึกษานี้จะใช้ค่าอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูกจากการทดลองนี้วิเคราะห์หาความร้อนที่ระบายออกจากตาข่ายพรางแสงที่หลังคาของโรงเรือนเพาะปลูก

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาอัตราการไหลของการสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูก

| ครั้งที่ | มวลน้ำก่อนเปิด เครื่องสูบน้ำ (kg) | มวลน้ำหลังเปิด เครื่องสูบน้ำ (kg) | มวลน้ำที่ใช้ (kg) | อัตราการไหลของ การสเปรย์น้ำ (kg/s) |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| 1 | 50.0 | 22.9 | 27.1 | 0.4517 |
| 2 | 50.0 | 22.3 | 27.7 | 0.4617 |
| 3 | 50.0 | 22.8 | 27.2 | 0.4533 |
| 4 | 50.0 | 23.1 | 26.9 | 0.4483 |
| 5 | 50.0 | 22.7 | 27.3 | 0.4550 |
| ค่าเฉลี่ย | | | | 0.4540 |

4.3 ผลการทดลองเพื่อหาการควบคุมการพ่นหมอกที่เหมาะสม

4.3.1 ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

จากผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกในตารางภาคผนวกที่ ก.1.1 (ภาคผนวก ก) พบว่า เมื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบควบคุมการพ่นหมอก ที่เวลา 09.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ในโปรแกรมคือมากกว่าอุณหภูมิ 30°C บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้เครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกทำงาน (Misting) เพื่อลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที คือเวลา 9.30 น. พบว่า ความร้อนที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าที่สูงขึ้น ส่งผลให้การพ่นหมอกไม่สามารถช่วยลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศได้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จึงหยุดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกและเปิดพัดลมระบายอากาศ (Fan open) เพื่อให้อากาศออกจากโรงเรือน 1 อัตราการหมุนเวียนอากาศ (1 Air change rate) เนื่องจากความร้อนที่เข้ามายังโรงเรือนมีปริมาณที่สูง ถึงแม้ว่าอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สูงจะถูกระบายออกไป การพ่นหมอกที่เกิดขึ้นใหม่ไม่สามารถลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนลงได้ จึงทำให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนคาบเวลาปัจจุบันและเวลาปัจจุบันตามแผนภาพ ดังรูปที่ 3.4 มีค่าต่ำกว่า 0°C บอร์ดจึงทำให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณให้พัดลมระบายอากาศทำงานต่อ ในการทดลองตลอดทั้งวันพบว่า มีการทำงานของพัดลมระบายอากาศค่อนข้างตลอดเวลา เนื่องจากการประมวลผลผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนคาบเวลาปัจจุบันและคาบเวลาปัจจุบันของบอร์ด

ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าต่ำกว่า 0°C ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่เข้ามายังตัวโรงเรือนที่สูงนั้นหมายความว่า ตลอดเวลาทั้งวันแทบจะไม่มีเปิดใช้งานระบบพ่นหมอกของโรงเรือน จึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก

จากการทดลองหลังจากเวลา 13.30 น. เป็นช่วงที่ท้องฟ้ามีเมฆจำนวนมาก เมฆเหล่านั้นจะบดบังแสงอาทิตย์ทำให้ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามายังโรงเรือนค่อนข้างต่ำ การพ่นหมอกจึงเกิดขึ้นมากกว่าช่วงเช้า ที่มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เข้ามายังโรงเรือนค่อนข้างสูง

ดังนั้น การควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจึงไม่เหมาะสมกับสภาพอากาศในพื้นที่ที่ทำการทดลอง เนื่องจากช่วงที่ท้องฟ้าโปร่ง ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จะผ่านเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกได้ค่อนข้างสูง การพ่นหมอกที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้ทำให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกแต่เปิดการทำงานของพัดลมระบายอากาศอยู่ตลอดเวลาแทน

4.3.2 การทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

จากผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกในตารางภาคผนวกที่ ก.2.1 (ภาคผนวก ก) พบว่า เมื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบควบคุมการพ่นหมอก ที่เวลา 9.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนมีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ในโปรแกรมคือ ต่ำกว่า 80% บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้เครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกทำงาน (Misting) เพื่อลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที คือเวลา 9.30 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเท่ากับ 71.67% ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ ดังนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสั่งให้เครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกทำงานต่อไป จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการพ่นหมอกเกิดขึ้นตลอดทั้งวัน ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่ากรณีการควบคุมการพ่นหมอก โดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน ดังนั้น การควบคุมการพ่นหมอกด้วยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนจึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการสร้างโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก อัตโนมัติเพื่อทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

4.4 ผลการทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก

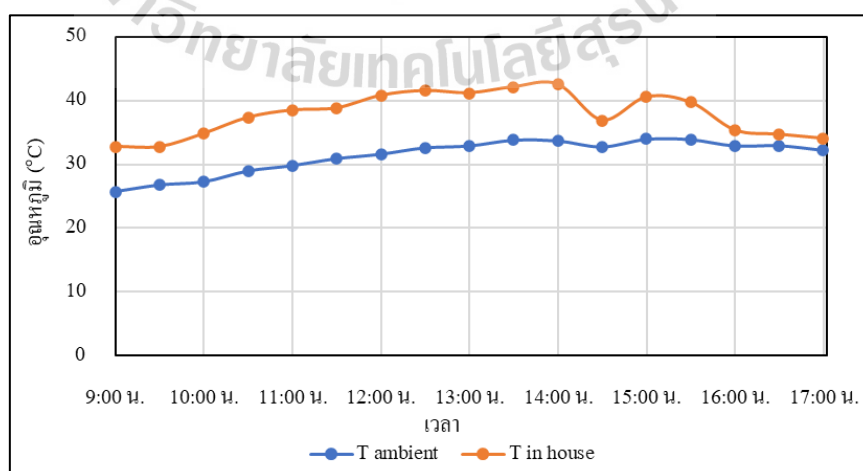
จากการทดลองเพื่อหาการควบคุมการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี ในหัวข้อที่ 4.3 นั้น พบว่าการควบคุมการพ่นหมอกด้วยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกเหมาะสมกว่าการควบคุมการพ่นหมอกด้วยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก เนื่องจากมีการพ่นหมอกอยู่ตลอดทั้งวัน ทำให้ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในโรงเรือนไม่สูงและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่ต่ำจนเกินไป ในการทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกนี้จะแบ่งออกเป็น 4 กรณีซึ่งมีผลการทดลองของแต่ละกรณีดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการทดลองกรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัฒนาบรรยากาศ

การทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัฒนาบรรยากาศ กระทำขึ้นในวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2563 ระหว่างเวลา 09.00 น. - 17.00 น. ได้ผลการทดสอบดังนี้

ความสามารถในการลดอุณหภูมิ

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัฒนาบรรยากาศ พบว่า การลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายใน โรงเรือนเพาะปลูกที่เปิดเฉพาะพัฒนาบรรยากาศ หรือกรณีที่ 1 นั้น ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากตัวโรงเรือนได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้าสู่โรงเรือนอยู่ตลอดเวลา จึงเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกขึ้นในโรงเรือน อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจะสูงขึ้น เนื่องจากอากาศในโรงเรือนจะเก็บสะสมความร้อนเอาไว้ ถึงแม้ว่าจะมีการระบายอากาศจากพัฒนาบรรยากาศอยู่ตลอดเวลา แต่ก็ไม่สามารถเอาชนะความร้อนที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนเพาะปลูกได้ โดยอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน (T in house) และสิ่งแวดล้อม (T ambient) ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.1

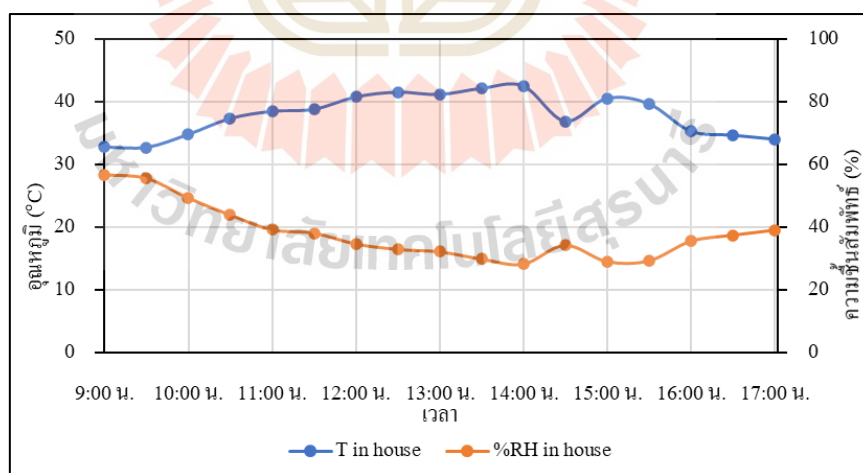


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา

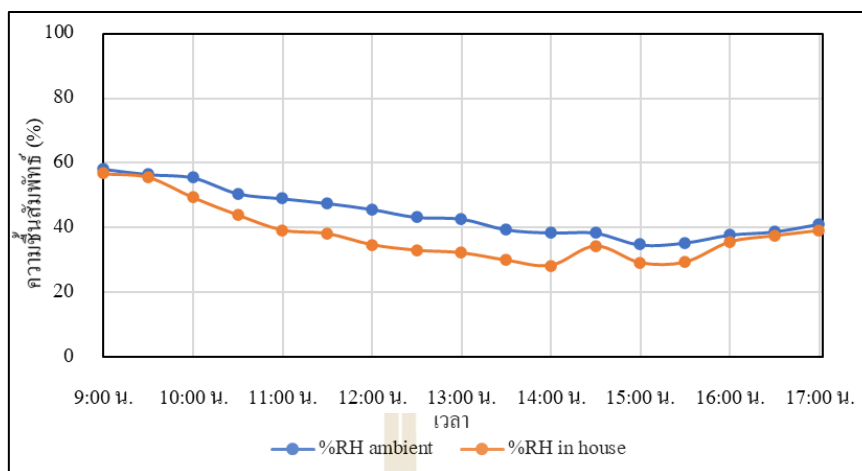
จากรูปที่ 4.1 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 32.73°C ที่เวลา 09.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 42.53°C ที่เวลา 14.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 37.89°C อุณหภูมิกระเปาะแห้งของสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 25.70°C ที่เวลา 09.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 33.80°C ที่เวลา 13.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 31.33°C ซึ่งอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก จะสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 6.56°C

ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ พบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมีค่าลดลงเมื่อมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก ค่ามวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศรับได้ (m_{ws}) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ เมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศสูงขึ้นจากการเก็บสะสมความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ จะส่งผลให้ค่ามวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศรับได้นั้นสูงขึ้นตามไปด้วย และในการทดลองนี้เปิดเพียงพัดลมระบายอากาศไม่ได้เปิดระบบพ่นหมอก ดังนั้นมวลไอน้ำในอากาศ (m_v) จึงไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 2.6 โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.2 และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจากการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียนกับเวลา

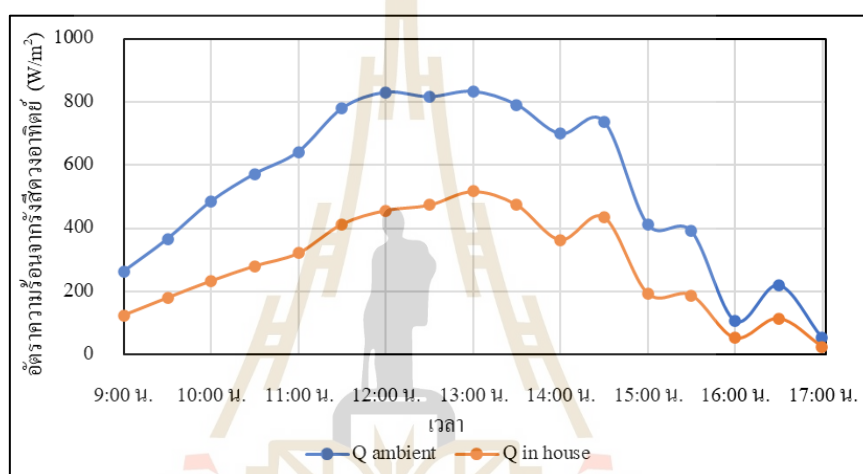
จากรูปที่ 4.3 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียน (%RH in house) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 28.30% ที่เวลา 14.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 56.63% ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 38.08% ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากสิ่งแวดล้อม (%RH ambient) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 34.80% ที่เวลา 15.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 58.15% ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 44.34% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียนเพาะปลูกจะต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 6.26% ดังนั้น ในการทดลองการใช้โรงเรียนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศนี้จึงไม่สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้

การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรียนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศพบว่า อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูกถูกตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งบนหลังคาของโรงเรียนดูดซับไว้ ส่งผลให้อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนมีค่าที่ลดลง โดยอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูกในวันที่ทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Q_{ambient}) ที่ส่องมายังโรงเรียน มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 52 W/m^2 ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 833 W/m^2 ที่เวลา 13.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 529.24 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูก ($Q_{\text{in house}}$) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 24 W/m^2 ที่เวลา

17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 516 W/m^2 ที่เวลา 13.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 284.86 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายัง โรงเรือนมีค่าลดลง โดยเฉลี่ยตลอดทั้งวัน อยู่ที่ 244.47 W/m^2 หรือคิดเป็น 48.03% ของอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าตาข่ายพรางแสงจะดูดซับความร้อนได้ แต่ตาข่ายพรางแสงซึ่งเป็นวัสดุที่มีสีเข้มจะกักเก็บสะสมความร้อนไว้ในตัว และปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาในรูปของการแผ่รังสีความร้อนเข้ามายัง โรงเรือน ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายใน โรงเรือนมีแนวโน้มที่สูงขึ้นกว่าสิ่งแวดล้อมดั้งที่ได้อภิปรายในหัวข้อความสามารถในการลดอุณหภูมิที่ผ่านมา

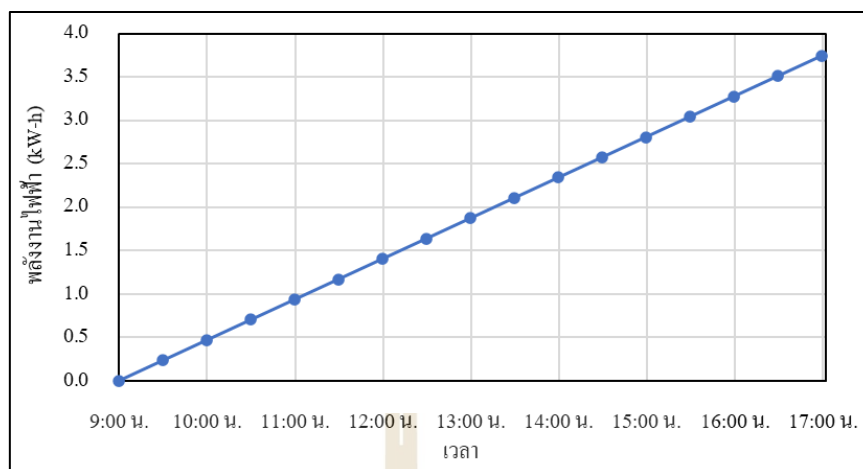


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนกับเวลา

การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศพบว่า อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักคือ พัดลมระบายอากาศและพัดลมหมุนเวียนอากาศที่อยู่ภายในโรงเรือนเพาะปลูก โดยอัตราการใช้พลังงานในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ตลอดทั้งวันมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นคงที่ ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานจากพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัว และพัดลมหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรือนจำนวน 2 ตัวตลอดเวลา ค่าอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.4675 kW-h โดยในการทดลองนี้มีอัตราการใช้พลังงานสุทธิเท่ากับ 3.74 kW-h



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเวลา

4.4.2 ผลการทดลองกรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

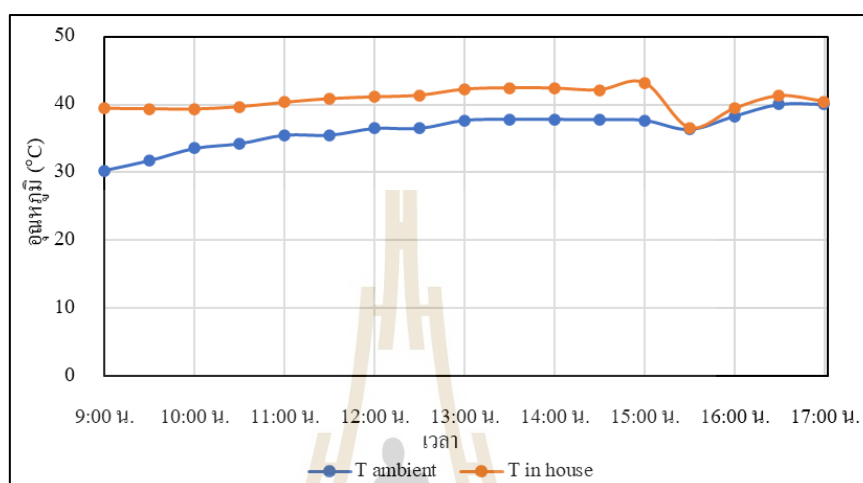
การทดสอบ โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศ และ สเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน กระทำขึ้นในวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2563 ระหว่างเวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ได้ผลการทดลองดังนี้

ความสามารถในการลดอุณหภูมิ

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนพบว่า การลดอุณหภูมิกระเปาะแห่งของอากาศภายใน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน หรือกรณีที่ 2 นั้น ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากตัวโรงเรือนได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้าสู่โรงเรือนอยู่ตลอดเวลา จึงเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกขึ้นในโรงเรือน เช่นเดียวกับการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ หรือกรณีที่ 1 โดยอุณหภูมิกระเปาะแห่งของอากาศภายในโรงเรือน ($T_{in\ house}$) และสิ่งแวดล้อม ($T_{ambient}$) ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห่งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 39.33°C ที่เวลา 9.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 43.23°C ที่เวลา 15.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 40.70°C อุณหภูมิกระเปาะแห่งของสิ่งแวดล้อม มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 30.30°C ที่เวลา 9.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 37.85°C ที่เวลา 13.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 36.32°C โดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห่งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 4.37°C ซึ่งต่ำกว่าการทดลองการใช้

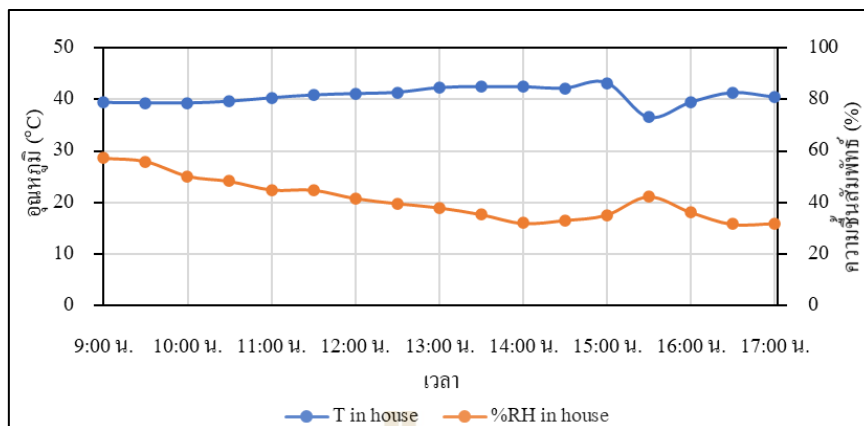
โรงเรือนในกรณีที่ 1 เนื่องจากความร้อนจากตาข่ายพรางแสงบนหลังคาถูกน้ำที่สเปรย์ระบาย ความร้อนออกไป พลังงานความร้อนจากตาข่ายพรางแสงที่อยู่ในรูปของการแผ่รังสีความร้อน จึงลดลงไปด้วย



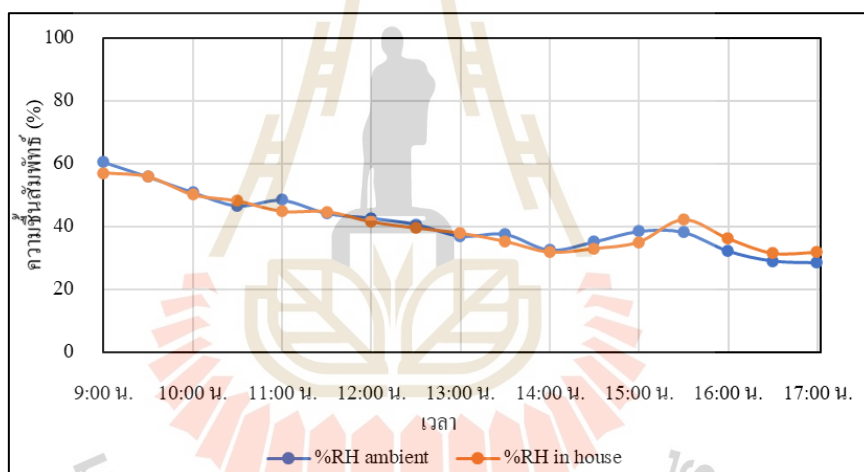
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา

ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์ น้ำที่หลังคาโรงเรือนพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกนั้นลดลง สาเหตุเนื่องจากอากาศในโรงเรือนได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ตลอดเวลาเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้จะสเปรย์น้ำเพื่อลดความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งบนหลังคา ของโรงเรือน แต่ก็ไม่ช่วยให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงขึ้นได้ เพราะอากาศภายในโรงเรือน ยังคงมีอุณหภูมิที่สูงอยู่ และไม่มีน้ำเค็มเข้าไปในโรงเรือน โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กระเปาะแห้งของอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนในการทดลองนี้แสดง ดังรูปที่ 4.7 และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจากการทดลองนี้แสดง ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียนกับเวลา



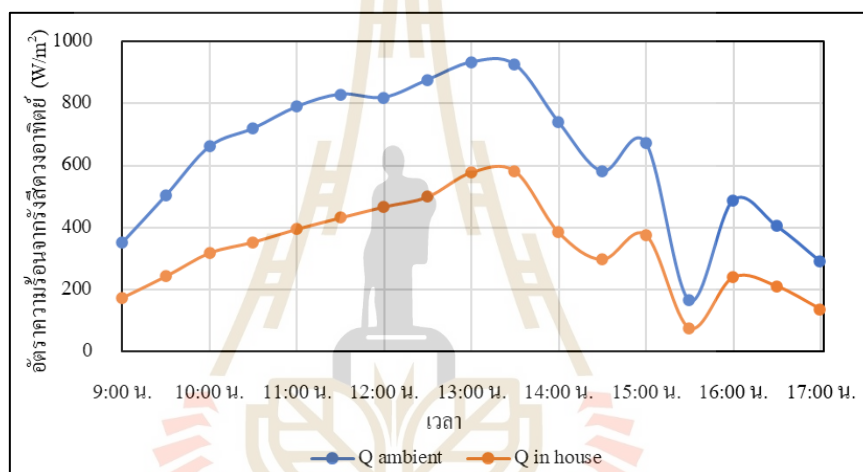
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียนกับเวลา

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียน (%RH in house) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 31.63% ที่เวลา 16.30 น. สูงที่สุดเท่ากับ 57.20% ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 41.10% ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากสิ่งแวดล้อม (%RH ambient) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 28.60% ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 60.70% ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 41.23% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียนเพาะปลูกจะต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 0.13% และยังพบอีกว่าที่เวลา 15.30 น. เป็นต้นไป ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียนมีค่าสูงกว่าสิ่งแวดล้อม ดังนั้น

ในการทดลองการใช้โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัฒนาระบายอากาศ และสเปร์ย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนนี้ สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้ แต่ยังไม่เห็นผลที่ไม่ชัดเจน

การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง

ในการทดลองการใช้งานโรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัฒนาระบายอากาศ และสเปร์ย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนพบว่า อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกถูกตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งบนหลังคาของโรงเรือนดูดซับไว้ ส่งผลให้อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนมีค่าที่ลดลง โดยอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกในวันที่ทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9

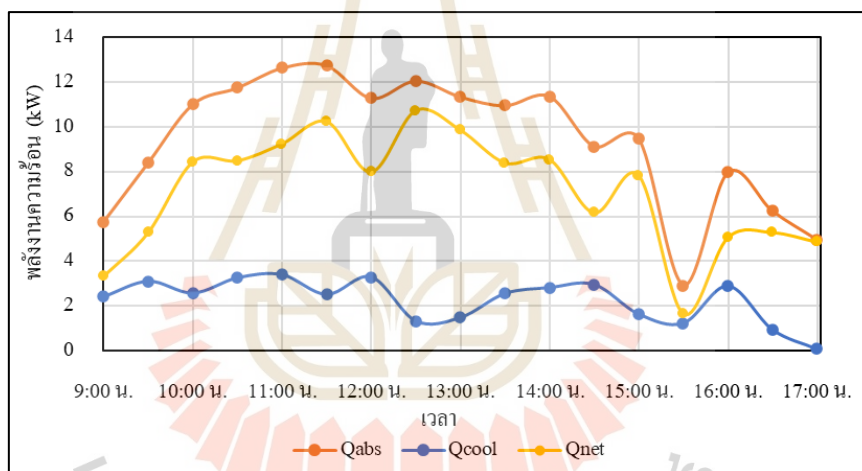


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนกับเวลา

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Q_{ambient}) ที่ส่องมายังโรงเรือน มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 166 W/m^2 ที่เวลา 15.30 น. สูงที่สุดเท่ากับ 933 W/m^2 ที่เวลา 13.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 633.03 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูก ($Q_{\text{in house}}$) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 75 W/m^2 ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 583 W/m^2 ที่เวลา 13.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 338.91 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนมีค่าลดลงโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 290.91 W/m^2 หรือคิดเป็น 47.19% ของอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือน

ในการทดลองการใช้งานโรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัฒลระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน พบว่า การสเปรย์น้ำเพื่อระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งบนหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 โดยที่ความร้อนที่เก็บสะสมในตาข่ายพรางแสง (Q_{abs}) ผลต่างระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนจากแผนภาพในรูปที่ 4.9 ซึ่งจะถูกระบายความร้อนด้วยน้ำที่สเปรย์บนหลังคา (Q_{cool}) เมื่อตาข่ายพรางแสงถูกระบายความร้อนด้วยน้ำจากการสเปรย์น้ำที่หลังคาแล้ว จะพบว่า ความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวตาข่ายพรางแสง (Q_{net}) ยังคงเหลืออยู่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือนเพื่อระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงนี้จึงมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานดังรูปที่ 4.11

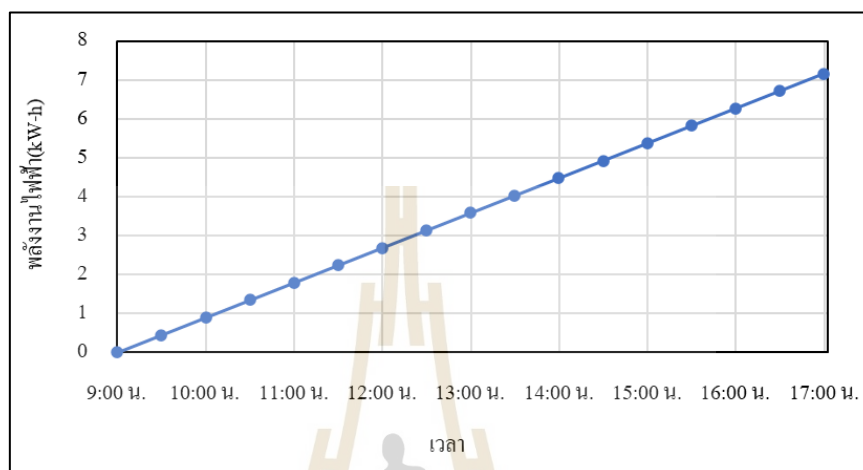


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เก็บสะสมในตาข่ายพรางแสง และความร้อนที่ระบายออกจากการสเปรย์น้ำกับเวลา

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ความร้อนที่เก็บสะสมในตาข่ายพรางแสงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 2.92 kW ที่เวลา 15.30 น. สูงที่สุดเท่ากับ 12.75 kW ที่เวลา 11.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 9.41 kW ความร้อนที่ถูกระบายด้วยการสเปรย์น้ำบนหลังคา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08 kW ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 3.40 kW ที่เวลา 11.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 2.27 kW ความร้อนที่ยังคงเหลืออยู่ในตัวตาข่ายพรางแสงมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.68 kW ที่เวลา 15.30 น. สูงที่สุดเท่ากับ 10.73 kW ที่เวลา 12.30 น. โดยค่าเฉลี่ย

ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 7.14 kW ดังนั้น การสเปรย์น้ำบนหลังคาของโรงเรียนนี้สามารถลดความร้อนสะสมในตัวตึกจ่ายพรางแสงลงได้เฉลี่ย 24.09%

การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้ากับเวลา

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรียนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียนพบว่า อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักคือ พัดลมระบายอากาศ พัดลมหมุนเวียนอากาศที่อยู่ภายในโรงเรียนเพาะปลูก และเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียน โดยอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 พบว่า ตลอดทั้งวันมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นคงที่ ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานจากพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัวพัดลมหมุนเวียนอากาศภายในโรงเรียนจำนวน 2 ตัว และเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียนตลอดเวลา ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.8955 kW-h ต่อชั่วโมง โดยในการทดลองนี้มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสุทธิเท่ากับ 7.16 kW-h ซึ่งมากกว่ากรณีที่ 1 เท่ากับ 1.91 เท่า

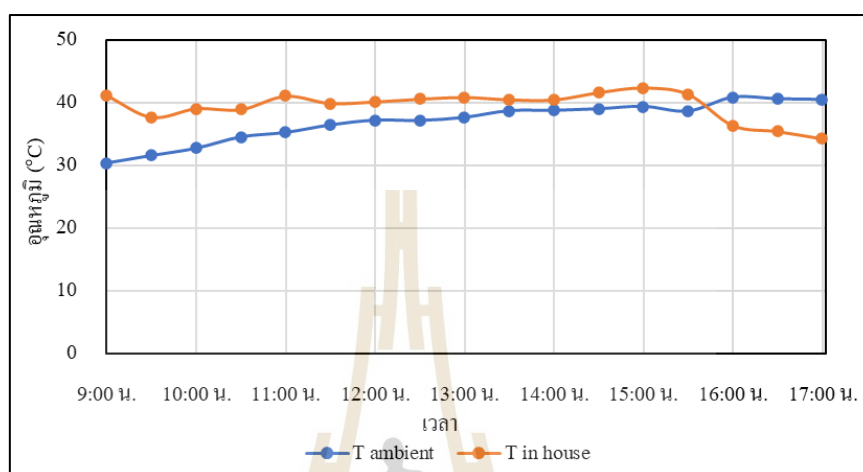
4.4.3 ผลการทดลองกรณีที่ 3 โรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

การทดสอบโรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกกระทำขึ้นในวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2563 ระหว่างเวลา 09.00 น. -17.00 น. ได้ผลการทดสอบดังนี้

ความสามารถในการลดอุณหภูมิ

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกพบว่า การลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายใน โรงเรียนเพาะปลูกสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ความร้อน

จากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนมีค่าไม่สูง โดยจะเห็นผลตั้งแต่เวลา 16.00 น. เป็นต้นไป โดยอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน ($T_{in\ house}$) และสิ่งแวดล้อม ($T_{ambient}$) ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา

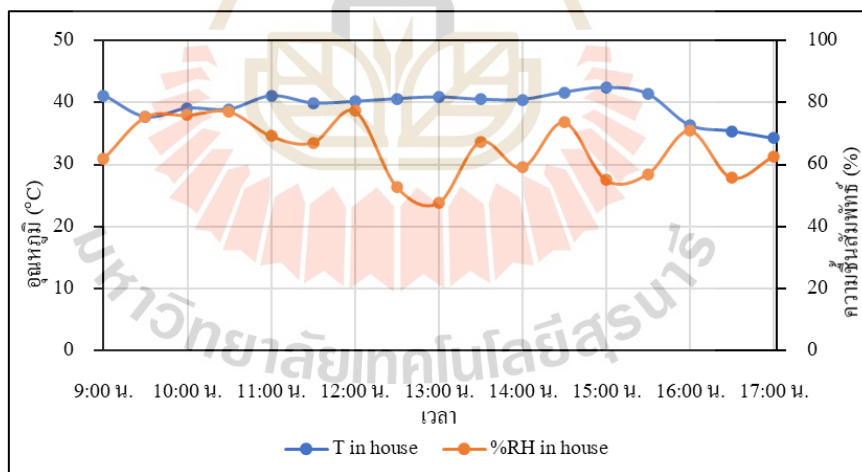
จากรูปที่ 4.12 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 34.25°C ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 42.40°C ที่เวลา 15.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 39.52°C อุณหภูมิกระเปาะแห้งของสิ่งแวดล้อม มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 30.40°C ที่เวลา 9.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 40.85°C ที่เวลา 14.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 37.03°C โดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 2.49°C ซึ่งต่ำกว่าการทดลองการใช้โรงเรือนในกรณีที่ 1 และ 2 เนื่องจากอากาศในโรงเรือนจะสูญเสียความร้อนให้กับน้ำที่ถูกพ่นในรูปของหมอกเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกตลอดเวลา ถึงแม้ว่าอากาศภายในโรงเรือนจะได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาก็ตาม

ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

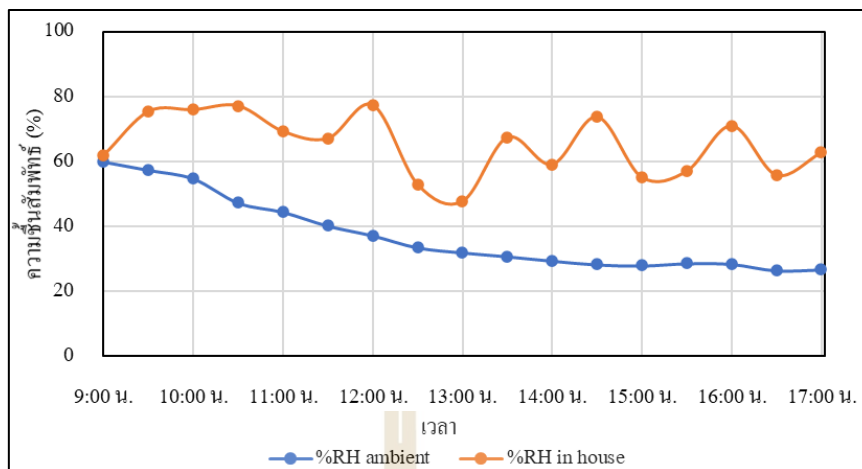
จากการทดลองการใช้งานโรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกนั้นสูงขึ้น เนื่องจากอากาศภายในโรงเรือนได้รับมวลของน้ำที่เกิดจากการพ่นหมอก โดยน้ำจากการพ่นหมอกจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 60 ไมโครเมตร (Arbel A. A. Shklyar and M. Barak, 2000) ทำให้มีพื้นที่ในการสัมผัสอากาศที่มากขึ้น จึงเกิดการระเหยกลายเป็นไอ รวมตัวกับอากาศได้รวดเร็ว ส่งผลให้มวลไอน้ำในอากาศ

มีค่าที่สูงขึ้นตามไปด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.13 และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจากการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.14

จากรูปที่ 4.14 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน (%RH in house) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 47.63% ที่เวลา 13.30 น. สูงที่สุดเท่ากับ 77.40% ที่เวลา 12.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 65.10% ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากสิ่งแวดล้อม (%RH ambient) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 26.65% ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 59.90% ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 37.19% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 27.91% และยังพบอีกว่า ตลอดเวลาที่ทำกรทดลองในกรณีนี้ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าสิ่งแวดล้อมนั้นหมายความว่า การทดลองการใช้งานโรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกสามารถเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศแต่ไม่ถึง 80% ตามที่ตั้งค่าในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากโรงเรือนยังคงได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่สะสมอยู่ในตาข่ายพรางแสงที่อยู่บนหลังคาของโรงเรือนอยู่ตลอดเวลา



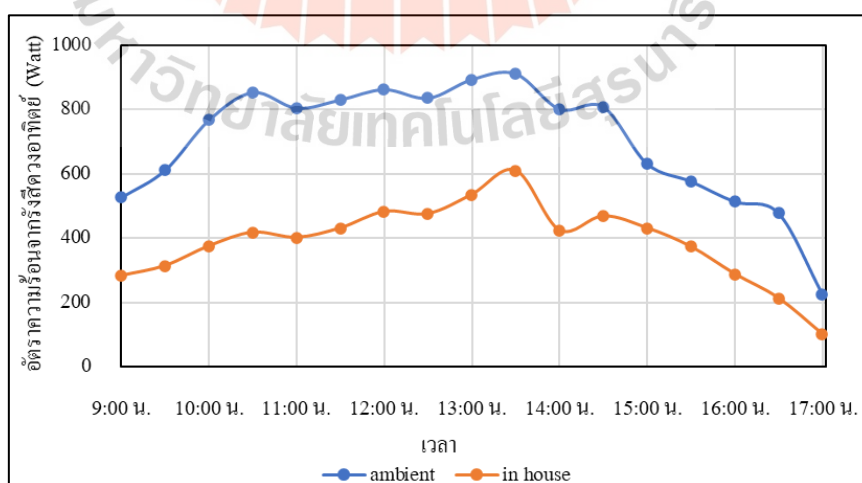
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรียนกับเวลา

การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง

ในการทดลองการใช้งานโรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกพบว่า อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูกถูกตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งบนหลังคาของโรงเรียนดูดซับไว้ ส่งผลให้อุณหภูมิความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนมีค่าที่ลดลง โดยอุณหภูมิความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูกในวันที่ทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.15

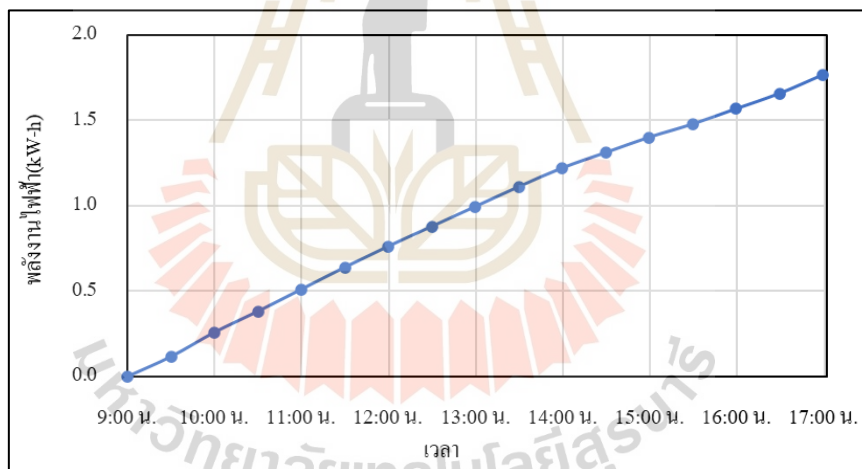


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรียนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรียนกับเวลา

จากรูปที่ 4.15 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Q_{ambient}) ที่ส่องมายังโรงเรียน มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 227 W/m^2 ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 912 W/m^2 ที่เวลา 13.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 702.41 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูก ($Q_{\text{in house}}$) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 102 W/m^2 ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 611 W/m^2 ที่เวลา 13.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 390.65 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนมีค่าลดลงโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 311.76 W/m^2 หรือคิดเป็น 44.38% ของอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพัดลมพบว่า อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักคือพัดลมระบายอากาศ พัดลมหมุนเวียนอากาศที่อยู่ภายในโรงเรียนเพาะปลูก และเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกภายในโรงเรียน โดยอัตราการใช้พลังงานในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.16



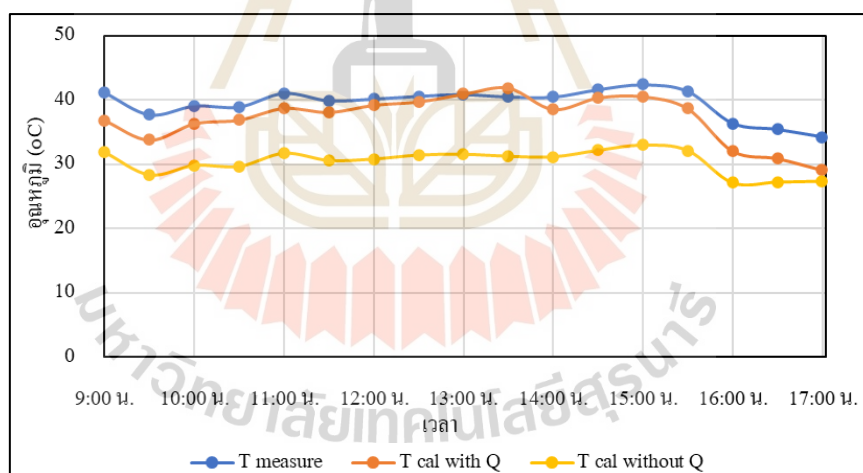
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้า กับเวลา

จากรูปที่ 4.16 พบว่า ตลอดทั้งวันมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นไม่คงที่ เนื่องจากในบางช่วงเวลาหากไม่มีการพ่นหมอก พลังงานไฟฟ้าจะถูกใช้กับพัดลมระบายอากาศ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอก ในขณะที่ หากมีการพ่นหมอกเกิดขึ้นพัดลมระบายอากาศจะไม่ทำงาน ทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงในช่วงเวลานั้น ในผลการทดลองดังตารางภาคผนวกที่ 5.1 (ภาคผนวก ก) จะพบว่า มีเพียงบางช่วงเวลาเท่านั้นที่พัดลมระบายอากาศทำงาน (Fan Open) นั้นหมายความว่า ตลอดระยะเวลา

ในการทดลองพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกใช้กับเครื่องสูบน้ำสำหรับพ่นหมอก อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจึงต่ำกว่าการทดลองในกรณีที่ 1 และ 2 โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.2213 kW-h ต่อชั่วโมง โดยในการทดลองนี้มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสุทธิเท่ากับ 1.77 kW-h

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก เมื่อทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดจากการทดลองได้แก่ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว ความดันของไอน้ำจริงในอากาศ อัตราส่วนความชื้น และเอนทรานปีของอากาศในสภาวะก่อนการพ่นหมอก สามารถวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกตามแผนภาพดังรูปที่ 3.6 ซึ่งได้แสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกที่ได้จากการวัดค่า (T measure) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (T cal with Q) และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (T cal without Q) ดังรูปที่ 4.17



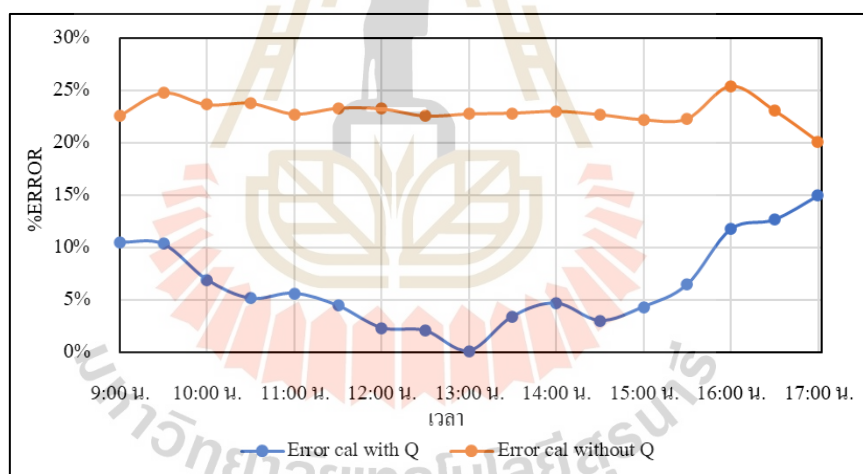
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนจากการวัดและการวิเคราะห์กับเวลา

จากรูปที่ 4.17 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 29.12°C ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 41.89°C ที่เวลา 13.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 37.23°C อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อน

จากรังสีดวงอาทิตย์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 27.11°C ที่เวลา 16.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 32.98°C ที่เวลา 15.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 30.43°C

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวัดและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์พบว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยจะเห็นผลได้ชัดเจนในช่วงเวลาที่มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกที่สูงตามแผนภาพดังรูปที่ 4.15 หรือในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 5%

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวัดและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์พบว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวัดเฉลี่ยมากถึง 23.02% โดยที่คลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการวัดและการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.18



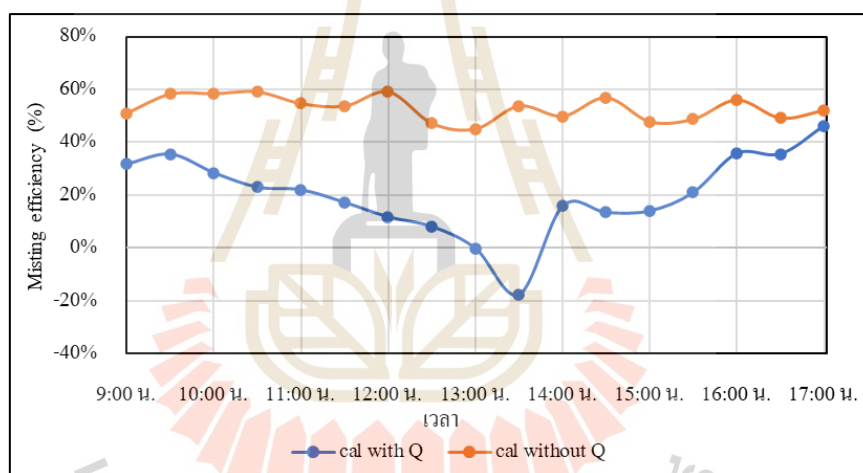
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการวัดและการวิเคราะห์กับเวลา

จากรูปที่ 4.18 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.15% ที่เวลา 13.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 14.98% ที่เวลา 17.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 6.43% ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 20.12% ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 25.46% ที่เวลา 16.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 23.02%

จากรูปที่ 4.18 ยังพบอีกว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังจากการพ่นหมอกที่เป็นไปได้คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ หมายความว่า ถ้าหากมีการพ่นหมอกเกิดขึ้นในโรงเรือน และโรงเรือนไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ แล้วอุณหภูมิหลังการพ่นหมอกจะเท่ากับค่าที่วิเคราะห์ได้

ประสิทธิภาพของการพ่นหมอก

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกด้วยการเปิดระบบพ่นหมอก พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของการพ่นหมอกที่เกิดขึ้นจากการทดลองนั้นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความสามารถในการลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังจากการพ่นหมอกนั้นทำได้น้อย เมื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของการพ่นหมอกตามสมการที่ 2.28 จึงได้ค่าที่ต่ำ โดยค่าประสิทธิภาพของการพ่นหมอกแสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการพ่นหมอก กับเวลา

จากรูปที่ 4.19 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (cal with Q) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ -17.69% ที่เวลา 13.30 น. สูงที่สุดเท่ากับ 46.31% ที่เวลา 17.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 20.12% ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (cal without Q) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 44.97% ที่เวลา 13.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 59.20% ที่เวลา 12.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 53.02%

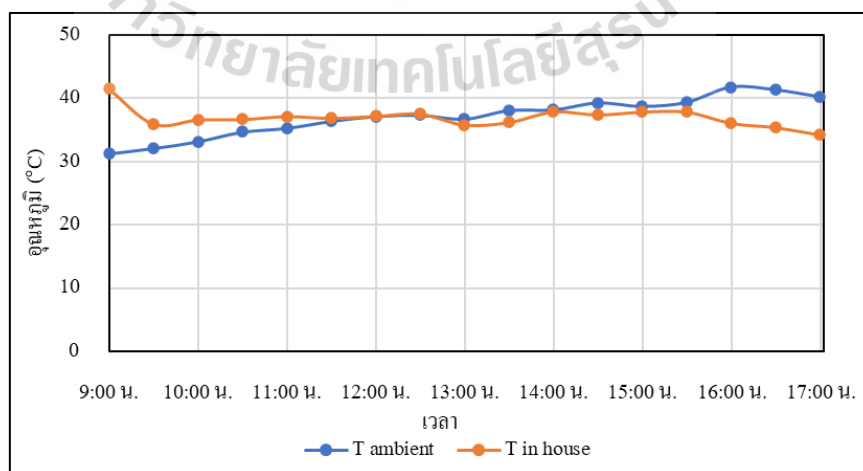
จากรูปที่ 4.19 พบว่า ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์อุณหภูมิ กระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อมีความร้อน จากแสงอาทิตย์เข้ามายัง โรงเรือนที่ต่ำ เช่น เวลา 17.00 น. มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เข้ามาต่ำ ที่สุดเท่ากับ 102 W/m^2 ส่งผลให้ช่วงเวลานี้สามารถลดอุณหภูมิของอากาศจากการพ่นหมอกได้ดี ตามที่กล่าวมาในหัวข้อของความสามารถในการลดอุณหภูมิ และยังพบอีกว่าบางช่วงเวลามีค่า ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกเป็นลบ เช่น ที่เวลา 13.30น. มีประสิทธิภาพของการพ่นหมอก เท่ากับ -17.69% ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนี้เป็นช่วงที่มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ผ่านเข้ามายัง โรงเรือนค่อนข้างสูงถึง 611 W/m^2 ตามรูปที่ 4.15 ทำให้ความสามารถในการลดอุณหภูมิของ อากาศนั้นไม่สามารถทำได้ กล่าวคือ ในช่วงเวลานี้ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศสูงขึ้นหลังจาก การพ่นหมอก เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจึงทำให้เกิดค่าเป็นลบ

จากรูปที่ 4.19 ยังพบอีกว่า ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกที่สูงที่สุดที่เป็นไปได้ นั้นเกิดได้จากการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสี ดวงอาทิตย์ นั่นคือ อากาศภายใน โรงเรือนจะสูญเสียความร้อนให้กับหมอกที่พ่นออกมาเพียง อย่างเดียว ไม่มีแหล่งความร้อนใด ๆ ที่ถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายในโรงเรือน

4.4.4 ผลการทดลองกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่ หลังคาโรงเรือน

การทดสอบโรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน กระทำขึ้นในวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2563 ระหว่างเวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ได้ผลการทดสอบดังนี้

ความสามารถในการลดอุณหภูมิ

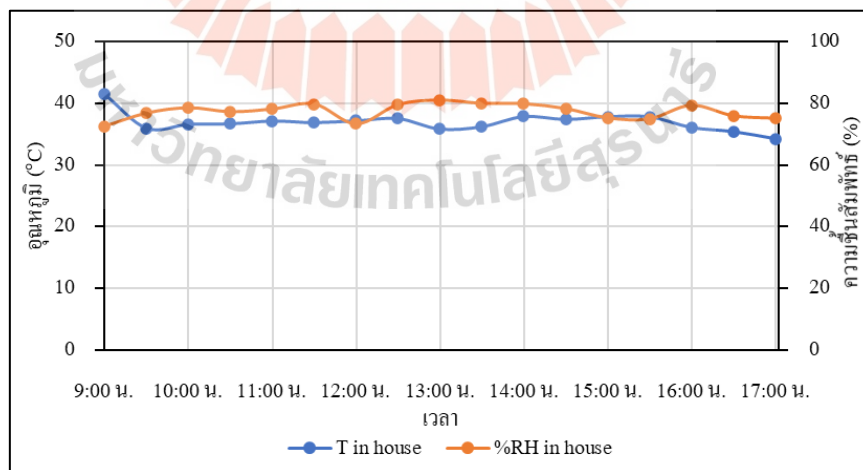


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา

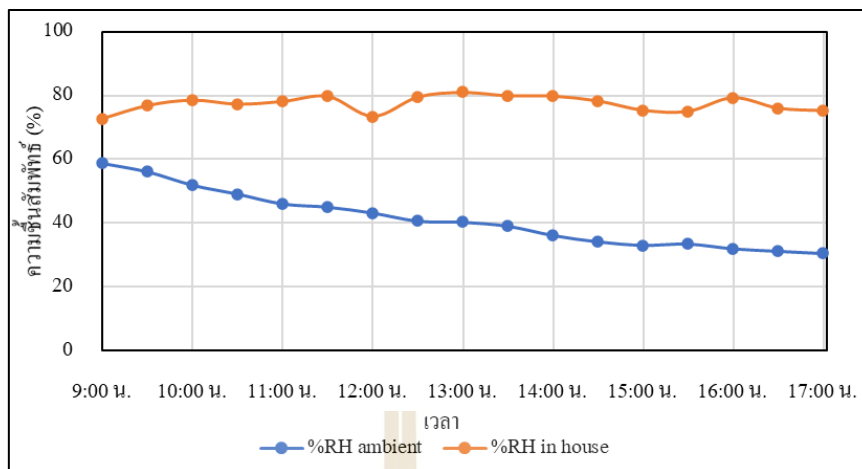
จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำ ที่หลังคาโรงเรือน พบว่า การลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่าการทดลองในกรณีที่ 1 2 และ 3 โดยจะเห็นผลตั้งแต่เวลา 12.00น. เป็นต้นไป โดยอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน ($T_{in\ house}$) และสิ่งแวดล้อม ($T_{ambient}$) ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.20

จากรูปที่ 4.20 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 34.25°C ที่เวลา 17.00น. สูงที่สุดเท่ากับ 41.53°C ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 36.97°C อุณหภูมิกระเปาะแห้งของสิ่งแวดล้อม มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 31.30°C ที่เวลา 9.00น. สูงที่สุดเท่ากับ 41.80°C ที่เวลา 16.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 37.14°C โดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมเล็กน้อยเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 0.10°C เนื่องจากอากาศในโรงเรือนจะสูญเสียความร้อนให้กับน้ำที่ถูกพ่นในรูปของหมอกเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกตลอดเวลาเช่นเดียวกับกรณีที่ 3 และความร้อนจากตาข่ายพรางแสงบนหลังคาถูกน้ำที่สเปรย์ระบายความร้อนออกไป พลังงานความร้อนจากตาข่ายพรางแสงที่อยู่ในรูปของการแผ่รังสีความร้อนจึงลดลงไปด้วย ถึงแม้ว่าอากาศภายในโรงเรือนจะได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาก็ตาม เช่นเดียวกับกรณีที่ 2

ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา



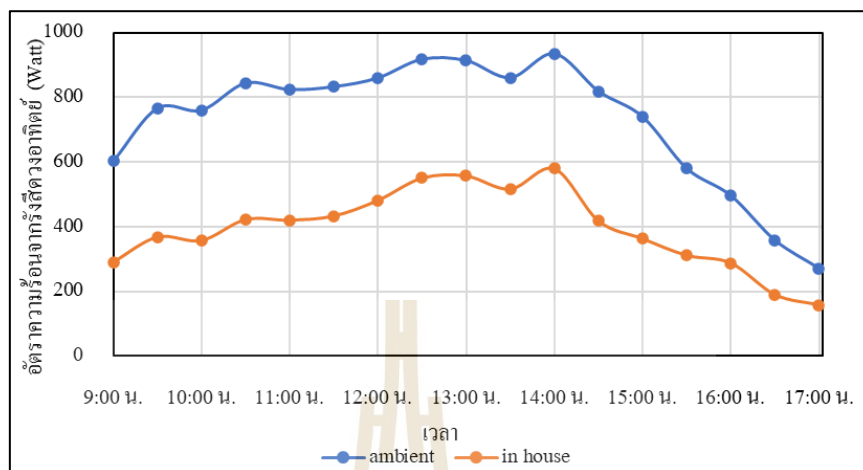
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนกับเวลา

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำ ที่หลังคาโรงเรือนพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกนั้นสูงขึ้น เนื่องจากอากาศภายในโรงเรือนได้รับมวลของน้ำที่เกิดจากการพ่นหมอก เช่นเดียวกับการทดลองในกรณีที่ 3 โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.21 และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจากการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.22

จากรูปที่ 4.22 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือน (%RH in house) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 72.67% ที่เวลา 09.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 79.77% ที่เวลา 11.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 77.44% ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากสิ่งแวดล้อม (%RH ambient) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 30.45% ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 58.80% ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 41.21% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกจะสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 36.21%

ตลอดเวลาที่ทำการทดลองในกรณีนี้ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าสิ่งแวดล้อม นั่นหมายความว่า การทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน สามารถเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้ใกล้เคียง 80% ตามที่ตั้งค่าในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้มากกว่าการทดลองในกรณีที่ 3 อย่างชัดเจน เนื่องจาก ความร้อนจากตาข่ายพรางแสงถูกน้ำระบายความร้อนออกไป อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากตาข่ายพรางแสงจึงลดลงไปด้วย

การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรียนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรียนกับเวลา

การทดลองการใช้งาน โรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียน พบว่า อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูกถูกตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งบนหลังคาของโรงเรียนดูดซับไว้ ส่งผลให้อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนมีค่าที่ลดลง โดยอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูกในวันที่ทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.23

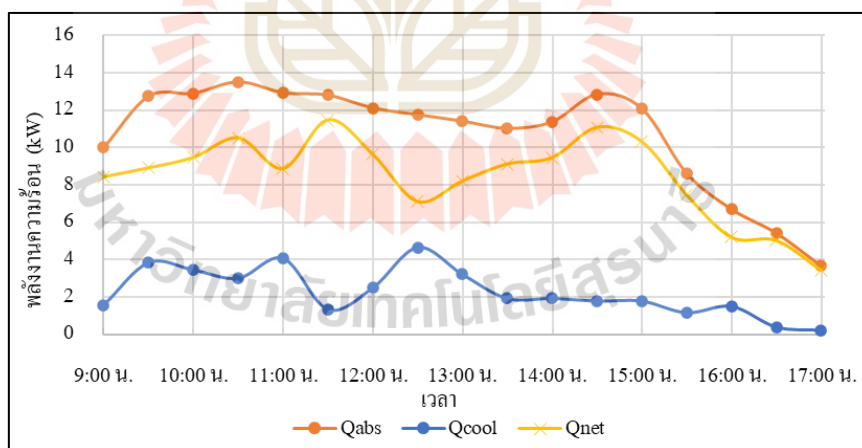
จากรูปที่ 4.23 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Q_{ambient}) ที่ส่องมายังโรงเรียน มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 157 W/m^2 ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 935 W/m^2 ที่เวลา 14.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 728.94 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนเพาะปลูก ($Q_{\text{in house}}$) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 157 W/m^2 ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 580 W/m^2 ที่เวลา 14.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 394.17 W/m^2 อัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรียนมีค่าลดลงโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 334.13 W/m^2 หรือคิดเป็น 45.88% ของอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรียน

ในการทดลองการใช้งาน โรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียนพบว่า การสเปรย์น้ำเพื่อระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงที่ติดตั้งบนหลังคา

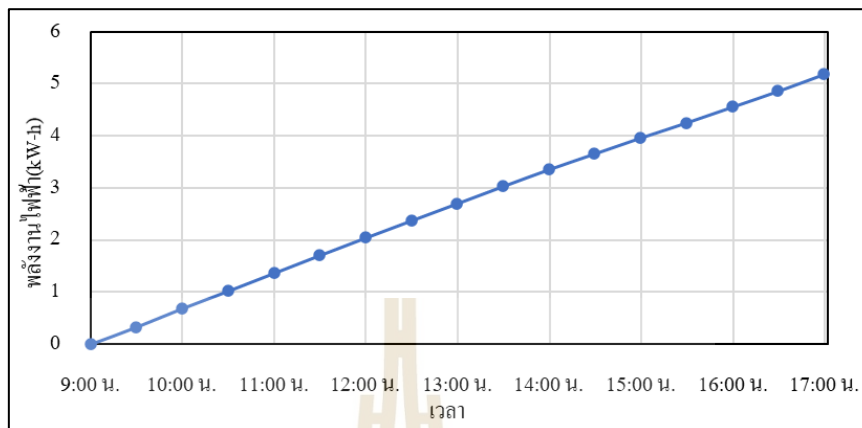
ของโรงเรือนเพาะปลูกสามารถเขียนแสดงได้ดังแผนภาพดังรูปที่ 4.24 โดยที่ความร้อนที่เก็บสะสมในตาข่ายพรางแสง (Q_{abs}) ผลต่างระหว่างอัตราความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นอกโรงเรือนและอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่โรงเรือนจากแผนภาพในรูปที่ 4.23 ซึ่งจะถูกระบายความร้อนด้วยน้ำที่สเปรย์บนหลังคา (Q_{cool}) เมื่อตาข่ายพรางแสงถูกระบายความร้อนด้วยน้ำจากการสเปรย์น้ำที่หลังคาแล้วจะพบว่า ความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวตาข่ายพรางแสง(Q_{net}) ยังคงเหลืออยู่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือนเพื่อระบายความร้อนให้กับตาข่ายพรางแสงนี้จึงมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานดังรูปที่ 4.24

จากรูปที่ 4.24 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ความร้อนที่เก็บสะสมในตาข่ายพรางแสง มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 3.43 kW ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 12.84 kW ที่เวลา 14.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 10.69 kW ความร้อนที่ถูกระบายความร้อนด้วยการสเปรย์น้ำบนหลังคา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.22 kW ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 4.65 kW ที่เวลา 12.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 2.25 kW ความร้อนที่สะสมที่ยังคงเหลืออยู่ในตัวตาข่ายพรางแสง มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 3.43 kW ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 13.50 kW ที่เวลา 10.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 8.45 kW ดังนั้น การสเปรย์น้ำบนหลังคาของโรงเรือนนี้สามารถลดความร้อนสะสมในตัวตาข่ายพรางแสงลงได้เฉลี่ย 21.00%



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เก็บสะสมในตาข่ายพรางแสงและความร้อนที่ระบายออกจากโรงเรือนกับเวลา

การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้า กับเวลา

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพัดลมและสเปรย์น้ำ ที่หลังคาโรงเรือน พบว่า อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักคือ พัดลมระบายอากาศ พัดลมหมุนเวียนอากาศที่อยู่ภายในโรงเรือนเพาะปลูก และเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอกภายในโรงเรือน และเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือน โดยอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.25

จากรูปที่ 4.25 พบว่า ตลอดทั้งวันมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ พลังงานไฟฟ้าจะถูกใช้กับพัดลมระบายอากาศ และเครื่องสูบน้ำสำหรับการสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือน ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอก อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจึงสูงกว่าการทดลองในกรณีที่ 3 โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.6475 kW-h ต่อชั่วโมง โดยในการทดลองนี้มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสุทธิเท่ากับ 5.18 kW-h

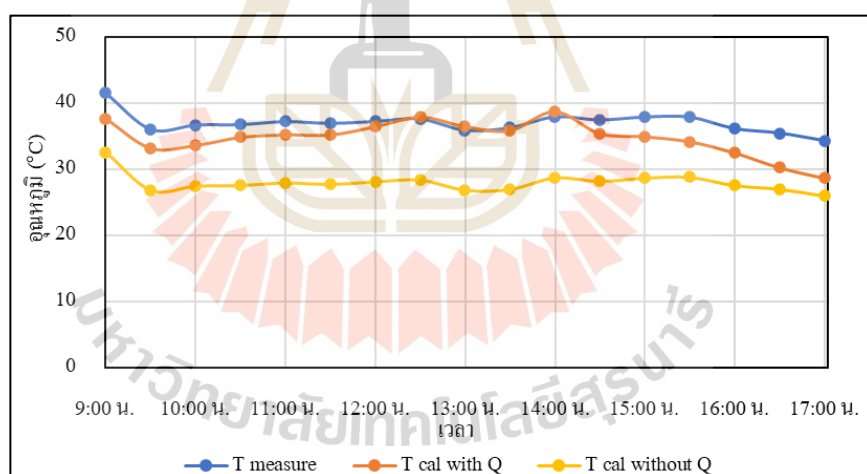
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพัดลมและสเปรย์น้ำ ที่หลังคาโรงเรือน เมื่อทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดจากการทดลองได้แก่ความดันไอน้ำของอากาศ อัดตัว ความดันของไอน้ำจริงในอากาศ อัตราส่วนความชื้น และเอนทาลปีของอากาศในสภาวะก่อนการพ่นหมอก สามารถวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกตามแผนภาพดังรูปที่ 3.6 ซึ่งได้แสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกที่ได้จากการวัดค่า (T measure) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์

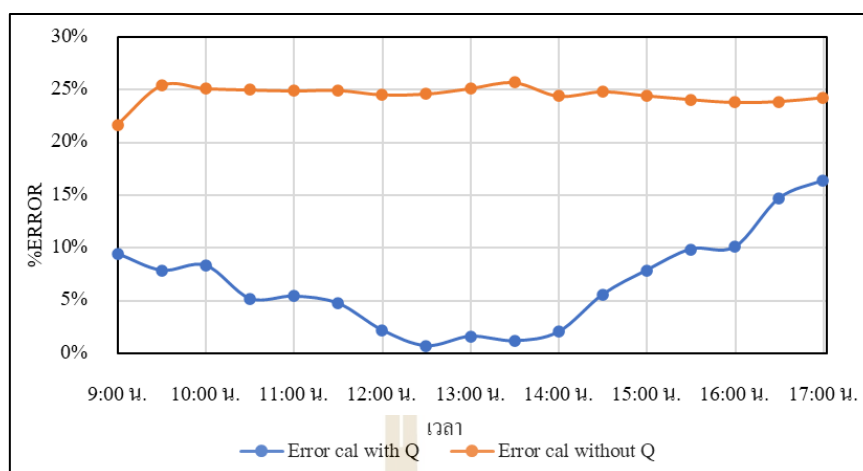
โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (T cal with Q) และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (T cal without Q) ดังรูปที่ 4.26

จากรูปที่ 4.26 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 28.63°C ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 38.67°C ที่เวลา 14.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 34.72°C อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 25.94°C ที่เวลา 17.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 32.53°C ที่เวลา 09.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 27.92°C

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวัดและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยจะเห็นผลได้ชัดเจนในช่วงเวลาที่มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูกที่สูง ตามแผนภาพดังรูปที่ 4.23 หรือในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 5%



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนจากการวัดและการวิเคราะห์กับเวลา



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการวัดและการวิเคราะห์กับเวลา

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวัดและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์พบว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวัดเฉลี่ยมากถึง 24.51% โดยที่คลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการวัดและการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.27

จากรูปที่ 4.27 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.71% ที่เวลา 12.30 น. สูงที่สุดเท่ากับ 16.41% ที่เวลา 17.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 6.66% ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 21.66% ที่เวลา 09.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 25.69% ที่เวลา 13.30 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 24.51%

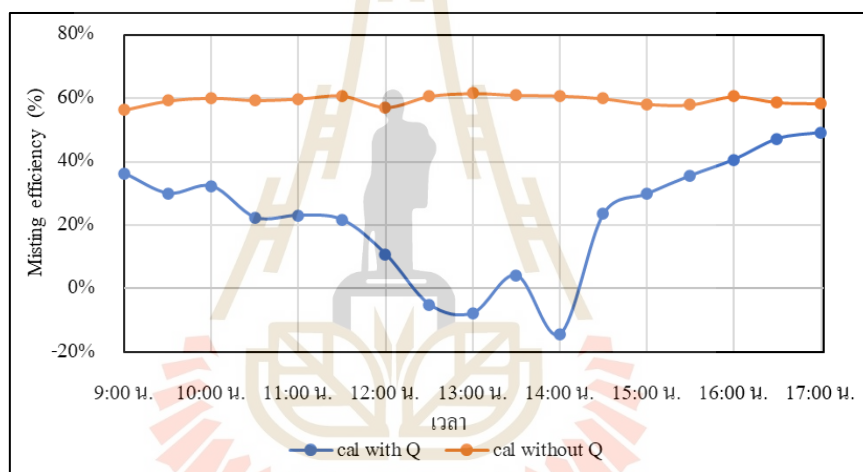
จากรูปที่ 4.27 ยังพบอีกว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังจากการพันหมอกที่เป็นไปได้คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ หมายความว่า ถ้าหากมีการพันหมอกเกิดขึ้นในโรงเรือน และโรงเรือนไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ แล้วอุณหภูมิหลังการพันหมอกจะเท่ากับค่าที่วิเคราะห์ได้ เช่นเดียวกับการทดลองในกรณีที่ 3

ประสิทธิภาพของการพันหมอก

จากการทดลองการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพันหมอกและสเปรย์น้ำ ที่หลังคาโรงเรือนพบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของการพันหมอกที่เกิดขึ้นจากการทดลองนั้น

ค่อนข้างต่ำ เช่นเดียวกับการทดลองในกรณีที่ 3 โดยค่าประสิทธิภาพของการพ่นหมอกแสดง ดังรูปที่ 4.28

จากรูปที่ 4.28 พบว่า ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. ประสิทธิภาพของการพ่นหมอก จากการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (cal with Q) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ -14.46% ที่เวลา 14.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 49.16% ที่เวลา 17.00 น. โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 22.29% ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (cal without Q) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 57.20% ที่เวลา 12.00 น. สูงที่สุดเท่ากับ 61.55% ที่เวลา 13.00 น. โดยค่าเฉลี่ย ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 59.44%



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการพ่นหมอกกับเวลา

จากรูปที่ 4.28 พบว่า ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์อุณหภูมิ กระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อมีความร้อน จากแสงอาทิตย์เข้ามายัง โรงเรือนที่ต่ำ เช่นเวลา 17.00 น. มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เข้ามา ต่ำที่สุดเท่ากับ 157 W/m^2 ส่งผลให้ช่วงเวลานี้สามารถอุณหภูมิของอากาศจากการพ่นหมอกได้ดี ตามที่กล่าวมาในหัวข้อของความสามารถในการลดอุณหภูมิ และยังพบอีกว่าบางช่วงเวลามีค่า ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกเป็นลบ เช่น ที่เวลา 14.00 น. มีประสิทธิภาพของการพ่นหมอก เท่ากับ -14.46% ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนี้เป็นช่วงที่มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ผ่านเข้ามายัง โรงเรือนค่อนข้างสูงถึง 580 W/m^2 ตามรูปที่ 4.23 ทำให้ความสามารถในการลดอุณหภูมิของ

อากาศนั้นไม่สามารถทำได้ กล่าวคือ ในช่วงเวลานี้ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศสูงขึ้นหลังจากการพ่นหมอก เมื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจึงทำให้เกิดค่าเป็นลบ

จากรูปที่ 4.28 ยังพบอีกว่า ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกที่สูงที่สุดที่เป็นไปได้ นั้นเกิดได้จากการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ นั่นคือ อากาศภายในโรงเรือนจะสูญเสียความร้อนให้กับหมอกที่พ่นออกมาเพียงอย่างเดียว ไม่มีแหล่งความร้อนใด ๆ ที่ถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายในโรงเรือน เช่นเดียวกับกรณีที่ 3

4.5 เปรียบเทียบผลการทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอก

4.4.1 ความสามารถในการลดอุณหภูมิ

ความสามารถในการลดอุณหภูมิของทั้ง 4 กรณี แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 4 กรณี

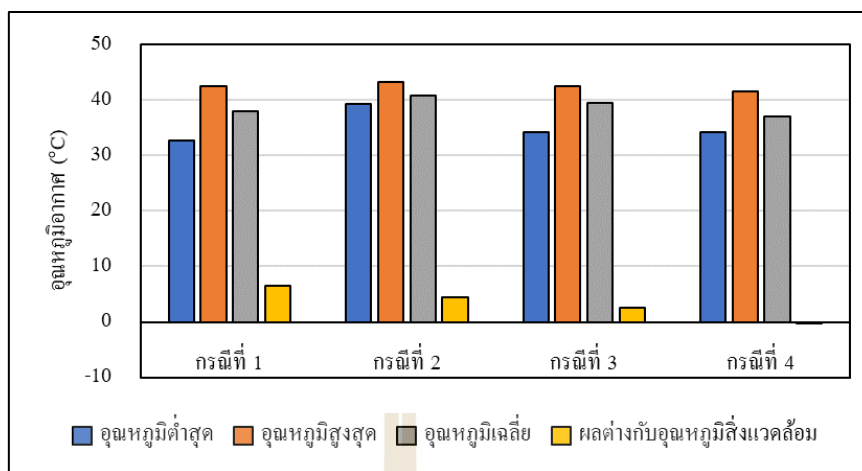
| กรณีที่ | อุณหภูมิต่ำสุด (°C) | อุณหภูมิต่ำสูง (°C) | อุณหภูมิเฉลี่ย (°C) | ผลต่างกับอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) |
|---------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 32.73 | 42.53 | 37.89 | 6.56 |
| 2 | 39.33 | 43.23 | 40.70 | 4.37 |
| 3 | 34.25 | 42.40 | 39.52 | 2.49 |
| 4 | 34.25 | 41.53 | 36.97 | -0.10 |

หมายเหตุ กรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ

กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

กรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน



รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 4 กรณี

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.29 ความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศในการทดลองกรณีที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นการทดลองที่ระบายความร้อนให้กับอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก เปรียบเทียบกับการทดลองกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองที่ไม่ระบายความร้อนให้กับอากาศ พบว่า การทดลองในกรณีที่ 2 และ 3 ไม่สามารถที่จะลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนให้ต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมได้ ในขณะที่การทดลองในกรณีที่ 4 สามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกได้ใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกตลอดทั้งวันต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.10°C . โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกตลอดทั้งวันในการทดลองกรณีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 36.97°C ซึ่งหมายความว่า การทดลองในกรณีที่ 4 นี้สามารถลดอิทธิพลของการเกิดภาวะเรือนกระจกภายในโรงเรือนเพาะปลูกลงได้

4.4.2 ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้ง 4 กรณี แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.30

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้ง 4 กรณี

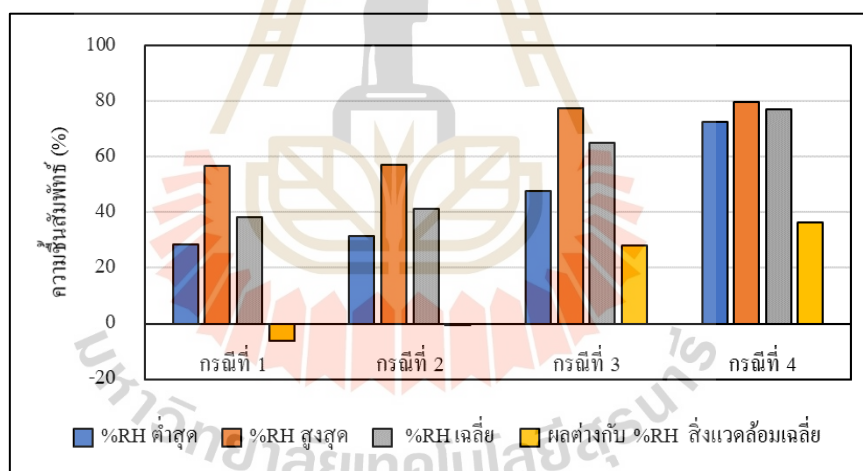
| กรณีที่ | ความชื้นสัมพัทธ์ ต่ำสุด (%) | ความชื้นสัมพัทธ์ สูงสุด (%) | ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (%) | ผลต่างกับความชื้น สัมพัทธ์สิ่งแวดล้อม เฉลี่ย (%) |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 1 | 28.30 | 56.63 | 38.08 | -6.26 |
| 2 | 31.63 | 57.20 | 41.10 | -0.13 |
| 3 | 47.63 | 77.44 | 65.10 | 27.91 |
| 4 | 72.67 | 79.77 | 77.14 | 36.21 |

หมายเหตุ กรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ

กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

กรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน



รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้ง 4 กรณี

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.30 ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศจากการทดลองกรณี 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นการทดลองที่ระบายความร้อนให้กับอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก เปรียบเทียบกับการทดลองกรณี 1 ซึ่งเป็นการทดลองที่ไม่ระบายความร้อนให้กับอากาศพบว่า ในการทดลองกรณี 2 ไม่สามารถเพิ่มความชื้นให้กับอากาศได้ เนื่องจากไม่มีการเติมมวลของน้ำเข้าไปในอากาศ แต่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยตลอดทั้งวันใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.13% ในขณะที่การทดลองกรณี 2 และ 3

สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้สูงกว่าสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเติมมวลของน้ำเข้าไปในอากาศในรูปแบบของการพ่นหมอก โดยในการทดลองกรณีที่ 3 สามารถเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 65.10% ซึ่งสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 27.91% และในการทดลองกรณีที่ 4 สามารถเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 77.14% ซึ่งสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 36.21%

4.4.3 การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง

การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงทั้ง 4 กรณี แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.31

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบการดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงทั้ง 4 กรณี

| กรณีที่ | ดูดซับความร้อนต่ำสุด (%) | ดูดซับความร้อนสูงสุด (%) | ดูดซับความร้อนเฉลี่ย (%) |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 38.06 | 53.85 | 48.03 |
| 2 | 36.97 | 53.08 | 47.16 |
| 3 | 31.65 | 55.23 | 44.97 |
| 4 | 37.97 | 53.03 | 46.02 |

หมายเหตุ กรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ

กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสปริงน้ำที่หลังคาโรงเรือน

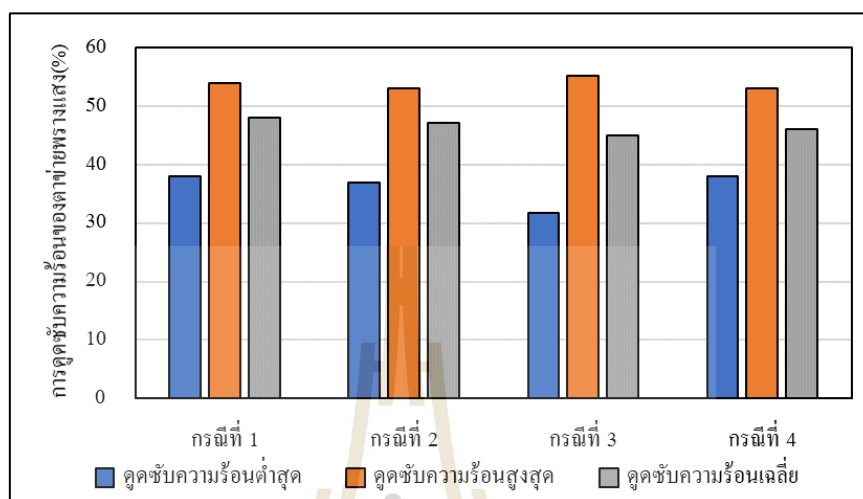
กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

กรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสปริงน้ำที่หลังคาโรงเรือน

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.31 การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงจากการทดลองกรณีที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นการทดลองที่ระบายความร้อนให้กับอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก เปรียบเทียบกับการทดลองกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองที่ไม่ระบายความร้อนให้กับอากาศพบว่า การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงในการทดลองกรณีที่ 2, 3 และ 4 มีการดูดซับความร้อนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไม่แตกต่างกับการทดลองในกรณีที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงจากการทดลองที่ไม่สปริงน้ำที่หลังคาของโรงเรือนเพาะปลูก (กรณีที่ 1 และ 2) กับการทดลองที่สปริงน้ำที่หลังคาของโรงเรือนเพาะปลูก (กรณีที่ 3 และ 4) พบว่าการดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงที่หลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกเฉลี่ยของทั้ง 2 การทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรียนนั้นไม่มีส่วนช่วยในการดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบการดูดซับความร้อนของต๋ายพรังแสงทั้ง 4 กรณี

4.4.4 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทั้ง 4 กรณี แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.32

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทั้ง 4 กรณี

| กรณีที่ | การสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมง (kW-h) | การสิ้นเปลืองพลังงานสุทธิทั้งวัน (kW-h) |
|---------|--|--|
| 1 | 0.4675 | 3.74 |
| 2 | 0.8955 | 7.16 |
| 3 | 0.2213 | 1.77 |
| 4 | 0.6475 | 5.18 |

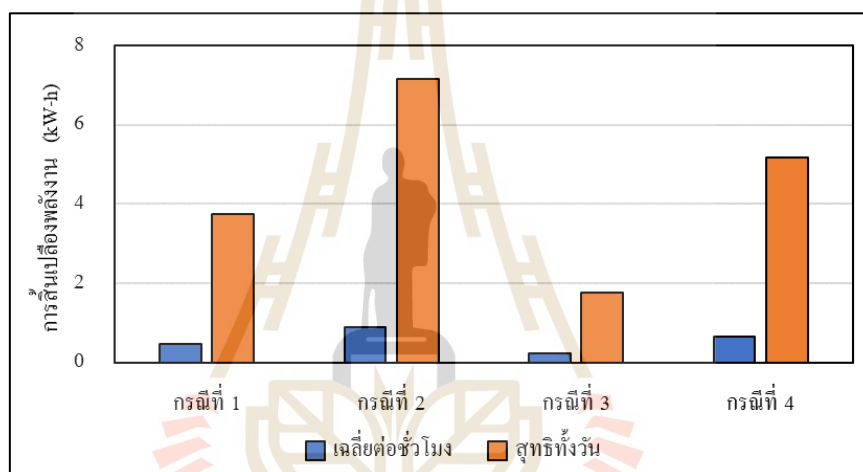
หมายเหตุ กรณีที่ 1 โรงเรียนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ

กรณีที่ 2 โรงเรียนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียน

กรณีที่ 3 โรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

กรณีที่ 4 โรงเรียนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรียน

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.32 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นการทดลองที่ระบายความร้อนให้กับอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก เปรียบเทียบกับการทดลองกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองที่ไม่ระบายความร้อนให้กับอากาศ พบว่า ในการทดลองกรณีที่ 3 ใช้ปริมาณไฟฟ้าสุทธิตลอดทั้งวันที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.77 kW-h โดยคิดเป็นชั่วโมงละ 0.2213 kW-h ในการทดลองกรณีที่ 1 ใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นมาจากกรณีที่ 1 ซึ่งใช้เท่ากับ 3.74 kW-h โดยคิดเป็นชั่วโมงละ 0.4675 kW-h ในการทดลองกรณีที่ 4 ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นมาจากกรณีที่ 1 ซึ่งใช้เท่ากับ 5.18 kW-h โดยคิดเป็นชั่วโมงละ 0.6475 kW-h และกรณีที่ 2 ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดถึง 7.16 kW-h โดยคิดเป็นชั่วโมงละ 0.8955 kW-h



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทั้ง 4 กรณี

4.4.5 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือน

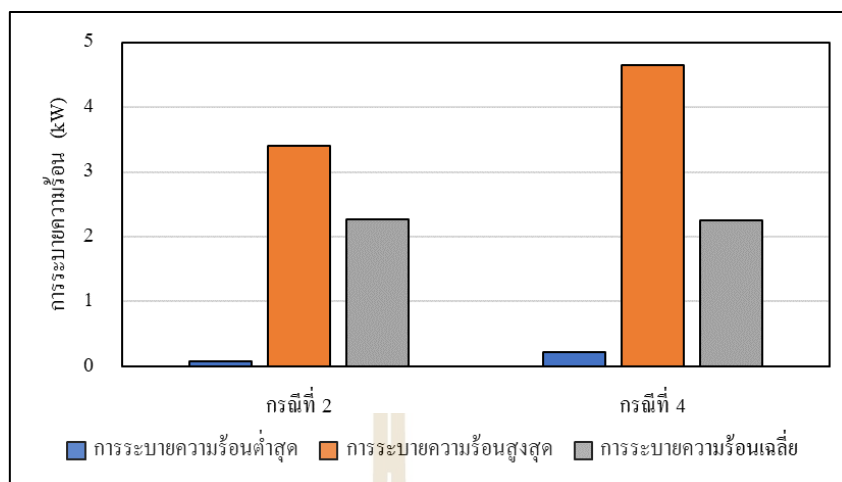
การระบายความร้อนที่หลังคาโรงเรือนทั้ง 2 กรณี แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบการระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนทั้ง 2 กรณี

| กรณีที่ | การระบายความร้อนต่ำสุด (kW) | การระบายความร้อนสูงสุด (kW) | การระบายความร้อนเฉลี่ย (kW) |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.08 | 3.40 | 2.27 |
| 4 | 0.22 | 4.65 | 2.25 |

หมายเหตุ กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสปเรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

กรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสปเรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน



รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบการระบายความร้อนที่หลังคาของ โรงเรียนทั้ง 2 กรณี

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.33 พบว่า การระบายความร้อนที่หลังคาของ โรงเรียน ทั้ง 2 กรณี พบว่า ในการทดลองกรณีที่ 2 สามารถระบายความร้อนที่หลังคาของ โรงเรียนเฉลี่ยทั้งวัน เท่ากับ 2.27 kW และในการทดลองกรณีที่ 2 สามารถระบายความร้อนที่หลังคาของ โรงเรียนเฉลี่ย ทั้งวันเท่ากับ 2.25 kW ซึ่งพบว่าทั้ง 2 กรณีนี้สามารถระบายความร้อนที่หลังคาของ โรงเรียนได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.4.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี แสดง ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.34

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.34 พบว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็น ไปได้หลังการพ่นหมอกของการทดลองทั้ง 2 กรณีเป็นดังนี้

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันใน โรงเรียนของการทดลองกรณีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 34.72°C ซึ่งต่ำกว่า การทดลองในกรณีที่ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 37.23°C อยู่ 2.51°C โดยในการทดลองกรณีที่ 4 และ 3 มีความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวัดจริงเท่ากับ 6.66 % และ 6.43% ซึ่งวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ตามแผนภาพในรูปที่ 3.6 ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่วิเคราะห์ได้ มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิที่วัดได้จริง 6.43% ถึง 6.66%

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสี ดวงอาทิตย์ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันใน โรงเรียนของการทดลองกรณีที่ 4 มีค่าเท่ากับ

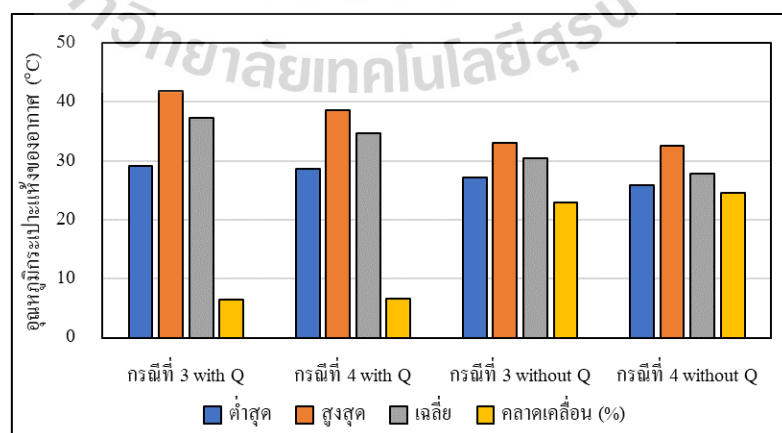
25.94 °C ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในกรณีที่ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 27.11 °C อยู่ 1.17 °C โดยในการทดลองกรณีที่ 4 และ 3 มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริงเท่ากับ 24.51 % ถึง 23.02% ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ เกลิมชาติ เสาวราช ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เช่นเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์สามารถทำให้ทราบถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้หลังจากการพ่นหมอกเข้าไปยังโรงเรือนเพาะปลูก ซึ่งหากต้องการที่จะลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกให้ต่ำลง ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือการลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ให้ต่ำลง แต่การลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นั้นจะต้องไม่ทำให้ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ต่ำกว่าความต้องการของพืชแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี

| กรณี | พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ | | | | ไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ | | | |
|------|-----------------------------------|--------|--------|-------------|--------------------------------------|--------|--------|-------------|
| | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | คลาดเคลื่อน | ต่ำสุด | สูงสุด | เฉลี่ย | คลาดเคลื่อน |
| | (°C) | (°C) | (°C) | (%) | (°C) | (°C) | (°C) | (%) |
| 3 | 29.12 | 41.89 | 37.23 | 6.43 | 27.11 | 32.98 | 30.43 | 23.02 |
| 4 | 28.63 | 38.68 | 34.72 | 6.66 | 25.94 | 32.53 | 27.92 | 24.51 |

หมายเหตุ กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

กรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน



รูปที่ 4.31 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี

4.4.7 ประสิทธิภาพของการพ่นหมอก

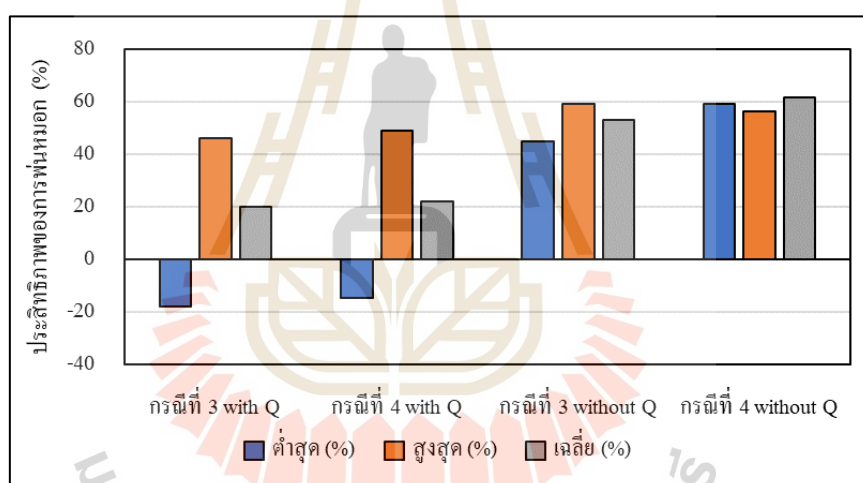
ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี แสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.35

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี

| กรณี | พิจารณาความร้อนจากดวงอาทิตย์ | | | ไม่พิจารณาความร้อนจากดวงอาทิตย์ | | |
|------|------------------------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|
| | ต่ำสุด (%) | สูงสุด (%) | เฉลี่ย (%) | ต่ำสุด (%) | สูงสุด (%) | เฉลี่ย (%) |
| 3 | -17.69 | 46.37 | 20.12 | 44.97 | 59.20 | 53.02 |
| 4 | -14.56 | 49.16 | 22.26 | 59.44 | 56.37 | 61.55 |

หมายเหตุ กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และ

กรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน



รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.35 พบว่า ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกทั้ง 2 กรณี เป็นดังนี้

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าในการทดลองกรณีที่ 4 มีประสิทธิภาพของการพ่นหมอกเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 22.26% ซึ่งสูงกว่า การทดลองในกรณีที่ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 20.12% อยู่ 2.14% โดยในการทดลองกรณีที่ 4 และ 3 จะพบว่า ในบางช่วงเวลามีประสิทธิภาพเป็นลบ หมายถึงการพ่นหมอกที่เกิดขึ้นไม่สามารถที่จะลด อุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ เนื่องจากความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามายังโรงเรือนสูง ทำให้ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังการพ่นหมอกนั้นสูงขึ้น

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าในการทดลองกรณีที่ 4 มีประสิทธิภาพของการพ่นหมอกเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 61.55% ซึ่งสูงกว่าการทดลองในกรณีที่ 3 ที่มีค่าเท่ากับ 53.02% อยู่ 8.53% ซึ่งการวิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์สามารถทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการพ่นหมอกที่สูงที่สุดที่เป็นไปได้หลังจากการพ่นหมอกเข้าไปยังโรงเรือนเพาะปลูก ซึ่งหากต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการพ่นหมอกให้สูงขึ้น ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ การลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ให้ต่ำลง แต่การลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นั้นจะต้องไม่ทำให้ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ต่ำกว่าความต้องการของพืชแต่ละชนิด



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 การควบคุมการฟุ้งหมอกที่เหมาะสม

จากทดลองเพื่อหาการควบคุมการฟุ้งหมอกที่เหมาะสม พบว่า การควบคุมการฟุ้งหมอก โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีความเหมาะสมมากกว่า การควบคุมการฟุ้งหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก เนื่องจากมีการฟุ้งหมอกเกิดขึ้นตลอดทั้งวัน ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกมีค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า ดังนั้น การควบคุมการฟุ้งหมอกด้วยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนจึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการสร้างโรงเรือนเพาะปลูกแบบฟุ้งหมอก อัตโนมัตินี้เพื่อทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

5.2 การทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบฟุ้งหมอก

จากการทดลองโรงเรือนเพาะปลูกแบบฟุ้งหมอกทั้ง 4 กรณี สามารถสรุปแยกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.2.1 ความสามารถในการลดอุณหภูมิ

ความสามารถในการลดอุณหภูมิจากการทดลองกรณีที่ 4 สามารถลดอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือนเพาะปลูกได้ใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวันต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.10°C โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันในการทดลองกรณีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 36.97°C ซึ่งหมายความว่า การทดลองในกรณีที่ 4 นี้สามารถลดอิทธิพลของการเกิดภาวะเรือนกระจกภายในโรงเรือนเพาะปลูกลงได้

5.2.2 ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศจะเกิดขึ้นเมื่อมีการฟุ้งหมอกเข้าไปยังโรงเรือนเพาะปลูกเท่านั้น โดยการทดลองกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบฟุ้งหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้ได้ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 77.14% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เท่ากับ 80% ซึ่งสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 36.21%

5.2.3 การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสง

การดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงทั้ง 4 กรณี นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงจากการทดลองที่ไม่สเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือนเพาะปลูก (กรณีที่ 1 และ 2) กับการทดลองที่สเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือนเพาะปลูก (กรณีที่ 3 และ 4) พบว่าการดูดซับความร้อนของตาข่ายพรางแสงที่หลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกเฉลี่ยของทั้ง 2 การทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การสเปรย์น้ำที่หลังคาของโรงเรือนนั้นไม่มีส่วนช่วยในการดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

5.2.4 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ในการทดลองกรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกใช้ปริมาณไฟฟ้าสุทธิตลอดทั้งวันที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.77 kW-h โดยคิดเป็นชั่วโมงละ 0.2213 kW-h

5.2.5 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือน

การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนทั้ง 2 กรณีคือ กรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน และกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนสามารถระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.2.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอก

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกของการทดลองทั้ง 2 กรณีเป็นดังนี้

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์พบว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่วิเคราะห์ได้ มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริง 6.43% ถึง 6.66%

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์พบว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่วิเคราะห์ได้ มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดได้ 24.51 % ถึง 23.02% ซึ่งเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้หลังจากการพ่นหมอกเข้าไปยังโรงเรือนเพาะปลูก

5.2.7 ประสิทธิภาพของการพ่นหมอก

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยพิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพของการพ่นหมอกเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 20.12% ถึง 22.26% โดยในบาง

ช่วงเวลามีประสิทธิภาพเป็นลบ หมายถึง การพ่นหมอกที่เกิดขึ้นไม่สามารถที่จะลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้

วิเคราะห์อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศโดยไม่พิจารณาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพของการพ่นหมอกเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 53.02% ถึง 61.55% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของการพ่นหมอกที่สูงที่สุดที่เป็นไปได้หลังจากการพ่นหมอกเข้าไปยังโรงเรือนเพาะปลูก

ซึ่งถ้าหากต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการพ่นหมอกให้สูงขึ้น ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ การลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ให้ต่ำลง แต่การลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นั้นจะต้องไม่ทำให้ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ต่ำกว่าความต้องการของพืชแต่ละชนิด

5.3 โรงเรือนเพาะปลูกที่เหมาะสมจากการทดลองโรงเรือนเพาะปลูก

ในการทดลองการใช้งานโรงเรือนทั้ง 4 กรณี พบว่า กรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก มีความสามารถในการลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกเฉลี่ยทั้งวันได้ต่ำกว่า กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 39.52°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอยู่เท่ากับ 2.49°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ของกับอากาศในโรงเรือนเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 60.10% ซึ่งสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อมเท่ากับ 27.91% ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นี้เหมาะสำหรับปลูกพืชไร้ดินเช่น ผักกรีนโอ๊ค ผักเรดโอ๊ค ผักบัตเตอร์เฮด และผักบัตตาเวีย (ชนากร น้ำหอมจันทร์ และอดิกร เสรีพัฒนานนท์, 2557) โดยมีความสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยชั่วโมงละ 0.2213 kW-h ซึ่งเป็นการทดลองที่สามารถลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศได้อีกทั้งยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่สูง เมื่อเทียบกับการทดลองในกรณีอื่น ๆ

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการใช้โรงเรือนเพาะปลูกทั้ง 4 กรณีนั้น พบว่าปัญหาหลักที่ไม่สามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้ดีคือความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือนเพาะปลูก ถึงแม้ว่าจะติดตั้งตาข่ายพรางแสงและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนแล้วก็ตาม อีกทั้งปัญหาเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากจากการสเปรย์น้ำที่หลังคา เนื่องจากเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดใหญ่ ซึ่งในการศึกษาเพื่อต่อยอดต่อไปแนะนำให้สร้างโรงเรือนเพาะปลูกที่ทึบแสงทุกด้าน และใช้หลอด LED เพื่อให้แสงสว่างกับพืชทดแทนแสงอาทิตย์ ส่วนเครื่องสูบน้ำแนะนำให้ใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กเพื่อสูบน้ำสเปรย์ที่หลังคาของโรงเรือน

ในการศึกษานี้ใช้อัตราการไหลของการพ่นหมอกเพียงค่าเดียว ทำให้ไม่ทราบถึงแนวโน้ม
ของความสามารถในการลดอุณหภูมิและการเพิ่มความชื้นของอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
อัตราการไหลของการพ่นหมอก ดังนั้น ในการศึกษาเพื่อต่อยอดจึงแนะนำให้ปรับเปลี่ยนอัตรา
การไหลของการพ่นหมอก เพื่อจะได้ทราบถึงอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับ โรงเรือนเพาะปลูก
แบบพ่นหมอกที่พัฒนาขึ้นมา



รายการอ้างอิง

- Arbel A., A. Shklyar and M. Barak. (2000). Bouyancy-driven ventilation in a greenhouse cooled by a fogging system. *Acta Horticulturae*, 534, 327-334.
- ASAE. (2003). **Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses**. ASAE STANDARDS, EP406.4 JAN03, 698-707.
- Abdel-Ghany A. M. และ Kozai T. (2006). Cooling Efficiency of Fogging Systems for Greenhouses. *Biosystems Engineering*, 94(1), 97-109
- ASHRAE. (2009). **ASHRAE Handbook Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009.
- Argus Control Systems Limited. (2009). **Understanding and Using VPD**. Revised: January 2009, Canada.
- Roland Stull. (2011). Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50, 2267-2269.
- วิไลภรณ์ ชนคนำชัย และปฎิวัติ วงศ์รัตนธรรม. (2551). การปลูกผักปลอดภัยจากสารพิษ. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายแนะนำเอกสาร กองเกษตรสัมพันธ์.
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2550). การปลูกพืชผักในโรงเรือน. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนากร น้ำหอมจันทร์ และอดิกร เสรีพัฒนานนท์. (2557). ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำ แบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. *Eau Herriage Journal Science and Technology*, vol.8, 98-111.
- ศุภวุฒิ ผลกา, สันติ วงศ์ใหญ่ และอดิสร ถมยา. (2557). การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปรางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง. วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2557.
- บุญยฤทธิ์ เพื่อกสามัญ, ถวัลย์ศักดิ์ เผ่าสังข์ และบัญญัติ เศรษฐฐิติ. (2557). การประยุกต์ใช้หอทำน้ำเย็นในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตพืช. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.

- สุรพล พฤษพานิช. (2529). การปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร: หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- เฉลิมชาติ เสาวรัง. (2560). การควบคุมสภาพอากาศอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบฟันทมอก. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์.
- เฉลิมชาติ เสาวรัง, กระจวี ศรีอำรรค และเทวรัตน์ ศรีอำรรค. (2561). สมรรถนะการทำงานร่วมของโรงเรือนเพาะปลูกแบบฟันทมอกกับการระบายอากาศที่ควบคุมด้วยสมการสมดุลความชื้นของอากาศ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่ 24 ฉบับที่ 2, 63-69.





ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ก.1 ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

| เวลา | ความร้อนที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ น้ำพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิ อากาศก่อนพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ อากาศหลังพ่นหมอก (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ก่อนพ่นหมอก (%) | ความชื้นสัมพัทธ์หลังพ่นหมอก (%) | สถานะการทำงาน |
|----------|--|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 9:00 น. | 280 | 24.8 | 33.40 | 43.00 | 41.00 | 40.73 | 39.10 | 39.27 | MISTING |
| 9:30 น. | 302 | 26.5 | 34.90 | 42.00 | 41.13 | 41.20 | 35.83 | 34.13 | FAN OPEN |
| 10:00 น. | 397 | 27.6 | 32.70 | 45.00 | 42.40 | 42.43 | 33.53 | 32.70 | FAN OPEN |
| 10:30 น. | 434 | 27.7 | 33.60 | 43.00 | 43.43 | 43.40 | 33.40 | 34.47 | MISTING |
| 11:00 น. | 341 | 27.4 | 34.70 | 41.00 | 43.73 | 43.78 | 32.13 | 31.00 | FAN OPEN |
| 11:30 น. | 445 | 27.5 | 35.30 | 40.00 | 45.60 | 45.63 | 27.83 | 27.90 | FAN OPEN |
| 12:00 น. | 489 | 28.1 | 35.70 | 39.00 | 45.67 | 45.69 | 26.63 | 26.60 | FAN OPEN |
| 12:30 น. | 80 | 27.8 | 34.90 | 40.00 | 36.67 | 36.17 | 70.93 | 74.40 | MISTING |
| 13:00 น. | 384 | 26.3 | 35.10 | 39.00 | 40.37 | 41.03 | 36.93 | 34.80 | FAN OPEN |
| 13:30 น. | 70 | 26.6 | 36.90 | 36.00 | 43.57 | 43.03 | 26.60 | 27.07 | MISTING |

ตารางที่ ก.1.1 ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก (ต่อ)

| เวลา | ความร้อนที่ผ่าน เข้ามายัง โรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ น้ำพ่น หมอก (°C) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้น สัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิ อากาศก่อน พ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ อากาศหลัง พ่นหมอก (°C) | ความชื้น สัมพัทธ์ก่อน พ่นหมอก (%) | ความชื้น สัมพัทธ์หลัง พ่นหมอก (%) | สถานะ การทำงาน |
|----------|---|------------------------------------|---------------------------------|--|--|--|--|--|-------------------|
| 14:00 น. | 91 | 27.7 | 35.30 | 37.00 | 33.30 | 33.00 | 48.63 | 51.63 | MISTING |
| 14:30 น. | 97 | 27.2 | 34.90 | 38.00 | 33.87 | 33.88 | 48.57 | 47.87 | FAN OPEN |
| 15:00 น. | 71 | 27.2 | 34.60 | 38.00 | 32.63 | 32.33 | 65.13 | 72.20 | MISTING |
| 15:30 น. | 34 | 24.6 | 34.00 | 39.00 | 34.53 | 34.73 | 45.13 | 43.87 | FAN OPEN |
| 16:00 น. | 31 | 26.2 | 33.70 | 42.00 | 29.17 | 29.23 | 73.37 | 75.03 | FAN OPEN |
| 16:30 น. | 71 | 25.3 | 32.50 | 46.00 | 29.47 | 29.53 | 76.07 | 76.73 | FAN OPEN |
| 17:00 น. | 19 | 26.2 | 32.00 | 49.00 | 28.70 | 28.70 | 78.90 | 78.80 | FAN OPEN |

ก.2 ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายใน โรงเรือนเพาะปลูก

| เวลา | ความร้อนที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ น้ำพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิ อากาศก่อนพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ อากาศหลังพ่นหมอก (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ก่อนพ่นหมอก (%) | ความชื้นสัมพัทธ์หลังพ่นหมอก (%) | สถานะการทำงาน |
|----------|--|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 9:00 น. | 260 | 24.4 | 26.9 | 59 | 39.37 | 39.03 | 40.97 | 44.53 | FAN OPEN |
| 9:30 น. | 324 | 24.4 | 28.7 | 54 | 36.07 | 36.20 | 71.67 | 70.40 | FAN OPEN |
| 10:00 น. | 346 | 27.6 | 28.9 | 53 | 38.87 | 39.03 | 63.33 | 61.47 | FAN OPEN |
| 10:30 น. | 558 | 28 | 29.7 | 50 | 39.70 | 39.67 | 51.17 | 51.33 | FAN OPEN |
| 11:00 น. | 451 | 27.5 | 30.4 | 49 | 41.00 | 41.03 | 44.60 | 44.57 | FAN OPEN |
| 11:30 น. | 425 | 28.2 | 31 | 46 | 41.67 | 41.73 | 49.80 | 51.63 | FAN OPEN |
| 12:00 น. | 375 | 27.9 | 31.7 | 44 | 40.77 | 40.67 | 40.93 | 41.33 | FAN OPEN |
| 12:30 น. | 464 | 27.6 | 33.6 | 42 | 44.40 | 44.30 | 39.23 | 39.23 | FAN OPEN |
| 13:00 น. | 481 | 28.3 | 35.1 | 40 | 41.10 | 41.17 | 44.23 | 43.30 | FAN OPEN |
| 13:30 น. | 420 | 28.1 | 35.5 | 39 | 43.27 | 43.37 | 39.53 | 40.00 | FAN OPEN |

ตารางที่ ก.2.1 ผลการทดลองการควบคุมการพ่นหมอกโดยการควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูก (ต่อ)

| เวลา | ความร้อนที่ผ่านเข้ามายังโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิน้ำพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศก่อนพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิอากาศหลังพ่นหมอก (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ก่อนพ่นหมอก (%) | ความชื้นสัมพัทธ์หลังพ่นหมอก (%) | สถานะการทำงาน |
|----------|--|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 14:00 น. | 360 | 28.5 | 35.1 | 39 | 41.90 | 41.80 | 46.07 | 46.23 | FAN OPEN |
| 14:30 น. | 345 | 28.2 | 34.5 | 40 | 39.37 | 39.47 | 47.27 | 45.90 | FAN OPEN |
| 15:00 น. | 291 | 28.2 | 34.2 | 40 | 37.03 | 37.23 | 55.30 | 53.63 | FAN OPEN |
| 15:30 น. | 242 | 27.5 | 34.1 | 40 | 38.23 | 38.50 | 56.67 | 56.13 | FAN OPEN |
| 16:00 น. | 138 | 28.3 | 34 | 40 | 35.93 | 35.80 | 58.80 | 57.93 | FAN OPEN |
| 16:30 น. | 77 | 28.7 | 32.9 | 42 | 31.87 | 31.83 | 70.00 | 69.27 | FAN OPEN |
| 17:00 น. | 20 | 28.2 | 31.3 | 43 | 27.13 | 27.23 | 80.73 | 80.00 | FAN OPEN |

ก.3 ผลการทดลองกรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดลองกรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ

| เวลา | ความร้อนผ่านเข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้านนอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน (%) | สถานะการทำงาน |
|----------|--|--|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 9:00 น. | 124 | 264 | 25.70 | 58.15 | 32.77 | 56.80 | FAN OPEN |
| 9:30 น. | 179 | 366 | 26.75 | 56.50 | 32.73 | 55.67 | FAN OPEN |
| 10:00 น. | 233 | 485 | 27.25 | 55.50 | 34.80 | 49.40 | FAN OPEN |
| 10:30 น. | 280 | 572 | 28.95 | 50.60 | 37.33 | 43.97 | FAN OPEN |
| 11:00 น. | 321 | 642 | 29.80 | 49.05 | 38.47 | 39.27 | FAN OPEN |
| 11:30 น. | 413 | 779 | 30.90 | 47.60 | 38.80 | 38.20 | FAN OPEN |
| 12:00 น. | 457 | 830 | 31.60 | 45.75 | 40.77 | 34.73 | FAN OPEN |
| 12:30 น. | 473 | 816 | 32.60 | 43.30 | 41.53 | 33.00 | FAN OPEN |
| 13:00 น. | 516 | 833 | 32.90 | 42.80 | 41.17 | 32.23 | FAN OPEN |
| 13:30 น. | 475 | 791 | 33.80 | 39.50 | 42.13 | 29.93 | FAN OPEN |
| 14:00 น. | 363 | 699 | 33.70 | 38.50 | 42.53 | 28.30 | FAN OPEN |

ตารางที่ ก.3.1 ผลการทดลองกรณีที่ 1 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ (ต่อ)

| เวลา | ความร้อนผ่าน เข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้าน นอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศ ในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ใน โรงเรือน (%) | สถานะ การทำงาน |
|------------------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 14:30 น. | 435 | 738 | 32.75 | 38.45 | 36.90 | 34.33 | FAN OPEN |
| 15:00 น. | 194 | 412 | 33.95 | 34.80 | 40.53 | 29.13 | FAN OPEN |
| 15:30 น. | 188 | 391 | 33.90 | 35.40 | 39.70 | 29.33 | FAN OPEN |
| 16:00 น. | 52 | 107 | 32.90 | 37.85 | 35.33 | 35.60 | FAN OPEN |
| 16:30 น. | 114 | 220 | 32.95 | 38.85 | 34.67 | 37.53 | FAN OPEN |
| 17:00 น. | 24 | 52 | 32.20 | 41.20 | 34.03 | 39.17 | FAN OPEN |
| ค่าเฉลี่ย | 284.76 | 529.34 | 311.33 | 44.34 | 37.89 | 08.03 | - |

ตารางที่ ก.3.2 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 1

| เวลา | การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-h) |
|------------------|----------------------------------|
| 9:00 น. | 0.00 |
| 9:30 น. | 0.23 |
| 10:00 น. | 0.47 |
| 10:30 น. | 0.70 |
| 11:00 น. | 0.94 |
| 11:30 น. | 1.17 |
| 12:00 น. | 1.40 |
| 12:30 น. | 1.64 |
| 13:00 น. | 1.87 |
| 13:30 น. | 2.11 |
| 14:00 น. | 2.34 |
| 14:30 น. | 2.57 |
| 15:00 น. | 2.81 |
| 15:30 น. | 3.04 |
| 16:00 น. | 3.28 |
| 16:30 น. | 3.51 |
| 17:00 น. | 3.74 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.4681 |

ก.4 ผลการทดลองกรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดลองกรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

| เวลา | ความร้อนผ่าน เข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้าน นอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศ ในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ใน โรงเรือน (%) | สถานะ การทำงาน |
|----------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 9:00 น. | 173 | 353 | 30.30 | 60.70 | 39.33 | 57.20 | FAN OPEN |
| 9:30 น. | 242 | 505 | 31.75 | 56.00 | 39.37 | 55.93 | FAN OPEN |
| 10:00 น. | 318 | 662 | 33.55 | 51.05 | 39.43 | 50.23 | FAN OPEN |
| 10:30 น. | 353 | 720 | 34.25 | 46.75 | 39.67 | 48.27 | FAN OPEN |
| 11:00 น. | 395 | 790 | 35.50 | 48.55 | 40.33 | 44.93 | FAN OPEN |
| 11:30 น. | 432 | 830 | 35.50 | 44.35 | 40.87 | 44.87 | FAN OPEN |
| 12:00 น. | 467 | 820 | 36.50 | 42.85 | 41.13 | 41.63 | FAN OPEN |
| 12:30 น. | 500 | 876.5 | 36.50 | 40.85 | 41.37 | 39.67 | FAN OPEN |
| 13:00 น. | 578 | 933 | 37.70 | 37.10 | 42.27 | 38.03 | FAN OPEN |
| 13:30 น. | 583 | 925 | 37.85 | 37.70 | 42.47 | 35.43 | FAN OPEN |
| 14:00 น. | 385 | 740 | 37.80 | 32.65 | 42.43 | 32.00 | FAN OPEN |

ตารางที่ ก.4.1 ผลการทดลองกรณีที่ 2 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดพัดลมระบายอากาศ และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน (ต่อ)

| เวลา | ความร้อนผ่าน เข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้าน นอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศ ในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ใน โรงเรือน (%) | สถานะ การทำงาน |
|------------------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 14:30 น. | 297 | 582 | 37.80 | 35.25 | 42.17 | 33.13 | FAN OPEN |
| 15:00 น. | 377 | 673 | 37.70 | 38.60 | 43.23 | 35.20 | FAN OPEN |
| 15:30 น. | 75 | 166 | 36.35 | 38.35 | 36.60 | 42.30 | FAN OPEN |
| 16:00 น. | 293 | 488 | 38.30 | 32.35 | 39.43 | 36.33 | FAN OPEN |
| 16:30 น. | 211 | 406 | 40.05 | 29.20 | 41.30 | 31.63 | FAN OPEN |
| 17:00 น. | 137 | 292 | 40.05 | 28.60 | 40.47 | 31.93 | FAN OPEN |
| ค่าเฉลี่ย | 342.12 | 633.03 | 36.32 | 41.23 | 40.70 | 41.10 | - |

ตารางที่ ก.4.2 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนในการทดลองครั้งที่ 2

| เวลา | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางเข้า (°C) | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางออก (°C) | อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน ทางออก (kg/s) | ความร้อนที่น้ำระบายออกจาก ตาข่ายพรางแสง (kW) |
|----------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 9:00 น. | 26.2 | 28.2 | 0.4423 | 2.42 |
| 9:30 น. | 28.0 | 30.5 | 0.4411 | 3.11 |
| 10:00 น. | 30.5 | 33.5 | 0.4317 | 2.58 |
| 10:30 น. | 30.7 | 34.1 | 0.4316 | 3.26 |
| 11:00 น. | 32.0 | 35.5 | 0.4321 | 3.40 |
| 11:30 น. | 32.2 | 35.6 | 0.4275 | 2.51 |
| 12:00 น. | 33.0 | 35.7 | 0.4417 | 3.30 |
| 12:30 น. | 33.1 | 35.7 | 0.4299 | 1.33 |
| 13:00 น. | 33.3 | 35.8 | 0.4323 | 1.49 |
| 13:30 น. | 33.5 | 36.0 | 0.4395 | 2.56 |
| 14:00 น. | 33.5 | 35.5 | 0.4474 | 2.82 |
| 14:30 น. | 33.5 | 35.5 | 0.4483 | 2.96 |
| 15:00 น. | 33.5 | 35.5 | 0.4395 | 1.64 |

ตารางที่ ก.4.2 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนในการทดลองกรณีที่ 2 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางเข้า (°C) | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางออก (°C) | อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน ทางออก (kg/s) | ความร้อนที่น้ำระบายออกจาก ต่ายพรางแสง (kW) |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 15:30 น. | 33.2 | 34.5 | 0.4455 | 1.24 |
| 16:00 น. | 33.0 | 34.8 | 0.4504 | 2.90 |
| 16:30 น. | 33.0 | 34.5 | 0.4408 | 0.95 |
| 17:00 น. | 32.75 | 33.1 | 0.4498 | 0.08 |
| ค่าเฉลี่ย | 32.06 | 34.35 | 0.4395 | 2.27 |

ตารางที่ ก.4.3 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 2

| เวลา | การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-h) |
|------------------|----------------------------------|
| 9:00 น. | 0.00 |
| 9:30 น. | 0.45 |
| 10:00 น. | 0.90 |
| 10:30 น. | 1.34 |
| 11:00 น. | 1.79 |
| 11:30 น. | 2.24 |
| 12:00 น. | 2.69 |
| 12:30 น. | 3.13 |
| 13:00 น. | 3.58 |
| 13:30 น. | 4.03 |
| 14:00 น. | 0.00 |
| 14:30 น. | 0.45 |
| 15:00 น. | 0.90 |
| 15:30 น. | 1.34 |
| 16:00 น. | 6.27 |
| 16:30 น. | 6.72 |
| 17:00 น. | 7.16 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.8955 |

ก.5 ผลการทดลองกรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดลองกรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก

| เวลา | ความร้อนผ่าน เข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้าน นอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศ ในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงเรือน (%) | สถานะ การทำงาน |
|----------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 9:00 น. | 284 | 527 | 30.40 | 59.90 | 41.17 | 61.93 | MISTING |
| 9:30 น. | 315 | 612 | 31.60 | 57.35 | 37.70 | 75.47 | MISTING |
| 10:00 น. | 376 | 768 | 32.75 | 54.70 | 39.07 | 75.99 | MISTING |
| 10:30 น. | 418 | 854 | 34.55 | 47.25 | 38.93 | 77.17 | MISTING |
| 11:00 น. | 403 | 805 | 35.25 | 44.40 | 41.07 | 69.27 | MISTING |
| 11:30 น. | 432 | 831 | 36.45 | 40.15 | 39.90 | 67.13 | MISTING |
| 12:00 น. | 483 | 863 | 37.20 | 37.15 | 40.17 | 77.40 | MISTING |
| 12:30 น. | 477 | 836 | 37.15 | 33.45 | 40.60 | 52.87 | MISTING |
| 13:00 น. | 536 | 894 | 37.65 | 31.90 | 40.87 | 47.63 | MISTING |
| 13:30 น. | 611 | 912 | 38.70 | 30.70 | 40.50 | 67.43 | MISTING |
| 14:00 น. | 425 | 802 | 38.75 | 29.35 | 40.47 | 59.07 | MISTING |

ตารางที่ ก.5.1 ผลการทดลองกรณีที่ 3 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก (ต่อ)

| เวลา | ความร้อนผ่าน เข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้าน นอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศ ในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ใน โรงเรือน (%) | สถานะ การทำงาน |
|------------------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 14:30 น. | 469 | 809 | 39.00 | 28.20 | 41.63 | 73.77 | MISTING |
| 15:00 น. | 432 | 632 | 39.40 | 27.85 | 42.40 | 55.07 | MISTING |
| 15:30 น. | 374 | 577 | 38.65 | 28.55 | 41.37 | 56.97 | MISTING |
| 16:00 น. | 289 | 514 | 40.85 | 28.35 | 36.37 | 71.03 | MISTING |
| 16:30 น. | 214 | 478 | 40.60 | 26.35 | 35.42 | 55.77 | MISTING |
| 17:00 น. | 102 | 227 | 40.50 | 26.65 | 34.25 | 62.67 | MISTING |
| ค่าเฉลี่ย | 390.65 | 702.41 | 37.03 | 37.19 | 39.52 | 65.10 | - |

ตารางที่ ก.5.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกในการทดลองครั้งที่ 3

| เวลา | อุณหภูมิ น้ำพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิอากาศ ก่อนพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิอากาศ หลังพ่นหมอก (°C) | ความชื้น สัมพัทธ์ก่อน พ่นหมอก (%) | ความชื้น สัมพัทธ์หลัง พ่นหมอก (%) | อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศจากการ วิเคราะห์โดยพิจารณา รังสีดวงอาทิตย์ (°C) | อุณหภูมิกระเปาะแห้งของ อากาศจากการวิเคราะห์ โดยไม่พิจารณารังสี ดวงอาทิตย์ (°C) |
|----------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|--|---|
| 9:00 น. | 26.8 | 41.23 | 41.17 | 58.27 | 61.93 | 36.83 | 31.87 |
| 9:30 น. | 26.8 | 37.57 | 37.70 | 72.87 | 75.47 | 33.79 | 28.35 |
| 10:00 น. | 27 | 39.10 | 39.07 | 75.77 | 75.99 | 36.35 | 29.83 |
| 10:30 น. | 27.1 | 38.93 | 38.93 | 74.10 | 77.17 | 36.92 | 29.66 |
| 11:00 น. | 27.1 | 41.07 | 41.07 | 66.97 | 69.27 | 38.75 | 31.72 |
| 11:30 น. | 27.2 | 39.90 | 39.90 | 64.13 | 67.13 | 38.11 | 30.60 |
| 12:00 น. | 27.3 | 40.13 | 40.17 | 74.80 | 77.40 | 39.23 | 30.82 |
| 12:30 น. | 27.4 | 40.77 | 40.60 | 54.27 | 52.87 | 39.76 | 31.44 |
| 13:00 น. | 27.4 | 40.90 | 40.87 | 52.57 | 47.63 | 40.93 | 31.56 |
| 13:30 น. | 27.5 | 40.57 | 40.50 | 66.67 | 67.43 | 41.89 | 31.25 |
| 14:00 น. | 27.6 | 40.47 | 40.47 | 56.80 | 59.07 | 38.56 | 31.15 |
| 14:30 น. | 27.6 | 41.53 | 41.63 | 75.23 | 73.77 | 40.36 | 32.17 |

ตารางที่ ก.5.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกในการทดลองครั้งที่ 3 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิน้ำพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิอากาศก่อนพ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิอากาศหลังพ่นหมอก (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ก่อนพ่นหมอก (%) | ความชื้นสัมพัทธ์หลังพ่นหมอก (%) | อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวิเคราะห์โดยพิจารณารังสีดวงอาทิตย์ (°C) | อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณารังสีดวงอาทิตย์ (°C) |
|------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 15:00 น. | 27.6 | 42.37 | 42.40 | 59.60 | 55.07 | 40.55 | 32.98 |
| 15:30 น. | 27.7 | 41.50 | 41.37 | 55.47 | 56.97 | 38.69 | 32.14 |
| 16:00 น. | 27.8 | 36.27 | 36.37 | 69.47 | 71.03 | 32.08 | 27.11 |
| 16:30 น. | 27.8 | 36.40 | 35.42 | 53.10 | 55.77 | 30.92 | 27.23 |
| 17:00 น. | 27.8 | 36.53 | 34.25 | 61.53 | 62.67 | 29.12 | 27.36 |
| ค่าเฉลี่ย | 27.38 | 39.72 | 39.52 | 64.21 | 65.10 | 37.23 | 30.43 |

ตารางที่ ก.5.3 ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกในการทดลองกรณีที่ 3

| เวลา | ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์โดยพิจารณา รังสีดวงอาทิตย์ (%) | ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณา รังสีดวงอาทิตย์ (%) |
|------------------|--|---|
| 9:00 น. | 31.81 | 51.08 |
| 9:30 น. | 35.52 | 58.35 |
| 10:00 น. | 28.47 | 58.49 |
| 10:30 น. | 23.02 | 59.17 |
| 11:00 น. | 22.01 | 54.69 |
| 11:30 น. | 17.22 | 53.75 |
| 12:00 น. | 11.74 | 59.20 |
| 12:30 น. | 8.10 | 47.13 |
| 13:00 น. | -0.24 | 44.97 |
| 14:00 น. | -17.69 | 53.79 |
| 14:30 น. | 15.83 | 49.85 |
| 15:00 น. | 13.43 | 57.02 |
| 15:30 น. | 14.02 | 47.76 |
| 16:00 น. | 35.86 | 56.11 |
| 16:30 น. | 35.61 | 49.16 |
| 17:00 น. | 46.31 | 52.11 |
| ค่าเฉลี่ย | 20.12 | 53.02 |

ตารางที่ ก.5.4 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 3

| เวลา | การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-h) |
|------------------|----------------------------------|
| 9:00 น. | 0.00 |
| 9:30 น. | 0.09 |
| 10:00 น. | 0.19 |
| 10:30 น. | 0.26 |
| 11:00 น. | 0.33 |
| 11:30 น. | 0.39 |
| 12:00 น. | 0.44 |
| 12:30 น. | 0.50 |
| 13:00 น. | 0.55 |
| 13:30 น. | 0.59 |
| 14:00 น. | 0.63 |
| 14:30 น. | 0.67 |
| 15:00 น. | 0.70 |
| 15:30 น. | 0.74 |
| 16:00 น. | 0.79 |
| 16:30 น. | 0.84 |
| 17:00 น. | 0.87 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.1092 |

ก.6 ผลการทดลองกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

ตารางที่ ก.6.1 ผลการทดลองกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอกและสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน

| เวลา | ความร้อนผ่าน เข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้าน นอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศ ในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงเรือน (%) | สถานะ การทำงาน |
|----------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 9:00 น. | 290 | 602 | 31.30 | 58.65 | 41.53 | 66.97 | MISTING |
| 9:30 น. | 368 | 766 | 32.15 | 56.15 | 35.97 | 79.60 | MISTING |
| 10:00 น. | 357 | 760 | 33.20 | 51.95 | 36.63 | 76.90 | MISTING |
| 10:30 น. | 422 | 844 | 34.70 | 49.15 | 36.70 | 77.17 | MISTING |
| 11:00 น. | 420 | 824 | 35.30 | 46.05 | 37.17 | 73.30 | MISTING |
| 11:30 น. | 433 | 833 | 36.40 | 45.05 | 36.90 | 78.87 | MISTING |
| 12:00 น. | 482 | 860 | 37.15 | 43.20 | 37.20 | 76.57 | MISTING |
| 12:30 น. | 551 | 918 | 37.35 | 40.65 | 37.57 | 76.50 | MISTING |
| 13:00 น. | 558 | 914 | 36.75 | 40.30 | 35.83 | 77.47 | MISTING |
| 13:30 น. | 517 | 861 | 38.10 | 39.05 | 36.23 | 75.73 | MISTING |
| 14:00 น. | 580 | 935 | 38.20 | 36.15 | 37.90 | 76.13 | MISTING |

ตารางที่ ก.6.1 ผลการทดลองกรณีที่ 4 โรงเรือนเพาะปลูกเปิดระบบพ่นหมอก และสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือน (ต่อ)

| เวลา | ความร้อนผ่าน เข้าสู่โรงเรือน (W/m ²) | ความร้อนด้าน นอกโรงเรือน (W/m ²) | อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ สิ่งแวดล้อม (%) | อุณหภูมิอากาศ ในโรงเรือน (°C) | ความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงเรือน (%) | สถานะ การทำงาน |
|------------------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 14:30 น. | 418 | 819 | 39.30 | 34.15 | 37.43 | 78.33 | MISTING |
| 15:00 น. | 363 | 740 | 38.75 | 33.05 | 37.87 | 75.33 | MISTING |
| 15:30 น. | 311 | 580 | 39.40 | 33.45 | 37.87 | 75.00 | MISTING |
| 16:00 น. | 287 | 496 | 41.80 | 31.95 | 36.10 | 79.37 | MISTING |
| 16:30 น. | 189 | 358 | 41.35 | 31.15 | 35.42 | 76.00 | MISTING |
| 17:00 น. | 157 | 271 | 40.25 | 30.45 | 34.25 | 75.20 | MISTING |
| ค่าเฉลี่ย | 394.29 | 728.294 | 37.14 | 41.21 | 36.97 | 77.44 | - |

ตารางที่ ก.6.2 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรียนในการทดลองครั้งที่ 4

| เวลา | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางเข้า (°C) | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางออก (°C) | อัตราการไหลของน้ำระบาย ความร้อนทางออก (kg/s) | ความร้อนที่น้ำระบายออกจาก ต่ายพรางแสง (kW) |
|----------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 9:00 น. | 27.8 | 29.1 | 0.4465 | 1.56 |
| 9:30 น. | 30.2 | 32.5 | 0.4500 | 3.83 |
| 10:00 น. | 30.8 | 33.4 | 0.4433 | 3.44 |
| 10:30 น. | 31.2 | 34.8 | 0.4277 | 3.00 |
| 11:00 น. | 31.3 | 34.9 | 0.4350 | 4.06 |
| 11:30 น. | 31.4 | 35.2 | 0.4140 | 1.33 |
| 12:00 น. | 31.6 | 35.5 | 0.4209 | 2.48 |
| 12:30 น. | 31.9 | 35.8 | 0.4356 | 4.65 |
| 13:00 น. | 32.5 | 36.0 | 0.4311 | 3.20 |
| 13:30 น. | 32.9 | 36.1 | 0.4264 | 1.91 |
| 14:00 น. | 33.2 | 36.0 | 0.4315 | 1.92 |
| 14:30 น. | 33.3 | 36.5 | 0.4258 | 1.78 |
| 15:00 น. | 33.1 | 36.2 | 0.4269 | 1.77 |

ตารางที่ ก.6.2 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนในการทดลองกรณีที่ 4 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางเข้า (°C) | อุณหภูมิระบายความร้อน ทางออก (°C) | อัตราการไหลของน้ำระบาย ความร้อนทางออก (kg/s) | ความร้อนที่น้ำระบายออกจาก ต่ายพรางแสง (kW) |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 15:30 น. | 33.0 | 35.5 | 0.4298 | 1.15 |
| 16:00 น. | 33.0 | 35.2 | 0.4358 | 1.49 |
| 16:30 น. | 32.8 | 34.8 | 0.4306 | 0.39 |
| 17:00 น. | 32.5 | 33.8 | 0.4381 | 0.22 |
| ค่าเฉลี่ย | 31.91 | 34.78 | 0.4323 | 2.25 |

ตารางที่ ก.6.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกในการทดลองครั้งที่ 4

| เวลา | อุณหภูมิ พ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ อากาศก่อน พ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ อากาศหลัง พ่นหมอก (°C) | ความชื้น สัมพัทธ์ก่อน พ่นหมอก (%) | ความชื้น สัมพัทธ์หลัง พ่นหมอก (%) | อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศจากการ วิเคราะห์โดยพิจารณา รังสีดวงอาทิตย์ (°C) | อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศจากการ วิเคราะห์โดยไม่พิจารณา รังสีดวงอาทิตย์ (°C) |
|----------|-----------------------------|--|--|---|---|--|---|
| 9:00 น. | 27.8 | 41.90 | 41.53 | 66.97 | 72.67 | 37.60 | 32.53 |
| 9:30 น. | 27.8 | 35.97 | 35.97 | 79.60 | 76.87 | 33.15 | 26.82 |
| 10:00 น. | 27.8 | 36.60 | 36.63 | 76.90 | 78.57 | 33.58 | 27.43 |
| 10:30 น. | 27.9 | 36.70 | 36.70 | 77.17 | 77.30 | 34.79 | 27.53 |
| 11:00 น. | 27.9 | 37.10 | 37.17 | 73.30 | 78.17 | 35.16 | 27.91 |
| 11:30 น. | 27.9 | 36.87 | 36.90 | 78.87 | 79.77 | 35.15 | 27.69 |
| 12:00 น. | 27.9 | 37.27 | 37.20 | 76.57 | 73.37 | 36.39 | 28.08 |
| 12:30 น. | 28.0 | 37.53 | 37.57 | 76.50 | 79.60 | 37.84 | 28.33 |
| 13:00 น. | 28.0 | 35.97 | 35.83 | 77.47 | 81.03 | 36.41 | 26.83 |
| 13:30 น. | 28.0 | 36.07 | 36.23 | 75.73 | 80.00 | 35.81 | 26.92 |
| 14:00 น. | 28.0 | 37.87 | 37.90 | 76.13 | 79.87 | 38.68 | 28.66 |
| 14:30 น. | 28.1 | 37.33 | 37.43 | 75.93 | 78.33 | 35.35 | 28.14 |

ตารางที่ ก.6.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกในการทดลองครั้งที่ 4 (ต่อ)

| เวลา | อุณหภูมิ พ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ อากาศก่อน พ่นหมอก (°C) | อุณหภูมิ อากาศหลัง พ่นหมอก (°C) | ความชื้น สัมพัทธ์ก่อน พ่นหมอก (%) | ความชื้น สัมพัทธ์หลัง พ่นหมอก (%) | อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศจากการ วิเคราะห์โดยพิจารณา รังสีดวงอาทิตย์ (°C) | อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศจากการ วิเคราะห์โดยไม่พิจารณา รังสีดวงอาทิตย์ (°C) |
|------------------|-----------------------------|--|--|---|---|--|---|
| 15:00 น. | 33.1 | 37.83 | 37.87 | 74.20 | 75.33 | 34.89 | 28.62 |
| 15:30 น. | 33.0 | 37.97 | 37.87 | 74.20 | 75.00 | 34.13 | 28.75 |
| 16:00 น. | 33.0 | 36.68 | 36.10 | 76.80 | 79.37 | 32.45 | 27.51 |
| 16:30 น. | 32.8 | 36.11 | 35.42 | 71.20 | 76.00 | 30.21 | 26.96 |
| 17:00 น. | 32.5 | 35.05 | 34.25 | 77.20 | 75.20 | 28.63 | 25.94 |
| ค่าเฉลี่ย | 31.91 | 37.11 | 36.97 | 75.57 | 77.44 | 34.72 | 27.92 |

ตารางที่ ก.6.4 ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกในการทดลองครั้งที่ 4

| เวลา | ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์โดยพิจารณารังสีดวงอาทิตย์ (%) | ประสิทธิภาพของการพ่นหมอกจากการวิเคราะห์โดยไม่พิจารณารังสีดวงอาทิตย์ (%) |
|------------------|--|---|
| 9:00 น. | 36.25 | 56.37 |
| 9:30 น. | 29.95 | 59.20 |
| 10:00 น. | 32.25 | 60.10 |
| 10:30 น. | 22.37 | 59.38 |
| 11:00 น. | 23.06 | 59.84 |
| 11:30 น. | 21.65 | 60.77 |
| 12:00 น. | 10.68 | 57.20 |
| 12:30 น. | -5.11 | 60.63 |
| 13:00 น. | -7.90 | 61.55 |
| 14:00 น. | 4.03 | 60.95 |
| 14:30 น. | -14.56 | 60.77 |
| 15:00 น. | 23.44 | 59.90 |
| 15:30 น. | 29.73 | 58.19 |
| 16:00 น. | 40.62 | 60.54 |
| 16:30 น. | 47.19 | 58.71 |
| 17:00 น. | 49.16 | 58.38 |
| ค่าเฉลี่ย | 22.26 | 59.44 |

ตารางที่ ก.6.5 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการทดลองกรณีที่ 4

| เวลา | การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-h) |
|------------------|----------------------------------|
| 9:00 น. | 0.00 |
| 9:30 น. | 0.33 |
| 10:00 น. | 0.69 |
| 10:30 น. | 1.02 |
| 11:00 น. | 1.36 |
| 11:30 น. | 1.71 |
| 12:00 น. | 2.04 |
| 12:30 น. | 2.37 |
| 13:00 น. | 2.70 |
| 13:30 น. | 3.03 |
| 14:00 น. | 3.36 |
| 14:30 น. | 3.66 |
| 15:00 น. | 3.96 |
| 15:30 น. | 4.25 |
| 16:00 น. | 4.56 |
| 16:30 น. | 4.86 |
| 17:00 น. | 5.18 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.6480 |



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ในการศึกษานี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณในการทดลองตอนที่ 4 ในช่วงเวลา 14.00 น. โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ข.1 การระบายความร้อนที่หลังคาของโรงเรือนในการทดลองครั้งที่ 4

ใช้ผลการทดลองดังตารางภาคผนวกที่ ก.6.1 โดยทราบค่าดังนี้

- การสเปรย์น้ำที่หลังคาโรงเรือนเพาะปลูกเท่ากับ 0.4540 kg/s
- อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนทางออกเท่ากับ 0.4315 kg/s
- อุณหภูมิระบายความร้อนทางเข้าเท่ากับ 32.2°C โดยมีค่าเอนทาลปี ($h_{cw,i}$) เท่ากับ

139.09 kJ/kg

- อุณหภูมิระบายความร้อนทางออกเท่ากับ 36.0°C โดยมีค่าเอนทาลปี ($h_{cw,o}$) เท่ากับ

150.81 kJ/kg

เมื่อทราบค่าตัวแปรที่ต้องใช้ตามสมการที่ 2.23 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{cool} = \dot{m}_{cw,o} h_{cw,o} - \dot{m}_{cw,i} h_{cw,i} - \dot{m}_c h_c$$

แทนค่าลงสมการที่ 2.23 โดยไม่พิจารณาเทอม $\dot{m}_c h_c$ เนื่องจากค่า \dot{m}_c มีค่าน้อยมาก

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{cool} &= (0.4315 \text{ kg/s})(150.81 \text{ kJ/kg}) - (0.4540 \text{ kg/s})(139.09 \text{ kJ/kg}) - \cancel{\dot{m}_c h_c} \\ &= 1.92 \text{ kW} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์หาการระบายความร้อนจากตาข่ายพรางแสงที่หลังคาของโรงเรือนเท่ากับในการทดลองครั้งที่ 4 เวลา 14.00 น. ตามแผนภาพดังรูปที่ 2.23 ได้เท่ากับ 1.92 kW

ข.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกในการทดลองกรณีที่ 4 ใช้ผลการทดลองดังตารางภาคผนวกที่ ก.6.3 โดยทราบค่าดังนี้

- ความร้อนผ่านเข้าสู่โรงเรือน (\dot{Q}_{Solar}'') เท่ากับ 580 W/m^2
- อุณหภูมิน้ำพ่นหมอกเท่ากับ 28.0°C โดยมีค่าเอนทรานปี (h_{wf}) เท่ากับ 117.33 kJ/kg
- อุณหภูมิอากาศก่อนภายในโรงเรือนพ่นหมอก ($T_{\text{db},1}$) เท่ากับ 37.87°C
- ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนก่อนพ่นหมอก (ϕ_1) เท่ากับ 76.13%

จากข้อมูลข้างต้น สามารถวิเคราะห์หาอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกในการทดลองกรณีที่ 4 ตามแผนภาพดังรูปที่ 3.6 ได้ดังนี้

คำนวณหาอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก ($T_{\text{db},1}$) ในหน่วยเคลวิน (K)

$$\begin{aligned} T_{\text{db},1} &= 37.87^\circ\text{C} \\ &= 37.87^\circ\text{C} + 273.15 \\ &= 311.02 \text{ K} \end{aligned}$$

คำนวณหาความดันไอน้ำอิ่มตัวของอากาศภายในโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก ($P_{\text{ws},1}$) โดยการแทนค่า $T_{\text{db},1}$ ในสมการที่ 2.1

$$\begin{aligned} \ln P_{\text{ws},1} &= \frac{C_1}{T_{\text{db},1}} + C_2 + C_3 T_{\text{db},1} + C_4 T_{\text{db},1}^2 + C_5 T_{\text{db},1}^3 + C_6 \ln T_{\text{db},1} \\ \ln P_{\text{ws},1} &= \left(\frac{-5.800220610^3}{311.02^\circ\text{C}} \right) + (1.3914993) + (-4.864023910^{-2})(311.02^\circ\text{C}) \\ &\quad + (4.176476810^{-5})(311.02^\circ\text{C}) + (-1.445209310^{-8})(311.02^\circ\text{C}) \\ &\quad + (6.5459673) \ln(311.02^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$P_{\text{ws},1} = 6.58 \text{ Pa}$$

คำนวณหาความดันไอน้ำจริงของอากาศภายในโรงเรือนก่อนพ่นหมอก ($P_{\text{w},1}$) โดยการแทนค่า $P_{\text{ws},1}$ และความชื้นสัมพัทธ์ก่อนพ่นหมอก (ϕ_1) ในสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned}
 P_{w,1} &= \phi_1 P_{ws,1} \\
 &= (0.7613)(6.58 \text{ Pa}) \\
 &= 5.01 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

คำนวณหาอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก (x_1) โดยการแทนค่า $P_{w,1}$ และความดันบรรยากาศ (P) มีค่าเท่ากับ 101.325 Pa ในสมการที่ 2.4

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0.62198 \frac{P_{w,1}}{P - P_{w,1}} \\
 &= \frac{5.01 \text{ Pa}}{101.325 \text{ Pa} - 5.01 \text{ Pa}} \\
 &= 0.0324 \text{ kg}_w / \text{kg}_{dry}
 \end{aligned}$$

คำนวณหาเอนทาลปีของอากาศภายในโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก ($h_{a,1}$) โดยการแทนค่า $T_{db,1}$ ในหน่วย °C และ x_1 ในสมการที่ 2.7

$$\begin{aligned}
 h_{a,1} &= 1.006 T_{db,1} + x_1(2501 + 1.805 T_{db,1}) \\
 &= 1.006 (37.87^\circ\text{C}) + (0.0324 \text{ kg}_w / \text{kg}_{dry}) (2501 + 1.805 (37.87^\circ\text{C})) \\
 &= 121.58 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

คำนวณหามวลของอากาศแห้งที่อยู่ภายในโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก ($m_{a,1}$) โดยการแทนค่า $T_{db,1}$ ในหน่วย K ความดันบรรยากาศ (P) มีค่าเท่ากับ 101.325 Pa และ x_1 ในสมการที่ 2.8 โดยที่ปริมาตรของอากาศ (V_a) หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_a &= W \times L \times H \\
 &= 4 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\
 &= 96 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

จะได้ว่า

$$m_{a,1} = \frac{PV_a}{0.287(T_{db,1} + 273.15)(1 + 1.607x_1)}$$

$$m_{a,1} = \frac{(101.325\text{Pa})(96\text{m}^3)}{0.287(37.87^\circ\text{C} + 273.15)(1 + 1.607(0.0324\text{kg}_w/\text{kg}_{dry}))}$$

$$= 103.54 \text{ kg}$$

พิจารณาว่ามวลของอากาศแห้งที่อยู่ภายในโรงเรือนเพาะปลูก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่เปลี่ยนแปลงจะมีเฉพาะมวลของไอน้ำที่อยู่ในอากาศ ดังนั้น $\dot{m}_{a,1} = \dot{m}_{a,2} = \dot{m}_a$

อัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโรงเรือนหลังการพ่นหมอก (x_2) โดยการแทนค่า x_2 และ \dot{m}_a ในสมการที่ 2.10

$$x_2 = \frac{m_{wf}}{m_a} + x_1$$

$$= \frac{\dot{m}_{wf} t}{m_a} + x_1$$

$$= \frac{(0.006916\text{kg}_w/\text{s})(60\text{s})}{103.54\text{kg}_{dry}} + 0.0324\text{kg}_w/\text{kg}_{dry}$$

$$= 0.0364 \text{ kg}_w/\text{kg}_{dry}$$

คำนวณหาเอนทรานปีของอากาศภายในโรงเรือนหลังการพ่นหมอก ($h_{a,2}$) โดยการแทนค่า อัตราความร้อนผ่านเข้าสู่โรงเรือน (\dot{Q}_{solar}) อัตราการไหลของการพ่นหมอก (\dot{m}_{wf}) เอนทรานปีของน้ำที่ใช้พ่นหมอก (h_{wf}) เวลาที่ใช้ในการพ่นหมอก เท่ากับ 60 ;วินาทีและเอนทรานปีของอากาศในโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก (h_1) ลงในสมการที่ 2.18

อัตราความร้อนผ่านเข้าสู่โรงเรือน (\dot{Q}_{solar}) หาได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{solar} = \dot{Q}_{solar}'' A_{roof}$$

$$= (580 \text{ W/m}^2) (8 \text{ m} \times 4 \text{ m})$$

$$= 1,856 \text{ W} = 18.56 \text{ kW}$$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 h_{a,2} &= \frac{(\dot{Q}_{\text{solar}} + \dot{m}_{\text{wf}} h_{\text{wf}}) t}{m_a} + h_{a,1} \\
 &= \frac{(18.56 \text{ kW} + (0.006916 \text{ kg/s})(117.33 \text{ kJ/kg})) 60 \text{ s}}{103.54 \text{ kg}} + 121.28 \text{ kJ/kg} \\
 &= 121.75 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

คำนวณหาอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนหลังการพ่นหมอก ($T_{\text{db},2}$) โดยการแทนค่า x_2 และ $h_{a,2}$ ในสมการที่ 2.7

$$\begin{aligned}
 T_{\text{db},2} &= \frac{h_{a,2} - 2501x_2}{1006 + 1.805x_2} \\
 &= \frac{(121.75 \text{ kJ/kg}) - 2501(0.0364 \text{ kg}_w / \text{kg}_{\text{dry}})}{1006 + 1.805(0.0364 \text{ kg}_w / \text{kg}_{\text{dry}})} \\
 &= 38.68 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เป็นไปได้หลังการพ่นหมอกในการทดลองครั้งที่ 4 เวลา 14.00 น. ตามแผนภาพดังรูปที่ 3.6 ได้เท่ากับ 38.68°C

ข.3 ประสิทธิภาพของการพ่นหมอก

ใช้ผลการทดลองดังตารางภาคผนวกที่ ก.6.3 โดยทราบค่าดังนี้

- อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนก่อนพ่นหมอก ($T_{\text{db},1}$) เท่ากับ 37.87°C
- อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนหลังการพ่นหมอก ($T_{\text{db},2}$) เท่ากับ 38.68°C
- ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนหลังพ่นหมอก (ϕ_1) เท่ากับ 79.87 %

คำนวณหาอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายในโรงเรือนหลังการพ่นหมอก ($T_{\text{wb},2}$) โดยการแทนค่า $T_{\text{db},2}$ ในหน่วย $^\circ\text{C}$ และ ϕ_1 ในสมการที่ 2.2

$$\begin{aligned}
T_{wb} &= T_{db} \tan^{-1} \left(0.0151977(\phi + 8.313659)^{1/2} \right) \\
&\quad + \tan^{-1} \left(T_{db} + \phi \right) - \tan^{-1} \left(\phi - 1.676331 \right) \\
&\quad + 0.00391838(\phi)^{3/2} \tan^{-1} \left(0.023101\phi \right) - 4.686035 \\
&= 38.68^{\circ}\text{C} \tan^{-1} \left(0.0151977(0.7987 + 8.313659)^{1/2} \right) \\
&\quad + \tan^{-1} \left(38.68^{\circ}\text{C} + 0.7987 \right) - \tan^{-1} \left(0.7987 - 1.676331 \right) \\
&\quad + 0.00391838(0.7987)^{3/2} \tan^{-1} \left(0.023101(0.7987) \right) - 4.686035 \\
&= 32.33^{\circ}\text{C}
\end{aligned}$$

คำนวณหาประสิทธิภาพของการพ่นหมอก (η_{ic}) โดยการแทนค่า $T_{db,1}$, $T_{db,2}$ และ $T_{wb,1}$ ในหน่วย $^{\circ}\text{C}$ ในสมการที่ 2.28

$$\begin{aligned}
\eta_{ic} &= \frac{T_{db,1} - T_{db,2}}{T_{db,1} - T_{wb,2}} \\
&= \frac{37.87^{\circ}\text{C} - 38.68^{\circ}\text{C}}{37.87^{\circ}\text{C} - 32.22^{\circ}\text{C}} \\
&= -14.56\%
\end{aligned}$$

จากการหาประสิทธิภาพของการพ่นหมอกในการทดลองกรณีที่ 4 เวลา 14.00 น. ตามสมการที่ 2.28 ได้เท่ากับ -14.56%





รูปที่ ค.1 โรงเรือนต้นแบบที่สร้างขึ้น



รูปที่ ค.2 ติดตั้งหัวสปริงเกอร์สำหรับการสเปรย์น้ำเพื่อลดอุณหภูมิให้กับตาข่ายพรางแสง



รูปที่ ค.3 การต่อเครื่องสูบน้ำสำหรับสูบน้ำให้ผ่านไปยังหัวสปริงเกอร์



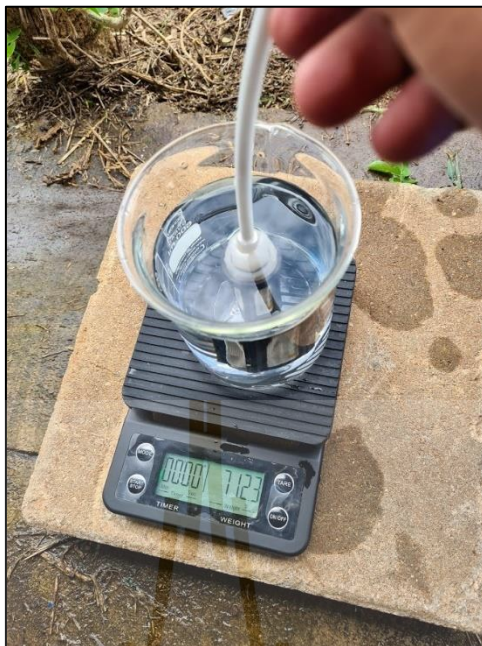
รูปที่ ค.4 เซนเซอร์ DHT22



รูปที่ ค.5 หัวพ่นหมอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร



รูปที่ ค.6 เครื่องสูบน้ำสำหรับการพ่นหมอก



รูปที่ ค.7 การหาอัตราการไหลของของการพ่นหมอก



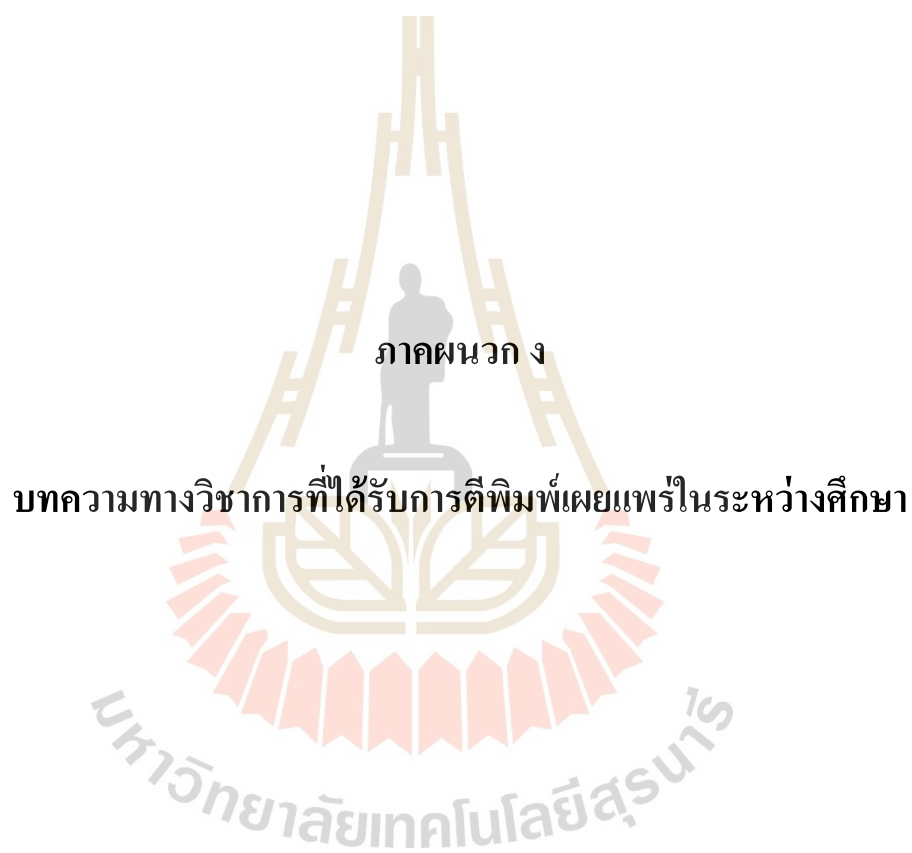
รูปที่ ค.8 การวัดอุณหภูมิระบายความร้อนจากถัง



รูปที่ ค.9 ตู้ควบคุมการทำงานของระบบฟันทมออก



รูปที่ ค.10 การวัดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์



ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Khachonsak Simek, Krawee Treamnuk, Tawarat Treamnuk. (2020) **Empirical Modelling of Temperature in Fogging Greenhouse**. The 13th TSAE International Conference & The 21st TSAE National Conference, Suranaree University of technology Nakhon Ratchasima, July 30-31, 2020.



Empirical modelling of temperature in fogging greenhouse

Khachonsak Simek^{1*}, Krawee Treeamnuk², and Tawarat Treeamnuk²

¹Suranaree University of Technology, Institute of Engineering, School of Mechanical Engineering, 30000, Thailand

²Suranaree University of Technology, Institute of Engineering, School of Agricultural Engineering, 30000, Thailand

Abstract. The objective of this article is to evaluate the inside temperature of greenhouse and efficiency of fogging system under the influence of solar power. A 50% off sun shading roof was selected to test in this study. Testing is divided to 2 cases. Case I Measuring all of parameters without operate the fogging system and ventilation between 9.00 a.m. to 5.00 p.m. (Thailand's time zone). Case II Measuring all of parameters with a fogging system that was controlled the relative humidity below 80% all day. The results show that the highest temperature in greenhouse is 50.13°C (no fogging and ventilation). the developed empirical model has an error 6.33% between numerical results and measured air temperature. In case of neglected solar power, the model showed that the fogging system can reduce the temperature in greenhouse in range of 7.05°C (18.44%) and the efficiency of fogging system is quite high (value is 57.36%). The important factor that influents on the air temperature in greenhouse is solar power. If we need to control the atmosphere in greenhouse by fogging system than the reduction of solar power is the most important controlling factor.

1 Introduction

At present, the use of greenhouses is becoming increasingly popular because it is the safest way of vegetable and fruit production, enabling the control of pathogen contamination and the effective destruction of pests. The weather conditions in the greenhouse are directly influenced by solar radiation, atmospheric temperature and relative humidity [1]. During the day, the heat from solar power causes the greenhouse effect in the greenhouse which can affect the growth of many plants, resulting in low productivity or not being cultivated [2]. Many researchers have tried to study and reduce the effects of these conditions. The common method is shading the sun light by covered the greenhouse roof with shading net and fogging water in greenhouse to reduce the inside air temperature. This method can result in a lower air temperature with high relative humidity that is suitable for plant growth [1].

* Corresponding author: khachonsak.simek@gmail.com

Fogging is spraying high pressure water through nozzles to produce a mist with droplet diameter of 2-60 micrometers, increasing the air-water contact surface [3]. The fog is sprayed over the planting area to allow the fog to fall freely and come to contact with air in the greenhouse [4]. After fogging, ventilation of the greenhouse is necessary to allow new air to replace the moist air. For maximum efficiency of the fogging system, it must take no more than 1 minute for ventilating 1 air change [5]. The purpose of this article is to present the numerical technique for analyzing temperature in a fogging greenhouse with shading net covered on its roof. This technique can be used to evaluate the effect of solar power on air temperature in the greenhouse and the fogging greenhouse efficiency.

2 Materials and methods

2.1 The testing of greenhouse

The greenhouse was 4 meters wide, 8 meters long and 3 meters high, and made from galvanized steel pipes as a structure and covered with polyethylene sheets. Two 14-inch electric ventilation fans (ventilators) were installed on the greenhouse front wall. Inside the greenhouse, 18 fogging nozzles (foggers) operated with a 12-bar water pump (total mass flow rate 7.73×10^{-3} kg/s) were installed overhead and two 10-inch electric circulating fans were equipped on the wall. Three DHT22 sensors (ASAIR model AM2302) ($\pm 2\%$ of RH and $\pm 0.5^\circ$ C of air temperature) were installed to measure dry-bulb temperature and relative humidity of the air inside the greenhouse. Data collection was controlled by an Arduino board model MEGA 2560. All equipment installation is shown in Figure 1.

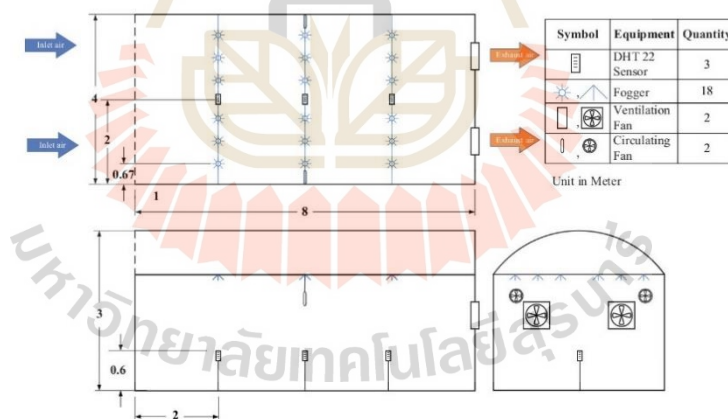


Fig. 1. Position of all equipment and sensors in greenhouse.

2.2 Air properties

Humidity ratio is the ratio of mass of vapor in air and mass of dry air. It can calculate from Equation 1 [6]:

$$x = \frac{m_w}{m_a} \quad (1)$$

where x is humidity ratio, m_w is mass of vapor in air (kg) and m_a is mass of dry air (kg). In addition, humidity ratio can be calculated from the relationship between partial pressure of water vapor in moist air and atmospheric pressure of moist air as in the Equations 2 and 3 [6]:

$$x = 0.62198 \frac{P_w}{P - P_w} \quad (2)$$

$$P = 101.325 \left(1 - 2.25577 \times 10^{-5} Z\right)^{5.2559} \quad (3)$$

where P_w is partial pressure of water vapor in moist air, P is atmospheric pressure of moist air (Pa) and Z is altitude (m).

Relative humidity is the relationship between saturation pressure and partial pressure of water vapor can be calculated by Equation 4 [6]:

$$\phi = \frac{P_w}{P_{ws}} \quad (4)$$

where ϕ is relative humidity and P_{ws} is saturation pressure (Pa). The saturation pressure over liquid water for temperature range of 0 to 200°C is given by Equation 5 [6]:

$$\ln P_{ws} = \frac{C_1}{T_{db}} + C_2 + C_3 T_{db} + C_4 T_{db}^2 + C_5 T_{db}^3 + C_6 \ln T_{db} \quad (5)$$

where T_{db} is air's dry-bulb temperature in the kelvin unit and C are constants with the following values, $C_1 = 5.800221 \times 10^3$, $C_2 = 1.391499$, $C_3 = 4.864024 \times 10^{-2}$, $C_4 = 4.176477 \times 10^{-5}$, $C_5 = 1.445209 \times 10^{-8}$ and $C_6 = 6.545967$.

2.3 Mass and energy balance in greenhouse

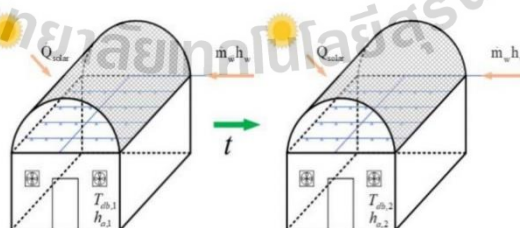


Fig. 2. Changing of air properties after exposure solar energy.

The operation of fogging system begins when dry-bulb temperature ($T_{db,1}$) and enthalpy ($h_{a,1}$) of air inside the greenhouse is heated by the solar power and the air receives the mass of water that has been spray from foggers for a period of t second. After that, $T_{db,1}$ and $h_{a,1}$ changes to $T_{db,2}$ and $h_{a,2}$. The entropy of the air in the final state can be analyzed from Equation 6:

$$\dot{Q}_{solar} + \dot{m}_w h_w = \frac{m_a (h_{a,2} - h_{a,1})}{t} \quad (6)$$

where \dot{Q}_{solar} is heat generation rate due to solar power (Watt). In this research, the solar power was measured by Solar Power Meter brand TENMARS model TM-206 ($\pm 0.38 \text{ W/m}^2$), is a spraying time of the fogging system (s). When the air temperature is influenced by only fogging process, the term is neglected from the empirical equation. The entropy of the air in the final state for this case can be analyzed from Equation 7:

$$\dot{m}_w h_w = \frac{m_a (h_{a,2} - h_{a,1})}{t} \quad (7)$$

Once the value of $h_{a,2}$ is known from Equations 6 and 7, $T_{db,2}$ can calculate from Equation 8 [6]:

$$T_{db,2} = \frac{h_{a,2} - 2501x_2}{1.006 + 1.805x_2} \quad (8)$$

2.4 Efficiency of fogging system

[2] Proposed a method for determining the efficiency of fogging system greenhouse via a relationship of air temperature before and after fogging process as in Equation 9:

$$\eta_{ic} = \frac{T_{db,1} - T_{db,2}}{T_{db,1} - T_{wb,2}} \quad (9)$$

where η_{ic} is efficiency of fogging system greenhouse and $T_{wb,2}$ is wet-bulb temperature of the air in the after fogging.

2.5 Experiment

The greenhouse in this experiment was covered with a 50% sun shading net on the roof. Dry-bulb temperature and relative humidity of the air inside the greenhouse and surrounding were collected. Solar power was collected both inside the greenhouse and surrounding every 30 minutes. Testing was divided to 2 cases. In Case I, all of the parameters were measured between 9.00 a.m. to 5.00 p.m. (Thailand's time zone) without operating the fogging system and ventilation. In Case II, all of the parameters were measured with the fogging system turned on controlling the relative humidity below 80% all day. The data were analyzed with

empirical equations to determine the dry-bulb temperature of greenhouse and efficiency of fogging system with and without solar power. The experiments were conducted at Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, with locations, latitude $14^{\circ}53'32.5''\text{N}$, longitude $102^{\circ}00'18.1''$ between November 17-21, 2019.

2.6 Empirical equation of dry-bulb temperature

Dry-bulb temperature analysis in the final state (after fogging) start by calculating the saturation pressure (P_w) after that, calculates the partial pressure of water vapor in moist air (P_{ws}) and enthalpy in the first state. Then considering that mass of dry air inside the greenhouse nothing changes. The changed part will have only the mass of water vapor in the air, therefore, $m_{a,1} = m_{a,2} = m_a$. It will be able to calculate the humidity ratio of the air in the final state of the greenhouse and also leads to find the entropy from the energy balance in Figure 2 which is in the form of Equation 6. In the case calculate without solar power in the empirical equation, Equation 7 will be considered instead of Equation 6.

3 Results and discussion

3.1 Temperature of greenhouse without fogging system and ventilation

From Figure 3, the dry-bulb temperature of air inside the greenhouse (TDB) increased with the highest value of 50.13°C while the relative humidity decreased. The increase in air temperature by accumulative solar energy in greenhouse caused the air to expand and raised the ability to hold more moisture. This effect caused the relative humidity (RH) in greenhouse to decrease and the solar power during the day shown in Figure 4.

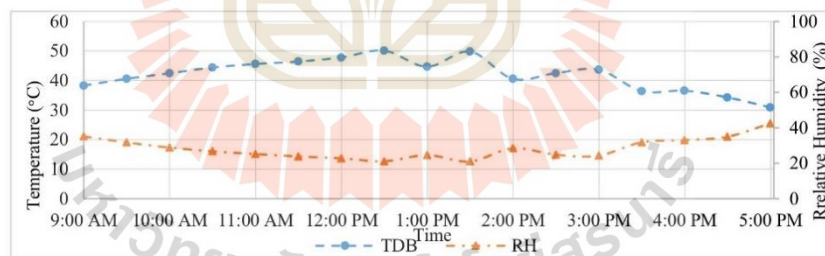


Fig. 3. Dry-bulb temperature (TDB) and relative humidity (RH) of greenhouse without fogging system and ventilation.

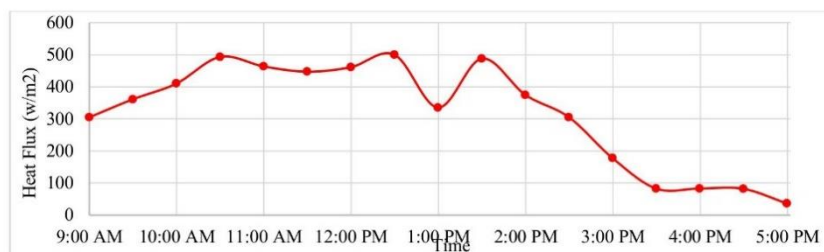


Fig. 4. Solar power (heat flux, W/m^2) under the greenhouse roof without fogging system and ventilation.

From Figure 4, heat from the transmittance of solar power into the greenhouse tended to increase until 1.30 p.m. After that, it began to decrease. The temperature of the air in the greenhouse will vary directly to the solar power inside the house. At 1.00 p.m. during the experiment, the clouds overlay the sun. Resulting the solar power into greenhouse being reduced, which is in accordance with Figure 3. At the same time the dry-bulb temperature of the air in the greenhouse will decrease for a period and the relative humidity of the air will increase during that time.

3.2 Temperature of ventilating fogging greenhouse

From Figure 5, TDB of the air in the greenhouse during which the relative humidity was controlled below 80% was lower than TDB from the past topic (Temperature of greenhouse without fogging system and ventilation) because of the heat of air loses to the fog. However, the heat from the solar power transmit through the greenhouse roof was quite high (Figure 6), causing higher TDB and lower RH in the greenhouse. It can be said that the resulting fogging could not alleviate the heat from the solar power.

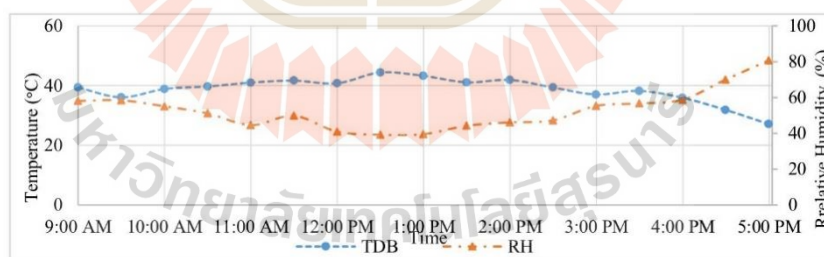


Fig. 5. Dry-bulb temperature (TDB) and relative humidity (RH) in ventilating fogging greenhouse.

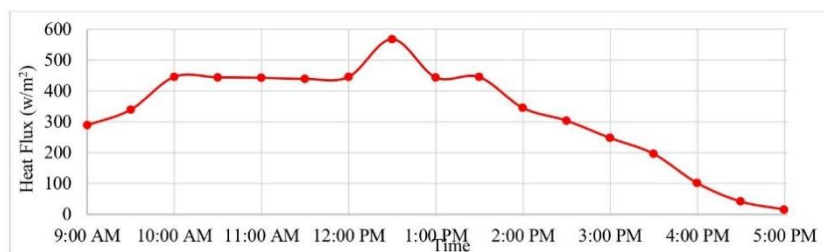


Fig. 6. Solar power (heat flux, W/m^2) under the greenhouse roof with fogging system and ventilation.

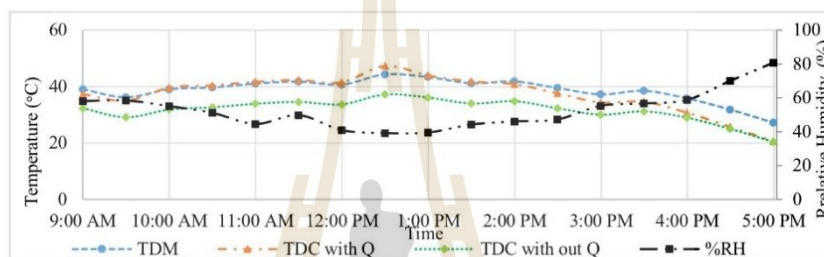


Fig. 7. Dry-bulb temperature (TDB) from empirical equation.

Figure 7 shows the TDB of the air in the greenhouse that controlled relative humidity at 80% compared with the dry-bulb temperature of the air by calculation included the solar power (TDC with Q) and neglected the solar power (TDC without Q) in empirical equations. Found that the TDC with Q was closed to the measured temperature (TDM), with an average discrepancy of 6.33%. The highest TDC ($47.27^{\circ}C$) with Q occurred at the same time of TDM. The shape of TDC without Q - time curve and TDM are similar and they are related to the intensity of the solar power entering the greenhouse. The average solar power in the greenhouse is $326.84 W/m^2$ throughout the day. The solar power is the main influence according to Equation 6 that causes TDM to rise. The numerical analysis results of neglecting solar power found that the fogging technique in greenhouse can reduce the dry-bulb temperature in the house with the highly efficiency. The temperature can be reduced throughout the experimental range about $7.05^{\circ}C$ or equal to 18.44%. The TDB is related to the amount of water added to the system. When the air receives more moisture, it will lose heat in form of latent heat and causing the air temperature decrease.

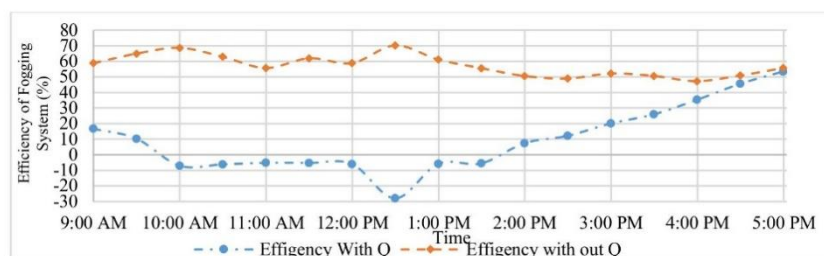


Fig. 8. Efficiency of fogging system.

Figure 8 is a comparison of the efficiency of the fogging system between calculated with and without solar power in empirical equations. It was found that the efficiency of the greenhouse after fogging in case of solar power (Efficiency with Q) was quite low. For certain periods, the efficiency of fogging was negative which means the latent heat that the air loses to the fog was less than the heat that the air received from the solar power. This behavior resulted in the TDB of the air after fogging during that time higher than TDB before fogging. In case of neglected solar power (Efficiency without Q), the efficiency of fogging system is quite high at the average value 57.36% because of the air in greenhouse does not receive more heat from solar power. Considering the results, the important factor that influences on the TDB in the greenhouse is solar power. It causes the greenhouse effect by the heat from solar power. If we need to control the atmosphere in greenhouse by fogging system than the reduction of solar power is the most important factor. However, the important thing to cultivate with greenhouses is sunlight. The selected method to control solar energy must not reduce the intensity of sun light that plants need as well. The method that may be applied is to absorb some heat energy from the roof without losing light intensity, such as using water as a coolant to reduce the roof temperature.

4 Conclusions

In this research the study is divided into 2 cases. Case I study of air's dry-bulb temperature and relative humidity inside the greenhouse without using the fogging system and no ventilation. Case II study air's dry-bulb temperature and relative humidity inside the greenhouse with a fogging system that was controlled the relative humidity inside not much more than 80%. The results show the air temperature in case I is highest at 50.13°C and the air temperature in case II are lower than case I in all day of study. Although there is a fogging system in case II, but the heat from solar can still pass through the greenhouse all times and affected on the error of numerical studying result at 6.33% when compare to the experiment values. The neglectable of solar heat in calculation affected on the predicted temperature in greenhouse and had 18.44% of error. In term of fogging efficiency, if the solar heat was included in the calculation in some period time the efficiency are minus values because the values of inlet of solar heat is higher than the loss of latent heat in moist air. In case of negligible solar heat, the greenhouse efficiency is highest at 57.36% which can be said that the important factor that makes the temperature inside the green house higher is the heat from the solar. If we want to reduce the air temperature of the green house and increase the greenhouse efficiency, it is necessary to find a way to absorb some energy from the solar.

However, it must not be affected by the amount of light that plants need to get enough to grow as well

The author would like to thank the School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology and for support this research.

References

1. C. Saowarat, K. Treeamnuk, T. Treeamnuk, *Mathematical Model For Exact Solution Method of Fogging Process Control in Climate Greenhouse System* in Proceedings of THE IRES 87th INTERNATIONAL CONFERENCE, 6-7 November 2017, Tokyo, Japan (2018)
2. A.M. Abdel-Ghany, T. Kozai, *Biosystems Engineering*, **94**(1), 97-109(2006)
3. A. Shklyar, M. Barak, *Acta Horticulturae*, **534**, 327-334(2000)
4. J.I. Montero, A.C. Biel, A. Franquet, *Acta Horticulture*, **281**, 199-209(1990)
5. J. Worley, *GREENHOUSES Heating, Cooling and Ventilation*, Cooperative Extension (University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, 2009)
6. ASHRAE, *ASHRAE Handbook Fundamentals* (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009)



ประวัติผู้เขียน

นายจรงค์ศักดิ์ สีเมฆ เกิดเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2536 ที่โรงพยาบาลปราณบุรี อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลาย ณ โรงเรียนหัวหินวิทยาลัย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2557 ในปี พ.ศ. 2558 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในระหว่างการศึกษาต่อ ได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชา 525206 การเขียนแบบทางวิศวกรรม 2 และรายวิชา 536342 ปฏิบัติการด้านความร้อนและของไหลสำหรับยานยนต์

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยร่วมกับคณาจารย์จนได้ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ จำนวน 1 เรื่อง ได้แก่ “Empirical-Modelling-of-Temperature-in-Fogging-Greenhouse” ในงานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับนานาชาติ ครั้งที่ 13 ระดับชาติ ครั้งที่ 21 วันที่ 30-31 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ร่วมกับสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี