

การประยุกต์ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอมาใช้ ในโรงเรือนเลี้ยงไหม

มานพ แยมแพง^{1*} จักรวาล บุญหวาน¹ ชิโนรส ละออวรรณ¹ ณิชฎกฤช อัสณี¹ รัตนชัย ไพรินทร์² และมนพร คุปตาสา³
manop_yf@hotmail.com^{1*}, c_boonwan@yahoo.com¹, chin.laongwan@gmail.com¹, neo.solo.one@gmail.com¹,
rattanachai.pai@kmutt.ac.th², manaporn.g@gmail.com³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Received : 22-May-2020
Revised : 22-Dec-2020
Accepted : 25-Dec-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนเลี้ยงไหม โดยการใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ โดยทำการทดลองในโรงเรือนที่มีขนาดกว้าง 10 เมตร ยาว 21 เมตร สูง 3 เมตร สำหรับระบบการทำความเย็นแบบระเหยจะทำการติดตั้งแผ่นระเหยน้ำขนาดกว้าง 1.5 เมตร สูง 1.8 เมตร หนา 0.15 เมตร จำนวน 6 ชุด บนผนังด้านทิศใต้ของโรงเรือน และมีพัดลมดูดอากาศขนาด 30 นิ้ว จำนวน 6 ตัว ติดตั้งที่ผนังด้านทิศเหนือของโรงเรือน ส่วนระบบการทำความเย็นแบบอัดไอนั้นจะใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 30,000 Btu/hr จำนวน 4 เครื่อง ผลการทดลองจากโรงเรือนที่ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยสำหรับเลี้ยงไหมวัย 1 วัย 2 และวัย 3 พบว่ามีค่าความแตกต่างเฉลี่ยจากอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับเลี้ยงไหมวัยดังกล่าวคือ 0.4°C 1.0°C และ 1.9°C ตามลำดับ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือน มีค่าความแตกต่างเฉลี่ย 6.09% 0.61% และ 3.29% ตามลำดับ ส่วนระบบการทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 4 และวัย 5 นั้นพบว่าค่าความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหมาะสม สำหรับการเลี้ยงไหมวัย 4 คือ 2.2°C 0.33% และ 3.1°C 4.86% สำหรับไหมวัย 5

คำสำคัญ: โรงเรือนเลี้ยงไหม ระบบการทำความเย็นแบบระเหย ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ

The Application of Combined Systems Including Evaporative Cooling and Vapor Compression Air Conditioning System for a Silkworm Rearing House

Manop Yamfang^{1*} Chakkawan Boonwan¹ Chinoros Laongwan¹ Natthakich Assanee¹ Rattanachai Pairintra²
and Manaporn Guptasa³

manop_yf@hotmail.com^{1*}, c_boonwan@yahoo.com¹, chin.laongwan@gmail.com¹, neo.solo.one@gmail.com¹,
rattanachai.pai@kmutt.ac.th², manaporn.g@gmail.com³

¹Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

²Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi

³Division of Manufacturing Systems Engineering, School of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Received	: 22-May-2020
Revised	: 22-Dec-2020
Accepted	: 25-Dec-2020

Abstract

This research was to study the changes of temperature and humidity in silk worm rearing house by using an evaporative cooling system in combination with a vapor compression air conditioning system. This study was tested in greenhouse with configuration of 10 x 21 x 3 m. For evaporative cooling system, six sections of evaporative cooling of 1.5 x 1.8 x 0.15 m each were installed on the south wall of the house and six exhaust fans with diameter of 30 inches were installed on the north wall of the house. For the vapor compression cooling system, four air conditioners of 30,000 Btu/hr were used. The experimental results from the house with evaporative cooling for worm periods 1, 2 and 3 found that the average differences of suitable temperature for those worms were 0.4°C, 1.0°C and 1.9°C, respectively. For the relative humidity, the average differences were 6.09%, 0.61% and 3.29%, respectively. The experimental results from the house with the vapor compression cooling system for worm periods 4 and 5 found that the average differences of appropriate temperature and humidity were 2.2°C, 0.33% for worm period 4 and 3.1°C, 4.86% for worm period 5.

Keywords: Silkworm House, Evaporative Cooling System, Vapor Compression Refrigeration

1. บทนำ

ประเทศไทยนั้นนับตั้งแต่อดีตมาเป็นประเทศเกษตรกรรม การเลี้ยงไหมก็เป็นอาชีพหนึ่งที่เกษตรกรไทยทำการประกอบอาชีพการเลี้ยงไหมมาเป็นเวลานานโดยเฉพาะการเลี้ยงไหมแบบพื้นบ้านมีการถ่ายทอดความรู้และเทคนิคต่าง ๆ สืบเนื่องต่อมาเป็นช่วง ๆ จากบรรพบุรุษแต่ละครัวเรือนมีการเลี้ยงไหมกันเล็กน้อยเพื่อเอาไว้ทอผ้าไหมใช้เองต่อมาไหมได้มีการเปลี่ยนแปลงไปสู่สินค้าเกษตรชนิดหนึ่งในเชิงเศรษฐกิจ การเลี้ยงไหมในระบบเดิมจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง ซึ่งวิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการพัฒนาได้คือการใช้เทคโนโลยีและการจัดการที่เหมาะสมเข้ามาช่วยทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพสูง จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการศึกษасสมรรถนะของระบบการทำความเย็นแบบระเหยซึ่งออกแบบระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงต่อร่วมกับคอยล์เย็น ทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่คอยล์เย็นและแผ่นระเหยน้ำ พบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่คอยล์เย็นและความหนาของแผ่นระเหยน้ำเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นเมื่อผ่านแผ่นระเหยน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำจะลดลง [1] การใช้แผ่นระเหยน้ำที่ทำจากเส้นใยถักดัดตั้งเรียงตัวในแนวทแยง เพราะจะช่วยให้น้ำสัมผัสกับอากาศมากกว่าการติดตั้งในแนวตรง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก 35.8°C เมื่อนำระบบการทำความเย็นแบบระเหยมาใช้สามารถลดลงได้ 9.9°C ทำให้อุณหภูมิภายในเหลือ 25.9°C โดยอาคารที่ใช้ทดลองดังกล่าวมีขนาด $10 \times 10 \times 2.8 \text{ m}^3$ ในรัฐ New South Wales ประเทศ Australia [2] การใช้กระดาษทำแผ่นระเหยน้ำมีลักษณะเป็นรังผึ้ง โดยสภาพอุณหภูมิอากาศทางเข้า 35°C ความชื้นสัมพัทธ์ 40% ความเร็วอากาศ 4 m/s อุณหภูมิของน้ำ 30°C และอัตราการไหลของน้ำ 120 kg/h ซึ่งทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง 9°C ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเป็น 50 % และอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 0.014 เป็น 0.021 $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ [3] การทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อมในช่วงฤดูร้อนในประเทศคูเวต โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ $2,500 \text{ ft}^3/\text{min}$ ซึ่งใช้ระบบทำความเย็นขนาด 3.1 และ 2.4 ตันความเย็นสำหรับใช้พื้นที่ภายในและพื้นที่ชายฝั่งทะเล

ตามลำดับ ซึ่งปกติจะใช้ระบบทำความเย็นแบบ Package Unit Air-Conditioner (PU) จะใช้กำลัง 4.93 และ 3.85 kW ตามลำดับ แต่ถ้าใช้ระบบทำความเย็นแบบ IEC จะใช้กำลัง 1.11 kW เท่านั้น ดังนั้นถ้าใช้ระบบทำความเย็นแบบ IEC ไปใช้ในพื้นที่ทั่วไปของประเทศคูเวตจะสามารถประหยัดพลังงานได้ $12,418 \text{ kWh}$ และถ้าใช้ระบบ IEC ไปใช้ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลจะสามารถประหยัดพลังงานได้อีก $6,320 \text{ kWh}$ [4] มีการศึกษาการใช้แผ่นระเหยน้ำที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ 3 ชนิด คือ ใยจากต้นปาล์ม ใยจากต้นปอ และ ใยจากต้นบวบ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าแผ่นระเหยน้ำที่ทำจากใยปอให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุดคือ 62.1% รองลงมาคือแผ่นระเหยน้ำที่ทำจากบวบ 55.1% และต่ำสุดคือแผ่นระเหยน้ำที่ทำจากใยปาล์ม 38.9% [5], [6] มีการพัฒนาแผ่นระเหยน้ำจากเส้นใยธรรมชาติทำจากเส้นใย aspen เส้นใย khus เส้นใย coconut และเส้นใย palash โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ กำหนดให้อัตราการไหลของอากาศคงที่พบว่า ประสิทธิภาพของแผ่นระเหยที่ทำจากเส้นใย palash สูงกว่า เส้นใย aspen และเส้นใย khus 13.2% และ 26.31% ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพของแผ่นระเหยน้ำที่ทำจากเส้นใย coconut พบว่าสูงกว่าเส้นใย khus 8.15% และเมื่อเปรียบเทียบความดันตกพบว่า แผ่นระเหยน้ำที่ทำจากเส้นใย khus ให้ความดันตกต่ำที่สุดและแผ่นระเหยน้ำที่ทำจากเส้นใย aspen ให้ความดันตกสูงสุดในสัปดาห์ หรือการนำเส้นใยจากต้นยูคาลิปตัสมาทำแผ่นระเหยน้ำเพื่อลดการใช้พลังงานที่เกิดจากการทำความเย็น จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิอากาศลดลงสูงสุดอยู่ระหว่าง 11.3°C ถึง 6.6°C ในขณะที่ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุดอยู่ในช่วง 71% และ 49% ที่ความเร็วลม 0.1 และ 0.6 m/s ตามลำดับ [7,8] มีการประยุกต์ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยไปลดอุณหภูมิในโรงเรือนกระจกพื้นที่ขนาด 2304 m^2 ในเชียงใหม่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของจีน ในสภาพอากาศร้อนชื้นโดยสามารถลดอุณหภูมิได้ $2-3^{\circ}\text{C}$ ทำให้ลดอุณหภูมิอยู่ในช่วง $27-29^{\circ}\text{C}$ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% [9] มีการศึกษาความสามารถของวัสดุธรรมชาติเช่นมูลวัวแห้ง โคโคพีทและขี้เลื่อยเพื่อใช้เป็นสารดูดความชื้นในระบบทำความเย็นแบบระเหยเพื่อลดความชื้นในอากาศเข้า เปรียบเทียบกับซิลิกาเจล โดยทดสอบในสภาพอากาศคือ $28^{\circ}\text{C}-85\% \text{ RH}$ $28^{\circ}\text{C}-60\% \text{ RH}$ และ $33^{\circ}\text{C}-$

60% RH ผลการทดลองพบว่าโคโคพีทและมูลโคแห้งมีศักยภาพในการแทนที่สารดูดความชื้นทางเคมีหรือซิลิกาเจล แต่ซีลี้อยไม่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นวัสดุดูดความชื้น [10] ซึ่งการเลี้ยงไหมโดยวิธีธรรมชาติโดยไม่มี การควบคุม อุณหภูมิและความชื้นของอากาศจะส่งผลต่อคุณภาพของรังไหมซึ่งรังไหมที่ได้จะเล็ก ความหนาแน่นของรังไหมน้อย ทำให้ได้ความยาวเส้นไหมน้อย แต่ถ้ามีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอากาศจะได้รังไหมที่มีขนาดใหญ่กว่า ความหนาแน่นของรังไหมมากกว่าส่งผลให้ได้ความยาวของเส้นไหมมากกว่า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัตโนมัติรวมกับการทำความเย็นแบบระเหยมาควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไหมวัยต่างๆตามที่ไหมต้องการ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

กรรมวิธีในการเลี้ยงไหมนั้นจะต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อไหมทำรังโดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศและการระบายอากาศ ดังนั้นสภาวะแวดล้อมของโรงเรือนเลี้ยงไหมที่เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 1 สภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหม[1]

วัยไหม	วัย	อายุหนอนไหม (วัน)	อุณหภูมิอากาศ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%)
วัยอ่อน	1	3 – 4	27 – 28	90
	2	2 – 3	26 – 27	85
	3	3 – 4	25 – 26	80
วัยแก่	4	4 – 5	24 – 25	75
	5	6 – 8	23 – 24	70
ทำรัง		2 – 3	22 – 24	65 – 70
นอน		18 – 36°	ต่ำกว่าก่อนนอน 1 – 2	65 – 75

หมายเหตุ : * มีหน่วยเป็นชั่วโมง

2.1 อุณหภูมิอากาศ จะมีผลโดยตรงต่ออัตราการฟักไหม หากอุณหภูมิอากาศสูงการฟักเส้นใยจะเร็ว ทำให้การจัดวางเรียงเส้นไหมไม่เป็นระเบียบ เกิดรังหลวมส่งผลต่อคุณภาพของรังไหมและเส้นไหม อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการฟักเส้นใยไหมทำรังคือ 22-24°C

2.2 ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ระดับความชื้นที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรังไหม เช่นหากความชื้นสูงเกินไปจะทำให้การเกาะติดเส้นใยไหมแน่นมากขึ้นทำให้สาวไหมได้ยากขึ้น แต่ถ้าความชื้นต่ำอากาศแห้งก็ทำให้รังไหมแบ่งเป็นชั้นไม่มีคุณภาพ

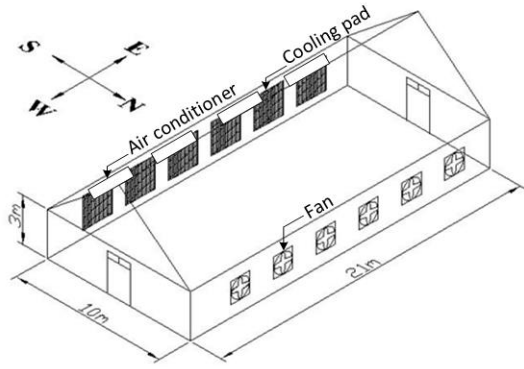
2.3 การระบายอากาศ ในห้องเลี้ยงไหมจะมีก๊าซ carbon dioxide และ ammonia โดยเกิดจากมูลไหมและการหมักหมมของใบหม่อนที่เหลือ แต่ก๊าซที่เป็นอันตรายต่อหนอนไหมคือ carbon monoxide และ sulphur dioxide ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ มีผลต่อสรีระของหนอนไหมถ้ามีปริมาณมาก

2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิและรังสีอาทิตย์ ยี่ห้อ Yokogawa Model MV 220 จำนวน 2 เครื่อง
2. Thermocouple Type K มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ Range (-200°C - 1350°C)
4. ไพรานอมิเตอร์ยี่ห้อ EKO รุ่น ML-01 มีค่าความคลาดเคลื่อน < 3%
5. ดิจิตอลแอนนิโมมิเตอร์ Model HH 31 A
6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก
7. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า ยี่ห้อ Yokogawa Model 2433
8. พัดลมขนาด 30 in จำนวน 6 ตัว

3. ลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงไหมที่ใช้ในงานวิจัย

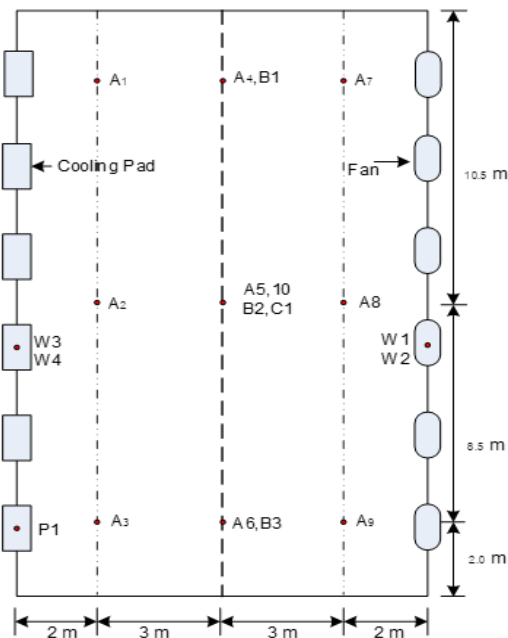
โรงเรือนเลี้ยงไหมใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ โดยใช้กระดาดเซลลูโลสเป็นแผ่นระเหยน้ำ ณ ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จ.สระบุรี (หม่อนไหม) ม.4 ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ดังรูปที่ 1



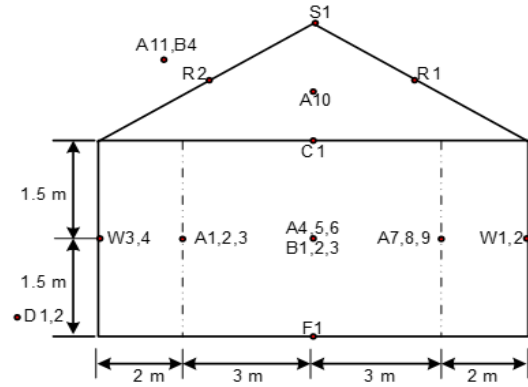
รูปที่ 1 ขนาดของโรงเรียนเลี้ยงไหม

3.1 ลักษณะโครงสร้างของโรงเรียนเลี้ยงไหม
 โรงเรียน มีขนาด $10 \times 21 \times 3 \text{ m}^3$ หลังคาโรงเรียนชนิด กระเบื้องลอนคู่หนา 5 มม หลังคาทำมุมหลังคา 15 องศา กั้นระแนบ ผนังของทำจากคอนกรีตหนา 10 cm โรงเรียนมี ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้แผ่นระเหยน้ำทำจาก เซลลูโลสขนาด $1.5 \times 1.8 \times 0.15 \text{ m}^3$ จำนวน 6 ชุด ใช้ปั้มน้ำ ขนาด 0.5 HP (0.37 kW) 380 V จำนวน 2 ตัว ด้านข้างทิศ เหนือของโรงเรียนติดตั้งพัดลมขนาด 30 in ใช้มอเตอร์ ขนาด 0.37 kW จำนวน 6 ตัว การวางตัวของโรงเรียน อยู่ใน แนวทิศตะวันออก - ตะก โดยแผ่นระเหยน้ำติดตั้งอยู่ด้านทิศ ใต้ส่วนพัดลมดูดอากาศติดตั้งอยู่ทางทิศเหนือ

3.2 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



รูปโรงเรียนด้านบน (ก)

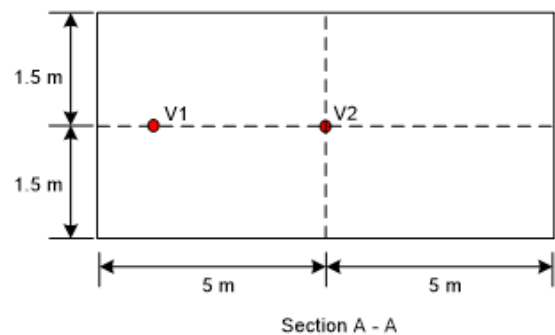


รูปโรงเรียนด้านหน้า (ข)

รูปที่ 2 ตำแหน่งในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ อากาศภายในโรงเรียน (ก) และ (ข)

ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ดังนี้

1. ภายในโรงเรียนประกอบด้วย อุณหภูมิ กระเปาะแห่งของอากาศภายในโรงเรียน (A1-9) อุณหภูมิ กระเปาะเปียกของอากาศภายในโรงเรียน (B1-3) อุณหภูมิ แผ่นระเหยน้ำ (P1)
2. อุณหภูมิอากาศภายในช่องหลังคา (A10)
3. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมภายนอกโรงเรียน อุณหภูมิกระเปาะแห้ง-เปียก (A11, B4)
4. อุณหภูมิน้ำเข้า - ออกแผ่นระเหยน้ำ (D1-2)
5. อุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องปรับอากาศ
6. ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรียน (S1)



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน โรงเรียน

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

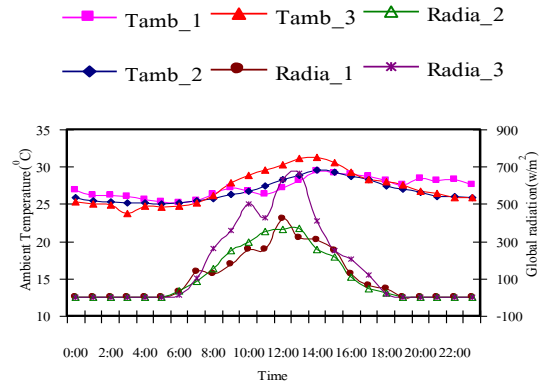
1. ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล เข้ากับ Data Logger โดยทำการบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที
2. ติดตั้งไพรานอมิเตอร์จำนวน 1 ตำแหน่ง เข้ากับ Data Logger โดยทำการบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที ในช่วงไหมวัย 1 ถึงวัย 3 จะใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหย ส่วนไหมวัย 4 และ 5 จะใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ
3. เปิดระบบทำความเย็นแบบระเหยในช่วงไหมวัย 1 ถึงวัย 3 และใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอในช่วงไหมวัย 4 และ 5 แล้วเริ่มบันทึกข้อมูล
4. วัดความเร็วลมของอากาศที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำ ในช่วงไหมวัย 1 ถึงวัย 3 สำหรับไหมวัย 4 และ วัย 5 นั้นจะวัดความเร็วลมที่ออกจากคอยล์เย็น
5. วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ภายใน - ภายนอกโรงเรือน และค่ารังสีอาทิตย์ทำการบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที
6. เก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง จนครบ 5 วัย

4. ผลการทดลอง

ในการทดลองโดยโรงเรือนที่เก็บผลการทดลองนั้นวางตัวตามแนวทิศตะวันออก - ตะวันตก โรงเรือนมีขนาด $10 \times 21 \times 3 \text{ m}^3$ มีการติดตั้งระบบการทำความเย็นแบบระเหยที่ผนังด้านทิศใต้ซึ่งระบบการทำความเย็นแบบระเหยนั้นมีขนาด $1.5 \times 1.8 \times 0.15 \text{ m}^3$ จำนวน 6 ชุด และมีพัดลมดูดอากาศขนาดใบพัด 30 นิ้ว จำนวน 6 ตัว ติดตั้งที่ผนังด้านทิศเหนือมีการเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง และเก็บผลการทดลองทุก ๆ 10 นาที

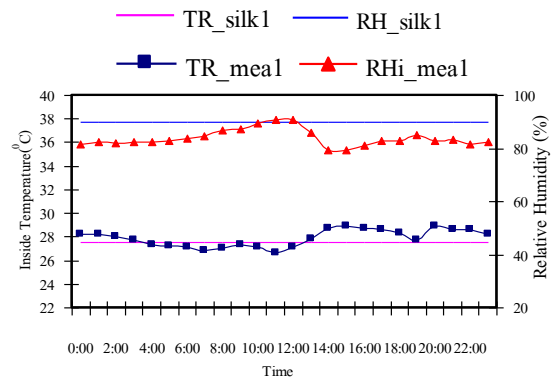
4.1 เปรียบเทียบผลการทดลองกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 1 ถึงวัย 3 โดยใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหย

ผลการทดลองเลี้ยงไหมวัย 1 ถึงวัย 3 โดยใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมของไหมวัย 1 วัย 2 และวัย 3

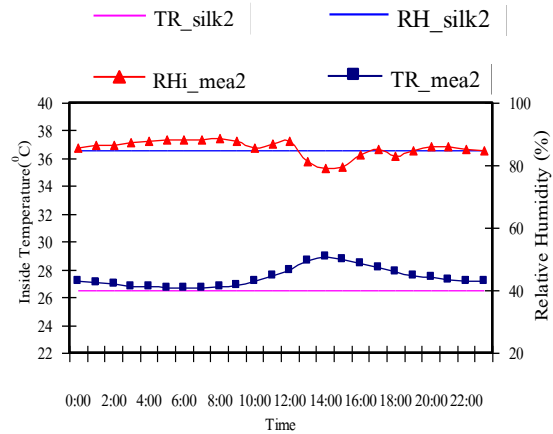
จากรูปที่ 4 แสดงค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมของไหมวัย 1 วัย 2 และวัย 3 โดยมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุด 424.4 372.4 และ 666.6 W/m^2 ที่เวลา 12.00 น.(วัย1) 13.00 น.(วัย2) และ 13.00 น.(วัย3) ตามลำดับ และมีอุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด 29.4°C 29.6°C และ 31.4°C ที่เวลาเดียวกันคือ 14.00 น. อุณหภูมิแวดล้อมเป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนเนื่องจากอากาศแวดล้อมจะไหลผ่านระบบการทำความเย็นแบบระเหยก่อนเข้าสู่โรงเรือนผลของค่ารังสีอาทิตย์ของไหมวัย 1 และวัย 2 มีค่าต่ำใกล้เคียงกัน แต่ค่ารังสีอาทิตย์ของไหมวัย 3 นั้นมีค่าสูงกว่าเนื่องจากสภาพภูมิอากาศนั้นค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้มีค่า



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 1

จากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสถานะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 1 ซึ่งอุณหภูมิเหมาะสมเฉลี่ยที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 1 คือ 27.5°C แต่อุณหภูมิที่วัดได้จากโรงเรือนนี้ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.9°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมเฉลี่ยที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 1 คือ 90% แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหม มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 83.91% อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะเริ่มสูงขึ้นและสูงสุดที่เวลา 15.00 น. คือ 28.91°C ถึงแม้ว่าช่วงเวลาดังกล่าวนั้นระบบทำความเย็นแบบระเหยทำงานแต่อุณหภูมิก็ยังสูงอยู่ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์สูงทำให้อุณหภูมิแวดล้อมมีค่าสูง ทำให้เมื่ออากาศแวดล้อมแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในระบบทำความเย็นแบบระเหย อุณหภูมิที่ผ่านระบบการทำความเย็นแบบระเหยมานั้นยังสูงอยู่ทำให้อุณหภูมิในห้องนั้นสูง แต่หลังจากเวลา 15.00 น. นั้น อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนก็จะเริ่มลดลงเนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์มีค่าลดลงและระบบการทำความเย็นแบบระเหยทำงานจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ไหมวัย 1 ต้องการ

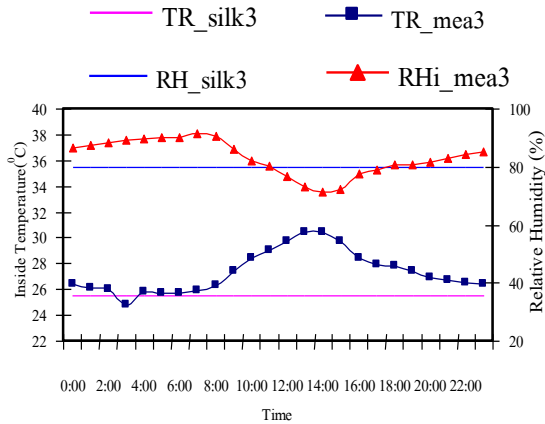
สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนในช่วงเวลา 10.00 น. – 12.00 น. พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไหมวัย 1 คือ 90% ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวระบบทำความเย็นแบบระเหยทำงานจึงส่งผลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนสูง แต่หลังจากช่วงเวลา 12.00 น. ไปนั้นระบบทำความเย็นแบบระเหยหยุดทำงานเนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศนั้นใกล้เคียงกับที่ไหมวัย 1 ต้องการเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากระบบทำความเย็นแบบระเหยจะทำงานทำให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิต่ำความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงตามที่ไหมวัย 1 ต้องการ แต่ช่วงเวลากลางคืนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศนั้นยังคงมีค่าสูงเป็นผลมาจากสถานะอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสถานะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 2

จากรูปที่ 6 อุณหภูมิเหมาะสมเฉลี่ยที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 2 คือ 26.5°C แต่อุณหภูมิที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหมที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.5°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 2 คือ 85% แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหม มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย 85.61% ซึ่งสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศของไหมวัย 2 ต้องการระบบการทำความเย็นแบบระเหยจึงหยุดทำงาน จึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเริ่มมีค่าสูงจนถึง 28.9°C ที่เวลา 14.00 น. แต่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีค่าลดลง ดังนั้นระบบการทำความเย็นแบบระเหยเริ่มทำงานอีกครั้ง หลังจากนั้นอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเริ่มลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศเหมาะสมของไหมวัย 2 ต้องการ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนในช่วงเวลา 13.00 น. มีค่าเริ่มต้นเนื่องจากเป็นช่วงที่ระบบการทำความเย็นแบบระเหยหยุดการทำงานทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนลดลงและต่ำสุดที่เวลา 14.00 น. คือ 79.29%



รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 3

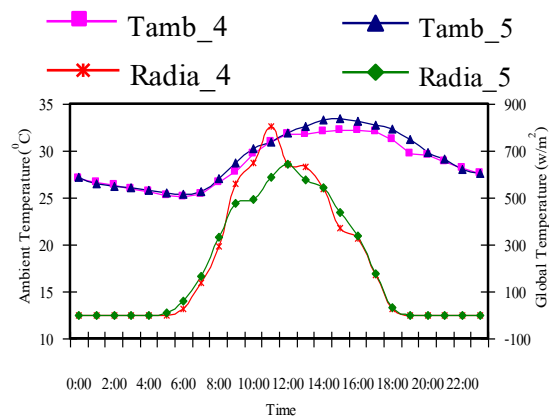
อุณหภูมิเหมาะสมเฉลี่ยที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 3 คือ 25.5°C จากรูปที่ 7 อุณหภูมิที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหมที่ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหย โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.4°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 3 คือ 80% แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหมวัย 3 นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย 83.29% อัตราการเปลี่ยนแปลงของอากาศภายในโรงเรือนเมื่อระบบการทำความเย็นแบบระเหยทำงานในการเลี้ยงไหมวัย 3 ช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 19.00 น. ถึงเวลา 7.00 น. อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะมีค่าค่อนข้างคงที่ และยังคงรักษาระดับของอุณหภูมิไว้ในช่วงที่ไหมวัย 3 ต้องการคือ 25.5°C ในขณะที่เมื่อเวลากลางวันผลจากค่ารังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นตามชั่วโมงทำให้อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนมีผลมาจาก ผงนังห้อง เพดาน พื้น และอากาศที่รั่วผ่านเข้ามาในห้อง

ในส่วนของคุณค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในช่วงเวลากลางคืนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกโรงเรือนมีค่าสูง เมื่ออากาศภายนอกที่ไหลผ่านระบบการทำความเย็นแบบระเหยเข้ามาในโรงเรือนจึงทำให้อากาศในโรงเรือนมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในสภาวะเหมาะสมที่ไหมวัย 3 ต้องการ จากการเก็บข้อมูลสำหรับการเลี้ยงไหมวัย 1 ถึง 3 โดยใช้ระบบการทำความเย็น

แบบระเหยพบว่าสามารถรักษาอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้ตามที่ไหมต้องการ

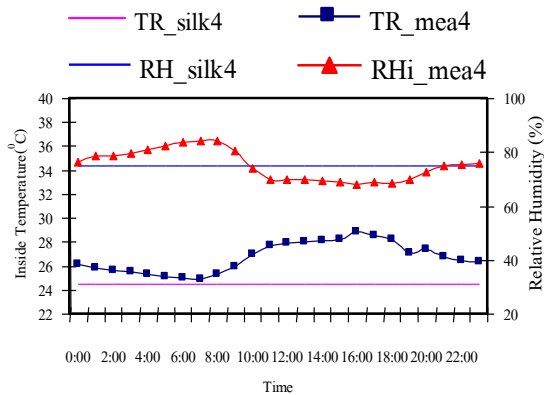
4.2 เปรียบเทียบผลการทดลองกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 4 และวัย 5 โดยใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ

ผลการทดลองการเลี้ยงไหมวัย 4 และวัย 5 โดยใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอซึ่งใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 30,000 BTU/hr จำนวน 4 เครื่อง ผลการทดลองดังรูปที่ 8



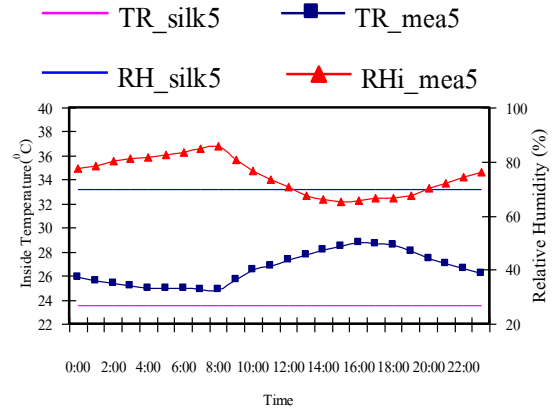
รูปที่ 8 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมของไหมวัย 4 และวัย 5

จากรูปที่ 8 แสดงค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมของอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไหมวัย 4 และวัย 5 โดยมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุด 806.3 W/m² และ 642.2 W/m² ที่เวลา 11.00 น. และ 12.00 น. ตามลำดับ และมีอุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด 32.3°C และ 33.4°C ที่เวลาเดียวกันคือ 15.00น. ซึ่งพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ของการเลี้ยงไหมวัย 4 และวัย 5 มีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งอุณหภูมิแวดล้อมสูงจะส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไหมวัย 4 และวัย 5



รูปที่ 9 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 4

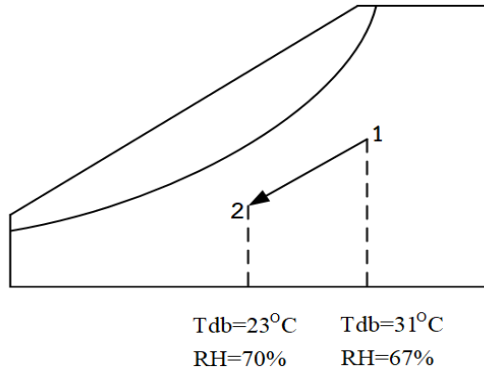
จากรูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 4 ซึ่งอุณหภูมิเหมาะสมเฉลี่ยที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 4 คือ 24.5°C แต่อุณหภูมิที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหมที่ใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.7°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 4 คือ 75% แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหมวัย 4 นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย 75.33% ซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาวะอากาศภายนอกโรงเรือน ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนนั้นแปรผกผันกับค่ารังสีอาทิตย์ แต่ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนจะแปรตามอุณหภูมิอากาศภายนอกโรงเรือน



รูปที่ 10 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 5

จากรูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากการวัดกับสภาวะความเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 5 ซึ่งอุณหภูมิเหมาะสมเฉลี่ยที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 5 คือ 23.5°C แต่อุณหภูมิที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหมที่ใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.6°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหมาะสมที่ใช้เลี้ยงไหมวัย 5 คือ 70% แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่วัดได้จากโรงเรือนเลี้ยงไหมวัย 5 นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย 74.86% ผลจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าที่ไหมวัย 5 ต้องการคือ อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ไหมต้องการโดยเฉลี่ยอยู่ 2°C ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในโรงเรือนนั้นมีขนาดเล็กเกินไป จนไม่สามารถที่จะทำอุณหภูมิอากาศให้ได้ตามที่ไหมวัย 5 ต้องการ จากการเก็บข้อมูลแล้วนำมาคำนวณพบว่าภาระการทำความเย็นทั้งหมดที่โรงเรือนได้รับคือ 12.26 ton ส่วนระบบการทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้อยู่ในโรงเรือนปัจจุบันซึ่งใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 30,000 Btu/hr จำนวน 4 เครื่อง ซึ่งจากการตรวจวัดพบว่าเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องทำได้เพียง 25,680 Btu/hr เท่านั้น โดยเครื่องปรับอากาศทั้งหมดสามารถทำได้ 8.56 ton เท่านั้น ดังนั้นเครื่องปรับอากาศจึงทำงานหนักเพราะว่าไม่สามารถทำความเย็นได้ตามที่ต้องการ จึงเป็นผลให้เสียค่าใช้จ่าย

ทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่สูง อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ไหมวัย 5 ต้องการคือ 23°C และ 70% RH ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กระบวนการของระบบการทำความเย็นในโรงเรือนเลี้ยงไหมวัย 5 ต้องการ

โดยอุณหภูมิแวดล้อม 31°C ความชื้นสัมพัทธ์ 67% แต่สภาวะที่เหมาะสมที่ไหมวัย 5 ต้องการคืออุณหภูมิ 23°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ภายใต้ภาระการทำความเย็นที่ 43,099 W หรือ 12.26 ton จากการคำนวณพบว่าต้องใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาด 3 ton จำนวน 4 เครื่อง แต่ถ้าเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพลดลงอาจจะต้องเพิ่มเครื่องปรับอากาศหรือเปลี่ยนเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการ

5. สรุปผลการทดลอง

ไหมเป็นสัตว์เลือดเย็นโดยจะรักษาอุณหภูมิภายในตัวให้ต่ำกว่าอุณหภูมิรอบ ๆ ตัวเองอยู่ 1°C แต่ความสามารถในการปรับปรุงอุณหภูมิของตัวไหมไม่อาจจะปรับอุณหภูมิในตัวได้เมื่ออุณหภูมิรอบ ๆ ตัวเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อสภาวะอากาศไม่เหมาะสมที่ไหมต้องการนั้นจะทำให้ตัวไหมเกิดการอ่อนแอและจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของรังไหม ไหมวัย 1 วัย 2 และวัย 3 นั้นต้องการอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 27.5°C 26.5°C และ 25.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 90% 85% และ 80% ตามลำดับ โดยใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยในโรงเรือน

ที่ได้จากการทดลอง 27.9°C 27.5°C 27.4°C และ 83.91% 85.61% 83.29% ตามลำดับของวัยไหม

สำหรับไหมวัย 4 และวัย 5 จะใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอซึ่งใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 30,000 BTU/hr จำนวน 4 เครื่อง โดยไหมวัย 4 และวัย 5 ต้องการอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 24°C และ 23°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 75% และ 70% ตามลำดับ แต่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศในโรงเรือนที่ได้จากการทดลองคือ 26.7°C 26.6°C และ 75.33% และ 74.86% ตามลำดับ และอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่ได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศเหมาะสมสำหรับไหมวัย 4 และวัย 5 คือ 2.2°C และ 3.1°C ตามลำดับ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงเรือนที่ได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างคือ 0.33% และ 4.86% ตามลำดับ การใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับการทำความเย็นแบบอัดไอสามารถควบคุมสภาวะอากาศได้ใกล้เคียงกับที่ไหมต้องการทำให้ได้คุณภาพของรังไหมที่ดีซึ่งคุ้มค่ากับพลังงานที่ใช้ไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จ.สระบุรี (หม่อนไหม) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ใช้สถานที่ในการเก็บผลการทดลอง และคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ที่สนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บผลการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Chuprayoon S. Silk production techniques. Department of Agricultural Extension. 80 p.
- [2] John A, Zahra Giabaklou. A passive evaporative cooling system by natural ventilation. Building and Environment. 1996;31(6):503-7.
- [3] Dai Y.J, Sumathy K. Theoretical study on a cross-flow direct evaporative cooler using honeycomb paper as packing material. Applied Thermal Engineering. 2002;(22): 1417-30.

- [4] Maheshwari G.P, Al-Ragom F, Suri R.K. Energy-saving potential of an indirect evaporative cooler. *Applied Energy*. 2001;(69):69-76.
- [5] Faleh Al-Sulaiman. Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. *Energy Conversion and Management*. 2002;(43):2267-73.
- [6] Hisham T.A, El-Dessouky, Amir A.Al-Haddad, Faisal Al-Juwayhel. Thermal and hydraulic performance of a modified two-stage evaporative cooler. *Renewable Energy*. 1996;7(2):165-76.
- [7] Jain J.K, Hindoliya D.A. Experimental performance of new evaporative cooling pad materials. *Sustainable Cities and Society*. 2011;(1): 252-6.
- [8] Pervin A.D, Saffa R, Guohui G, Devrim A. Experimental study of the potential of eucalyptus fibres for evaporative cooling. *Renewable Energy*. 2019;(131):250-60.
- [9] Xu J, Li Y, Wang R.Z, Liu W, Zhou P. Experimental performance of evaporative cooling pad systems in greenhouses in humid subtropical climates. *Applied Energy*. 2015; (138):291-301.
- [10] Singh A, Kumar S, Dev R. Studies on cocopeat, sawdust and dried cow dung as desiccant for evaporative cooling system. *Renewable Energy*. 2019;(142):295-303.