



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การประหยัดพลังงานระบบ EVAPORATIVE COOLING ของโรงเรือน
กระจก โดยใช้ CHILLED WATER NIGHT COOLING
ENERGY SAVING BY EVAPORATIVE COOLING OF
GLASSHOUSE SYSTEM USING CHILLED WATER COOLING

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2547 (รับการสนับสนุนทุนจากสำนักงานวิจัยและ
ส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้)
จำนวน 720,000 บาท

หัวหน้าโครงการ
ที่ปรึกษาโครงการ

ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ คุชฎี
ศ.ดร.ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ดร.อดิพงษ์ นันทพันธุ์
พิสุทธิ กลิ่นขจร

ผู้ร่วมวิจัย

สำนักงานหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
เลขเรียกหนังสือ	
ว	
B: 229.769	333.7916
I: 190314	ณ 2617
ว: 3 มี.ค. 2552	

งานวิจัยเสร็จสมบูรณ์
วันที่ 29 ธันวาคม 2551

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาการประหยัดพลังงานในระบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือนกระจก โดยใช้ Chilled Water Night Cooling ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์สถานที่จัดเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

- โรงเรือนสำนักงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- โรงเรือนกล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร และภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนด้านพื้นที่ดำเนินงานของนักวิจัยในโครงการนี้

คณะผู้วิจัย

ธันวาคม 2551

รท 333.7916 ณ361ก

ณัฐวุฒิ ดุษฎี

การประหยัดพลังงานระบบ evaporative cooling ของโรงเ

35001002109440

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญเรื่อง	
สารบัญตาราง	ก
สารบัญรูป	ข
บทคัดย่อ	ฉ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ	5
1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 โรงเรือน (Greenhouse)	15
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในโรงเรือน	18
2.3 การทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำ	20
2.4 กรอบแนวความคิดของพัฒนาระบบโรงเรือน	24
Greenhouse แบบประหยัดพลังงาน	
2.5 การระบายอากาศ [ventilation]	25
2.6 การควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศหรือความเร็วลมภายในโรงเรือน	27
2.7 เอนทัลปี ของอากาศ (Enthalpy of air)	29
2.8 สมดุลความร้อนในโรงเรือน(Energy Balance)	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนสำนักวิจัยฯ และศูนย์กล้วยไม้ฯ	45
4.2 การประเมินสมรรถนะโรงเรียนศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมรรถนะของการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling ที่สถานที่ต่างๆ ในโลก	23
3.1 คุณลักษณะโรงเรือนเพาะปลูกพืชที่ทดสอบ	35
4.1 อัตราการไหลของอากาศภายในโรงเรือน	49
4.2 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงเรือน	51
4.3 โรงเรือนขณะไม่มีการทำงานของระบบ	59
4.4 ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและหลังออกจากม่านเปียก และ ประสิทธิภาพของม่านเปียกที่อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ม่านเปียกค่าต่าง ๆ	62
4.5 ปริมาณการใช้พลังงานของโรงเรือน	62
4.6 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์	66
4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโรงเรือน ที่อุณหภูมิน้ำเข้าม่านเปียกปกติ (25 °C)	67
4.8 อุณหภูมิในการทดสอบชุดเทอร์โมไครโฟน	73

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling โดยป้อนน้ำเย็นให้ Wetted media	3
รูปที่ 1.2 อุณหภูมิทั้งปีของจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2546-48	3
รูปที่ 1.3 การทำงานของเทอร์โมไซฟอน	4
รูปที่ 1.4 ลักษณะโรงเรียนที่ใช้ในการวิจัยของ เอกศักดิ์ ชื้อสกุลไพศาล	7
รูปที่ 1.5 เปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองกับแบบจำลอง อุณหภูมิในโรงเรียน	8
รูปที่ 1.6 เปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองกับแบบจำลอง ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรียน	8
รูปที่ 1.7 ลักษณะโรงเรียน และการติดตั้งระบบวัดของ วิทยา เนียนถนนอม	9
รูปที่ 1.8 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ ในโรงเรียนระหว่างแบบจำลองและการทดลอง	10
รูปที่ 1.9 เปรียบเทียบผลของความชื้นในโรงเรียนระหว่างแบบจำลองและการทดลอง	10
รูปที่ 1.10 ผลของอัตราส่วนมวลน้ำต่อมวลอากาศ ต่อ อุณหภูมิอากาศภายนอก	11
รูปที่ 1.11 การดึงความร้อนจากดินโดยใช้ท่อความร้อนสำหรับทำห้องเย็นเก็บผลผลิตทางการเกษตร	13
รูปที่ 1.12 การดึงความร้อนสะสมในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อน	14
รูปที่ 2.1 ระบบทำความเย็นแบบ direct evaporative cooling	20
รูปที่ 2.2 ระบบทำความเย็นแบบ indirect evaporative cooling	21
รูปที่ 2.3 การทำความเย็นแบบ Direct / indirect Evaporative cooling บนแผนภูมิอากาศชื้น	22
รูปที่ 2.4 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/direct evaporative cooling	22
รูปที่ 2.5 การทำงานของโรงเรียน Greenhouse แบบประหยัดพลังงาน โดยใช้ระบบ Chilled Water Night cooling	25
รูปที่ 2.6 สมดุลพลังงานความร้อนในโรงเรียน	32
รูปที่ 3.1 โรงเรียนที่ใช้เก็บข้อมูลประเมินสมรรถนะ	35
รูปที่ 3.2 พัดลมและชุดเทอร์โมไซฟอนในโรงเรียนศูนย์วิจัยพลังงาน	36
รูปที่ 3.3 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Memmert รุ่น DO 6057 และเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K	37

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าและเครื่องวัดความเร็วลม	37
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดสอบการรั่ว	38
รูปที่ 3.6 บีมสัญญาณแสง และเกจวัดความดัน	38
รูปที่ 3.7 ชุดเทอร์โมไฮฟอน	39
รูปที่ 3.8 แผง Cooling pad ภายในโรงเรือน	40
รูปที่ 3.9 การวัดความเร็วลมและระดับน้ำ	40
รูปที่ 3.10 ระบบการทดสอบหาสมรรถนะของเทอร์โมไฮฟอน สำหรับดึงความร้อนจากน้ำสู่อากาศ	41
รูปที่ 3.11 ระบบการทดสอบหาสมรรถนะของทดสอบ Wetted media เมื่อป้อนน้ำเย็น	43
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน	46
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยกระเปาะแห้งของอากาศก่อนและหลังผ่านมานเปียก	46
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังผ่านมานเปียก	47
รูปที่ 4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน	48
รูปที่ 4.5 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ภายในโรงเรือน	49
รูปที่ 4.6 ลักษณะทั่วไปของโรงเรือน	52
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ	53
รูปที่ 4.8 ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ	53
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโรงเรือน	54
รูปที่ 4.10 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน	55
รูปที่ 4.11 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศเมื่อมีการใช้ อุปกรณ์ครอบเพื่อนำอากาศ	55
รูปที่ 4.12 คุณสมบัติของโรงเรือนที่แตกต่างกันระหว่างการวนกลับ และไม่วนกลับของอากาศ	56
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่มานเปียก กับ ประสิทธิภาพการระเหยน้ำของมานเปียก	56

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 ลักษณะการทดสอบการทำความเย็นของน้ำโดยใช้ชุดเทอร์โมไซฟอน	57
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในการทดสอบ ชุดเทอร์โมไซฟอน	58
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และอุณหภูมิแวดล้อม	58
รูปที่ 4.17 อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในการทดสอบ ชุดเทอร์โมไซฟอน	60
รูปที่ 4.18 ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ	60
รูปที่ 4.19 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโรงเรือน	61
รูปที่ 4.20 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ณ. ตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรือน	63
รูปที่ 4.21 อุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่านแผงระเหย	64
รูปที่ 4.22 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน	64
รูปที่ 4.23 ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน	65
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพแผงระเหย	66
รูปที่ 4.25 คุณสมบัติของโรงเรือนที่แตกต่างกันระหว่างการวนกลับ และไม่วนกลับของอากาศ	68
รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพของแผงระเหยกรณีที่ใช้ระบบหมุนเวียนกับ ไม่หมุนเวียนของอากาศในโรงเรือน	68
รูปที่ 4.27 ปริมาณการระเหยของน้ำ	69
รูปที่ 4.28 อุณหภูมิของโรงเรือนในตำแหน่งต่าง ๆ	70
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่มาบเปียก กับประสิทธิภาพการระเหยน้ำของมาบเปียก	71
รูปที่ 4.30 ลักษณะการทดสอบการทำความเย็นของน้ำโดยใช้ชุดเทอร์โมไซฟอน	72
รูปที่ 4.31 อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในการทดสอบ ชุดเทอร์โมไซฟอน	72
รูปที่ 4.32 อุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และอุณหภูมิแวดล้อม	74

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.30	อุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำแบบใช้เทอร์โมไรฟอนกับแบบไม่ใช้เทอร์โมไรฟอน	75
	ในถังเก็บน้ำเย็นและอุณหภูมิแวดล้อม	

**การประหยัดพลังงานของระบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือนกระจกโดย
ใช้ Chilled Water Night Cooling**

**ENERGY SAVING BY EVAPORATIVE COOLING OF GREENHOUSE SYSTEM
USING CHILLED WATER NIGHT COOLING**

**ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, อติพงศ์ นันทพันธุ์, พิสุทธิ กลิ่นขจร
NATTAWUD DUSSADEE, TANONGKIAT KIATSORIROAT, ATIPONG
NANTAPHAN, AND PISUT KLINKACHOL**

ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 502900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประหยัดพลังงานในการทำความเย็นของระบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือนกระจกโดยใช้ Chilled Water Night Cooling ที่ผลิตจากท่อความร้อนแบบเทอร์โมไครฟอน ซึ่งสามารถผลิตน้ำเย็นโดยไม่ต้องใช้พลังงานภายนอก โดยท่อความร้อนจะผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืน นำน้ำเย็นมาป้อนผ่านม่านเปียกในเวลากลางวัน การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาสมรรถนะของโรงเรือนปลูกพืชที่มีอยู่แล้วได้แก่ โรงเรือนของสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร และโรงเรือนของศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ และส่วนที่ 2 นำข้อมูลที่ได้มาออกแบบโรงเรือนแบบใหม่ที่ใช้น้ำเย็นจากระบบท่อความร้อน และมีการลดความร้อนได้หลังคาโรงเรือนโดยใช้อากาศหมุนเวียนมาใช้ใหม่ ทำการประเมินสมรรถนะและแนวทางการการประหยัดพลังงานของโรงเรือน

จากการประเมินสมรรถนะพบว่าโรงเรือนปลูกพืชเดิม ระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนอยู่ในช่วง 28 – 29 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 79.0-80.0% มีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.0 – 1.5 kWh/d-m² โดยมีประสิทธิภาพการทำความเย็น 85.9 และ 76.1% ตามลำดับ สำหรับโรงเรือนที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำเย็น (17-20 °C) ที่ได้จากการทำความเย็นของระบบท่อความร้อนแบบเทอร์โมไครฟอน และการใช้น้ำอุณหภูมิปกติ (25-30 °C) พบว่าการใช้ระบบน้ำเย็นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำ

ความเย็นจาก 69.2-73.28 % เพิ่มขึ้นเป็น 80.2-80.3 % และการหมุนเวียนอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนได้ทุกอุณหภูมิน้ำเย็นที่ใช้ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพมีค่าในช่วง 7-12 % แสดงว่าประสิทธิภาพโรงเรือนเนื่องจากการใช้น้ำเย็นและหมุนเวียนอากาศสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนลงได้

ABSTRACT

This research was aimed to study the energy savings from evaporative cooling of glasshouse by using the chilled water night cooling system together produced with Thermosyphon heat pipe system which enabled the production of cool water without using external energy through the combined usage of cool water passing through wetted media sheet during midday. This research was divided into two parts: 1) study of the performance of glasshouse nursery of the Office of Agricultural Research and Extension (OARE) and the glasshouse of the Orchids and Ornamental Plants Center (OOPC); and, 2) evaluation of the performance of glasshouse designed and constructed by the Energy Research Center (ERC) which produced chilled water in order to test its capacity to save energy, increase efficiency of cooling. In addition, the expelled air of the glasshouse was rotated and used again by passing beneath the ceiling of the glasshouse.

In the first experiment that studied the use of glasshouse energy, results showed that the evaporative cooling system was able to control the internal temperature of glasshouse at 28-29°C, relative humidity of 79.0%-80.0%, final average electrical energy consumption at 1-1.5 kW/d-m² with cooling efficiency of 85.9 and 76.1%, respectively. In the second experiment, a comparison was made on greenhouse cooling efficiency in the case of using a thermosyphon heat pipe to reduce water temperature and ceiling air rotation. Results indicated that the use of evaporative cooling system with water temperature of 17-20°C passing through a wetted media sheet could increase efficient in cooling from 69.2-73.3% to 80.2-80.3 %. When expelled air rotation beneath the glasshouse ceiling was used to reduce heat gain, results showed that efficiency

increased at 7-12 % thus the high efficiency of glasshouse was able to reduce the cost for electrical energy consumption of the glasshouse.



อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_k	พื้นที่ประสิทธิภาพของช่องทางไหลของอากาศ	ft
A	รายได้เฉลี่ยต่อปี	บาท
A_p	พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน	m^2
C_{pa}	ความจุความร้อนของอากาศภายในโรงเรือน	$kJ/kg\ K$
h_w	เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปกติใช้ค่า h_w ของไอน้ำ	
H_L	ความร้อนแฝงของอากาศ	kJ/kg
h_i	เอนทาลปีของอากาศ (ชื้น)	kJ/kg
h_L	เอนทาลปีของไอน้ำ	kJ/kg
h_s	เอนทาลปีจำเพาะของอากาศแห้ง	kJ/kg
i	อัตราดอกเบี้ย, เศษส่วน	
m	มวลของอากาศ	kg
$\dot{m}_{out}$	ปริมาตรอากาศที่ดูดออกจากโรงเรือน	m^3/s
n	อายุการใช้งานของอุปกรณ์	ปี
P	เงินลงทุน	บาท
Q	ตราไหลโดยปริมาตร	cfm
Q_{room}	อัตราความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโรงเรือน	kW
Q_{wall}	อัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้าสู่โรงเรือน	kW
Q_{roof}	อัตราความร้อนที่ส่องผ่านหลังคาพลาสติก	kW
Q_{ground}	อัตราความร้อนสูญเสียสู่ผิวดิน	kW
Q_{solar}	อัตราความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์	kW
Q_{rg}	การแผ่รังสี	
T_{db1}	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ	$^{\circ}C$
T_{db2}	ก่อนและหลังผ่าน Wetted media	$^{\circ}C$
T_{wb1}	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ	$^{\circ}C$
T_a	อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือน	K

-ญ-

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
t	เวลา	วินาที
T_{db}	อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศ	$^{\circ}\text{C}$
T_{wb}	อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศ	$^{\circ}\text{C}$
V_{evap}	ความเร็วลมผ่านระเหยน้ำ	m/s
V_k	ความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ไหลผ่านช่องทางไหล	fpm
w	อัตราส่วนความชื้น	kg/kg
V_a	ปริมาตรภายในโรงเรือน	m^3
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

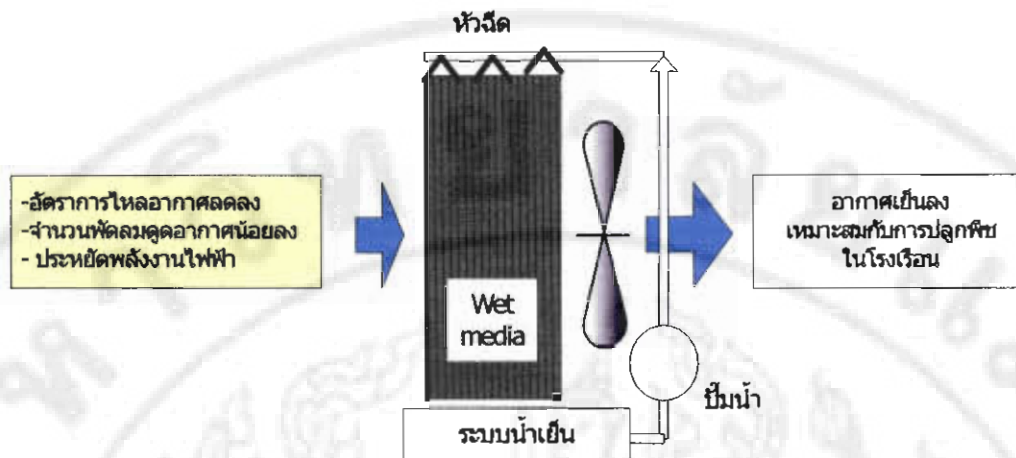
ปัจจุบันโรงเรือนปลูกพืชเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการทำการเกษตรที่เข้าสู่ช่วงการนำเทคโนโลยีที่เริ่มสูงขึ้นไปใช้ทำการเกษตรต่างๆ และมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อต้องการควบคุมสภาวะอากาศในโรงเรือนให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชให้ได้ผลผลิตมีปริมาณสูง และมีคุณภาพที่ดี ขณะเดียวกันนั้นประเทศไทยยังจำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ซึ่งเทคโนโลยีบางอย่างก็ไม่มี ความเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยหรือบางครั้งก็สิ้นเปลืองพลังงานสูง ซึ่งถ้านำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ทางการเกษตรแล้ว ต้นทุนการผลิตของสินค้าเกษตรจะสูงขึ้น ทำให้ไม่สามารถที่จะแข่งขันกับสินค้าทางการเกษตรจากต่างประเทศได้

โรงเรือนเพาะเลี้ยงพืช (Greenhouse) เป็นเทคโนโลยีสำหรับการเพาะปลูกพืชเมืองหนาว ประกอบด้วยโครงสร้างหลังคาและผนังปิดที่ทำด้วยวัสดุที่โปร่งแสง ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือนเพาะเลี้ยงต่างกัน กล่าวคือ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นสเปกตรัม (รังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาว) ตกกระทบหลังคาและผนังโรงเรือนที่เป็นกระจกหรือวัสดุโปร่งแสง รังสีคลื่นสั้น (300-3000 nm) จะสามารถแผ่รังสีทะลุผ่านเข้าไปในโรงเรือนได้ ขณะที่รังสีคลื่นยาว (3000-80,000 nm) จะถูกกั้นด้วยกระจก รังสีคลื่นสั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาวที่ไม่สามารถทะลุผ่านกระจกออกไปได้ ดังนั้นจึงทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมภายในโรงเรือนเพาะเลี้ยง ทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้นมากกว่าอากาศแวดล้อม ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Greenhouse effect จากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น ทำให้ผู้ปลูกประสบปัญหาเกี่ยวกับปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ในสภาพอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้พืชมีการคายน้ำมากขึ้น

แม้ว่าโรงเรือนจะสามารถป้องกันลม แดด และฝนได้ แต่ยังไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนให้เป็นไปตามต้องการได้ การลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเพาะปลูกของเกษตรกรในประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศที่อยู่ในแถบภูมิประเทศร้อนขึ้นทำให้ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชบางชนิดที่ต้องการสภาพอากาศเย็น เช่น ไม้ดอกเมืองหนาวหรือพืชผลบางชนิด ซึ่งหากมีการติดตั้งระบบทำความเย็นให้แก่โรงเรือนเพื่อให้โรงเรือนมีสภาพอากาศที่เย็นพอและมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่สำคัญคือ ระบบทำความเย็นต้องมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ง่ายต่อการติดตั้ง ควบคุมและดูแลรักษาได้ง่าย อีกทั้งยังใช้กำลังงานน้อยแต่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร

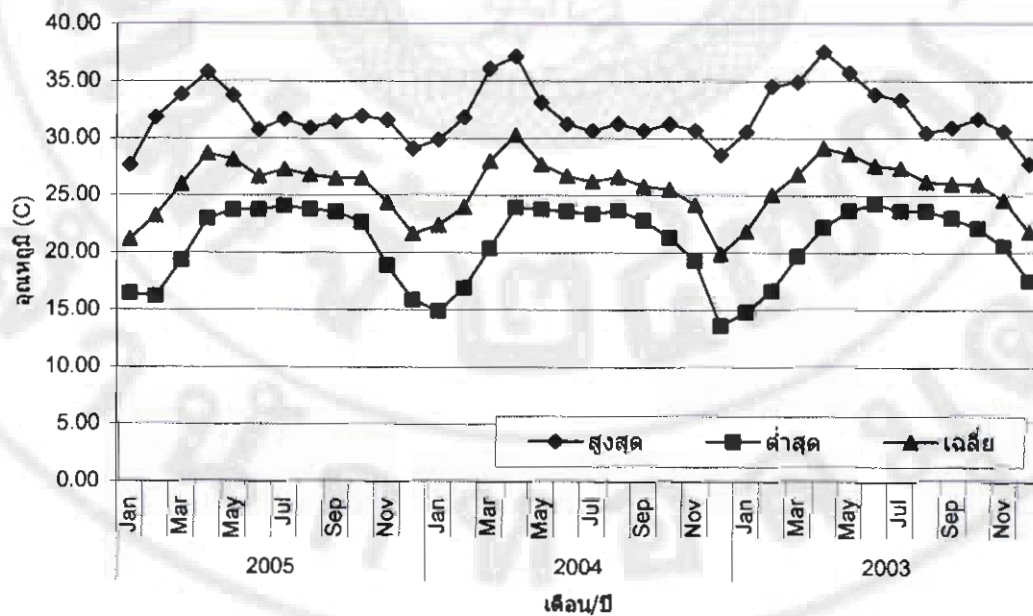
ดังนั้นในการเพาะปลูกพืชในโรงเรือนจำเป็นต้องลดอุณหภูมิสภาพอากาศภายในโรงเรือน โดยเฉพาะในเวลากลางวันสูง ซึ่งการลดอุณหภูมิในโรงเรือนทำได้หลายวิธี ระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling เป็นระบบหนึ่งที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศโดยกล แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีเท่ากับระบบโดยกล อีกทั้งอากาศที่ผ่านระบบ Evaporative cooling ยังมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ซึ่งไม่เหมาะสำหรับคนและสัตว์อีกด้วย นอกจากนั้นแล้วประเทศไทย ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ ถึง ละติจูด 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ ลองติจูด 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก ถึง ลองติจูด 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก หรืออยู่ระหว่างเส้นศูนย์สูตร และสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยจัดอยู่ในเขตร้อนชื้น (Humid Tropic) และรับแสงแดดตลอดทั้งปีทำให้การลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะเลี้ยงทำได้ยาก จึงไม่มีความเหมาะสมในการใช้โรงเรือน Greenhouse ในการเพาะปลูกพืชในประเทศไทย โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันสูง เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพของระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling ลดลง ซึ่งถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ Evaporative cooling จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการไหลของอากาศผ่าน Wetted media ให้มากขึ้น เพื่อให้การระเหยน้ำกลายเป็นไอน้ำมากขึ้นซึ่งก็จะดึงความร้อนจากอากาศมากขึ้นด้วย จึงจำเป็นต้องใช้กำลังของพัดลมสำหรับดูดอากาศผ่าน Wetted media มากขึ้น หรือใช้พัดลมจำนวนหลายตัวมากขึ้นด้วย ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

โดยที่ประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ Evaporative cooling จะขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศที่ใช้ เมื่อสมมติว่าคุณสมบัติของวัสดุที่ทำ Wetted media เหมือนกัน ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ Evaporative cooling โดยการลดอุณหภูมิน้ำที่ป้อนให้กับ Wetted media เมื่ออุณหภูมิน้ำป้อนต่ำลงจะทำให้สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ต่ำลงได้ ซึ่งจะเหมาะกับสภาวะการเพาะปลูกพืชมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วการลดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ป้อน Wetted media ทำให้สามารถลดอัตราการไหลของอากาศผ่าน Wetted media ลง ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสำหรับขับพัดลม ซึ่งโดยปกติจะใช้พัดลมมากกว่า 1 ตัว แสดงเป็นแนวคิดการทำงานดังภาพที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling โดยปั๊มน้ำเย็นให้ Wetted media

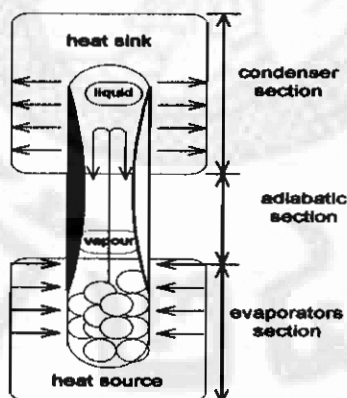
ในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่างกลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างกัน ประมาณ $15-20^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในภาพที่ 1.2 ซึ่งมีศักยภาพสูงที่ผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืน สำหรับใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำเย็นผ่าน Wetted media ในเวลากลางวัน น้ำเย็นที่ผ่าน Wetted media ยังสามารถนำไป Pre-cool น้ำก่อนปั๊มน้ำเข้าถังเก็บน้ำได้อีกซึ่งจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานน้ำได้อีกทางหนึ่งด้วย



รูปที่ 1.2 อุณหภูมิทั้งปีของจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2546-2548

ที่มา: อุดุนิยมวิทยาภาคเหนือ

แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางวัน คือ การใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ดึงความร้อนจากถังเก็บน้ำก่อนป้อนให้กับ Wetted media ในเวลากลางวัน ซึ่งข้อดีของเทอร์โมไซฟอน คือ การทำงานจะเกิดขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกในการดึงความร้อน ดังนั้นจึงประหยัดพลังงาน 100% เทอร์โมไซฟอนดังแสดงรูปที่ 1.3 แบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) อะเดียเบติก (Adiabatic) และคอนเดนเซอร์ (Condenser) ในการทำงานจะใช้ด้านอีวาพอเรเตอร์ อยู่ภายในถังเก็บน้ำเย็น และด้านคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนสู่อากาศ ภายในเทอร์โมไซฟอนจะบรรจุสารทำงานที่ภายในจะมีสภาพเป็น 2 เฟส ตลอดเวลา เมื่ออีวาพอเรเตอร์รับความร้อนจากน้ำ สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนก็จะกลายเป็นไอและลอยตามท่อขึ้นด้านบนซึ่งติดกับด้านคอนเดนเซอร์ซึ่งสัมผัสกับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและสารทำงาน ทำให้สารทำงานกลับเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่งและจะไหลกลับสู่ด้านอีวาพอเรเตอร์ด้วยแรงดึงดูดของโลก ซึ่งขบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำจึงทำให้สามารถผลิตน้ำเย็นโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกจึงประหยัดพลังงาน



รูปที่ 1.3 การทำงานของเทอร์โมไซฟอน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่เพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานในการทำควมเย็นของระบบ Evaporative cooling ของโรงเรือน Greenhouse โดยการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางวันโดยใช้ท่อความร้อน ซึ่งสามารถผลิตน้ำเย็นได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอกช่วย และน้ำเย็นป้อนผ่าน Wetted media ของระบบ Evaporative cooling ในเวลากลางวัน ซึ่งจะทำให้สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน Greenhouse ลงได้อีก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงานในโรงเรือน Greenhouse สำหรับเพาะปลูกพืช
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีจากต่างประเทศให้มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลโรงเรือนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร โรงเรือนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 1.3.2 ออกแบบ ทดสอบ โรงเรือนศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยติดตั้งระบบ
 - ระบบที่ใช้น้ำเย็น
 - ระบบที่มีการหมุนเวียนอากาศทั้งกลับมาใช้ใหม่
 - ระบบดึงความร้อนจากน้ำโดยใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไโฟนอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ได้เทคโนโลยีท่อความร้อนต้นแบบ ที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำเย็นใช้สำหรับโรงเรือน Greenhouse ซึ่งเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานสามารถนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมายได้
- 1.4.2 ได้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ
- 1.4.3 เพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางการค้าและเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรของประเทศไทย
- 1.4.4 ประหยัดการใช้พลังงานในภาคเกษตรกรรมอย่างเป็นรูปธรรม

1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริรัช และคณะ (2526) ศึกษาการวัดอุณหภูมิท้องฟ้าและความเป็นไปได้ของการทำความเย็นและการปรับอากาศโดย radioactive cooling โดยศึกษาการสูญเสียความร้อนในเวลากลางคืน จากการแผ่รังสีแผ่นที่มีลักษณะเหมือนกัน 2 แผ่นขนาด 30.4×243.8 ตารางเซนติเมตร ป้อนน้ำร้อนเข้าสู่แผง ในอัตราการไหลเท่ากับ 5 และ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิแวดล้อม 22, 26 และ 28 °C จากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิท้องฟ้าขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม โดยอุณหภูมิท้องฟ้าจะมีค่าต่ำลงเล็กน้อยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำลงหรืออุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่ำลง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 22, 26 และ 28 °C อุณหภูมิท้องฟ้ามีค่าประมาณ -

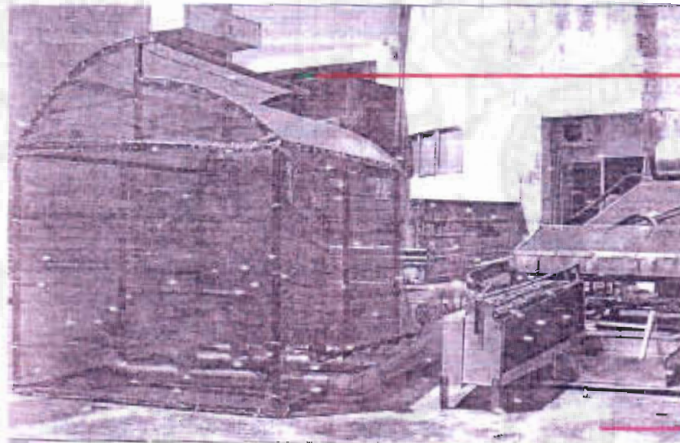
14 , 5, 25 °C ตามลำดับ สำหรับการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี พบว่าขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของท้องฟ้าว่ากระจ่างหรือไม่ ที่เวลา 24.00 น ของวันที่ฟ้ากระจ่าง และวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมีค่าการสูญเสียความร้อนสู่ท้องฟ้าประมาณ 184 W/m², 122 W/m² ตามลำดับ

ณรงค์พล และชุตธนา (2530) ศึกษาการลดความร้อนเข้าสู่อาคารทางหลังคาของหอสมุดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยการใช้น้ำฝอย โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพด้านการลดอุณหภูมิภายในอาคาร และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลอง โดยศึกษาเปรียบเทียบระบบก่อนการติดตั้งระบบพ่นฝอยน้ำที่หลังคา จากผลการทดลองพบว่าการลดความร้อนด้วยระบบน้ำฝอยนี้ให้ผลด้านการลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เป็นที่น่าพอใจ ก่อนติดตั้งระบบพ่นน้ำในช่วงเวลา 8.00-17.00 น. อุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารเฉลี่ยต่างกัน -0.2 °C โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกอาคาร 33.7 °C เมื่อติดตั้งระบบพ่นฝอยน้ำ พบว่าอุณหภูมิแตกต่างกันภายในและภายนอกอาคารเป็น 2.3-4.4 °C โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคารในช่วงเวลาทดสอบเดียวกันมีค่า 28.5 °C

จุมพล (2541) ได้มีการศึกษาการทำความเย็นในโรงเรียนด้วยระบบทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรียนไม้ดอกโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขนาดของโรงเรียนกว้าง 6 เมตร , ยาว 16.5 เมตร, สูง 4 เมตร คลุมด้วยพลาสติก พอลิเอทิลีนระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำใช้เส้นในลอนเป็นผิวระเหยน้ำติดตั้งอยู่อยู่ด้านทิศใต้และวางตัวอยู่ในแนวดิ่ง จากการศึกษาพบว่า การวางตัวของโรงเรียนในทิศเหนือ-ใต้ และทิศตะวันออก-ตะวันตก จะไม่มีผลต่ออุณหภูมิในโรงเรียน และพบว่าอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมเท่ากับ 5 Air Change ซึ่งจะใช้เส้นในลอนทั้งหมด 20 แถว ความชื้นที่ได้มีค่าระหว่าง 70-85 % อุณหภูมิภายในลดได้ 4.14 องศาเซลเซียส

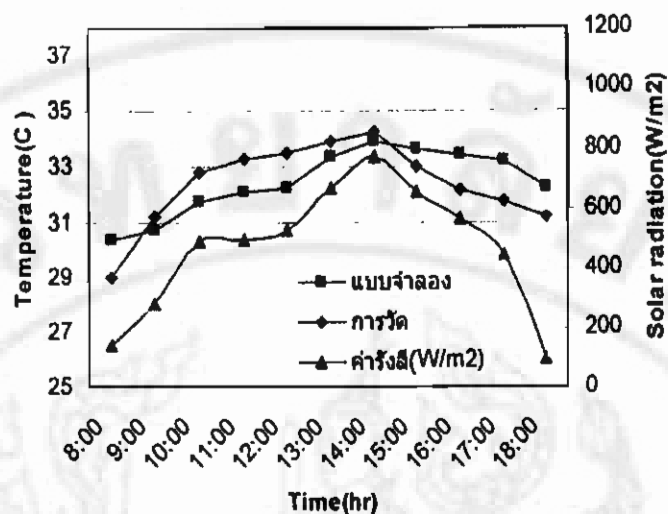
ญานิน และ อานนท์ (2542) ออกแบบและปรับปรุงระบบให้ทำความเย็นแก่โรงเรียนเพาะชำ โดยอาศัยหลักการระเหยน้ำ โดยการศึกษาเปรียบเทียบ 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 การปลูกพืชในโรงเรียนหลังคาพลาสติก แบบที่ 2 การปลูกพืชในโรงเรียนหลังคาพลาสติกแต่ติดตั้งพัดลมและระบบพ่นน้ำ แบบที่ 3 การปลูกพืชในโรงเรียนหลังคาและผนังคลุมด้วยพลาสติกและติดตั้งระบบพ่นน้ำ ในการทดสอบจะใช้ที่ความเร็วลม 4 เมตร/วินาที โดยพ่นหมอกทุก 15 นาที ในช่วงเวลา 8.00-16.00 น. โรงเรียนมีขนาด 5x24x4 เมตร ติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิภายใน 5 ตำแหน่ง จากการทดสอบระหว่างวันที่ 22-27 เมษายน 2542 พบว่าในด้านการลดอุณหภูมิ แบบที่ 3 สามารถลดอุณหภูมิได้ดีที่สุด โดยลดอุณหภูมิได้ประมาณ 1.61-2.71 °C และภายในโรงเรียนมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 66-85 %

เอกศักดิ์ ชี้อสกุลไพศาล (2546) ทำการศึกษาวิธีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนที่ทำด้วยตาข่ายพรางแสง โดยใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยในการลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยโรงเรือนที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร และสูง 1.7 เมตร ดังรูปที่ 1.4 ผนังหลังคาคลุมด้วยตาข่ายพรางแสงและหุ้มทับด้วยพลาสติกพีวีซี มีช่องโค้งเปิดระบายความร้อนด้านบน ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำเซลลูโลส ขนาด 0.6 ตารางเมตร เป็นแบบรวมศูนย์ และท่อทำความเย็นกระจายสู่โรงเรือน จากพื้นสู่อากาศภายใน และเปรียบเทียบผลของการทดลองกับผลจากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

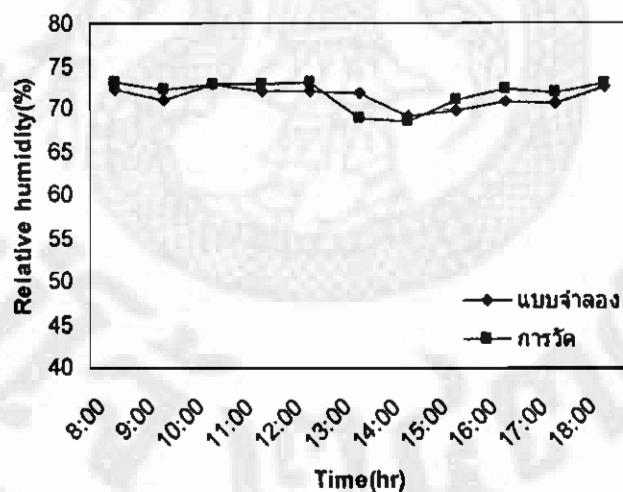


รูปที่ 1.4 ลักษณะโรงเรือนที่ใช้ในการวิจัยของ เอกศักดิ์ ชี้อสกุลไพศาล
ที่มา: เอกศักดิ์ ชี้อสกุลไพศาล (2546)

พบว่า ผลระหว่างการทดลองและการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงกัน สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนได้ ดังรูปที่ 1.5 และพบว่า ที่ขนาดของแผ่นระเหยน้ำ 0.6 ตารางเมตร อัตราการไหลของลมผ่านแผ่นระเหย 0.5 ลูกบาศก์เมตร/วินาที สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ 3 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น 13 % เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นของสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1.5 เปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองกับแบบจำลองอุณหภูมิในโรงเรือน
ที่มา: เอกศักดิ์ ชี้อสกุลไพศาล (2546)

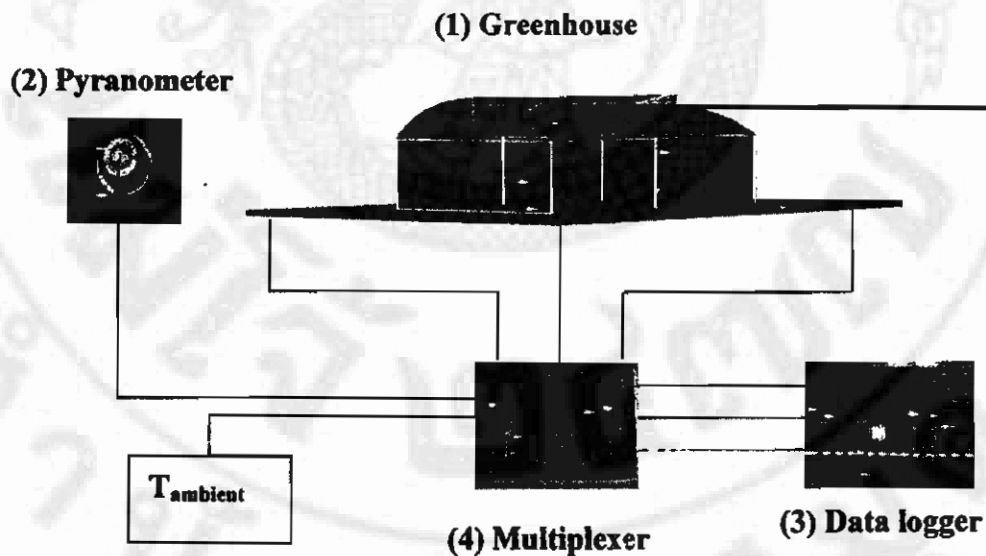


รูปที่ 1.6 เปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองกับแบบจำลองความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน
ที่มา: เอกศักดิ์ ชี้อสกุลไพศาล (2546)

วิทยา เนียนถนอม (2546) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนไม้ดอก โดยให้หลักการระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติเพื่อระบายความร้อนที่สะสมอยู่ภายในโรงเรือน โดยโรงเรือนเป็นโรงเรือนจำลองแบบหลังคาโค้งเปิดต่างระดับขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 2.4 เมตรและสูง 1.1 เมตร หลังคาพลาสติกพีวีซี หลังคาด้านทิศตะวันออกเอียง 18 องศา ทิศตะวันตกเอียง 12 องศา โรงเรือนที่ทำการทดลองมี 3 แบบ คือ แบบปิด แบบเปิด

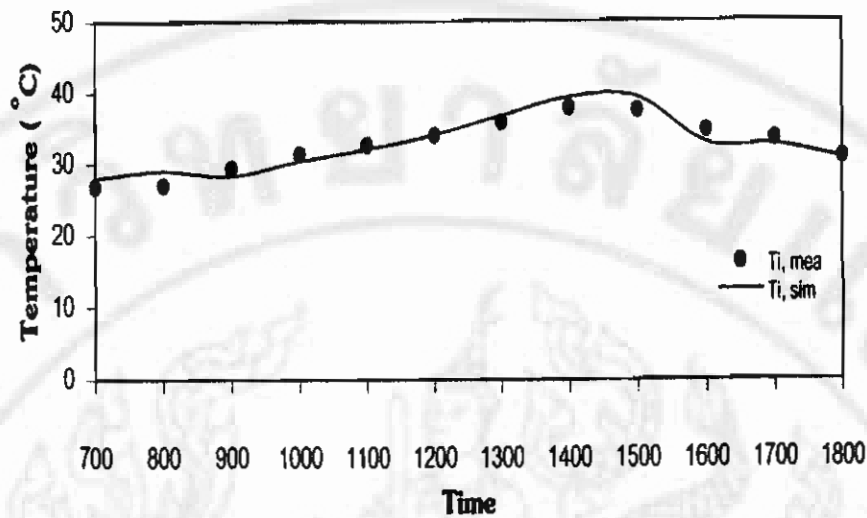
ช่องหลังคา และเปิดช่องหลังคาร่วมกับเปิดช่องด้านหน้าโรงเรือน ลักษณะของโรงเรือนและการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 1.6 แบ่งการคำนวณแบบจำลองเป็น 5 ส่วนคือ แบบจำลองประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม อุณหภูมิโรงเรือน ความชื้นโรงเรือน และการระบายอากาศแบบธรรมชาติ

ผลการศึกษารูปแบบของโรงเรือน พบว่า โรงเรือนที่มีช่องเปิดหลังคาร่วมกับการเปิดด้านหน้าจะสามารถลดการสะสมความร้อนได้ในปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่น ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ณ วันและเวลาเดียวกับการทดลอง พบว่า มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ทำให้สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการทำนายอุณหภูมิ ความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7 และอัตราการระบายอากาศภายในโรงเรือนได้ ช่องทางเปิดของช่องอากาศที่เหมาะสมกับโรงเรือนขนาด 22 x 6 เมตร อยู่ที่ 0.3 เมตร โดยมีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 39.86°C และ 26.86°C ตามลำดับ ทำให้มีความชื้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 77.89 และ 34.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้อัตราการระบายอากาศจะได้รับอิทธิพลจาก 2 ตัวแปร คือ ผลกระทบจากแรงลอยตัว และผลกระทบจากแรงลม

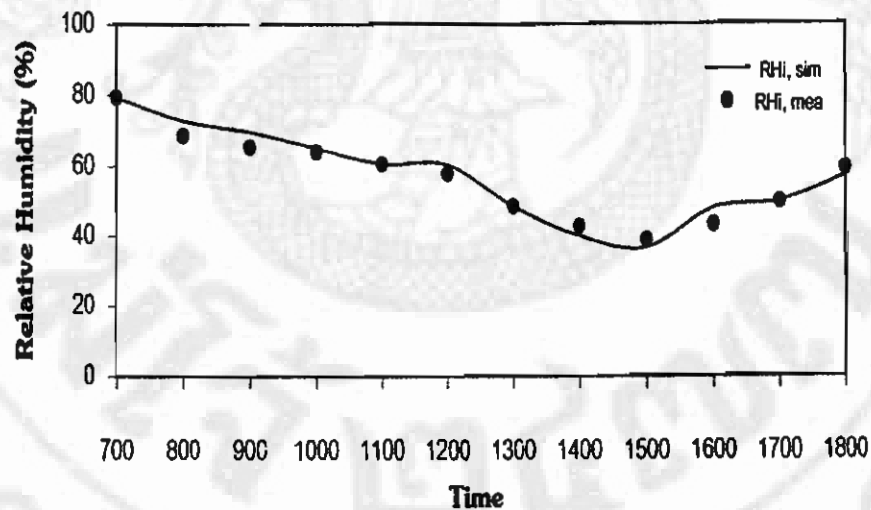


รูปที่ 1.7 ลักษณะโรงเรือนและการติดตั้งระบบวัดของ วิทยา เนียนถนนอม

ที่มา : วิทยา เนียนถนนอม (2546)



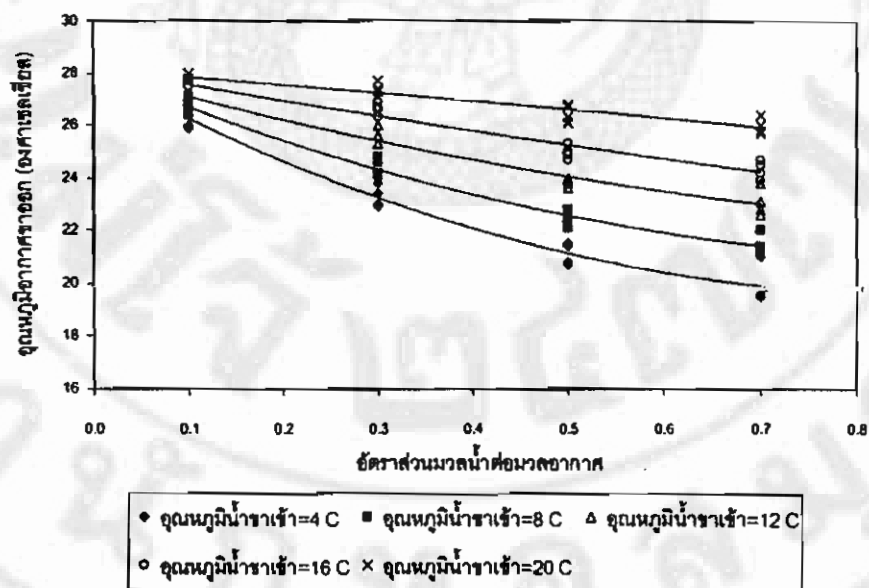
รูปที่ 1.8 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ ในโรงเรียนระหว่างแบบจำลองและการทดลอง
ที่มา : วิทยา เนียนถนอม (2546)



รูปที่ 1.9 เปรียบเทียบผลของความชื้นในโรงเรียนระหว่างแบบจำลองและการทดลอง
ที่มา : วิทยา เนียนถนอม (2546)

พรชัย สุวัฒน์เมสินทร์ (2546) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบ สัมผัสและระเหยโดยตรงที่ใช้ในโรงเรียนเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ เป็นวัสดุเปียกขนาด 50 x 50 ตารางเซนติเมตร หน้า 15 เซนติเมตร ทั้งแบบอะเดียบาติก และแบบที่ไม่อะเดียบาติก โดย ทำการศึกษาผลของอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำกับความเร็วลมที่มีผลต่ออุปกรณ์แบบอะเดียบาติก รวมทั้งศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำเข้าและอัตราส่วนมวลน้ำต่อมวลอากาศที่มีต่ออุปกรณ์แบบอะเดียบาติก

สุมนต์ แซ่ลิ้ม (2546) ได้ทำการศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างหลังคาโรงเรียนไม้ดอก เพื่อช่วยลดปริมาณความร้อนภายในโรงเรียน โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำอากาศแบบธรรมชาติ จากการทดลองแบบจำลองโครงหลังคาโรงเรียนในอุโมงค์ลม พบว่า แบบจำลองโครงหลังคาโรงเรียนแบบของโครงการหลวง ที่มีมุมความชันหลังคาด้านบน 18 องศา ด้านล่าง 10 องศา ขนาดช่องเปิด 12 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการระบายอากาศอยู่ในช่วง 0.58 – 0.68 ที่ความเร็วลมทดลอง 0.2 – 0.3 เมตรต่อวินาที ส่วนแบบจำลองโครงหลังคาแบบใหม่ ที่มีมุมความชันหลังคาด้านบน 18 องศา ด้านล่าง 12 องศา ขนาดช่องเปิด 18 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการระบายอากาศอยู่ในช่วง 0.63 – 0.73 ที่ความเร็วลมทดลอง 0.2 – 0.3 เมตรต่อวินาที ในส่วนของการทดลองโรงเรียนในสภาวะจริงพบว่า อุณหภูมิผนังและหลังคาในแต่ละด้านและอุณหภูมิภายในโรงเรียนแบบใหม่ อุณหภูมิจะสูงกว่าภายนอกประมาณ 5 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.30 น. อัตราการไหลเนื่องจากแรงลอยตัวของอากาศอยู่ในช่วง 0.384 - 0.442 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่สัมประสิทธิ์การไหล 0.63 – 0.73 ส่วนแบบโครงการหลวง อุณหภูมิจะสูงกว่าภายนอกประมาณ 4.6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.30 น. อัตราการไหลเนื่องจากแรงลอยตัวของอากาศอยู่ในช่วง 0.381 - 0.370 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่สัมประสิทธิ์การไหล 0.58 – 0.68



รูปที่ 1.10 ผลของอัตราส่วนมวลน้ำต่อมวลอากาศต่ออุณหภูมิอากาศออก
ที่มา : วิทยา เนียนถนอม (2546)

Lawrence และ Tiwari (1989) ได้ศึกษาสมรรถนะของระบบการทำความเย็นแบบระเหย สำหรับที่พักอาศัยใน Port Moresby โดยแบ่งอาคารที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 3 ห้อง ห้องแรกมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเอาไว้ (A/C Room) ห้องที่สองไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ (Outer

Room) และห้องที่สามเป็นห้องที่อยู่นอกชายคา (Outer Shaded Room) หลังคาของอาคารทำด้วยสังกะสี ภายใน A/C Room มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ใต้หลังคาและผนังทุกด้าน ระบบการทำความเย็นแบบระเหยถูกติดตั้งไว้บนหลังคา โดยทำเป็นท่อคู่วางอยู่บนสันของหลังคา ท่อที่ใช้มีขนาด 0.025 เมตร ถูกเจาะรูให้มีระยะห่างกัน 0.1 เมตร เพื่อให้ น้ำ ไหลออกมาได้ เมื่อน้ำ ไหลออกจากท่อ ก็จะไหลลงไปที่หลังคา ทำให้หลังคาเปียก และน้ำที่เปียกจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ทำหน้าที่เป็นฉนวนเปียก ซึ่งจะเกิดการระเหยขึ้นเนื่องจากได้รับความร้อนจากหลังคา ทำให้หลังคามีอุณหภูมิลดลง ส่งผลให้ความร้อนถ่ายเทผ่านหลังคาเข้าสู่ห้องด้านล่างลดลงด้วย อุณหภูมิในห้อง จึงลดต่ำลง การทดลองทำได้โดยการลดอุณหภูมิในแต่ละห้อง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง และมวลของน้ำที่ระเหย จากการทดลองพบว่า ระบบการทำความเย็นแบบระเหยไม่มีผลต่ออุณหภูมิภายใน A/C Room ทั้งขณะเปิดและปิด เครื่องปรับอากาศ แต่มีผลต่ออุณหภูมิภายใน Outer Room และ Shaded Room เมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างห้อง Outer Room และ Shaded Room พบว่าอุณหภูมิ ใน Shaded Room มีช่องอากาศที่ช่วยให้เกิดการระบายอากาศโดยธรรมชาติด้วยทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า

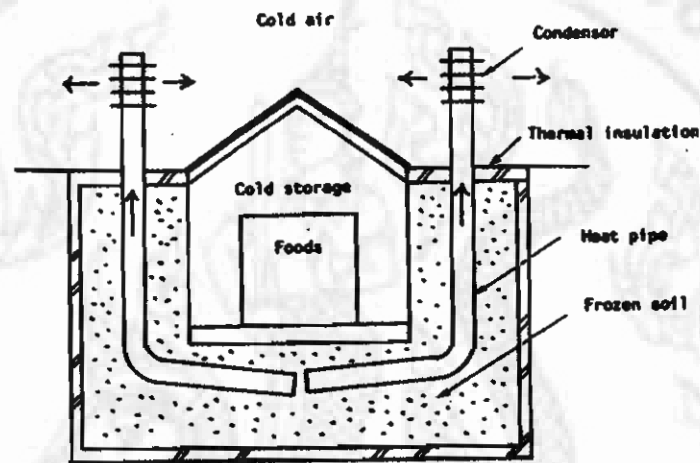
ณัฐวุฒิ สุขภู และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไมโซโฟนในการควบคุมระดับของอุณหภูมิของตัวเครื่องในถังเก็บธรรมชาติ โดยรูปทรงของถังเก็บเป็นแบบถังสี่เหลี่ยม 2 ชั้น ภายในบรรจุสารทำงานเมธานอล จำนวน 23 ลิตร จากการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวเครื่องและสารทำงาน มีค่าประมาณ $5.2 \text{ W/m}^2\text{-K}$ และท่อความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิของตัวเครื่องได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิต่ำสุดของอากาศแวดล้อม โดยมีอุณหภูมิแตกต่างระหว่างชั้น $1 - 2^\circ\text{C}$

Kiatiriroat, *et al* (1998) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่สะสมในดินสำหรับทำน้ำอุ่นโดยใช้ท่อความร้อน โดยใช้ น้ำ เป็นตัวระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเทอร์โมไมโซโฟน จากการวิจัย พบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิ น้ำ ได้สูงกว่าอากาศแวดล้อมถึง 9°C ในฤดูหนาว

Fukada, *et al*. (1993) ประยุกต์ใช้เทอร์โมไมโซโฟนในการดึงความร้อนจากดินเพื่อทำห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาผักสด โดยการทำงานนั้นจะใช้เทอร์โมไมโซโฟนดึงความร้อนจากดินในช่วงฤดูหนาว ซึ่งอากาศแวดล้อมอุณหภูมิต่ำกว่าดินมากทำให้ดินโดยรอบห้องเย็นแข็งตัว และจะคายความเย็นให้ห้องเย็นในช่วงฤดูร้อน จากการวิจัย พบว่า สามารถทำให้ห้องเย็นคงอุณหภูมิในฤดูร้อนอยู่ในช่วง $3-4^\circ\text{C}$ ซึ่งหลักการทำงานของระบบแสดงในรูปที่ 1.9

Dussadee (2002) ศึกษาการดึงความร้อนสะสมเนื่องจากการหายใจของข้าวเปลือกโดยใช้ระบบท่อความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1.10 โดยทดสอบที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ จากการศึกษาพบว่าระบบสามารถดึงความร้อนจากข้าวเปลือกในไซโลได้เป็นอย่างดี ที่ข้าวเปลือก

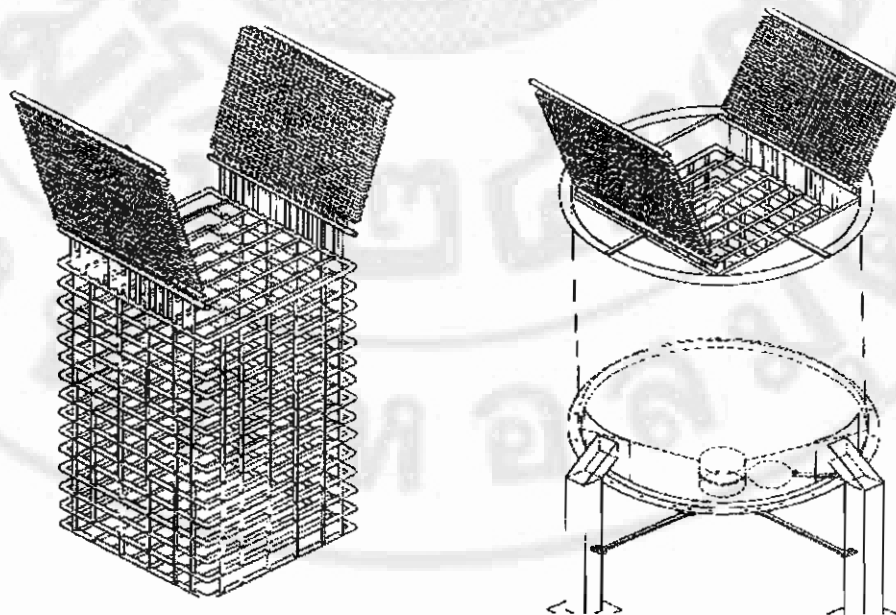
ระดับความชื้น 26.9% wb ซึ่งเป็นข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่เพื่อชะลอการอบแห้งในฤดูการเก็บเกี่ยว ซึ่งเครื่องอบข้าวมีไม่เพียงพอ จากการวิจัย พบว่า ท่อความร้อนสามารถลดอุณหภูมิข้าวเปลือกความจุ 1 ตันได้ถึงเกือบ 30°C กล่าวคือ ระบบที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อนข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงถึง 65°C เมื่อติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับไรโซข้าวเปลือกสามารถควบคุมอุณหภูมิข้าวเปลือกอยู่ที่ระดับเพียง $37-38^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 1.11 การดึงความร้อนจากดินโดยใช้ท่อความร้อนสำหรับทำห้องเย็น

เก็บผลผลิตทางการเกษตร

ที่มา: Fukada et al. (1993)



รูปที่ 1.12 การดึงความร้อนสะสมในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อน

ที่มา : Dussadee (2002)

จากการศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ในการควบคุมอุณหภูมิของอากาศในโรงเรือน นั้นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งคือ อุณหภูมิของน้ำที่ปะปนเข้าสู่วัสดุเปียก และพบว่า ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนสามารถดึงความร้อนที่สะสมในระบบออกจากระบบได้โดยไม่ต้องปะปนพลังงานจากภายนอก จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนในการลดอุณหภูมิน้ำก่อนปะปนเข้าสู่วัสดุเปียกของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling สำหรับโรงเรือนที่ใช้ได้ทั้งการปลูกพืช และการเลี้ยงสัตว์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานในการทำ ความเย็นของระบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือน Greenhouse โดยการผลิตน้ำเย็นในเวลา กลางคืนโดยใช้ท่อความร้อน ซึ่งสามารถผลิตน้ำเย็นได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอก ช่วย และน้ำเย็นปะปนผ่าน Wetted Media ของระบบ Evaporative Cooling ในเวลากลางวัน ซึ่งจะ ทำให้สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน Greenhouse ลงได้อีก

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 โรงเรือน (Greenhouse)

การปลูกพืชในโรงเรือนใช้บังคับให้ต้นไม้โตเร็ว ในอดีตโรงเรือนมักจะเป็นโรงเรือนกระจก แต่ในปัจจุบันได้มีการสร้างโรงเรือนพลาสติกขึ้นมาเพื่อใช้แทนโรงเรือนกระจกและเป็นที่นิยมกันมาก เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกระจก ในปัจจุบันโรงเรือนที่เหมาะสมกับการใช้งานพอสมควรมี 2 แบบ คือ โรงเรือนไม้ซึ่งโครงสร้างจะเป็นไม้ คลุมด้วยพลาสติกทั้งอาคาร สามารถสร้างได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคืออายุการใช้งานสั้น อีกแบบ คือ โรงเรือนโครงเหล็ก โครงสร้างจะเป็นเหล็กทั้งหมด คลุมด้วยพลาสติกและมีการระบายอากาศบนหลังคา ข้อดีก็คือ มีความแข็งแรง สามารถทนแรงลมได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ ราคาของวัสดุที่ใช้ค่อนข้างแพง โรงเรือนจะต้องสามารถป้องกันพืชจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป เช่น ลูกเห็บ และแมลงได้ โดยสามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ลดหรือเพิ่มแสง เพิ่มอัตราการหมุนเวียนของลม ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนการจัดการน้ำและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.1 ประเภทของโรงเรือน

สำหรับโครงสร้างของโรงเรือนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละแบบนิยมใช้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ได้แก่

2.1.1.1 Detached Houses

เป็นโรงเรือนที่สร้างขึ้นมาหลังเดียว อุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้ในโรงเรือนสามารถติดตั้งไว้ในโรงเรือน ตลอดจนการจัดการระบบต่าง ๆ โรงเรือนแบ่งเป็น

➤ Even Span เป็นโรงเรือนที่นิยมสร้างกันโดยทั่วไป เนื่องจากก่อสร้างได้ง่าย มีลักษณะหลังคาเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่ว นิยมสร้างเป็นโรงเรือนขนาดใหญ่ โรงเรือนเดี่ยวหรือสร้างติดกันหลายโรงเรือน สามารถติดตั้งอุปกรณ์เสริมสำหรับใช้ในโรงเรือน เช่น ระบบทำความเย็น, ระบบทำความร้อน และระบบระบายอากาศ โรงเรือนแบบนี้จะประหยัดพลังงานเนื่องจากสามารถจัดการพลังงานได้อย่างเป็นระบบภายในโรงเรือนเดียว โรงเรือนแบบนี้เหมาะสมกับการเพิ่มความยาวนานวันให้กับพืช เช่น เบญจมาศและพืชวันยาวอื่นๆ

➤ Uneven Span ลักษณะของหลังคาเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่วแต่จะมีหลังคาด้านหนึ่งยาวกว่าอีกด้านหนึ่ง สร้างให้หลังคาทางทิศใต้ยาวกว่า นิยมสร้างกันในประเทศที่มีความเข้มของแสงแดดไม่มากหรือสร้างในภูมิประเทศที่ตั้งอยู่บนเนินเขา การวางตำแหน่งของโรงเรือนจะหันด้านที่มีหลังคายาวไปทางทิศใต้เพื่อรับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่

➤ Quonset เป็นโรงเรือนที่มีหลังคาโค้งหรือครึ่งวงกลม โครงสร้างของโรงเรือนอาจเป็นแบบมีเสาหรือไม่มีเสาก็ได้ ปัจจุบันนิยมสร้างโรงเรือนชนิดนี้กันมากเนื่องจากสร้างง่ายมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน, สามารถทนแรงลมสูงๆ และสามารถระบายอากาศออกจากโรงเรือนได้ดีคลุมด้วย sheet film plastic หรือ fiberglass (GRP)

➤ Gothic Arch ลักษณะโครงหลังคาเป็นศิลปะโบราณของเยอรมันที่เรียกว่า "Gothic Arch" มีลักษณะคล้ายหลังคาโค้ง แต่ส่วนยอดของหลังคาจะเป็นปลายแหลม การก่อสร้างค่อนข้างจะยุ่งยากโดยเฉพาะส่วนของหลังคาซึ่งนิยมสร้างจากไม้ ทำให้ไม่สามารถเปิดช่องระบายอากาศทางหลังคาได้ การระบายอากาศทำโดยติดตั้งพัดลมระบายอากาศโรงเรือนประเภทนี้มีความสวยงามจึงทำให้นิยมใช้ปลูกดอกไม้มากกว่าพืชชนิดอื่น

➤ Dome ลักษณะหลังคาเป็นครึ่งทรงกลม การก่อสร้างทำได้ยากและมีราคาค่อนข้างสูง นิยมใช้ปลูกดอกไม้เช่นเดียวกับโรงเรือนแบบ Gothic Arch

2.1.1.2 Connected Houses

จากโรงเรือนแบบ Detached houses ถ้าสร้างติดๆ กันหลายโรงเรือนและไม่มีผนังกันระหว่างทั้งสองแบบ มักนิยมเรียกว่า connected greenhouse ส่วนมากใช้ในการปลูกพืชแบบอุตสาหกรรม แบ่งเป็น

➤ Multi chamber Houses ลักษณะของโรงเรือนเป็นการประยุกต์จากโรงเรือนแบบ Quonset หรือ Even Span โดยสร้างหลายโรงเรือนติดกันและความสูงของโรงเรือนจะกำหนดโดยความสูงของพืชที่ปลูก ดังนั้นจึงมีความสูงของโรงเรือนไม่แน่นอน ตัวอย่างการสร้างโรงเรือนได้แก่โรงเรือนแบบ Dutch-Venlo type ในประเทศแถบยุโรป เช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์ นิยมใช้ปลูกมะเขือเทศ

➤ Saran-covered Houses เป็นโรงเรือนที่ใช้ตาข่ายพลาสติกสำหรับพรางแสงอาทิตย์ที่เรียกว่า Saran ทำจากสิ่งทอโพลิโพรพิลีน (Polypropylene fabric) มีน้ำหนักเบาสามารถใช้ลวดเส้นใหญ่ตรึงไว้กับเสา นิยมใช้ในโรงเรือนที่ปลูกไม้ดอกที่ไม่ต้องการแสงอาทิตย์มาก หรือใช้ในกรณีที่ต้องการลดความเข้มของแสงที่สูงเกินความต้องการของพืช สามารถป้องกันแมลงบางชนิด และลดแรงปะทะของฝนได้

➤ Lath Houses โรงไม้ระแนงใช้ในการพรางแสงไม่ให้พืชได้รับความเข้มแสงมากเกินไป และลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ทำให้พืชต้องการน้ำน้อยลง ใช้กันมากในการปลูกพืชไม้ดอก หรือโรงเรือนเพาะชำพืช ขยายพันธุ์พืช โครงสร้างของโรงเรือนทำจากไม้ระแนงโดยตีด้านบนและด้านข้างของโรงเรือน ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้าสู่โรงเรือนถูกกำหนดโดยความถี่ของไม้ระแนงประมาณ 1/2-1/3 เท่า

2.1.2 ชนิดพลาสติกที่ใช้ทำโรงเรือน

โรงเรือนที่มีโครงสร้างน้ำหนักเบาคลุมด้วยพลาสติกเป็นที่นิยมใช้กันตั้งแต่ระดับบ้านเรือนไปจนถึงกิจการการค้าขนาดใหญ่ โดยในโลกมีพื้นที่การใช้โรงเรือนพลาสติกเป็น 3 เท่าของการใช้โรงเรือนกระจก พลาสติกที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีหลายชนิด ได้แก่

➤ พอลิเอทิลีน (Poly ethylene, PE) พอลิเอทิลีนที่ใช้ทำพลาสติก มีทั้งชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และความหนาแน่นสูง (HDPE) สามารถโค้งงอได้ง่ายโดยไม่ต้องผสมสารโมเลกุลเล็กที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ แต่ต้องเติมสารที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น และช่วยให้เสถียรต่อแสง อากาศยาก มีลักษณะผิวคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ ยืดหยุ่นได้ดีเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่กระจายผ่านพลาสติกชนิดนี้ได้ โดยที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถผ่านได้ดีเป็น 3 เท่าของก๊าซออกซิเจน มีอัตราการแพร่ต่ำกว่าและในขณะเดียวกันก็ลดการผ่านออกของไอน้ำ PE มีอายุการใช้งานสั้นประมาณ 14-30 เดือน โดยมักฉีกขาดและเสียหายในฤดูร้อน

➤ พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene-vinyl acetate copolymers, EVA) เป็นพลาสติกที่เกิดจากส่วนผสมระหว่าง ethylene และ vinyl acetate มีความเหนียวและความยืดหยุ่นให้รังสีผ่านน้อยกว่า PE แต่การกระจายของแสงมากกว่า เก็บกักรังสีอินฟราเรดได้ดีพอๆกับพอลิไวนิลคลอไรด์ มีความทนทานต่อแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดีกว่า PVC และ PE ไม่เปราะแม้ที่อุณหภูมิต่ำถึง -40°C ประเทศในภูมิภาคหนาวจัดจึงนิยมใช้ EVA มาก แต่ข้อเสียคือเหนอะหนะและหย่อนได้ เมื่อมีแรงดึงและมีไฟฟ้า สถิตสูงจะทำให้ฝุ่นเกาะง่าย อีกทั้งมีราคาแพง

➤ พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) พอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดอ่อน นิยมใช้รองจากพลาสติกพอลิเอทิลีน โดยปกติแล้วพอลิเมอร์ชนิดนี้จะแข็งจึงต้องมีการผสมพลาสติกไซเซอร์เพื่อให้สามารถโค้งงอได้ แต่สารพลาสติกไซเซอร์สามารถระเหยได้เมื่อมีอุณหภูมิสูง การสูญเสียสารนี้ทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์แข็งกระด้างมากขึ้นเรื่อยๆ และทำให้มีสีคล้ำมัว จึงต้องผสม

สารป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต PVC สามารถลดการส่งผ่านรังสีคลื่นสั้นเข้าภายในโรงเรือนโดยการดูดกลืนความร้อน ทำให้อุณหภูมิของผิวพลาสติกมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิวพลาสติก PE ประมาณ 30°F

➤ พอลิไวนิลฟลูออไรด์ (Polyvinyl fluoride, PVF หรือ Tedlar) ผิวของ PVF มีลักษณะคล้ายกับผิวกระจกจึงยอมให้แสงผ่านได้ดี สามารถใช้ในช่วงอุณหภูมิ 0-180°C อายุการใช้งานนาน 8-10 ปี และมีราคาแพงเป็น 5 เท่าของ PE แต่เนื่องจากมีความทนทานจึงมีราคาค้นทุนต่อปีต่ำกว่า

➤ Rigid Sheet Plastic นอกจากพลาสติกอ่อนที่นิยมใช้คลุมโรงเรือน ยังมีแผ่นพลาสติกแข็งที่นิยมใช้คลุมโรงเรือนเช่น Glass Fiber-reinforced Polyester หรือที่เรียกว่าแผ่น fiberglass (FRP) ทำเป็นแผ่นเรียบหรือเป็นร่อง มีน้ำหนักเบา, clear PVC และ Polymethyl Methacrylate (acrylic) พลาสติกเหล่านี้สามารถใช้ในความยาวคลื่นแสง 450-750 นาโนเมตร สามารถรับแรงกระแทกได้แต่เปราะ, ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อใช้ไปนานๆ และทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี นอกจากนี้ยังมีวัสดุที่เรียกว่า Polycarbonate ที่มีลักษณะคล้าย Acrylic ในแง่ของการเก็บความร้อนและยอมให้แสงผ่านทนแรงอัดได้ดีกว่ากระจก 200 เท่า และมีน้ำหนักเพียง 1/6 เท่าของกระจก

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในโรงเรือน

2.2.1 อุณหภูมิ(Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช สิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลกประกอบขึ้นด้วยอะตอม อัตราการเคลื่อนไหวของอะตอมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ นอกจากนี้ อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์และทางเคมีในพืช ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะควบคุมปฏิกิริยาทางชีวภาพในพืช อุณหภูมิสำหรับการเจริญเติบโตของพืชแบ่งออกได้ดังนี้คือ

- อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum temperature) ถ้าหากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดนี้ พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ถึงแม้จะมีแสงและความชื้นอย่างเพียงพอ
- อุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum temperature) อุณหภูมิที่พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว
- อุณหภูมิสูงสุด (Maximum temperature) ถ้าหากอุณหภูมิสูงกว่าจุดนี้ พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ ถึงแม้จะมีแสงและความชื้นอย่างเพียงพอ

2.2.2 แสงและการเจริญของพืช (Light)

แสงมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อพืช เนื่องจากแสงเป็นแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นอาหารเบื้องต้น ตลอดจนกระบวนการต่างๆ ของพืช ในกรณีที่ไม่มีแสง พืชจะใช้อาหารสำรองในต้นจนกระทั่งหมดไป ต่อจากนั้นพืชจะตาย พืชที่เจริญในที่มืดจะมีอาการผิดปกติ ใบสีขาว ลำต้นขนาดเล็ก ยึดตัว บิดงอ ใบไม่เปิดเต็มที่ รากไม่สมบูรณ์ เนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม ชื่อยาว ซึ่งเรียกอาการนี้ว่า Ethiolation

2.2.3 ความเข้มของแสง (Light intensity)

ความต้องการความเข้มของแสงในพืชแต่ละชนิดจะต่างกัน ปกติในสภาพความเข้มของแสงต่ำ จะทำให้เซลล์พืชขยายตัวได้มากและรวดเร็ว มีการแบ่งตัวมาก แต่เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงน้อย มีการแก่ตัวช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชในสภาพที่มีความเข้มของแสงต่ำมากๆ ลำต้นจะยาว ใบขาวซีด ไม่มีเมล็ดสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ ความเข้มของแสงต่ำกว่า 0.4 แรงเทียน จะจำกัดการสังเคราะห์แสง อัตราการสังเคราะห์แสงจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง โดยอัตราการสังเคราะห์จะสูงขึ้นตามความเข้มของแสง จนกระทั่งถึงระดับสูงสุดที่เรียกว่า Light saturated

2.2.4 คุณภาพของแสง (Light quality)

คุณภาพของแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแสง โดยแสงใน Spectrum มีเจ็ดสีสีแดงเป็นคลื่นแสงที่ยาวที่สุด สีม่วงสั้นที่สุด แสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีผลต่อการยึดตัวของลำต้นน้อย ส่วนแสงที่มีคลื่นสั้นจะมีอิทธิพลต่อการยึดของลำต้นมาก แสงที่มีประโยชน์ต่อการขยายตัวของใบจะให้ผลตรงข้ามกับการยึดตัวของลำต้น การปลูกพืชในที่ๆ มีแสงอัลตราไวโอเลต (สีม่วง) มากพืชจะตายและถ้าหากได้รับแสงอินฟราเรด (สีแดง) ที่มีความเข้มสูงพืชจะเป็นอันตรายได้ อัตราการเจริญของพืชภายใต้แสงสีเขียวจะต่ำกว่าการปลูกพืชภายใต้แสงสีน้ำเงิน-ม่วง หรือ ส้ม-แดง

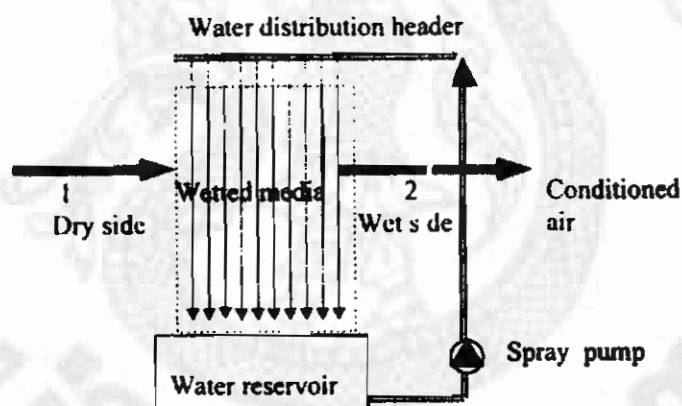
2.2.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงหรือต่ำเกินไป โรคจะเข้าทำลายได้ง่าย ดังนั้นในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำควรให้น้ำ ระยะที่พืชเจริญเติบโตและระยะติดตามผล จะต้องการความชื้น

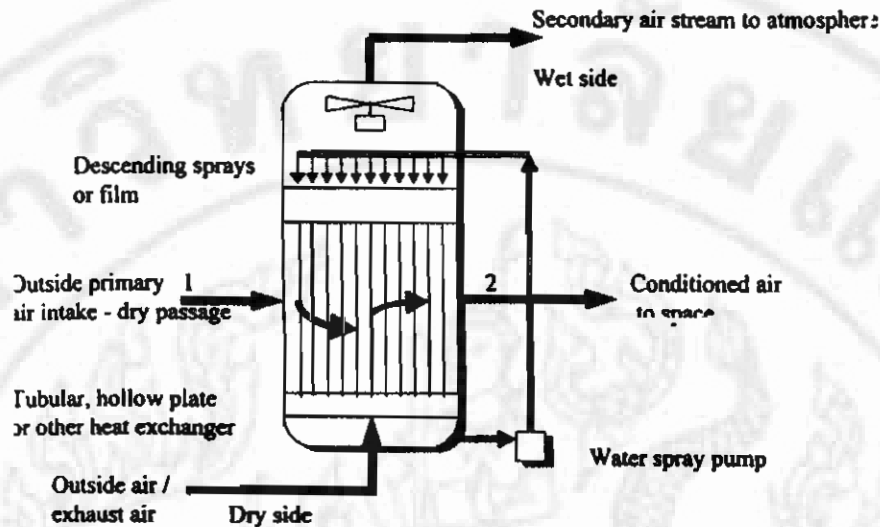
สัมพัทธ์ช่วงกลางวันสูง ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชผักอยู่ระหว่าง 60-70 %RH

2.3 การทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำ(Evaporative Cooling)

การทำความเย็นของ Evaporative cooling อาศัยหลักการดึงความร้อนจากอากาศไประเหยน้ำทำให้อากาศเย็นลง โดยปกติแล้วจะใช้วัสดุผิวเปียก (Wetted media) ช่วยในการเพิ่มพื้นที่สัมผัสของน้ำกับอากาศ ทำให้การระเหยของน้ำเร็วขึ้น โดยทั่วไประบบ Evaporative cooling จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ direct evaporative cooling และ Indirect evaporative cooling ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ระบบทำความเย็นแบบ direct evaporative cooling

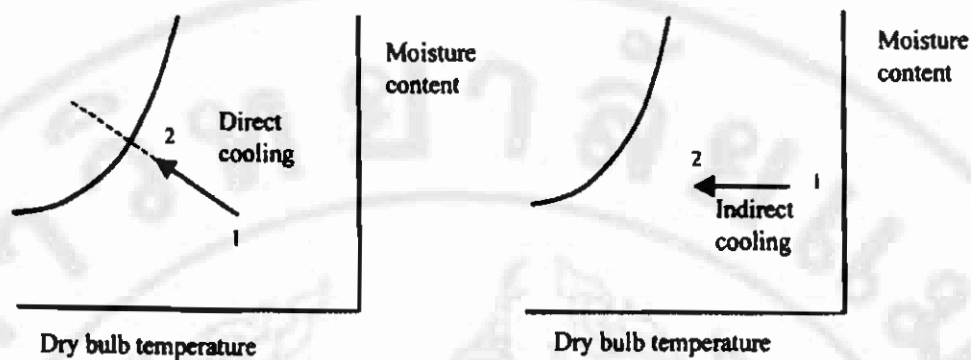


รูปที่ 2.2 ระบบทำความเย็นแบบ indirect evaporative cooling

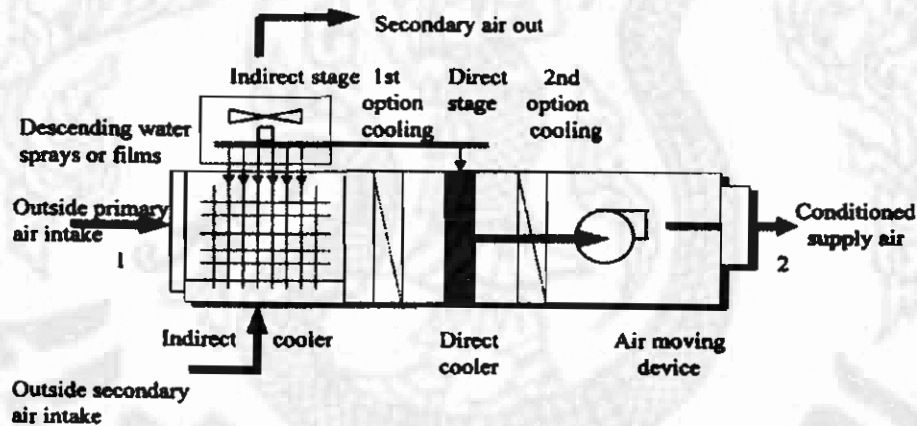
การทำงานของระบบ Direct evaporating เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่าน Wetted media จากด้านที่ 1 (Dry side) ไปด้านที่ 2 (Wetted side) ทำให้น้ำที่ผิวของ Wetted media ระเหยกลายเป็นไอ โดยการดึงความร้อนจากอากาศ (Latent heat) ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ดังนั้นจึงทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง แต่ในขณะเดียวกันอากาศก็จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น

การทำงานของระบบ Indirect evaporating เมื่อ Primary air เคลื่อนที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งภายในมีระบบพ่นฝอยน้ำและ Secondary air ไหลผ่าน น้ำภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะระเหยและ Secondary air จะเย็นลงแล้วจะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับ Primary air (Sensible heat) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้ Primary air เย็นลง ซึ่งข้อดีของระบบ indirect evaporative cooling ก็คือสามารถลดอุณหภูมิอากาศโดยที่ไม่เป็นการเพิ่มความชื้น

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งสองระบบแล้ว ระบบ Direct evaporative cooling จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ Indirect evaporative cooling แต่จะได้อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าแบบ direct evaporative cooling ดังนั้นจึงมีการนำเอาข้อดีของทั้งสองระบบมารวมกันได้เป็นระบบการทำความเย็นแบบผสม Indirect/direct evaporative cooling ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยการใช้ indirect evaporative cooling มา Pre-cool อากาศก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ direct evaporative cooling



รูปที่ 2.3 การทำความเย็นแบบ Direct / indirect Evaporative cooling บนแผนภูมิอากาศชื้น



รูปที่ 2.4 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/direct evaporative cooling

ระบบทำความเย็นแบบ Direct evaporative cooling สมรรถนะหรือประสิทธิภาพของระบบสามารถดูได้ดังแผนภูมิอากาศชื้น โดยลากเส้นในแผนภูมิอากาศชื้นจากจุดอากาศเข้า (อากาศภายนอก) ลากไปตามเส้นเอนทัลปีคงที่ (Adiabatic) หรือตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ไปจนถึงจุดความชื้นสัมพัทธ์ 100 % จะหาประสิทธิภาพได้ 100 % แต่ในการใช้งานจริงอากาศที่ผ่าน Wetted media ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ใช่ 100 % ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบ direct evaporative cooling คำนวณได้จาก

$$\text{Eff} = \left[\frac{T_{db1} - T_{db2}}{T_{db1} - T_{wb1}} \right] \times 100$$

(2.1)

เมื่อ T_{db1} และ T_{db2} คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนและหลังผ่าน
Wetted media ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{wb1} คืออุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 2.1 แสดงสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling ที่ประเทศต่างๆ โดยคิดที่ประสิทธิภาพ (Effectiveness) 65% และ 85% สำหรับระบบ indirect Evaporative cooling และ Direct Evaporative cooling ตามลำดับ (Foster, 1996) จากตารางพบว่า ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบนี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศที่ป้อนมีค่าต่ำ จะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าที่มีค่าผลต่างสูง และที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำก็ให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงเช่นกัน

ตารางที่ 2.1 สมรรถนะของการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling ตามสถานที่ต่างๆ ในโลก

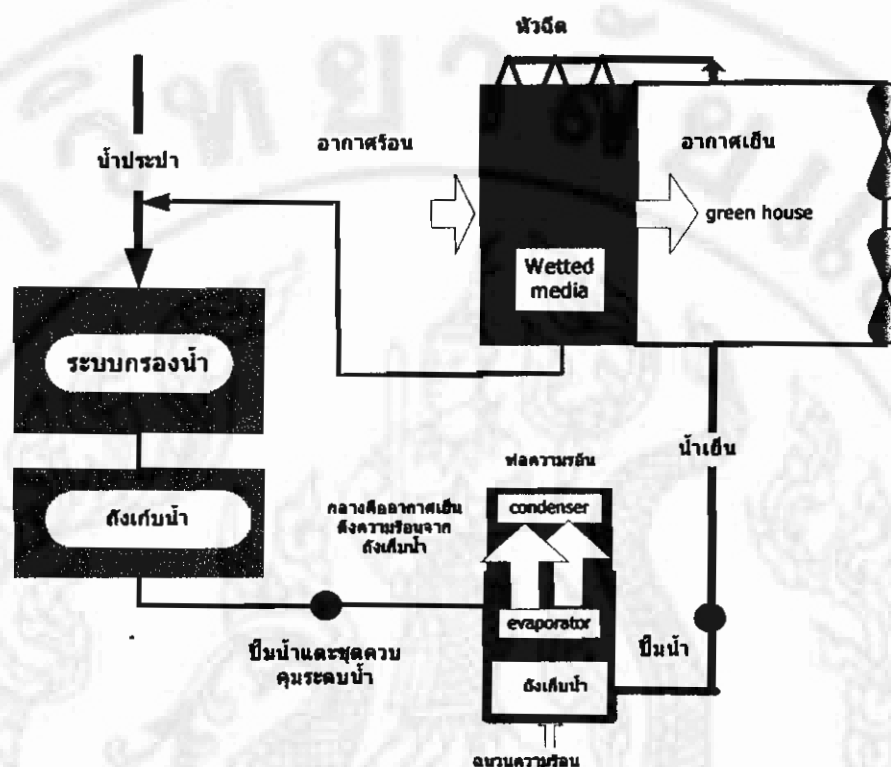
Locations	1 % Design DB/WB Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Direct Supply Air DB Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Indirect/Direct Supply Air DB Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
Asia/Pacific			
Alice Springs, Australia	39.4 / 20.0	22.9	17.6
Christchurch, New Zealand	27.8 / 17.8	19.3	16.4
Middle East			
Riyadh, Saudi Arabia	43.9 / 20.0	23.6	17.1
Jerusalem, Israel	33.3 / 17.2	19.6	15.0
Africa			
Cairo, Egypt	38.9 / 23.3	25.6	22.1
Casablanca, Morocco	34.4 / 21.1	23.1	19.0
Europe			
Madrid, Spain	35.6 / 20.0	22.3	18.2

South/Central America			
Santiago, Chile	32.3 / 19.4	21.4	17.9
Caracas, Venezuela	28.9 / 20.6	21.8	19.7
North America			
Las Vegas, Nevada, USA	42.2 / 18.9	22.4	16.1
Mexico City, Mexico	28.9 / 15.6	17.6	13.9

ที่มา: Foster (1996)

2.4 กรอบแนวความคิดของพัฒนาระบบโรงเรือน Greenhouse แบบประหยัดพลังงาน

รูปที่ 2.5 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบโรงเพาะเลี้ยงและโรงเรือน Greenhouse แบบประสิทธิภาพสูง การทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อติดตั้งท่อความร้อนกับถังเก็บน้ำ ในเวลากลางคืนที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำภายในถังเก็บท่อความร้อนจะทำงานโดยอัตโนมัติ โดยการดึงความร้อนไประบายทิ้งที่ condenser ทำให้น้ำภายในถังเย็นลง โดยถังน้ำจำเป็นต้องหมุนวนกันความร้อนอย่างดี ในเวลากลางวันเมื่ออากาศแวดล้อมอุณหภูมิสูงกว่าน้ำเย็นภายในถังเก็บ ระบบท่อความร้อนจะไม่ทำงาน หลังจากนั้นปั๊มน้ำเย็นไปจ่ายให้กับ Wetted media ของระบบ Evaporative cooling ซึ่งติดตั้งภายในโรงเรือน Greenhouse แทนระบบเดิมที่ใช้น้ำปกติ ซึ่งจะทำให้โรงเรือน Greenhouse อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งเป็นที่ต้องการของการปลูกพืชในโรงเรือนของเกษตรกร และยังทำให้ลดอัตราการไหลอากาศผ่าน Wetted media ทำให้การใช้กำลังของพัดลมลดลงหรือจำนวนพัดลมลดลงนั่นเอง



รูปที่ 2.5 การทำงานของโรงเรือน Greenhouse แบบประหยัดพลังงาน
โดยใช้ระบบ Chilled Water Night cooling

2.5 การระบายอากาศ [ventilation]

การระบายอากาศนั้นนอกจากจะเป็นการระบายความร้อนออกไปจากโรงเรือนแล้ว ยังเป็นการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่เพื่อรองรับกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนั้นยังช่วยลดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งจะเป็นการช่วยควบคุมโรคระบาดที่อาจเกิดขึ้นจากความชื้นที่สูงโดยการระบายอากาศแบ่งออกเป็น

2.5.1 การเคลื่อนที่ของอากาศตามธรรมชาติ [natural air movement]

โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของลมประจำถิ่นไหลผ่านด้านบนของหลังคาเรือนทำให้เกิดสูญญากาศทำให้อากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นถูกดูดไหลออกไปจากโรงเรือนโดยเกิดจากปัจจัยดังนี้

➤ การระบายอากาศแบบธรรมชาติที่เกิดจากแรงลม (Wind Force)

การเคลื่อนที่ของลมจากธรรมชาติที่พัดผ่านอาคารสามารถช่วยลดอุณหภูมิในอาคารได้ เมื่อมีความเร็วลมค่าหนึ่งพัดเข้าสู่อาคาร ก็จะสามารถพาความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ เมื่อลมมีความเร็วมากเท่าไรก็จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศในบริเวณนั้นได้เร็ว การระบายอากาศแบบธรรมชาติที่เกิดจากแรงลอยตัวของอากาศ (Buoyancy Force)

การสะสมความร้อนเนื่องจากอิทธิพลของรังสีอาทิตย์ภายในอาคารส่งผลให้อากาศภายในมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่ได้รับจะทำให้อากาศขยายตัวบางลงและลอยตัวสูงขึ้นเหนืออากาศที่มีความแน่นหนามากกว่า สุดท้ายอากาศก็จะลอยออกนอกตัวอาคารโดยถูกดูดขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัว

2.5.2 การเปิดปิดช่องบานพับระบายอากาศ [ventilating sash operation]

โดยอาศัยหลักการออกแบบโรงเรือนให้มีการเปิดปิดช่องบานพับระบายอากาศเพื่อให้ลมภายนอกไหลผ่านโรงเรือนระบายเอาอากาศร้อนจากภายในออกไป

2.5.3 พัดลมระบายอากาศ [fan ventilation]

การติดตั้งพัดลมดูดอากาศตามผนังหรือหลังคาของสิ่งก่อสร้างและทำช่องระบายอากาศไว้ด้านตรงข้าม อากาศจะไหลเข้าแล้วพัดลมจะดูดออก ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศได้ดีต้องออกแบบให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำต่อเนื่องกันไป สำหรับช่องระบายอากาศในโรงเรือนควรมีช่องคิดเป็นเนื้อที่ 1/6 ของพื้นที่ของโรงเรือน

การระบายอากาศร้อนออกโดยใช้พัดลมไฟฟ้าหากมีการใช้พัดลมเพียงอย่างเดียว มักจะมีการคลุมพลาสติกทั้งโรงเรือนเพื่อให้แน่ใจได้ว่าอากาศได้ไหลเข้าไปแทนที่อากาศร้อนที่ระบายออกมา แต่ถ้าหากเป็นโรงเรือนแบบระบบเปิดมักจะติดตั้งพัดลมไว้ภายในหรือบริเวณด้านข้างโดยรอบของโรงเรือนเพื่อพัดเอาอากาศร้อนจากภายในออกสู่ภายนอกซึ่งในการทดลองนี้ ได้เลือกใช้วิธีระบายอากาศโดยใช้พัดลม

พัดลมมีหน้าที่หลักในการระบายอากาศและดูดความชื้นในโรงเรือน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือพัดลมแบบไหลตามแนวแกน [Axial Flow Fan] พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง [Centrifugal Flow Fan]

ถ้านักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

- 27 -

โดยแบบแรกมีลักษณะการไหลของอากาศที่ขนานกับแกนของใบพัดและตั้งฉากกับระบบการหมุนของใบพัด พัดลมแบบนี้มีราคาถูกและไม่มีโอกาสที่พัดลมจะทำงานเกินกำลัง แต่เสียงจะดังมากกว่าแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางรวมถึงมีช่วงการทำงานที่ไม่แน่นอนส่วนพัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะให้ได้ดีทั้งงานที่มีความต้านทานลมสูง ลักษณะการไหลของลมจะเป็นการไหลเข้าขนานกับใบพัดและออกในแนวตั้งฉาก ซึ่งแบ่งการสร้างเป็น 3 แบบ ดังนี้

➤ แบบใบพัดรัศมีตรง [straigh blade, radial fans] มีเพลที่มีขนาดใหญ่ จำนวนใบพัดมีประมาณ 5-12 ที่ ลักษณะการสร้างเป็นแบบใบล้อหมุนด้วยความเร็วต่ำ ปกติใช้เป็นพัดลมระบายอากาศเสียออกไปสู่ภายนอก เหมาะกับงานขนถ่ายวัสดุด้วยลมหรืองานสกปรก

➤ แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า [forword curved blade fans] การทำงานของพัดลมแบบนี้จะมีเสียงเบาเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมแบบอื่นๆ แต่ก็มีข้อเสียคือ มอเตอร์มีโอกาสทำงานเกินกำลังได้และมีช่วงการทำงานที่ไม่แน่นอน ใบพัดจะละเอียดมากมีจำนวน 20-64 ที่ เพลาใบพัดมีขนาดเล็ก หมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงกว่าพัดลมแบบรัศมีตรง ความเร็วลมเคลื่อนที่เร็วกว่าพัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง เมื่อร้อยละของปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่ากำลังงานที่ให้กับแกนพัดลมจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุที่มอเตอร์อาจทำงานเกินกำลังได้ การใช้พัดลมชนิดนี้จึงไม่เหมาะต่อระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลอยู่ตลอดเวลา

➤ แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง [backward curved blade fans] พัดลมแบบนี้จะมีราคาสูงแต่ได้เปรียบกว่าพัดลมประเภทอื่น เช่น การทำงานไม่เกิดเสียงดัง มอเตอร์ไม่ทำงานเกินกำลัง มีช่วงการทำงานที่แน่นอน ส่วนใบพัดไม่ได้ละเอียดเท่ากับแบบใบโค้งไปข้างหน้า โดยจะมีจำนวนใบพัด 10-50 ที่ มุมที่โค้งไปด้านหลังมีประโยชน์ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้เป็นความดันโดยตรงให้ได้มากที่สุด เหมาะกับระบบระบายอากาศเพราะสามารถควบคุมความดันและปริมาณลมได้ง่าย

2.6 การควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศหรือความเร็วลมภายในโรงเรือน

2.6.1 ความเร็วลมหน้าแผ่นระเหยน้ำ

ความเร็วลมหน้าแผ่นระเหยน้ำ จะมีส่วนสัมพันธ์กับการอิมตัวในการดูดซับน้ำไว้ของแผ่นระเหยน้ำ ยิ่งความเร็วลมมีมาก การอิมตัวในการดูดซับน้ำไว้ยิ่งน้อยลง ดังนั้น การเลือกชนิดของแผ่นระเหยน้ำ เราต้องพิจารณาถึงอัตราความเร็วลมที่ต้องการ การอิมตัวในการดูดซับน้ำไว้และความหนาของแผ่นระเหยน้ำ ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานี้เนื่องจากมุมของกระดาศที่ทำมุมต่างกัน

$$V_{\text{evap}} = \frac{\dot{m}_{\text{out}}}{A_p} \quad (2.2)$$

โดย V_{evap} = ความเร็วลมผ่านระเหยน้ำ (m/s)

$\dot{m}_{\text{out}}$ = ปริมาตรอากาศที่ดูดออกจากโรงเรือน (m^3/s)

A_p = พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน (m^2)

2.6.2 วิธีการวัดความชื้น

ในการวัดความชื้นในอากาศที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดบรรจของเหลว ในหลอดแก้วจำนวนสองอันกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์อันหนึ่งหุ้มไว้ด้วยผ้าสำลีชุ่มน้ำ กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่งเปลือย ในการวัดความชื้นต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์ทั้ง 2 อัน แขนงไว้ในจุดที่มีอากาศถ่ายเทนำอุณหภูมิทั้งสองไปหาความชื้นของอากาศได้จากไโครเมตริกชาร์ท

2.6.3 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก(Dry and bulb temperature, DB and WB)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature, DB) หมายถึง อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งในการวัดจะต้องใช้กระเปาะอยู่ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสี

อุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet bulb temperature, WB) หมายถึง อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าที่ชื้น โดยมีกระแสลมที่มีความเร็วระหว่าง 5 และ 10 เมตรต่อวินาที พัดผ่านกระเปาะ

2.6.4 อัตราการไหลของอากาศ

อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer) ชนิดใบหมุนและชนิดใบเบนเหมาะสำหรับใช้วัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านหัวจ่ายลมเพดานหรือตะแกรงจ่ายลม ประกอบด้วยใบพัดหนึ่งใบ เมื่ออากาศไหลผ่านใบพัดจะหมุนและเริ่มที่หน้าปัดจะขึ้นอกระยะทางที่อากาศไหลในหน่วยฟุต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer) ร่วมกับนาฬิกาจับเวลา เพื่อวัดเวลาและคำนวณความเร็วอากาศในหน่วย fpm.

$$Q = A_k V_k \quad (2.3)$$

โดย Q = อัตราไหลโดยปริมาตร, cfm
 A_k = พื้นที่ประสิทธิผลของช่องทางไหลของอากาศ, ft²
 V_k = ความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ไหลผ่านช่องทางไหล, fpm

2.7 เอนทัลปี ของอากาศ (Enthalpy of air)

อากาศมีความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat) ความร้อนทั้งหมดของอากาศที่สภาวะใดๆ เป็นผลรวมของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจากที่ได้กล่าวมานี้จะแสดงในหัวข้อต่อไป

2.7.1 ความร้อนแฝงของอากาศ (Latent heat of air, H_L)

ความร้อนแฝงของอากาศคือ ความร้อนแฝงของไอน้ำในอากาศ เพราะว่าจำนวนความร้อนแฝงที่กำหนดปริมาณของอากาศจะขึ้นอยู่กับมวลของไอน้ำในอากาศ และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำจะตรงกับอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ

อุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ (DP) อุณหภูมิ DP ไม่ได้คำนวณจากมวลของไอน้ำในอากาศ แต่คิดจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ดังนั้น ความร้อนแฝงอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ DP ของอากาศที่คงที่ ความร้อนแฝงของอากาศก็คงที่ด้วย เพราะว่ามีข้อยุ่งยากในการหาค่าต่าง ๆ เหล่านี้ ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงสมมุติว่า ความร้อนสัมผัสของอากาศ คือ เอนทัลปีของอากาศแห้ง ความร้อนแฝงของอากาศคือ เอนทัลปีของไอน้ำ ผลรวมของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของอากาศคือ จำนวนความร้อนทั้งหมดหรือเอนทัลปีของอากาศ

ความร้อนแฝงของอากาศที่กำหนดให้สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$H_L = (m)(w \cdot h_w) \quad (2.4)$$

เมื่อ H_L = ความร้อนแฝงของอากาศ (KJ) ที่มีอัตราส่วนความชื้น w
 m = มวลของอากาศ (kg)
 w = อัตราส่วนความชื้น (kg/kg ของอากาศแห้ง)
 h_w = เอนทัลปีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปกติใช้ค่า h ของไอน้ำ (KJ/kg)

สำหรับอากาศ 1 kg สมการจะเป็น

$$H_L = (w)(h_w)$$

h_w = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปกติใช้ค่า h_w ของไอน้ำ

$$H_L = \text{ความร้อนแฝงของอากาศ (KJ/kg)}$$

2.7.2 ความร้อนของอากาศ (Total heat of air, h_t)

ความร้อน (เอนทาลปี) ของอากาศ คือ ผลรวมของความร้อนสัมผัสของอากาศ (เอนทาลปีของอากาศแห้ง) และความร้อนแฝงของอากาศ (เอนทาลปีของไอน้ำ) ดังนั้นสำหรับอากาศ 1 kg

$$h_t = h_s + h_L \quad (2.5)$$

เมื่อ h_t = เอนทาลปีของอากาศ (ชื้น) (KJ/kg)

h_L = เอนทาลปีของไอน้ำ (KJ/kg)

h_s = เอนทาลปีจำเพาะของอากาศแห้ง (KJ/kg)

สำหรับอากาศ m / kg

$$H_t = (m)(h)$$

h_t = เอนทาลปีของอากาศจำนวน m/kg

การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด(Q_t) ที่อากาศได้รับหรือคายออก เมื่ออากาศได้รับความร้อนหรือความเย็นตามลำดับ อาจจะคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$Q_t = m(h_{t2} - h_{t1}) \quad (2.6)$$

หมายเลข 1 และ 2 ที่น้อยอยู่แสดงถึงสภาวะแรก และสภาวะสุดท้ายตามลำดับ เมื่อเอนทาลปีที่สภาวะ 1 มากกว่าสภาวะ 2 ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเป็นลบแสดงว่า ความร้อนถ่ายเทจากอากาศมากกว่า ในทางปฏิบัติโดยปกติจะไม่นำมาคิด

2.7.3 ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของน้ำเย็น (Reduced Temperature Ratio)

อุณหภูมิแวดล้อมบริเวณรอบถังเก็บน้ำจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดความเย็นของเทอร์โมไซฟอน ซึ่งตัวชี้วัดที่ใช้แสดงศักยภาพของการลดอุณหภูมิของน้ำในเทอร์โมไซฟอน ซึ่งพัฒนาโดย ณัฐวุฒิ (2544) ตามสมการที่ 2.7

$$\varepsilon = \frac{T_{b2} - T_{b1}}{T_{b2} - T_a} \quad (2.7)$$

โดยที่	T_{b2}	คือ อุณหภูมิน้ำที่ไม่ใช้เทอร์โมไซฟอน, °C
	T_{b1}	คือ อุณหภูมิน้ำที่ใช้เทอร์โมไซฟอน, °C
	T_a	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C

2.8 สมดุลความร้อนในโรงเรือน(Energy Balance)

ความร้อนที่หมุนเวียนในโรงเรือนจะประกอบไปด้วย ความร้อนแฝง และความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝงจะอยู่ในรูปของไอน้ำ โดยจะไม่ทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้น แต่จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ความร้อนสัมผัสได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่เกิดจากภายในและภายนอกโรงเรือน เป็นสาเหตุให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้น

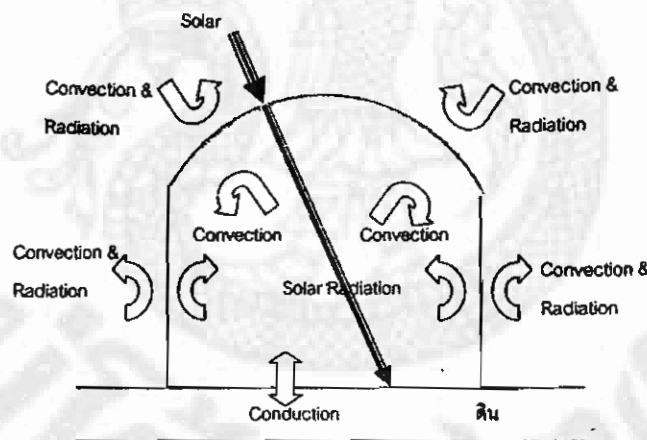
ความร้อนสัมผัสที่โรงเรือนได้รับ แบ่งออกเป็น

- ความร้อนผ่านส่วนต่างๆของโรงเรือน ได้แก่ ผนัง และหลังคา
- ความร้อนจากภายนอกที่เข้าสู่ภายในโรงเรือน
- ความร้อนที่ถ่ายจากพื้นดิน
- ความร้อนจากต้นไม้ในโรงเรือน
- ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์
- ความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นในโรงเรือน แบ่งออกเป็น
 - ความร้อนแฝงของไอน้ำจากอากาศภายนอกเข้าสู่โรงเรือน
 - ความร้อนแฝงจากการหายใจของต้นไม้ภายในโรงเรือน
 - ความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำที่ผิวดิน

ในกรณีที่โรงเรือนมีวัสดุปลูกเป็นฟิล์มพลาสติกใส ความร้อนส่วนใหญ่ที่โรงเรือนได้รับจะเกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านและถูกดูดกลืนไว้โดยพื้นโรงเรือน ส่วนความร้อนที่เหลือจะถูกดูดกลืนไว้ โดยวัสดุซึ่งเป็นส่วนประกอบของโรงเรือน

สมมติฐานในการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรียน

- คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
- คุณสมบัติทางความร้อนของอากาศ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
- ไม่มีฝุ่นและคราบสกปรกบนผนัง และหลังคา
- อุณหภูมิภายในโรงเรียนสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด
- อุณหภูมิผนังด้านนอก และด้านในมีค่าเท่ากัน
- ผนังมีความบางมากไม่มีการนำความร้อนในผนัง
- อุณหภูมิพื้นโรงเรียนเท่ากับอุณหภูมิภายในโรงเรียน
- ไม่มีการแผ่รังสีความร้อนระหว่าง ผนัง หลังคา และพื้นดิน ภายในโรงเรียน
- การรั่วของอากาศเข้าโรงเรียนน้อยมากเมื่อเทียบกับการระบายอากาศ



รูปที่ 2.6 สมดุลพลังงานความร้อนในโรงเรียน

สามารถเขียนเป็นสมการพลังงานได้ดังสมการที่ 2.8

$$Q_{room} = \rho_a V_a C_{pa} \frac{dT_a}{dt} \quad (2.8)$$
$$= \Sigma Q_{wall} + \Sigma Q_{roof} - Q_{ventilation} - Q_{ground} + Q_{solar} + Q_{rg}$$

เมื่อ

Q_{room} = อัตราความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโรงเรือน (kW)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

C_{pa} = ความจุความร้อนของอากาศภายในโรงเรือน (kJ/kg.K)

V_a = ปริมาตรภายในโรงเรือน (m³)

T_a = อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือน (K)

t = เวลา (วินาที)

Q_{wall} = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้าสู่โรงเรือน (kW)

Q_{roof} = อัตราความร้อนที่ส่องผ่านหลังคาพลาสติก (kW)

Q_{ground} = อัตราความร้อนสูญเสียสู่ผิวดิน (kW)

Q_{solar} = อัตราความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ (kW)

Q_{rg} = การแผ่รังสี

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 โรงเรือน (Green house)

โรงเรือนที่ใช้ในการทดสอบและเก็บข้อมูล ประกอบไปด้วย 2 โรงเรือน ได้แก่ โรงเรือนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร โรงเรือนกล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ สำหรับโรงเรือนของศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้นั้นทางคณะผู้วิจัยได้สร้างขึ้นและได้เพิ่มระบบที่มีการหมุนเวียนอากาศไหลวนกลับมาใช้ได้หลังคาโรงเรือน



โรงเรือนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร



โรงเรือนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ



โรงเรือนศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รูปที่ 3.1 โรงเรือนที่ใช้เก็บข้อมูลประเมินสมรรถนะ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของโรงเรือนเพาะปลูกพืชที่ทดสอบ

โรงเรือน	สำนักวิจัยฯ	ศูนย์กล้วยไม้ฯ	ศูนย์วิจัยพลังงาน
ขนาด	19 x 35 m	6 x 21 m	4 x 12 m
พัดลม	6 ตัว, ไฟฟ้า 1.1 kW/ตัว φ 48 นิ้ว	1 ตัว ไฟฟ้า 1.1 kW/ตัว φ 48 นิ้ว	1 ตัว ไฟฟ้า 1.1 kW/ตัว φ 50 นิ้ว
ปั๊มน้ำ	1 ตัว, 1.1 kW	1 ตัว, 1.1 kW	1 ตัว, 0.746 kW
พื้นที่ม่านเปียก	1.9x19 m ²	4.5 x 1.8 m ²	1.8 x 3.7 m ²
ชนิดม่านเปียก	เยื่อเซลลูโลส	ตาข่ายไนลอน	เยื่อเซลลูโลส

3.1.2 คุณสมบัติของโรงเรือนศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เนื่องจากโรงเรือนของศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้สร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบ โดยได้เพิ่มระบบการหมุนเวียนอากาศไหลวนกลับมาผ่านใต้หลังคา ซึ่งรายละเอียดของโรงเรือนมีดังต่อไปนี้

➤ คุณสมบัติของพลาสติกที่ใช้คลุมโรงเรือน

- ค่าการแผ่รังสี 0.9
- สัมประสิทธิ์การสะท้อนของรังสีดวงอาทิตย์ 0.1

- สัมประสิทธิ์การส่องผ่าน	0.75	
- ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	2.1	$J/kg^{\circ}K$
- ค่าความหนาแน่น	1179	kg/m^3
- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์	0.9	
- ความหนาของพลาสติก	0.15	mm

➤ คุณสมบัติของโรงเรือน

- มุมเอียงหลังคา	38	องศา
- ปริมาตรภายในโรงเรือน	105.6	m^3
- พื้นที่ผนังของโรงเรือนด้านเหนือ-ใต้	26.4	m^2

➤ คุณสมบัติของพื้นโรงเรือน

- ค่าการนำความร้อนของดิน	1.4	$W/m^{\circ}K$
- พื้นที่ผิว	48	m^2
- ความลึกของดิน	0.5	m
- อุณหภูมิเฉลี่ย	24	$^{\circ}C$



พัดลมในโรงเรือนขนาด 50 นิ้ว



ชุดเทอร์มิไฮฟอน

รูปที่ 3.2 พัดลมและชุดเทอร์มิไฮฟอนในโรงเรือนศูนย์วิจัยพลังงาน

3.1.3.1.1 เทอร์มิคัปเปิด ชนิด K ความละเอียด $0.1^{\circ}C$ ใช้วัดอุณหภูมิภายในโรงเรือนและอุณหภูมิ อากาศแวดล้อม ดังรูปที่ 3.3

3.1.4 เครื่องบันทึกอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง(Data logger) ยี่ห้อ Memmert รุ่น DO 6057 ความละเอียด $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ใช้วัดอุณหภูมิในบ่อที่ใช้ชุดเทอร์โมไครโฟนและบ่อที่ไม่ใช้ชุดเทอร์โมไครโฟนดัง รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Memmert รุ่น DO 6057 และเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

3.1.5 เครื่องวัดการใช้กระแสไฟฟ้า (DIGITAL AC CLAMP METER) ใช้วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าของปั๊มน้ำและพัดลมดูดอากาศ ดังรูป 3.4

3.1.6 เครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ Testo รุ่น 425 ความละเอียด 0.1m/s ใช้สำหรับวัดความเร็วลมบริเวณหน้าม่านเป๊ยกและพัดลมดูดอากาศ ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าและเครื่องวัดความเร็วลม

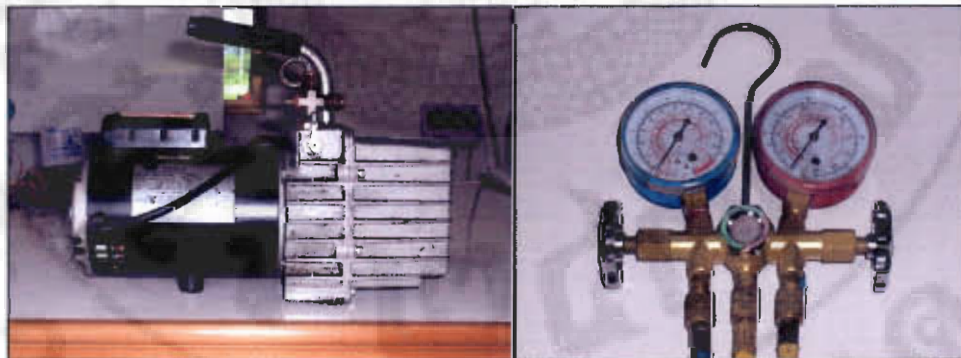
3.1.7 เครื่องอัดอากาศ เข้าไปภายในชุดเทอร์โมไครโฟนเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบการรั่วบริเวณรอยเชื่อมและข้อต่อ ดังแสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดสอบการรั่ว

3.1.8 บั๊มสุญญากาศ ใช้สำหรับดูดอากาศภายในชุดเทอร์โมไชนพอนเพื่อให้ภายในเป็นสุญญากาศเพื่อเตรียมสำหรับเติมสารทำงาน ดังแสดงในรูป 3.6

3.1.9 หัวเกจ ใช้สำหรับเติมสารทำงานและใช้อ่านแรงดันภายในถังของสารทำงาน (R22) ดังแสดงในรูป 3.6



รูปที่ 3.6 บั๊มสุญญากาศ และเกจวัดความดัน

ขนาด	0.465x0.465x0.75	m
พื้นที่รวม	1.95	m ²
ปริมาตร	0.03	m ³
ความยาว	0.75	m
<u>คอนเดนเซอร์</u>		
ขนาดผิวด้านนอก	0.5x0.5x0.25	m
ขนาดผิวด้านใน	0.465x0.465x0.25	m
พื้นที่รวม	1.00	m ²
<u>สารทำงาน</u>		
ชนิดสารทำงาน	เมทานอล	liter
ปริมาตรสาร	23	%
<u>ทำงาน</u>		
สัดส่วนการเติม	82	Evap.

รูปที่ 3.7 ชุดเทอร์โมไโครโฟน

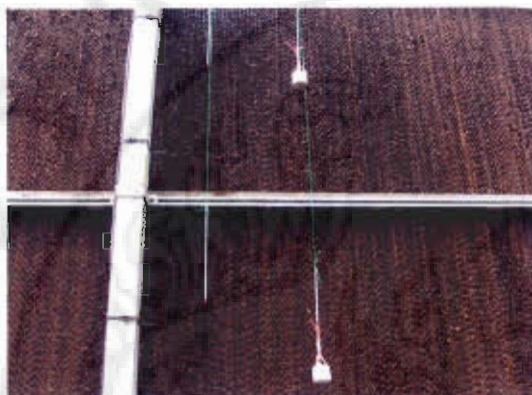
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 การศึกษาและวิเคราะห์เบื้องต้น เกี่ยวกับการใช้พลังงาน (Energy Auditing) ของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling โรงเรือน Greenhouse

ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ Evaporative cooling โดยทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

- อัตราการไหลของน้ำ และอากาศ
- อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังผ่าน Wetted media
- อุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่าน Wetted media
- ความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนและหลังผ่าน wetted media
- การกระจายของอุณหภูมิภายในโรงเรือน Greenhouse
- การกระจายความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือน Greenhouse
- การวิเคราะห์สมดุลพลังงานของโรงเรือน Greenhouse
- การวิเคราะห์สมดุลมวลของโรงเรือน Greenhouse
- การตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือน Greenhouse ที่ระบบปั๊มน้ำและพัดลมถ่ายเทอากาศ

- การวิเคราะห์สมมูลพลังงานของโรงเรือน Greenhouse
- การวิเคราะห์สมมูลมวลของโรงเรือน Greenhouse
- การตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือน Greenhouse ที่ระบบ
ปั้มน้ำและพัดลมถ่ายเทอากาศ



(หน้าวัสดุเปียก แผง Cooling pad)



(ภายในโรงเรือน)

รูปที่ 3.8 แผง Cooling pad ภายในโรงเรือน



การวัดความเร็วลมที่พัดลมดูดอากาศ



การวัดระดับน้ำของบ่อน้ำสำหรับโรงเรือน

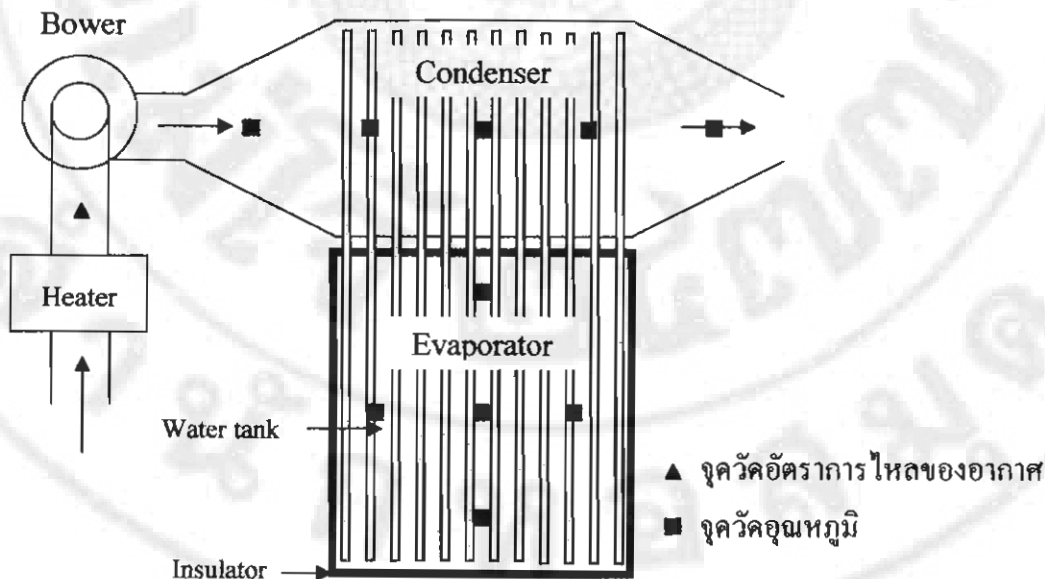
รูปที่ 3.9 การวัดความเร็วลมและระดับน้ำ

3.2.2 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับโรงเรียน

➤ การทดสอบสมรรถนะของระบบทำความร้อน

เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะทำการเพิ่มประสิทธิภาพของโรงเรียนโดยใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไคพอนในการลดอุณหภูมิของน้ำที่จะทำมาใช้ในการต้มน้ำดื่มของโรงเรียน ในเวลากลางคืน ดังนั้นจึงทำการทดสอบสมรรถนะของระบบทำความร้อนดังแสดงระบบในรูป 3.10 และตัวแปรที่จะทำการศึกษาประกอบด้วย

- ชนิดของสารทำงานที่เหมาะสม
- ลักษณะของคอนเดนเซอร์
- ลักษณะของอีวาพอเรเตอร์
- อัตราการไหลของอากาศระบายความร้อนด้านคอนเดนเซอร์
- อุณหภูมิอากาศระบายความร้อนด้านคอนเดนเซอร์
- สัดส่วนของปริมาตรถึงต่อพื้นที่ระบายความร้อนด้านอีวาพอเรเตอร์
- พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายเทความร้อนของส่วน อีวาพอเรเตอร์



รูปที่ 3.10 ระบบการทดสอบหาสมรรถนะของเทอร์โมไคพอน
สำหรับดึงความร้อนจากน้ำสู่อากาศ

จากข้อมูลที่ตรวจวัด คำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนจากสมการ 3.1 คือ

$$\dot{Q}_{cond} = (\dot{m}C_p)(T_o - T_i) \quad (3.1)$$

$$U = \frac{\dot{Q}_{cond}}{A_e(T_{w,avg} - T_{v,avg})} \quad (3.2)$$

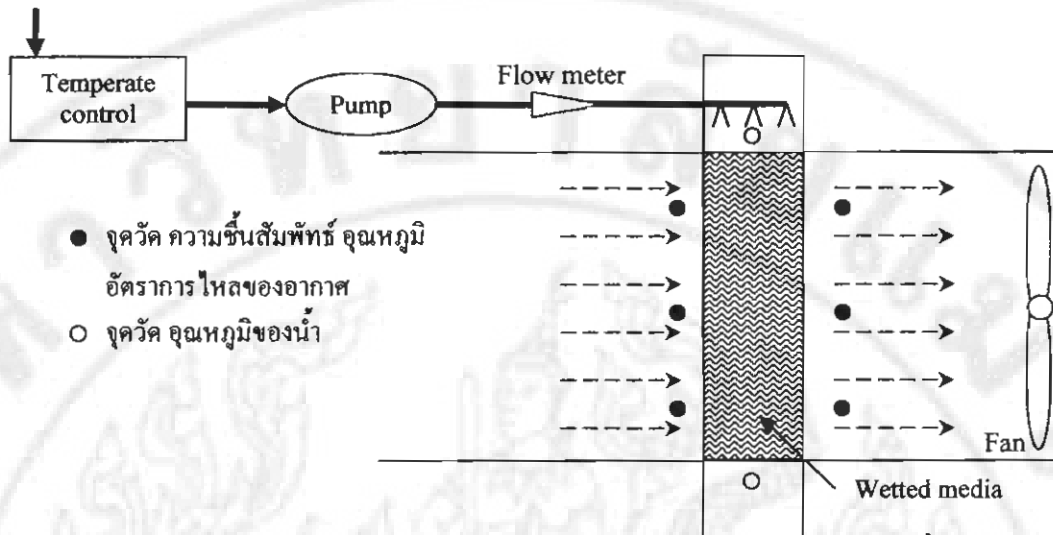
และนำค่า U ที่ได้ไปพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นภายในถังจากสมการที่ 3.3 คือ

$$T_w^{t+\Delta t} = T_w^t + \frac{\Delta t}{mc_{pw}} (-UA_e(T_w - T_v))^t \quad (3.3)$$

➤ การทดสอบสมรรถนะ Wetted media ของ Evaporative cooling เมื่อใช้ระบบน้ำเย็น

ทำการทดสอบสมรรถนะของวัสดุเปียก (Wetted media) ชนิดต่างๆ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ โดยระบบการทดสอบสมรรถนะวัสดุเปียก (Wetted media) ดังแสดงในรูป 3.11 และตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย

1. อัตราการไหลของน้ำเย็น
2. อัตราการไหลของอากาศ
3. อุณหภูมิน้ำเข้าและออกวัสดุเปียก (Wetted media)
4. อุณหภูมิอากาศเข้าและออกวัสดุเปียก (Wetted media)
5. ความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนและหลังผ่านวัสดุเปียก (Wetted media)
6. ชนิดของวัสดุเปียก (Wetted media) ที่ใช้งาน



รูป 3.11 ระบบการทดสอบหาสมรรถนะของทดสอบ Wetted media เมื่อป้อนน้ำเย็น

จากข้อมูลที่ตรวจวัด คำนวณประสิทธิภาพของการระเหยน้ำจากสมการ 3.4 ที่เงื่อนไขและชนิดของวัสดุเปียก (Wetted media) ต่างๆ กัน

$$Eff = \left[\frac{T_{db1} - T_{db2}}{T_{db1} - T_{wb1}} \right] \times 100$$

(3.4)

เมื่อ	T_{db}	คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศ, °C
	T_{wb}	คืออุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศ, °C
	1	คืออากาศแวดล้อม
	2	คืออากาศหลังผ่านม่านเปียก

3.2.3 เลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของอิทธิพลของตัวแปรต่างๆจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นและผลจากการทดสอบทำการออกแบบระบบเพื่อการใช้งานจริง

3.2.4 ติดตั้งอุปกรณ์ระบบผลิตน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไชนฟอนกับโรงเรือน Greenhouse

3.2.5 การทดสอบระบบประหยัดพลังงานทั้งระบบ ท่อความร้อนและระบบวัสดุเปียก

โดยเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบน้ำเย็นของโรงเรือน เปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อน-หลังผ่านวัสดุเปียก (Wetted Media) และวิเคราะห์สมดุลพลังงานของโรงเรือน Greenhouse หลังติดตั้งระบบน้ำเย็น

การทดสอบโรงเรือนและระบบ ทำการทดสอบในสภาวะต่างๆ กัน คือ

- การทดสอบ โดยไม่มีการนำอากาศปล่อยทิ้งกลับมาใช้ใหม่
- การทดสอบ โดยมีการนำอากาศปล่อยทิ้งกลับมาใช้ใหม่ทางด้านเพดานของโรงเรือน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

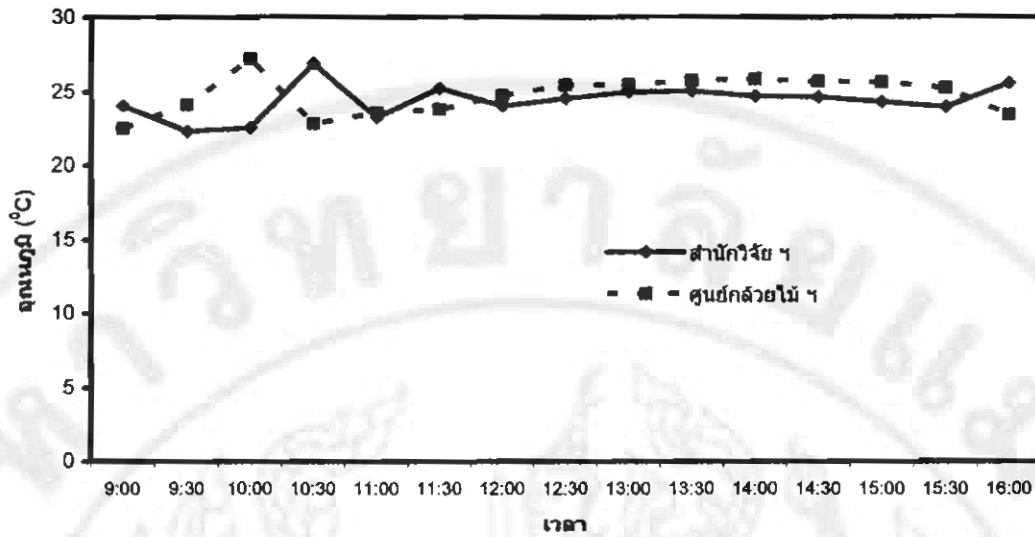
- การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร และโรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ
- การทดสอบสมรรถนะการทำความเย็นของโรงเรียนศูนย์วิจัยพลังงาน
 - กรณีที่ใช้ระบบน้ำเย็น (Cold Water System)
 - กรณีที่ใช้ระบบการหมุนเวียนอากาศ (Return Air System)
 - กรณีที่ใช้ระบบเทอร์โมไซฟอนลดอุณหภูมิน้ำ

4.1 การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร โรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ

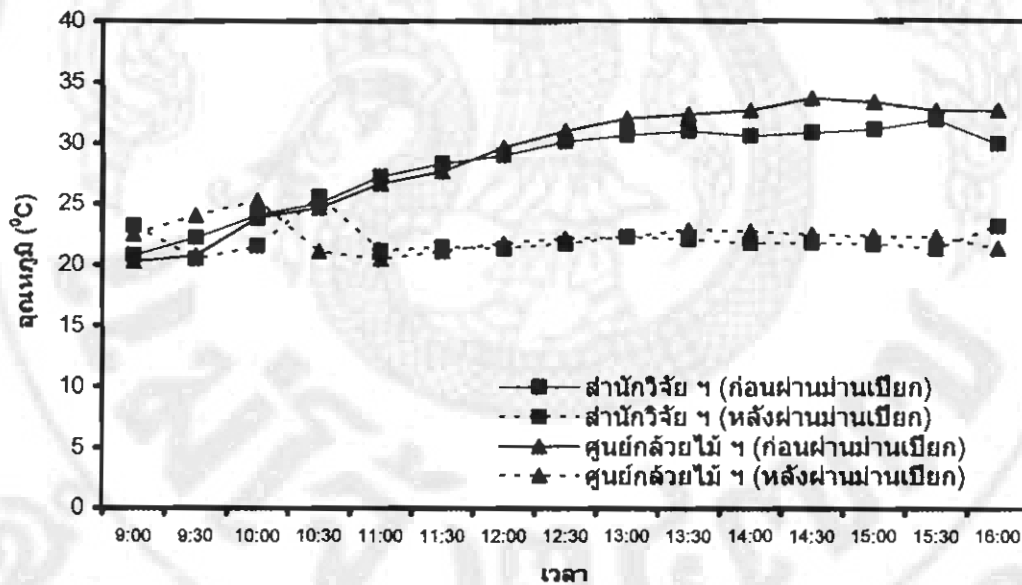
4.1.1 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรียน

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงเรียนทั้ง 6 จุด พบว่า ช่วงเวลา 09.00-12.00 น. นั้นอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยจะไม่คงที่ แต่หลังจากเวลา 12.00-16.00 น. อุณหภูมิจะคงที่โดยเฉลี่ยประมาณ 25°C จากการบันทึกข้อมูลทั้ง 3 วัน ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 – 4.2 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรียนทั้งสองแห่ง จะเห็นได้ว่าโรงเรียนของสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตรจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าโรงเรียนศูนย์กล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับ เนื่องจากใช้ม่านเปียกเป็นเยื่อเซลล์ลูโลส ซึ่งมีการระเหยของน้ำที่ดีกว่าโรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ฯ ที่มีม่านเปียกเป็นตาข่ายไนลอน

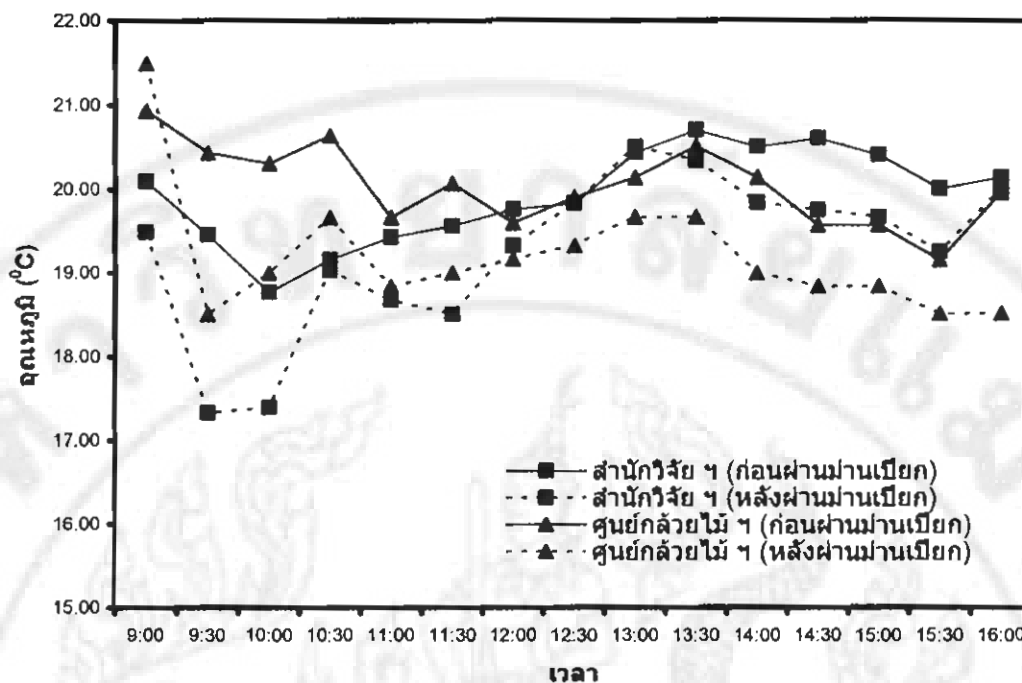
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่านม่านเปียก ตามรูปที่ 4.3 พบว่า เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านม่านเปียกที่มีการชุ่มน้ำแล้ว อุณหภูมิจะมีค่าลดลงประมาณ $8-9^{\circ}\text{C}$ โดยที่โรงเรียนของสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มีอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่านม่านเปียกเฉลี่ยเท่ากับ 28.2 และ 22.1°C ส่วนโรงเรียนของศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับจะมีอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านม่านเปียกเฉลี่ยเท่ากับ 28.9 และ 22.3°C



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยกระเปาะแห้งของอากาศภายในโรงเรือน



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยกระเปาะแห้งของอากาศก่อนและหลังผ่านม่านเปียก

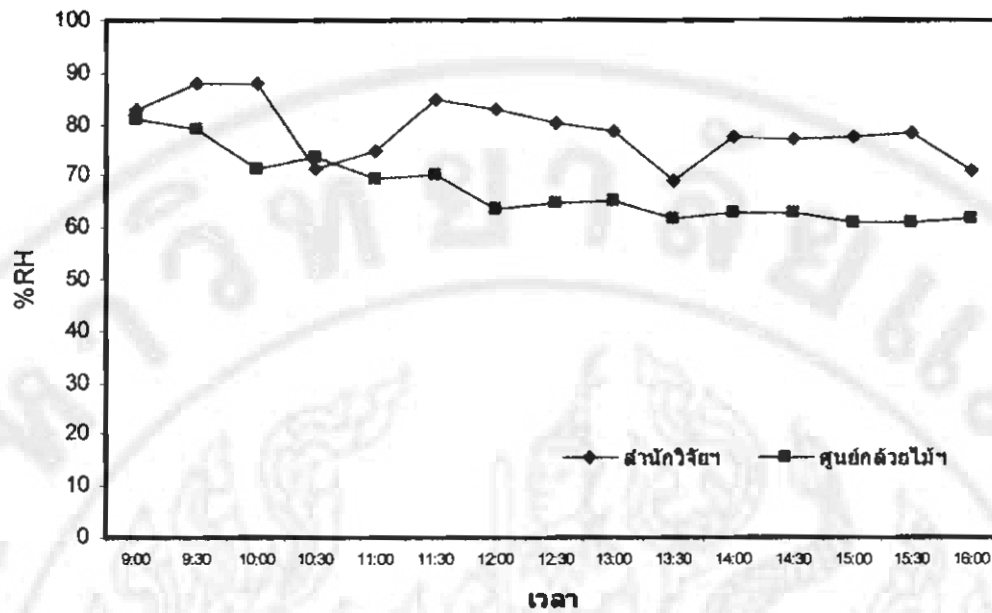


รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังผ่านม่านเปี้ยก

จากรูปที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังผ่านม่านเปี้ยก ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพของม่านเปี้ยก จากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิของน้ำเมื่อผ่านม่านเปี้ยกต่ำกว่าก่อนผ่านม่านเปี้ยกเฉลี่ย 0.75°C โดยของโรงเรือนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เฉลี่ยลดลง 0.66°C และโรงเรือนของศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ เฉลี่ยลดลง 0.84°C

4.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

เมื่ออากาศแวดล้อมผ่านม่านเปี้ยกแล้วอุณหภูมิอากาศจะลดลง ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำ และการระเหยกลายเป็นไอน้ำในอากาศโดยจะเคลื่อนที่ออกจากวัสดุเปี้ยก จากการศึกษา พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านม่านเปี้ยกจะมีค่าสูงขึ้นประมาณ 34 – 37% RH ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 78.8 และ 67.2 % RH สำหรับโรงเรือนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร และ โรงเรือนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ ตามลำดับ โดยมีค่าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านม่านเปี้ยกประมาณ 7.0 – 9.0 %RH แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรียน

4.1.3 อัตราการไหลของอากาศภายในโรงเรียน

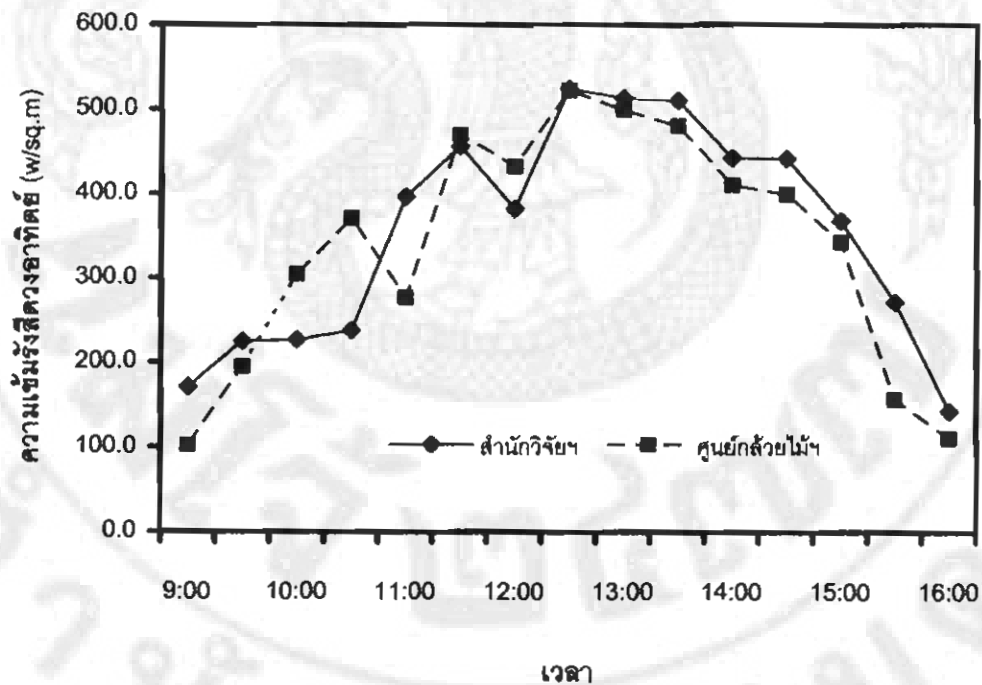
ความเร็วลมที่ผ่านพัดลมดูดอากาศออกจากโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการ การเกษตร และศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ พบว่า มีความเร็วลมเฉลี่ย 7.56, 7.05 เมตรต่อวินาที และค่าความเร็วลมผ่านม่านเปียก จะมีค่าเท่ากับ 1.25, 1.38 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากความเร็วลมที่ผ่านม่านเปียกแบบเยื่อเซลลูโลสจะมีค่าต่ำกว่าแบบตาข่ายไนลอน ประมาณ 10% ซึ่งถ้าพิจารณาทางด้านประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศแล้วม่านเปียกแบบเยื่อเซลลูโลสจะให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีกว่าแบบตาข่ายไนลอน เมื่ออัตราการไหลของน้ำเท่ากัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 สำหรับอัตราการไหลของอากาศในโรงเรียนพิจารณาที่พัดลมทำงาน 1 ตัว สำหรับม่านเปียกแบบเยื่อเซลลูโลสเท่ากับ 27,291.60 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และสำหรับตาข่ายไนลอนเท่ากับ 40,240.80 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลของอากาศภายในโรงเรียน

โรงเรียน	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)		อัตราการไหลอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง/ตัวของพัดลม)	
	ผ่านพัดลม	ผ่านม่านเปียก	ผ่านพัดลม	ผ่านม่านเปียก
สำนักวิจัย ฯ	7.56	1.25	30,754.08	27,291.60
ศูนย์กล้วยไม้ ฯ	7.05	1.38	28,679.40	40,240.80

4.1.4 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการ
การเกษตร และโรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ พบว่า มีค่าเฉลี่ย 354 และ 338 W/m^2
ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ภายในโรงเรียน

4.1.5 อัตราการระเหยน้ำ

4.1.5 อัตราการระเหยน้ำ

อัตราการระเหยน้ำพิจารณาจากการวัดปริมาณน้ำก่อนและหลังการทำงานของระบบ ม่านเปือก และคำนวณปริมาณน้ำที่หายไปจากระบบซึ่งหมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่เข้าสู่ โรงเรือน จากการศึกษ พบว่า โรงเรือนของสำนักวิจัยฯ ที่มีม่านเปือกแบบเยื่อเซลลูโลสมีอัตราการ ระเหยของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.01340 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปือก หรือเท่ากับ 13.40 ลิตร/ ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปือก และ 0.00939 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปือก หรือเท่ากับ 9.39 ลิตร/ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปือก เมื่อพัดลมทำงาน 3 และ 6 ตัว ตามลำดับ

ส่วนการระเหยน้ำของโรงเรือนศูนย์กล้วยไม้ที่มีม่านเปือกแบบตาข่ายไนลอน อัตรา การระเหยของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.02013 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปือก หรือเท่ากับ 20.13 ลิตร/ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปือก เมื่อพัดลมทำงาน 1 ตัว ทั้งนี้ที่ม่านเปือกแบบตาข่ายไนลอนมีอัตราการ ระเหยของน้ำเฉลี่ยที่สูงเนื่องมาจากการปล่อยน้ำเข้าสู่ม่านเปือก ทำโดยการปล่อยทิ้งดังทำให้ ความเร็วของน้ำที่ผ่านม่านเปือกมีความเร็วสูงเกิดการกระเด็นออกจากรม่านเปือกสู่พื้นโรงเรือน

4.1.6 ประสิทธิภาพของม่านเปือก

ประสิทธิภาพของม่านเปือกแบบเยื่อเซลลูโลส ของโรงเรือนสำนักวิจัยและส่งเสริม วิชาการการเกษตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.89 % สูงกว่าโรงเรือนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ ที่ ใช้ม่านเปือกแบบไนลอน ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 76.13% โดยพิจารณาเมื่อม่านเปือกชุ่ม ด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์

4.1.7 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

การใช้พลังงานของโรงเรือนที่ประกอบด้วย การใช้พลังงานจากการให้น้ำ พัดลม บัม น้ำ ระบบควบคุมระดับความเข้มแสงอาทิตย์ โรงเรือนของสำนักวิจัยจะมีระบบควบคุมที่ทันสมัยมี ทั้งระบบควบคุมการเปิด ปิดพัดลมที่สัมพันธ์กับระบบการจ่ายน้ำสู่ม่านเปือก และระบบควบคุม ความเข้มของแสง ที่จะทำการเปิด -ปิดม่านบังแสง โดยระบบจะถูกตั้งให้ทำงานโดยการวัด อุณหภูมิและความชื้นจากเครื่องวัดที่ติดตั้งไว้ในโรงเรือน เมื่ออากาศอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C หรือ ความชื้นต่ำกว่า 60 %RH ระบบจะเริ่มทำงาน โดยพัดลมจะทำงาน 3 ตัว และถ้าอุณหภูมิใน โรงเรือนสูงกว่า 28 °C พัดลมจะทำงาน 6 ตัว โดยก่อนพัดลมจะทำงาน บัมน้ำจะถูกตั้งให้ทำงาน ก่อนพัดลมทำงานประมาณ 5 นาที เพื่อบัมน้ำไปเลี้ยงม่านเปือกก่อน และม่าน (บังแสง) จะถูกเปิด เมื่อปริมาณความเข้มของแสงภายในโรงเรือนน้อยกว่า 200 W/m² การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย เท่ากับ 1.016 kW-h/วัน/พื้นที่ของโรงเรือน (ตารางเมตร) (พื้นที่โรงเรือนเท่ากับ 36.1 ตารางเมตร) ทั้งนี้เป็นค่าที่ได้จากการอ่านค่าจากมิเตอร์รวมของโรงเรือน โดยเมื่อพิจารณาเป็นแต่ละอุปกรณ์ พบว่า พัดลม และบัมน้ำมีการใช้ไฟฟ้ารวมกันเท่ากับ 0.55 kW-h/วัน/พื้นที่ของโรงเรือน (ตาราง

เมตร) หรือคิดเป็น 54.13% ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงเรียน ซึ่งพลังงานไฟฟ้าอีก 45.87% ถูกใช้ในระบบควบคุมความเข้มแสงภายในโรงเรียน และระบบควบคุมรวมของโรงเรียน

โรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ ฯ ระบบพัดลมและระบบน้ำถูกกำหนดให้เริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิของโรงเรียนสูงกว่า 20°C พบว่า มีการใช้ไฟฟ้าเฉพาะปั้มน้ำ และพัดลมเท่านั้น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.033 kW-hr/วัน/ตารางเมตร (พื้นที่โรงเรียนเท่ากับ 8.1 ตารางเมตร) แสดงได้ตามตารางที่ 4.2

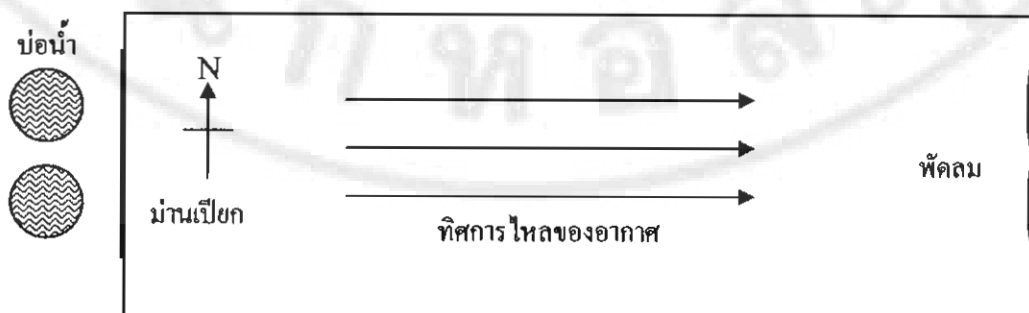
ตารางที่ 4.2 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงเรียน

โรงเรียน	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kW-hr.)			ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงเรียนจากมิเตอร์ไฟฟ้าเฉลี่ย (kW-hr)	อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (kW-hr./d-m ²)
	ปั้มน้ำ	พัดลม	รวม		
สำนักวิจัย ฯ	2.40	17.62	20.02	36.67	1.016
ศูนย์กล้วยไม้ ฯ	1.77	6.60	8.37	-	1.033

4.2 การประเมินสมรรถนะโรงเรียนศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร และโรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่า โรงเรียนที่ใช้มานานเปียกชนิดเยื่อเซลลูโลสมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบตาข่ายไนลอน และในระบบโรงเรียนขนาดเล็กไม่จำเป็นต้องมีระบบควบคุมที่ทันสมัยมากนัก ประกอบกับปัจจัยอื่น

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้สร้างโรงเรียนระบบ Evaporative cooling เพื่อทำการทดสอบสมรรถนะของระบบประหยัดพลังงานในโรงเรียน ที่ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยได้พัฒนาระบบการใช้น้ำเย็น ระบบการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ และระบบการใช้เทอร์โมไซฟอนมาช่วยในการลดอุณหภูมิน้ำเย็น ลักษณะทั่วไปของโรงเรียนแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะทั่วไปของโรงเรียน

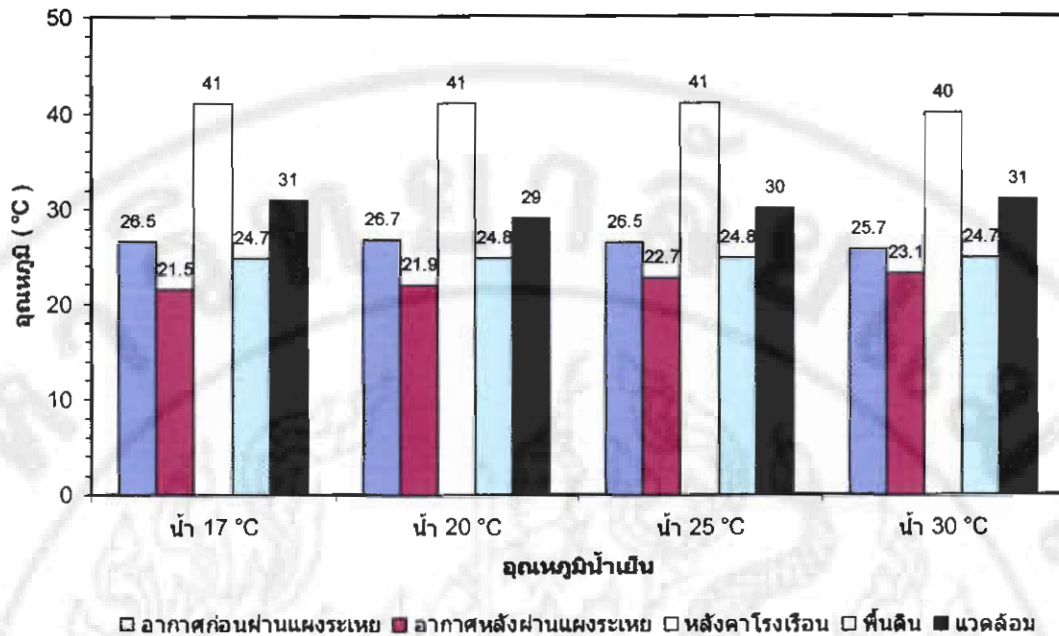
โรงเรือนศูนย์วิจัยพลังงานเป็นโรงเรือน ขนาดกว้าง 4 m ยาว 12 m สูง 2.5 m หลังคาโค้ง 38° สูง 1.5 m ผนังและหลังคาคลุมด้วยพลาสติกใส หนา 0.15 mm และมีการสร้างเพดานกันระหว่างห้องที่เป็นสี่เหลี่ยม ด้านข้างกับบริเวณใต้หลังคาโค้ง ม่านเปียกเป็นแบบเยื่อเซลลูโลส ขนาด $1.5 \times 3.7 \text{ m}^2$ พัดลมขนาด 1.0 hp. เส้นผ่านศูนย์กลาง 127 cm 1 ตัว บ่อน้ำขนาดความจุ 1,700 ลิตร 2 บ่อ พื้นเป็นหินวางตัวในแนว ตะวันออก-ตะวันตก

4.2.1 การประเมินสมรรถนะโรงเรือนโดยใช้ระบบน้ำเย็น

การวิเคราะห์สมรรถนะของโรงเรือนแบบใช้ระบบน้ำเย็น ทำการทดสอบที่น้ำเย็น อุณหภูมิ 17, 20, 25 และ 30°C และควบคุมการทำงานของพัดลมและปั้มน้ำให้เริ่มทำงานเมื่ออากาศภายในโรงเรือนสูงกว่า 28°C และตัดระบบการทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 26°C โดยทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นระเหยน้ำ การสิ้นเปลืองพลังงาน และอัตราการระเหยน้ำของระบบ

ก.) อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน

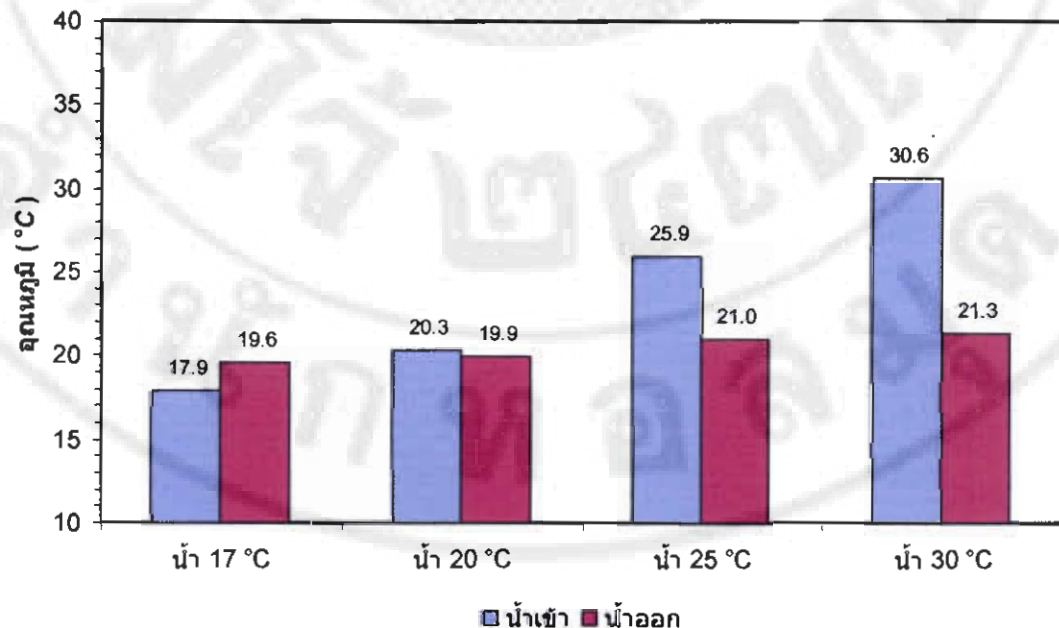
จากผลการทดสอบ อุณหภูมิอากาศก่อนผ่านแผงระเหย เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำเย็น พบว่า มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเล็กน้อย แตกต่างกันประมาณ 5°C หลังจากผ่านแผงระเหยแล้ว อุณหภูมิจะมีค่าลดลง โดยอุณหภูมิน้ำเย็น 17 และ 20°C จะมีอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 21.5°C เมื่อพิจารณาอุณหภูมิหลังคาโรงเรือนแล้ว พบว่า มีอุณหภูมิสูงประมาณ $40-41^\circ\text{C}$ เนื่องจากลักษณะของหลังคาโรงเรือนเป็นแบบสองชั้นและไม่มีการระบายอากาศทำให้เกิดการสะสมความร้อน ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาอุณหภูมิของดินแล้ว พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จะอยู่ในช่วง $24.7-24.8^\circ\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเย็นกับอุณหภูมิอากาศในโรงเรือน

ข.) อุณหภูมิน้ำที่ไหลผ่านแผงระเหย

จากการทดสอบ พบว่า อุณหภูมิน้ำเย็น 17°C เมื่อผ่านแผงระเหยแล้วอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7°C และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นอุณหภูมิน้ำออกจากแผงระเหยจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ประมาณ 21°C แสดงได้ดังรูปที่ 4.8

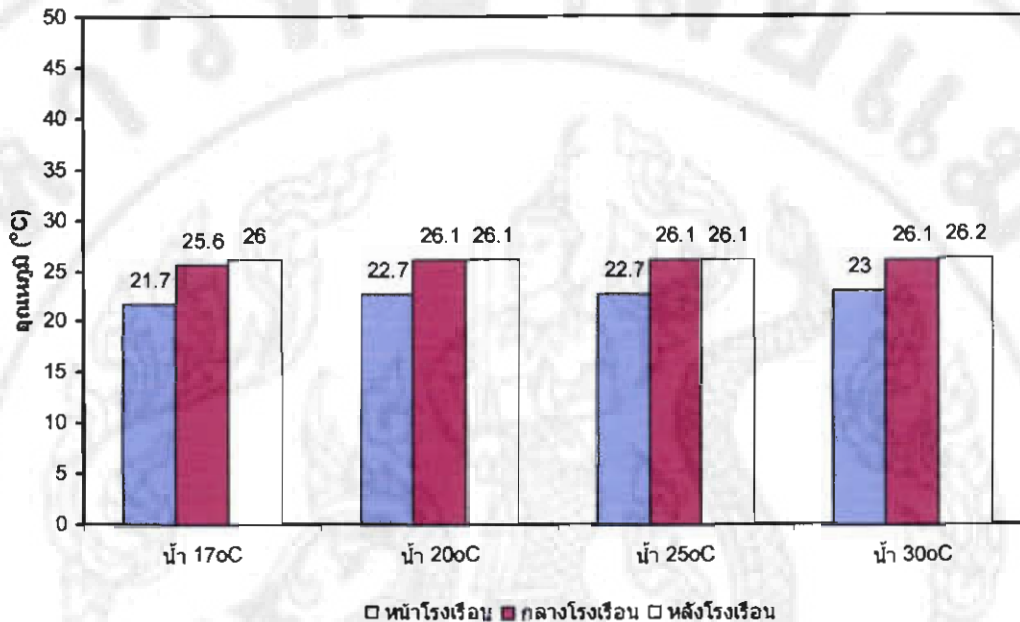


รูปที่ 4.8 อุณหภูมิน้ำที่ไหลผ่านแผงระเหย

ค.) การกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือน

การกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า อุณหภูมิด้านหน้าโรงเรือน จะมีค่าต่ำกว่าบริเวณตรงกลางและด้านหลังโรงเรือนประมาณ 3-4°C ดังแสดงในรูปที่

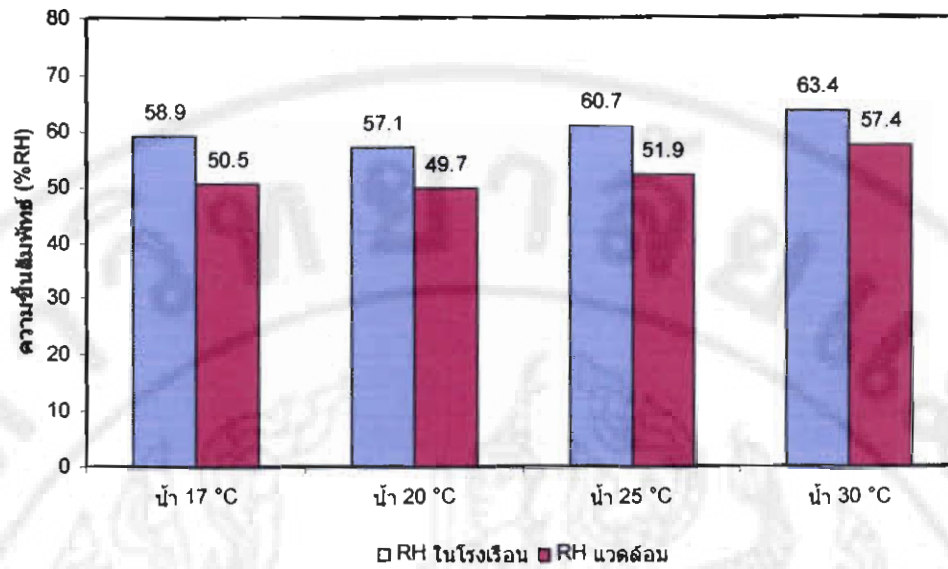
4.9



รูปที่ 4.9 การกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือน

ง.) ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน

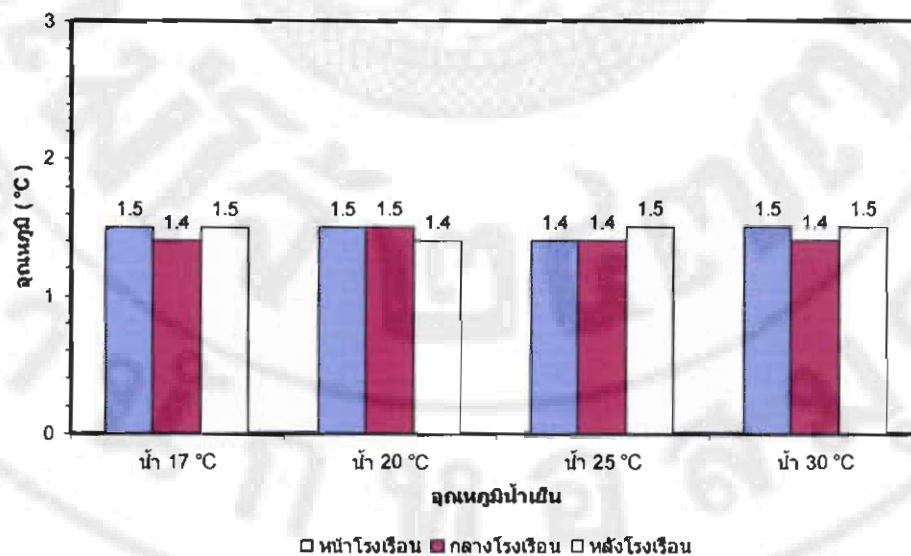
จากการทดสอบ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สภาพแวดล้อมโดยรวมประมาณ 6-9 % พิจารณาที่น้ำอุณหภูมิ 25 °C พบว่า มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือ 9 % และน้ำอุณหภูมิ 30 °C พบว่า มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดคือ 6% ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนกับสภาพแวดล้อม

จ.) ความเร็วลมภายในโรงเรือน

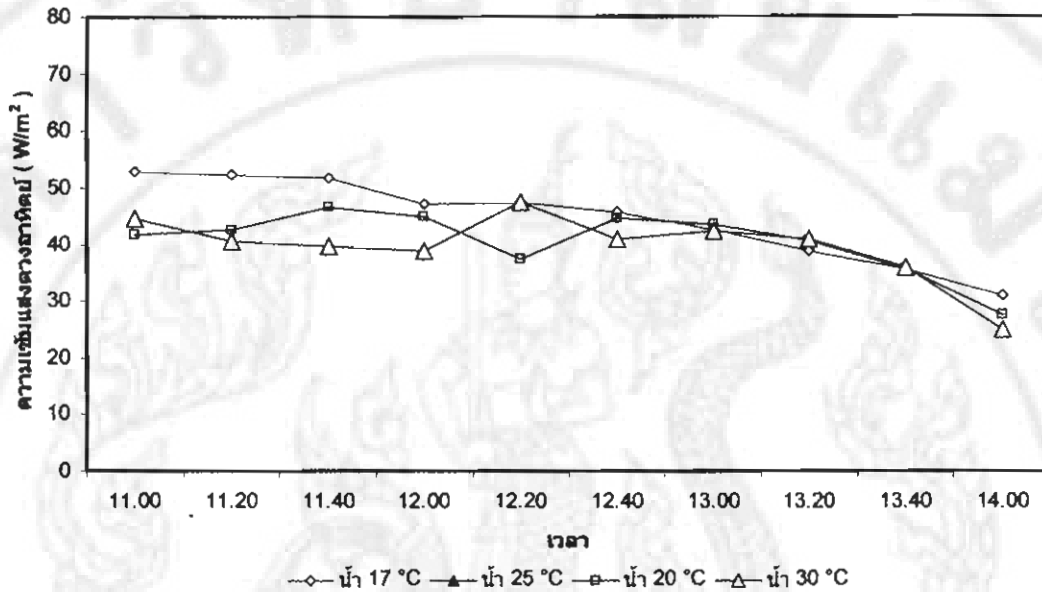
จากการทดสอบ พบว่า ความเร็วลมภายในโรงเรือนโดยเฉลี่ยมีความเร็วประมาณ 1.4 – 1.5 m/s พิจารณารูปที่ 4.11 พบว่า ความเร็วลมด้านหน้าโรงเรือน กลางโรงเรือน และหลังโรงเรือนมีความเร็วลมใกล้เคียงกันมากแสดงว่ามีการกระจายลมภายในโรงเรือนที่ดี



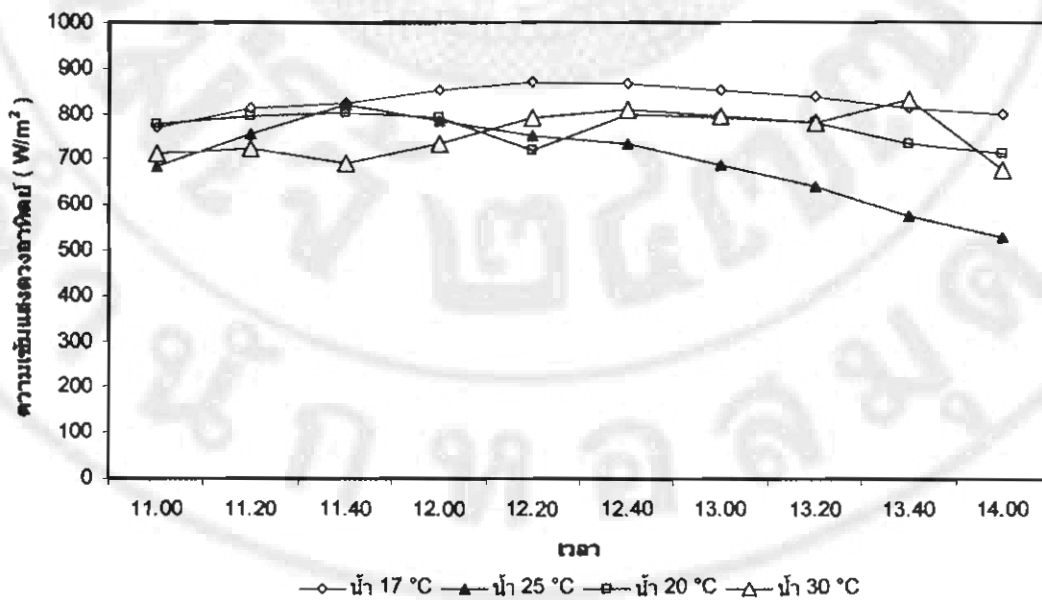
รูปที่ 4.11 ความเร็วลมภายในโรงเรือน

จ.) ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

จากการทดสอบ พบว่า ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนความเข้มแสงดวงอาทิตย์ภายในโรงเรือนมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยประมาณ 39- 44 W/m² และค่าความเข้มแสงดวงอาทิตย์สภาพแวดล้อมโดยประมาณ 796 – 830 W/m² ดังแสดงในรูป 4.12 - 4.13



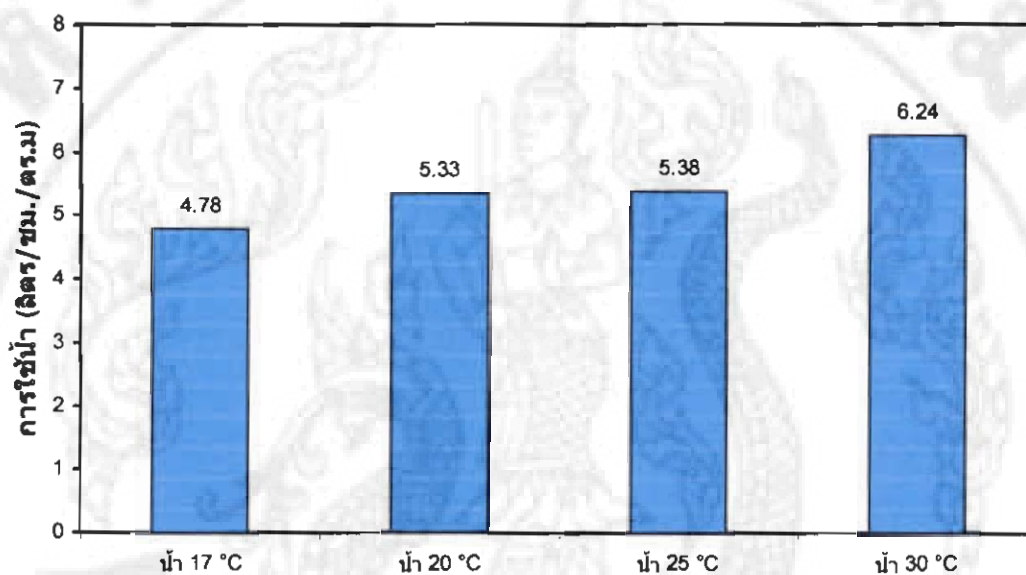
รูปที่ 4.12 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ภายในโรงเรือน



รูปที่ 4.13 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์แวดล้อม

ข.) อัตราการระเหยน้ำ

การทดสอบวัดปริมาณการระเหยน้ำจะดำเนินการโดยการบันทึกความสูงของน้ำในถังก่อนและหลังการทดสอบแล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรน้ำที่ใช้ไป พบว่า อุณหภูมิน้ำ 17°C การระเหยของน้ำมีค่าต่ำสุดคือ 24 ลิตร/ชั่วโมง และการทดลองน้ำที่อุณหภูมิ 30°C การระเหยของน้ำมีค่าสูงสุดคือ 31.3 ลิตร/ชั่วโมง ส่วนการทดลองน้ำที่อุณหภูมิ 20°C และการทดลองน้ำที่อุณหภูมิ 25°C มีการระเหยของน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงในรูปที่ 4.14



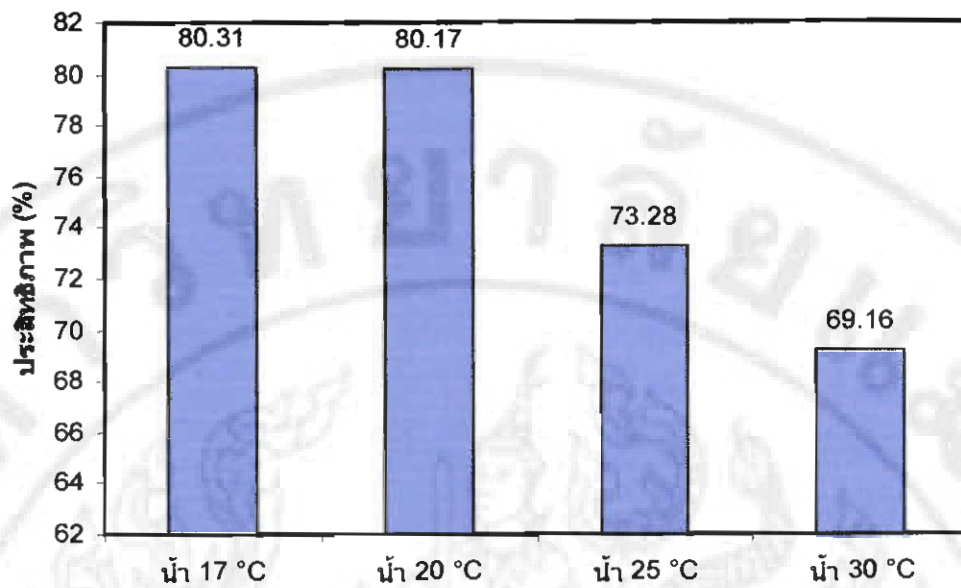
รูปที่ 4.14 อัตราการระเหยของน้ำ

ข.) ประสิทธิภาพการทำความเย็น

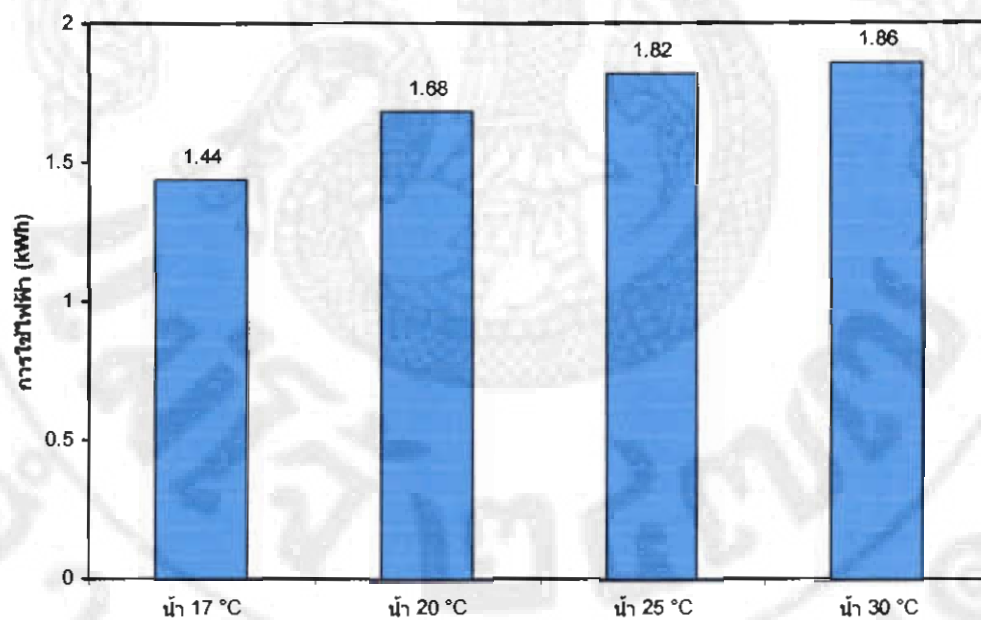
จากการทดสอบ พบว่า น้ำเย็นให้ประสิทธิภาพแฉงระเหยน้ำมีประมาณ 80.24 % น้ำปกติ (25°C) ให้ประสิทธิภาพแฉงระเหยน้ำประมาณ 73.8 % และน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพแฉงระเหยน้ำต่ำสุดคือ 69.16 % ดังแสดงในรูป 4.15

ณ.) อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากการทดสอบประสิทธิภาพโรงเรือน ในช่วงเวลา 11.00 น. - 16.00 น. โดยการทดลอง ทั้ง 4 การทดลอง พบว่า การทดลองที่ 4 น้ำอุณหภูมิ 30°C มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดคือ 1.86 kw-h และ การทดลองที่ 1 น้ำอุณหภูมิ 17°C มีการใช้กระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ 1.44 kw-h ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการทำความเย็น



รูปที่ 4.16 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

สรุปผลการทดสอบ เมื่อนำน้ำที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ค่า คือ 17, 20, 25 และ 30 °C มาผ่านแผง Cooling Pad พบว่า น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 17 °C และ 30 °C ให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด 80% มีอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้า 1.44 kWh และ 1.68 kWh และมีอัตราการระเหยน้ำ 4.78 และ 5.33 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ตามลำดับ

4.2.2 การประเมินสมรรถนะของโรงเรือนที่ใช้ระบบการหมุนเวียนอากาศ

การศึกษาวិเคราะห์สมรรถนะทางความเย็นของโรงเรือนแบบระเหยน้ำโดยใช้ระบบน้ำเย็น และติดตั้งชุดดึงอากาศเย็นกลับคืน เปรียบเทียบกับแบบเดิมที่ไม่ติดตั้งชุดดึงอากาศเย็นกลับคืน

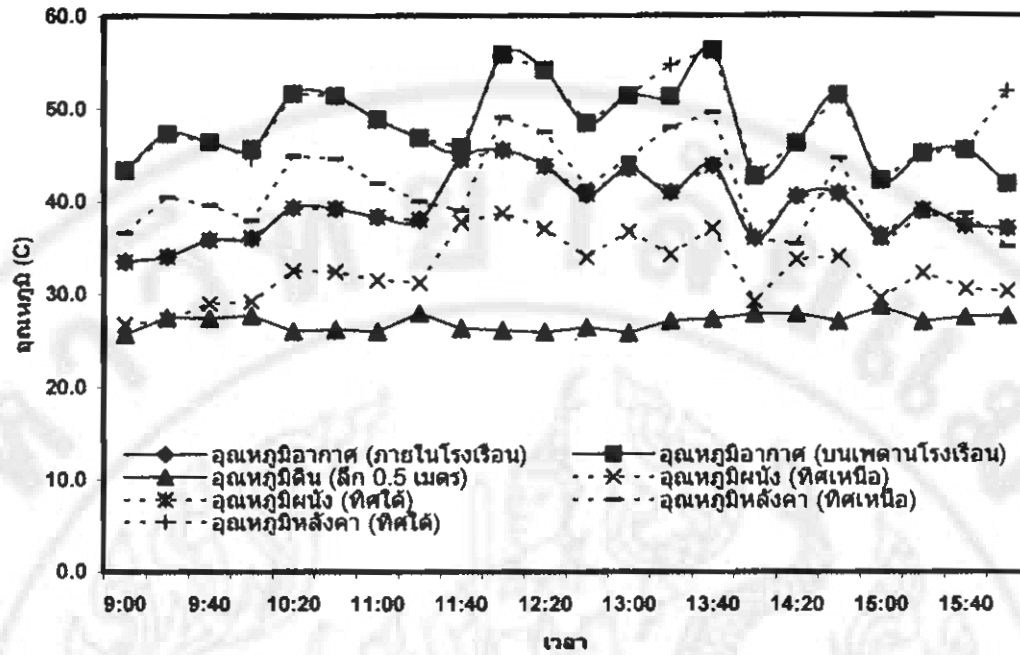
ก.) การประเมินสมรรถนะของโรงเรือนขณะที่ไม่มีการทำงานของระบบ

ในเวลาที่ไม่มีการทำงานของระบบที่ประกอบด้วยระบบลม และระบบน้ำ ได้ทำการศึกษากการกระจายของอุณหภูมิภายในโรงเรือน และความสามารถในการส่องผ่านของรังสีอาทิตย์เข้าสู่โรงเรือน พบว่าการกระจายของอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนจะมีอุณหภูมิสูงบริเวณผนังทิศใต้ และจะมีอุณหภูมิต่ำลงเมื่อใกล้ผนังด้านทิศเหนือ ในกรณีของอุณหภูมิได้หลังคา ก็มีลักษณะเดียวกัน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 7.8°C และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 8.9°C ความเร็วเฉลี่ย 0.72 m/s ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระของอากาศ (Free convection) อุณหภูมิของพื้นทำการวัดที่ความลึก 50 cm มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน 12.4°C ความเข้มรังสีอาทิตย์ภายในโรงเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 38.74 W/m^2 ในขณะที่ความความเข้มรังสีอาทิตย์กลางแจ้งเฉลี่ยเท่ากับ 737.86 W/m^2

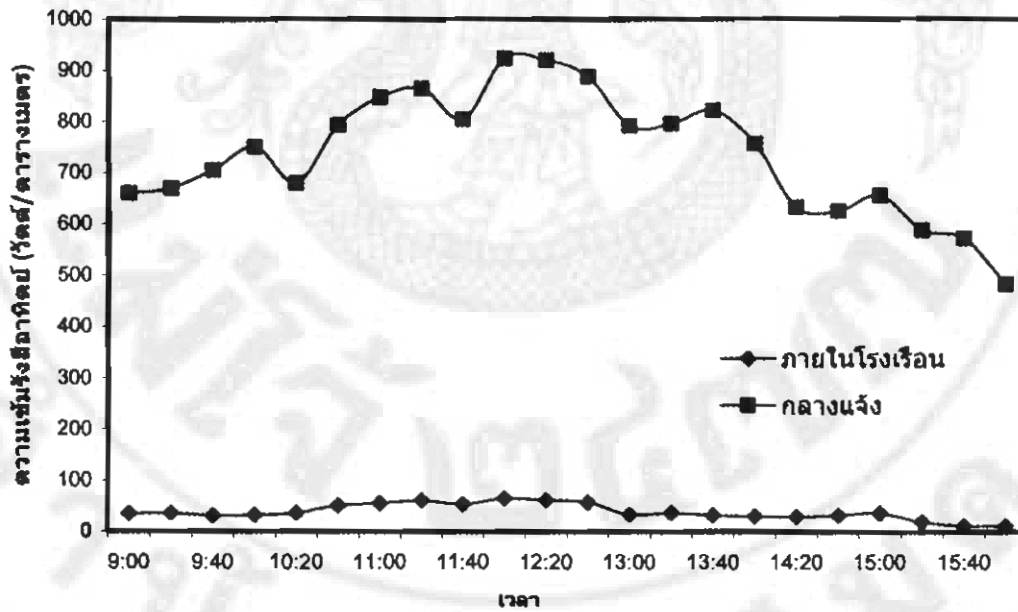
จากรูปที่ 4.17 พบว่าในขณะที่ไม่มีการทำงานของระบบโรงเรือน อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือน จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของผนังโรงเรือนด้านที่รับรังสีแสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.3 โรงเรือนขณะไม่มีการทำงานของระบบ

คุณสมบัติ		ปริมาณ
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)		31.50
อุณหภูมิอากาศในโรงเรือน ($^{\circ}\text{C}$)		39.30
อุณหภูมิอากาศบนเพดาน ($^{\circ}\text{C}$)		48.20
อุณหภูมิดิน ($^{\circ}\text{C}$)		26.90
อุณหภูมิผนัง ($^{\circ}\text{C}$)	ทิศเหนือ	32.46
	ทิศใต้	39.26
อุณหภูมิหลังคา ($^{\circ}\text{C}$)	ทิศเหนือ	41.29
	ทิศใต้	48.72
ความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)	ในโรงเรือน	38.74
	ที่โล่ง	737.86



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ



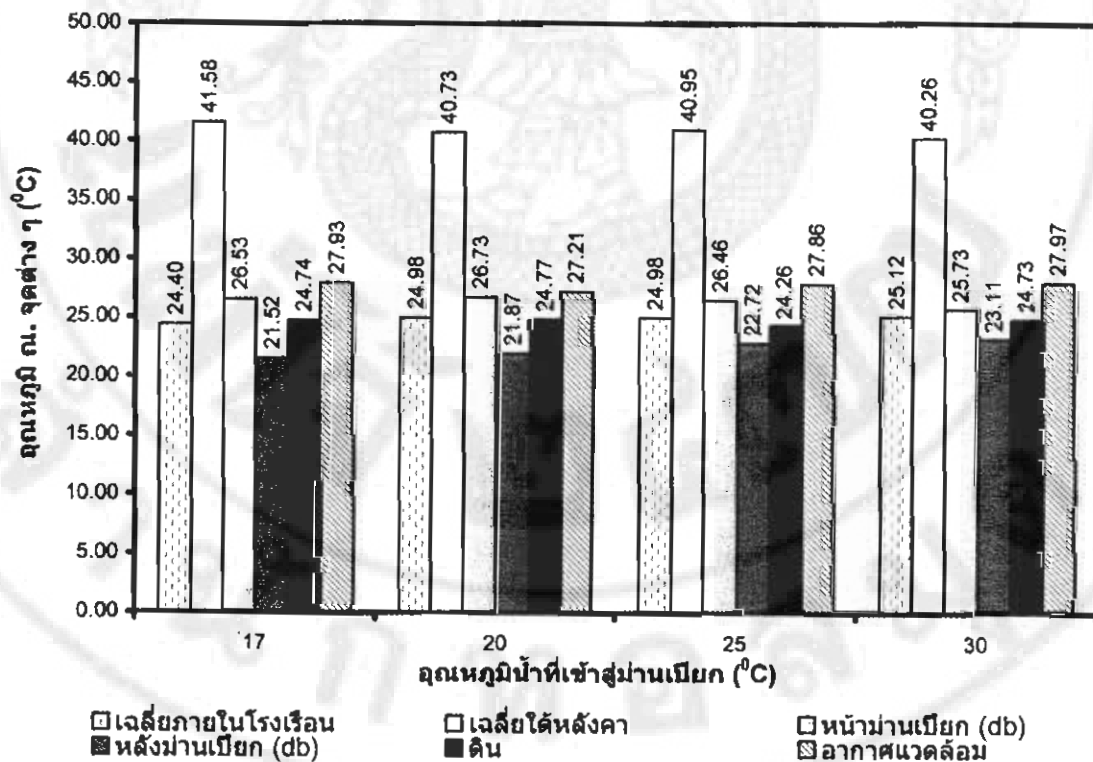
รูปที่ 4.18 ความชื้นรังสีอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ

ข.) การประเมินสมรรถนะโรงเรียนโดยไม่มีการรบกวนกลับของอากาศทั้งผ่าน

เพดาน

การทดสอบโรงเรียนได้ทำการเปิดระบบต่างๆ ให้ทำงานเป็นปกติคือ ระบบน้ำและพัดลมจะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรียนสูงกว่า 28°C และหยุดทำงานที่อุณหภูมิภายในโรงเรียนต่ำกว่า 26°C ทดสอบโดยเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ตัวเปียก 4 ค่า คือ 17°C , 20°C , 25°C และ 30°C ตามลำดับ

จากการศึกษา พบว่า ที่อุณหภูมิน้ำเข้าสู่ตัวเปียกที่มีอุณหภูมิต่ำ จะทำให้อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรียนลดลง อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในโรงเรียนอยู่ในช่วง $24.4 - 25.21^{\circ}\text{C}$ ได้หลังคา เท่ากับ $40.26 - 41.58^{\circ}\text{C}$ สูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 13.14°C และอุณหภูมิในดินที่ความลึก 50 เซนติเมตร เฉลี่ยประมาณ $24.26 - 24.74^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ผ่านเปียกลดลง จะทำให้ผลต่างอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและหลังออกจากผ่านเปียกสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพของผ่านเปียกก็จะสูงขึ้น โดยพบว่า อุณหภูมิน้ำเข้าสู่ผ่านเปียกเท่ากับ 17°C



รูปที่ 4.19 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโรงเรียน

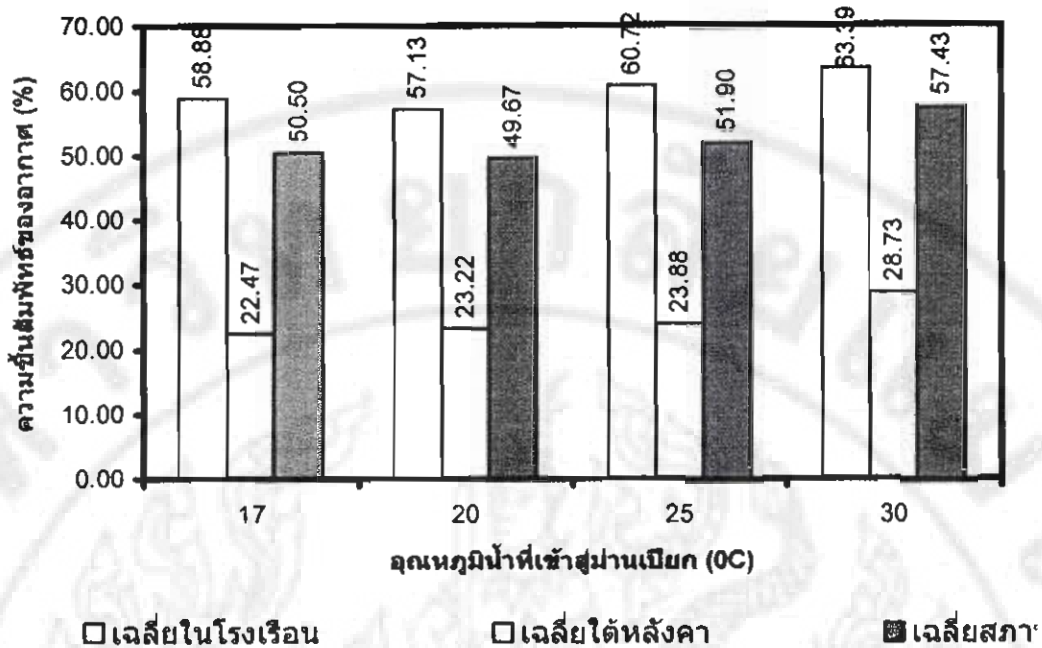
ตารางที่ 4.4 ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและหลังออกจากมันเปือก และประสิทธิภาพของมันเปือกที่อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่มันเปือกค่าต่าง ๆ

อุณหภูมิของน้ำที่ เข้าสู่มันเปือก ($^{\circ}\text{C}$)	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้า และหลังออกจากมันเปือก ($^{\circ}\text{C}$)	ประสิทธิภาพของมันเปือก (%)
17	5.01	80.31
20	4.86	80.20
25	3.74	73.28
30	2.62	69.16

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการใช้พลังงานของโรงเรือน

อุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าสู่มันเปือก ($^{\circ}\text{C}$)	ความเข้ม รังสีอาทิตย์ (W/m^2)	พลังงานของพัดลม และปั้มน้ำ (kW-h)		ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร/ชั่วโมง/ตาราง เมตรมันเปือก)	พลังงานที่ใช้ ในการระเหยน้ำ ($\times 10^{-3}$ kW)
			ที่ $I = 41.41$ (W/m^2)		
17	44.48	1.62	1.50	4.78	3.24
20	40.38	1.55	1.59	5.33	3.61
25	41.31	1.78	1.79	5.38	3.64
30	39.46	1.86	1.95	6.24	4.23

จากตารางที่ 4.4 – 4.5 พบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่เข้ามันเปือกสูงขึ้นปริมาณการใช้น้ำของระบบจะสูงขึ้น ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านมันเปือก พบว่า อากาศภายในโรงเรือนมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าอากาศภายนอกโรงเรือน 7.65 % และได้หลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าอากาศแวดล้อม 27.80 % ดังแสดงในรูปที่ 4.20

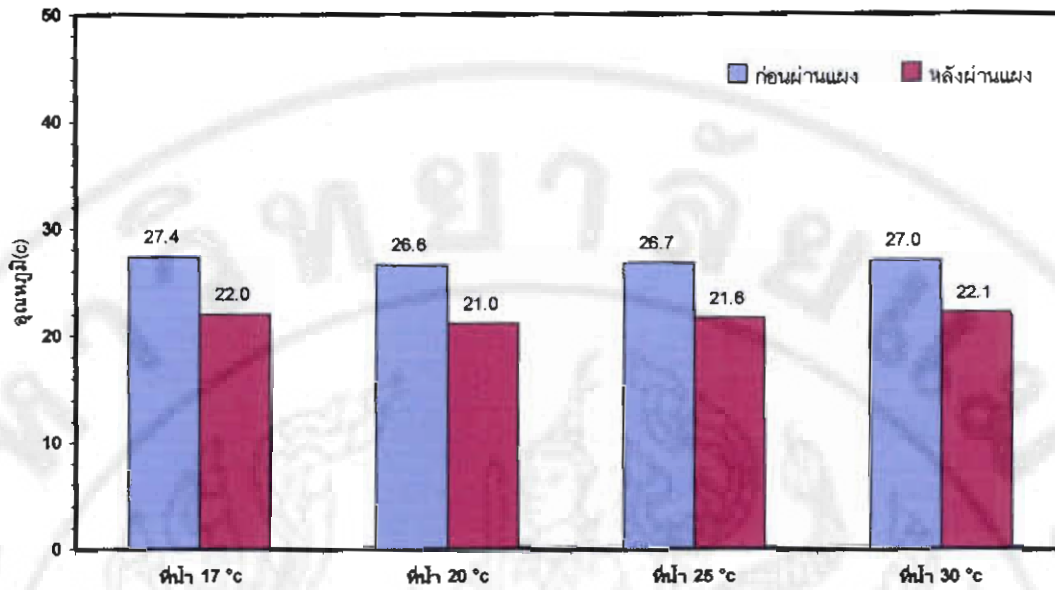


รูปที่ 4.20 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโรงเรียน

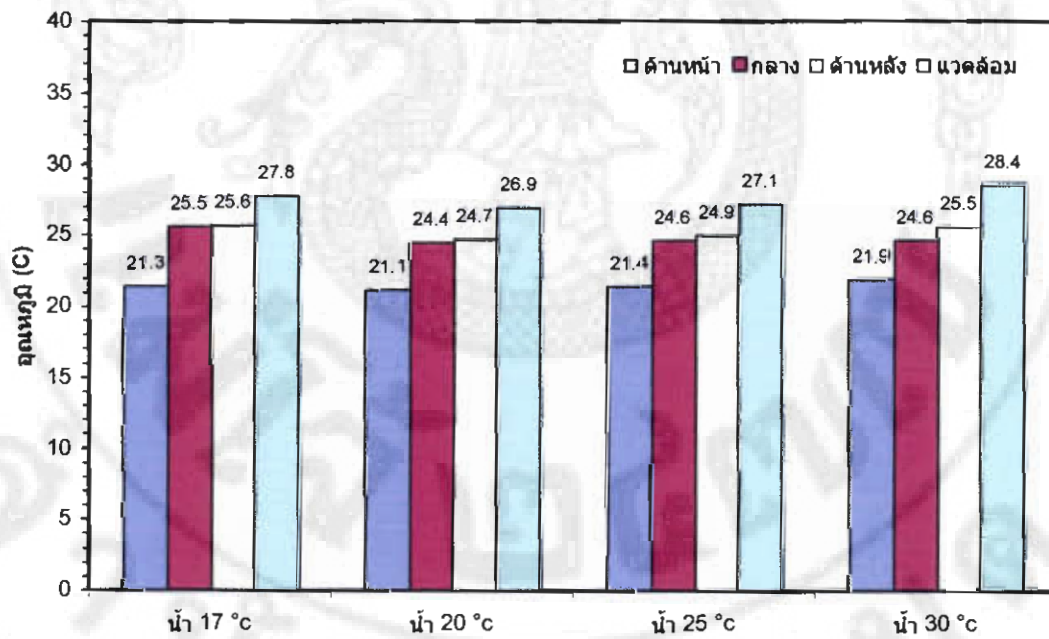
ค.) การประเมินสมรรถนะโรงเรียนที่มีการหมุนเวียนอากาศ

➤ อุณหภูมิภายในโรงเรียน

การทดสอบสมรรถนะการทำความเย็นของโรงเรียนที่มีการหมุนเวียนอากาศที่อุณหภูมิน้ำเย็น 17 20 25 และ 30°C แสดงได้ดังรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่านแผงระเหยน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ โดยอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 17°C มีค่า 27.4°C และมีอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ 22°C อุณหภูมิอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 20°C มีค่า 26.6°C และมีอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ 21°C อุณหภูมิอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 25°C มีค่า 26.7°C และมีอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ 21.6°C อุณหภูมิอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 30°C มีค่า 27°C และมีอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ 22.1°C



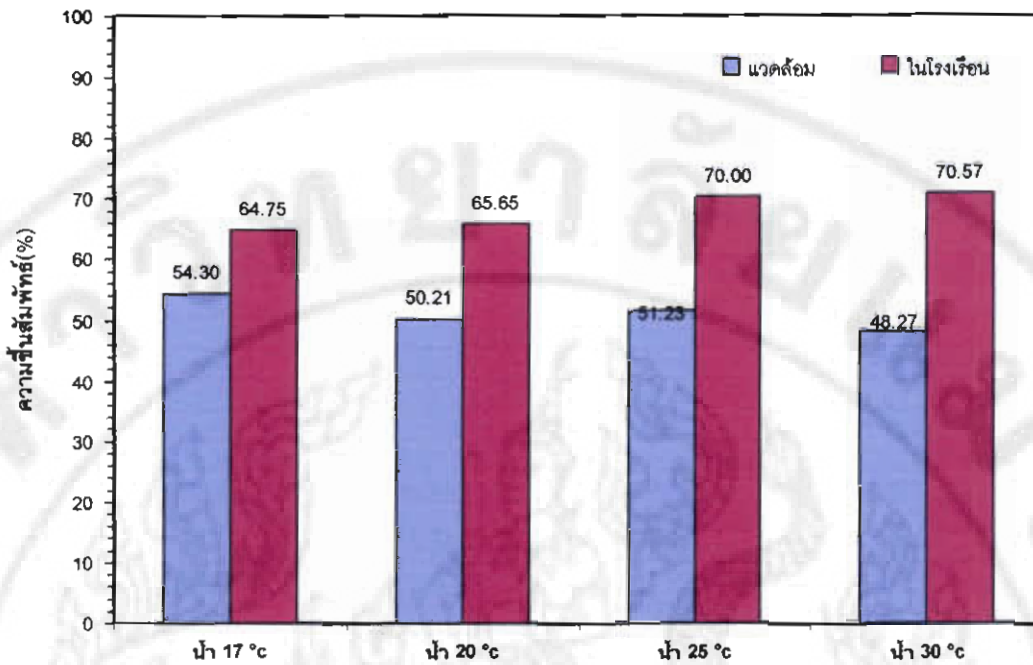
รูปที่ 4.21 อุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่านแผงระเหย



รูปที่ 4.22 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรียน

➤ ความชื้นสัมพัทธ์

จากการตรวจวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของอากาศแฉดล้อม และอากาศในโรงเรียน แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศแสดงได้ดังรูป 4.23



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังผ่านม่านเปียก

โดยที่ น้ำที่อุณหภูมิ 17, 20, 25 และ 30°C ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ 54 50 51 และ 41%RH ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรียนเฉลี่ยอยู่ที่ 65 66 70 และ 71 % RH ตามลำดับ

➤ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรียนในช่วงเวลา 11.00 น.-14.00 น. เป็นค่าที่แสดงถึงค่าพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทเข้าไปในโรงเรียนฯ ซึ่งในโรงเรียนจะมีการติดตั้งม่านพรางแสงเพื่อลดความร้อนดังกล่าว ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคาโรงเรียนในช่วงการทดลองทั้ง 4 การทดลองแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นช่วงเวลากการทดลองมีค่าโดยประมาณประมาณ 765 – 806.2 W/m² และค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ภายในโรงเรียนมีค่าโดยประมาณ 43.33 – 46.7 W/m²

➤ ปริมาณการระเหยน้ำ

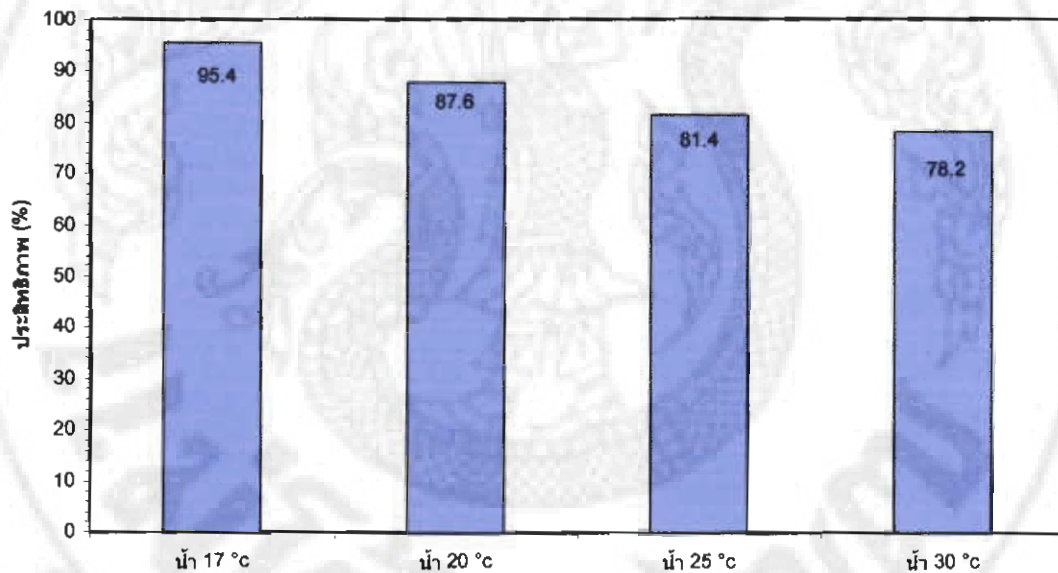
ปริมาณการระเหยน้ำ พบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้มีอัตราการใช้น้ำมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิ น้ำ 17, 20, 25 และ 30°C จะมีปริมาณการใช้น้ำ 4.03, 4.79, 5.84 และ 6.76 ลิตร ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

อุณหภูมิ	17°C	20°C	25°C	30°C
ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)	769.4	806.2	780.87	765.0
ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในโรงเรือน (W/m^2)	45.4	46.7	43.33	43.33
ปริมาณน้ำระเหย (ลิตร/ชั่วโมง/ตารางเมตร)	4.03	4.79	5.84	6.76
ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kW-h)	1.79	1.92	2.20	2.46

➤ ประสิทธิภาพแผงระเหยน้ำ

จากการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพแผงระเหยน้ำสูงสุดเท่ากับ 95.4 % ที่อุณหภูมิ
น้ำ 17°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพแผงระเหยลดลง



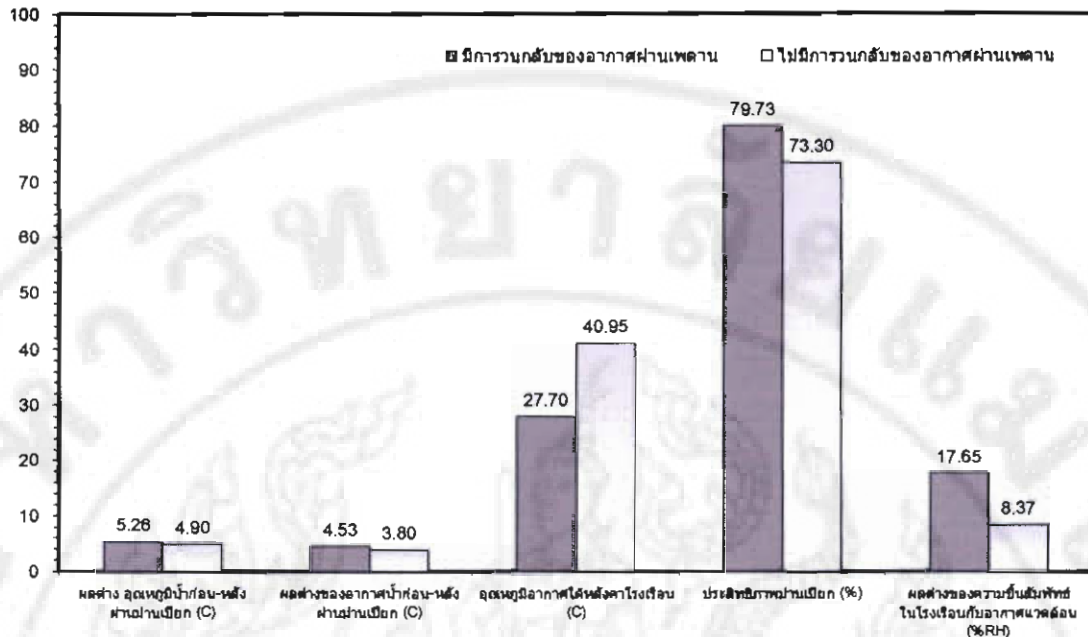
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพแผงระเหย

4.2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงเรือนกรณีที่มีการวนกลับและไม่วนกลับ ของอากาศทั้งผ่านเพดาน

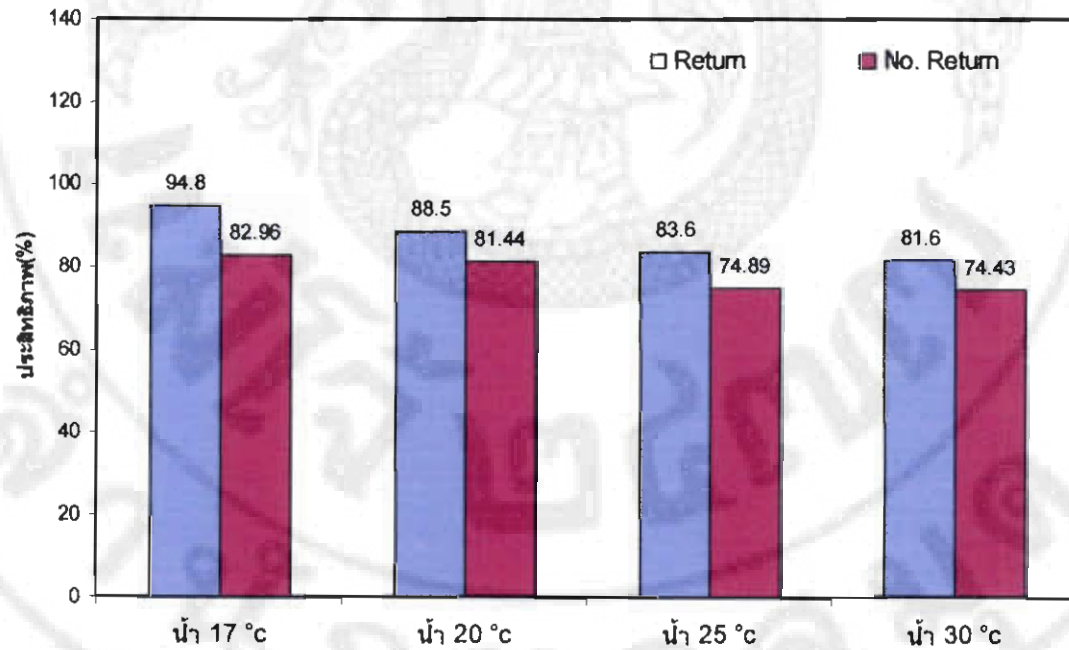
จากผลการทดสอบ เมื่อนำผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการวนกลับ
ของอากาศทั้งผ่านใต้เพดานกับกรณีที่ไม่มีการวนกลับของอากาศ กรณีที่น้ำมีอุณหภูมิ 25°C เข้า
มาผ่านเปียกสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโรงเรือน ที่อุณหภูมิน้ำเข้าม่านเปียกปกติ (25 °C)

คุณสมบัติ		มีการวนกลับ ของอากาศ	ไม่มีการวนกลับ ของอากาศ
อุณหภูมิน้ำเข้า Cooling Pad (°C)		25.53	25.9
อุณหภูมิน้ำออก Cooling Pad (°C)		20.27	21.0
อุณหภูมิอากาศก่อนผ่าน Cooling Pad (°C)		25.87	26.5
อุณหภูมิอากาศหลังผ่าน Cooling Pad (°C)		21.34	22.7
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)		27.0	27.9
ประสิทธิภาพม่านเปียก (%)		79.73	73.3
อุณหภูมิอากาศในโรงเรือน (°C)	หน้า	21.43	22.7
	กลาง	24.63	26.1
	หลัง	24.87	26.1
อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาโรงเรือน (°C)		27.7	40.95
อุณหภูมิดิน (°C)		24.1	24.26
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)	แวดล้อม		
	ในโรงเรือน	53.49	51.9
	บน	71.14	60.27
	หลังคา	63.88	20.88
เวลาทำงานของพัดลม (นาท)		88.33	71.66
ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร/ชม./ตารางเมตรม่านเปียก)		5.86	5.38
ความเร็วลม (เมตร/วินาที)			
	หน้า	1.0	1.4
	กลาง	1.0	1.4
	หลัง	1.0	1.5

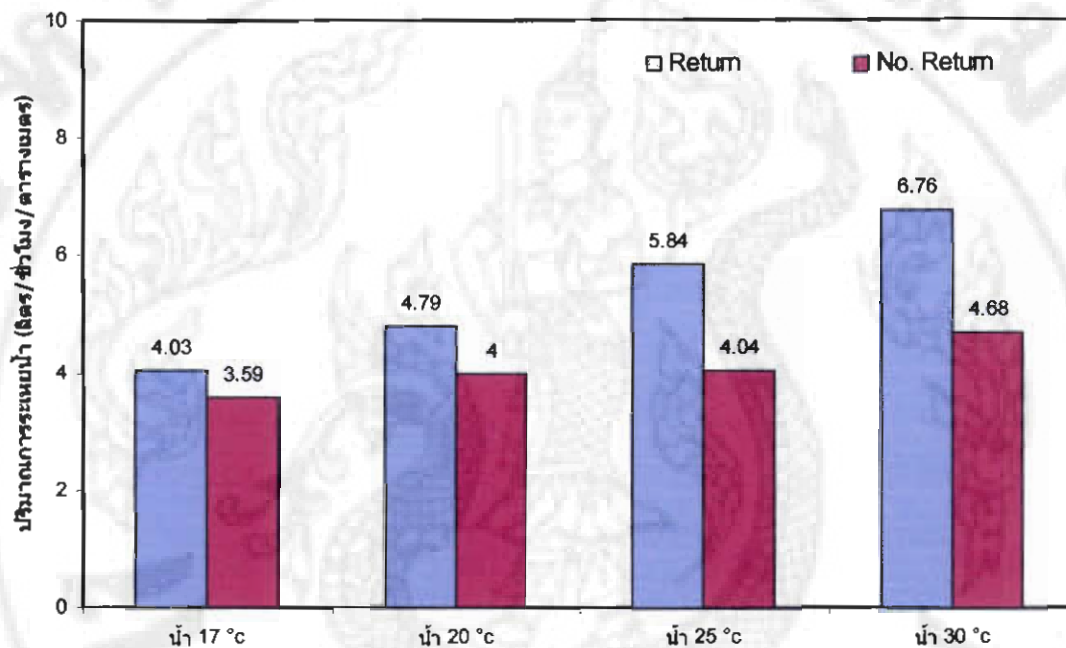


รูปที่ 4.25 คุณสมบัติของโรงเรียนที่แตกต่างกันระหว่างการวนกลับ และไม่วนกลับของอากาศ



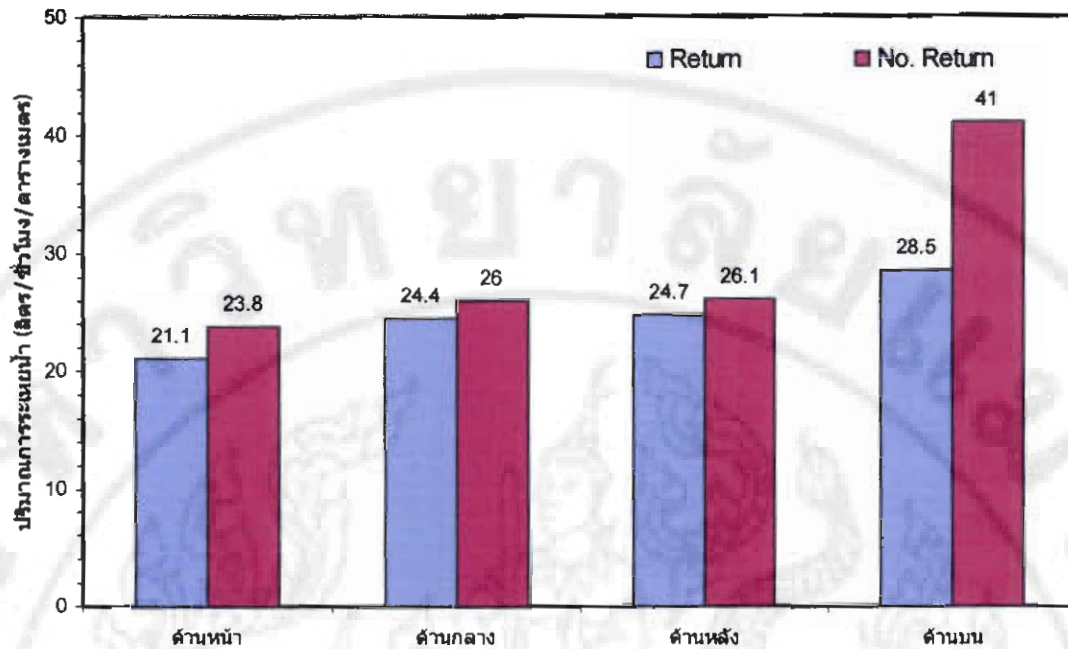
รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพของแผงระเหยกรณีที่ใช้ระบบหมุนเวียนกับ ไม่นวนเวียนของอากาศในโรงเรียน

จากรูปที่ 4.26 พบว่า ประสิทธิภาพของแผงระเหยน้ำจากการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิ 17°C ให้ประสิทธิภาพแผงระเหยสูงสุดที่ 94.8 % (ติดตั้งท่อน้ำอากาศ) , 82.96 % (ไม่ติดตั้งท่อน้ำอากาศ) ที่อุณหภูมิ 20°C ให้ประสิทธิภาพแผงระเหยที่ 88.5 % (ติดตั้งท่อน้ำอากาศ) , 81.44 % (ไม่ติดตั้งท่อน้ำอากาศ) ที่อุณหภูมิ 25°C ให้ประสิทธิภาพแผงระเหยที่ 83.6 % (ติดตั้งท่อน้ำอากาศ) , 74.89 % (ไม่ติดตั้งท่อน้ำอากาศ) ที่อุณหภูมิ 30°C ให้ประสิทธิภาพแผงระเหยที่ 81.6 % (ติดตั้งท่อน้ำอากาศ) , 74.43 % (ไม่ติดตั้งท่อน้ำอากาศ)



รูปที่ 4.27 ปริมาณการระเหยของน้ำ

ปริมาณการระเหยของน้ำจากการทดลอง พบว่า โรงเรือนที่ติดตั้งท่อน้ำอากาศจะมีอัตราการระเหยของน้ำมากกว่าโรงเรือนที่ไม่ติดตั้งท่อน้ำอากาศ โดยมีค่าการระเหยของน้ำที่ใช้เมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ติดตั้งท่อน้ำอากาศ ที่น้ำอุณหภูมิ 17°C มีอัตราการระเหยน้ำที่ 10.946% ที่น้ำอุณหภูมิ 20°C มีอัตราการระเหยน้ำที่ 16.537% ที่น้ำอุณหภูมิ 25°C มีอัตราการระเหยน้ำที่ 30.826% ที่น้ำอุณหภูมิ 30°C มีอัตราการระเหยน้ำที่ 30.732% ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 อุณหภูมิของโรงเรียนในตำแหน่งต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.28 แสดงกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของโรงเรียนในตำแหน่งต่างๆ ที่น้ำปกติ โดยโรงเรียนที่ติดตั้งท่อนำอากาศจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าโรงเรียนที่ไม่ติดตั้งท่อนำอากาศ โดยด้านหน้าโรงเรียนสามารถลดอุณหภูมิได้โดยเฉลี่ยที่ 2.7°C กลางโรงเรียนสามารถลดอุณหภูมิได้โดยเฉลี่ยที่ 1.6°C ด้านหลังโรงเรียน (หน้าพัดลม) สามารถลดอุณหภูมิได้โดยเฉลี่ยที่ 1.4°C ด้านบนโรงเรียนสามารถลดอุณหภูมิได้โดยเฉลี่ยที่ 12.5°C

สรุปผลการทดสอบ พบว่า เมื่อนำเอาอากาศมาวนกลับได้เพดานของโรงเรียนจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของม่านเปียกได้ เนื่องจากมีการวนกลับของอากาศขึ้นและอุณหภูมิต่ำออกจากโรงเรียนทางฝั่งที่ตั้งม่านเปียก ส่งผลให้อากาศในบริเวณหน้าม่านเปียกก่อนเข้าโรงเรียนมีความชื้นสูงขึ้นและอุณหภูมิที่ต่ำลง อีกทั้งยังทำให้อากาศได้หลังคาโรงเรียนมีอุณหภูมิที่ต่ำลงส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรียนคงที่และสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน แต่จะมีอัตราการใช้น้ำที่สูงขึ้น ทั้งนี้จะเป็นผลดีต่อการลดอุณหภูมิของอากาศที่เข้าในโรงเรียนเพราะในการระเหยน้ำเป็นการดูดความร้อนออกจากอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านน้ำนั่นเอง แต่มีข้อเสียคือ มีการใช้งานพัดลมที่สูงกว่ากรณีที่ไม่มีการวนกลับของอากาศประมาณ 23.26 %

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่เข้าม่านเปียกมีค่าลดลงจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบระเหยน้ำสูงขึ้น ทำให้ประหยัดพลังงาน ดังนั้นในการที่จะลดอุณหภูมิของน้ำ จึงต้องใช้ระบบที่ไม่มีการใช้พลังงานในการทำงาน จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า อุปกรณ์เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถลดอุณหภูมิโดยไม่ต้องการ

พลังงานจากภายนอก ทั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำในเวลา กลางคืนที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ แล้วนำน้ำที่ได้นั้นมาให้กับโรงเรือนในเวลากลางวัน

4.2.4 การศึกษาสมรรถนะการลดอุณหภูมิน้ำของเทอร์โมไซฟอน

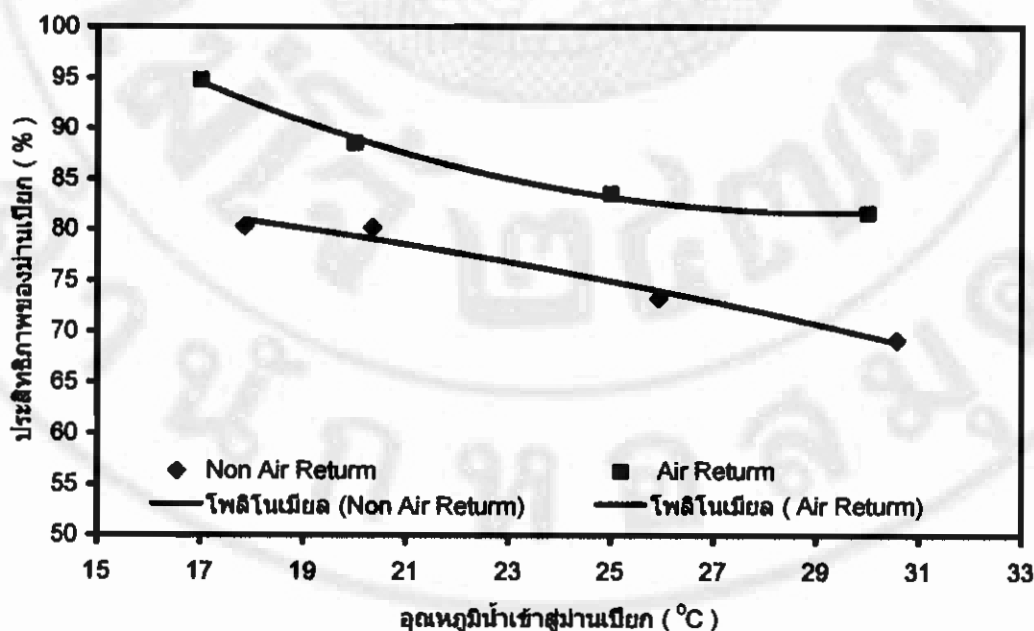
จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่มาบเปียก กับประสิทธิภาพการ ระบายน้ำของมาบเปียก พบว่า มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้น โดยมีค่าความน่าเชื่อถือ 97.48% สำหรับกรณีที่ไม่มีการวนกลับของอากาศผ่านเพดานโรงเรือน และ 99.60% สำหรับกรณีที่มีการวน กลับของอากาศผ่านเพดานโรงเรือน ซึ่งได้สมการที่ใช้ในการอธิบายประสิทธิภาพของมาบเปียก เมื่อทราบค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่มาบเปียกดังสมการ และรูปที่ 4.29

$$Eff_{coolind\ pad} = -0.0196T_{wi}^2 + 0.0022T_{wi} + 87.145 \quad \text{ไม่วนอากาศ}$$

$$Eff_{coolind\ pad} = 0.0865T_{wi}^2 - 5.05T_{wi} + 155.44 \quad \text{วนอากาศ}$$

โดยที่ EFF คือ ประสิทธิภาพการระบายน้ำของมาบเปียก, %

T_{wi} คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่มาบเปียก, °C

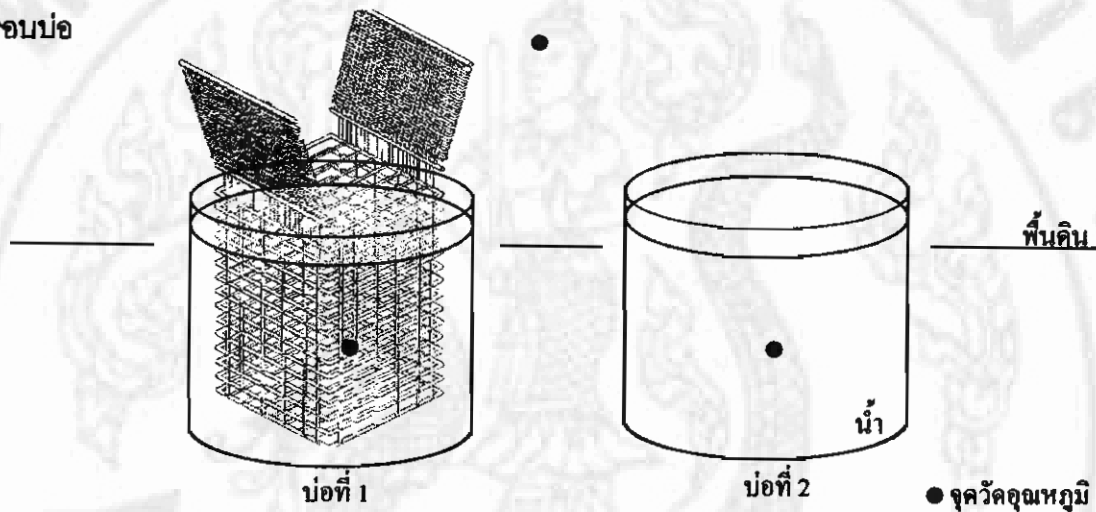


รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่มาบเปียก

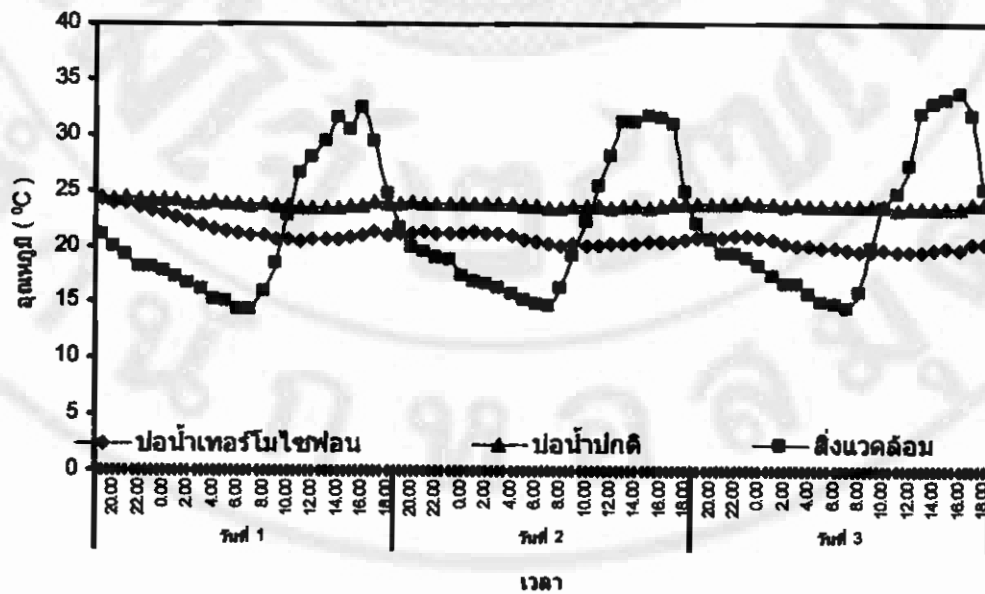
กับประสิทธิภาพการระบายน้ำของมาบเปียก

คุณสมบัติเฉพาะของชุดเทอร์โมไซฟอนและการทำงาน

ในเวลากลางคืนอากาศจะมีอุณหภูมิต่ำลง และถ้าต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำ ก็สามารถให้เทอร์โมไธฟอนในการลดอุณหภูมิของน้ำให้มีอุณหภูมิเท่ากับอากาศแวดล้อม (สูงกว่าเล็กน้อย) โดยไม่ต้องป้อนพลังงานจากภายนอกเข้าสู่ระบบของเทอร์โมไธฟอน ในการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำของเทอร์โมไธฟอน โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำระหว่างบ่อน้ำที่มีปริมาณน้ำเท่ากับ 2 บ่อที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน และมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากัน บ่อที่ 1 มีการใช้เทอร์โมไธฟอน และบ่อที่ 2 ไม่มีการใช้เทอร์โมไธฟอน ทั้ง 2 บ่อทำการปิดปากบ่อด้วยวัสดุฉนวนความร้อน ดังรูป 4.30 แล้วทำการวัดอุณหภูมิของน้ำทั้ง 2 บ่อ และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมรอบบ่อ



รูปที่ 4.30 ลักษณะการทดสอบการทำความเย็นของน้ำโดยใช้ชุดเทอร์โมไธฟอน



รูปที่ 4.31 อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในการทดสอบ ชุดเทอร์โมไธฟอน

จากรูปที่ 4.31 ผลของการทดสอบความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำจะเห็นว่าในเวลากลางคืนอุณหภูมิของอากาศจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวันประมาณ 8.0°C ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการลดอุณหภูมิของน้ำในบ่อน้ำโดยใช้ชุดเทอร์โมไธฟอน

ในบ่อน้ำที่ไม่มีชุดเทอร์โมไธฟอน พบว่าอุณหภูมิของน้ำจะคงที่โดยในเวลากลางวันและกลางคืนน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่างกันเพียง 0.2°C จึงถือว่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ส่วนบ่อน้ำที่มีชุดเทอร์โมไธฟอน พบว่า อุณหภูมิของน้ำจะค่อย ๆ ลดลงจากอุณหภูมิเริ่มต้น 24.4°C เหลือประมาณ 20°C ตั้งแต่เวลา 18.00 น. – 6.00 น จำนวน 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นอุณหภูมิก็จะมีค่าคงที่ โดยผลต่างอุณหภูมิกลางวันและกลางคืน เฉลี่ยเท่ากับ 0.8°C

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิในการทดสอบชุดเทอร์โมไธฟอน

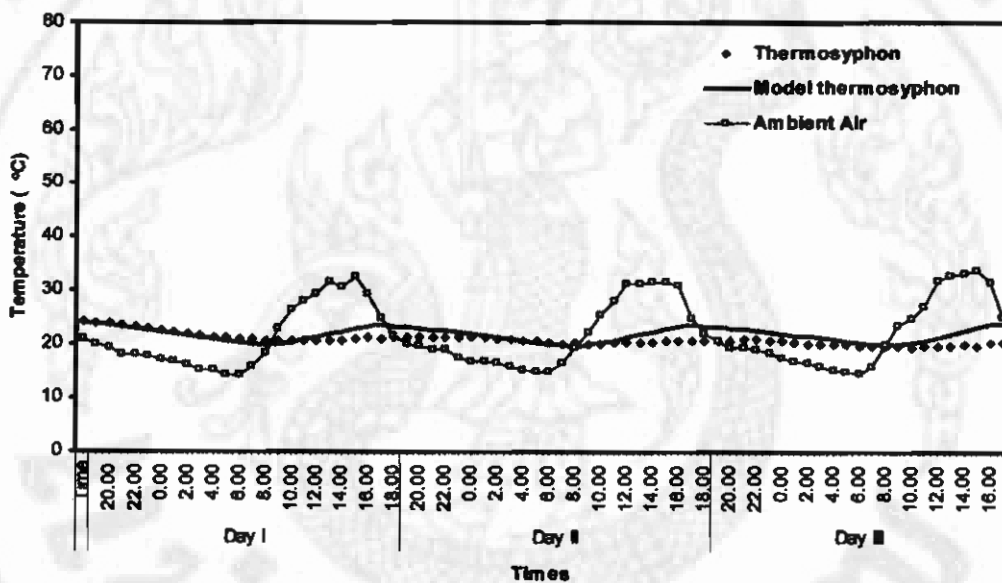
วันที่	ช่วง	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)		
		บ่อน้ำเทอร์โมไธฟอน	บ่อน้ำปกติ	สิ่งแวดล้อม
วันที่ 1	กลางคืน	22.7	24.1	17.4
	กลางวัน	20.8	23.7	25.3
วันที่ 2	กลางคืน	21.1	23.8	17.7
	กลางวัน	20.3	23.6	25.6
วันที่ 3	กลางคืน	20.5	23.8	17.9
	กลางวัน	19.8	23.6	26.2
เฉลี่ย (เฉพาะวันที่ 2 และ วันที่ 3)	กลางคืน	20.8	23.8	17.8
	กลางวัน	20.0	23.6	25.9

จากการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพของม่านเปียก จะสูงขึ้น 6.43% เมื่อมีการวนกลับของอากาศขึ้นผ่านเพดาน และจะสูงขึ้น $2.5 - 3.5\%$ เมื่อมีการนำชุดเทอร์โมไธฟอนมาใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่ม่านเปียก ดังนั้น หากมีการนำระบบใหม่ คือ การวนกลับของอากาศผ่านเพดาน และการใช้ชุดเทอร์โมไธฟอนในการลดอุณหภูมิของน้ำควบคู่กัน จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยน้ำของม่านเปียกได้สูงถึงประมาณ 10% จากโรงเรือนที่ไม่มีระบบเสริม

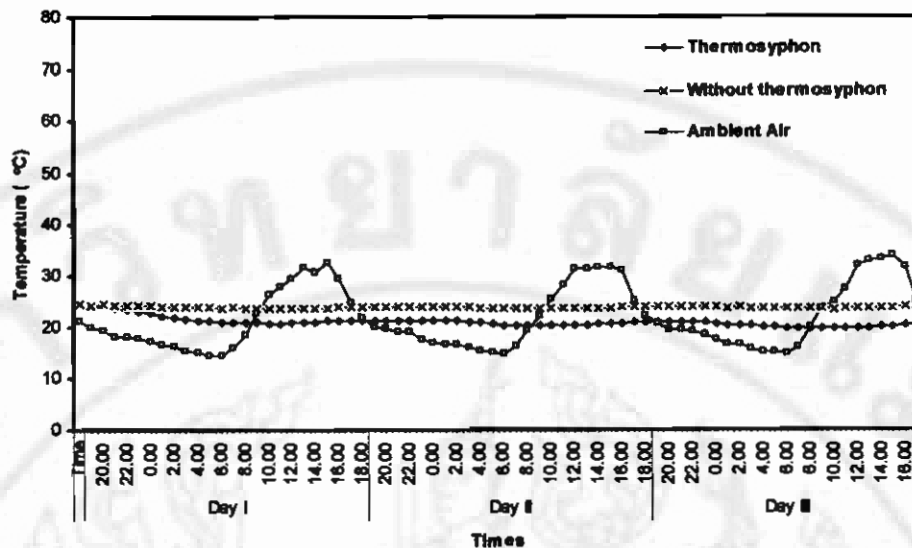
การทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นภายในถังเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นภายในถังเก็บน้ำของระบบการทำงานร่วมกันระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนกับถังเก็บน้ำ พบว่า อุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองเฉลี่ยเท่ากับ 21.80°C มีค่าแตกต่างจากผลการทดสอบ 1°C

โดยที่จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วงตอนกลางคืนอุณหภูมิที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง และเพิ่มขึ้นช่วงกลางวันเวลา 09.00 น. – 16.00 น. เนื่องจากได้รับผลกระทบจากแสงอาทิตย์ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่ถังเก็บน้ำ ซึ่งจากแบบจำลองที่ทำนายไม่ได้คิดผลกระทบจากส่วนของความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิที่ได้จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวัน



รูปที่ 4.32 อุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และอุณหภูมิแวดล้อม



รูปที่ 4.30 อุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำแบบใช้เทอร์โมไซฟอนกับแบบไม่ใช้เทอร์โมไซฟอน
ในถังเก็บน้ำเย็นและอุณหภูมิแวดล้อม

เมื่อเปรียบเทียบผลแบบจำลองกับผลการทดลองกับอุณหภูมิแวดล้อม จะเห็นได้ว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะเกิดจากอุณหภูมิแวดล้อม ซึ่งเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมในตอนกลางคืนลดลง ค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำเย็นและจากแบบจำลองจะมีแนวโน้มที่ลดลง

จากรูปที่ 4.30 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำแบบปกติ กับแบบที่ใช้เทอร์โมไซฟอนในการลดความเย็นของน้ำในตอนกลางคืน พบว่าอุณหภูมิของน้ำในถังปกติจะสูงกว่าอุณหภูมิในบ่อที่ใช้เทอร์โมไซฟอน 2.91°C ซึ่งอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของน้ำในถังปกติและถังที่ใช้เทอร์โมไซฟอน เท่ากับ 23.77°C และ 20.86°C ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมกับน้ำเย็นในบ่อ พบว่า อุณหภูมิในบ่อน้ำปกติมีแนวโน้มในช่วง $23^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$ ส่วนในถังที่มีการใช้เทอร์โมไซฟอนนั้น อุณหภูมิในถังจะต่ำกว่าแบบถังน้ำปกติที่ไม่ใช้เทอร์โมไซฟอน โดยแนวโน้มจะมีค่าลดลงในช่วงตอนกลางคืนและจะเพิ่มขึ้นในช่วงกลางวันตามอุณหภูมิแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นในตอนกลางวัน ซึ่งได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องบริเวณรอบถังเก็บน้ำ

ประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิ (Reduced Temperature Ratio)

อุณหภูมิแวดล้อมบริเวณรอบถังเก็บน้ำ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดความเย็นของเทอร์โมไซฟอน ซึ่งตัวชี้วัดที่ใช้แสดงศักยภาพของการลดอุณหภูมิของน้ำในเทอร์โมไซฟอน ซึ่งพัฒนาโดย ณัฐวุฒิ (2544) พบว่า ค่าเฉลี่ยการลดอุณหภูมิจะเท่ากับ 0.78

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาระบบโรงเรียนระบบทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling ของโรงเรียนกระเจกโดยใช้ Chilled Water Night Cooling โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตรและโรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ดอก ไม้ประดับ

ระบบม่านเปียกแบบเยื่อเซลลูโลสของโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร จะส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรียนต่ำกว่าโรงเรียนกล้วยไม้ดอกและไม้ประดับที่ม่านเปียกแบบไนลอน โดยอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านม่านเปียกอยู่ในช่วง 28 – 29 °C และลดลงเหลือ 22 – 23 °C

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านม่านเปียกของโรงเรียนสำนักสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตรจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรียนต่ำกว่าโรงเรียนกล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ จะเท่ากับ 78.8%RH และ 67.2 % RH ที่อัตราการไหลของอากาศ 27,291.60 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ 40,240.80 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

อัตราการระเหยน้ำของโรงเรียนของสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร และศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ เท่ากับ 13.40 ลิตร/ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปียก สำหรับพัดลมทำงาน 3 ตัว และเท่ากับ 20.13 ลิตร/ชั่วโมง/พื้นที่ม่านเปียก เมื่อพัดลมทำงาน 1 ตัว ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการทำความเย็นของม่านเปียกแบบเยื่อเซลลูโลส ของโรงเรียนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร สูงกว่าโรงเรียนศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ ที่ใช้ม่านเปียกแบบไนลอน เท่ากับ 85.89% และ 76.13% ตามลำดับ มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ย 1 - 1.5 กิโลวัตต์ต่อวันต่อตารางเมตร

ส่วนที่ 2 การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กรณีที่ใช้ระบบน้ำเย็น

ประสิทธิภาพการทำความเย็นของโรงเรือนสูงสุด 80% ที่อุณหภูมิน้ำ 17°C และ 20°C มีอัตราการระเหยน้ำ เท่ากับ 4.78 และ 5.33 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเท่ากับ 7.1 และ 6.6 %RH โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในโรงเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 1.44 และ 1.68 kW-h ตามลำดับ

กรณีที่ใช้ระบบการหมุนเวียนอากาศ (Return Air)

ระบบการนำอากาศที่ปล่อยทิ้งทางด้านพัดลมกลับมาลดอุณหภูมิได้หลังคาเรือน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพของระบบสูงกว่าโรงเรือนสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตรและโรงเรือนกล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ 2.5 – 3.5 % โดยประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด 94.8% ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 17°C แต่จะทำให้อัตราการไหลของอากาศภายในโรงเรือนลดลง เมื่อไม่มีการทำงานของระบบพัดลม บัมพ์น้ำ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนและได้หลังคาจะสูงกว่าแวดล้อม 7.8°C และ 8.9 °C ตามลำดับ

สมรรถนะของโรงเรือนเมื่อไม่มีการวนกลับของอากาศผ่านได้หลังคาแต่มีการทำงานของระบบพัดลมและบัมพ์ พบว่าอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนอยู่ในช่วง 24.4 – 25.21°C ประสิทธิภาพการทำความเย็น 69.16 – 80.31% ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 17, 20, 25 และ 30°C สิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 3.24 – 4.23 วัตต์

สมรรถนะของโรงเรือนที่มีการวนกลับของอากาศทั้งผ่าน พบว่า อุณหภูมิอากาศหลังผ่านม่านเปียกลดลง 4.53 °C เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการวนกลับของอากาศ อุณหภูมิของน้ำเมื่อออกจากม่านเปียกจะมีค่าต่ำลง 4.90 °C และอุณหภูมิอากาศลดลง 3.80 °C ส่วนประสิทธิภาพของม่านเปียกในกรณีที่มีการวนกลับของอากาศผ่านเพดานจะสูงกว่ากรณีที่ไม่มีการวนกลับของอากาศเฉลี่ย 6.43 %

กรณีที่ใช้ชุดเทอร์โมไซฟอนในการลดอุณหภูมิน้ำเย็น

สมรรถนะของโรงเรือนเมื่อใช้เทอร์โมไซฟอนในการลดอุณหภูมิของน้ำ พบว่า มีประสิทธิภาพการระเหยน้ำเพิ่มขึ้น 10% จากระบบเดิมที่ไม่ได้ใช้ เมื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นในบ่อเปรียบเทียบกับถังเก็บน้ำแบบปกติในตอนกลางวัน พบว่า อุณหภูมิของน้ำในถังปกติจะสูงกว่าบ่อที่ใช้เทอร์โมไซฟอน 2.91°C และประสิทธิผลของการลดอุณหภูมิของเทอร์โมไซฟอนในถังน้ำเย็นเท่ากับ 0.78

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การติดตั้งชุดดึงอากาศเย็นกลับคืนทำให้อัตราการไหลของอากาศช้าลง การกระจายอากาศเย็นภายในโรงเรียนไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นระบบดึงอากาศเย็นกลับคืนควรมีพื้นที่หน้าตัดของท่อนำอากาศ และปล่องระบายอากาศออกด้านบนหลังคาควรมีขนาดกว้างขึ้น เพื่อให้การไหลของอากาศเพิ่มขึ้น

2. เนื่องจากระบบบังรังสีอาทิตย์ในโรงเรียนเป็นแบบติดตั้งอย่างถาวร ไม่สามารถปรับตามปริมาณความเข้มรังสีภายนอก ดังนั้น ในช่วงที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ภายนอกมีน้อย จะทำให้ภายในโรงเรียนมีความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเพื่อให้สามารถควบคุมความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ดีขึ้น ควรเพิ่มระบบม่านปิด-เปิดอัตโนมัติตามความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ต้องการควบคุม

เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมพล แชมเพชร (2535). สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่ พิมพ์ครั้งที่ 1 ,โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,หน้า 18-42
- เสาวภรย์ บัวเล็ก (2539). การใช้พลาสติกในการเกษตร: พลาสติกสำหรับโรงเรือนปลูกพืช, วารสาร Mtec เดือน มิถุนายน, หน้า 12-15
- ณรงค์พล สุทธะพินทุ และ ยุทธนา หาญมหัจฉริยะ (2530). การลดความร้อนด้วยระบบน้ำฝอย ณ, สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ญาณินณ สิทธิขจร และ อานนท์ คำดวงดาว (2542). การปรับปรุงและทดสอบระบบการให้ความเย็นแก่โรงเรือนเพาะชำโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำ, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พรชัย สุวัฒน์เมฆินทร์ (2546). การศึกษาสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบสัมผัสและระเหยโดยตรง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริชัย เทพา , กฤษณพงศ์ กิรติกร และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2526). การวัดอุณหภูมิห้องฟ้าและความเป็นไปได้ของการทำความเย็นและปรับอากาศโดย Radiative Cooling, การประชุมวิชาการครั้งที่ 4, ผลงานนอกแบบและการประยุกต์, สมาคมไทยญี่ปุ่นดินแดง (ไทย-ญี่ปุ่น) - สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 16-13 มีนาคม 2526, หน้า ๙.87-๙.98.
- จุมลพล ประสมทรัพย์ ,(2541). การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำทำความเย็นในโรงเรือนดอกไม้โดยใช้เทคนิคการทำความเย็นแบบระเหย,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 90หน้า
- Dussadee, N. (2002). Design of Heat Pipe for Reduction of Heat Accumulation in a Thermosyphon Paddy Bulk Storage, Ph.D. Dissertation, The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Fukuda M., F. Tsuchiya., K.Ryokai., M. Mochizuki, and K.Mashiko. (1993). "Development of an artificial permafrost storage using heat pipes". Proceedings of 7th International Heat Pipe Conference, Vol. 2, Begell House, U.S.A., pp.305-317.

- Foster, R.E. (1996). Evaporative Air Conditioning Fundamentals: Environmental & Economic Benefits Worldwide, Proceeding of the International Institute of Refrigeration Conference, Denmark, pp.1.6-1.10.
- Josef Tanny and Shabtai Cohen , (2002). Screenhouse Microclimate and ventilation an Experimental
- G.Desmarais and C.Ratti, 1998, Heat transfer Modelling of screenhouses , McGill University, Canada
- Kiatsirirot T., N. Lakdee and T. Roongrojwattana., (1998). "Heat Extraction from ground with heat pipes". 12th Mechanical Engineering Seminar, Chulalongkorn University, November, Bangkok, Thailand.
- Kiatsirirot T. and N. Dussadee., (2001). "Reduction of Heat Accumulated in Thermosyphon-Paddy Bulk Storage". Int. J. Ambient Energy, Vol.22, No.1, pp.12-18.
- Lee Y. and C.Z. Wu., (1993). "Use of two-phase closed thermosyphon in concrete curing process: comparison of analysis and experiment ". Proceedings of 7th International heat pipe conference, Vol. 2, Begell House, U.S.A., pp.319-325.
- Mastalerz, J.W. (1977). Evaporative Cooling, P20-29. In : Mastalerz, J.W. The Greenhouse Environment. United State of America : The Pennsylvania State University.
- Rossel H.W, 1979, A New and economical screenhouse for virus research in topical areas, FAO. Plant Protect, Bull, pp.74-76
- Simmons, J.D. and Lott, B.D., (1996). "Evaporative Cooling Performance Resulting From Changes In Water Temperature," Applied Engineering in Agriculture, Vol.12, No.4, pp.497-500
- Williams, G.S. and Shumack, R.L. (1983). Cooling Greenhouse. In: Williams, G.S.; Shumack, R.L. , Greenhouse flowers and bedding plants for Agribusiness studies. United State of American : The interstate Printer & Publishers, Inc.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในโรงเรียนของสำนักงานวิจัยฯ และศูนย์กล้วยไม้ฯ

เวลา	สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร								ศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ							
	อุณหภูมิอากาศ ภายในโรงเรียน		อุณหภูมิอากาศม่านเปียก				อุณหภูมิน้ำม่าน เปียก		อุณหภูมิอากาศ ภายในโรงเรียน		อุณหภูมิอากาศม่านเปียก				อุณหภูมิน้ำม่าน เปียก	
			เช้า		ออก						เช้า	ออก	เช้า		ออก	
db.	wb.	db.	wb.	db.	wb.	db.	wb.	db.	wb.							
9:00	24.06	22.00	20.80	16.70	23.25	20.69	20.10	19.50	22.52	20.17	20.25	16.00	22.50	18.63	20.93	21.50
9:30	22.32	21.25	22.23	18.07	20.48	20.03	19.47	17.33	24.11	21.38	20.75	16.00	24.06	19.75	20.43	18.50
10:00	22.55	21.17	24.07	18.70	21.47	19.93	18.77	17.40	27.20	23.50	23.83	16.83	25.25	23.58	20.30	19.00
10:30	26.91	23.03	25.07	19.37	25.61	21.17	19.17	19.03	22.82	20.06	24.67	17.67	21.08	19.42	20.63	19.67
11:00	23.26	21.22	27.27	20.03	21.18	19.77	19.43	18.67	23.57	20.03	26.67	18.33	20.46	18.92	19.67	18.83
11:30	25.24	22.98	28.37	21.13	21.44	20.65	19.57	18.50	23.80	20.69	27.67	19.00	21.13	19.38	20.07	19.00
12:00	24.02	21.86	29.00	21.27	21.36	20.25	19.77	19.33	24.74	20.92	29.67	19.50	21.79	19.42	19.60	19.17
12:30	24.53	22.17	30.17	21.23	21.75	20.51	19.83	19.83	25.44	21.11	31.00	19.83	22.17	19.67	19.90	19.33
13:00	24.96	22.28	30.70	21.60	22.32	20.83	20.43	20.50	25.46	21.19	32.00	19.83	22.29	19.96	20.13	19.67
13:30	25.02	22.11	31.03	21.40	22.08	20.47	20.70	20.33	25.7/4	21.44	32.33	19.83	22.88	19.83	20.50	19.67
14:00	24.67	21.78	30.60	21.75	21.78	20.20	20.50	19.83	25.82	21.17	32.67	20.00	22.75	19.67	20.13	19.00
14:30	24.61	21.56	30.90	21.55	21.82	20.30	20.60	19.75	25.66	20.92	33.67	19.67	22.50	19.13	19.57	18.83
15:00	24.29	21.38	31.17	21.23	21.72	20.00	20.40	19.67	25.60	20.50	33.33	19.50	22.29	19.21	19.57	18.83
15:30	23.94	21.08	31.93	21.07	21.33	19.80	20.00	19.25	25.24	20.06	32.67	19.83	22.33	18.96	19.15	18.50
16:00	25.54	21.99	29.95	21.35	23.17	20.23	20.13	20.00	23.41	19.72	32.67	18.83	21.33	18.54	19.95	18.50

ตารางที่ ก.2 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศ ณ จุดต่างๆ ของโรงเรียนสำนักงานวิจัยฯ
และศูนย์กล้วยไม้ฯ

เวลา	สำนักวิจัย และส่งเสริมวิชาการเกษตร			ศูนย์กล้วยไม้ดอกและไม้ประดับ		
	อากาศ แวดล้อม	หลังผ่าน ม่านเปียก	ภายใน โรงเรือน	อากาศ แวดล้อม	หลังผ่าน ม่านเปียก	ภายใน โรงเรือน
9:00	66.9	79.7	82.8	65.0	69.9	81.1
9:30	67.4	92.2	88.0	61.6	68.1	79.0
10:00	61.3	87.7	87.8	45.3	64.7	71.4
10:30	61.0	69.2	71.4	50.4	86.5	73.5
11:00	52.5	88.6	75.0	45.0	86.8	69.3
11:30	57.7	93.5	84.9	45.1	85.1	70.0
12:00	51.3	90.9	83.0	39.1	80.3	63.7
12:30	45.6	89.6	80.2	35.4	79.7	64.6
13:00	45.1	87.9	78.8	32.2	81.2	65.0
13:30	43.4	86.7	68.9	31.0	75.7	61.6
14:00	46.1	86.9	77.4	30.8	75.2	62.8
14:30	43.9	87.0	77.1	26.5	73.2	62.6
15:00	41.3	85.8	77.4	26.7	75.5	60.8
15:30	38.2	86.9	78.2	28.5	73.1	60.7
16:00	46.9	77.3	71.1	26.6	76.9	61.8
เฉลี่ย	51.2	86.0	78.8	39.3	76.8	67.2



ภาคผนวก ข

ตาราง ข.1 ข้อมูลโรงเรียนขณะที่ไม่มีการทำงานของระบบ

Time	อุณหภูมิอากาศ		อุณหภูมิอากาศในโรงเรียน					อุณหภูมิอากาศบนเพดาน					อุณหภูมิดิน				Wall Temp		Roof Temp		Solar I (W/sq-m)				
	อากาศ แวดล้อม		หน้า	กลาง		หลัง	Av (db)	หน้า	กลาง		หลัง	Av (db)	1	2	3	Av.	N	S	N	S	หน้า	กลาง	หลัง	Av.	Amb
	db	wb																							
9:00	28.5	26.0	33.5	33.5	26.0	33.5	33.5	43.8	41.9	28.5	44.5	43.4	25.5	25.8	25.7	25.7	26.7	33.5	36.6	43.3	32.0	37.0	37.0	35.3	660.0
9:20	29.0	26.0	34.0	34.0	27.0	34.0	34.0	49.2	44.5	29.6	48.1	47.3	27.3	27.6	27.5	27.5	27.2	34.0	40.5	47.3	33.0	38.0	38.0	36.3	670.0
9:40	28.5	24.9	36.5	36.0	27.0	35.0	35.8	51.2	43.5	29.5	44.5	46.4	27.3	27.4	27.4	27.4	29.0	35.8	39.6	46.4	27.0	33.0	33.0	31.0	705.0
10:00	27.5	25.0	35.9	36.0	28.0	36.0	36.0	49.9	42.3	28.9	44.8	45.7	27.6	27.7	27.7	27.7	29.2	36.0	37.9	44.7	27.0	35.0	35.0	32.3	750.0
10:20	30.0	25.0	39.0	40.0	28.5	39.0	39.3	53.7	49.5	29.6	51.8	51.7	25.8	26.2	26.0	26.0	32.5	39.3	44.9	51.7	34.0	38.0	38.0	36.7	680.0
10:40	28.9	24.9	38.8	39.8	28.0	39.0	39.2	56.4	49.0	28.7	48.9	51.4	26.2	26.1	26.2	26.2	32.4	39.2	44.6	51.4	37.0	58.0	58.0	51.0	794.0
11:00	31.8	26.0	36.9	39.0	28.0	39.0	38.3	55.8	44.8	28.8	45.8	48.8	25.8	26.1	26.0	26.0	31.5	38.3	42.0	48.8	57.0	55.0	55.0	55.7	848.0
11:20	31.0	26.0	38.0	38.0	28.0	38.0	38.0	50.3	45.1	29.7	45.1	46.8	27.8	28.0	27.9	27.9	31.2	38.0	40.0	46.8	54.0	65.0	65.0	61.3	865.0
11:40	31.0	25.0	44.0	45.0	29.0	44.5	44.5	29.8	53.2	30.7	54.5	45.8	26.1	26.4	26.3	26.3	37.7	44.5	39.0	45.8	47.0	58.0	58.0	54.3	805.0
12:00	31.0	25.5	45.0	46.0	30.0	45.5	45.5	60.3	53.1	30.0	54.1	55.8	26.1	26.0	26.1	26.1	38.7	45.5	49.0	55.8	61.0	67.0	67.0	65.0	924.0
12:20	31.0	25.5	43.5	45.0	29.0	43.0	43.8	56.7	52.3	30.3	53.4	54.1	25.7	26.1	25.8	25.9	37.0	43.8	47.4	54.2	60.0	63.0	63.0	62.0	920.0
12:40	31.0	25.9	40.0	41.0	28.0	41.0	40.7	55.6	44.7	28.6	44.8	48.4	26.4	26.3	26.4	26.4	33.9	40.7	41.6	48.4	58.0	56.0	59.0	57.7	888.0
13:00	32.0	26.0	43.0	44.0	28.6	43.5	43.5	55.5	48.7	30.0	50.0	51.4	25.6	25.9	25.8	25.8	36.7	43.5	44.6	51.4	30.0	36.0	36.0	34.0	792.0
13:20	32.0	26.0	41.0	41.0	28.0	41.0	41.0	57.8	42.6	38.7	53.6	51.3	27.0	27.1	27.1	27.1	34.2	41.0	47.9	54.7	31.0	40.0	40.0	37.0	796.0

ตาราง ข.1 ข้อมูลโรงเรียนขณะที่ไม่มีการทำงานของระบบ (ต่อ)

Time	อุณหภูมิอากาศ		อุณหภูมิอากาศในโรงเรียน					อุณหภูมิอากาศบนเพดาน					อุณหภูมิดิน				Wall Temp		Roof Temp		Solar I (W/sq-m)				
	อากาศ แวดล้อม		หน้า	กลาง		หลัง	Av (db)	หน้า	กลาง		หลัง	Av (db)	1	2	3	Av.	N	S	N	S	หน้า	กลาง	หลัง	Av.	Amb
	db	wb																							
13:40	33.0	25.9	43.5	44.0	29.0	44.0	43.8	59.7	54.1	38.9	55.1	56.3	26.2	29.3	26.3	27.3	37.0	43.8	49.5	56.3	21.0	38.0	38.0	32.3	822.0
14:00	31.0	25.5	36.0	36.0	26.8	36.0	36.0	48.1	39.9	28.7	40.1	42.7	27.8	27.8	27.8	27.8	29.2	36.0	35.9	42.7	27.0	32.0	32.0	30.3	757.0
14:20	32.0	26.0	40.5	40.5	27.5	40.5	40.5	49.6	44.1	28.0	44.9	46.2	28.5	27.5	27.5	27.8	33.7	40.5	35.4	46.2	28.0	30.0	30.0	29.3	633.0
14:40	35.0	26.0	41.0	41.0	27.5	40.5	40.8	52.2	50.5	29.3	51.6	51.4	26.9	27.1	27.0	27.0	34.0	40.8	44.6	51.4	25.0	36.0	36.0	32.3	625.0
15:00	32.0	25.0	36.5	36.5	26.0	36.0	36.3	44.6	40.7	28.1	41.4	42.2	28.7	28.6	28.6	28.6	29.5	36.3	35.4	42.2	24.0	42.0	42.0	36.0	656.0
15:20	38.0	25.0	39.0	39.0	26.5	39.0	39.0	46.3	44.2	27.4	44.7	45.1	26.8	27.1	27.0	27.0	32.2	39.0	38.3	45.1	18.0	20.0	20.0	19.3	588.0
15:40	34.0	25.5	37.0	37.5	26.5	37.5	37.3	46.8	44.2	2.4	45.2	45.4	28.0	28.2	26.1	27.4	30.5	37.3	38.6	45.4	10.0	13.0	13.0	12.0	572.0
16:00	34.0	25.0	37.0	37.0	26.0	37.0	37.0	42.9	40.7	27.2	41.8	41.8	27.4	27.7	27.6	27.6	30.2	37.0	35.0	51.8	10.0	11.0	12.0	11.0	483.0