



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง วิเคราะห์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำเมื่อใช้ระบบดึง
ความเย็นกลับคืนร่วมกับระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์
PERFORMANCE ANALYSIS OF EVAPORATIVE COOLING WITH COOLNESS
RECOVERY SYSTEM AND HEATING COOLING WATER ASSISTED IN ANIMAL
HOUSES

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2549
จำนวน 550,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายณัฐวุฒิ ดุษฎี
ผู้ร่วมโครงการ นายอดิพงษ์ นันทพันธุ์
นายประภากร ธาธาดาย
ที่ปรึกษาโครงการ นายชูรัตน์ ธาธารักษ์
นายทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์
29 ธันวาคม 2551

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
เลขเรียกหนังสือ	
ว	
B: 229764	697.92
190321	

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาโครงการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ เมื่อใช้ระบบดึงความเย็นกลับคืนร่วมกับระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ทาง คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2549 และต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานที่ให้การ สนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการจัดเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

- โรงเรือนฟาร์มไก่ของบริษัททุ่งเรืองฟาร์ม ต.แม่แฝก อ.สันทราย จ.เชียงใหม่
- โรงเรือนฟาร์มไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่
- โรงเรือนฟาร์มไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่
- โรงเรือนฟาร์มสัตว์ปีก สาขาสัตว์ปีก ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่าง ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง และขอขอบคุณภาควิชา พืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนพื้นที่ในการดำเนินงานของ คณะผู้วิจัยในโครงการนี้

คณะผู้วิจัย

ณัฐวุฒิ ดุษฎี	หัวหน้าโครงการ
อดิพงษ์ นันทพันธ์	ผู้ร่วมโครงการ
ประภากร ธาราฉาย	ผู้ร่วมโครงการ
ชูรัตน์ ธารารักษ์	ที่ปรึกษาโครงการ
ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	ที่ปรึกษาโครงการ

รฟ 697.92 ณ361๗

ณัฐวุฒิ ดุษฎี

วิเคราะห์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำเมื่อใช้

35001002109450

สารบัญเรื่อง

	หน้า
สารบัญเรื่อง	ก
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
อักษรย่อและสัญลักษณ์	iv
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.1.1 การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการความเย็นแบบ Evaporative cooling ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	3
1.1.2 การผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นโดยใช้ตัวรับรังสีแบบท่อความร้อนสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	4
1.1.3 การประหยัดพลังงานโดยใช้ Coolness recovery system ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	6
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ	8
1.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
1.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling โรงเรือนเลี้ยงสัตว์	8
1.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบการดึงความเย็นทิ้งกลับคืน	13
1.4.3 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบท่อความร้อน	13
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling	17
2.2 กรอบแนวความคิดพัฒนาระบบโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดแบบประหยัดพลังงานไฟฟ้า	21

สารบัญเรื่อง

	หน้า
2.3 การประเมินสมรรถนะต่อความร้อนของระบบผลิตน้ำเย็น และน้ำร้อน	21
2.3.1 สมรรถนะต่อความร้อนระบบผลิตน้ำเย็น	21
2.3.2 สมรรถนะต่อความร้อนระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์	24
2.3.3 สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน	25
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	26
3.1.1 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling โรงเรือนเลี้ยงสัตว์	26
3.1.2 การออกแบบและสร้างตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อน สำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	26
3.1.3 การเลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดสอบสมรรถนะของโรงเรือนจริง	28
3.1.4 พัฒนาและปรับปรุงระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นต้นแบบสำหรับใช้งานจริง โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากขั้นตอนที่ 3.1.1 - 3.1.3	28
3.1.5 ติดตั้งอุปกรณ์ระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น โดยใช้ท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไครโฟน และระบบดึงความเย็นกลับคืนกลับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิด	29
3.1.6 การทดสอบระบบประหยัดพลังงาน	29
3.1.7 สรุปผลการศึกษา และเขียนรายงาน เผยแพร่ผลงานทางด้านวิชาการ	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	29
3.2.1 ลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ใช้ในงานวิจัย	29
3.2.2 เครื่องมือวัดสำหรับงานวิจัย	30

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การประเมินสมรรถนะโรงเรียนเลี้ยงสัตว์แบบเดิมที่ทำความเย็นแบบระเหย	32
4.1.1 คุณลักษณะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ที่ทดสอบ	32
4.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์	33
4.2 การพัฒนาระบบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไคพอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น	42
4.2.1 ลักษณะตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อน	42
4.2.2 ผลการทดสอบการตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไคพอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น	43
4.2.3 การทดสอบสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียก (Wetted media)	44
4.2.4 การประเมินอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน	46
4.3 การพัฒนาโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ที่ติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น	48
4.3.1 การพัฒนาโรงเรียนเลี้ยงสัตว์	48
4.3.2 การติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นใช้ท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไคพอน	51
4.4 การทดสอบสมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์เมื่อติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น	53
4.4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบระบบทำความเย็นในโรงเรียนเลี้ยงสัตว์โดยไม่มีและมีระบบหมุนเวียนน้ำที่พื้นโรงเรียน	53
4.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบระบบทำความเย็นในโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ที่ใช้ระบบน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์	54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุป	55
5.1 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงช่วงอุณหภูมิของอากาศที่สุกรอยู่สบาย	2
ตารางที่ 1.2	เปรียบเทียบคุณประโยชน์การเลี้ยงไก่ในโรงเรือนปิดและโรงเรือนเปิด	10
ตารางที่ 1.3	อัตราเร็วลมผ่าน Wetted media	12
ตารางที่ 1.4	อัตราการป้อนน้ำ Wetted media และขนาดของถังเก็บน้ำที่เหมาะสม	12
ตารางที่ 2.1	สมรรถนะของการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling	20
ตารางที่ 4.1	คุณลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ 3 แห่งที่ใช้ประเมินสมรรถนะ	33
ตารางที่ 4.2	เปรียบเทียบผลการทดสอบโรงเรือนต่างๆ	35
ตารางที่ 4.3	คุณลักษณะของตัวรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไครฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น	43
ตารางที่ 4.4	คุณลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ทำติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไครฟอน	49

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2542	3
ภาพที่ 1.2	ระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling โดยป้อนน้ำเย็นให้ Wetted media ในเวลากลางวัน และป้อนน้ำร้อนในช่วงกลางคืน	4
ภาพที่ 1.3	ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไโฟนอน	5
ภาพที่ 1.4	ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไโฟนอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น	5
ภาพที่ 1.5	แนวคิดการทำงานของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบประหยัดพลังงาน โดยใช้ระบบน้ำเย็น-น้ำร้อนและระบบดึงความร้อนทั้งกลับคืน	7
ภาพที่ 1.6	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบ Evaporative cooling	9
ภาพที่ 1.7	การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนเปิดและโรงเรือนปิด	11
ภาพที่ 1.8	การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเปิดและโรงเรือนปิด	11
ภาพที่ 1.9	การดึงความร้อนจากดินโดยใช้ท่อความร้อนสำหรับทำห้องเย็นเก็บผลผลิตทางการเกษตร	14
ภาพที่ 1.10	การดึงความร้อนสะสมในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อน	15
ภาพที่ 2.1	ระบบทำความเย็นแบบ direct evaporative cooling	17
ภาพที่ 2.2	ระบบทำความเย็นแบบ Indirect evaporative cooling	18
ภาพที่ 2.3	การทำความเย็นแบบ Direct / indirect Evaporative cooling บนแผนภูมิอากาศชื้น	19
ภาพที่ 2.4	ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/direct evaporative cooling	19
ภาพที่ 2.5	อุณหภูมิน้ำเย็นตามลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อน	23
ภาพที่ 2.6	กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น	25
ภาพที่ 3.1	อุปกรณ์สำหรับหาสมรรถนะของเทอร์โมไโฟนอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น	27
ภาพที่ 3.2	อุปกรณ์ทดสอบ Wetted media เมื่อป้อนน้ำเย็น และน้ำอุ่น	28
ภาพที่ 3.3	อุปกรณ์ทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับดึงความร้อนกลับคืน	28
ภาพที่ 3.4	โรงเรือนที่ใช้ทดสอบ	30
ภาพที่ 3.5	เทอร์โมคัปเปิลชนิด K	30
ภาพที่ 3.6	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Memmert รุ่น DO 6057	31

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 3.7	เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบคล่องสาย	31
ภาพที่ 3.8	เครื่องวัดความเร็วลม	31
ภาพที่ 4.1	แสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในโรงเรือนมหาวิทยาลัยแม่โจ้	34
ภาพที่ 4.2	อุณหภูมิน้ำก่อนและหลังผ่านม่านเปียกของโรงเรือน	36
ภาพที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน	37
ภาพที่ 4.4	การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่ทดสอบ	38
ภาพที่ 4.5	การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือน	39
ภาพที่ 4.6	การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนไก่พ่อแม่พันธุ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้	40
ภาพที่ 4.7	ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น	43
ภาพที่ 4.8	ผลการทดสอบการผลิตน้ำเย็นโดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน	44
ภาพที่ 4.9	อุปกรณ์และการทำงานของอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบ	45
ภาพที่ 4.10	อัตราการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียก (Wetted media)	46
ภาพที่ 4.11	อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	47
ภาพที่ 4.12	ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	47
ภาพที่ 4.13	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพื้นที่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	48
ภาพที่ 4.14	ฟาร์มสัตว์ปีก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้	49
ภาพที่ 4.15	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบใหม่ที่มีการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น	50
ภาพที่ 4.16	ลักษณะแผง Condenser และ Evaporator	51
ภาพที่ 4.17	การทำงานของโรงเรือนเมื่อติดตั้งระบบน้ำร้อนและน้ำเย็น	52
ภาพที่ 4.18	การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนระบบไหลเวียนน้ำที่พื้นโรงเรือน	53
ภาพที่ 4.19	อุณหภูมิภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์เมื่อใช้ระบบน้ำร้อนหมุนเวียนพื้นโรงเรือน	54

**วิเคราะห์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำเมื่อใช้ระบบดึง
ความเย็นกลับคืนร่วมกับระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF EVAPORATIVE COOLING WITH
COOLNESS RECOVERY SYSTEM AND HEATING COOLING
WATER ASSISTED IN ANIMAL HOUSES**

โดย

**ณัฐวุฒิ ดุษฎี อติพงศ์ นันทพันธุ์ ประภากร ธาราณัฐ ชูรัตน์ ธารารักษ์
ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์**

**NATTHAWUD DUSSADEE, ATIPONG NANTAPHAN, PRAPAKORN
TARACHAI, CHURAT TARARUK AND TANONGKIAT KIATSIRIROAT**

ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้ระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นโดยใช้ระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อน โดยกลางวันระบบจะทำหน้าที่ในการผลิตน้ำร้อนและกลางคืนจะผลิตน้ำเย็น การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาสมรรถนะของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่มีอยู่แล้วเพื่อหาตัวแปรในการออกแบบโรงเรือนที่จะใช้กับระบบน้ำร้อนและน้ำเย็น ส่วนที่ 2 เป็นการพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อน ติดตั้งและทดสอบสมรรถนะกับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ที่มีการเดินระบบท่อน้ำที่พื้นโรงเรือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือน

การวิจัยในส่วนที่ 1 ได้ทดสอบกับโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่ของเอกชนเปรียบเทียบกับโรงเรือนเลี้ยงไก่ของฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนอยู่ในช่วง $26.7-28.8^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $76.2-85.1\%$ โรงเรือนของเอกชนจะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่าโรงเรือนของมหาวิทยาลัยประมาณ 8.9% และมีการสิ้นเปลืองการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า 50.6% โรงเรือนมีการติดตั้งพื้นที่ม่านเปียกต่อพื้นที่โรงเรือน $0.021-0.036\text{ m}^2/\text{m}^2$ อัตราการไหลอากาศจำเพาะต่อพื้นที่โรงเรือน $28.3-58.3\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการทำความเย็น $85.1-87.3\%$ ผลการศึกษาในส่วนที่ 2 พบว่าระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนใช้ R22 เป็นสารทำงาน สามารถลดอุณหภูมิน้ำปริมาตรถังเก็บ $1,000$ ลิตร จากอุณหภูมิ 30°C เหลือ 26°C ภายใน 12 ชั่วโมง (ช่วงกลางวัน) สามารถลดอุณหภูมิน้ำได้ต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำปกติประมาณ 2.6°C และผลิตน้ำร้อนได้ในช่วงอุณหภูมิ $48-52^{\circ}\text{C}$ ภายในช่วงเวลา $8-10$ ชั่วโมง (กลางคืน)

ผลการทดสอบอัตราการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียกพบว่าเมื่อลดอุณหภูมิน้ำเย็นจาก 24.8°C เหลือ 14.8°C ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียกจะเพิ่มขึ้น 27.8% ผลการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำที่พื้นโรงเรือน พบว่าระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำสามารถลดอุณหภูมิโรงเรือนได้ต่ำกว่าโรงเรือนที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำและควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ต่ำกว่า มีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงกว่า 8.6% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์อากาศในโรงเรือนที่ต่ำกว่าจะมีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์มากกว่า และประสิทธิภาพโรงเรือนที่สูงกว่าทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนลงได้

Abstract

The main objective of this research was to study the performance of evaporative cooling that used heating cooling water produced by solar energy which functioned to produce heat during midday and coolness during midnight. This study was divided into two parts: (1) study of the performance of existing animal houses in order to determine the variables in designing animal houses utilizing heating cooling water; and (2) to develop the production system for heating cooling water through heating pipes constructed and tested for their performance in animal houses using ground water pipes

to increase the efficiency of heat conveyance and distribution of temperature within the animal house.

Experiment 1. This trial was conducted in private chicken laying houses in comparison with poultry houses of Maejo University Farm. Results showed that evaporative cooling was able to control the atmospheric temperature in animal houses at 26.7-28.8°C, relative humidity at 76.2-85.1%. Further results indicated that private animal houses were less able to control the relative humidity than the animal houses in MJU Farm at about 8.9% and had lower energy consumption at 50.6%. The animal houses constructed wet screen per area at 0.021-0.036 m²/m². Rate of expelled air per house area was 28.3-58.3 m³/h/m². In addition, it was found that the efficiency for cooling was 85.1-87.3%.

Experiment 2. Results indicated that production of heating cooling water through heating pipes by using thermosiphon R22 as working substance, was able to reduce the temperature of 1,000 liter water tank from 30°C to 26°C within a period of 12 hours (during midnight). It was able to reduce the water temperature from normal level at about 2.6°C and produce hot water at 48-52°C within a period of 8-10 hours (midday).

Test results on the rate of heat conveyance of wet sheet showed that when the temperature of cool water from 24.8°C to 14.8°C, the conveyance rate was increased at 27.8%. The installation of rotation system for ground water in the animal house showed that the water rotation system was less able reduce the temperature of animal houses as compared with animal houses having no such system and was also less able to control the relative humidity. In addition, it has cooling efficiency of more than 8.6%, in which the low relative humidity of air in the animal houses was more appropriate for raising animals and the high efficiency of the animal houses was able to reduce the expenses on electrical energy.

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	รายได้เฉลี่ยต่อปี	บาท
A_p	พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือน	m^2
C_{pa}	ความจุความร้อนของอากาศภายในโรงเรือน	$kJ/kg\ K$
h_w	เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปกติใช้ค่า h_w ของไอ	
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
$\dot{m}_{aout}$	ปริมาตรอากาศที่ดูดออกจากโรงเรือน	m^3/s
n	อายุการใช้งานของอุปกรณ์	ปี
P	เงินลงทุน	บาท
Q	อัตราไหลโดยปริมาตร	cfm
T_{db1}	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ	$^{\circ}C$
T_{db2}	ก่อนและหลังผ่าน Wetted media	$^{\circ}C$
T_{wb1}	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ	$^{\circ}C$
T_a	อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือน	K
t	เวลา	วินาที
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 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบระบายน้ำ หรือระบบปิด (Evaporative cooling) เป็นเทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบดึงอากาศในอัตราที่สูง โดยในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิด 1 โรงต้องใช้พัดลมดูดอากาศถึง 5-8 ตัว โดย 3 ตัวแรกเปิดทำงานตลอดเวลา ตัวที่ 4 จะเปิดเมื่ออุณหภูมิถึง 80 °F และตัวที่ 5 จะเปิดเมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนถึง 82 °F (ประภากร, 2538) ในกรณีที่ใช้พัดลม 8 ตัวจะตั้งอุณหภูมิทำงานของเทอร์โมสตัทดังนี้ 62 72 74 76 78 80 82 และ 84 °F ตามลำดับ สำหรับโรงเรือนปิดสำหรับเลี้ยงไก่ไข่ความจุ 4,800 ตัว จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าถึง 2,719.72 หน่วย/เดือน (ปิยธิดาและสุชีรา, 2542)

โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดต้องสามารถควบคุมคุณสมบัติอากาศให้เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์ตลอดเวลา สำหรับไก่ไข่อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วงการปลดไข่จะอยู่ในระหว่าง 21-24 °C และความชื้นอยู่ในช่วง 60-80 % ความเร็วลมเฉลี่ยในโรงเรือนควรอยู่ในช่วง 0.76-1.27 m/s (ประภากร, 2538) อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะทำให้มีผลกระทบต่ออาการปลดไข่ของไก่ ถ้าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะเกิดปรากฏการณ์ Cooling effect และถ้าอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ไก่เกิดความเครียด สำหรับสัตว์ประเภทอื่นๆ ที่เลี้ยงโดยใช้โรงเรือนระบบปิดสภาพอากาศที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 1

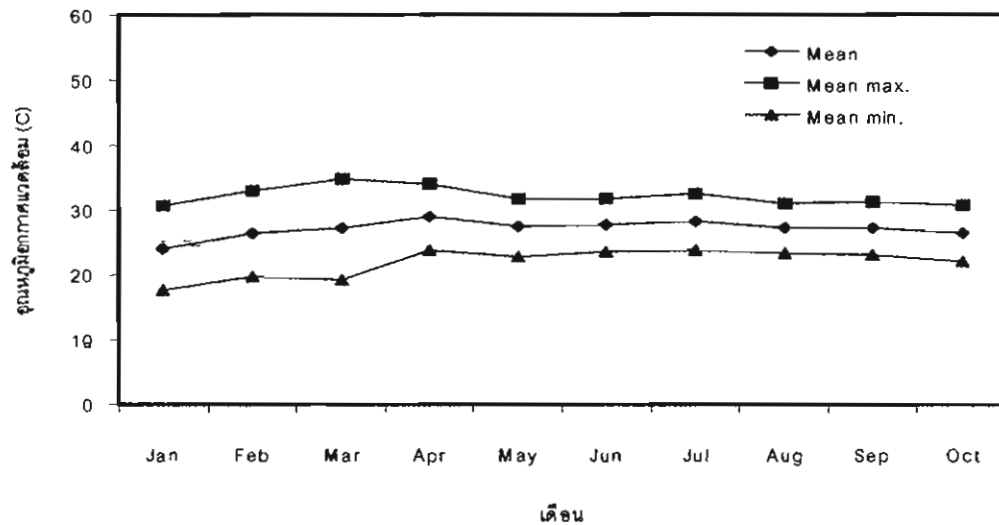
ตารางที่ 1.1 แสดงช่วงอุณหภูมิของอากาศที่สุกรอยู่สบาย

ประเภทสุกร	อุณหภูมิที่เหมาะสม (°C)	อุณหภูมิวิกฤตต่ำสุด (°C)
ลูกสุกรดูดนม	32-35	29
สองสัปดาห์แรกหลังหย่า (4.5-6.8 กก.)	29-32	27
สัปดาห์ที่ 3 และ 4 (6.8-11.3 กก.)	24-29	21
สองสัปดาห์แรกของการขุน (11.3-22.7 กก.)	21-27	18
สัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของการขุน (22.7-27.2 กก.)	18-24	15.6
สุกรรุ่น (22.7-68.0 กก.)	15.6-21	12
แม่พันธุ์อุ้มท้อง	15.6-24	12
แม่พันธุ์เลี้ยงลูก	15.6-18	12

ที่มา: สุกุล (2544)

สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะภาคเหนืออุณหภูมิอากาศแวดล้อมในช่วงกลางคืนจะต่ำและกลางวันจะสูงโดยจะมีความแตกต่างกันในช่วงกลางวันและกลางคืน 10-15 °C ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ดังนั้นในช่วงเวลากลางวันควรลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน แต่ในช่วงกลางคืนอากาศเย็นเกินไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูหนาวไม่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะกรณีที่เป็นสัตว์อ่อน หรือไก่ไข่ในช่วงปลดไข่

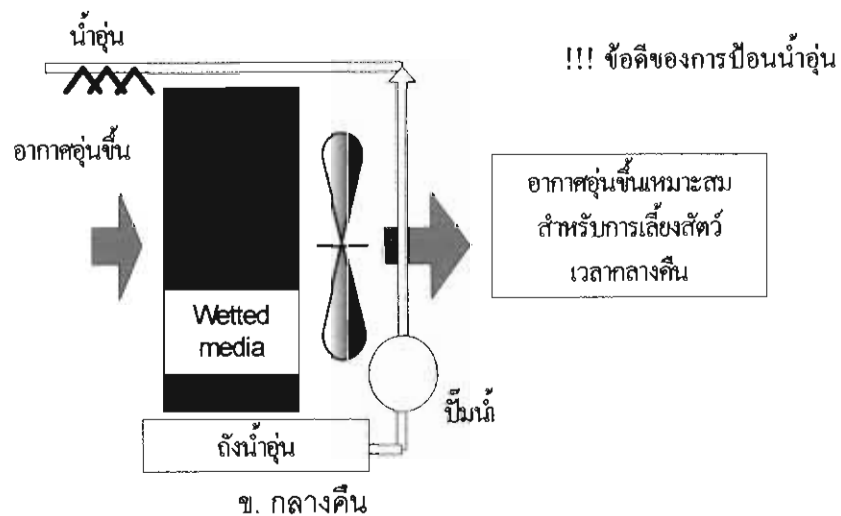
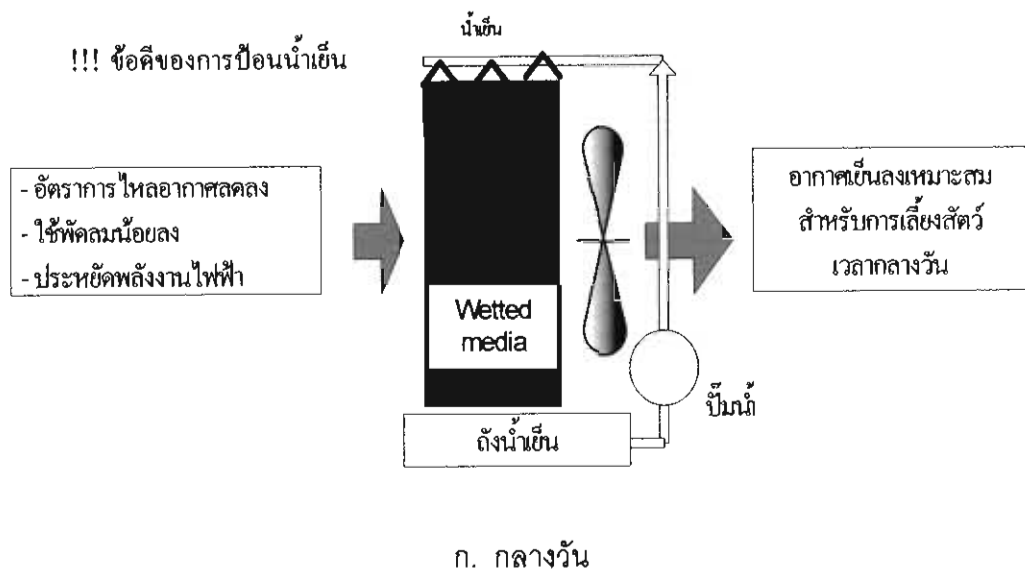
ดังนั้นจะเห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์เป็นสิ่งจำเป็นแต่ระบบการเลี้ยงสัตว์ด้วยโรงเรือนปิดดังกล่าวมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงนอกจากนั้นแล้วบางช่วงเวลายังไม่สามารถที่จะควบคุมสภาวะอากาศให้เหมาะสมได้เช่นในช่วงเวลากลางคืนสำหรับโรงเรือนสัตว์อ่อนที่ต้องการอุณหภูมิสูงแต่อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำเป็นต้น



ภาพที่ 1.1 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2542
ที่มา : อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ

1.1.1 การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการความเย็นแบบ Evaporative cooling ของ โรงเรือนเลี้ยงสัตว์

แนวทางหนึ่งที่จะควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบปิดให้เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์ คือการลดอุณหภูมิน้ำสำหรับป้อน Wetted media ของระบบ Evaporative Cooling สำหรับช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูง และในช่วงเวลากลางคืนซึ่งอากาศเย็นมากๆ ก็ใช้การพ่นน้ำอุ่นอากาศก่อนผ่าน Wetted media จะสามารถทำให้ควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนได้เหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับการเลี้ยงสัตว์ทั้งช่วงอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 1.2



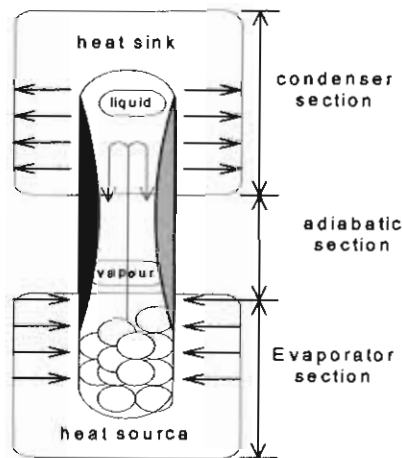
ภาพที่ 1.2 ระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling โดยป้อนน้ำเย็น

ให้ Wetted media ในเวลากลางวัน และป้อนน้ำร้อนในช่วงกลางคืน

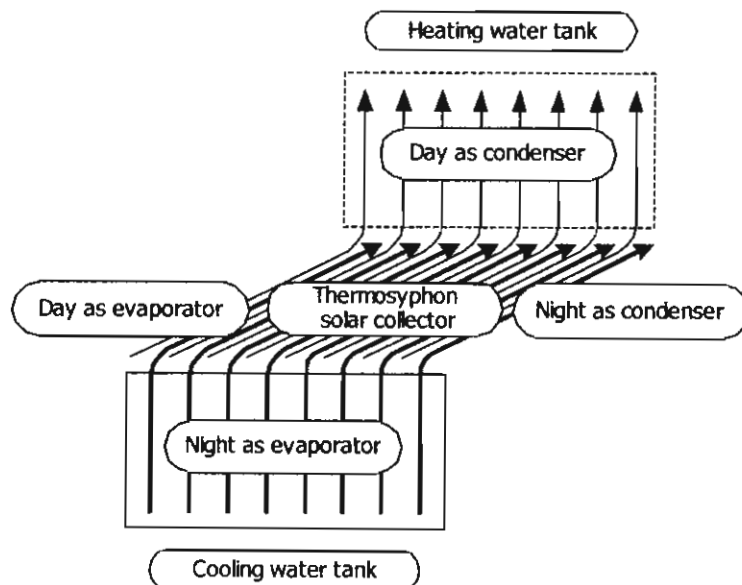
1.1.2 การผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นโดยใช้ตัวรับรังสีแบบท่อความร้อนสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์

แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการผลิตน้ำเย็นและน้ำร้อนสำหรับใช้ในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์คือการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนและน้ำร้อนในเวลากลางวัน โดยการใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ดึงความร้อนในเวลากลางคืนจากถัง

เก็บน้ำก่อนป้อนให้กับ wetted media ในเวลากลางวัน และเป็นตัวอุ่นน้ำร้อนในเวลากลางวัน ซึ่งข้อดีของเทอร์โมไซฟอนคือการทำงานจะเกิดขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกในการดึงความร้อน ดังนั้นจึงประหยัดพลังงาน ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนดังแสดงในภาพที่ 1.3 แบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) อะเดียเบติก (Adiabatic) และคอนเดนเซอร์ (Condenser) ภายในเทอร์โมไซฟอนจะบรรจุสารทำงานที่ภายในจะมีสภาพเป็น 2 เฟส ตลอดเวลา เมื่ออีวาพอเรเตอร์ได้รับความร้อนสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนก็จะกลายเป็นไอและลอยตามท่อขึ้นด้านบนซึ่งติดกับด้านคอนเดนเซอร์ซึ่งสัมผัสกับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและสารทำงานทำให้สารทำงานกลับเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง และจะไหลกลับสู่ด้านอีวาพอเรเตอร์ด้วยแรงดึงดูดของโลก ซึ่งขบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิด้าน Condenser ต่ำกว่าด้าน Evaporator



ภาพที่ 1.3 ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน



ภาพที่ 1.4 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น

ภาพที่ 1.4 แสดงแนวคิดสำหรับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น ซึ่งระบบจะประกอบด้วยท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซโฟน 2 ชุดประกอบอยู่ด้วยกัน ซึ่งมีข้อดีคือจะสามารถผลิตได้ทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น ซึ่งส่วน Evaporator ของท่อความร้อนชุดบนและ Condenser ของท่อความร้อนชุดล่างที่ประกอบร่วมกันเป็นตัวรับรังสีนั้นจะทำให้พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้นในขณะทำงาน ในเวลากลางคืนท่อความร้อนชุดล่างจะทำงานโดยตัวรับรังสีจะทำหน้าที่เป็นตัว Condenser ระบายความร้อนในถึงน้ำเย็นที่สู้อากาศทำให้น้ำในถังล่างเย็นลง ในช่วงเวลากลางวันท่อความร้อนชุดบนจะทำงาน โดยตัวรับรังสีจะทำหน้าที่เป็น Evaporator รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ โดย Condenser ของท่อความร้อนชุดบนจะอยู่ในถังน้ำร้อน เมื่อสารทำงานภายในท่อความร้อนส่วน Evaporator รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ก็จะเดือดกลายเป็นไอลอยตัวขึ้นด้านบนสู่ Condenser และแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำกลายเป็นของเหลว และน้ำภายในถังน้ำอุ่นจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ท่อความร้อนชุดล่างจะหยุดทำงานอัตโนมัติในเวลากลางวัน (อุณหภูมิน้ำเย็นต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ) เช่นเดียวกับท่อความร้อนชุดบนจะหยุดทำงานเช่นกันในเวลากลางคืน (อุณหภูมิน้ำร้อนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ) ดังนั้นจะเห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอกทำให้ประหยัดพลังงาน

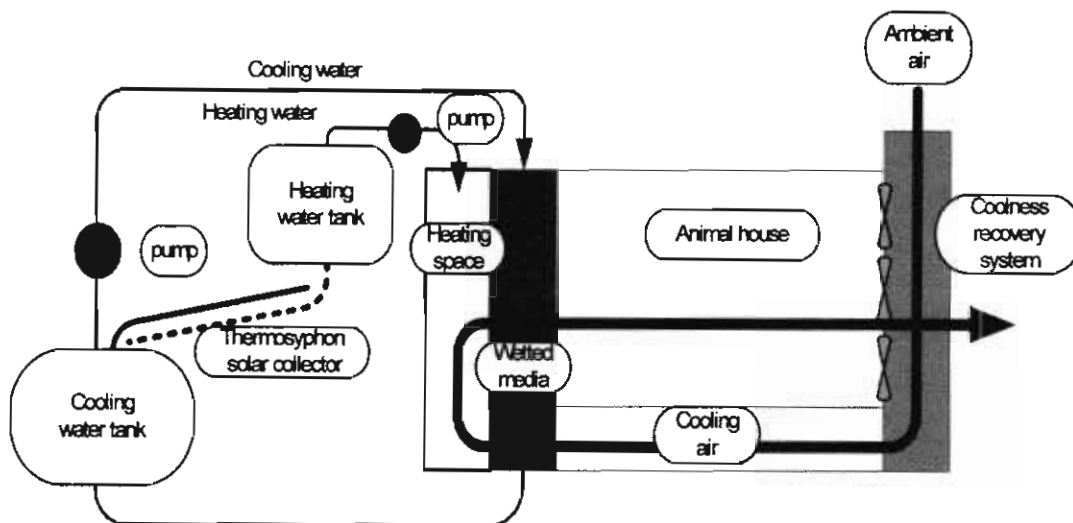
1.1.3 การประหยัดพลังงานโดยใช้ Coolness Recovery ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์

ระบบ Evaporative cooling ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ อากาศที่ระบายทิ้งโดยพัดลม นั้น เป็นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง สำหรับโรงเรือนปิดสำหรับเลี้ยงไก่ไข่ของฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าอุณหภูมิอากาศทั้งอยู่ในช่วง 20-27 °C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอากาศแวดล้อมประมาณ 6-7 °C ในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นจึงมีศักยภาพที่จะนำมอลดอุณหภูมิอากาศแวดล้อมก่อนป้อนเข้าสู่ Wetted media แทนการป้อนด้วยอากาศแวดล้อมซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงาน นอกจากนั้นแล้วยังสามารถจะลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ลงได้อีก อากาศทั้งจากโรงเรือนเลี้ยงสัตว์มีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงในช่วง 70-87 % และมีก๊าซบางอย่างผสมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะดึงกลับมาใช้โดยตรง จำเป็นต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Coolness recovery system) ช่วยเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงสัตว์ในโรงเรือนปิด

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะเพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานของการทำความเย็นของระบบ Evaporative cooling ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ โดยการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนและผลิตน้ำร้อนในเวลากลางวันโดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อน และการ

ดึงความเย็นทิ้งกลับคืนมาใช้ใหม่ (Coolness Recovery System) ตัวรับรังสีแบบท่อความร้อนสามารถผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอกช่วยและนำน้ำเย็นไปอนผ่าน Wetted media ของระบบ Evaporative cooling ในเวลากลางวัน ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ในเวลากลางวันได้ ในเวลากลางคืนที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่ำๆ ก็ใช้น้ำอุ่นที่ผลิตได้ในเวลากลางวันสเปย์ผ่านอากาศก่อนเข้า Wetted media ก็จะสามารถทำให้เพิ่มอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ได้ โดยเฉพาะโรงเรือนสำหรับเลี้ยงสัตว์อ่อน สำหรับระบบดึงความเย็นทิ้งกลับคืนมาใช้ร่วมกับการป้อนน้ำเย็นเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบพัดลม การดึงความเย็นกลับคืนมาใช้ใหม่สามารถลดจำนวนจำนวนพัดลมลงได้ นอกจากนั้นแล้วยังประหยัดพลังงานน้ำที่ป้อนให้กับ Wetted media อีกด้วย ดังแสดงเป็นแนวคิดในภาพที่ 1.5

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบปิดโดยใช้การทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นพลังงานแสงอาทิตย์ จะเป็นประโยชน์กับเกษตรกรหรือประกอบการเลี้ยงสัตว์ที่จะสามารถลดต้นทุนทางด้านพลังงานโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ได้ และสามารถควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดให้มีความเหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์มากขึ้น จึงศึกษาวิจัยในเรื่องนี้



ภาพที่ 1.5 แนวคิดการทำงานของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบประหยัดพลังงาน โดยใช้ระบบน้ำเย็น-น้ำร้อนและระบบดึงความร้อนทิ้งกลับคืน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ระบบปิด
- 1.2.2 เพื่อหาแนวทางเพิ่มสมรรถนะทางความเย็นโรงเรียนสำหรับการเลี้ยงสัตว์ระบบปิด
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีจากต่างประเทศให้มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในประเทศไทย

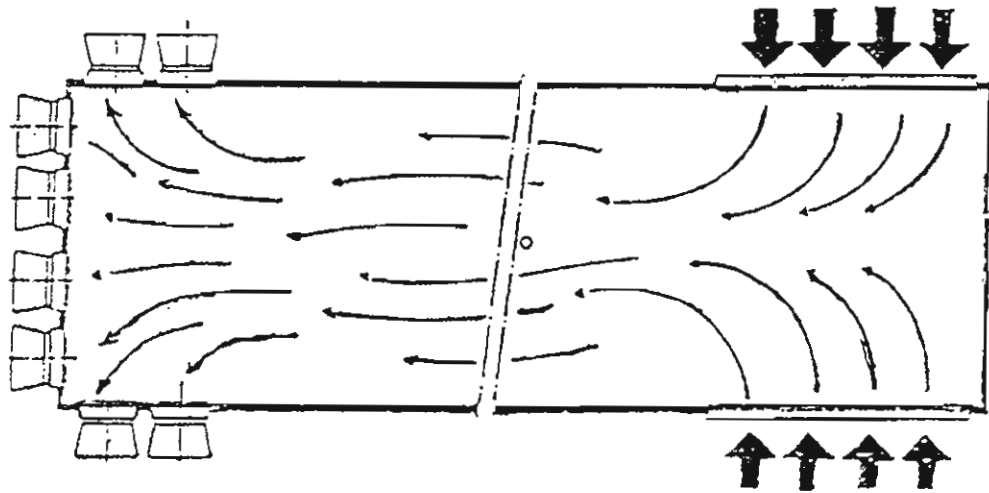
1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.3.1 ได้เทคโนโลยีระบบทำความร้อนต้นแบบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นสำหรับโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ ซึ่งเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานสามารถนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมายได้
- 1.3.2 ได้เทคโนโลยีระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้นแบบสำหรับดึงความเย็นกลับคืนจากอากาศทิ้งของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ระบบปิด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์กับระบบดึงความเย็นกลับคืนจากระบบอื่นๆ ได้
- 1.3.3 สามารถสร้างเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับประเทศไทยใช้ได้เองโดยไม่ต้องพึ่งพาต่างประเทศ
- 1.3.4 เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางการค้าและเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรของประเทศไทย
- 1.3.5 ประหยัดการใช้พลังงานในภาคเกษตรกรรมอย่างเป็นรูปธรรม

1.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 1.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling โรงเรียนเลี้ยงสัตว์

การทำความเย็นโดยอาศัยหลักการระเหยน้ำโดยใช้ Wetted media จะต้องใช้น้ำวิ่งผ่าน Wetted media ด้วยความเร็วต่ำๆ และต้องใช้พัดลมที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้อากาศผ่าน Wetted media โดยพัดลมมักจะติดตั้งอยู่ตรงกันข้ามกับ Wetted media ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศที่ผ่าน Wetted media อากาศที่ถูกลดอุณหภูมิแล้วจะรับความร้อนจากภายในโรงเรียน อุณหภูมิโรงเรียนที่ลดได้ประมาณ 3-12 °C (Mastalerz, 1977) และพลังงานความร้อนจะถูกดูดในอัตรา 1.88 kJ/cm³ ของน้ำที่หายไป (Williams and Shumack, 1983)



ภาพที่ 1.6 โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบ Evaporative cooling

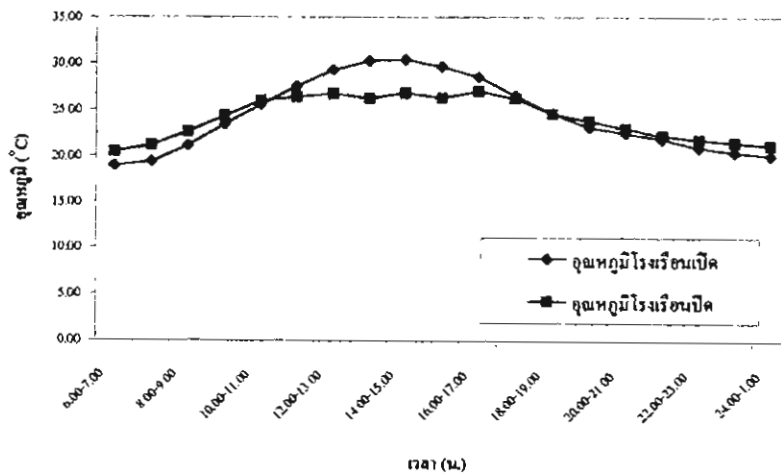
การทำความเย็นด้วยระบบ Evaporative cooling สำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดนั้นมีข้อดีหลายประการ ศรีสุวรรณ (2543) แสดงเปรียบเทียบคุณประโยชน์ของการเลี้ยงไก่ในโรงเรือนปิดและโรงเรือนเปิดแบบมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 1.2 ซึ่งจะพบว่าการเลี้ยงสัตว์ในโรงเรือนปิดจะสามารถประหยัดต้นทุนในการเลี้ยงด้านโดยสรุปการเลี้ยงสัตว์ในโรงเรือนปิดจะมีข้อดีคือ(ศรีสุวรรณ ก(2543), ศรีสุวรรณ ข(2544), ลาส์ไก่ (2542), ปิยธิดา และสุชีรา (2544), ประภากร (2538))

- เพิ่มความจุของการเลี้ยงต่อตารางเมตร
- ลดการกินอาหาร
- เพิ่มรอบการเลี้ยงต่อปี
- ลดค่ายาในการรักษา
- เพอร์เซ็นต์สัตว์ตายลดลง
- เพิ่มปริมาณน้ำนมในสัตว์ที่ให้นม
- เพิ่มปริมาณการปลดไข่ในไก่ไข่

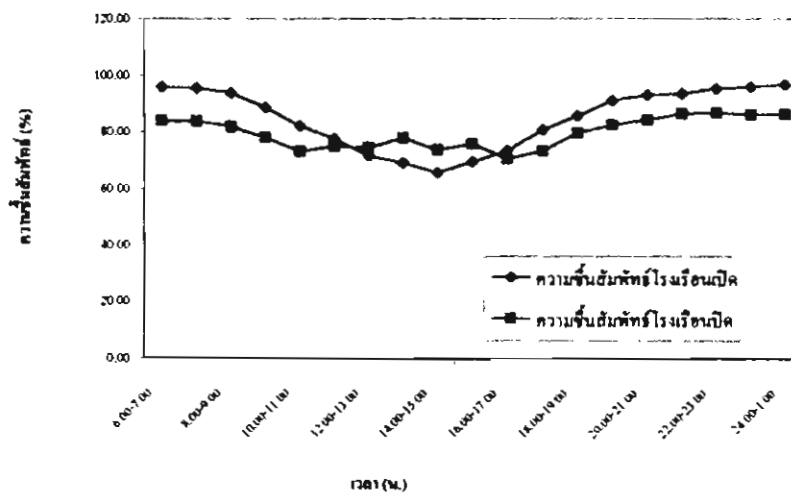
ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติประโยชน์การเลี้ยงไก่ในโรงเรือนปิดและโรงเรือนเปิด

ลักษณะ	โรงเรือนเปิด	โรงเรือน ปิด	ความแตกต่าง	หมายเหตุ
ความจุ	7-8 ตัว/ตร.ม	12-14 ตัว/ ตร.ม	5 ตัว	
อุณหภูมิ	อุณหภูมิแวดล้อม	ต่ำกว่า 6-9 °C	7 °C	
อาหารที่กิน/ตัว	3.95 กก.	3.62 กก.	0.33 กก.	ที่น้ำหนักไก่ออก 2 กก.
ค่ายา/กก	0.80 บาท	0.40 บาท	0.40 บาท	
เปอร์เซ็นต์ไก่ตาย	4-6 %	2-4 %	2 %	
จำนวนวันเลี้ยง	47 วัน	40 วัน	7 วัน	ที่น้ำหนักไก่ออก 2 กก.
รอบการผลิต	5.88 รอบ/ปี	6.63 รอบ/ปี	0.75 รอบ/ปี	

ปิยธิดา และสุธีรา (2542) ศึกษาการกระจายอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดและโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบเปิด ของฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนแสดงได้ดังภาพที่ 1.7 และภาพที่ 1.8 ซึ่งในโรงเรือนปิดจะมีอุณหภูมิสูงสุด 27.1 °C และต่ำสุด 20.5 °C ส่วนโรงเรือนเปิดมีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 30.5 °C และต่ำสุดประมาณ 19 °C (เป็นการทดสอบในฤดูหนาว) แต่จากประชากร (2538) อุณหภูมิเหมาะสมในการปลดไขอยู่ในช่วง 21 °C –24 °C ดังนั้นจะเห็นว่าในช่วงกลางวันที่อากาศร้อนถ้ามีการป้อนน้ำเย็นเสริมเข้าไปในระบบก็จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนปิดลงได้อีก ซึ่งก็จะทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ใกล้เคียงอุณหภูมิที่เหมาะสมมากขึ้น สำหรับน้ำร้อนก็ใช้ป้อนในช่วงที่อากาศแวดล้อมในช่วงกลางคืนอุณหภูมิต่ำมาก ก็จะสามารถควบคุมสภาพอากาศให้เหมาะสมยิ่งขึ้น



ภาพที่ 1.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนเปิดและโรงเรือนปิด
ที่มา: ปิยธิดา และสุชีรา (2542)



ภาพที่ 1.8 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเปิดและโรงเรือนปิด
ที่มา: ปิยธิดา และสุชีรา (2542)

Hellickson and Walker (1983) แนะนำการออกแบบระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling อัตราเร็วลมผ่าน Wetted media ในกรณี Wetted media เป็น Corrugated cellulose หนา 6 นิ้วคือ 1.75 m/s สำหรับในกรณีอื่นๆ แสดงได้ในตารางที่ 1.3 นอกจากนั้นยังแนะนำอัตราการป้อนน้ำสำหรับ Wetted media ชนิดเดียวกันคือ 10 L/min-m ปริมาณน้ำที่มากขึ้นจะไปลดพื้นที่สัมผัสของ Wetted media ดังนั้นควรมีการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับในกรณีอื่นๆ Wetted media อื่นๆ แสดงได้ในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.3 อัตราเร็วลมผ่าน Wetted media

Type	Air face velocity through pad*	
	m/s	ft/s
Aspen fiber mounted vertically 50-100 mm (2-4 in.) thick	0.75	2.5
Aspen fiber mounted horizontally 50-100 mm (2-4 in.) thick	1.0	3.3
Corrugated cellulose 100mm (4 in.) thick	1.25	4.2
Corrugated cellulose 150 mm (6 in.) thick	1.75	5.8

*Velocity may be increased by 25 percent where construction is limiting.

ตารางที่ 1.4 อัตราการป้อนน้ำ Wetted media และขนาดของถังเก็บน้ำที่เหมาะสม

Pad type and thickness	Minimum water rate per lineal length of pad		Minimum sump capacity per unit pad area	
	L/min m	gpm ft	L m ²	gal ft ²
Aspen fiber 50-100 mm (2-4 in.)	4	0.3	20	0.5
Aspen fiber desert conditions 50-100 mm (2-4 in.)	5	0.4	20	0.5
Corrugated cellulose 100 mm (4 in.)	6	0.5	30	0.8
Corrugated cellulose 150 mm (6 in.)	10	0.8	40	1.0

Watt (1963) แนะนำขนาดของปั้มน้ำสำหรับระบบ Evaporative cooling ต้องสามารถจ่ายน้ำได้ 7.5 เท่าของปริมาณน้ำที่ระเหย หรือ 2.4 L/min-m² of Wetted media (Wiersma and Benham, 1974)

จากการศึกษาการทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านมากการเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้หลักการของการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนและน้ำร้อนในเวลากลางวัน โดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อน นำน้ำเย็นที่ผลิตได้ป้อน Wetted media ของทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ในเวลากลางวัน และนำน้ำร้อนที่ผลิตได้ในเวลากลางวันใช้ในช่วงที่อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ หรือใช้ในโรงเรือนสัตว์อ่อน ตลอดจนการประยุกต์การดึงความร้อนจากอากาศทิ้งของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบปิดกลับคืนโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน ยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย และจากงานวิจัยเบื้องต้นระบบดังกล่าวมีศักยภาพที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานได้

1.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบการดึงความเย็นทิ้งกลับคืน

การดึงความเย็นทิ้งกลับคืนสำหรับระบบอากาศกับอากาศนั้น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2545) แนะนำให้ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน (Thermosyphon Heat Exchanger) หรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger)

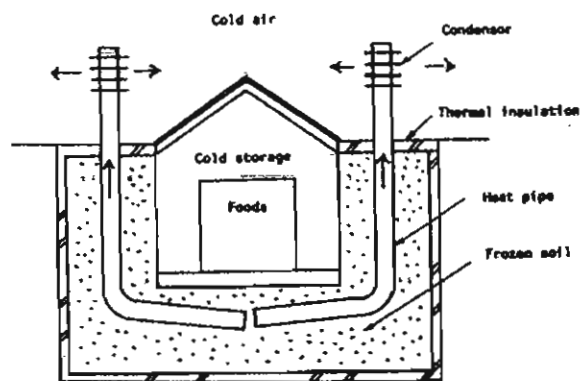
การดึงความเย็นกลับคืนในกระบวนการทำความเย็นแบบระเหยน้ำสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบปิดนั้น ในประเทศไทยยังไม่พบรายงานการศึกษา แต่สามารถที่จะประยุกต์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับดึงความร้อนทิ้งกลับคืนมาใช้ได้เช่นกัน ซึ่งมีรายงานการศึกษาการดึงความร้อนทิ้งในระบบต่างๆ พอสมควรเช่น การดึงความร้อนทิ้งกลับคืนจากแก๊สร้อนทิ้งในระบบหม้อไอน้ำ วิจิตร (2542) ได้ศึกษาเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำสำเร็จรูปขนาดกำลังผลิตไอน้ำ 1 ตันชั่วโมง จากการศึกษาพบว่ามีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์โดยมีผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) 27.89 % นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการดึงความร้อนทิ้งจากอากาศที่ผ่านการอบแห้งกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนเช่นกันเช่นการศึกษาของ กรองวิทย์, สิชน และอัจฉราวรรณ (2542) และ พฤกษ์ , สราวุธ และ อนุรัตน์ (2544) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนมีศักยภาพที่จะใช้ในระบบการดึงความร้อนทิ้งกลับคืนเช่นกัน

สำหรับในงานวิจัยนี้จะศึกษาการดึงความเย็นจากอากาศทิ้งของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทีมงานวิจัยมีความชำนาญอยู่แล้ว

1.4.3 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบท่อความร้อน

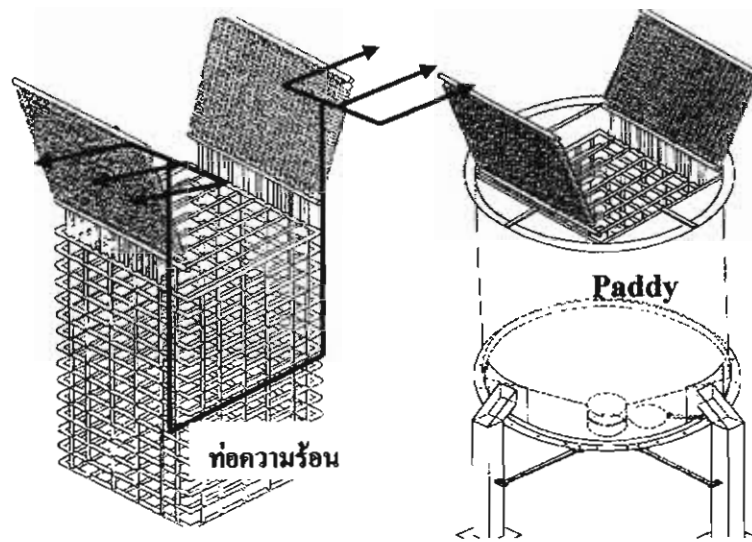
Fukada et al. (1993) ประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนในการดึงความร้อนจากดินเพื่อทำห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาผักสด โดยการทำงานนั้นจะใช้เทอร์โมไซฟอนดึงความร้อนจากดินในช่วงฤดูหนาว ซึ่งอากาศแวดล้อมอุณหภูมิต่ำกว่าดินมากทำให้ดินโดยรอบห้องเย็นแข็งตัวและจะคายความเย็นให้ห้องเย็นในช่วงฤดูร้อน จากการวิจัยพบว่าสามารถทำให้ห้องเย็นคงอุณหภูมิในฤดูร้อนอยู่ในช่วง 3-4°C. ซึ่งหลักการทำงานของระบบแสดงในภาพที่ 1.9 นอกจากนั้นแล้ว Kiatsirirot, et al. (1998) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่สะสมในดินสำหรับทำน้ำอุ่นโดยใช้ท่อความร้อน โดยใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเทอร์โมไซฟอน จากการวิจัยพบว่า

สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำได้สูงกว่าอากาศแวดล้อมถึง 9°C ในฤดูหนาว Lee, et al. (1993) ศึกษาการระบายความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นในขณะบ่มคอนกรีตโดยใช้เทอร์โมไซฟอน ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานได้ดี Vasiliev.L.L, et al. (1993) ประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนกับระบบระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พบว่าระบบดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ในระดับที่น่าพอใจ ซึ่งในการวิจัยใช้แอมโมเนียเป็นสารทำงาน



ภาพที่ 1.9 การดึงความร้อนจากดินโดยใช้ท่อความร้อนสำหรับทำห้องเย็นเก็บผลผลิตทางการเกษตร ที่มา : Fukada et al. (1993)

Dussadee (2002) ศึกษาการดึงความร้อนสะสมเนื่องจากการหายใจของข้าวเปลือกโดยใช้ระบบท่อความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยทดสอบที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ จากการศึกษาพบว่าระบบสามารถดึงความร้อนจากข้าวเปลือกในไซโลได้เป็นอย่างดีที่ข้าวเปลือกระดับความชื้น 26.9%wb ซึ่งเป็นข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่เพื่อชะลอการอบแห้งในฤดูกาลเก็บเกี่ยวซึ่งเครื่องอบข้าวมีไม่เพียงพอ จากการวิจัยพบว่าท่อความร้อนสามารถลดอุณหภูมิข้าวเปลือกความจุ 1 ตัน ได้ถึงเกือบ 30°C กล่าวคือระบบที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อนข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงถึง 65°C เมื่อติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับไซโลข้าวเปลือกสามารถควบคุมอุณหภูมิข้าวเปลือกอยู่ที่ระดับเพียง $37-38^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 1.10 การดึงความร้อนสะสมในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อน

ที่มา : Dussadee (2002)

พิรพล และ สมภพ (2546) ออกแบบและทดสอบระบบทำน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน สำหรับใช้กับถัง PE บรรจุน้ำ 2,000 ลิตร ท่อความร้อนที่ทดสอบดัดแปลงมาจากคอยล์เย็นติดครีป ทั้งหมดจำนวน 4 แผง แผงละ 20 ท่อจำนวน 2 แผง และแผงละ 16 ท่อจำนวน 2 แผง โดยมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนรวมประมาณ 4.8 ตารางเมตร ใช้น้ำยา R-134a เป็นสารทำงาน โดยทำการติดตั้งท่อความร้อนบนถัง PE หุ้มฉนวนด้วยโฟมหนา 2 นิ้ว แล้วฝังลงในดิน จากการทดสอบการทำความเย็นน้ำพบว่าสามารถลดอุณหภูมิน้ำจาก 32 °C ถึง 19 °C ภายในเวลา 110 ชั่วโมง

การประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนในผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษากันบ้างเช่น การศึกษาของ มรกต และ อวิรุทธ์ (2538) ซึ่งสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิใกล้เคียงกับการตัวรังสีแบบแผ่นเรียบทั่วไป

ศิริชัย และคณะ (2526) ศึกษาการวัดอุณหภูมิท้องฟ้าและความเป็นไปได้ของการทำความเย็นและการปรับอากาศโดย radiative cooling โดยการศึกษาการสูญเสียความร้อนในเวลากลางวัน จากการแผ่รังสีแผ่นที่มีลักษณะเหมือนกัน 2 แผ่นขนาด 30.4 x 243.8 ตารางเซนติเมตร ป้อนน้ำร้อนเข้าสู่แผงในอัตราการไหลเท่ากับ 5 และ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิแวดล้อม 22, 26 , และ 28 °C จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิท้องฟ้าขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม โดยอุณหภูมิท้องฟ้าจะมีค่าต่ำลงเล็กน้อยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำลงหรืออุณหภูมิ

อากาศแวดล้อมต่ำลง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 22, 26, และ 28 °C อุณหภูมิห้องฟามีค่าประมาณ = 14 , 5, 25 °C ตามลำดับ สำหรับการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี พบว่าขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของห้องฟ่ากระจ่ายหรือไม่ ที่เวลา 24.00 น ของวันที่ฟ้ากระจ่าง และวันที่ห้องฟามีเมฆปกคลุมมีค่าการสูญเสียความร้อนสู่ห้องฟ่าประมาณ 184 W/m² , 122 W/m² ตามลำดับ จากการศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้ตัวรับรังสีแบบท่อความร้อนผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นและนำน้ำเย็นป้อน Wetted media ของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ในเวลากลางวัน และนำน้ำร้อนที่ผลิตได้ในเวลากลางวันสเปย์ให้อากาศก่อนป้อนเข้า Wetted media ในเวลากลางวันสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์อ่อนที่ต้องการสภาพอากาศร้อน ซึ่งระบบนี้จะสามารถควบคุมโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ได้ทั้งสภาวะร้อนและเย็น ซึ่งจะทำให้โรงเรือนอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์ได้มากกว่าระบบเดิม

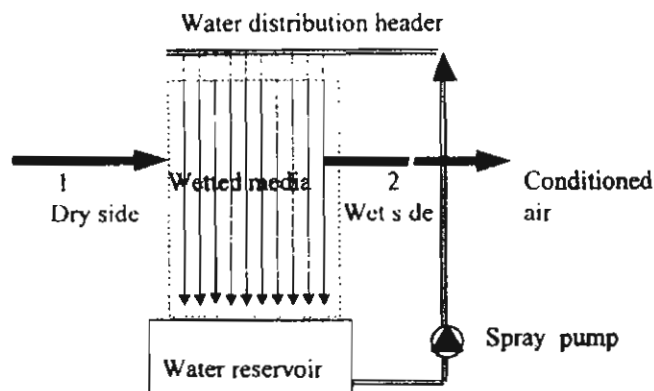
ดังนั้นคณะผู้วิจัยเห็นว่าปัญหาการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสำหรับของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ และการควบคุมสภาวะอากาศโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยนั้น เป็นปัญหาเร่งด่วนที่ควรจะมีการศึกษาและวิจัย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของสินค้าเกษตรของประเทศไทย รวมทั้งเป็นการประหยัดพลังงานในภาคเกษตรกรรมที่เป็นรูปธรรม

บทที่ 2

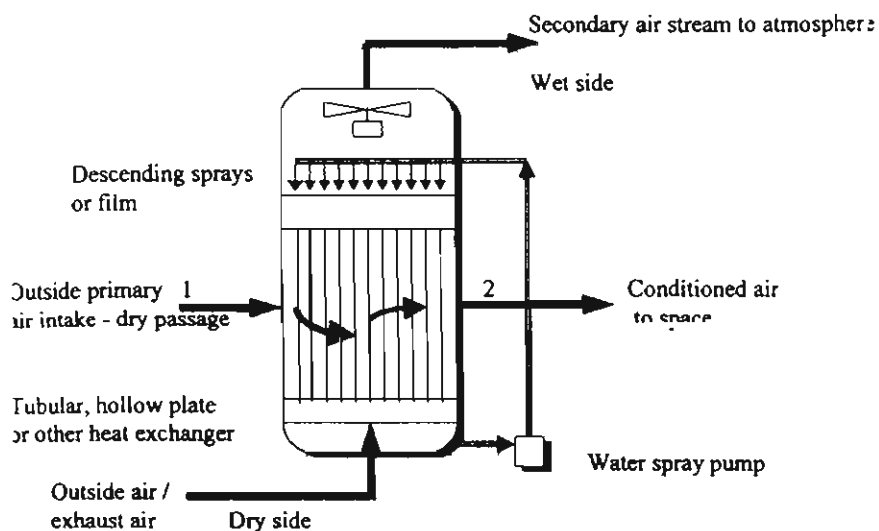
หลักการและทฤษฎี

2.1 ระบบการทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling

การทำความเย็นของ Evaporative cooling อาศัยหลักการดึงความร้อนจากอากาศไประเหยน้ำทำให้อากาศเย็นลง โดยปกติแล้วจะใช้ วัสดุผิวเปียก (Wetted media) ช่วยในการเพิ่มพื้นที่สัมผัสของน้ำกับอากาศ ทำให้การระเหยของน้ำเร็วขึ้น โดยทั่วไประบบ Evaporative cooling จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ direct evaporative cooling และ Indirect evaporative cooling ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ระบบทำความเย็นแบบ direct evaporative cooling

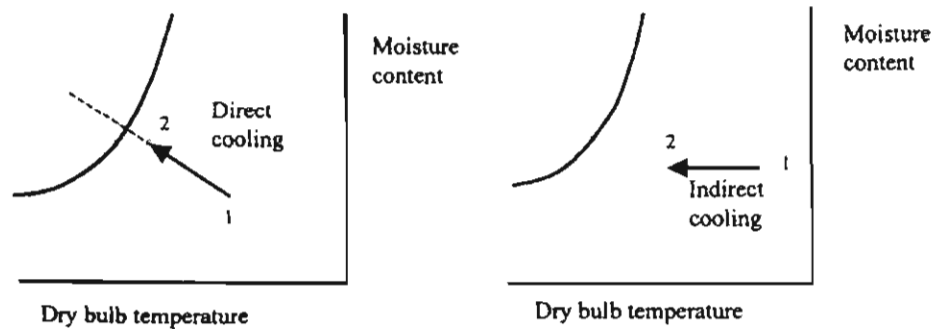


ภาพที่ 2.2 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect evaporative cooling

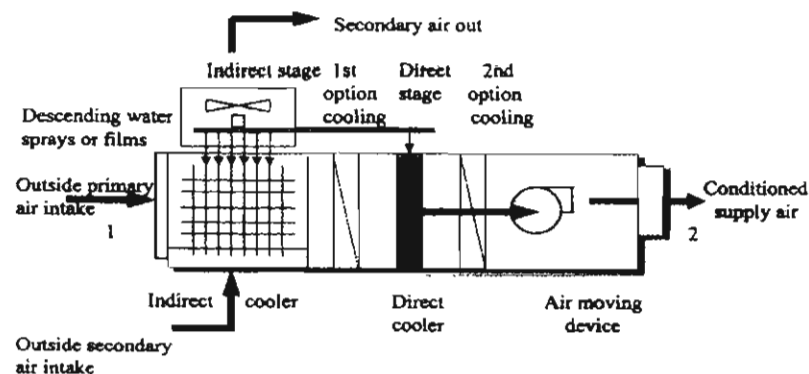
การทำงานของระบบ Direct evaporating จากภาพที่ 2.1 เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่าน Wetted media จากด้านที่ 1 (Dry side) ไปด้านที่ 2 (Wetted side) ทำให้น้ำที่ผิวของ Wetted media ระเหยกลายเป็นไอ โดยการดึงความร้อนจากอากาศ (Latent heat) ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ดังนั้นจึงทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง แต่ในขณะเดียวกันก็จะชื้นขึ้น ดังแสดงในแผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric) ในภาพที่ 2.3

การทำงานของระบบ Indirect evaporating จากภาพที่ 2.3 เมื่อ Primary air เคลื่อนที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งภายในมีระบบพ่นฝอยน้ำและ Secondary air ไหลผ่าน น้ำภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะระเหยและ Secondary air จะเย็นลงและจะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับ Primary air (Sensible heat) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้ Primary air เย็นลง ซึ่งข้อดีของระบบ Indirect evaporative cooling ก็คือสามารถลดอุณหภูมิอากาศโดยที่ไม่เป็นการเพิ่มความชื้น ดังแสดงในแผนภูมิอากาศชื้นในภาพที่ 2.3 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งสองระบบแล้ว ระบบ Direct evaporative cooling จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ Indirect evaporative cooling แต่จะได้อากาศที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าแบบ Direct evaporative cooling ดังนั้นจึงมีการนำเอาข้อดีของทั้งสองระบบมารวมกันได้เป็นระบบการทำความเย็นแบบผสม Indirect/direct evaporative cooling ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยการใช้

Indirect evaporative cooling มา Pre-cool อากาศก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ Direct evaporative cooling



ภาพที่ 2.3 การทำความเย็นแบบ Direct / indirect Evaporative cooling
บนแผนภูมิอากาศชื้น



ภาพที่ 2.4 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/direct evaporative cooling

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

$$Eff = \left[\frac{T_{db1} - T_{db2}}{T_{db1} - T_{wb1}} \right] \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ T_{db1} และ T_{db2} คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนและหลังผ่าน
Wetted media , °C

T_{wb1} คืออุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ, °C

ตารางที่ 2.1 แสดงสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling ที่ประเทศต่างๆ โดยคิดที่ประสิทธิภาพ (Effectiveness) 65% และ 85% สำหรับระบบ indirect Evaporative cooling และ Direct Evaporative cooling ตามลำดับ (Foster, 1996) จากตารางพบว่าประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบนี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศที่ป้อนมีค่าต่ำจะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าที่มีค่าผลต่างสูง และที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำก็ให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงเช่นกัน

ตารางที่ 2.1 สมรรถนะของการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling

Locations	1% Design DB/WB Temperature [°C]	Direct Supply Air DB Temperature [°C]	Indirect/Direct Supply Air DB Temperature [°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	32.2/19.4	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)

2.2 กรอบแนวความคิดพัฒนาระบบโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดแบบประหยัด

พลังงานไฟฟ้า

การทำงานของระบบโรงเพาะเลี้ยงสัตว์ระบบปิดแบบประสิทธิภาพสูง ดังแสดงในภาพที่ 2.5 นั้น การทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อติดตั้งระบบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน 2 ชุดกับถังเก็บน้ำเย็นและถังเก็บน้ำร้อนแล้ว ในเวลากลางคืนที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำภายในถังเก็บน้ำเย็นท่อความร้อนชุดที่ต่อกับถังน้ำเย็นจะทำงานโดยอัตโนมัติโดยการดึงความร้อนไประบายทิ้งที่ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น condenser ของท่อความร้อนชุดที่ 1 ทำให้อุณหภูมิน้ำภายในถังน้ำเย็นลดลง โดยถังน้ำเย็นจำเป็นต้องหมุนวนกัน ความร้อนอย่างดี สำหรับในเวลากลางวันเมื่ออากาศแวดล้อมอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิน้ำเย็นภายในถังเก็บ ระบบท่อความร้อนชุดที่ 1 จะหยุดทำงานอัตโนมัติ

ในเวลากลางวันตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็น evaporator ของท่อความร้อนชุดที่ 2 ซึ่งมี condenser อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนที่อยู่ด้านบน ดังนั้นในเวลากลางวันน้ำในถังน้ำร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และในทำนองเดียวกันในเวลากลางคืนเมื่ออุณหภูมิแผงรับรังสีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนท่อความร้อนชุดที่ 2 ก็จะไม่ทำงานเช่นกัน ดังนั้นด้วยวิธีดังกล่าวสามารถผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นสำหรับใช้ในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ได้ หลังจากนั้นปั๊มน้ำเย็นไปจ่ายให้กับ Wetted media ของระบบ Evaporative cooling ซึ่งติดตั้งภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แทนระบบเดิมที่ป้อนน้ำปกติ ซึ่งจะทำให้โรงเรือนเลี้ยงสัตว์อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งเป็นที่ต้องการของการเลี้ยงสัตว์ในโรงเรือนระบบปิด และยังทำให้ลดอัตราการไหลอากาศผ่าน Wetted media ทำให้การใช้กำลังของพัดลมลดลง หรือจำนวนพัดลมลดลงนั่นเอง สำหรับระบบน้ำร้อนก็จะใช้ในโรงเรือนสัตว์ร้อนหรือในช่วงฤดูหนาวที่อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ

โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันไม่มีการติดตั้งระบบดึงความเย็นทิ้งกลับคืน ซึ่งเมื่อมีการติดตั้งระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นกับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แล้ว อากาศทั้งจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ ดังนั้นการใช้ระบบดึงความเย็นกลับคืนจะช่วยในการประหยัดพลังงานลงได้อีก ซึ่งเป็นการบูรณาการทางด้านพลังงานของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดอย่างครบวงจร

2.3 การประเมินสมรรถนะท่อความร้อนของระบบผลิตน้ำเย็น และน้ำร้อน

2.3.1 สมรรถนะท่อความร้อนระบบผลิตน้ำเย็น

สมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนสำหรับดึงความร้อนในระบบผลิตน้ำเย็นสามารถประเมินได้จากความร้อนที่ถ่ายเทให้กับอากาศด้านคอนเดนเซอร์สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{cond} = (\dot{m}C_p)(T_o - T_i) \quad (2.2)$$

เมื่อ $(\dot{m}C_p)$ คือความจุความร้อนของอากาศที่ไหลผ่าน, W/K และ T_o และ T_i คือ อุณหภูมิของอากาศออกและเข้าจากส่วนคอนเดนเซอร์ตามลำดับ นอกจากนั้นยังสามารถคำนวณหาอัตราการระบายความร้อนโดย

$$\dot{Q}_{cond} = hA(T_c - T_a) \quad (2.3)$$

เมื่อ h คือสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน, W/m²K และ A คือพื้นที่ผิวคอนเดนเซอร์ทั้งหมด, m² ค่า T_c และ T_a คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวท่อคอนเดนเซอร์และอากาศ °C ตามลำดับ ซึ่งค่า h ขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายเทความร้อนว่าเป็นแบบธรรมชาติหรือแบบบังคับ

ประสิทธิภาพการของเทอร์โมไซฟอนยังสามารถดูได้จากการลดของอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บจากการวิเคราะห์ในสถานะไม่สม่ำเสมอ โดยวิธี Lump capacity analysis โดยให้อุณหภูมิน้ำในถังสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง เมื่อถ้าสมมุติให้เป็นระบบอะเดียเบติกโดยใช้สมดุลพลังงานจะเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$mC_{pw} \frac{dT_w}{dt} = UA_e (T_w - T_v) \quad (2.4)$$

เมื่อ	m	คือมวลของน้ำ, kg
	C_{pw}	คือความจุความร้อนของน้ำ, J/kg°C
	T_w	คืออุณหภูมิน้ำในถังเก็บ, °C
	T_v	คืออุณหภูมิสารทำงาน, °C
	A_e	คือพื้นที่ของส่วนฮีวโปเรเตอร์, m ²
	U	คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำกับสารทำงาน, W/m ² K

จากสมการที่ (2.4) อุณหภูมิน้ำในถังเก็บที่เปลี่ยนตามช่วงเวลาสามารถเขียนได้ดังสมการ (2.5)

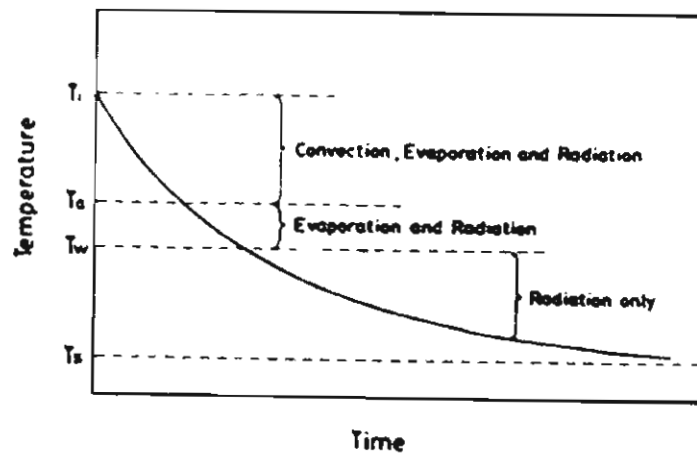
$$T_w^{t+\Delta t} = T_w^t - \frac{\Delta t}{c_{pw}} (U A_e (T_w - T_v))^t. \quad (2.5)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและสารทำงานสามารถหาได้จากสมการที่ (2.6)

$$U = \frac{\dot{Q}_{cond}}{A_e (T_{w,avg} - T_{v,avg})}, \quad (2.6)$$

การแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า

กรณีที่ Condenser ท่อความร้อนอยู่กลางแจ้งการถ่ายเทความร้อนที่ Condenser จะมีเทอมการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า (Sky radiation) อีกเทอมหนึ่ง ซึ่งการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าจะสามารถลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulk temperature) ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าสามารถคำนวณได้ดังนี้



ภาพที่ 2.5 อุณหภูมิน้ำเย็นตามลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\dot{Q}_{rad} = A \epsilon \sigma (T_{sky}^4 - T_s^4) \quad (2.7)$$

เมื่อ	ϵ	คือ Emittance, ค่าสภาพการเปล่งรังสี
	σ	คือ ค่าคงที่สเตฟาน
	A	คือ พื้นที่ความร้อนส่วน condenser, m^2
	T_{sky}	คือ อุณหภูมิท้องฟ้า, K
	T_s	คือ อุณหภูมิผิว Condenser, K

ค่าอุณหภูมิท้องฟ้า Swinbank (1963) ได้แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิท้องฟ้า (T_{sky}) และ อุณหภูมิอากาศที่บรรยากาศ (T_{air}) ดังนี้

$$T_{sky} = 0.0552T_{air}^{1.2} \quad (2.8)$$

นอกจากนั้นแล้ว Whillier (1967) ได้แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิท้องฟ้าและอุณหภูมิอากาศที่บรรยากาศดังนี้

$$T_{sky} = T_{air} - 6 \quad (2.9)$$

ค่าอุณหภูมิท้องฟ้าในสมการที่ (2.8) เหมาะสมในช่วงที่อากาศแวดล้อมประมาณ 30°C ส่วนในสมการ (2.9) นั้นเหมาะสมในช่วงที่อากาศแวดล้อมประมาณ 20°C หรือช่วงฤดูหนาว

2.3.2 สมรรถนะต่อความร้อนระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนนั้น จะขึ้นอยู่กับมุมเอียง ซึ่งในตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบทั่ว ๆ ไปนั้นมุมเอียงที่ใช้จะเท่ากับมุมละติจูดของตำแหน่งที่ตั้ง เช่นที่ กรุงเทพฯ ประมาณ 14° หรือที่เชียงใหม่ 18° และปริมาณถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยนั้นมีค่าในช่วง 65-100 ลิตร ต่อตารางเมตร

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนที่จะพัฒนาจะใช้ Evaporator ของท่อความร้อนชุดบน และ Condenser ของท่อความร้อนชุดล่าง เป็นตัวรับรังสีและมีครีบทึบเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ มากกว่าตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบธรรมดา ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มขนาดถังเก็บความร้อนได้อีก

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อน ในกรณีระบบปิดประเมินได้จาก

$$\eta = \frac{mC_p(T_{ho}^f - T_{hi}^i)}{G_T A}, \quad (2.10)$$

เมื่อ	m	คือ มวลของน้ำ, kg
	C_p	คือความจุความร้อนจำเพาะ, $\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$
	T_{ho}	คืออุณหภูมิน้ำร้อนหลังการทำงาน, $^{\circ}\text{C}$
	T_{hi}	คืออุณหภูมิน้ำร้อนก่อนการทำงาน, $^{\circ}\text{C}$
	A	คือพื้นที่ตัวรับแสง, m^2
	G_T	คือพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาทดสอบ, kJ/m^2

2.3.3 สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน

สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน สำหรับลดอุณหภูมิน้ำ สามารถได้จากค่าประสิทธิผล (Effectiveness: E) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจากภาพที่ 2.6 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E = \frac{Q}{Q_{\max}}$$

$$Q = \dot{m}_h C_{p_h} (T_{hi} - T_{ho})$$

(2.11)

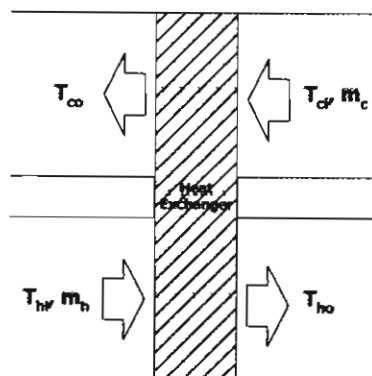
$$Q = \dot{m}_c C_{p_c} (T_{co} - T_{ci})$$

$$Q_{\max} = (\dot{m} C_p)_{\min} (T_{hi} - T_{ci})$$

โดยที่	Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
	T	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
	C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}$)

Subscripts

h	อากาศร้อน
c	อากาศเย็น
i	ด้านเข้า
o	ด้านออก



ภาพที่ 2.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำเมื่อใช้ระบบดึงความเย็นกลับคืนร่วมกับน้ำร้อนและน้ำเย็นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ซึ่งขั้นตอนในการวิจัยมีดังนี้

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1.1 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling โรงเรือนเลี้ยงสัตว์

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ Evaporative Cooling ของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ประกอบไปด้วย

- อัตราการไหลของน้ำ และอากาศ
- อุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังผ่าน Wetted media
- อุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่าน Wetted media
- ความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนและหลังผ่าน wetted media
- การกระจายของอุณหภูมิภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์
- การกระจายความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์
- การตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ระบบปั้มน้ำและพัดลมถ่ายเทอากาศ

3.1.2 การออกแบบและสร้างตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับเย็นสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์

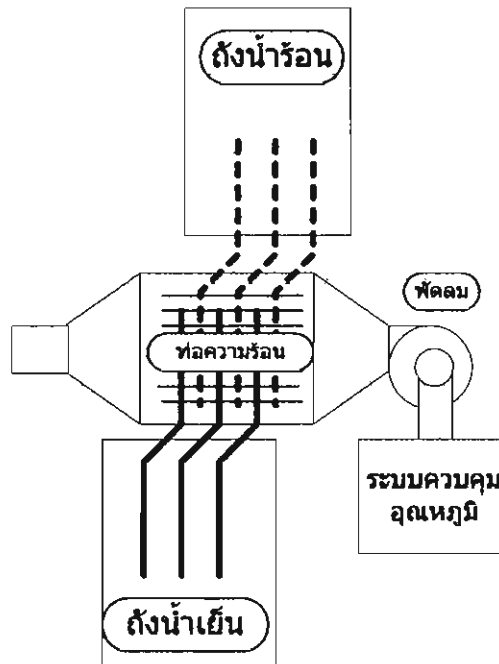
- การทดสอบสมรรถนะของระบบท่อความร้อนผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะเทอร์มิสเตอร์ แสดงในภาพที่ 3.1 ตัวแปรที่จะศึกษา

คือ

- ชนิดของสารทำงานที่เหมาะสม
- ลักษณะตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อน
- อุณหภูมิอากาศและอัตราการไหลอากาศ

- ทดสอบประสิทธิภาพตัวรับรังสีเมื่อผลิตน้ำร้อนและผลิตน้ำเย็น



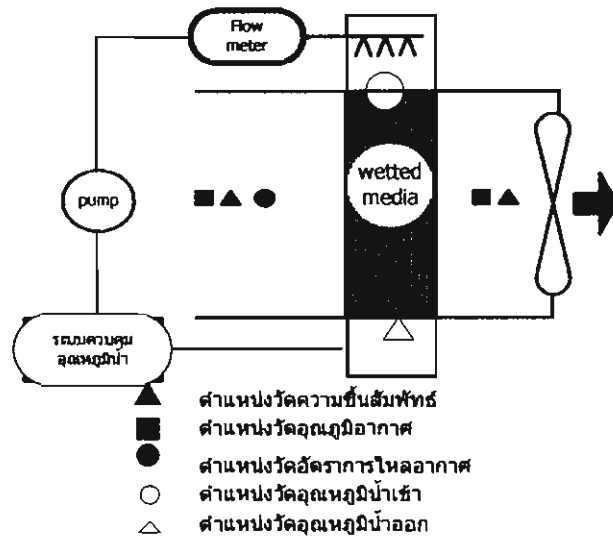
ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์สำหรับหาสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น

- การทดสอบสมรรถนะ Wetted Media Evaporative Cooling เมื่อใช้น้ำเย็น

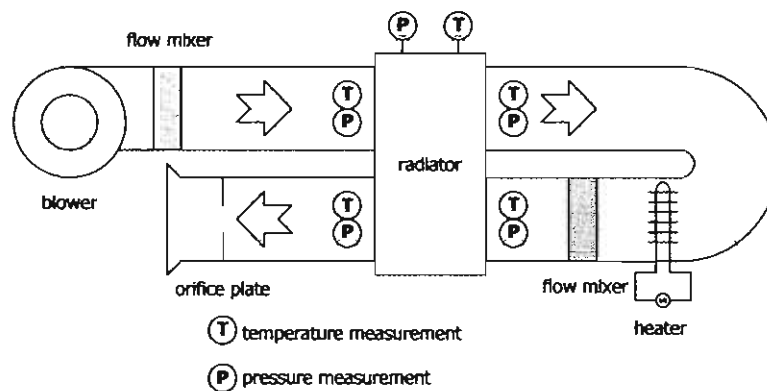
อุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะ Wetted media ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และตัวแปรที่จะศึกษา ได้แก่

- อัตราการไหลของน้ำเย็น และน้ำอุ่น
- อัตราการไหลของอากาศ
- อุณหภูมิน้ำเข้าและออก Wetted media
- อุณหภูมิอากาศเข้าและออก Wetted media

การวิเคราะห์ข้อมูล จากข้อมูลที่ตรวจวัด คำนวณประสิทธิภาพของการระเหยน้ำ



ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์ทดสอบ Wetted media เมื่อป้อนน้ำเย็น และน้ำอุ่น



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับดึงความเย็นกลับคืน

3.1.3 การเลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดสอบสมรรถนะของโรงเรือนจริง

3.1.4 พัฒนาและปรับปรุงระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นต้นแบบสำหรับใช้งานจริง โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากขั้นตอนที่ 3.1.1 - 3.1.3

3.1.5 ติดตั้งอุปกรณ์ระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น โดยใช้ท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน และระบบดึงความเย็นกลับคืนกลับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิด

3.1.6 การทดสอบระบบประหยัดพลังงาน

- ทดสอบสมรรถนะของระบบท่อความร้อนผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นเมื่อใช้งานในสภาวะจริง เปรียบเทียบอุณหภูมิของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ก่อนและหลังติดตั้งระบบน้ำเย็น
- ทดสอบสมรรถนะของระบบดึงความเย็นกลับคืนในสภาวะจริง เปรียบเทียบอุณหภูมิของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ก่อนและหลังติดตั้งระบบดึงความเย็นกลับคืน
- ทดสอบสมรรถนะของโรงเรือนทั้งระบบเมื่อติดตั้งทั้งระบบน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น และระบบดึงความเย็นกลับคืน
- เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังระบบประหยัดพลังงานทั้งหมด

3.1.7 สรุปผลการศึกษา และเขียนรายงาน เผยแพร่ผลงานทางด้านวิชาการ

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.2.1 ลักษณะของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิเคราะห์การใช้พลังงาน (Energy Auditing) ของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling สำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ และทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับดึงความเย็นทิ้งกลับคืน โดยได้ทำการทดสอบโรงเรือนจำนวน 3 แห่งดังนี้

- โรงเรือนฟาร์มไก่ไข่ของบริษัททุ่งเรืองฟาร์ม เลขที่ 76 ตำบลแม่แฝก อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
- โรงเรือนฟาร์มไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
- โรงเรือนฟาร์มไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่



โรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้



โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพที่ 3.4 โรงเรือนที่ใช้ทดสอบ

3.2.2 เครื่องมือวัดสำหรับงานวิจัย

1. เทอร์โมคัปเปิล

การวัดอุณหภูมิภายในโรงเรือน และตามตำแหน่งต่าง ๆ จะใช้สายวัดเทอร์โมคัปเปิล ร่วมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้เป็นชนิด K ที่มีความละเอียด 0.1°C



ภาพที่ 3.5 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

2. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger)

เครื่องบันทึกอุณหภูมิใช้ยี่ห้อ Memmert รุ่น DO 6057 ความละเอียด $\pm 1^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 3.6 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Memmert รุ่น DO 6057

3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Digital AC Clamp Meter)

ใช้วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าของระบบปั๊มน้ำ และพัดลมดูดอากาศ



ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสาย

4 เครื่องวัดความเร็วลม

ใช้สำหรับวัดความเร็วลมบริเวณหน้าม่านเปียกและพัดลมดูดอากาศ ยี่ห้อ Testo 425 ความละเอียด 0.1 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดความเร็วลม

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษางานวิจัยนี้เป็นการประเมินสมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ที่มีการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนและน้ำเย็น โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ด้วยกันคือ

ส่วนที่ 1 การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์แบบเดิมที่ทำความเย็นแบบระเหย

ส่วนที่ 2 การพัฒนาระบบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไคฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นสำหรับโรงเรียนเลี้ยงสัตว์

ส่วนที่ 3 การทดสอบโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ที่ระบบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไคฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นสำหรับโรงเรียนเลี้ยงสัตว์

ส่วนที่ 1 การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์แบบเดิมที่ทำความเย็นแบบระเหย

4.1 การประเมินสมรรถนะโรงเรียนเลี้ยงสัตว์แบบเดิมที่ทำความเย็นแบบระเหย

4.1.1 คุณลักษณะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ที่ทดสอบ

การประเมินสมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์แบบเดิมที่ทำความเย็นแบบระเหย เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับโรงเรียนเลี้ยงสัตว์แบบใหม่ที่จะมีการพัฒนาด้วยการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนและน้ำเย็นนั้น โครงการได้ทำการตรวจวิเคราะห์สมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงไก่จำนวน 3 แห่ง ดังนี้

- โรงเรียนฟาร์มไก่ของบริษัทรุ่งเรืองฟาร์ม
เลขที่ 76 ตำบลแม่แฝก อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
- โรงเรียนฟาร์มไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
- โรงเรียนฟาร์มไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

จากตารางที่ 4.1 ในส่วนของลักษณะโดยทั่วไปของโรงเรียนพบว่าโรงเรียนทั้ง 3 แห่ง มีขนาดโรงเรียนเท่ากัน แต่พื้นที่ม่านเปียกของโรงเรียนแต่ละแห่งไม่เท่ากัน การติดตั้งม่านเปียกมี 2 แบบ คือ แบบติดตั้งท้ายโรงเรียนและแบบด้านข้างโรงเรียน และจำนวนสัตว์ในแต่ละโรงเรียนมี

จำนวนไม่เท่ากัน ในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงเรียนทั้ง 3 แห่ง พบว่ามีกำลังไฟฟ้าและจำนวนใกล้เคียงกัน ยกเว้นฟาร์มไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มีพัฒนามากกว่าโรงเรียนอื่นอยู่ 1 ตัว

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ 3 แห่งที่ใช้ประเมินสมรรถนะ

รายการ	ฟาร์มไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม	ฟาร์มไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ฟาร์มไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ขนาดโรงเรียน	50 x 10 m ²	50 x 10 m ²	50 x 10 m ²
พัดลม	4 ตัว , ϕ 120 cm , 1 hp/ตัว	5 ตัว , ϕ 120 cm , 1 hp/ตัว	4 ตัว , ϕ 120 cm , 1 hp/ตัว
ปั๊มน้ำ	1 ตัว , 1 hp	2 ตัว, 0.5 hp/ตัว	2 ตัว, 0.5 hp/ตัว
พื้นที่ม่านเบี่ยง	1.8 x 10 m ²	1.8 x 3.9 m ² /ด้าน	1.75 x 3 m ² /ด้าน
จำนวนสัตว์	6,400 ตัว	4,608 ตัว	1,141 ตัว
ชนิดม่านเบี่ยง	เยื่อเซลลูโลส	เยื่อเซลลูโลส	เยื่อเซลลูโลส
การติดตั้งม่านเบี่ยง	ท้ายโรงเรียน	ด้านข้างโรงเรียน	ด้านข้างโรงเรียน

4.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์

□ กำลังการติดตั้งพื้นที่ม่านเบี่ยง

จากการศึกษาพบว่าโรงเรียนที่ทดสอบมีการติดตั้งพื้นที่ม่านเบี่ยงต่อพื้นที่โรงเรียนประมาณ 0.021-0.036 m²/m² โดยโรงเรียนของเอกชนจะมีกำลังติดตั้งสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะใช้ในการออกแบบโรงเรียนต้นแบบต่อไป

□ ปริมาณอากาศภายในโรงเรียน

จากการศึกษาอัตราการไหลอากาศภายในโรงเรียนต่อพื้นที่ของโรงเรียนพบว่าโรงเรียนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม มีความเร็วอากาศแต่ละตัวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.58 m/s หรือประเมินเป็นอัตราการไหลอากาศได้ประมาณ 14,575.98 m³/h-ตัว ซึ่งขณะทดสอบพัดลมทำงาน 2 ตัว คิดเป็นอัตราการไหลอากาศรวมได้ 29,151.96 m³/h ซึ่งคิดเป็นอัตราการไหลอากาศจำเพาะสูงสุดเทียบกับพื้นที่โรงเรียน 58.30 m³/h-m²

โรงเรียนไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีอัตราการไหลอากาศประมาณ 7,082.50 m^3/h -ตัว ซึ่งขณะทดสอบพัดลมทำงาน 2 ตัว คิดเป็นอัตราการไหลอากาศ 14,165 m^3/h ซึ่งคิดเป็นอัตราการไหลอากาศจำเพาะสูงสุดเทียบกับพื้นที่โรงเรียน 28.33 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

โรงเรียนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีอัตราการไหลอากาศประมาณ 10,715 m^3/h -ตัว ซึ่งขณะทดสอบพัดลมทำงาน 2 ตัว คิดเป็นอัตราการไหลอากาศ 21,430 m^3/h ซึ่งคิดเป็นอัตราการไหลอากาศจำเพาะสูงสุดเทียบกับพื้นที่โรงเรียน 42.86 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเลี้ยงไก่ต่อพื้นที่พบว่า โรงเรียนเลี้ยงไก่ของ รุ่งเรืองฟาร์มจะมีความหนาแน่นสูงกว่าโรงเรียนเลี้ยงไก่ไข่มหาวิทยาลัยประมาณ 28 %



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในโรงเรียนมหาวิทยาลัยแม่โจ้

□ อุณหภูมิน้ำ

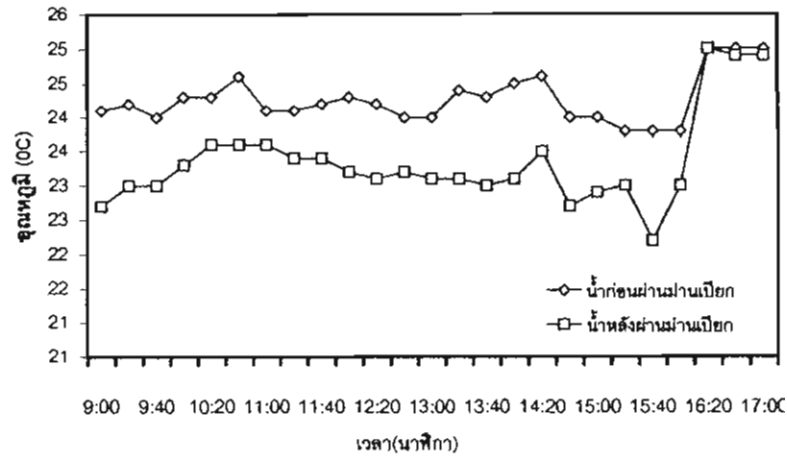
อุณหภูมิน้ำในบ่อพักก่อนปั๊มน้ำผ่านมานเปียก และน้ำที่ผ่านมานเปียก พบว่าทุกโรงเรียนในช่วงทดสอบน้ำมีอุณหภูมิอยู่ช่วง 24-25 °C และหลังผ่านมานเปียกจะมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยน้ำที่ผ่านมานเปียกจะวนกลับมาเก็บที่บ่อพักน้ำตามเดิม ดังแสดงภาพที่ 4.2

□ การกระจายตัวอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรียน

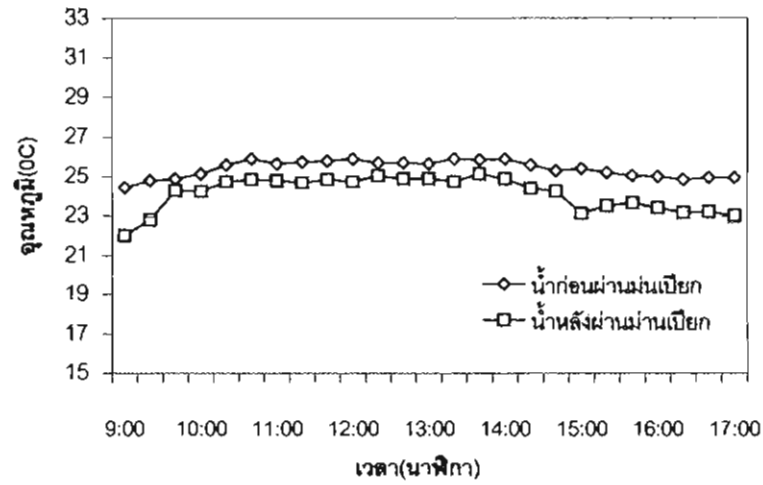
จากการทดสอบในพบว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำของโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ทั้ง 3 โรงเรียนสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในโรงเรียนอยู่ในช่วง 26.7 °C - 28.8 °C ดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในช่วงทดสอบมีค่า 30.0-37.4 °C และมีการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรียนในช่วง 0.073-0.108 °C/m ซึ่งการกระจายตัวที่ต่ำแสดงถึงความสม่ำเสมอของอากาศภายในโรงเรียนระหว่างด้านหน้าและด้านหลังพัดลม ทำให้สัตว์อยู่สบาย

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบโรงเรือนต่างๆ

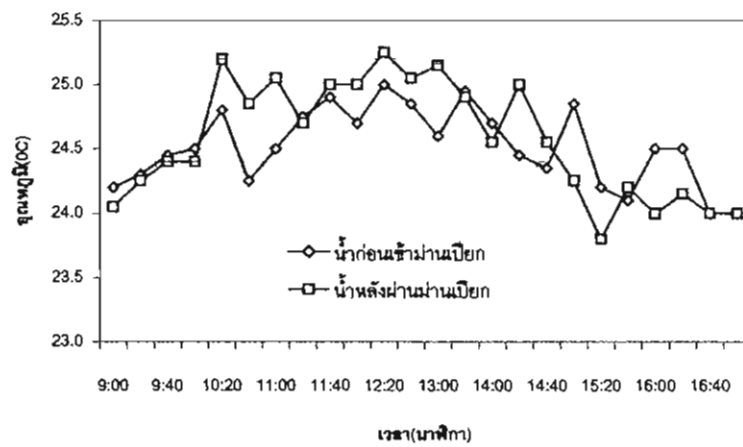
สถานที่ทดสอบ	อัตราการไหล อากาศ จำเพาะ ต่อพื้นที่ โรงเรือน $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	อุณหภูมิของน้ำ (ผ่านเปือก) $^{\circ}\text{C}$			อุณหภูมิ อากาศ แวดล้อม เฉลี่ย $^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิเฉลี่ย ภายในโรงเรือน $^{\circ}\text{C}$				การ กระจาย อุณหภูมิ ภายใน โรงเรือน $^{\circ}\text{C}/\text{m}$	ความชื้น สัมพัทธ์ ภายใน โรงเรือน %	พื้นที่ ผ่าน เปือก ต่อพื้นที่ โรงเรือน m^2/m^2	ประสิทธิ ภาพ ผ่าน เปือก %	การใช้ พลังงาน ไฟฟ้า kW- h/day
		ก่อน ผ่าน	หลัง ผ่าน	ผลต่าง		หน้า	กลาง	หลัง	เฉลี่ย					
ฟาร์มไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม	58.30	24.3	23.3	1.0	37.4	26.3	28.4	31.7	28.5	0.108	76.2	0.036	87.3	29.54
ฟาร์มไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	28.33	25.4	24.1	1.3	30.0	24.8	26.5	28.7	26.7	0.073	85.5	0.028	85.1	59.68
ฟาร์มไก่ฟอแมพันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	42.86	24.6	24.5	0.1	34.2	25.7	26.6	28.9	27.1	0.106	85.1	0.021	86.1	52.82



ก. โรงเรียนโกไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม

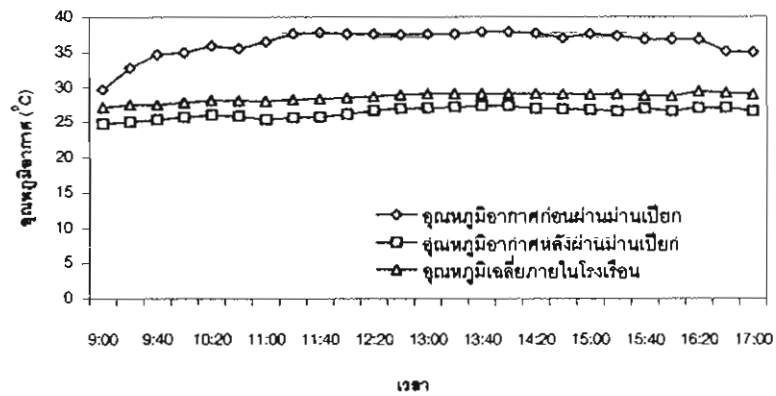


ข.โรงเรียนโกไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

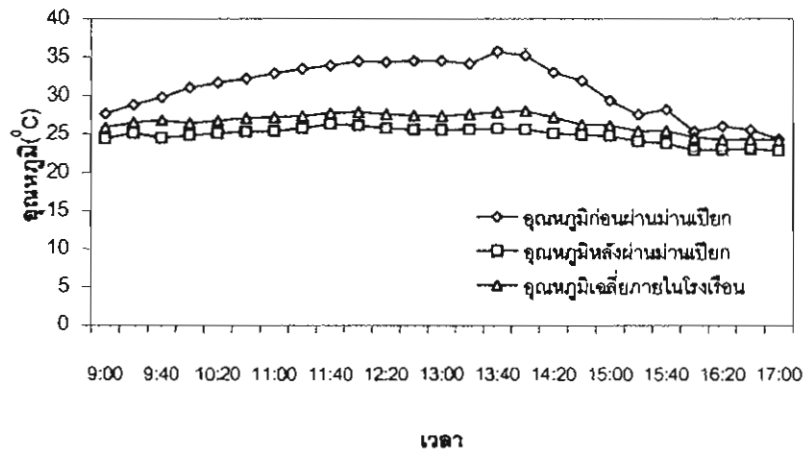


ค. โรงเรียนโกฟ่อนแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

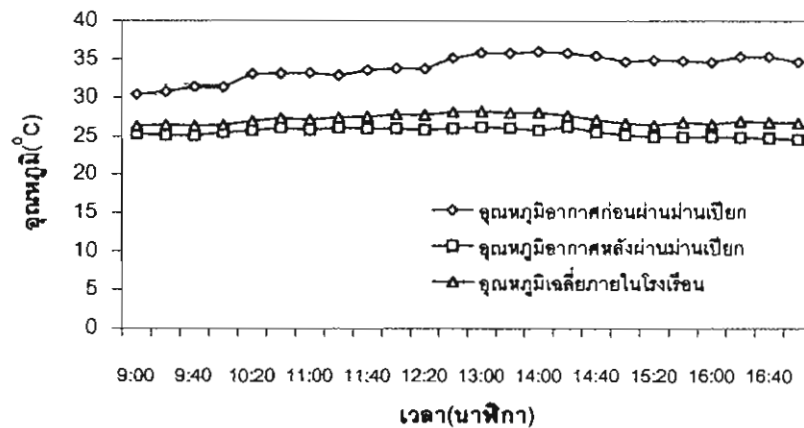
ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิน้ำก่อนและหลังผ่านม่านเปียกของโรงเรียน



ก. โรงเรียนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม



ข. โรงเรียนไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



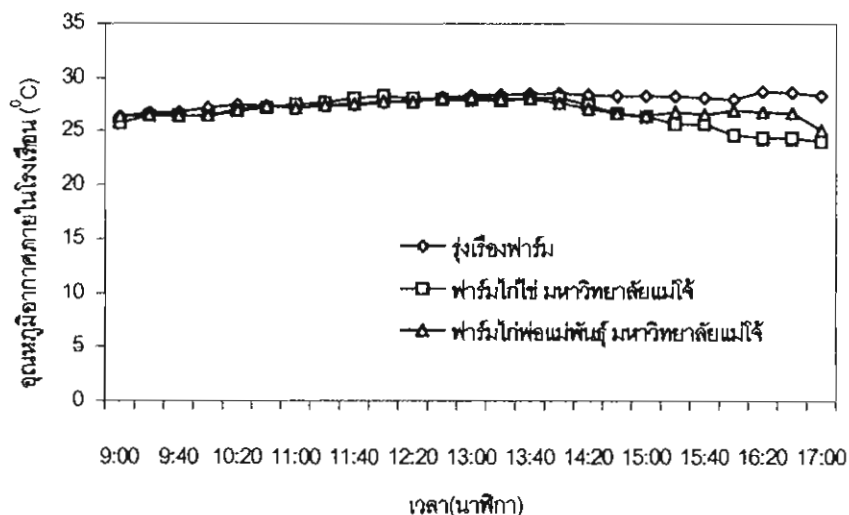
ค. โรงเรียนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรียน

โรงเรียนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม เมื่ออากาศแวดล้อมผ่านม่านเบี่ยงทำให้อุณหภูมิมีค่าลดลง พบว่าที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด 41°C อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยมีค่า 29.3°C สามารถลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ 12.8°C และอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน บริเวณท้ายโรงเรือนกับหน้าโรงเรือนมีค่าต่างกันประมาณ 5.4°C กรณีพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน ม่านเบี่ยงสามารถลดอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้สูงสุดประมาณ 10.04°C โดยอากาศภายในโรงเรือนเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 28.82°C สำหรับการกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือนนั้นอยู่ในช่วง 0.108°C/m

โรงเรียนไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด 38.6°C ณ เวลา 13:40-15:20 น. อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยมีค่า 27.4°C สามารถลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ 8.25°C และอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนบริเวณท้ายโรงเรือนกับหน้าโรงเรือนมีค่าต่างกันประมาณ 3.65°C กรณีพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน ม่านเบี่ยงสามารถลดอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้สูงสุดประมาณ 6.21°C โดยอากาศภายในโรงเรือนเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 26.7°C สำหรับการกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือนนั้นอยู่ในช่วง 0.073°C/m

โรงเรียนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด 38.1°C ณ เวลา 13:40 - 16:40 น. อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยมีค่า 27.3°C สามารถลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ 8.27°C และอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนบริเวณท้ายโรงเรือนกับหน้าโรงเรือนมีค่าต่างกันประมาณ 5.3°C กรณีพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน ม่านเบี่ยงสามารถลดอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้สูงสุดประมาณ 6.4°C โดยอากาศภายในโรงเรือนเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 27.07°C สำหรับการกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือนนั้นอยู่ในช่วง 0.106°C/m การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่ทดสอบ

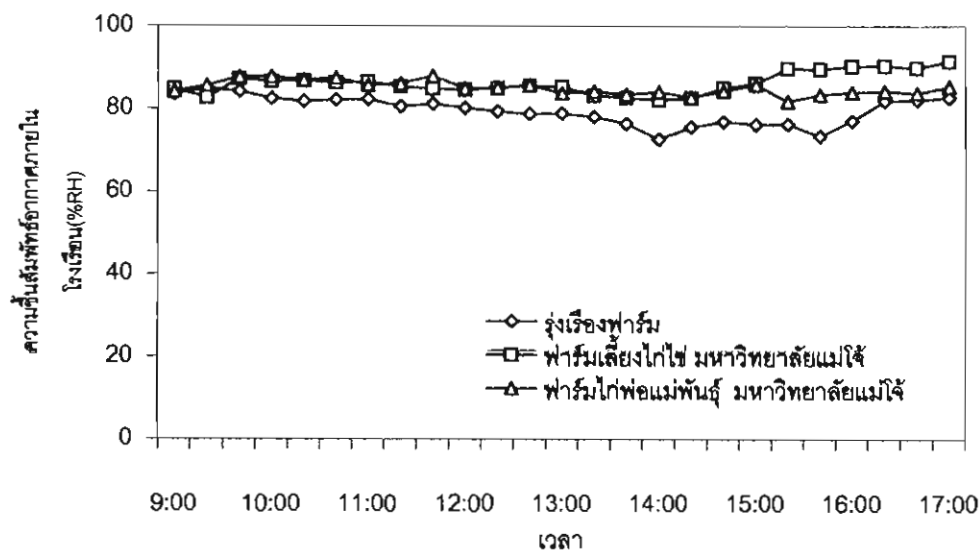
□ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

จากการทดสอบพบว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านม่านเปียกได้ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 76.2-85.1 % ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และจะมีค่าลดลงตามความยาวของโรงเรือนเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามแนวยาวโรงเรือน

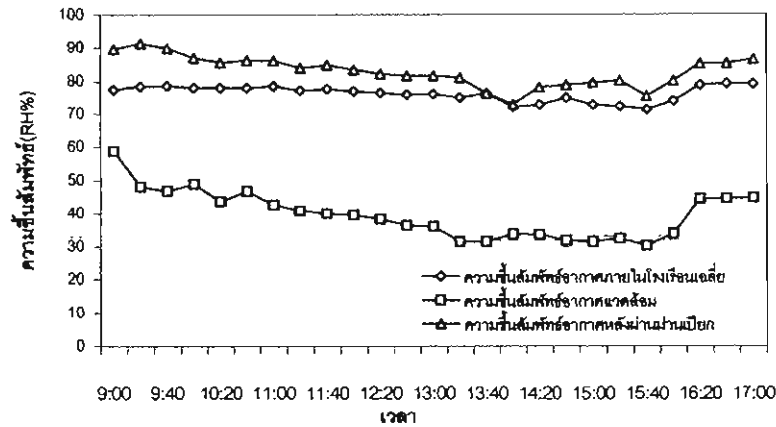
การทดสอบของโรงเรือนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 39.6 % หลังผ่านม่านเปียกจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 82.9 % สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนจะเฉลี่ยอยู่ที่ 76.2 % ซึ่งจะน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังผ่านม่านเปียก 6.7 % ทั้งนี้เนื่องจากค่าอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นภายในโรงเรือนจากการรับรังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณความร้อนจากไก่ที่อยู่ภายในโรงเรือนแสดงได้ดังภาพที่ 4.6

การทดสอบของโรงเรือนไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 59.1 % หลังผ่านม่านเปียกจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 91.4 % สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนจะเฉลี่ยอยู่ที่ 85.5 %

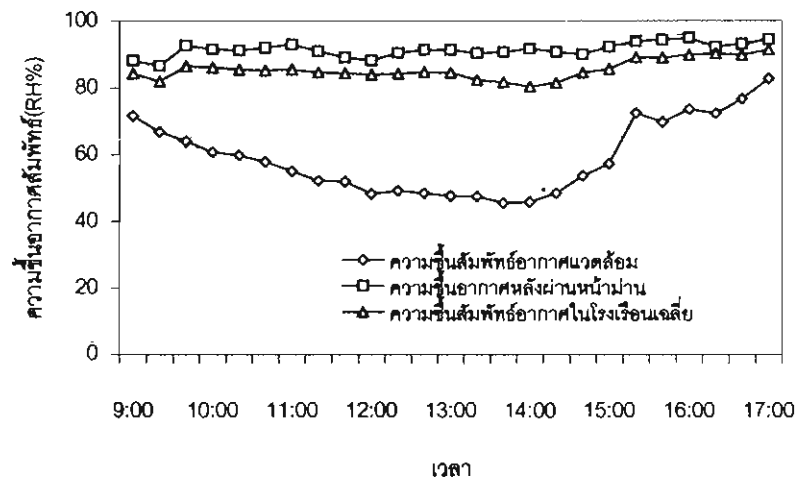
การทดสอบของโรงเรือนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.14 % หลังผ่านม่านเปียกจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 91.62 % สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนจะเฉลี่ยอยู่ที่ 85.07 %



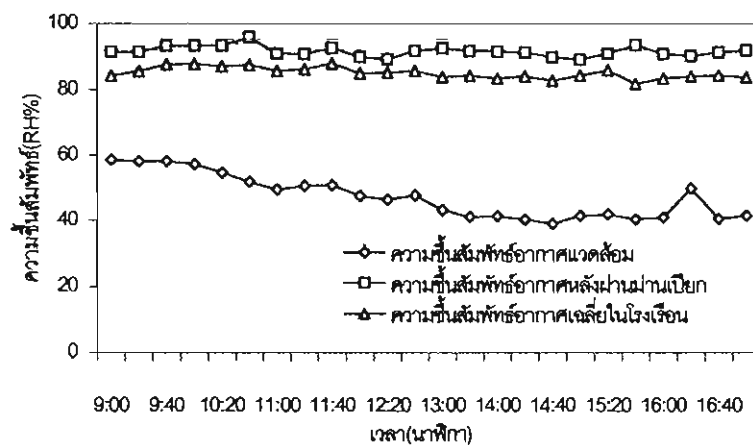
ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือน



ก. โรงเรียนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม



ข. โรงเรียนไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ง. โรงเรียนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรียนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

๑ ประสิทธิภาพของม่านเปียก

จากการทดสอบพบว่าโรงเรือนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม มีประสิทธิภาพของม่านเปียกสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 87.3 % โรงเรือนไก่ไข่ และโรงเรือนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ม่านเปียกมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 85.1 % และ 86.1 % ตามลำดับ

๑ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการทดสอบพบว่าระบบการทำงานของพัดลมและปั้มน้ำของโรงเรือนที่ทดสอบแยกการทำงานออกเป็น 2 ระบบ

1. ระบบการตั้งอุณหภูมิการทำงานของพัดลมและปั้มน้ำโดยจะตั้งให้ทำงานตลอดเวลา 2 ตัว พัดลมตัวที่ 2 และ 3 จะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิ 21.11°C และ 25.56°C ส่วนปั้มน้ำจะเริ่มทำงานที่ 26.67°C ตามลำดับ (โรงเรือนเลี้ยงไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้)
2. ระบบการตั้งอุณหภูมิการทำงานของพัดลมและปั้มน้ำโดยจะตั้งให้ทำงานตลอดเวลา 2 ตัว พัดลมตัวที่ 2 3 และ 4 จะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิ 21.11°C 25.56°C และ 26.67°C ส่วนปั้มน้ำจะเริ่มทำงานที่ 26.67°C ตามลำดับ (โรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้)

โรงเรือนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม จะใช้ความรู้สึกรู้สึกของผู้เลี้ยงเป็นเกณฑ์ในการเปิดปิด พัดลมจะทำงาน 2 ตัว และจะหยุดทำงานเหลือ 1 ตัวในเวลา 20:00 น. จากนั้นจะทำงานต่อเนื่องที่เวลา 8:00 น. คิดเป็นการทำงานของพัดลมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 1 ตัว และเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จำนวน 1 ตัว โดยปั้มน้ำทำงานประมาณ 3.6 ชั่วโมง จำนวน 1 ตัว พบว่ามีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 29.54 kW-h/d หรือคิดเป็น 10,782 kW-h/y โดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 2.98 บาท/kW-h ดังนั้นโรงเรือนไก่ไข่ รุ่งเรืองฟาร์ม จะเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าปีละประมาณ 32,130.4 บาท

โรงเรือนไก่ไข่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่ามีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 59.68 kW-h/d หรือคิดเป็น 21,783 kW-h/y คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 2.98 บาท/kW-h ดังนั้น จะเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าปีละประมาณ 64,913.3 บาท

โรงเรียนไก่พ่อแม่พันธุ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 52.82 kW-h/d คิดเป็น 19,279 kW-h/y คิดค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 2.98 บาท/kW-h ดังนั้น จะเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าปีละประมาณ 57,451.4 บาท

จากการศึกษาโดยภาพรวมพบว่า โรงเรียนเลี้ยงสัตว์แบบระเหยน้ำแบบเดิมมีอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเฉลี่ย อยู่ในช่วง 27.1-28.5 °C (กลางวัน) และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 76.2-85.1 % ระบบการควบคุมแบบของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จะสามารถควบคุมให้อุณหภูมิอากาศได้ต่ำกว่าแบบของเอกชน แต่ในขณะเดียวกันพบว่าการสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่าของเอกชนถึง 50.6 % และการตั้งระบบแบบอัตโนมัติแบบของมหาวิทยาลัยทำให้ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนสูงกว่าโรงเรือนของเอกชนประมาณ 9.3 % ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสัตว์เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่สูงเกินไปได้

ส่วนที่ 2 การพัฒนาและทดสอบสมรรถนะของระบบทำความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น

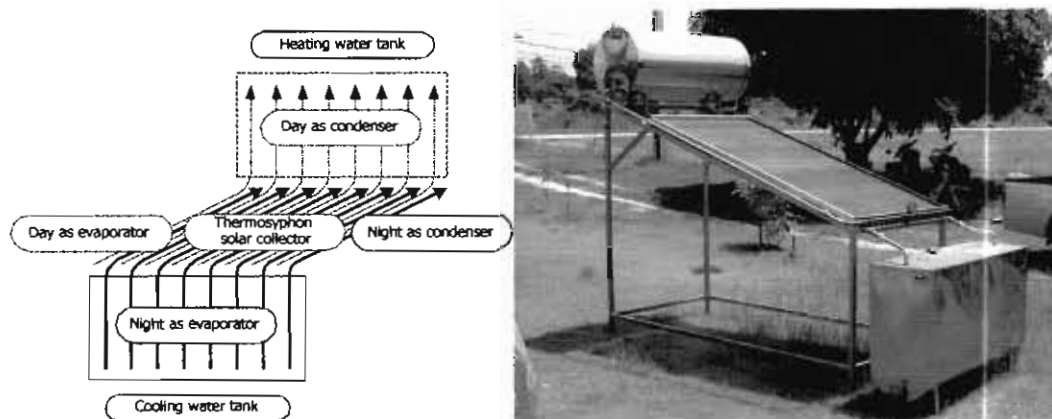
4.2 การพัฒนาระบบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น

4.2.1 ลักษณะตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อน

ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น โดยระบบที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบไปด้วย ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน 2 ชุด ซึ่งมีข้อดีคือสามารถผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น และในส่วนของ Evaporator ของท่อความร้อนชุดบนและ Condenser ของท่อความร้อนชุดล่างที่ประกอบร่วมกันเป็นตัวรับรังสีนั้นจะทำให้พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้นในการทำงาน

ในเวลากลางวันท่อความร้อนชุดล่างจะทำงานโดยตัวรับรังสีจะทำหน้าที่เป็นตัว Condenser ระบายความร้อนในถึงน้ำเย็นทิ้งสู่อากาศ ทำให้น้ำในถังล่างเย็นลง ในช่วงเวลากลางวันท่อความร้อนชุดบนจะทำงาน โดยตัวรับรังสีจะทำหน้าที่เป็น Evaporator รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์โดย Condenser ของท่อความร้อนชุดบนจะอยู่ในถังน้ำร้อน เมื่อสารทำงานภายในท่อความร้อนส่วน Evaporator รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ก็จะทำให้สารทำงานเดือดกลายเป็นไอลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนในส่วนของ Condenser และแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำกลายเป็นของเหลว และน้ำภายในถังน้ำอุ่นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ท่อความร้อนชุดล่างจะหยุดทำงาน

อัตราในเวลากลางวัน (อุณหภูมิน้ำเย็นต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ) เช่นเดียวกับท่อความร้อนชุดบน จะหยุดทำงานเช่นกัน ในเวลากลางคืน (อุณหภูมิน้ำร้อนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ) ดังนั้นจะเห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอกทำให้ประหยัดพลังงาน



ภาพที่ 4.7 ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบท่อความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น

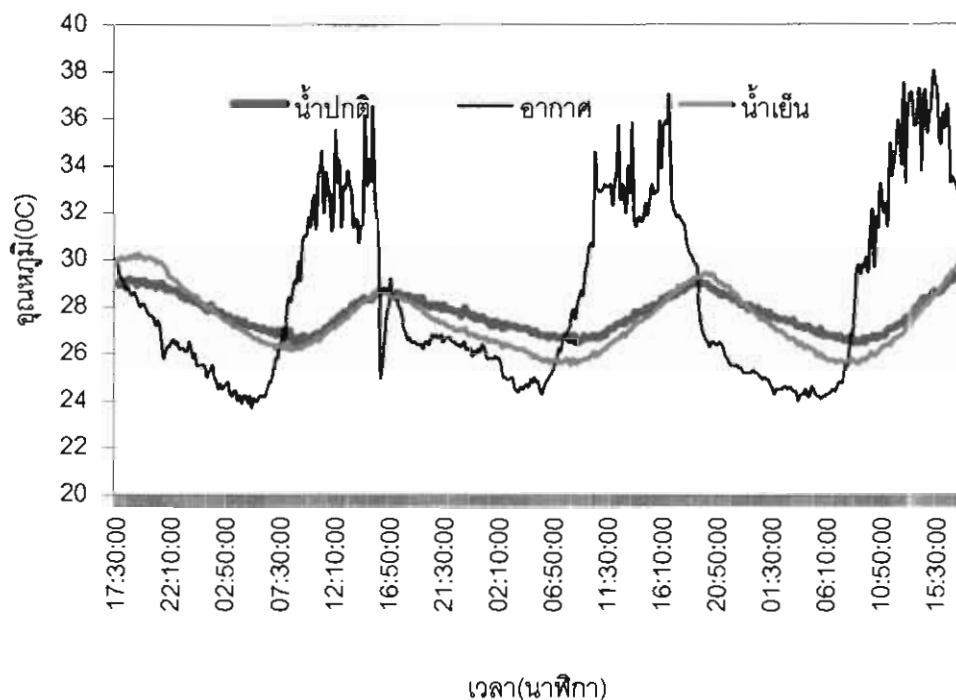
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของตัวรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น

รายการ	แผง Condenser	แผง Evaporator
ขนาดแผง	1.15 x 2.15 m ²	0.65 x 1.2 m ²
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	2.47 m ²	0.78 m ²
พื้นที่แผ่นครีป/ตารางนิ้ว	8 in ²	8 in ²
สารทำงาน	R22	R22
ปริมาณสารทำงาน	-	% 50

4.2.2 ผลการทดสอบการตัวรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น

จากการทดสอบการผลิตน้ำเย็นโดยใช้ตัวรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน ซึ่งในช่วงที่ทดสอบเป็นช่วงฤดูร้อนที่อากาศแวดล้อมมีค่าสูงโดยมีค่าในช่วง 24-38 °C ซึ่งพบว่าในช่วงเวลากลางคืนระบบที่พัฒนาสามารถอุณหภูมิน้ำที่มีปริมาตร 1,000 ลิตร จากอุณหภูมิ 30 °C เหลือ 26 °C ภายใน 12 ชั่วโมง โดยสามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าน้ำปกติที่ไม่มีการติดตั้งท่อ

ความร้อนประมาณ 2.6°C ซึ่งแสดงว่าระบบดังกล่าวสามารถทำงานได้ สำหรับการทดสอบการผลิตน้ำร้อนนั้น จากการทดสอบพบว่าสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิ $48-52^{\circ}\text{C}$ ภายในช่วงเวลา 8-10 ชั่วโมง (กลางวัน)

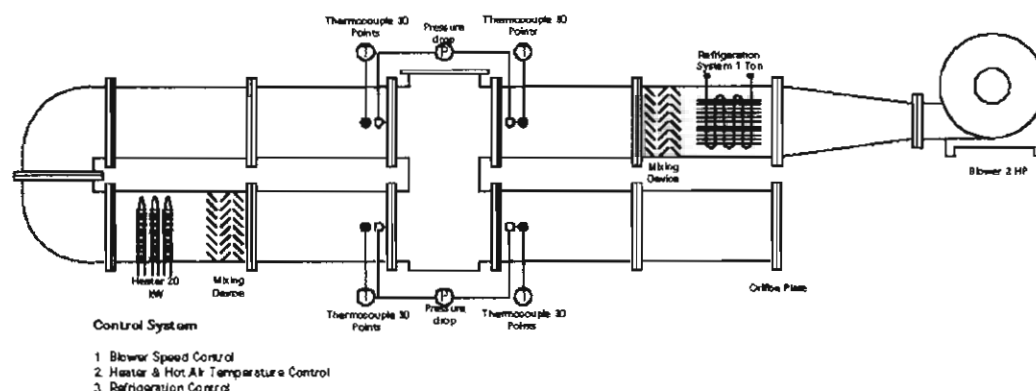


ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบการผลิตน้ำเย็นโดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไพพอน

4.2.3 การทดสอบสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียก (Wetted media)

การทดสอบสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียก โดยการนำม่านเปียก ขนาด 40×40 เซนติเมตร ในอุโมงค์ลมที่ออกแบบตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE ตั้งอยู่ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะ จ.ลำปาง และขนาดของอุปกรณ์ทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

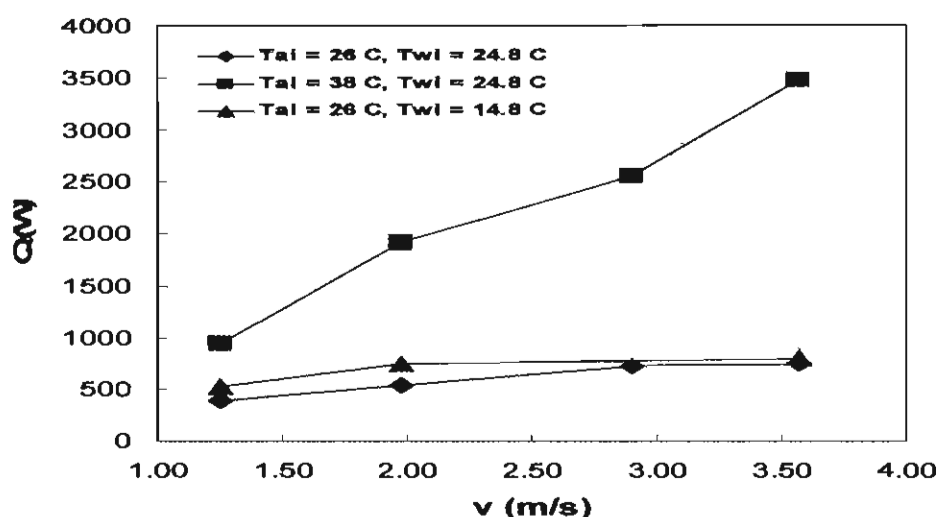
1. ขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ลม	40x40	เซนติเมตร
2. ความยาวรวมของอุโมงค์ลม	10	เมตร
3. ขนาดของพัดลมส่งอากาศ	2	แรงม้า
4. ขนาดของระบบปรับอากาศ	1	ตันความเย็น
5. ขนาดของขดลวดทำความร้อน	20	กิโลวัตต์
6. อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ	Orifice Plate	
7. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	Thermocouple Type K	
8. จำนวนจุดวัดอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่ง	30	จุด



ภาพที่ 4.9 อุปกรณ์และการทำงานของอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบ

จากการทดสอบอัตราการสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียก พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ป้อนที่ม่านเปียกและอากาศแวดล้อมที่ไหลผ่านม่านเปียก จากการทดสอบโรงเรือนในส่วนที่ 1 ความเร็วอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านม่านเปียกมีค่าในช่วง 1.5-2 เมตรวินาที ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของ

ม่านเปียกมีค่าประมาณ 500-2,000 วัตต์ เมื่อลดอุณหภูมิน้ำเย็นจาก 24.8 °C เหลือ 14.8 °C ที่อุณหภูมิอากาศไหลผ่านม่านเปียก 26 °C และความเร็วลมอากาศ 2 m/s ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียกจะเพิ่มขึ้น (เพิ่มจาก 543.3 เป็น 752.5 วัตต์ คิดเป็น 27.8 % และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(UA, W/K) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 509.4 เป็น 664.0 W/K ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงเมื่อลดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ป้อนม่านเปียกจะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงเรือนได้



ภาพที่ 4.10 อัตราการถ่ายเทความร้อนของม่านเปียก (Wetted media)

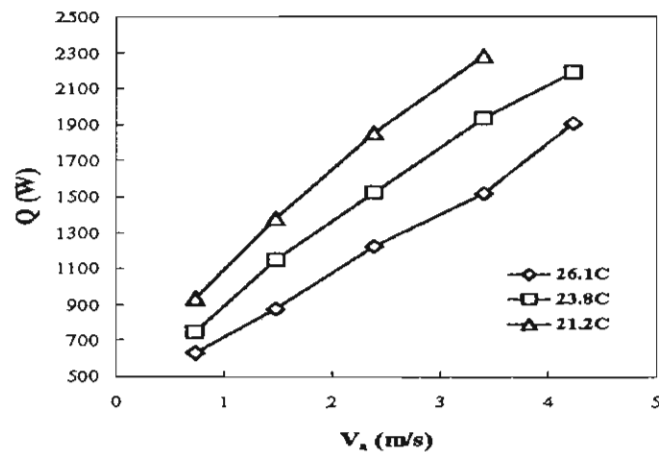
4.2.4 การประเมินอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

การประเมินการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน จะใช้การทดสอบในอุโมงค์ลมเช่นเดียวกับการทดสอบม่านเปียก ซึ่งเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE อุปกรณ์ทดสอบทดสอบที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะ จ.ลำปาง

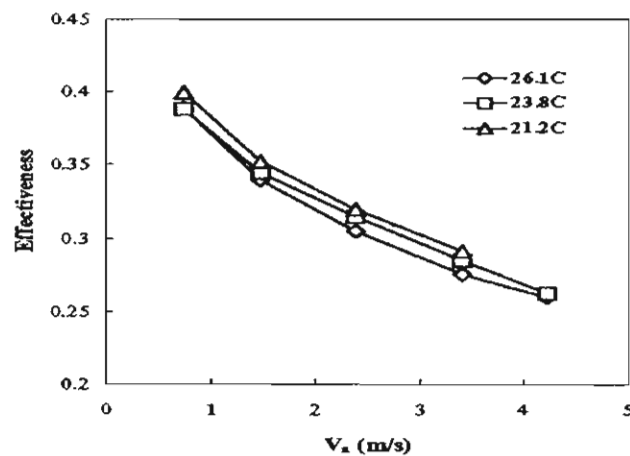
จากภาพที่ 4.11 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไครฟอนพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของอากาศสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศเย็นเพิ่มขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการลดลงของผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนและอากาศเย็นนั่นเอง ภาพที่ 4.12 แสดงค่าประสิทธิผลของท่อความร้อน พบว่าจะมีค่าลดลงเมื่อมีความเร็วของอากาศเพิ่มสูงขึ้น และผลของอุณหภูมิอากาศเย็นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ภาพที่ 4.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพื้นที่ของท่อความร้อน ซึ่งพบว่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ

ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศเย็นสูงขึ้น

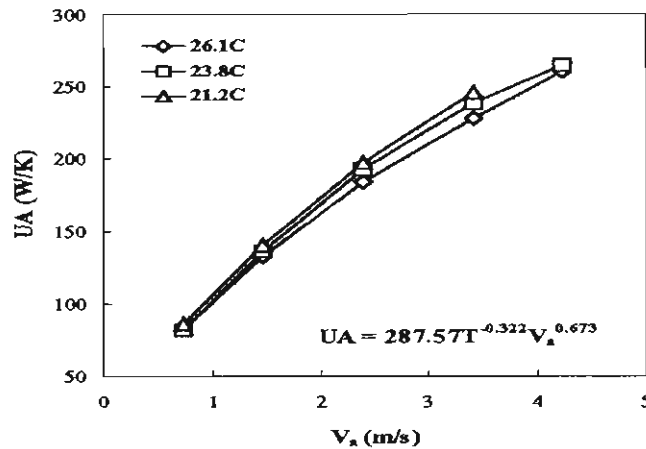
โดยทั่วไปแล้วค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพื้นที่จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับพื้นผิวของท่อคิริบ ค่าการนำความร้อนของท่อคิริบ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดและการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อ



ภาพที่ 4.11 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพื้นที่ของ
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดและการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อ และการนำความร้อนของท่อครีปมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับท่อครีป ดังนั้นสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับท่อครีปเป็นหลัก ซึ่งในกรณีของท่อความร้อนทั่วไป ค่าดังกล่าว จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น และอิทธิพลของอุณหภูมิจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับท่อครีปน้อยมาก แต่จากการทดลองจะเห็นผลของอุณหภูมิอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากว่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศที่ส่วนควบแน่นและส่วนระเหย ส่งผลต่อปรากฏการณ์การเดือดและการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อ ซึ่งถ้าหากความแตกต่างดังกล่าวมีค่ามาก จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อสูงขึ้น นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพื้นที่ที่สูงขึ้นตามไปด้วย

ส่วนที่ 3 การทดสอบโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน สำหรับผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นสำหรับโรงเรือนเลี้ยงสัตว์

4.3 การพัฒนาโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็น

4.3.1 การพัฒนาโรงเรือนเลี้ยงสัตว์

จากข้อมูลที่ศึกษาในขั้นตอนที่ 4.1-4.2 ได้ทำการออกแบบและพัฒนาโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ต้นแบบที่มีการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน โดยได้ทำการสร้างที่โรงเรือนฟาร์มสัตว์ปีก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมี

เจ้าหน้าที่สัตวบาล และเจ้าหน้าที่ประจำฟาร์มสัตว์ปีกที่มีความเชี่ยวชาญในการเลี้ยงสัตว์ปีก ซึ่งลักษณะโรงเรือนที่สร้างแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 โรงเรือนที่สร้างใหม่มีลักษณะพิเศษเพิ่มเติมจากโรงเรือนทั่วไปคือจะมีระบบการเดินท่อน้ำสำหรับป้อนน้ำร้อนหรือน้ำเย็นที่พื้นโรงเรือนซึ่งจะทำให้สามารถกระจายความเย็นภายในโรงเรือนได้ดีขึ้น และในเวลากลางคืนหรือหน้าหนาวสามารถป้อนน้ำร้อนที่พื้นโรงเรือนซึ่งจะทำให้สัตว์อบอุ่น มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น

ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ทำติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนร่วมกับน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน

รายการ	หน่วย
ขนาดโรงเรือน	3.5 x 9 m ²
พัดลม	1 ตัว , ϕ 96 cm , 1 hp/ตัว
ปั้มน้ำ	1 ตัว , 1 hp
พื้นที่ม่านเปียก	1.8 x 3 m ²
ชนิดม่านเปียก	เยื่อเซลลูโลส
การติดตั้งม่านเปียก	ด้านท้ายโรงเรือน



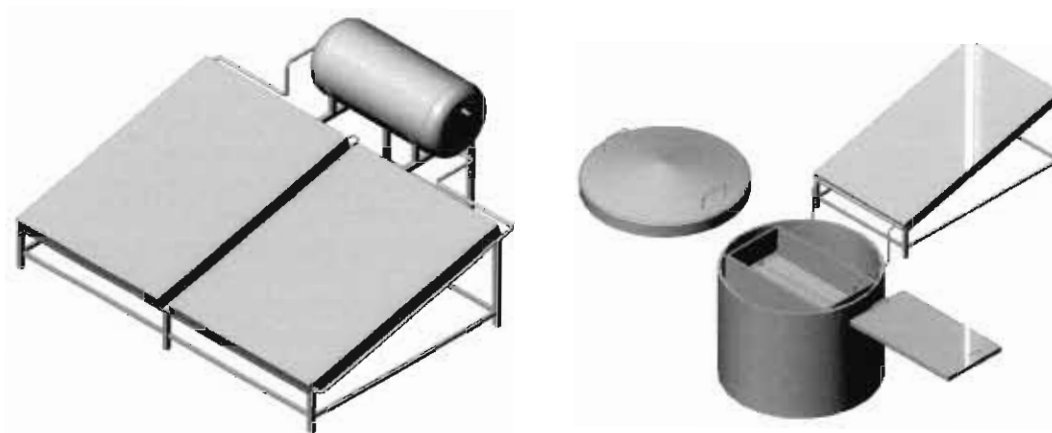
ภาพที่ 4.14 ฟาร์มสัตว์ปีก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพที่ 4.15 โรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบใหม่ที่มีการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น

4.3.2 การติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นใช้ทำความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน

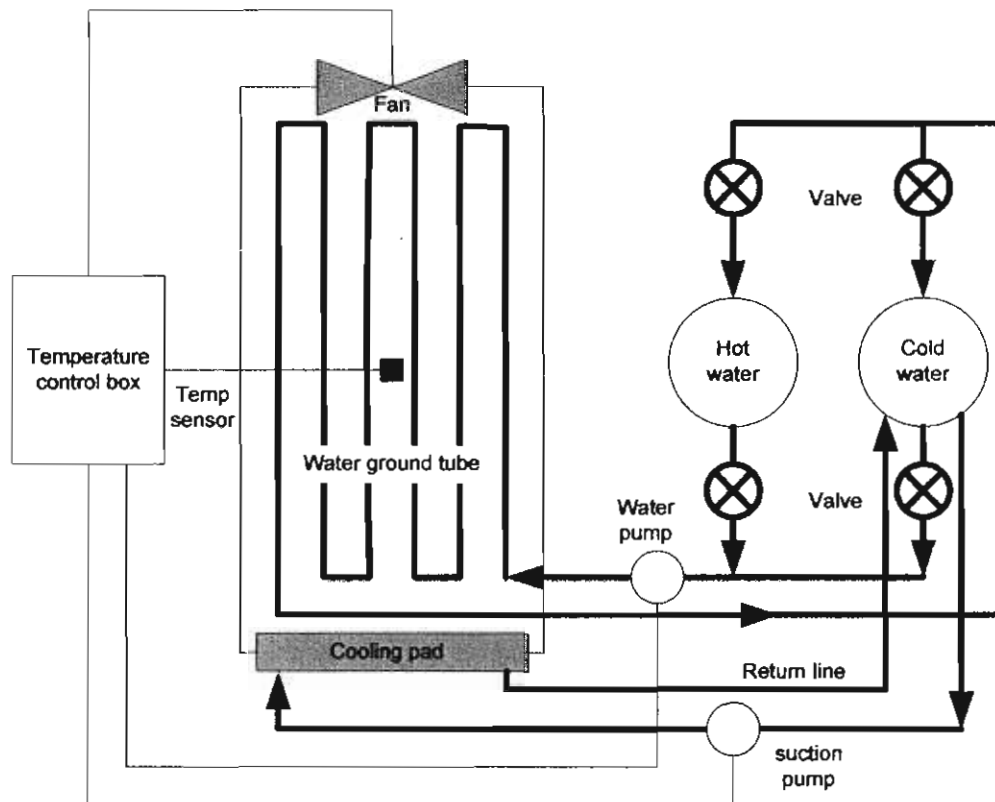
ระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นชนิดเทอร์โมไซฟอนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาติดตั้งกับโรงเรือนแบบใหม่ ในส่วนของ Condenser มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนความร้อนขนาด 1.15 m. x 2.15 m. คิดเป็นพื้นที่ในถ่ายเทความร้อนความร้อน 2.47 m² โดยตัวCondenserเป็นลักษณะท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน 2 ชุด ซ้อนกันด้านบนและด้านล่าง และ ส่วนของEvaporator มีพื้นที่ของระบบทำความเย็นทำความเย็นขนาด 0.65 m. x 1.2 m. คิดเป็นพื้นที่ระบบทำความเย็นทำความเย็น 0.78 m² ดังแสดงในภาพที่ 4.16 ถึงน้ำเย็นมีขนาดความกว้าง 0.7 m. ความยาว 1.3 m. ความสูงของตัวถังน้ำเย็นประมาณ 1.10 m. และสามารถจุน้ำเย็นได้ประมาณ 1,110 ลิตร มีการหมุนวนกันความร้อนบริเวณผนังภายนอกของถังน้ำ



แผง Condenser

แผง Evaporator

ภาพที่ 4.16 ลักษณะแผง Condenser และ Evaporator



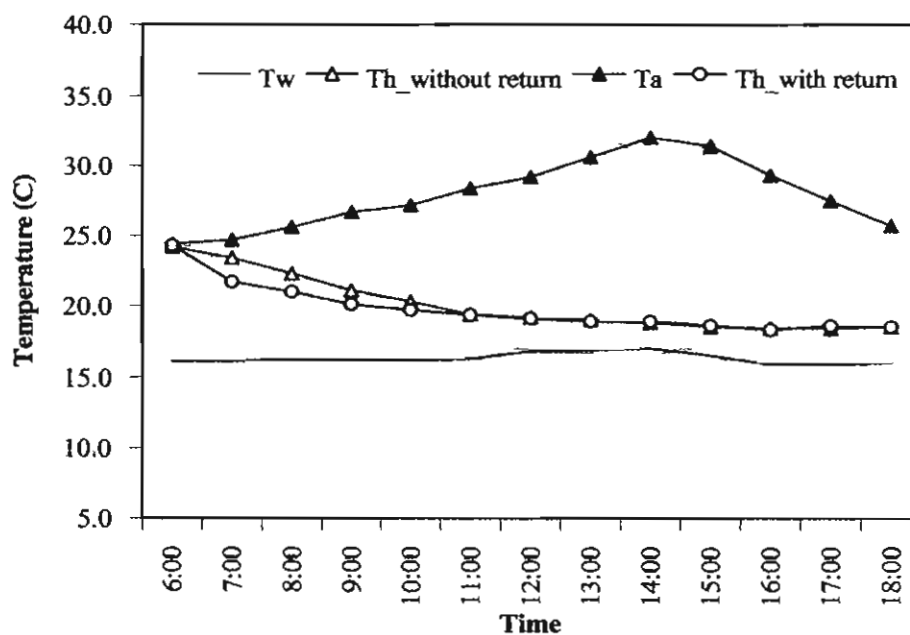
ภาพที่ 4.17 การทำงานของโรงเรือนเมื่อติดตั้งระบบน้ำร้อนและน้ำเย็น

การทำงานของโรงเรือนเมื่อติดตั้งระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นแบบเทอร์โมไซฟอนพลังงานแสงอาทิตย์ การทำงานจะเริ่มจากระบบควบคุมอุณหภูมิจะตรวจวัดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน ว่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าสูงกว่าจะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงาน โดยที่พัดลมจะเปิดตลอดเวลา เนื่องจากต้องระบายอากาศเสียที่เกิดจากการหายใจและมูลสัตว์ อากาศแวดล้อมจะถูกดูดจากพัดลมแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่มานเปียก และแลกเปลี่ยนความร้อนกับท่อน้ำเย็นที่พื้น ทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงจนต่ำกว่าค่าที่ตั้งประมาณ 1°C ระบบจะสั่งให้ปั๊มหยุดทำงาน และเริ่มตรวจเช็คอุณหภูมิอากาศใหม่ ซึ่งเมื่ออากาศภายในโรงเรือนเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจของสัตว์หรือความร้อนที่เกิดจากมูลสัตว์ จนอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ประมาณ 1°C ปั๊มน้ำก็จะทำงานอีกครั้งหนึ่ง ทำให้อุณหภูมิโรงเรือนจะถูกควบคุมจากค่าที่ต้องการ $\pm 1^{\circ}\text{C}$

4.4 การทดสอบสมรรถนะของโรงเรือนเลี้ยงสัตว์เมื่อติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น

4.4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบระบบทำความเย็นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์โดยไม่มีและมีระบบหมุนเวียนน้ำที่พื้นโรงเรือน

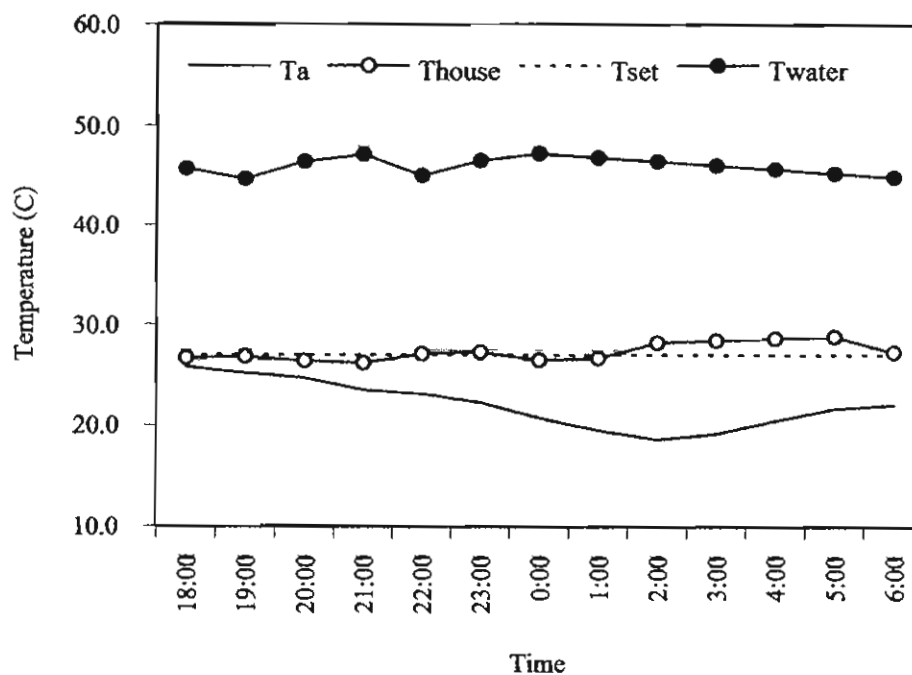
เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบให้เห็นว่าระบบหมุนเวียนน้ำที่พื้นกับระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำที่พื้น มีผลต่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนอย่างไร ในการทดสอบจึงเปิดให้ปั๊มน้ำทำงานตลอดเวลา และรวบรวมน้ำเย็นที่ป้อนเข้าพื้นและม่านเปียกที่ประมาณ 15-17 °C และความเร็วลมที่ผ่านม่านเปียกประมาณ 2 เมตรต่อวินาที จากการทดสอบพบว่า ระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำและไม่หมุนเวียนน้ำที่พื้นโรงเรือน สามารถควบคุมอุณหภูมิโรงเรือนที่ 19.7 และ 20.1 °C ตามลำดับ แต่จะเห็นได้ชัดเลยว่าอัตราการลดลงของอุณหภูมิภายในโรงเรือนในช่วง 4 ชั่วโมงแรก ระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำ จะสูงกว่าระบบไม่หมุนเวียนน้ำ ซึ่งแสดงว่าชั่วโมงการทำงานของพัดลมจะน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำที่พื้นโรงเรือน นอกจากนั้นยังพบอีกว่าระบบหมุนเวียนน้ำจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยต่ำกว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำประมาณ 5.8 % ซึ่งในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในโรงเรือนที่น้อยเกินไปจะไม่มีผลดีต่อสัตว์ ซึ่งแตกต่างจากโรงเรือนปลูกพืชที่ต้องการความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูง ระบบหมุนเวียนน้ำมีมีประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยสูงกว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำประมาณ 8.2% ซึ่งแสดงว่าระบบหมุนเวียนน้ำจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากประสิทธิภาพของระบบที่สูงขึ้นด้วยนั่นเอง



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนระบบไหลเวียนน้ำที่พื้นโรงเรือน

4.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบระบบทำความเย็นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่ ใช้ระบบน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์

ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่พัฒนาสามารถผลิตน้ำร้อนได้ในช่วง 45-50 °C ซึ่งจากการทดสอบการนำมาใช้กับโรงเรือนในช่วงเวลากลางคืนที่อากาศแวดล้อมมีค่าต่ำ โดยตั้งอุณหภูมิการทำงานของปั๊มที่อุณหภูมิ 27 °C โดยโรงเรือนจะถูกควบคุมอยู่ที่ประมาณ 27 ± 1 °C และเปิดวาล์วให้น้ำไหลที่ 100 ลิตร/นาที่ พบว่าระบบที่พัฒนาสามารถควบคุมอุณหภูมิโรงเรือนเฉลี่ยที่ 27.3 °C และอุณหภูมิสูงสุดภายในโรงเรือน 28.8 °C และต่ำสุดที่ 26.2 °C ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีการสะสมความร้อนภายในโครงสร้างจึงคายความร้อนออกมาถึงแม้ว่าปั๊มน้ำจะไม่ทำงาน แต่อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาสามารถใช้ในการควบคุมอุณหภูมิโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ในฤดูหนาวได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 4.19 อุณหภูมิภายในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์เมื่อใช้ระบบน้ำร้อนหมุนเวียนพื้นโรงเรือน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

การสร้างโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ระบบปิดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีความจำเป็นมากในการเพิ่มผลผลิตของสัตว์ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถควบคุมโรคระบาด โดยเฉพาะใช้หวัดนกได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นแสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน โดยใช้ R22 เป็นสารทำงาน โดยเติมสารทำงานประมาณ 50 % ของปริมาตรส่วนระเหย และมีการพัฒนาโรงเรือนที่มีระบบท่อน้ำสำหรับหมุนวนน้ำร้อนและน้ำเย็น ที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยติดตั้งท่อน้ำไว้ที่พื้นของโรงเรือน เสริมกับระบบม่านเปือก

ผลของการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน โดยใช้โรงเรือนของเอกชนเปรียบเทียบกับโรงเรือนเลี้ยงไก่ของฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากการศึกษาพบว่าโรงเรือนเลี้ยงไก่จะควบคุมอุณหภูมิในช่วง 26.7-28.8 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 76.2-85.1 % เป็นที่น่าสังเกตว่าโรงเรือนของเอกชนจะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่าโรงเรือนของมหาวิทยาลัยประมาณ 8.9 % และมีการสิ้นเปลืองการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า 50.6 % มีการติดตั้งพื้นที่ม่านเปือกต่อพื้นที่โรงเรือนในช่วง 0.021-0.036 m²/m² และใช้อัตราการไหลอากาศจำเพาะต่อพื้นที่โรงเรือนในช่วง 28.3-58.3 m³/h/m² และระบบทำความเย็นมีประสิทธิภาพประมาณ 85.1-87.3 % ส่วนที่ 2 จากผลการศึกษาในส่วนที่ 1 นำไปพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นแสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนและโรงเรือนที่มีระบบหมุนเวียนน้ำที่พื้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น จากการศึกษาพบว่าระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นโดยใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน สามารถลดอุณหภูมิน้ำ 1,000 ลิตร จากอุณหภูมิ 30 °C เหลือ 26 °C ภายใน 12 ชั่วโมง (ช่วงกลางวัน) และสามารถลดอุณหภูมิน้ำได้ต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำปกติประมาณ 2.6 °C สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 48-52 °C ภายในช่วงเวลา 8-10 ชั่วโมง (กลางวัน)

ผลการทดสอบอัตราการถ่ายเทความร้อนของม่านเปือกที่อุณหภูมิน้ำเย็นและอากาศแวดล้อมค่าต่าง เมื่อลดอุณหภูมิน้ำเย็นจาก 24.8 °C เหลือ 14.8 °C ที่อุณหภูมิอากาศไหลผ่านม่านเปือก 26 °C และความเร็วมอากาศ 2 m/s ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของม่านเปือกจะ

เพิ่มขึ้น 27.8 % และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(UA, W/K) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 509.4 เป็น 664.0 W/K ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงเมื่อลดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ป้อนมานเปียกจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงเรียนได้

ผลการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำที่พื้นโรงเรียนและใช้ระบบน้ำร้อนและน้ำเย็นที่พัฒนากับโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ระบบปิด พบว่าระบบดังกล่าวสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำสามารถลดอุณหภูมิโรงเรียนได้ต่ำกว่าโรงเรียนที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำและควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ดีต่ำกว่าประมาณ 5.8 % และมีประสิทธิภาพสูงกว่าประมาณ 8.6 % ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ต่ำกว่าจะมีความเหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์มากกว่า และประสิทธิภาพโรงเรียนที่สูงกว่าทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนลงในสัดส่วนที่เท่ากันด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับแนวทางการศึกษาต่อควรมีการพิจารณาดังนี้

1. มีการศึกษาการใช้งานกับการเลี้ยงสัตว์จริง เนื่องจากในการเลี้ยงสัตว์จริงจะมีการระความร้อนอีกส่วนหนึ่งจากการหายใจและความร้อนที่เกิดจากมูลสัตว์ อาจทำให้เงื่อนไขการออกแบบเปลี่ยนไป ได้
2. หาแนวทางการใช้วัสดุที่สามารถลดต้นทุนในการผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์เนื่องจากต้นแบบที่ผลิตยังมีราคาสูง
3. มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าจริงที่วัดได้ ซึ่งในงานวิจัยได้มีการศึกษาตัวแปรที่สำคัญได้แก่ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของมานเปียก และของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ทำท่อความร้อนไว้แล้ว

เอกสารอ้างอิง

- ประชากร ธาราฉาย (2538). **โรงเรือนและอุปกรณ์สัตว์ปีก**. ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์.
คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
- ศิริชัย เทพา กฤษณพงศ์ กীরติกร และทณงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2526). **การวัดอุณหภูมิ
ท้องฟ้าและความเป็นไปได้ของการทำความเย็นและปรับอากาศโดย Radiative
Colling**. การประชุมวิชาการครั้งที่ 4 ผลงานออกแบบและการประยุกต์. สมาคมไทย
ญี่ปุ่นดินแดง (ไทย-ญี่ปุ่น) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 13-16 มีนาคม 2526.
หน้า ๙.87 – ๙98
- ปิยธิดา วิไลจิตต์ และสุชีรา ขยาย (2542). **การศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่โดยใช้ระบบทำความ
เย็นจากการระเหยน้ำ**. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม
เกษตรและอาหาร. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- ศรีสุวรรณ สมชัย (2543). **โรงเรือนปิดควบคุมโดยระบบระเหยไอน้ำเย็น**. วารสารสัตว์บก. ปีที่
8 ฉบับที่ 90
- ศรีสุวรรณ สมชัย (2543). **โรงเรือนปิดควบคุมโดยระบบระเหยไอน้ำเย็น**. วารสารสัตว์บก. ปีที่
8 ฉบับที่ 89.
- ศรีสุวรรณ สมชัย (2543). **โรงเรือนปิดควบคุมโดยระบบระเหยไอน้ำเย็น**. วารสารสุกรสาธิต.
ปีที่ 27 ฉบับที่ 108.
- ทิพย์พร เหลืองบุรณวัตร และวิวัฒน์ ขวณิกุล (2543). **ระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของ
น้ำในโรงเรือนเลี้ยงสุกร**. วารสารสุกรสาธิต ปีที่ 27 ฉบับที่ 106.
- สุพล เลื่องยศลิขากุล (2544). **การเลี้ยงสุกรในระบบควบคุมสภาพแวดล้อมตัวสุกร**. วารสาร
สัตว์บก ปีที่ 8 ฉบับที่ 93.
- 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.
- Hellickson M.A and Walker J.N (1983). **Ventilation of Agricultural Structures**. ASAE
- Kiatsiriroat T., N. Lakdee and T. Roongrojwattana., (1998). **"Heat Extraction from ground with heat pipes"**. 12th Mechanical Engineering Seminar, Chulalongkorn University, November, Bangkok, Thailand.
- 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). **EvaporativeCooling**, P20-29. In : Mastalerz, J.W. The Greenhouse Environment. United State of America : The Pennsylvania State University.
- 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.
- Watt, JR. (1963). **Evaporative Air Conditioning**. The Industry Press.
- Wiersma F. and S.Benham. (1974). **Design Criteria for Evaporative Cooling**. ASAE paper NO. 74 – 4527, ASAE, St.Joseph, MI 4980.
- Josef Tanny and Shabtai Cohen , (2002). **Screenhouse Microclimate and ventilation an Experimental**
- G.Desmaraisand C.Ratti,1998, **Heattransfer Modelling of screenhoues** ,McGill University,Canada
- Kiatsiriroat 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.

Rossel H.W,1979, **A New and economical screehouse 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