



การทำความเย็นและความร้อนโดยใช้แพลงโกละเป็นตัวเก็บรังสี

เรวัฒน์ ชูนทองจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2548

ISBN 974-523-068-5

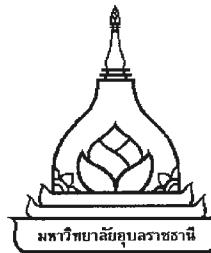
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



COOLING AND HEATING USING METAL PANEL COLLECTOR

REWAT KHUNTHONGJAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBONRAJATHANEE UNIVERSITY
YEAR 2005
ISBN 974-523-068-5
COPYRIGHT OF UBON RAJATHANEE UNIVERSITY**



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การทำความเข้าใจความร้อนโดยใช้แพงโโละเป็นตัวเก็บรังสี

ผู้วิจัย นายревัฒน์ บุนทองจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวิต ถินวงศ์พิทักษ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิ่มไพบูลย์ ทีนฤษมา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงชัย วิริยะอิพวงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สสถาพร โภคาก)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ วิโรจน์ถุณ)

อธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2548

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ॲมี่ พัคกิ้ล ทีนูญมา ประธานกรรมการคุณวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
 ดร. ชวลิต ถินวงศ์พิทักษ์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
 ดร. ทรงชัย วิริยะสำพ่วงศ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาแนะนำ ข้อเสนอแนะและ
 ตรวจทานแก้ไขด้วยความเอาใจใส่ตลอดมาตั้งแต่ต้นจนเสร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ
 เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิสิษฐ์ เดชะรุ่ง ไฟศาลา และคณาจารย์ภาควิชา^๑
 วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนให้
 ความรู้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บุคลากรของสถาบันที่ร่วมดูก้าศึกอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
 ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลสำหรับการวิจัยเป็นอย่างดี

และสุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่มีส่วนสนับสนุนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย
 จนสามารถฝ่าฟันอุปสรรค และเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา ประโยชน์และคุณค่าอันเพิ่มมากกวิทยานิพนธ์
 เล่มนี้ ผู้วิจัยขอประชาสัมพันธ์ พระคุณของบิดา มารดา และบุพพารยาผู้มีพระคุณทุกท่าน



เรวัฒน์ วนทองจันทร์
 ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การทำความเขียนและความร้อนโดยใช้แพงโลหะเป็นตัวเก็บรังสี

โดย : เรวัฒน์ บุนทองจันทร์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล (SBN974-523-068-5)

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อร่ามไพรักดี ทีบุญมา

คำพิสูจน์ : พลังงานแสงอาทิตย์ / แพงเก็บรังสี / การทำน้ำร้อน / การทำความเย็นโดยการแผ่รังสี / การทำน้ำเย็น / การทำลมเย็น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบการทำความเย็นและความร้อนอย่างง่าย โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีแนวคิดที่จะนำมีประยุกต์ใช้กับบ้านที่ใช้สังกะสีมุงหลังคา ในการออกแบบชุดทดลอง ใช้ห้องทดลองขนาดเดินผ่านคูณย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความยาว 2.5 เมตร จำนวน 7 ท่อ วางบนหลังคาสังกะสีขนาด 1.67 ตารางเมตร โดยมีถังเก็บน้ำร้อนขนาด 40-90 ลิตร ในการทำน้ำร้อน น้ำที่อยู่ภายในท่อและถังไหลดไว้โดยอาศัยแรงดึงดูดที่เกิดจากผลต่างของความหนาแน่นของน้ำร้อนและน้ำเย็น สำหรับการทำความเย็นด้วยวิธีการแผ่รังสีในตอนกลางคืนซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลาง ได้ออกแบบให้น้ำไหลดผ่านแพงทำความเย็นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกจากถังด้านบนสู่ถังด้านล่าง โดยน้ำจะถูกสูบโดยปั๊มถังด้านบนอีกรั้ง ซึ่งต้องมีขนาดความจุอยู่ระหว่าง 71 - 150 ลิตร

ผลจากการทดสอบระบบทำน้ำร้อนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พบร่วงเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไม่มีกระเจริป สามารถทำอุณหภูมน้ำสูงสุด 53 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าสำหรับการประยุกต์ใช้งานในบ้านพัก จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่ามีค่าใช้จ่ายต่อลิตรน้ำร้อนเท่ากับ 0.03 บาท สำหรับผลการทดสอบระบบทำความเย็นพบว่า อัตราการไหลดไม่มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังที่ได้ และการใช้อัตราการไหลดของน้ำต่ำจะทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบสูง ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางโดยใช้พัดลมดูดอากาศจากบรรยายอากาศผ่านแพงทำความเย็นพบว่า ระบบสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากเมื่อความเร็วอากาศต่ำ โดยเฉลี่ยสามารถลดได้ประมาณ 1.0 องศาเซลเซียส สำหรับในสภาพอากาศที่ความชื้นต่ำพื้นที่และอุณหภูมิบรรยายอากาศต่ำ(ถูกหน้า) ระบบสามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 2.0 องศาเซลเซียส

ABSTRACT

TITLE	: COOLING AND HEATING USING METAL PANEL COLLECTOR
BY	: REWAT KHUNTHONGJAN
DEGREE	: MASTER OF ENGINEERING
MAJOR	: MECHANICAL ENGINEERING (ISBN974-523-068-5)
CHAIR	: ASST.PROF.DR.UMPHISAK TEEBOONMA
KYEWORDS	: SOLAR ENERGY / COLLECTOR / WATER HEATING RADIATIVE COOLING / WATWER COOLING / AIR COOLING

The purpose of this research was to design, construct, and test the performance a simple cooling and heating water system using solar energy. The concept of this work was applied to the metallic roof panel, widely used in rural of Thailand. To construct this system, seven copper tubes with diameter 12.7 mm were weld to a 1.67 m^2 metallic roof panel. The volume of storage tank for hot water is 40-90 liters circulated by thermosyphonic force. In case of water cooling at night, the water is circulated from upper storage tank to lower tank by gravity force and from lower tank to upper tank by pumping. The storage tank of cooling water is 71-150 liters.

The experimental results conducted in February showed that the system yields maximum water temperature of 53°C . It should be noted that this system is suitable for domestic hot water system. Additionally, the economical analysis revealed that cost of hot water per liter is 0.03 Baht. For cooling system, it was found that the effect of water flow rate on final temperature of water in storage tank is insignificant. Furthermore, the coefficient of performance of system is high when water flow rate is low. In case of the air used as cooling medium, the experimental results revealed that the temperature difference between air inlet and air outlet is high when air velocity is low. The average of temperature difference is 1.0°C . In case of low relative humidity and ambient temperature in winter, the average temperature difference between air inlet and air outlet is approximately 2.0°C .

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ช
บทที่	

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัจจุหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 การทำความรู้องโดยพลังงานแสงอาทิตย์	5
2.1.2 การทำความเย็นโดยการแผ่รังสี	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.2.1 การทำความรู้อง	10
2.2.2 การทำความเย็น	18
2.2.3 สรุป	22

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ชุดทดลอง	25
3.2 ระบบการทำน้ำร้อน	25
3.2.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	25
3.2.2 วิธีการทดลอง	25
3.2.3 วิธีการคำนวณ	29
3.2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.5 การสรุปผลการทดลอง	34
3.3 ระบบการทำน้ำเย็น	34
3.3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	34
3.3.2 วิธีการทดลอง	34
3.3.3 การคำนวณ	35
3.3.4 การสรุปผล	36
3.4 ระบบการทำลมเย็น	36
3.3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	36
3.3.2 วิธีการทดลอง	38
3.3.3 การสรุปผล	38
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ผลการทดลองระบบทำความร้อน	39
4.2 ผลของความเข้มแสง	41
4.2.1 ผลของความเข้มแสงต่ออุณหภูมน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านแสง แหงเก็บรังสี (To:Ti)	41
4.2.2 ผลของความเข้มแสงต่ออัตราการไหด	41
4.2.3 ผลของความเข้มแสงต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บ	41
4.2.4 ผลของความเข้มแสงต่อประสิทธิภาพชี้วัดของระบบ	42
4.3 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศ	44
4.3.1 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่ออุณหภูมน้ำข้าอกจากแสง เก็บรังสี	44
4.3.2 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่ออัตราการไหด	44
4.3.3 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่ออุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ	44
4.3.4 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่อประสิทธิภาพชี้วัดของ	44
ระบบ	
4.4 ผลของอัตราการไหดและอุณหภูมน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพ ชี้วัดของระบบ	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพงเก็บรังสี	47
4.5.1 ผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพงเก็บรังสี ต่ออุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ	47
4.5.2 ผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพงเก็บรังสี ต่อพลังงานที่ได้และประสิทธิภาพรายวัน	47
4.6 ผลของความเร็วลดต่ออุณหภูมิของระบบ	48
4.6.1 ผลของความเร็วลดต่ออุณหภูมิขาออกและอุณหภูมน้ำใน ถังเก็บ	48
4.6.2 ผลของความเร็วลดต่ออุณหภูมิถังเก็บที่ปริมาตรถังเก็บ ต่างๆ กัน	51
4.7 การสูญเสียความร้อนในตอนกลางคืน	54
4.8 ประสิทธิภาพชั่วขณะและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของระบบ	55
4.9 ผลการทดลองในถุงฟอง (เดือนตุลาคม) และเปรียบเทียบความ สามารถในการทำความร้อนในถุงฟองกับถุงหนาว (เดือนกันภาพันธ์)	56
4.10 การเปรียบเทียบผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางทฤษฎี	59
4.10.1 เปรียบเทียบอุณหภูมน้ำขาออกแพงเก็บรังสี	59
4.10.2 เปรียบเทียบอัตราการไหลด	60
4.10.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิในน้ำถังเก็บ	61
4.10.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพชั่วขณะ	61
4.11 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความร้อน	62
4.12 สรุปผลของระบบทำความร้อน	62
4.13 ผลการทดลองการทำความเย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง	63
4.13.1 ผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมน้ำขาออกแพง ทำความเย็น	63
4.13.2 ผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิถังเก็บ	63
4.13.3 ผลของอัตราการไหลดต่ออัตราความเย็นที่ได้	64
4.13.4 ผลของปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แพงทำความเย็น	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.13.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำขาออกแพงทำความเย็นระหว่างผลการทดลองและการคำนวณ	68
4.13.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังเก็บระหว่างผลการทดลองและการคำนวณ	69
4.13.7 สมรรถนะในการทำความเย็นของระบบ	70
4.14 สรุปผลการทำความเย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง	71
4.15 ผลการทดลองการทำความเย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง	72
4.15.1 ผลของความเร็วต่ออุณหภูมิขาออก	73
4.15.2 ผลของความเร็วอากาศต่อสมรรถนะของระบบ	74
4.15.3 ผลของฤดูกาลต่อความสามารถการทำความเย็นของระบบ	74
4.16 สรุปผลการทำความเย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง	77
5. สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	79
5.1.1 การทำความรู้อ่อน	79
5.1.2 การทำความเย็น	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก	
ก ผลการทดลองการทำน้ำร้อน	84
ข ผลการทดลองการทำน้ำเย็น	102
ค ผลการทดลองการทำลมเย็น	131
ง คุณลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนแบบมีกระเจกปิด	154
จ ตัวอย่างการคำนวณ	156
ฉ โปรแกรมการคำนวณระบบการทำน้ำร้อนและน้ำเย็น	166
ช ผลงานทางวิชาการ	175
ประวัติผู้วิจัย	205

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงผลการทดลองในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม 2548	40
2 แสดงผลการทดลองในเดือนกันยายนและตุลาคม 2548	56
ก.1 แสดงผลการทดลองในวันที่ 16 มีนาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร	84
ก.2 แสดงผลการทดลองในวันที่ 19 มีนาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร	84
ก.3 แสดงผลการทดลองในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร	85
ก.4 แสดงผลการทดลองในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร	85
ก.5 แสดงผลการทดลองในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	86
ก.6 แสดงผลการทดลองในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร	86
ก.7 แสดงผลการทดลองในวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	87
ก.8 แสดงผลการทดลองในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	87
ก.9 แสดงผลการทดลองในวันที่ 26 กันยายน 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร	88
ก.10 แสดงผลการทดลองในวันที่ 30 กันยายน 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร	88
ก.11 แสดงผลการทดลองในวันที่ 1 ตุลาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร	89
ก.12 แสดงผลการทดลองในวันที่ 2 ตุลาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร	89
ก.13 แสดงผลการทดลองในวันที่ 12 ตุลาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	90
ก.14 แสดงผลการทดลองในวันที่ 16 ตุลาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	90
ก.15 แสดงผลการทดลองในวันที่ 16 มีนาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร	91
ก.16 แสดงผลการทดลองในวันที่ 19 มีนาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร	91
ก.17 แสดงผลการทดลองในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร	92
ก.18 แสดงผลการทดลองในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร	92
ก.19 แสดงผลการทดลองในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	93
ก.20 แสดงผลการทดลองในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	93
ก.21 แสดงผลการทดลองในวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	94
ก.22 แสดงผลการทดลองในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	94
ก.23 แสดงผลการทดลองในวันที่ 30 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร	95
ความเร็วลม 1.0 m/s	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.24	แสดงผลการทดลองในวันที่ 29 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร ความเร็วลม 2.5 m/s	95
ก.25	แสดงผลการทดลองในวันที่ 28 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร ความเร็วลม 3.5 m/s	96
ก.26	แสดงผลการทดลองในวันที่ 2 มกราคม 2549 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร ความเร็วลม 1.0 m/s	97
ก.27	แสดงผลการทดลองในวันที่ 1 มกราคม 2549 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร ความเร็วลม 2.5 m/s	97
ก.28	แสดงผลการทดลองในวันที่ 31 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร ความเร็วลม 3.5 m/s	98
ก.29	แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 2 มกราคม 2549 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร ความเร็วลม 1.0 m/s	99
ก.30	แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 1 มกราคม 2549 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร ความเร็วลม 2.5 m/s	99
ก.31	แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 31 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร ความเร็วลม 3.5 m/s	99
ก.32	แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 30 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร ความเร็วลม 1.0 m/s	99
ก.33	แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 29 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร ความเร็วลม 2.5 m/s	100
ก.34	แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 28 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร ความเร็วลม 3.5 m/s	100
ข.1	แสดงผลการทดลองวันที่ 4-5 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	103
ข.2	แสดงผลการทดลองวันที่ 5-6 กรกฎาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	104
ข.3	แสดงผลการทดลองวันที่ 31-1 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.4	แสดงผลการทดลองวันที่ 20-21 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	106
ข.5	แสดงผลการทดลองวันที่ 22-23 มิถุนายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	107
ข.6	แสดงผลการทดลองวันที่ 30-1 ตุลาคม 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	108
ข.7	แสดงผลการทดลองวันที่ 7-8 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	109
ข.8	แสดงผลการทดลองวันที่ 3-4 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	110
ข.9	แสดงผลการทดลองวันที่ 2-3 ตุลาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	111
ข.10	แสดงผลการทดลองวันที่ 19-20 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	112
ข.11	แสดงผลการทดลองวันที่ 29-30 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	113
ข.12	แสดงผลการทดลองวันที่ 12-13 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	114
ข.13	แสดงผลการทดลองวันที่ 7-8 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	115
ข.14	แสดงผลการทดลองวันที่ 17-18 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	116
ข.15	แสดงผลการทดลองวันที่ 7-8 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	117
ข.16	แสดงผลการทดลองวันที่ 1-2 ตุลาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	118
ข.17	แสดงผลการทดลองวันที่ 7-8 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.18	แสดงผลการทดสอบวันที่ 18-19 กันยายน 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	120
ข.19	แสดงผลการทดสอบวันที่ 28-29 กันยายน 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	121
ข.20	แสดงผลการทดสอบวันที่ 31-1 พฤศจิกายน 2548 อัตราการไหลด 0.005 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	122
ข.21	แสดงผลการทดสอบวันที่ 25-26 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.01 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	123
ข.22	แสดงผลการทดสอบวันที่ 1-2 พฤศจิกายน 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร	124
ข.23	แสดงผลการทดสอบวันที่ 27-28 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.005 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	125
ข.24	แสดงผลการทดสอบวันที่ 23-24 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.01 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	126
ข.25	แสดงผลการทดสอบวันที่ 18-19 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร	127
ข.26	แสดงผลการทดสอบวันที่ 26-27 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.005 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	128
ข.27	แสดงผลการทดสอบวันที่ 27-28 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.01 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	129
ข.28	แสดงผลการทดสอบวันที่ 15-16 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร	130
ค.1	แสดงผลการทดสอบวันที่ 9-10 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 0.25 m/s	132
ค.2	แสดงผลการทดสอบวันที่ 10-11 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 0.25 m/s	133
ค.3	แสดงผลการทดสอบวันที่ 15-16 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 0.25 m/s	134
ค.4	แสดงผลการทดสอบวันที่ 16-17 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 0.25 m/s	135
ค.5	แสดงผลการทดสอบวันที่ 12-13 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.0 m/s	136
ค.6	แสดงผลการทดสอบวันที่ 13-14 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.0 m/s	137

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.7	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 8-9 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.7 m/s	138
ค.8	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 7-8 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.7 m/s	139
ค.9	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 14-15 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.7 m/s	140
ค.10	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 1-2 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.00 m/s	141
ค.11	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 4-5 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.00 m/s	142
ค.12	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 2-3 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.25 m/s	143
ค.13	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 3-4 ธันวาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.5 m/s	144
ค.14	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 6-7 กันยายน 2548 ความเร็วอากาศ 1.00 m/s	145
ค.15	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 6-7 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.00 m/s	146
ค.16	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 7-8 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.00 m/s	147
ค.17	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 13-14 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.0 m/s	148
ค.18	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 8-9 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.25 m/s	149
ค.19	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 11-12 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.25 m/s	150
ค.20	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 12-13 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.25 m/s	151
ค.21	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 9-10 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.5 m/s	152
ค.22	ทดสอบผลการทดลองวันที่ 14-15 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศ 1.5 m/s	153
ก.1	คุณลักษณะเครื่องทำน้ำร้อนแบบมีกระเจกปีด จาก Pannigul, 1999	155

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สมดุลพลังงานบนตัวรับรังสี	6
2.2 การบดบังของวัตถุ	9
2.3 รูปแบบของครีบ	10
2.4 โครงสร้างการจำลองระบบการทำความร้อนและความเย็น	12
2.5 แสดงการประยุกต์ใช้งาน large unglazed solar panel collector ในการทำความร้อนให้กับกระวายน้ำ	14
2.6 แสดงความสัมพันธ์ของ η , ΔT , p และอัตราการไหลด m°	15
2.7 Monograph	16
2.8 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในระบบการทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์	17
3.1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง	24
3.2 โครงสร้างของ unglazed metal panel	25
3.3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง	26
3.4 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมินำเข้า, ขาออก และอัตราการไหลด	26
3.5 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ปริมาตร 90 ลิตร	27
3.6 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ปริมาตร 60 ลิตร	27
3.7 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ปริมาตร 40 ลิตร	28
3.8 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิแห่งเก็บรังสี (Tp) และอุณหภูมิ (Tr)	28
3.9 แสดงตำแหน่งการวัดอัตราการไหลด	38
3.10 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลด	39
3.11 ขั้นตอนการคำนวณระบบการทำน้ำร้อน	32
3.12 แสดงการกระจายของอุณหภูมิของระบบ (Close, 1962)	33
3.13 ขั้นตอนการคำนวณระบบการทำน้ำเย็น	37
4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแบบมีกระจกปิด (Pannigul, 1999) กับแบบไม่มีกระจกปิด	40
4.2 ผลการทดลองในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548 แทนวันที่มีความเย็นแสลงน้อย	42
4.3 ผลการทดลองในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 แทนวันที่มีความเย็นแสลงมาก	43
4.4 ผลการทดลองในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548	45
4.5 แสดงผลของอัตราการไหลดและอุณหภูมน้ำที่เพิ่มขึ้นชื่อประสิทธิภาพช่วงเวลาของระบบ	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6 แสดงผลของปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพงเก็บรังสี (l/m^2)	48
4.7 แสดงผลการทดลองในวันที่ 1 มกราคม 2549	49
4.8 แสดงผลการทดลองผลของความเร็วลม	51
4.9 แสดงผลของความเร็วลมที่ปริมาตรน้ำต่างๆ กัน	52
4.10 แสดงผลของความเร็วลมที่ปริมาตรต่างๆ	53
4.11 แสดงผลการทดลองในวันที่ 19-20 มีนาคม 2548	54
4.12 แสดงประสิทธิภาพของระบบ	55
4.13 แสดงความเข้มแสงและอุณหภูมิบรรยายกาศ	57
4.14 แสดงผลลัพธ์งานแสงอาทิตย์สะสมบนแพงเก็บรังสี	57
4.15 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บ	58
4.16 แสดงผลลัพธ์งานสะสมในถังเก็บ	58
4.17 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมน้ำข้าวอกแพงเก็บรังสี	59
4.18 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลด	60
4.19 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมน้ำในถังเก็บ	61
4.20 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชั่วขณะ	61
4.21 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมน้ำข้าวอกแพงทำความเย็น และอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ	65
4.22 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมน้ำข้าวอกแพงทำความเย็น และอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ	66
4.23 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออัตราความเย็นที่ได้	66
4.24 แสดงผลของปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แพงทำความเย็น	68
4.25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมน้ำข้าวอกแพงทำความเย็น	68
4.26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ	69
4.27 แสดงผลการทดลองในเดือนตุลาคม-พฤษจิกายน 2548	70
4.28 แสดงผลการทดลองในเดือนมิถุนายน-ติงหาคม 2548	70
4.29 ข้อมูลสภาพอากาศในฤดูฝนและฤดูหนาว	71
4.30 แสดงผลการทดลองในวันที่ 11-12 ตุลาคม 2548	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.31 ผลการทดลองทำความเย็น โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง	75
4.32 แสดงสมรรถนะของระบบ	75
4.33 แสดงผลของถูกการต่อความสามารถทำการทำความเย็น	76
4.34 แสดงผลการทดลองในวันที่ 6-7 กันยายน 2547	77

ສัญลักษณ์

A_c	พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์, m ²
C_p	ความร้อนจำเพาะของไอล, J/kgK
E_E	พลังงานที่ผู้ใช้งานได้จากการเก็บ, J
E_U	พลังงานจากดวงอาทิตย์, J
E_{XE}	exergy ที่ผู้ใช้งานได้จากการเก็บ, J
E_{XU}	exergy จากดวงอาทิตย์, J
F_R	heat removal factor
F'	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์
G''	รังสีสุทธิที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์, W/m ²
G_T	รังสีรวมที่ตกกระทบบนแผงรับแสง, W/m ²
H_T	Thermosyphon driving head, m
H_f	Friction head losses, m
I	ค่าความเข้มรังสีรวมที่ตกบนพื้นราบ, W/m ²
I_T	ค่าความเข้มรังสีรวมที่ตกบนพื้นอุ่น, W/m ²
\dot{m}	อัตราการไอล, kg/s
n	จำนวนห้องน้ำ, สัดส่วนเมมที่ปักกลุ่มห้องฟ้า $n = \frac{N}{8}$,
η_X	exergy efficiency
η_0	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อ $T_{in} = T_a$
N	ปริมาณเมมมีหน่วยเป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 0 ถึง 8
p	พลังงานจำเพาะ, J/kg
P_c	ความเย็นรวมที่ได้, W
P	ความเย็นที่ได้, W
Q	ความร้อนที่ได้, W
t_m	จำนวนชั่วโมงนับจากเที่ยงคืน
RH	ความชื้นสัมพัทธ์
R	รังสีรวม (global radiation), W/m ²
R_b	อัตราส่วนความเข้มรังสีตรงบนพื้นอุ่นต่อรังสีบนพื้นราบ
T	อุณหภูมิ, °C
dt	ช่วงเวลา, ชั่วโมง

T_{dry}	อุณหภูมิกระเพาแห้ง, °C
$T_{p,m}$	อุณหภูมิเฉลี่ยของ peng rับแสงอาทิตย์, °C
T_{sky}	อุณหภูมิของวัตถุคำชี้งบลดปล่อยรังสีความร้อนในปริมาณเท่ากับท้องฟ้า,K
S	รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน, W/m ²
U_L	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม
V	ความเร็วลม, m/s
W	ระยะระหว่างท่อ, m
Z_c	cloud base height, km
อักษรกรีก	
α	ค่าการดูดกลืนรังสี, มุมอัลตรูด
β	มุมเอียงของระนาบ, องศา
δ	มุมเดклиเนชัน(Declination angle) , องศา
ε	sky emittance
ε_o	sky emittance เมื่อท้องฟ้าไม่มีเมฆ
ϕ	มุมเดือนรุ่ง, องศา
η	ประสิทธิภาพ
ρ_g	ค่า reflectance ของพื้นผิวโลก
τ	เวลา
θ_T	มุมตัดกระแทบบนพื้นเอียง, องศา
θ_z	มุมตัดกระแทบบนพื้นราบ, องศา
ω	มุมชั่วโมง(Hour angle) , องศา
σ	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann, 5.67×10^{-8}
อักษรย่อ	
°C	เซลเซียส
cm.	เซนติเมตร
°F	ฟาร์เรนไฮต์
ft	ฟุต
hr	ชั่วโมง
kg	กิโลกรัม
MJ	เมกะจูล
m.	เมตร
min.	นาที

mm. มิลลิเมตร

sec วินาที

W วัตต์

ตัวห้อย

a บรรยายกาศ

conv. การพาความร้อน

dp dew point

Experiment ผลการทดลอง

f สุดท้าย

fi ของไหลขาเข้า

fo ของไหลขาออก

i ขาเข้า

o ขาออก

p แรงดันรังสี, แรงทำความเย็น

s เริ่มต้น

r ท่อ riser

rad แรงทำความเย็น

Theory ผลทางทฤษฎี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ และการดำเนินชีวิตของประชาชนทั่วโลก อีกทั้งยังเป็นปัจจัยที่ทำให้โลกมีการพัฒนาขึ้นเคลื่อนไปข้างหน้าได้ พลังงานจึงเป็นเสมือนสินค้าที่เป็นสากล มีการซื้อขายกันทั่วโลก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ น้ำมันบีโตรเลียม ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเรียกโดยรวมว่า เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นพลังงานที่ใช้กันเป็นหลัก เนื่องจากความสะดวก ราคาถูก ปัจจุบันการใช้น้ำมันทั่วโลกเฉลี่ยวันละ 76 ล้านบาร์เรล และคาดว่าจะเพิ่มถึง 123 ล้านบาร์เรลต่อวันในปี ก.ศ. 2025 (Soteris และคณะ, 2004) ดังนั้น จึงมีการคาดการว่าปริมาณ น้ำมันสำรองจะหมดภายในต้นศตวรรษที่ 21 ในขณะที่ก๊าซธรรมชาติจะหมดต่อจากนั้นประมาณ 20 ปี ส่วนถ่านหิน คาดว่าจะหมดภายใน 200-300 ปี (Xiaowu, 2004) ปัจจุบันราคาน้ำมันก่อนข้างจะผันผวน และสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายประการ ราคาน้ำมันที่สูงขึ้น มีผลกระทบต่อสภาวะเศรษฐกิจของโลกและประเทศผู้นำเข้าน้ำมัน ทั้งนี้อัตราการใช้น้ำมันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การเพิ่มของประชากร สภาพทางเศรษฐกิจ วิถีการดำเนินชีวิตของผู้บริโภค และ การพัฒนาเทคโนโลยี เป็นต้น นอกจากนี้ นโยบายด้านพลังงานของรัฐบาลแต่ละประเทศก็มีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออัตราการใช้พลังงาน ต่อโครงสร้างการผลิต และการใช้น้ำมันในอนาคต การใช้น้ำมันยังก่อให้เกิดปัญหาตามมาอีกมากมาย โดยเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น 1) การเกิดฝุ่นกรด ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) จะทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งจะลอยสู่บรรยากาศและตกกลับลงมากับฝน การมีสภาวะเป็นกรดเกินปกติ จะทำให้สภาพแวดล้อมถูกทำลาย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการที่จะควบคุมก๊าซ SO_2 , NO_x ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม 2) การทำลายชั้นโอโซน โอโซนจะอยู่ในชั้นบรรยากาศ Stratospheres ระดับความสูง 12 ถึง 25 กิโลเมตร มีบทบาทในการดูดซับรังสีอุตตราไวโอลেตและรังสีอินฟราเรด สาร CFCs ที่ใช้ในระบบการทำความเย็น สาร halons และ ก๊าช NO_x ที่เพริ่งสู่บรรยากาศ จะทำลายชั้นโอโซน มีผลให้รังสีอุตตราไวโอลেตตกถึงพื้นผิวโลกมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งผิวหนังเพิ่มขึ้น และเป็นอันตรายต่อความต้องมนุษย์ (Soteris และคณะ, 2004) 3) สภาวะเรือนกระจก การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สาร CFCs ก๊าช N_2O ก๊าซมีเทน (CH_4) และ peroxyacetyl nitrate ที่เกิดจากอุตสาหกรรมและกิจกรรมในครัวเรือนมีผลให้การแผ่รังสีความร้อนจากโลกลดลงอุณหภูมิของโลกจึงเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาคือระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้น ซึ่งจะทำลายพื้นที่การเกษตร ที่อยู่อาศัย

แหล่งน้ำจืดและอื่นๆ จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น การแสวงหาพลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นทางออกที่มีความสำคัญ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดที่มนุษย์รู้จัก สามารถส่งพลังงานออกมารอบทิศทางถึง 3.8×10^{20} MW และต่ำกระหบพื้นผิวโลก 1.7×10^{11} MW ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ตกบนผิวโลกเพียง 30 นาทีเทียบได้กับความต้องการพลังงานของโลกใน 1 ปี (Soteris และคณะ, 2004) มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์นานาแผล เช่น ในการทำอาหารแห้งเพื่อการเก็บรักษา การผลิตกลือจากการระเหยน้ำทะเล เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์มีข้อดีเหนือพลังงานในรูปแบบอื่น คือ สะอาดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม แม้ว่าเทคโนโลยีในด้านนี้ยังต้องมีการพัฒนาอีกมาก แต่คาดว่าในอนาคตอันใกล้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความเชื่อถือ ความสะดวกต่อการใช้งานของอุปกรณ์ และลดราคาการลงทุนรวมทั้งกำรรุ่งรักษางานได้

ในปัจจุบันการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความสนใจมากขึ้นในหลายประเทศ สำหรับประเทศไทยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย $16.5 \text{ MJ/m}^2\text{day}$ (มารีนา มะหนี่, 2542) ซึ่งจะสามารถทดแทนการนำเข้าน้ำมันได้บางส่วน การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันได้แก่ การอบแห้งพืชผัก การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ การทำความร้อนและความเย็นแก่อาคารบ้านเรือน การใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องยนต์ การนำร้อนเพื่อใช้ในบ้านเรือน และอุตสาหกรรม เป็นต้น การนำร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์ เป็นหัวข้อที่น่าสนใจ ในประเทศไทยมีการศึกษามาพอสมควรและมีการผลิตเซิงพาณิชย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นระบบ glazed solar collector อย่างไรก็ตามเนื่องจากในตอนกลางคืน แผงรับแสงอาทิตย์ดังกล่าวไม่ได้ใช้ประโยชน์ ดังนั้นหากออกแบบให้สามารถใช้ทำความเย็นในตอนกลางคืน และเก็บกักความเย็นที่ได้ไว้ตอนกลางวันก็จะเป็นการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบระบบตัวเก็บรังสี (solar collector) กับระบบการทำความเย็นโดยการแผ่รังสี (nocturnal radiative cooling) มีความแตกต่างกัน คือตัวเก็บรังสีทำหน้าที่เก็บกักความร้อนในตอนกลางวัน และต้องการความสามารถในการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์สูง และโดยทั่วไปจะมีกระจกที่มีคุณสมบัติยอมให้แสงอาทิตย์ส่องผ่าน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคลื่นสั้นผ่าน แต่ไม่ยอมให้รังสีคลื่นยาว (infrared) ผ่าน (Erell และ Etzion, 1999) และหากไม่มีกระจกปิด ก็จะมีความร้อนสูญเสียจากการพากความร้อนค่อนข้างสูง และการติดตั้งควรจะทำมุมเท่ากับจำนวนองศาของเส้น latitude เพื่อให้ได้พลังงานเฉลี่ยรายปีสูงสุด (ราย บุญยุบล และคณะ, 2529) ในส่วนของระบบการทำความเย็นโดยการแผ่รังสี มีหลักการทำความเย็นคือ ใช้การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุในช่วงความยาวคลื่น 8-14 μm ไปสู่บรรยายศาสตร์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งอาจลดอุณหภูมิของวัตถุได้ต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมภายในได้สภาวะที่เหมาะสม (M.G.Meir และคณะ, 2003) โดยจะมีแผ่นปิดความร้อนจากการพากจะสูง (Erell และ Etzion, 1999) เพื่อความสัมฤทธิ์ผลในการทำความเย็นสูงสุดควรติดตั้งในแนวราบ (Erell และ Etzion, 1999) โดยทั่วไปความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของ radiator ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีปี๊บช่วยในการหมุนเวียนน้ำ ในขณะที่ระบบ solar collector อาจไม่จำเป็นต้องใช้จากการศึกษาของ Medved และคณะ(2003) แสดงให้เห็นว่าในระบบ unglazed solar collector การลด

ความกว้างของครีบ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของ Erell และ Etzion (1999) นอกจากนี้ ยังพบว่าการดัดแปลงสมการของ Duffie และ Beckman สำหรับ solar heating collector มาใช้กับระบบ nocturnal radiative cooling โดยการแทนค่า solar heat gain ด้วย radiative heat loss ให้ความแม่นยำ (Erell และ Ezion, 1999) สำหรับการทำความเย็นแบบแผ่รังสี ในประเทศไทยยังมีผู้สนใจศึกษาค่อนข้างน้อย Auttapol และคณะ (2003) ประเมินความเป็นไปได้ของระบบดังกล่าว หากประยุกต์ใช้ในจังหวัดเชียงราย ซึ่งพบว่ามีศักยภาพที่จะใช้ในระบบปรับอากาศของห้องพักอาศัย จากการความแตกต่างและความคล้ายคลึงของ 2 ระบบ จึงมีผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาแนวคิดดังกล่าวข้างต้น พบว่าสามารถทำงานได้ดีในต่างประเทศ แต่เนื่องจากระบบนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก การออกแบบที่เหมาะสมสำหรับสภาพอากาศท้องถิ่นนั้น อาจให้ประสิทธิภาพต่ำกับอีกสภาพอากาศแบบหนึ่งก็ได้ (Al-Nimr. และคณะ, 1998) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ unglazed metal panel ในการทำความร้อนและความเย็นให้กับน้ำ นอกจากนี้จะใช้ทำความเย็นให้กับอากาศ เพื่อใช้ในระบบปรับอากาศในต่อนกลางคืน โดยออกแบบให้มีช่องสำหรับอากาศไหลด้านล่างของห้องท่อ ซึ่งมีครีบติดอยู่ภายในของห้องบรรจุด้วยน้ำ หุ้มดวนทั้งด้านข้างและด้านล่าง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำความร้อนโดยใช้แผงโลหะเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และการทำความเย็นโดยการแผ่รังสี
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบการทำความร้อนและความเย็น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบ สร้างและทดสอบ ระบบที่สามารถทำได้ทั้งความร้อนและความเย็นโดยมีพื้นที่ metal panel ประมาณ 2 ตารางเมตร
- 1.3.2 ตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายเทและรับความร้อนได้แก่ น้ำและอากาศ โดยอากาศใช้เฉพาะในระบบทำความเย็น ส่วนน้ำใช้ทั้งสองระบบ
- 1.3.3 สมรรถนะของระบบ ระบบการทำความร้อนกำหนดโดยประสิทธิภาพชั่วขณะซึ่งหมายถึง สัดส่วนพลังงานที่ระบบได้รับต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหน้าจอ แลบประสิทธิภาพรายวัน ซึ่งหมายถึง สัดส่วนพลังงานที่ระบบได้รับต่อพลังงานแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบเมื่อจากการทดลอง

สำหรับระบบการทำความเย็น สมรรถนะของระบบกำหนดโดยค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) หมายถึงสัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ได้ต่อพลังงานที่จำเป็นให้ระบบ

1.3.4 ปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษาถึงสมรรถนะของระบบแบ่งได้ดังนี้

1.3.4.1 ระบบการทำความร้อน ได้แก่

- 1) สภาพแวดล้อมได้แก่ ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และความเร็วลม
- 2) อัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

1.3.4.2 ระบบการทำความเย็น ได้แก่

- 1) อัตราการไหลของน้ำ ความเร็วของอากาศ (ในกรณีของการทำความเย็นให้อากาศ)
- 2) อัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แผงทำความเย็น
- 3) สภาพแวดล้อมได้แก่ ชั่งประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงสมรรถนะของระบบ unglazed solar collector และระบบ Nocturnal radiative cooling panel

1.4.2 ทราบถึงข้อจำกัดในการออกแบบและพัฒนาการใช้ unglazed metal panel ร่วมกันในการทำความเย็นและความร้อน

1.4.3 เป็นการใช้ประโยชน์อุปกรณ์ให้คุ้มค่าและทุ่มต่อการลงทุน

1.4.4 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการที่จะประยุกต์ใช้งานจริงของระบบ

1.4.5 ได้องค์ความรู้สำหรับการพัฒนาระบบ ทั้ง 2 ระบบดังกล่าว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การทำความร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้เป็นแสงสว่างโดยตรง การใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า การทำความร้อนให้กับอากาศและน้ำ เป็นต้น การทำความร้อนให้กับน้ำ อาศัยหลักการการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน โดยเมื่อนำ แสงรับแสงอาทิตย์มารับแสง ผิวน้ำของแผงจะมีการดูดกลืนแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน เมื่อมีของไหหลอดผ่าน เช่น น้ำก็จะรับความร้อนจากแผง ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ก็จะได้พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยทั่วไประบบการทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ จะมีการออกแบบเพื่อให้สามารถทำอุณหภูมิได้สูงโดยการหุ้มชั้นหัวด้วยสีดำเพื่อเพิ่มการดูดกลืนรังสี และใช้กระจกปิดทับด้านหน้าเพื่อลดการสูญเสียความร้อน นอกเหนือนี้ อาจเคลือบแผงรับแสงอาทิตย์ด้วยสารซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีคลื่นสั้นได้ดี แต่มีการปิดปล่อยรังสีความร้อนออกตัว (selective surface) (รายบุญบุนเดศ, 2529)

ระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ แผงรับแสงอาทิตย์ ระบบท่อและถังเก็บน้ำ โดยอาจแบ่งตามการไหหลอดเป็น 2 รูปแบบ คือ การไหหลอดแบบธรรมชาติ (natural circulation) และการไหหลอดแบบใช้พลังงานจากภายนอก (force circulation) (มารินามะหัน, 2542)

สำหรับการไหหลอดแบบธรรมชาติในระบบนี้ ถังเก็บน้ำร้อนต้องอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อน้ำในแผงรับแสงอาทิตย์ได้รับความร้อนก็จะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นลดลง และลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนเข้าสู่ถังเก็บ ขณะเดียวกันน้ำจากด้านล่างของถังซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าไหหลอดเข้าแทนที่น้ำร้อน ทำให้เกิดการไหหลอดในระบบ โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนการไหหลอดแบบใช้พลังงานจากภายนอก (force circulation) ก็จะมีอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่ม คือปั๊มน้ำและอาจจะมีระบบควบคุมด้วย โดยปั๊มน้ำทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำแทนการหมุนเวียนตามธรรมชาติ ส่วนระบบควบคุม มักจะกำหนดตามความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้า และขาออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ เช่น หากอุณหภูมิแตกต่างกัน 5°C ซึ่งหมายความว่า มีพลังงานแสงอาทิตย์มากเพียงพอต่อการทำความร้อน ระบบควบคุมจะจัดการให้ปั๊มทำงาน ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ นกจากจะขึ้นกับการออกแบบระบบแล้ว ที่ยังแปรผันตามปริมาณรังสีที่ตกกระทบ ซึ่งปัจจัยที่กำหนดปริมาณรังสี

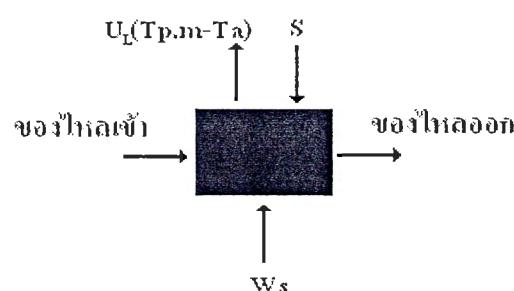
ตอกย้ำทบทวน ได้แก่ นูนอีียงของแพง ระยะทางของการแพร่รังสี ปริมาณเมมและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เป็นต้น นูนอีียงของแพงรับแสงอาทิตย์ ให้หันหน้าไปทางทิศใต้และมีนูนอีียงที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์ในการติดตั้งจะขึ้นกับระยะติดตั้งของตำแหน่งที่ทำการติดตั้งและลักษณะการใช้งานหากต้องการความร้อนสูงสุดในหน้าหนาว ให้ติดตั้งตำแหน่งน้อยกว่าระยะติดตั้ง 12 องศา แต่ถ้าต้องการความร้อนสูงสุดที่สูงกว่า ให้ติดตั้งตำแหน่งเท่ากับระยะติดตั้งของสถานที่ทำการติดตั้ง (รายบุคคล และคณะ, 2529)

ระยะทางของการแพร่รังสี ถ้าระยะทางของการแพร่รังสีของดวงอาทิตย์ยาว เช่น ในตอนเช้า หรือตอนบ่าย ปริมาณรังสีที่แผงได้รับจะลดลง ซึ่งมีการให้คำนวณ เพื่อกำหนดระยะทางสัมพัทธ์ที่แสงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศ โดยให้ตำแหน่งเมื่อดวงอาทิตย์ตรงศรีษะมีแอร์แมส (air mass) เท่ากับ 1 ส่วนที่ตำแหน่งอื่นๆ แอร์แมสมีค่าเท่ากับ $\sec \theta_z$, เมื่อ θ_z คือมุมที่แนวแสงอาทิตย์กระทำกับเส้นที่ตั้งฉากกับพื้นโลก (รายบุคคล และคณะ, 2529)

ปริมาณเมม รังสีจากดวงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย ในวันที่ห้องฟ้าแจ่มใส รังสีส่วนใหญ่จะเป็นรังสีตรง ซึ่งสามารถรวมให้มีความเข้มสูงได้ ตรงข้ามกันหากห้องฟ้านีเมฆมาก รังสีแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีกระจายเป็นส่วนใหญ่

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เนื่องจากการโครงการของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ดังนั้น ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้รังสีที่ตอกย้ำทบทวนแพงรับแสงอาทิตย์แตกต่างกันไปทุกวัน เช่นเดียวกัน (มารีนา มะโนนี, 2542)

การหาสมการพลังงานของระบบ



ภาพที่ 2.1 สมดุลพลังงานบนตัวรับรังสี

ภาพที่ 2.1 แสดงสมดุลพลังงานบนแพงรับแสงอาทิตย์ที่สภาวะสม่ำเสมอ (steady state) เมื่อ S เป็นพลังงานที่ได้จากการติดตั้ง $U_L(T_{p,m} - T_a)$ เป็นพลังงานที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมจะได้ว่า ความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เท่ากับผลรวมของความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์และส่วนที่สูญเสียให้สิ่งแวดล้อม ในกรณีของ force circulation มีสมมติฐานว่างานที่ใช้ขับปั๊มน้ำอยู่ จึงไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้ง

$$\mathcal{Q}_u = A_c (S - U_L (T_{p,m} - T_a)) \quad (2.1)$$

นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของแพร์รับแสงอาทิตย์กำหนดได้จาก อัตราส่วนของความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อปริมาณรังสีรวมที่ต่อกำหนดแพร์รับแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ว่า

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G_T dt} \quad (2.2)$$

นอกจากนี้ เราบังสามารถหาการกระจายของอุณหภูมิตามทิศทางการให้ที่ตำแหน่ง y ได้จาก ความสัมพันธ์ ของ Duffie และ Beckmann (1991) ดังนี้

$$\frac{T_y - T_a - S/U_L}{T_{f_i} - T_a - S/U_L} = \exp\left(\frac{-U_L W F'_y}{m C_p}\right) \quad (2.3)$$

2.1.2 การทำความเย็นโดยการแผ่รังสี

Maxwell และ Max Plank เสนอทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งกล่าวว่า ใน การแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หมายความว่า ใน การแผ่รังสีวัตถุจะเปลี่ยน พลังงานภายใน (internal energy) ไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อคลื่นเหล่านี้เคลื่อนที่ไปกระบวนการ กันวัตถุอื่น พลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นจะถูกดูดกลืนเอาไว้ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน วัตถุมี แผ่รังสีออกไป หากไม่ได้รับความร้อนเพิ่มเข้ามาอุณหภูมิก็จะลดลง หากวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ ศูนย์สมบูรณ์ วัตถุนั้นจะแผ่รังสีออกมาตลอดเวลาที่ทุกความยาวคลื่น ซึ่งในการแผ่รังสี ความร้อนจะ ถ่ายเทได้ที่สุด เมื่อไม่มีตัวกลางหรือในสัญญาากาศ (นักสิทธิ์ คุวัฒนาชัย, 2526)

หลักการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีความร้อน โดยใช้ radiator จะอาศัยการแผ่รังสี ความร้อนออกจาก radiator (heat source) ผู้ท้องฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (heat sink) สำหรับบรรยากาศ จะยอมให้รังสีที่มีความยาวคลื่นประมาณ 8 ถึง 13 ไมโครเมตร ผ่านได้โดยไม่มีการดูดกลืน ซึ่งเป็นช่วง ความยาวคลื่นที่เรียกว่า หน้าต่างของบรรยากาศ (atmospheric window) (มารีนา มะหนี่, 2542) โดย อัตราการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับ ผลต่างของอุณหภูมิวัตถุกับอุณหภูมิท้องฟ้าและลักษณะของพื้นผิว ใน กรณีอุณหภูมิของ radiator สูงกว่าสิ่งแวดล้อมยังมีการแพร่ความร้อนออกจาก radiator ด้วยการพาความร้อน ส่วนการนำความร้อนสามารถตัดทิ้งได้ ซึ่งจะได้ว่า

$$P_c = P_{rad} + P_{conv.} \quad (2.4)$$

สำหรับ radiator พื้นที่ขนาด A หน่วย มีค่าการปลดปล่อยความร้อน(emittance) เท่ากับ ε_{rad} จะได้ว่า

$$P_{rad} = A \varepsilon_{rad} (\sigma T_{rad}^4 - R) \quad (2.5)$$

เมื่อ R คือรังสีความร้อนที่ตกกระทบบน radiator ซึ่งมาจากการไกล์ฟินโลก จึงแทน R ด้วย R_A และสามารถแทนอุณหภูมิชั้นบรรยากาศด้วยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (ambient temperature) T_a ซึ่งจะได้ว่า

$$R_A = \sigma T_{sky}^4 = \sigma \varepsilon T_a^4 \quad (2.6)$$

โดยกำหนดว่า T_{sky} เป็นอุณหภูมิของวัตถุดำซึ่งปลดปล่อยรังสีความร้อนในปริมาณเท่ากับท้องฟ้า (M.G.Meir และคณะ, 2003) ซึ่ง R_A จะถูกกำหนดโดยอิทธิพลของปัจจัยดังต่อไปนี้

- 1) เมื่อท้องฟ้าแจ่มใส M.G.Meir และคณะ (2003) ให้ความสัมพันธ์ของค่า sky emittance เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับบรรยากาศที่ไม่มีเมฆปกคลุม ($\varepsilon = \varepsilon_0$) ดังนี้

$$\varepsilon_0 = 0.711 + 0.0056T_{dp} + 0.000073T_{dp}^2 + 0.013 \cos(2\pi t_m / 24) \quad (2.7)$$

$$T_{dp} = C_3 \frac{(\ln(RH) + C_1)}{(C_2 - \ln(RH) + C_1)} \quad (2.8)$$

$C_1 = \frac{C_2 T_{dry}}{(C_3 + T_{dry})}$, $C_2 = 17.08085$, $C_3 = 234.175$ และอุณหภูมิระเบще T_{dry} เท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_a โดยในการทดลอง T_{dp} อยู่ระหว่าง -20°C ถึง 30°C และ $T_{sky} - T_a$ อยู่ในช่วง 5°C สำหรับอากาศร้อนชื้น และ 30°C สำหรับอากาศเย็นและแห้ง

- 2) เมื่อมีเมฆปกคลุมทั้งหมดหรือบางส่วน การมีเมฆในบรรยากาศทำให้มีการคูดกลืนรังสี และการปลดปล่อยรังสีของท้องฟ้ามากขึ้น M.G.Meir และคณะ (2003) ได้สร้างความสัมพันธ์ว่า ε เป็นฟังก์ชันของสัดส่วนเมฆในท้องฟ้า ค่า cloud emittance และอุณหภูมิแตกต่างระหว่างพื้นผิวและ cloud base ดังนี้

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + (1 - \varepsilon_0)n \varepsilon_c \exp\left(-\frac{Z_c}{Z_*}\right), \quad 0 \leq n \leq 1 \quad (2.9)$$

เมื่อ $Z_* = 8.2 \text{ km}$

$$\varepsilon_c = 1$$

สำหรับ Hemispherical cloud ที่ความสูงปานกลางและต่ำ

$$\varepsilon_c = 0.74 - 0.084(Z_c - 4) \quad \text{สำหรับ Cirrus cloud เมื่อ } 4 \leq Z_c \leq 11 \quad \text{และ } \varepsilon_c = 0.15 \quad \text{เมื่อ}$$

$$Z_c \geq 11$$

3) เมื่อพื้นผิวเป็นมุนเมี้ยง รังสีที่ตกกระทบบนระนาบเอียงจะมาจากบรรยายกาศ (R_A) และวัตถุบนพื้นผิวโลก (R_G) จากความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Unsworth และ Monteith (1975a, b) ซึ่งรายงานโดย M.G.Meir และคณะ (2003) ดังนี้

$$R(\alpha) = R_A(\alpha) + R_G(\alpha) \quad (2.10)$$

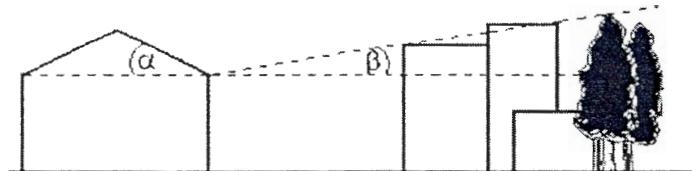
เมื่อ $R_A(\alpha) = R_A \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + bI_g \sigma T_a^4$ และ

$$R_G(\alpha) = \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) (\varepsilon_g \sigma T_g^4 + \rho_g R_A)$$

b อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.07 ถึง 0.14 โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09

I_g เป็นฟังก์ชันของมุนเมี้ยง เมื่อ $\alpha = 39^\circ, I_g = 0.2$

4) การบดบังของวัตถุ เมื่อมีวัตถุมาบดบังการแผ่รังสีทำมุน β กับระดับดังภาพที่ 2.2 จะต้องมีการปรับแก้มุน α เป็น α' โดย $\alpha' = \alpha + \beta$



ภาพที่ 2.2 การบดบังของวัตถุ

5) การพาความร้อน แสดงได้ด้วยสมการ

$$P_{conv.} = h_{conv.} A(T_{rad} - T_a) \quad (2.11)$$

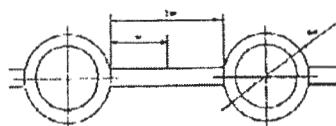
สำหรับพื้นผิวซึ่งไม่มีแผ่นกันลม สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเป็นฟังก์ชันของความเร็วลม

ตามสมการ $h_{conv} = a + bV$ ซึ่งมีผู้หาความสัมพันธ์ไว้หลายท่าน คำแนะนำของ Australian standard, 1989 รายงานโดย M.G.Meir และคณะ (2003) กำหนดค่า $h_{conv} = 3.1 + 4.1V$ ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

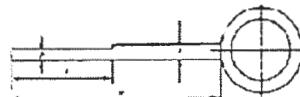
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การทำความร้อน

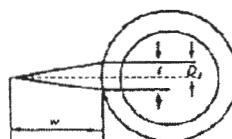
Tiris และคณะ (1995) ศึกษาถึงการออกแบบครีบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี โดยเปรียบเทียบ 4 รูปแบบคือ (a) straight rectangular fin (b) step change in local thickness fin (c) straight triangular fin (d) straight fin of inverse parabolic profile ดังภาพที่ 2.3



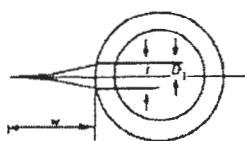
(a) straight rectangular fin



(b) step change in local thickness fin



(c) straight triangular fin



(d) straight fin of inverse parabolic profile

ภาพที่ 2.3 รูปแบบของครีบ

พบว่า เมื่อ fin tip heat loss เพิ่มขึ้น ครีบชนิด (a) มีผลให้ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีลดลงน้อยที่สุด ตามด้วยชนิด (b), (c) และ (d) เมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงความกว้างครีบตั้งแต่ 2-6 cm พบว่าครีบชนิด (a)

มีผลให้ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีลดลงประมาณ 2% ตามด้วย (b) (c) และ (d) ซึ่งลดลงประมาณ 9%

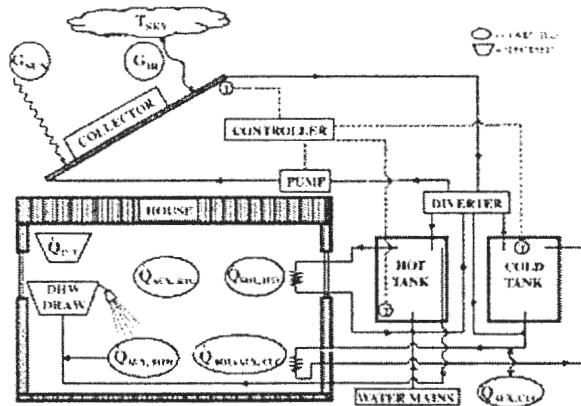
Erell และ Etzion (1996) ได้ทำการทดลองใช้ radiative cooling system ที่มีอยู่แล้ว ท่าความร้อนให้กับน้ำโดยไม่มีการปรับแต่งโดยศึกษาถึงคุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับการทำความเย็น แต่เมื่อผลบันต่อการทำความร้อน เช่น การไม่มีกระจกปิด หรือ หมุนอุ่นที่น้อยเกินไป และหาลักษณะอากาศที่เป็นข้อจำกัดของการทำความร้อนซึ่งพบว่า ระบบให้ความร้อนสูงสุด 510 W/m^2 และมีค่าเฉลี่ย 324 W/m^2 โดยมี ประสิทธิภาพ 0.38 เมื่อมีแดดจัด และ 0.28 ในสภาพอากาศแปรปรวน และปัจจัยภายนอกมีผลต่อความร้อนที่ได้ดังนี้

$$Q = 146 - 50.4V + 0.62R - 18.7\Delta T \quad (2.12)$$

Hachemi (1999) ทำการศึกษาระบบททำความร้อนอากาศด้วยแสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างแผ่นคุณลักษณะความร้อนมีพื้นผิวแบบ selective surface และพื้นผิวแบบ nonselective surface ซึ่งมีครีบแบบสี่เหลี่ยมติดอยู่ด้านในของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยป้ายของครีบด้านบนจะสัมผัสกับแผ่นคุณลักษณะความร้อน ซึ่งจะก่อให้เกิดการไหหลบแบบปั่นป่วน และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่าเมื่อเทียบกับแผงรับแสงอาทิตย์แบบไม่มีครีบแต่ก็มีผลให้ความดันต่ำกว่าเพิ่มขึ้นจากการเปรียบเทียบที่อัตราการไหลดต่างๆ พนว่าไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิของไหมากนักระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์แบบ selective surface และแบบ nonselective surface ดังนั้นการเลือกใช้แผ่นคุณลักษณะความร้อนแบบ selective surface จึงไม่มีความจำเป็น และในการเพิ่มถ่ายการเทความร้อน สามารถทำได้โดยการลดระยะห่างระหว่างครีบ

Yeh และคณะ (2002) ออกแบบและทดลองระบบ double flow solar air heaters ซึ่งติดครีบโดยแบ่งช่องการไหเป็น 2 ช่อง บนและล่าง ของแผ่นคุณลักษณะร้อนและติดตั้งครีบทั้งสองด้านจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด เมื่ออัตราการไหทั้งสองช่องเท่ากัน และสูงขึ้น เมื่ออัตราการไหลดลงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ downward type single flow collector ที่ขนาดเท่ากัน ประสิทธิภาพของระบบ double flow solar air heaters ที่ติดครีบจะสูงกว่ามาก

Jay Burch และคณะ (2003) ได้ทำการจำลองระบบการทำความร้อน และความเย็น โดยมีโครงสร้างระบบดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างการจำลองระบบการทำความร้อนและความเย็น

โดยจำลองระบบสำหรับบ้านเดี่ยวขนาด 185 m^2 โดยใช้ตัวเก็บรังสีแบบไม่มีกระจก โดยใช้ อัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่รับแสงอาทิตย์เท่ากับ 80 l/m^2 โดยศึกษาถึงผลของพื้นที่รับ แสงอาทิตย์ ปริมาตรถังเก็บ ขนาดของเครื่องแยกเปลี่ยนความร้อนและความเร็วลม สำหรับเมือง Albuquerque ซึ่งอากาศอบอุ่นและแห้งพบว่า แผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 6 m^2 สามารถจ่ายน้ำร้อนได้ถึง $2/3$ ของความต้องการรวม การเพิ่มขนาดแผงรับแสงอาทิตย์มากกว่า 6 m^2 ช่วยเพิ่มภาระได้เพียง เล็กน้อย ประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มพื้นที่ พื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 93 m^2 สามารถจ่าย ภาระโหลดได้ประมาณ 80% ของความต้องการพลังงานรวม และ 90% สำหรับความต้องการน้ำร้อน และความต้องการความเย็น เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำต่อพื้นที่รับแสงอาทิตย์ ระหว่าง 40 ถึง 640 l/m^2 พบว่า พลังงานที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 15% เมื่อเทียบกับขนาด 80 l/m^2 ใน การทำความเย็นพบว่าขึ้นกับขนาดของคอลเลกเตอร์เป็นอย่างมาก ขณะที่การทำความร้อนให้ผลตรงกันข้าม เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นการทำความร้อนจะลดลง ในขณะที่การทำความเย็นจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

Joeijoo และ Sorapipatana (2003) ได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำแบบจำลอง ASHRAE clear sky model ในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าการประเมินสำหรับรังสีรวม (global radiation) ให้ความแม่นยำพอสมควร ส่วนการประเมินรังสีตรงให้ความแม่นยำน้อย และน้อยที่สุดสำหรับรังสี กระจาย โดยการประเมินรังสีรวม และรังสีตรงเป็นการประเมินสูงกว่าความเป็นจริง ส่วนรังสีกระจาย เป็นการประเมินต่ำกว่าความเป็นจริง สำหรับการประเมินที่สูงไปนั้นเป็นเพราะแบบจำลองของ ASHRAE ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยใช้สมมติฐาน เมื่ออากาศแจ่มใสของนอกเขตอุตสาหกรรมของ สหรัฐอเมริกา และไม่ได้นำผลของ aerosol generated diffuse radiation มาพิจารณา ผู้ทำการศึกษา ให้คำแนะนำว่า ในการนำไปใช้ควรมีการปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมกับประเทศไทย

Hellstrom และคณะ (2003) ได้ใช้โปรแกรม MINSUN ในการศึกษาถึงผลของการส่งผ่าน ความร้อน (optical) คุณสมบัติเชิงความร้อน โดยเปรียบเทียบในระบบแผงรับแสงอาทิตย์แบบมีกระจก ปิดและเคลือบด้วย selective material โดยแผ่นดูดกลืนความร้อนมีค่าการดูดกลืนความร้อน 0.95

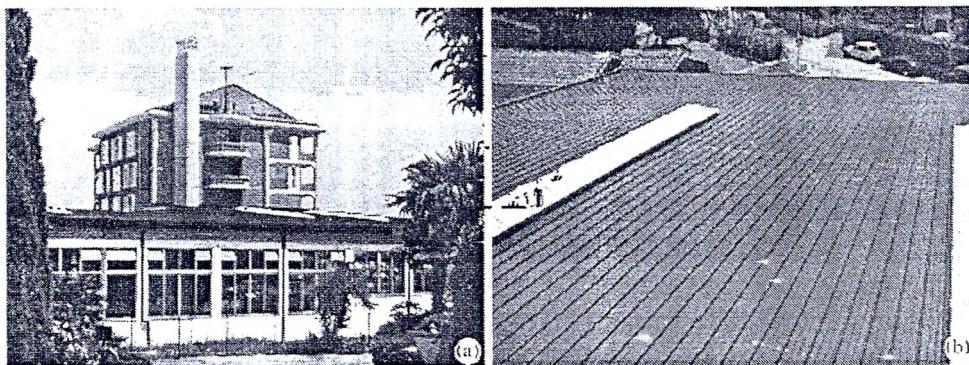
ค่าการลดปล่อยความร้อน 0.10 และกำหนดว่า $F' = 1 - 0.04U_L$ สำหรับทุกແงรับแสงอาทิตย์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงส่วนประกอบหลายส่วน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นดูดกลืนความร้อนได้มากขึ้น โดยพบว่า การลดค่าการลดปล่อยความร้อน 0.05% และการเพิ่มค่าการดูดกลืนความร้อน 0.02% ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีได้ 6.7% ที่อุณหภูมิเดินเครื่อง 50 °C การติดตั้ง teflon film ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ 6.7% และถ้าติดตั้ง teflon honeycomb จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ 12.1% การทำ antireflection treatment กับผิวกระจกจะช่วย เพิ่มความร้อนรายปี 6.5% การปรับปรุงแผ่นดูดกลืนความร้อน การติดตั้ง teflon honeycomb และการทำ antireflection treatment ร่วมกันมีผลให้ประสิทธิภาพรายปีเพิ่มขึ้น 24.6% ที่อุณหภูมิเดินเครื่อง 50 °C ส่วนการติดตั้ง external reflector คาดว่าสามารถเพิ่มความร้อนที่ได้ 19.9 - 29.4%

Medved และคณะ (2003) ทำการศึกษาระบบท่าน้ำร้อนขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 2.5 แห่งรับแสงอาทิตย์เป็นแบบไม่มีกระเจก โดยใช้หลังคาเหล็กที่มีขายในท้องตลาดเป็นแผ่นดูดกลืนความร้อนประกอบเข้ากับห่อ และหุ้มด้วยผนวนด้านล่าง ในการคำนวณผู้วิจัยได้ใช้สมการของ Hottel-Whillier - Bliss ดังนี้

$$\eta = F_R \alpha - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G''} \text{ หรือท่ากัน } \eta_0 = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G''} \quad (2.13)$$

เมื่อ $F_R \alpha = C_1 - C_2 U_W$ และ $F_R U_L = C_3 + C_4 U_W$

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการ finite volume method และ PHOENICS computer code และทำการตรวจสอบแบบจำลองตามมาตรฐาน ISO 9806 ส่วน 2 และ 3 พบว่า การคำนวณให้ความแม่นยำ สำหรับแผ่นดูดกลืนความร้อนทำด้วยเหล็กและอลูминีียมเมื่ออัตราการไหลเพิ่มถึง 0.05 kg/s.m² และ 0.08 kg/s.m² ตามลำดับ การเพิ่มอัตราการไหลจะมีผลต่อประสิทธิภาพน้อย จากการทดลองความกว้างของครีบน้อยมีผลให้ประสิทธิภาพสูง ส่วนความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความร้อนสูญเสียของແงรับแสงอาทิตย์สูงขึ้นเมื่อครีบมีประสิทธิภาพสูง ในการเปรียบเทียบ อุณหภูมิของครีบ ครีบเหล็กจะมีอุณหภูมิสูงกว่าครีบอลูминีียม และเมื่อเปรียบเทียบที่ความร้อนที่ได้เท่ากัน พบว่าการใช้อลูминีียมเป็นแผ่นดูดกลืนความร้อน สามารถลดขนาดແงรับแสงอาทิตย์ลงได้ เมื่อความกว้างของครีบน้อยลง การใช้อลูминีียมและเหล็กจะไม่มีความแตกต่างของขนาดແงรับแสงอาทิตย์มากนัก

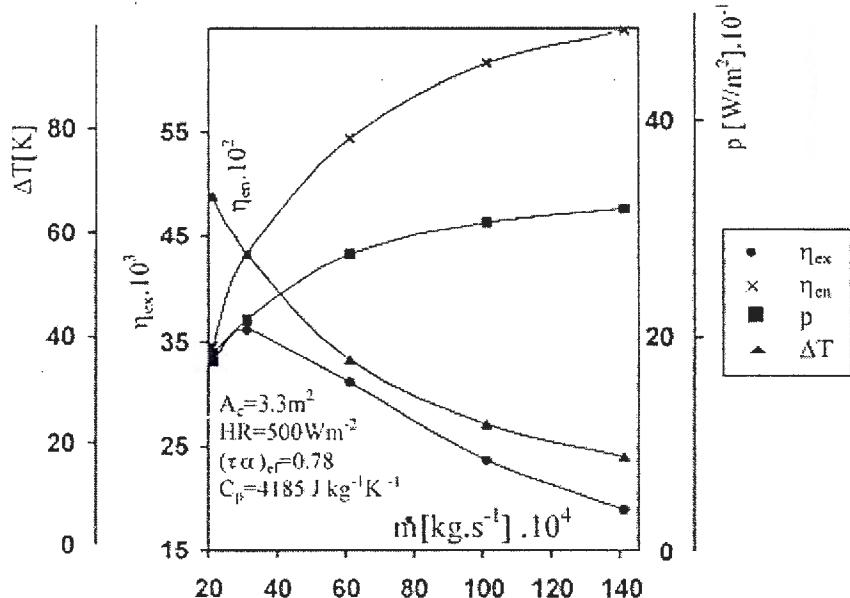


ภาพที่ 2.5 แสดงการประยุกต์ใช้งาน large unglazed solar panel collector ในการทำความร้อนให้กับสระว่ายน้ำ

Chow และ Chan (2004) ศึกษาและวิเคราะห์ผลของทิศทางการหันต่อรังสีที่ได้รับ บนพื้นผิวยิงของแผงรับแสงอาทิตย์ ในเขตตอนใต้ของจีนด้วยการวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ ชี้งบว่าเมื่อหันแผงไปทางตะวันตก และมีมุมเอียง $\beta \leq 30^\circ$ จะได้รับรังสีใกล้เคียงกับเมื่อแผงอยู่ในแนวราบซึ่งการหันทั้งสองแบบนี้ได้รับรังสีสูงสุดในไตรมาสที่สองและสามของปีส่วนในไตรมาสที่หนึ่ง และสีการหันแผงไปทางทิศใต้ ได้รับรังสีสูงสุด เมื่อมุมเอียง β สูงขึ้นระดับการได้รับรังสีจะลดลงและจะมีความแตกต่างในแต่ละทิศทางมากขึ้น ในกรณีของค่าเฉลี่ยรายปีแผงที่อยู่ในแนวราบจะได้รับรังสีสูงสุดยกเว้นเมื่อมุม azimuth $0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$ โดยเมื่อ $\gamma = 45^\circ$ การได้รับรังสีจะสูงสุดเกือบทุกช่วง β โดยค่าเฉลี่ยรายปีจะคิดที่สุดเมื่อ $\gamma = 45^\circ, \beta = 25^\circ$ และเมื่อ $\beta = 25^\circ \pm 10^\circ$ จะพบว่าค่ารังสีที่ได้รับเปลี่ยนแปลงเพียง 1% สำหรับผลของคุณภาพ ในหน้าร้อนแผงรับแสงอาทิตย์จะได้รับรังสีสูงสุดเมื่อ $\gamma = 83^\circ$ (หันไปทางทิศตะวันตก) ที่ทุกช่วง β และในฤดูหนาว การหันแผงรับแสงอาทิตย์ไปทางเกือบทิศใต้จะได้รับรังสีสูงสุดโดย $16^\circ \leq \beta \leq 41^\circ$

Sopian และคณะ (2004) ทำการศึกษาระบบ non-metallic unglazed solar water heater with integrated storage system โดยใช้ fiberglass reinforced polyester (GFRP) ปริมาตรถังเก็บน้ำ 329 ลิตร พบว่าในวันทึ่องฟ้าแจ่มใส ปริมาณรังสีเฉลี่ย 489 W/m^2 อุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ทำได้ 62°C และในวันเมฆมาก สามารถทำอุณหภูมน้ำได้ 40°C โดยปริมาณรังสีเฉลี่ยมีค่า 250 W/m^2 ระบบมีประสิทธิภาพ 45% โดยมีปริมาณรังสีเฉลี่ย 635 W/m^2 อุณหภูมิอากาศโดยรอบ 31°C ขณะเดียวกันความร้อนที่สูญเสียในตอนกลางคืนเมื่อไม่มี thermodiode ทำให้อุณหภูมิลดลงถึง 20°C และลดลง 10°C เมื่อมี thermodiode Luminosu, และ Fara (2004) ทำการศึกษาระบบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น เพื่อหาจุดที่เหมาะสม ในการใช้งานด้วยวิธีการ exergetic analysis และการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม REX 1 จากผลการจำลองระบบ เมื่อ exergy efficiency η_x เป็นพังค์ชันของอัตราการให้พลังงาน m และพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ A_s และกำหนดให้อุณหภูมิขององไหลาเข้าเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ให้ผลดังต่อไปนี้

1) อัตราการไหลดต่อประสิทธิภาพ การลดอัตราการไหลดจาก 0.0031 kg/s ค่า η, η_x จะลดลง แต่อุณหภูมิ ΔT จะเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มอัตราการไหลด m^* ค่า $\eta_x, \Delta T$ จะลดลง แต่ η จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าพลังงานจำเพาะ p จะเพิ่มตามขนาดของอัตราการไหลดโดยไม่ทราบจุดสูงสุด ดังภาพที่ 2.6

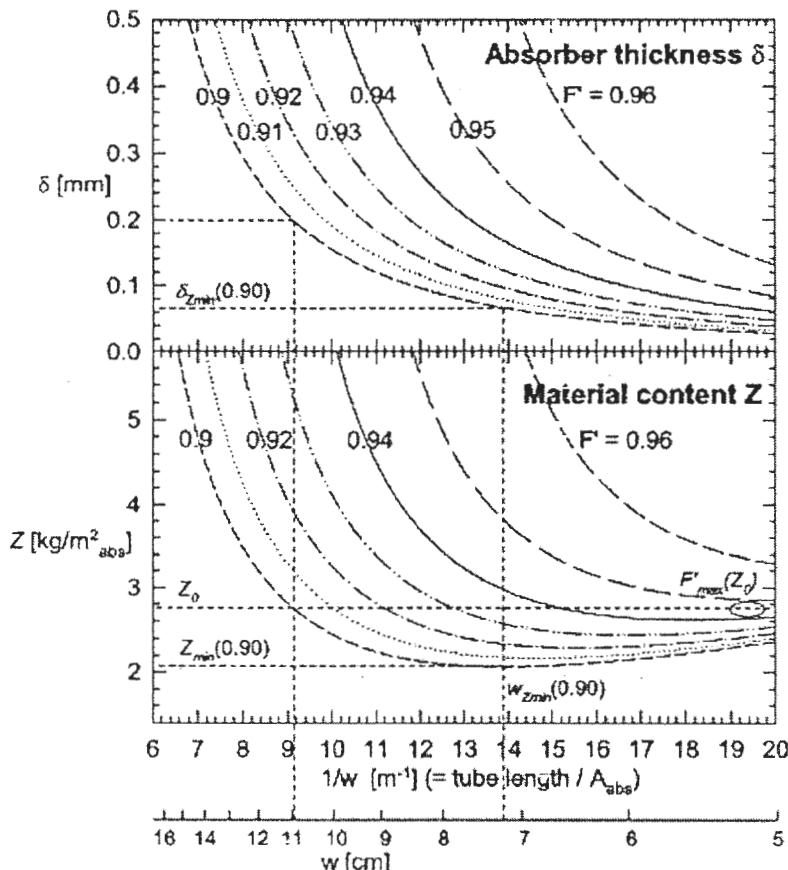


ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของ $\eta_x, \eta, \Delta T, p$ และอัตราการไหลด m^*

2) การนำแ朋รับแสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมจำนวน 1, 2 และ 3 ชุด พนว่า η_x จะสูงสุด เมื่อต่อ กันจำนวน 2 ชุด การลดหรือเพิ่มจำนวนแ朋รับแสงอาทิตย์ทำให้ η_x ลดลงในขณะที่ ΔT เพิ่มขึ้นตามจำนวน collector ส่วน η และพลังงานจำเพาะจะลดลง

Eisenmann และคณะ (2004) หาความสัมพันธ์ของ collector efficiency factor F' ปริมาณวัสดุ Z ระยะระหว่างท่อ W ความหนาของแผ่นดูดกึ่น δ ของแ朋รับแสงอาทิตย์แบบแผ่น เรียบและแสดงในรูปของ nomograph ดังภาพที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $F' = 0.9$ สามารถประยัด วัสดุได้ 25% ด้วยการเพิ่มระยะระหว่างท่อและลดความหนาของแผ่นดูดกึ่น โดยไม่ทำให้ collector efficiency factor ลดลง และจากการศึกษาลึกลักษณะของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ความกว้างของแนวเชื่อมท่อ กับแผ่นดูดกึ่นความร้อน g จะมีผลต่อ collector efficiency factor ไม่นานัก แต่การลดสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม U_L จะช่วยเพิ่ม F' เช่นเดียวกับการลดระยะระหว่างท่อ ส่วนการเพิ่มความหนาของแผ่นดูดกึ่นมีผลให้ collector efficiency factor สูงขึ้น ในกรณีที่ใช้ glycol mixture เป็นตัวกลางไหลดแบบรูปเรียบ ($Re=1385$) กับน้ำซึ่งไหลดแบบปั่นป่วน ($Re = 3650$) พนว่าการไหลดแบบปั่นป่วนให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น 3% ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มอัตราการไหลดหรืออาจ

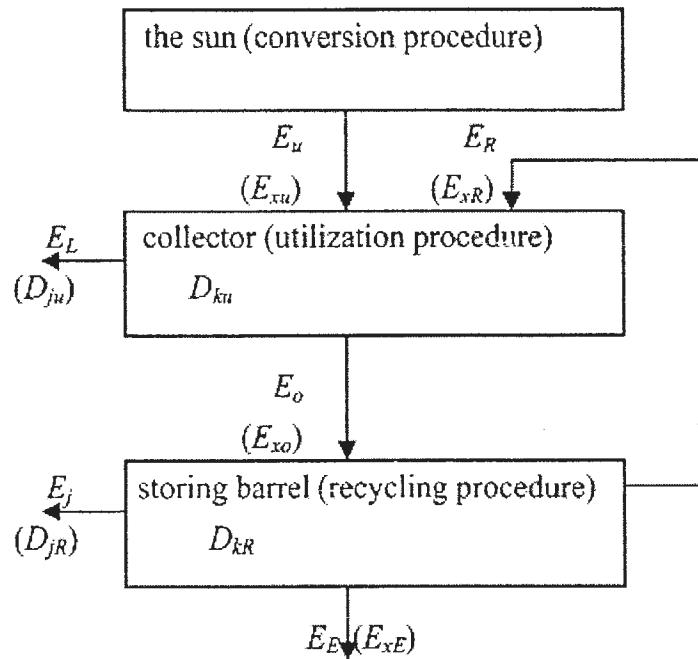
ลดขนาดของห้องท่อลง แต่พบว่าขนาดห้อง 3 mm เท่านั้นที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 2.7 monograph

Kalogirou และคณะ (2004) ศึกษาการประยุกต์ใช้แผงเก็บรังสีแบบแผ่น โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรม TRNSYS ระบบการหมุนเวียนน้ำเป็นแบบ active system และการนำพลังงานไปใช้เป็นแบบ indirect โดยการใช้ heat exchanger แผงเก็บรังสีที่ทำการศึกษามี 4 รูปแบบดังนี้ (a) black collector $\alpha = 0.95, \varepsilon = 0.1$ (b) color collector $\alpha = 0.85, \varepsilon = 0.1$ (c) black collector $\alpha = 0.95, \varepsilon = 0.9$ (d) color collector $\alpha = 0.95, \varepsilon = 0.9$ ผลการจำลองระบบพบว่า แผงเก็บรังสีชนิดสี (color collector) จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชนิดสีดำ และความแตกต่างของพลังงานที่ได้ยังขึ้นกับความมีเดื่องสีด้วย สำหรับแผงเก็บรังสีชนิดสีซึ่งมีค่าการคูคูลีนรังสีปานกลาง (absorptivity) 0.85 ให้พลังงานน้อยกว่าชนิดสีดำ 7-18% ใน 3 เมืองที่ทำการเปรียบเทียบ

Xiaowu และ Ben (2004) ทำการวิเคราะห์ระบบการทำน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัย โดยใช้กฎข้อที่สองของเทอร์โมไคนา มิกส์ โดยแบ่งกระบวนการออกเป็น 3 กระบวนการย่อยได้แก่ conversion procedure, utilization procedure และ recycling procedure ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในระบบการทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์

ซึ่งมีสมการ exergy balance คือ

$$E_{xU} + E_{xR} = D_{ju} + E_{xo} + D_{ku} \quad (2.14)$$

$$E_{x_0} = D_{jR} + E_{xE} + E_{xR} + D_{kR} \quad (2.15)$$

จากการศึกษาพบว่า การหุ้มแพลงรับแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำด้วยฉนวนแบบธรรมชาติ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิด exergy losses ได้ นอกจากนี้ exergy losses ยังเกิดจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบย้อนกลับ ไม่ได้ในแพลงรับแสงอาทิตย์ (D_{ku}) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (driving force) ปั้นในระบบ ในขณะที่ exergy losses แบบย้อนกลับ ไม่ได้ในถังเก็บน้ำซึ่งเกิดจากการผสานของน้ำที่อุณหภูมิต่างกันมีประกายชนน์้อย การออกแบบถังเก็บน้ำให้มี exergy losses (D_{kR}) ต่ำจะช่วยทำให้ exergy efficiency ดีขึ้น ได้มาก จากผลการทดลอง exergy efficiency จะสูงเมื่อระยะระหว่างท่อ (W) และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (U_L) ต่ำ และผู้ทำการศึกษาให้คำแนะนำว่าระยะระหว่างท่อควรอยู่ระหว่าง 5-10 cm และให้ใช้กระจักปิด 2 ชั้น และในกรณีศึกษามี่อนิยามว่า energy efficiency (η)

$$\eta = \frac{E_E}{E_H} \quad (2.16)$$

$$\eta_x = \frac{E_{x_E}}{E_{x_H}} \quad (2.17)$$

โดย $\eta_x = 0.77\%$ ขณะที่ $\eta = 15.1\%$ ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมาก ค่า η_x ที่ต่ำแสดงให้เห็นถึง พลังงานที่ได้ (E_E) อุ่นในระบบที่ต่ำมาก

2.2.2 การทำความเย็น

Hamza และคณะ (1995) ศึกษาระบบททำความเย็น โดยการแพร่รังสีในระบบเปิด โดยให้น้ำไหลด้วยแรงโน้มถ่วงจากถังเก็บด้านบนผ่านแผงทำความเย็น ซึ่งปิดทับด้วย polyethylene โดยศึกษาถึงผลของอัตราการไหล การปิดหรือปิดของถังเก็บน้ำและผลของความหนาของ polyethylene ต่อสมรรถนะของระบบ โดยนิยามประสิทธิภาพของแผงทำความเย็นว่าคือ สัดส่วนของค่าพลังงานที่ลดลงของของไหลต่อพลังงานที่สูญเสียของแผงทำความเย็นในอุณหภูมิ ซึ่งเสนอโดย Kimball (1985) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอัตราการไหลเท่ากับ $17 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$ ประสิทธิภาพจะลดลง และในกรณีที่ถังเก็บน้ำสำหรับจ่ายน้ำเข้าสู่แผงทำความเย็นเปิดสู่บรรยายกาศ จะมีประสิทธิภาพดีกว่ากรณีปิดถังเล็กน้อย แต่มีข้อเสียคือน้ำอาจจะสกปรกและต้องเติมน้ำชดเชยจาก การระเหย สำหรับผลของความหนาของแผ่น polyethylene พบว่า การลดความหนาจะช่วยให้ระบบได้ความเย็นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ polyethylene ที่บางจะทำให้เกิดความเสียหายจากการแสลงได้ง่าย

Mihalakakou และคณะ (1998) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบทำความเย็น เพื่อใช้ในการปรับปรุงอาคารเก่า โดยใช้แผงทำความเย็นแบบโลหะ ค่าการปลดปล่อยความร้อน $0.9 \text{ ขนาด } 14 \text{ m} \times 7 \text{ m}$ ปิดด้วย polyethylene หุ้มจำนวนทำความเย็นให้กับอากาศ โดยใช้พัดลมดูดอากาศผ่านด้านล่างของแผงทำความเย็นด้วยความเร็ว 2.5 m/s จากผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถให้ความเย็นได้ระหว่าง 29.7 ถึง 55.8 Wh/m^2 ในคืนท่องฟ้าแจ่มใสและ 26.7 ถึง 44.9 Wh/m^2 ในคืนที่มีเมฆมาก และความเร็วลมในบรรยายกาศที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความเย็นที่ได้ลดลง

Al-Nimr และคณะ (1998) ทำการศึกษาวิเคราะห์ระบบ radiative cooling ซึ่งเป็นระบบปิด ประกอบด้วย แผงทำความเย็นทำด้วยเหล็กขนาด $1500 \times 400 \text{ mm}^2$ ทาสีดำหุ้มจำนวนและมีแผ่นปิด polyethylene หนา $40 \mu\text{m}$ ถังเก็บน้ำขนาด 120 ลิตร หุ้มจำนวนเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง คณิตศาสตร์ พบว่าที่อัตราการไหล 0.00002 kg/s.m^2 อุณหภูมิขาออกของน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเมื่ออัตราการไหลต่ำจะสามารถลดอุณหภูมิขาออกได้มากกว่าอัตราการไหลสูง แต่อัตราการไหลไม่มีผลต่อการสะสมความเย็นในถังเก็บน้ำ ระบบที่ก่อสร้างขึ้นสามารถลดอุณหภูมิได้ 15°C ใน 1 คืน ภายใต้สภาพอากาศ spring weather condition ของเมือง Irbid-Jordan (latitude 32.5°N longitude 35.5°E)

Erell และ Etzion (1999) ทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบ radiative cooling โดยใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์จากสมการสำหรับหารการกระจายของอุณหภูมิในแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งเสนอโดย Duffie และ Beckmen และสมการของ Stefan-Boltzmann พบว่า เมื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (overall heat loss coefficient) ทำให้ประสิทธิภาพของครีบ (fin efficiency) ลดลงในทุกความกว้างของครีบ ในกรณีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าแผงทำความเย็นครีบที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยให้ประสิทธิภาพของแผงทำความเย็นเพิ่มขึ้น และในกรณีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงกว่าแผงทำความเย็น พนวณว่าแผงทำความเย็นสามารถให้ความเย็นเพิ่มขึ้นเมื่อประสิทธิภาพของครีบเพิ่มขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงกว่าแผงทำความเย็น 3°C ประสิทธิภาพของครีบที่สูงขึ้นจะมีผลให้แผงทำความเย็นรับความร้อนเข้ามาแทน (แผงทำความเย็นขนาด $1\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ อุณหภูมิขาเข้าของตัวกล่อง 23°C อัตราการไหหล 0.03 kg/s สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (U_c) $15\text{ W/m}^{20}\text{ C}$ sky temperature depression 15°C) สำหรับผลของการเพิ่มอัตราการไหหลทำให้อุณหภูมิขาออกของแผงทำความเย็นเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันทำให้อุณหภูมิเนลลี่ของแผงทำความเย็นเพิ่มขึ้น และอัตราการทำความเย็นจะเพิ่มในอัตราที่ลดลง ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน Erell และ Etzion ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบ ระหว่างแผงทำความเย็น 3 แบบคือ (A) แผงรับแสงอาทิตย์แบบ Lordan LSC-F ขนาด $2.18\text{m} \times 1.26\text{m}$ ไม่มีกระจาดปิด (B) เหมือนกับ A แต่อาจวนด้านหลังออก (C) แผงรับแสงอาทิตย์แบบ chromagen CR-12 ซึ่งเหมือนกับแบบ LSC-F แต่เพิ่มครีบในแนวตั้งจากก้นเรือท่อถักยณะเดียวกับหม้อน้ำในรถยนต์ และไม่มีทึ้งกระตกและฉนวน พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของของไหหลของ C เพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วน A เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

Al-Nimr และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาการทำความเย็นโดยดัดแปลงระบบ Australian cooling system โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนแทนอากาศ พบว่าในระบบปิด อัตราการไหหลไม่มีผลต่อความเย็นที่ได้มีจุดกระบวนการ แต่จะมีผลต่อระบบเปิดอย่างมาก สำหรับการเพิ่มพื้นที่ของแผงทำความเย็น (โดยไม่เปลี่ยนขนาดของ packed bed storage tank) ระบบปิดจะให้อัตราการทำความเย็นเพิ่มขึ้นมาก แต่ระบบปิดจะเพิ่มในอัตราที่น้อยลง และระบบปิดให้อัตราการทำความเย็นสูงกว่าระบบเปิดเมื่อพื้นที่เท่ากัน

Khedari และคณะ (1999) ทำการศึกษาการทำความเย็นโดยการแร่รังสีในประเทศไทย ซึ่งอากาศร้อนและชื้น โดยใช้แผงทำความเย็นซึ่งทำจากแผ่นโลหะและกระเบื้องหลังคา CPAC Moneir โดยสร้างใน 4 รูปแบบ คือ (a) กระเบื้องหลังคา CPAC Moneir ปิดทับด้วยแผ่นโลหะ ซึ่งทาสีขาว (b) กระเบื้องหลังคา CPAC Moneir ทาสีขาว (c) กระเบื้องหลังคา CPAC Moneir สีน้ำตาลเข้ม (d) กระเบื้องหลังคา CPAC Moncir วางทับด้วย Gypsum board และชั้นบนสุดวางทับด้วยแผ่นโลหะแบบมีล่อน ทาสีขาว โดยทดสอบภายในตู้试验室 ที่อุณหภูมิ $1-6^{\circ}\text{C}$ ในสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่ง และมีเมฆบางส่วน ในสภาพมีฝนตก อุณหภูมิแผงทำความเย็นแต่ละแบบจะมีค่าไกล์เคิงกันมาก นอกจาก

สภาวะแวดล้อมแล้วค่าการปลดปล่อยความร้อน(emissivity) ของวัสดุและการเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำบนแผงทำความเย็นก็มีผลต่อสมรรถนะของระบบ และพบว่าการทำความเย็นด้วยการแผ่วรังสีมีความเป็นไปได้สูงในฤดูหนาว

Erell และ Etzion (2000) ทำการศึกษาและวิเคราะห์การอุดแบบ nocturnal cooling radiator เพื่อให้ได้ความเย็นสูงสุด โดยใช้แผงรับแสงอาทิตย์ที่ห้อ Heliocoil ซึ่งอุดแบบมาสำหรับการทำน้ำร้อน ซึ่งทำด้วย polypropylene tube เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายใน 6 และ 4.5 mm ตามลำดับ ระยะห่างระหว่างท่อ 10 mm ยาว 2.3 m ความกว้างรวม 1.2 m และค่า infra red emissive 0.95 ซึ่งคุณสมบัติทั้งหมดนี้ใกล้เคียงกับผลจากการวิเคราะห์การอุดแบบสำหรับระบบ radiative cooling ซึ่งสามารถทำความเย็นได้ถึง 90 W/m^2 ที่ mean sky depression 12.2°C

Haddad และคณะ (2000) ปรับปรุงระบบกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบการทำความเย็น โดยการแผ่วรังสีที่ประกอบด้วยแผงทำความเย็นและ packed bed storage tank ซึ่งใช้เป็น external condenser ความเย็นที่ได้จากการแผ่วรังสีในตอนกลางคืนจะถูกเก็บใน packed bed storage tank ในตอนกลางวัน ไอน้ำที่ระเหยจาก solar still จะถูกดูดเข้าสู่ packed bed storage tank ที่อยู่สูงกว่าและอุณหภูมิต่ำด้วยแรงดึงดูดตามธรรมชาติ และกลั่นตัวภายใน storage tank ข้อดีของระบบนี้คือ a) อุณหภูมิของกระจาดปีด solar still จะลดลงซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนผ่านกระจาด b) แรงดันไอน้ำและอุณหภูมิกายในของ solar still จะลดลงซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากไอน้ำ c) การรั่วไหลของไอน้ำลดลง d) แรงดันไอน้ำลดลงทำให้อัตราการระเหยดีขึ้น e) อุณหภูมิที่ต่ำของ packed bed storage tank ทำให้อัตราการควบแน่นดีขึ้น

Armenta และคณะ (2003) เสนอวิธีการและเครื่องมือต้นแบบ เพื่อการคำนวณหาการแผ่วรังสีระหว่างวัตถุ 2 ชิ้นที่ง่ายและมีความแม่นยำ นอกจากนั้นยังสามารถใช้คำนวณหาอุณหภูมิท้องฟ้า Clear sky index และค่าการปลดปล่อยพลังงานของวัตถุได้ สำหรับเครื่องมือต้นแบบประกอบด้วยกล้องพลาสติกรูปทรงกระบอก หุ้มด้วยฉนวน กายในบรรจุน้ำและคลอดให้ความร้อน แล้ววางทับด้วยแผ่นทองแดงที่ทาสีดำ เหนือขึ้นไป 30 เซนติเมตร เป็นแผ่นอะลูминัมทาสีดำขึ้นรูปเป็นถาดสามารถปรับอุณหภูมิโดยการเติมน้ำแข็งหรือน้ำเย็นลงไป ซึ่งสมมติว่าเป็น Sky plate ในการคำนวณหาการแผ่วรังสีความร้อน ผู้วิจัยใช้หลักการพลังงานรวมที่จ่ายให้คลอดเท่ากับพลังงานที่สูญเสียจากการนำ การทำ และการแผ่วรังสีความร้อน โดยพบว่า ที่แผ่นทองแดงอุณหภูมิ 40°C เป็นจุดที่เหมาะสมในการทำการทดลอง การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจากนี้ทำให้สัดส่วนการแผ่วรังสีน้อยลงหรือทำให้ต้องใช้ระบบควบคุมที่มีความซับซ้อนและราคาแพง ในการทดลองพบว่ามีความผิดพลาดระหว่างค่าพลังงานรวมกับพลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องต้นแบบน้อยกว่า 5% ทั้งนี้การลดการนำและการพาความร้อน จะทำให้ผลที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น ในการนำวิธีการและเครื่องมือที่นำเสนอใช้ในการหาค่า Clear sky index เครื่องต้นแบบจะถูกวางแผนที่ร่วมซึ่งจะได้รับเพียงรังสีกระเจย และทำการวัดรังสีตรงและรังสีกระเจย เมื่อเปรียบเทียบค่า Clear sky index ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณแบบสมการดังเดิม (Classical method) พนวณว่ามีความผิดพลาดประมาณ 5%

Auttapol และคณะ (2003) ศึกษาความเย็นไปได้ของระบบ night radiative cooling โดยกำหนดให้แห่งทำความเย็นมีขนาด 15 m^2 ท่าสีขาว มีแผ่นกันลมที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมใช้ร่วงกับถังเก็บน้ำ ขนาด 0.08 และ 0.05 m^3 ที่放ไว้ใต้ดินในจังหวัดเชียงรายด้วยวิธีจำลองระบบเพื่อทำน้ำเย็น สำหรับการปรับอากาศในห้องพัก ในการจำลองระบบได้สมมติให้น้ำที่กลับจากคอกล์เย็นมีอุณหภูมิเท่ากับบรรยายกาศ ผลจากการศึกษาพบว่า ในเดือนธันวาคมถึงเดือนกรกฎาคมสามารถทำอุณหภูมน้ำได้ที่ $14.5 - 22^\circ\text{C}$ โดยคือมีนาคมถึงเดือนเมษายนสามารถทำอุณหภูมน้ำได้ที่ $16-18^\circ\text{C}$ หรือต่ำกว่าบรรยายกาศ $8-10^\circ\text{C}$ ซึ่งมีศักยภาพในการทำความเย็นในหน้าร้อน

G.Meir และคณะ (2003) ทำการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะทางความร้อน ของระบบ unglazed radiative cooling system โดยดัดแปลงจากระบบทามความร้อนด้วยแสงอาทิตย์ซึ่งทำด้วย modified black polyphenylenoxid (PPO)resin ขนาด $255\text{cm} \times 60\text{ cm}$ และใช้ clay granulates,LECA® เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลาง (น้ำ) กับแผงทำความเย็น (radiator) พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาถึงผลของมุมอิ่มพื้นที่ของแผงทำความเย็น และปริมาตรของถังจากการทดลองพบว่า สามารถทำความเย็นได้เกิน 150 W/m^2 เมื่อห้องฟ้าค่อนข้างโปรด ความเร็วลมประมาณ 1 m/s อุณหภูมิอากาศภายนอก และ แผงทำความเย็นแตกต่างกันประมาณ 10°C และระบบสามารถทำความเย็นได้สูงสุดเมื่อแผงทำความเย็นอยู่ในแนวราบและต่ำสุดเมื่อทำมุม 90° กับพื้นราบทะเบียนกันหากเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ของแผงทำความเย็น ต่อปริมาตรของถังเก็บน้ำ ระบบก็สามารถทำความเย็นได้เพิ่มขึ้น

Dobson และคณะ (2003) ทำการศึกษาคุณลักษณะเชิงแสงและโครงสร้างของแผ่นฟิล์มสารกึ่งตัวนำ (PbS และ PbSe) ซึ่งเคลือบบน Polyethylene foil และ Pigmented shield ที่เตรียมจากการผสม ZnS หรือ ZnO เข้ากับ Polyethylene พบว่าคุณสมบัติเชิงแสงของ Polyethylene foil ซึ่งเคลือบด้วย PbS และ PbSe ค่อนข้างจะเปรียบตามพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเตรียมแผ่นฟิล์มที่มีอัตราส่วนของ metal ion สูง และอุณหภูมิในช่วง $20-30^\circ\text{C}$ แผ่นฟิล์มจะมีคุณสมบัติยอมให้รังสีอินฟราเรดในช่วง 8-13 ไมครอน ผ่านได้ดีและขณะเดียวกันก็ป้องกันการส่องผ่านของแสงอาทิตย์ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้งานกับระบบการทำความเย็น โดยการแผ่รังสี ส่วน Pigmented shield การส่องผ่านรังสีอินฟราเรดในช่วง 8-13 ไมครอน อยู่ในเกณฑ์พอใช้ทั้ง ZnS และ ZnO โดย ZnS มีค่าการส่องผ่าน 0.64 ส่วนการส่องผ่านในช่วงแสงอาทิตย์ ZnS จะมีค่าการส่องผ่านต่ำกว่า ZnO ซึ่งการส่องผ่านที่ต่ำกว่าของ ZnS เป็นผลมาจากการสะท้อนที่ดีกว่า ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในการการทำความเย็นโดยการแผ่รังสี นอกจากนี้ Dobson ยังทำการศึกษาผลของการเคลือบ PbS ลงบน ZnS และ ZnO Pigmented shield ทำการศึกษาโดย Pigmented shield หันเข้าหาแสงโดยตรงและหันหนีแสง พบว่า การส่องผ่านรังสีอินฟราเรดในช่วง 8-13 ไมครอน ลดลงเล็กน้อยทั้ง ZnS และ ZnO Pigmented shield แต่ การส่องผ่านแสงอาทิตย์ลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับ ZnS และ ZnO Pigmented shield ที่ไม่ได้เคลือบด้วย PbS ซึ่งเหมือนกันทั้งกรณีหันเข้าหาและหันหนีแสง ส่วนค่าการสะท้อนแสงอาทิตย์ก็ลดลงด้วยเช่นกัน

แต่ปัจจุบันทิศทางการหันของแผ่น shield ด้วยอย่างไรก็ตามพบว่า การเคลื่อน PbS ลงบน ZnS และ ZnO Pigmented shield มีคุณสมบัติดีที่สุดในการป้องกันแสงอาทิตย์

Oliveti และคณะ (2003) ศึกษาการแพร่รังสีความร้อนระหว่างหลังคาแบบแผ่นราบกับห้องฟ้าในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่รังสี และตรวจสอบความแม่นยำของการคำนวณอัตราการแพร่รังสีเมื่อสัมประสิทธิ์การแพร่รังสีคำนวณจากสมการ

$$h_r = \varepsilon_1 \sigma (T_s^4 - T_{sky}^4) / (T_s - T_{sky})$$

เมื่อ T_s คืออุณหภูมิของหลังคา โดยการประมาณค่าอุณหภูมิห้องฟ้า จากสมการ $G_1 = \sigma T_{sky}^4$ เมื่อ G_1 คือรังสีอินฟราเรดที่แผ่จากห้องฟ้า และด้วยสมการที่เสนอโดย Aubinet (1994) ($T_{sky} = -29 + 1.09T_a - 19.9k$) เมื่อ k คือ clearness index ในการศึกษาพบว่ามีการแพร่รังสีอินฟราเรดออกจากหลังคาเสมอ และมีค่ามากพอเมื่อเทียบกับการคัดกรองจากแสงอาทิตย์ หรือการพาระมาณร้อน ส่วนการพาระมาณร้อนจะมีทึ้งเข้าสู่ระบบในตอนกลางคืนและออกจากระบบในตอนกลางวัน สำหรับสัมประสิทธิ์การแพร่รังสีรายชั่วโมงจะอยู่ในช่วง 4.5 ถึง 6.6 W/m² ในเดือนสิงหาคม และ 3.3 ถึง 4.9 W/m² ในเดือนมกราคม และสัมประสิทธิ์การแพร่รังสีรายวันก็มีช่วงความเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกัน จากผลการทดลองข้างต้น กล่าวได้ว่าสมการ $q_r = h_r (T_s - T_{sky})$ มีความถูกต้อง และเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณและผลการทดลองเมื่อใช้สมการของ Aubinet (1994) ในการประมาณอุณหภูมิห้องฟ้า พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่รังสีความร้อนที่คำนวณได้มีความถูกต้องแม่นยำ ขณะที่ค่าการแพร่รังสีรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ก็ยังจำเป็นต้องใช้สมการที่แม่นยำและซับซ้อนขึ้นในการประมาณอุณหภูมิห้องฟ้า และสำคัญหากให้อุณหภูมิห้องฟ้าเท่ากับอุณหภูมิบรรยายกาศ จะพบว่า ค่าการแพร่รังสีรวมที่คำนวณได้จะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงมาก

2.2.3 สรุป

กล่าวโดยสรุป ประสิทธิภาพของระบบการทำความร้อนด้วยแสงอาทิตย์ และการทำความเย็นด้วยการแพร่รังสี จะขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

2.2.3.1 สภาพแวดล้อม เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิบรรยายกาศ เป็นต้น โดยพบว่า ความเร็วลมจะมีผลต่อการสูญเสียความร้อนของระบบการทำความร้อน ขณะที่ในระบบการทำความเย็น ความเร็วลมมีผลทั้งทำให้ระบบสูญเสียความร้อน ในกรณีที่อุณหภูมิของแผงทำความเย็นสูงกว่าบรรยายกาศ และระบบรับความร้อนเข้ามาในกรณีที่อุณหภูมิของแผงต่ำกว่าบรรยายกาศ ส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบรรยายกาศ มีผลให้อุณหภูมน้ำยาออกจากแผงทำความเย็นเพิ่มขึ้น แต่มีผลให้การสูญเสียความร้อนในระบบการทำความร้อนลดลง

2.2.3.2 การออกแบบระบบ ทั้งระบบการทำความร้อนและความเย็น ต้องการระบบที่มีความกว้างของครึ่น้อย ในกรณีของการทำความร้อนระบบจะสามารถเก็บความร้อนได้ ขณะที่การทำความเย็นจะช่วยให้แห้งทำความเย็นมีอุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้มีการแพร่รังสีความร้อนที่ดี สำหรับการเพิ่มอัตราส่วนของพื้นที่แผงต่อตัวบ้าน จะทำให้ห้องระบบทำความร้อนและความเย็นสามารถเพิ่ม และลด

อุณหภูมิได้มากขึ้น ส่วนนูนอุ่นของแข็งทำความเย็นระบบจะมีความสามารถสูงสุดเมื่ออุ่นในแนวราบ แต่ในระบบทำความร้อนนูนอุ่นของแข็งจะขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานและมุมละติจูดที่จุดที่ติดตั้ง เป็นต้น

2.2.3.3 การเดินเครื่องระบบ เช่น อัตราการไหล ในการทำความเย็นแบบระบบปิด อุณหภูมิสุดท้ายของระบบที่ได้จะไม่ขึ้นกับอัตราการไหล ขณะที่การทำความร้อนแบบระบบ forced circulation การเพิ่มอัตราการไหลจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบน้อย

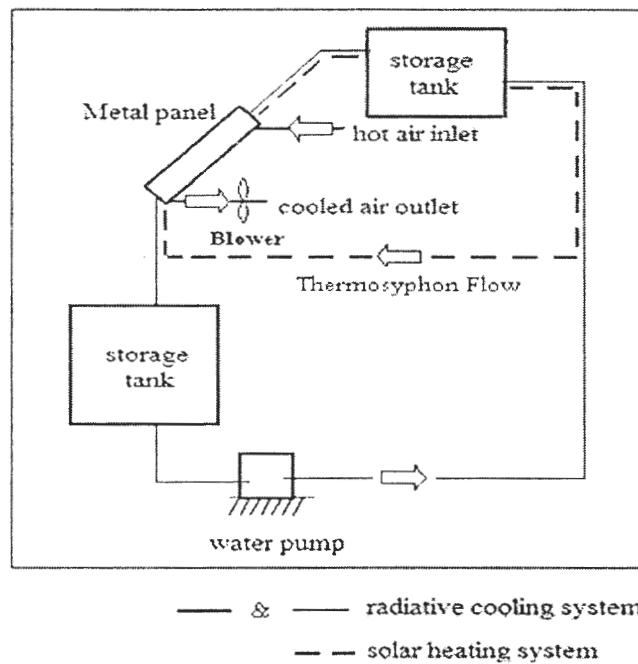
นอกจากนี้ ความสามารถของระบบโดยทั่วไปแล้วการทำความเย็น จะมีค่าประมาณไม่เกิน 100 W/m^2 ขณะที่ระบบการทำความร้อนสามารถทำได้ถึง 510 W/m^2 เมื่อใช้แข็งทำความเย็นมาประยุกต์ในการทำความร้อน

บทที่ 3

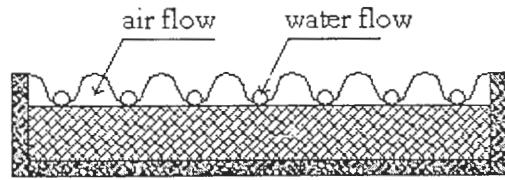
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ชุดทดลอง

ออกแบบและสร้าง unglazed metal panel ที่มีขนาดประมาณ 1.67 ตารางเมตร โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความยาวท่อละ 2.5 เมตร จำนวน 7 ท่อ ติดตั้งบนแผ่นตั้งกระถาง ด้านล่างหุ้มด้วยผ้าใบ ติดตั้งด้วยมุมอียง 15 องศา ท่อ connecting pipe ระหว่างแพนเก็บรังสีและตั้งเก็บน้ำ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร ความยาวรวมประมาณ 6.9 เมตร ในระบบการทำความเย็นจะมีบีบสำหรับหมุนเวียนน้ำและพัดลมดูดอากาศสำหรับดูดอากาศผ่านด้านล่างของแพน ถังเก็บน้ำเย็นและน้ำร้อนหุ้มด้วยผ้าใบ ลักษณะขั้นตอนการทำงานจะเป็นดังภาพที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดภาคตัดขวางของแพนเก็บรังสีดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างของ unglazed metal panel

3.2 ระบบการทำร้อน

3.2.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ระบบการทำความร้อนจะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทำความร้อนดังนี้

3.2.1.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์

3.2.1.2 อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

3.2.1.3 ความเร็วลม

3.2.1.4 อัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ของแผงเก็บรังสี

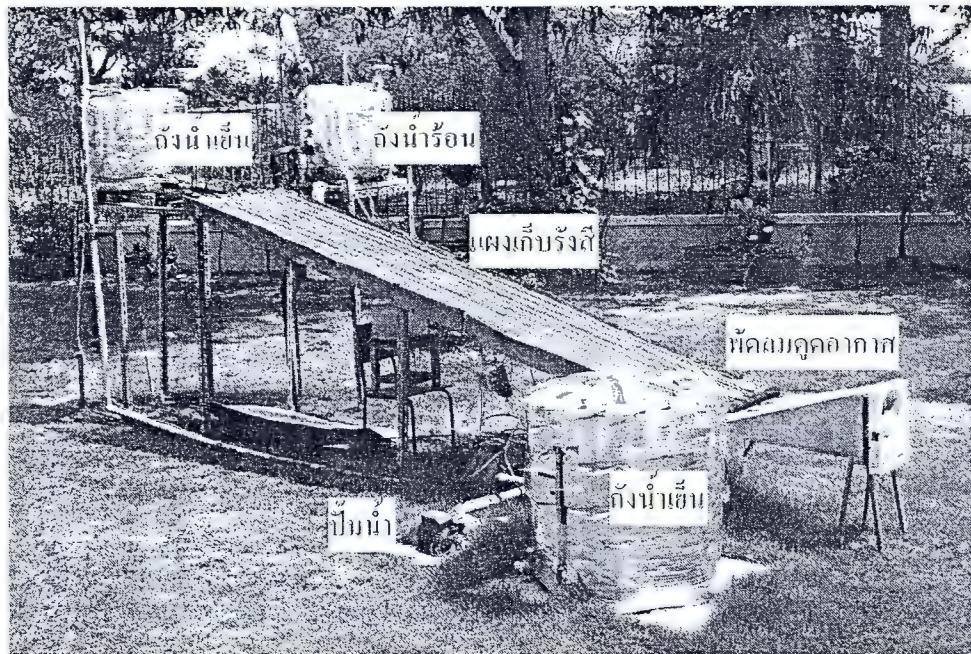
3.2.2 วิธีการทดลอง

ระบบการทำความร้อนจะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

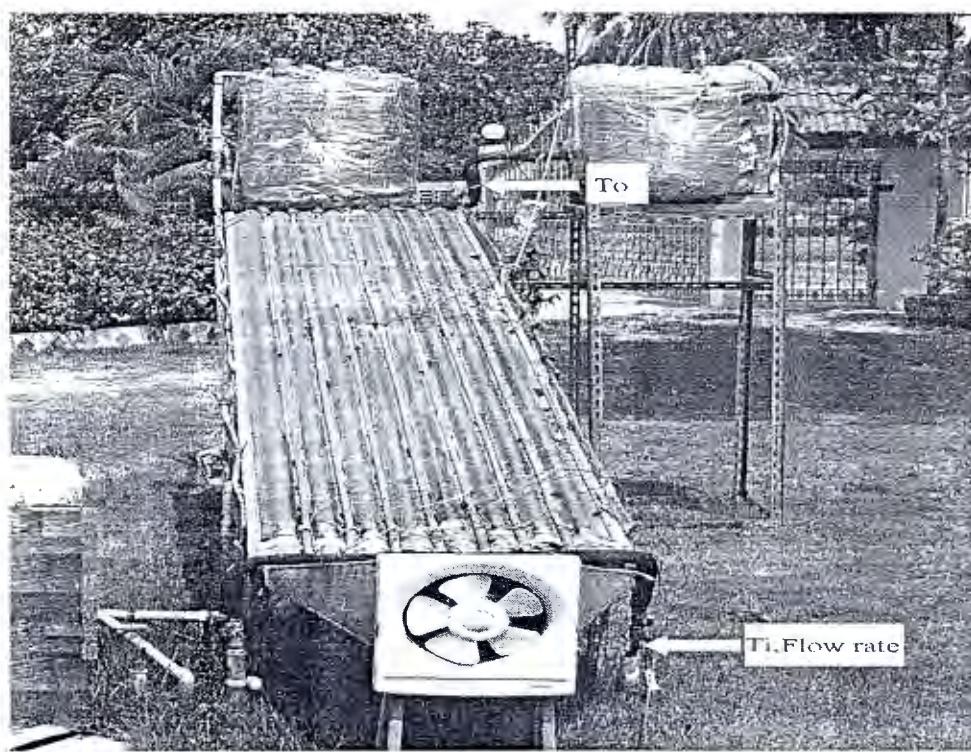
3.2.2.1 ทำการติดตั้งระบบดังภาพที่ 3.3 และติดตั้งเครื่องมือวัด พร้อมระบบการบันทึกข้อมูล

3.2.2.2 การวัดอุณหภูมิ จะทำการบันทึกทุก 1 นาที ตำแหน่งวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้า , ขาออกและอัตราการไหล ดังแสดงในภาพที่ 3.4 อุณหภูมน้ำในถังเก็บวัดที่ระดับความลึก 3 และ 4 ระดับ ระดับของท่อน้ำเข้าถังเก็บจะอยู่ที่ประมาณ 0.75 เท่าของความสูงน้ำ ซึ่งจากการศึกษาของ Shariah and Shalabi (1997) พบว่า การเพิ่มสัดส่วนของระดับท่อน้ำเข้าถังเก็บต่อความสูงถังเก็บจาก 0.2 เป็น 1.0 ช่วยเพิ่ม Solar fraction ได้ 7-10% จุดการวัดอุณหภูมิ และความสูงของท่อน้ำเข้าถังเก็บ ดังแสดง ในภาพที่ 3.5-3.7

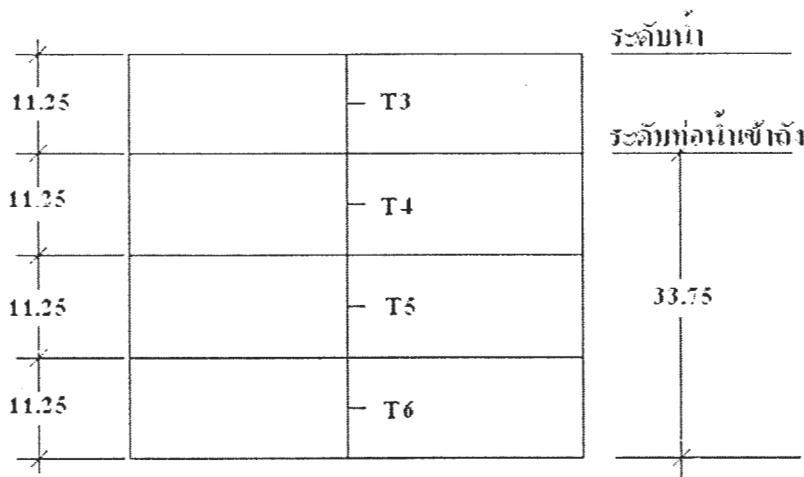
3.2.2.3 การวัดอุณหภูมิของแผงเก็บรังสี (T_p) และอุณหภูมิห้อง (T_r) การวัดอุณหภูมิแผงเก็บรังสี ทำการวัด 2 จุด ที่กึ่งกลางของแผงรับรังสี ดังภาพที่ 3.8 คือ T_{p1} และ T_{p2} แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนการวัดอุณหภูมิห้อง วัดในบริเวณเดียวกัน จำนวน 1 จุด



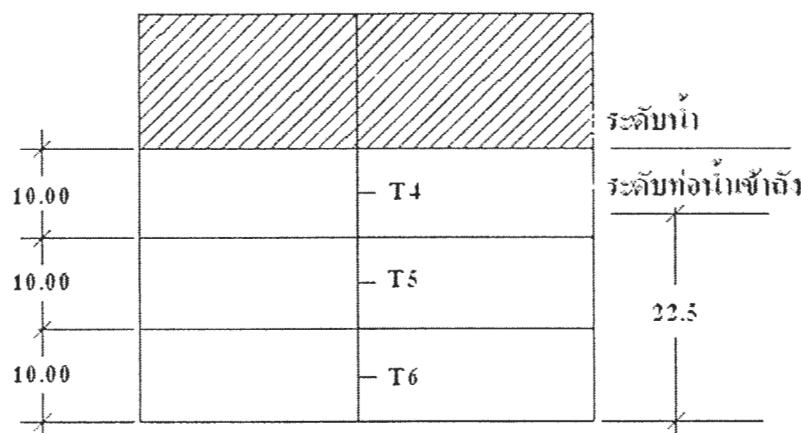
ภาพที่ 3.3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



ภาพที่ 3.4 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้า, ขาออก และอัตราการไหล



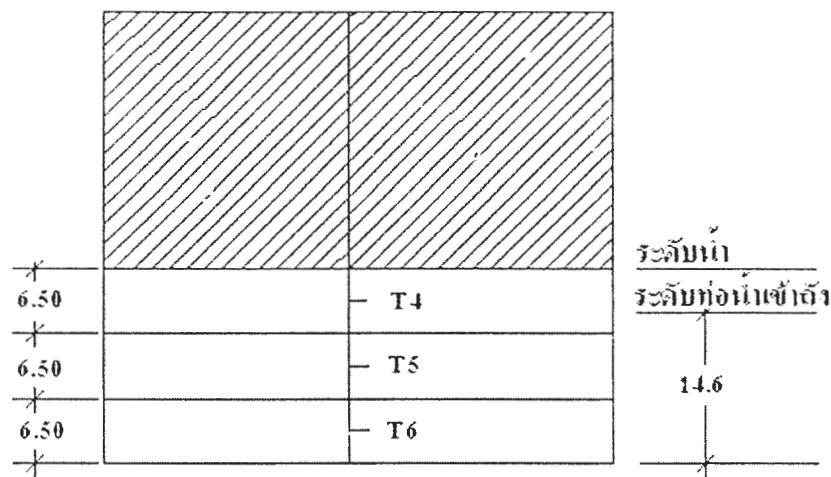
ภาพที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ปริมาตร 90 ลิตร



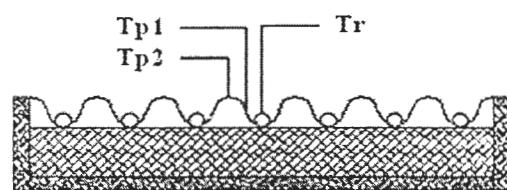
ภาพที่ 3.6 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ปริมาตร 60 ลิตร

3.2.2.4 การวัดอัตราการไหล วัดด้วยวิธีค่า Dye trace injection โดยการจับเวลาที่น้ำยาอุทัยพิทย์ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.9722 (Pannigul P., 1999) เคลื่อนที่ในระยะ 5 เซนติเมตร ในท่อยางสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.5 เซนติเมตร จำนวน 10 ครั้ง จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาอัตราการไหล ดังแสดงในภาพที่ 3.9-3.10

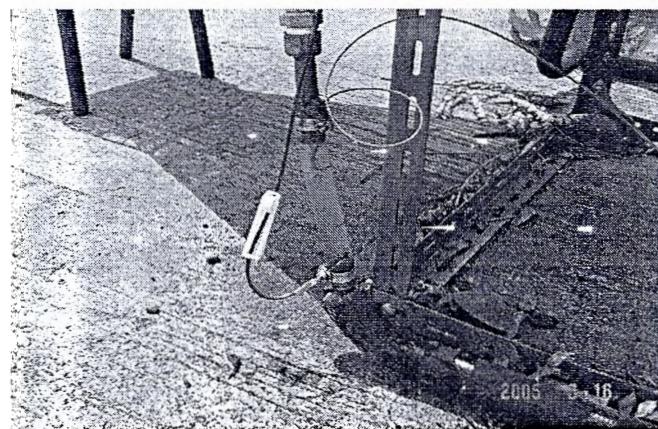
3.2.2.5 เริ่มทำการทดลองที่ปริมาตร 90 ลิตร ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณ หากความร้อนที่ได้และประสิทธิภาพของระบบ



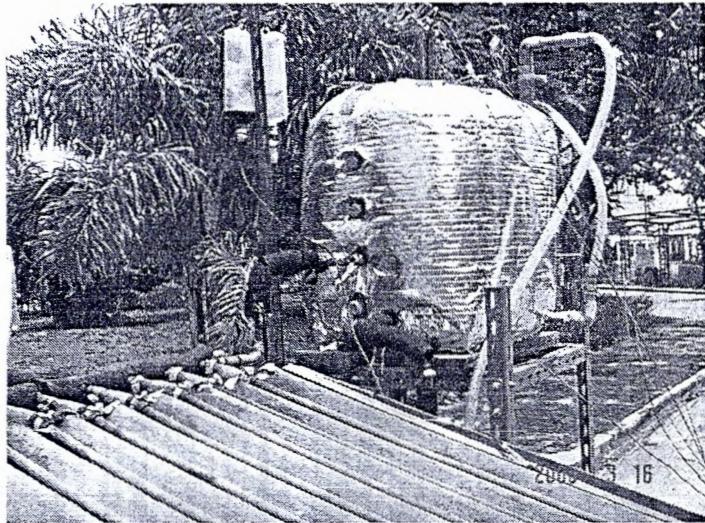
ภาพที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ปริมาตร 40 ลิตร



ภาพที่ 3.8 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิแพลงเก็บรังสี (Tp) และอุณหภูมิ (Tr)



ภาพที่ 3.9 แสดงตำแหน่งการวัดอัตราการไหลด



ภาพที่ 3.10 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลด

3.2.2.6 ทำชาตั้งเตาข้อ 5 โดยเปลี่ยนปริมาตรน้ำในถังเป็น 60 และ 40 ลิตร ตามลำดับ

3.2.2.7 ทำการทดลองช้าในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน 2 ฤดู

3.2.2.8 ทำการศึกษาผลของการเร็วลง เมื่อปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 90 และ 40 ลิตร โดยใช้พัดลมเป่าผ่านแหงเก็บรังสี ที่ความเร็ว 3 ระดับ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากเวลา 11.30-12.30 นาฬิกา พร้อมวัดอัตราการไหลดและอุณหภูมิ

3.2.3 วิธีการคำนวณ

ในการคำนวณจะใช้สมมติฐานดังนี้

3.2.3.1 ไม่นำผลของรังสีอินฟราเรดจากห้องไฟ มาพิจารณา

3.2.3.2 ค่าความชุกความร้อนของน้ำ, ถังน้ำ, แหงรับแสงอาทิตย์มีค่าคงที่ ไม่ซึ่งกับ อุณหภูมิ

3.2.3.3 ค่าการคูณกันรังสีของแหงเก็บรังสีมีค่าเท่ากับ 0.85

3.2.3.4 ไม่คิดค่าการสูญเสียความร้อนด้านหลังของแหงเก็บรังสี

ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบจะใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss สำหรับแหงเก็บรังสีแบบแผ่นดังนี้

$$\begin{aligned}\eta &= F_R \alpha - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{I_T} \\ &= \eta_0 - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{I_T}\end{aligned}\quad (3.1)$$

และวิธีการ Calorimetric method

$$\eta = \frac{m^o C_p (T_o - T_i)}{A_c I_T} \quad (3.2)$$

เมื่อ $F_R \alpha, F_R U_L$ เป็นฟังก์ชันของความเร็วลม และมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

1) เนื่องจากค่ารั้งสีที่วัดได้เป็นการวัดบนพื้นราบ ในการใช้งานจึงต้องคำนวณหาค่ารังสีบนพื้นอุ่นจากสมการ

$$R_b = \frac{\cos(\theta_T)}{\cos(\theta_z)} = \frac{\cos(\phi-s)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\phi-s)\sin(\delta)}{\cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\phi)\sin(\delta)} \quad (3.3)$$

เมื่อ R_b คืออัตราส่วนของรังสีตรงบนพื้นอุ่นที่วัดต่อรังสีตรงบนพื้นราบ θ_T และ θ_z คือ มุมตัดกระหบบนพื้นอุ่นและพื้นราบทามลำดับ $R_d = R_b$ เมื่อห้องฟ้าโปร่ง R_d คืออัตราส่วนของรังสีกระจายบนพื้นอุ่นที่วัดต่อรังสีกระจายบนพื้นราบ

2) การหาค่า $F_R \alpha, F_R U_L$ จากสมการที่ (3.1) หาจากการสร้างสมการเชิงเส้น โดยวิธี least square method

3) ในการคำนวณทางทฤษฎีจะใช้โปรแกรมภาษา FORTRAN คำนวณด้วยวิธี Finite difference method โดยแบ่งระบบออกเป็น 7 ส่วน โดยแบ่งเก็บรังสีเป็นส่วนที่ 1 Connecting pipe เป็นส่วนที่ 2 และ 7 ส่วนถัดเก็บไว้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยสมมติว่าแต่ละส่วนมีอุณหภูมิเท่ากัน สำหรับแหงเก็บรังสี สมมติว่าอุณหภูมิมีค่าเท่ากัน $(T_i + T_o)/2$ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังแสดงในภาพที่ 3.11 และมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

สมดุลพลังงานของ Section j ได้ๆเท่ากัน

$$Q_s = Q_a - Q_L - (Q_o - Q_i) \quad (3.4)$$

$$Q_s = W_j (T_j - T_{j-1}) / \Delta t \quad (3.5)$$

$$Q_a = \alpha A_c I_T \quad (3.6)$$

$$Q_L = U_j A_j (T_j - T_a) \quad (3.7)$$

$$Q_o - Q_i \text{ การสูญเสียความร้อนจากการพา} \\ = m^o C_p (T_j - T_{j-1}), j \geq 3 \quad (3.8)$$

$$= m^o C_p (T_2 - T_o), j = 2 \quad (3.9)$$

$$= m^o C_p (T_O - T_i), j = 1 \quad (3.10)$$

$$T_1 = (T_i + T_o)/2 \quad (3.11)$$

$$\alpha = 0, j \geq 2 \quad (3.12)$$

จากสมการข้างต้น สามารถหาอุณหภูมิของแต่ละ Section ที่เวลา $t + dt$ ได้ดังนี้

$$T_1' = T_1 + (\Delta t / W_1)(\alpha F A_1 I_r - U_1 A_1 (T_1 - T_a) - \dot{m}^o C_p (T_o - T_i)) \quad (3.13)$$

$$T_2' = T_2 + (\Delta t / W_2)(-U_2 A_2 (T_2 - T_a) - \dot{m}^o C_p (T_2 - T_o)) \quad (3.14)$$

$$T_j' = T_j + (\Delta t / W_j)(-U_j A_j (T_j - T_a) - \dot{m}^o C_p (T_j - T_{j-1})), j \geq 3 \quad (3.15)$$

Thermosyphon driving head (H_T) หาได้จากสมการ

$$H_T = \frac{1}{2}(S_1 - S_2)f(h) \quad (3.16)$$

$$f(h) = 2(h_3 - h_1) - (h_2 - h_1) - (h_3 - h_5)^2 / (h_6 - h_5) \quad (3.17)$$

โดย $h_1 - h_6$ ดังแสดงในภาพที่ 3.13 สำหรับ Specific gravity (S) เป็นพิร์กชันของอุณหภูมิ และ Friction head losses (H_f) หาได้จากสมการ

$$H_f = \frac{f u^2}{2 g d} + \frac{k u^2}{2 g} \quad (3.18)$$

เนื่องจากไม่ทราบว่าเป็นการไหลแบบ Laminar, Turbulent หรือ Transition region จึงสมมติว่า $f=0.035$, $k=39.6$ (D.J.Close,1962) และ Kinematic viscosity เป็นพิร์กชันของอุณหภูมิ ดังนั้น อัตราการไหล (Thermosyphon flow) สามารถหาได้เมื่อ

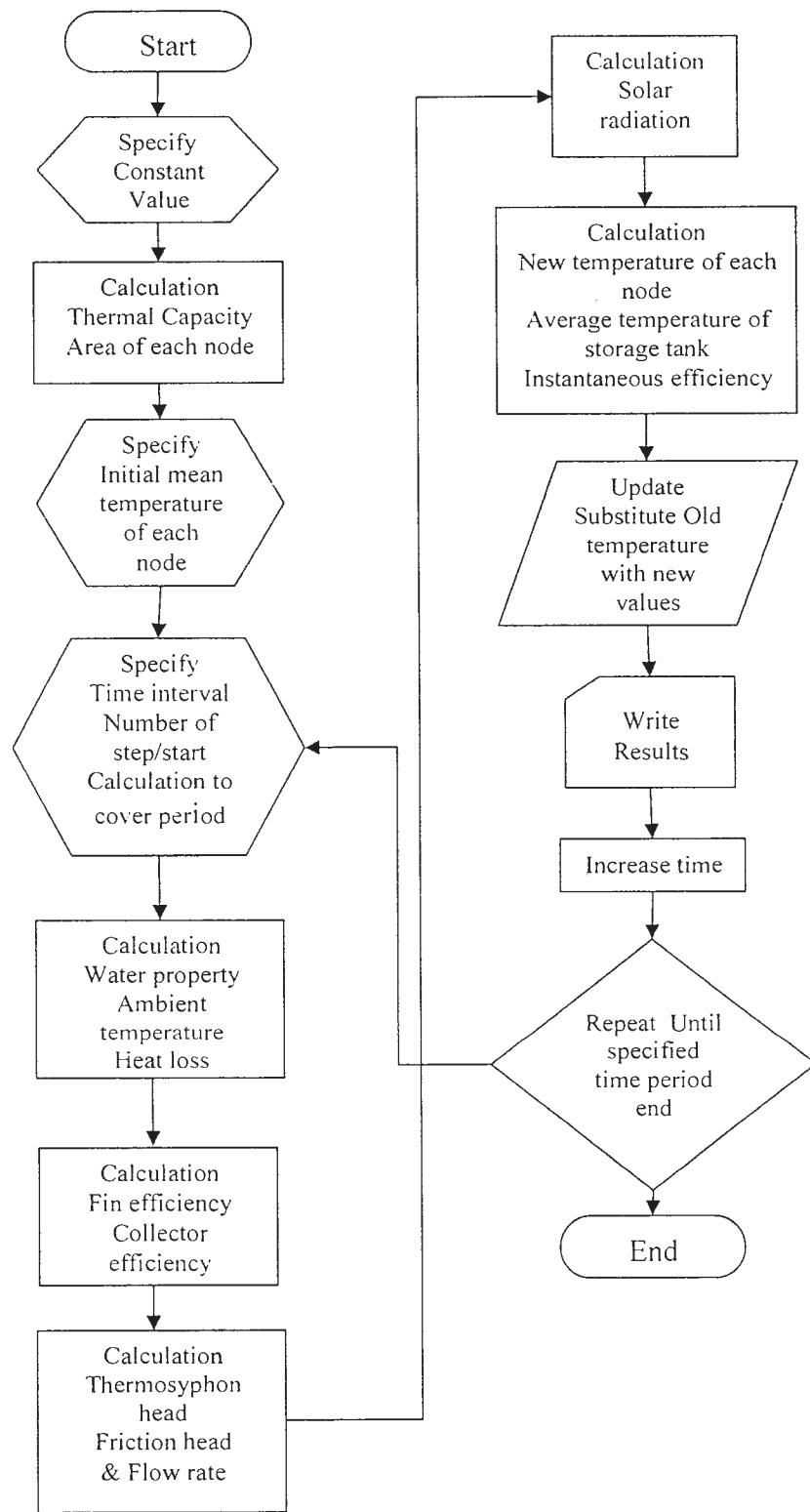
$$H_T = H_f$$

ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบคำนวณจากสมการ

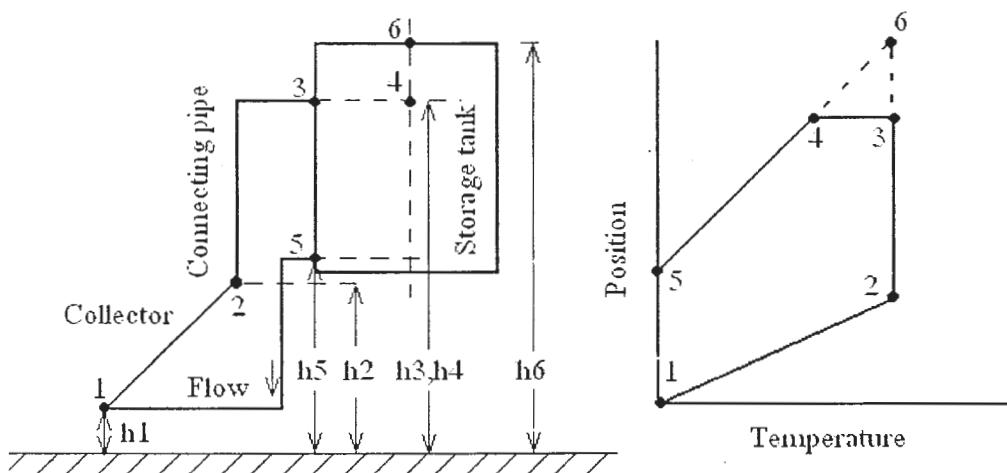
$$\eta = \frac{\dot{m}^o C_p (T_o - T_i)}{A_c I_r} \quad (3.19)$$

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บคำนวณจากสมการ

$$T_j = \left(\sum_{j=3}^6 W_{wj} T_j \right) / \left(\sum_{j=3}^6 W_{wj} \right) \quad (3.20)$$



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการคำนวณระบบการทำน้ำร้อน



ภาพที่ 3.12 แสดงการกระจายของอุณหภูมิของระบบ (Close, 1962)

(5) ประสิทธิภาพรายวันคำนวณจากสมการ

$$\eta = \frac{W(T_s - T_f)}{A_c \sum I_T} \quad (3.21)$$

6) ค่าความเข้มแสงอาทิตย์, อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่นำมาใช้คำนวณ จะได้มาจากการคำนวณที่วัดได้ แล้วนำมาสร้างสมการซึ่งเป็นฟังก์ชันกับเวลา

3.2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์เพื่อหาดีดันทุน เมื่อแพงเก็บรังสีมีขนาด 2 ตารางเมตร และมีขนาดถังเก็บน้ำ 70 ลิตร สามารถให้อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 20 องศาเซลเซียส ราคาโดยประมาณ 3,000 บาท และมีสมนติฐาน คือ อัตราดอกเบี้ย (i) 8 เปอร์เซ็นต์ อายุการใช้งาน (n) 10 ปี ค่าบำรุงรักษาต่อปี 5 เปอร์เซ็นต์ของราคadt้นทุน มูลค่าซากปีสุดท้ายเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของราคadt้นทุน และระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ย 300 วัน/ปี

จากข้อมูลข้างต้นสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

เงินลงทุนสร้างเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_p) คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$C_p = \text{ราคadt้นทุน} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.22)$$

มูลค่าซากเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_s) คำนวณได้จาก

$$C_s = \text{มูลค่าซากปีสุดท้าย} \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (3.23)$$

ค่าซ่อมบำรุงรายปี (C_m) คำนวณได้จาก

$$C_m = 0.05 \times \text{ราคากันทุน} \quad (3.24)$$

รวมค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$C_r = C_p - C_s + C_m \quad (3.25)$$

ค่าใช้จ่ายต่อลิตร คำนวณจาก

$$\frac{\text{Cost}}{\text{Liter}} = \frac{C_r}{\text{Volume} \times \text{days}} \quad (3.26)$$

3.2.5 การสรุปผลการทดลอง

จะพิจารณาความสามารถในการทำความร้อนที่สภาวะอากาศต่างๆ ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และเปรียบเทียบกับระบบการทำน้ำร้อนแบบแผงรับแสงอาทิตย์แบบมีกระจาดปิด

3.3 ระบบการทำน้ำเย็น

3.3.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ระบบการทำความเย็นจะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทำความเย็นดังนี้

3.3.1.1 อัตราการให้ลงของน้ำ

3.3.1.2 อัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ของทำความเย็น

3.3.2 วิธีการทดลอง

3.3.2.1 ทำการติดตั้งระบบและติดตั้งเครื่องมือวัดที่มีการสอนเทียบแล้ว พร้อมระบบการบันทึกข้อมูล

3.3.2.2 การวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิขาเข้าและขาออก อุณหภูมน้ำในถังเก็บจะวัดทุก 1 นาที ความชื้นสัมพัทธ์ ได้จากสถานีตรวจน้ำภาคเกษตร จังหวัดอุตรราชานี

3.3.2.3 เริ่มทำการทดลอง ที่ปริมาตร 71 ลิตร ปรับอัตราการไหลดเริ่มต้นที่ 0.01 kg/s พร้อมกับบันทึกอุณหภูมิน้ำข้าเข้าและขาออก อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิแรงทำความเย็น อุณหภูมิของน้ำในถัง ทำการทดลองเป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความเย็นที่ได้ และสมรรถนะของระบบ

3.3.2.4 ทำซ้ำข้อ 2 โดยปรับอัตราการไหลดเพิ่มครึ่งละ 0.01 kg/s จนถึง 0.03 kg/s ทั้งนี้อัตราการไหลดอาจปรับเปลี่ยนได้ตามสภาพแวดล้อม

3.3.2.5 ทำซ้ำข้อ 3 และ 4 โดยปรับเปลี่ยนปริมาตรน้ำในถังเป็น 110 และ 150 ลิตร

3.3.3 การคำนวณ

ในการคำนวณจะใช้สมมติฐานดังนี้

3.3.3.1 สมมติว่าอัตราการไหลดมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

3.3.3.2 ไม่คิดการกระจายอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ

3.3.3.3 ค่าความจุความร้อนของน้ำ, ถังน้ำ, แรงทำความเย็นไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

3.3.3.4 ไม่คิดค่าการสูญเสียความร้อนด้านหลังของแรงทำความเย็น

3.3.3.5 ไม่นำผลของมุมเอียงของแรงทำความเย็นและการบดบังของวัตถุมาพิจารณา

ในการคำนวณทางทฤษฎี จะใช้วิธีเดียวกันกับการทำน้ำร้อน โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังภาพที่ 3.13 แต่มีข้อแตกต่างดังนี้

1) ค่าการแผ่รังสีซึ่งคำนวณโดยสมการที่ 3.26 จะใช้แทนความเย็นแสดงอาทิตย์

$$R = 4\sigma T_{air}^3 (T_{rad} - T_{sky}) \quad (3.27)$$

$$\text{โดย } T_{sky} = \varepsilon_{sky}^{1.4} T_{air}$$

$$\varepsilon_{sky} = 0.006 T_{dp} + 0.74$$

$$T_d = C_3 \frac{(\ln(RH) + C_1)}{C_2 \ln(RH) + C_1}$$

$$0 \leq RH \leq 1$$

$$C_1 = \frac{C_2 T_{dry}}{C_3 + T_{dry}}$$

$$C_2 = 17.08085, C_3 = 234.175$$

$$T_{dry} = T_a$$

2) สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเนื่องจากลม คำนวณจากสมการที่ 3.27

$$h = 1.8 + 3.8v \quad (3.28)$$

3) อุณหภูมิข้าอกจากແຜງทำความเย็นคำนวณจากสมการที่ 3.28

$$\frac{T_f - T_a + R/U_L}{T_{f1} - T_a + R/U_L} = \exp\left(\frac{-U_L n W F' y}{m C_p}\right) \quad (3.29)$$

4) สมรรถนะการทำความเย็นคำนวณได้จาก

$$COP = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ทำได้}}{\text{พลังงานที่จ่ายให้กับบ่อมน้ำ}} \quad (3.30)$$

3.3.4 การสรุปผล

จะพิจารณาความสามารถในการทำความเย็นที่อัตราการไหคลต่างๆ และอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ແຜງทำความเย็น

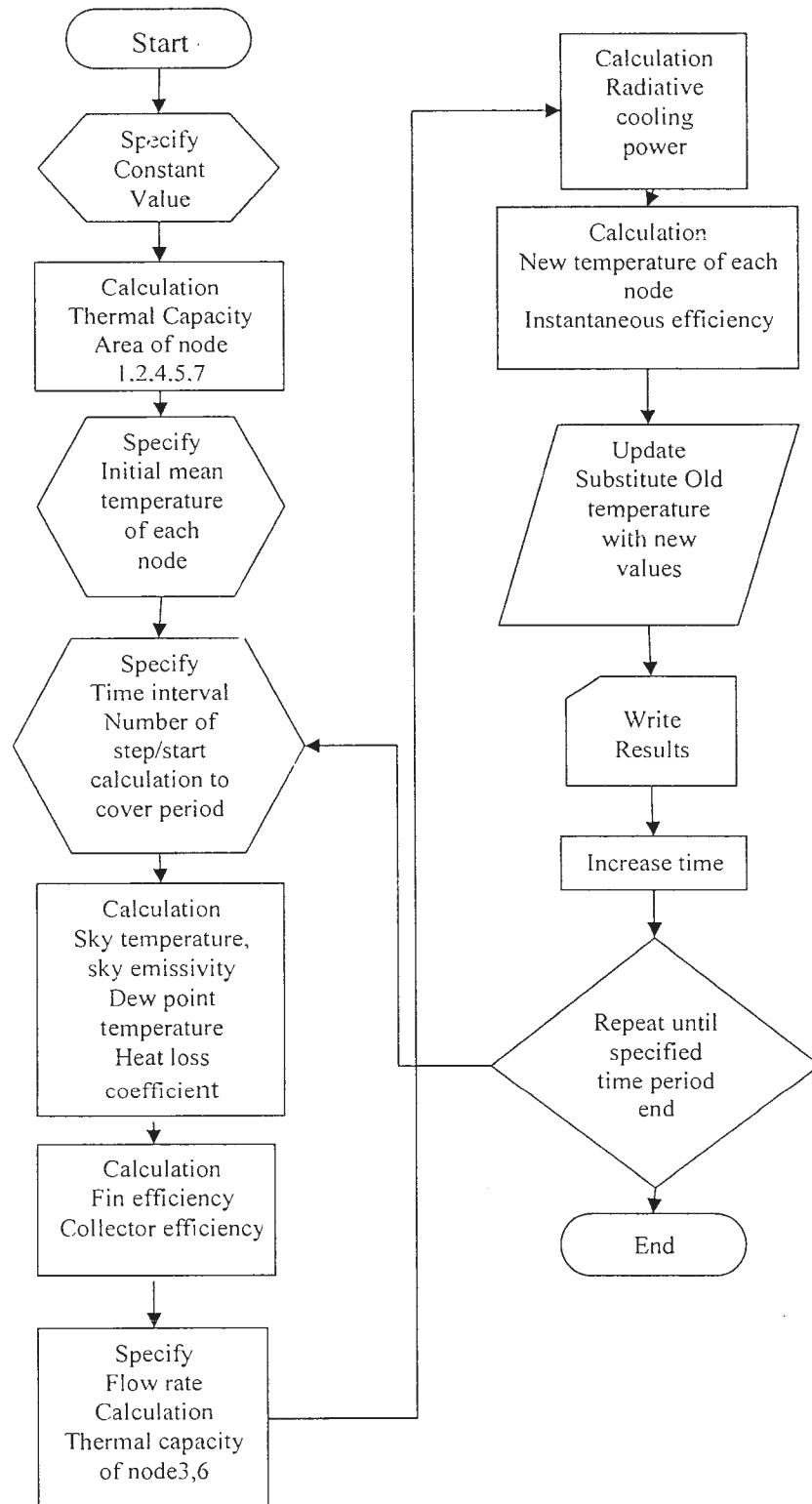
3.4 ระบบการทำลมเย็น

3.4.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ระบบการทำลมเย็น จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทำความเย็นดังนี้

3.4.1.1 ความเร็วของอากาศที่ดูดผ่านແຜงทำความเย็น

3.4.1.2 ถูกากาล ได้แก่ ถูกุ忿 และถูกุหนา



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการคำนวณระบบการทำน้ำเย็น

3.4.2 วิธีการทดลอง

3.4.2.1 ทำการติดตั้งระบบและติดตั้งเครื่องมือวัดที่มีการสอบเทียบแล้ว พร้อมระบบการบันทึกข้อมูล

3.4.2.2 การวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออก จะวัดทุก 1 นาที ความเร็วลม, ความชื้นสัมพัทธ์ ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศเกษตร จังหวัดอุบลราชธานี

3.4.2.3 เริ่มทำการทดลอง ที่ความเร็วของอากาศ ระดับที่ 1 พร้อมกับบันทึกอุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออก อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ peng ทำความเย็น ทำการทดลองเป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง และน้ำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความเย็นที่ได้ และสมรรถนะของระบบ

3.4.2.4 ทำชำตั้งแต่ข้อ 3 โดยปรับความเร็วของอากาศ เป็นระดับที่ 2 และ 3

3.4.2.5 ทำการทดลองในเดือนกันยายนและตุลาคม ช่วงแทนฤดูฝน และเดือนธันวาคม แทนฤดูหนาว

3.4.3 การสรุปผล

จะพิจารณาความสามารถในการทำความเย็นใน 2 ฤดู ที่ความเร็วของอากาศระดับต่างๆ และความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานจริง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองระบบทำความร้อน

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม 2548

ปี พ.ศ.	2548									2542*
	วัน/เดือน	2 ก.พ.	3 ก.พ.	4 ก.พ.	5 ก.พ.	8 ก.พ.	9 ก.พ.	16 มี.ค.	19 มี.ค.	
อุณหภูมิเริ่มต้น °C	38.9	30.1	36.1	38.7	29.9	37.6	32.5	31.1	30.5	
อุณหภูมิสุดท้าย °C	45.4	45.4	47.6	46.9	50.7	52.1	50.8	52.2	42.0	
อุณหภูมิเพิ่มขึ้น °C	6.5	15.3	11.4	8.2	20.8	14.5	18.3	21.1	11.6	
ปริมาตร Liters	90	90	90	90	60	60	40	40	200	
ความเข้มแสงอาทิตย์ MJ/m ²	15.8	15.8	17.1	14.8	17.3	17.7	14.9	17.1	15.0	
พลังงานที่ได้ MJ/m ²	1.4	3.4	2.6	1.9	3.1	2.2	1.8	2.1	6.9	
ปริมาตรถัง/pั้นที่ l/m ²	53.7	53.7	53.7	53.7	35.8	35.8	23.9	23.9	141.8	
ประสิทธิภาพรายวัน %	9.2	21.8	15.0	12.5	18.0	12.3	12.3	12.3	45.8	

*Pannigul, 1999

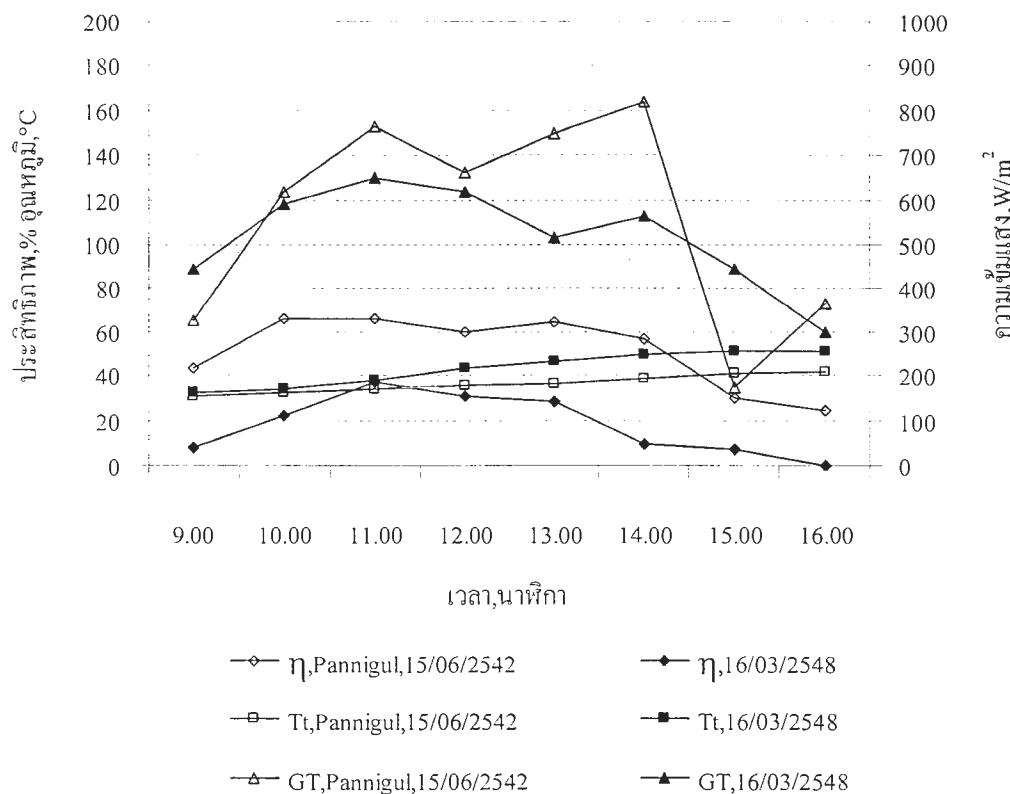
จากตารางที่ 4.1 ระบบสามารถให้อุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นสูงสุดสูงสุด ในวันที่ 19 มีนาคม 2548 โดยมีความเข้มแสงอาทิตย์ 17.1 MJ/m² อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่เท่ากับ 23.9 ลิตรต่อตารางเมตร โดยอุณหภูมน้ำเพิ่มขึ้น 21.1 °C ขณะที่พลังงานที่ได้สูงสุดในวันที่ 3 กุมภาพันธ์มีค่าเท่ากับ 3.4 MJ/m² เมื่ออัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่เท่ากับ 53.7 ลิตรต่อตารางเมตร สำหรับผลการทดลองในวันที่ 31 พฤษภาคม 2542 เป็นผลการทดลองการนำร้อนโดยใช้แพลงเก็บรังสีแบบมีกระจกปิด ซึ่งดำเนินการโดย Pisit pannigul, (1999) โดยมีรายละเอียดของแพลงรังสี ดังภาคผนวก ฯ. เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นและความเข้มแสงตกลงกว่า 0.5 เท่า พนวณแบบไม่มีกระจกปิด สามารถเก็บความร้อนได้น้อยกว่าแบบมีกระจกประมาณ 0.5 เท่า

จากภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชั่วขณะ เวลาใดๆ ของระบบแบบไม่มีกระจกปิด ซึ่งดำเนินการทดลองในวันที่ 16 มีนาคม 2548 และแบบมีกระจกปิด (Pisit pannigul, 1999) เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์รวมทั้งวันมีค่าใกล้เคียงกันพบว่าประสิทธิภาพชั่วขณะที่เวลาใดๆ

ของระบบแบบไม่มีกระจกปิดจะต่ำกว่าแบบมีกระจกปิด เมื่อว่างางช่วงเวลาความเข้มแสงอาทิตย์จะสูงกว่าก็ตาม โดยพบว่า ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบแบบไม่มีกระจกปิดจะมีค่าต่ำกว่าประมาณ 40 % เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากัน ซึ่งมีเหตุผลที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ

1) การที่ไม่มีกระจกปิดก่อการสูญเสียความร้อนจากการพาและการแผ่รังสี

2) ค่าการดูดกลืนรังสีของสีน้ำตาลแดงที่มีค่าต่ำกว่าสีดำ และในกรณีสัดส่วนปริมาตรถังน้ำในเก็บต่อพื้นที่แห้งเก็บรังสีของระบบแบบมีกระจกปิดสูงกว่าแบบไม่มีกระจกปิด ซึ่งอุณหภูมน้ำในถังเก็บที่ทำได้ต่ำกว่าระบบแบบไม่มีกระจกปิด ทำให้อุณหภูมน้ำที่เข้าสู่แห้งเก็บรังสีมีค่าต่ำซึ่งจะสามารถรับพลังงานความร้อนได้สูง ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบแบบมีกระจกปิดที่ได้จึงสูงกว่าแบบไม่มีกระจกปิด



ภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชั่วขณะและอุณหภูมน้ำในถังเก็บของระบบแบบไม่มีกระจกปิด (Pannigul, 1999) กับแบบไม่มีกระจกปิด

จากผลการทดลอง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม 2548 สามารถพิจารณาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.2 ผลของความเข้มแสง

4.2.1 ผลของความเข้มแสงต่ออุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านแสงเง็บรังสี (To-Ti)

จากภาพที่ 4.2 (a) เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์น้อย หรือเปลี่ยนแปลงไม่สม่ำเสมอ ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร (ปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แผงเก็บรังสีเท่ากับ 53.7 ลิตรต่อตารางเมตร) ความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างน้อยและแปรปรวนในตอนบ่าย โดยมีความเข้มแสงเฉลี่ย 513.8 W/m^2 ขณะที่ในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอโดยมีค่า 397.5 W/m^2 เมื่อเวลา 9.00 น. และ 665.5 W/m^2 เมื่อเวลา 12.00 น. พบร่วมกับอุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น 2.8°C เมื่อเวลา 9.00 น. และเพิ่มขึ้น 22.2°C เมื่อเวลา 12.00 น. และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นลดจาก 22.2°C เหลือ 8.1°C เมื่อเวลา 16.00 น. โดยความเข้มแสงลดจาก 665.5 W/m^2 เหลือ 340.5 W/m^2 เมื่อเวลา 16.00 น. อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าสูงเมื่อความเข้มแสงสูง หมายถึงค่าพลังงานที่ระบบได้รับสูงขึ้น เมื่อพลังงานที่ตกกระทบมีค่าสูง โดยระบบให้อุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผ่านแสงเง็บรังสี 22.2°C เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ความเข้มแสง 665.5 W/m^2

และเมื่อพิจารณาผลการทดลองในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งเป็นวันที่มีความเข้มแสงสูง โดยมีความเข้มแสงเฉลี่ย 614.2 W/m^2 ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.3 (a) พบร่วมกับอุณหภูมิน้ำที่ผ่านแสงเง็บรังสีจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงเช้าตามความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นความเข้มของแสงลดลง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำที่ผ่านแสงเง็บรังสีก็ลดลง ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับผลในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548

4.2.2 ผลของความเข้มแสงต่ออัตราการไหล

จากภาพที่ 4.2 (b) เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 397.5 W/m^2 เป็น 665.5 W/m^2 ในช่วง 9.00-12.00 น. อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นจาก 0.00154 kg/s เมื่อเวลา 9.00 น. เป็น 0.00411 kg/s เมื่อเวลา 12.00 น และเมื่อความเข้มแสงลดลงจาก 650.6 W/m^2 เป็น 340.5 W/m^2 ในช่วง 13.00-16.00 น. อัตราการไหลก็ลดลงจาก 0.00394 kg/s เมื่อเวลา 13.00 น. จนเหลือ 0.00185 kg/s เมื่อเวลา 16.00 น. ค่าพลังงานที่แผงเก็บรังสีได้รับ ซึ่งเพิ่มตามความเข้มแสงอาทิตย์ ทำให้แรงดึงดูดตัวอันเนื่องมาจากการความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการไหลจึงเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน หากความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง แรงดึงดูดและอัตราการไหลก็ลดลงด้วย โดยผลการทดลองพบว่า มีอัตราการไหลสูงสุด 0.00411 kg/s เมื่อเวลา 12.00 น. ที่ความเข้มแสงสูงสุด 665.5 W/m^2

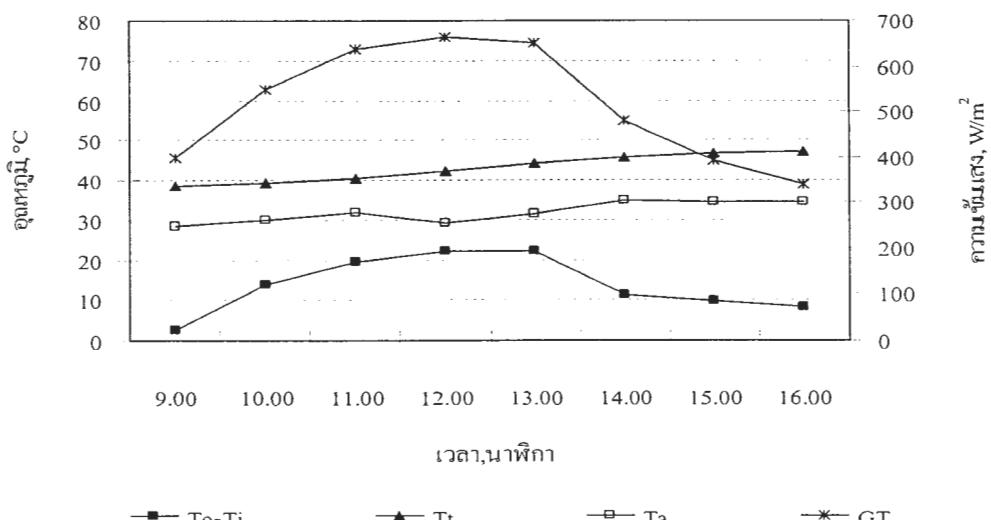
4.2.3 ผลของความเข้มแสงต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บ

จากภาพที่ 4.2 (a) และ 4.3 (b) พบร่วมกับความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นมีผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บเพิ่มขึ้น และในช่วงบ่ายเมื่อความเข้มแสงลดลง โดยความเข้มแสงของตอนบ่ายวันที่ 5 กุมภาพันธ์ ค่อนข้างแปรปรวนและมีค่าน้อยกว่าช่วงเช้าขณะที่ตอนบ่ายของวันที่ 9 กุมภาพันธ์ ความเข้มแสงลดลงอย่างสม่ำเสมอ พบร่วมกับอุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บยังเพิ่มขึ้นตลอดทั้งวัน

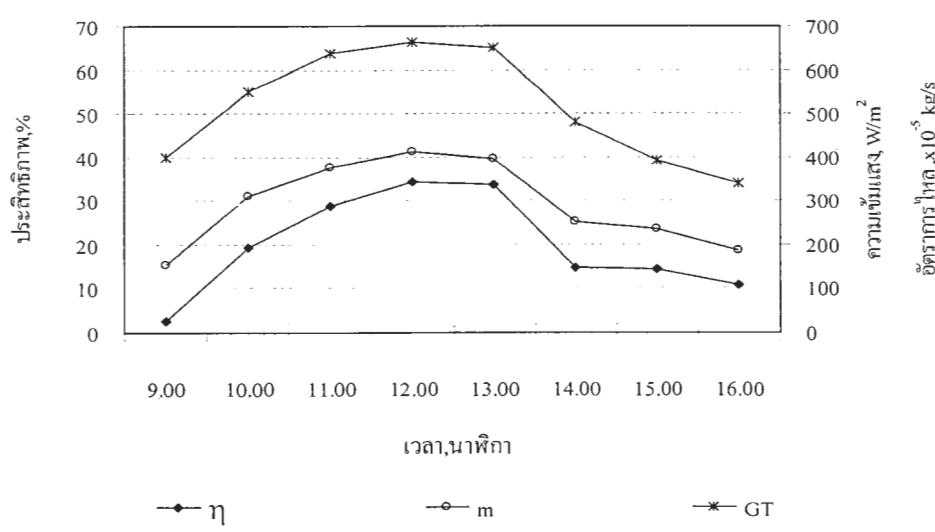
เนื่องจากว่าแม้ในตอนบ่ายความเข้มแสงจะลดลง แต่ความเข้มแสง ยังเพียงพอที่จะสร้างแรงลอยตัว ซึ่งทำให้เกิดการไหหล มีผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บยังคงเพิ่มขึ้น

4.2.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงต่อประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ

จากการที่ 4.3 (b) ในช่วงเวลา 9.00-13.00 น. ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ โดยมีค่า 459.0 W/m^2 เมื่อเวลา 9.00 น. และ 725.1 W/m^2 เมื่อเวลา 13.00 น. ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบเพิ่มจาก 3.2 % เมื่อเวลา 9.00 น. เป็น 39.3 % เมื่อเวลา 13.00 น. และลดลงเหลือ 8.0 % เมื่อเวลา 16.00 น. ที่ความเข้มแสงลดลงจาก 725.1 W/m^2 เหลือ 437.0 W/m^2 โดยให้ประสิทธิภาพชั่วขณะสูงสุด 39.3 % เมื่อความเข้มรังสี 725.1 W/m^2 เมื่อเวลา 13.00 น.

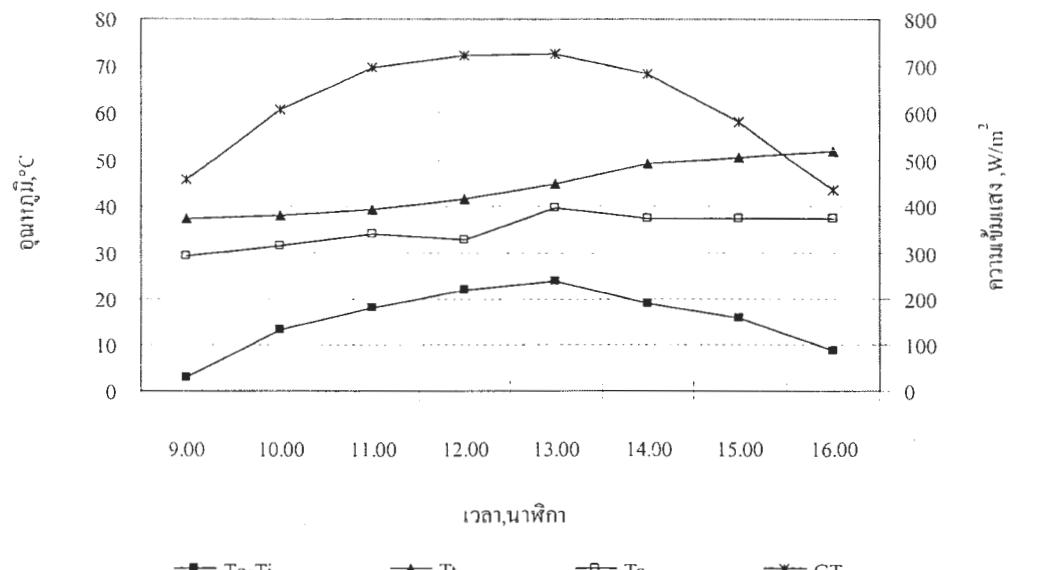


(a)

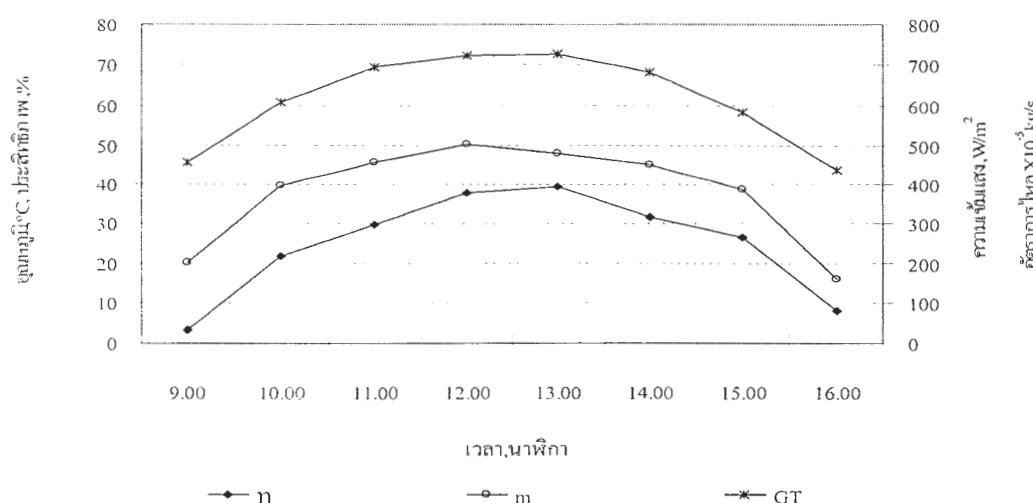


(b)

ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548 แทนวันที่มีความเข้มแสงน้อย



(a)



(b)

ภาพที่ 4.3 ผลการทดลองในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 แทนวันที่มีความเข้มแสงมาก

4.3 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศ

4.3.1 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่ออุณหภูมน้ำข้าวอกจากแผงเก็บรังสี

จากการที่ 4.4 (a) แสดงผลการทดลองในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาตรน้ำ 60 ลิตร (ปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แผงเก็บรังสีเท่ากับ 35.8 ลิตรต่อตารางเมตร) ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างสໍาเร็จตามลำดับ จากการพิจารณาอุณหภูมน้ำเมื่อผ่านแผงเก็บรังสี แม้จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วง 9.00-12.00 น. แต่ก็ยังได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิบรรยายกาศ โดยการเพิ่มขึ้นจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิบรรยายกาศไปพร้อมกัน โดยพบว่า ที่เวลา 9.45 น. และ 11.45 น. อุณหภูมิบรรยายกาศลดลงจาก 31.2°C เป็น 30.4°C และจาก 34.7°C เป็น 33.8°C มีผลให้ที่เวลา 9.45 น. อุณหภูมน้ำข้าวอกเพิ่มขึ้นน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และที่เวลา 11.45 น. อุณหภูมน้ำข้าวอกเพิ่มขึ้น 24.6°C ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเวลา ก่อนหน้าที่เพิ่มขึ้น 25.5°C ทั้งที่ความเข้มแสง มีค่าสูงกว่า แต่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมน้ำในถังโดยรวมแล้วอุณหภูมน้ำผ่านแผงเก็บรังสีในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. ยังคงเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสง ในช่วง 12.00-14.00 น. ความเข้มของแสงค่อนข้างคงที่ อุณหภูมิบรรยายกาศลดลงจาก 32.8 °C เมื่อเวลา 12.45 น. เหลือ 30.1 °C เมื่อเวลา 13.15 น. ซึ่งมีผลให้อุณหภูมน้ำ เพิ่มขึ้นเพียง 22.6 °C เมื่อเวลา 13.15 น. จาก 26.7 °C เมื่อเวลา 12.45 น. ซึ่งเกิดจากการสูญเสียความร้อน ของแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่อุณหภูมิบรรยายกาศลดลง

4.3.2 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่ออัตราการไหลด

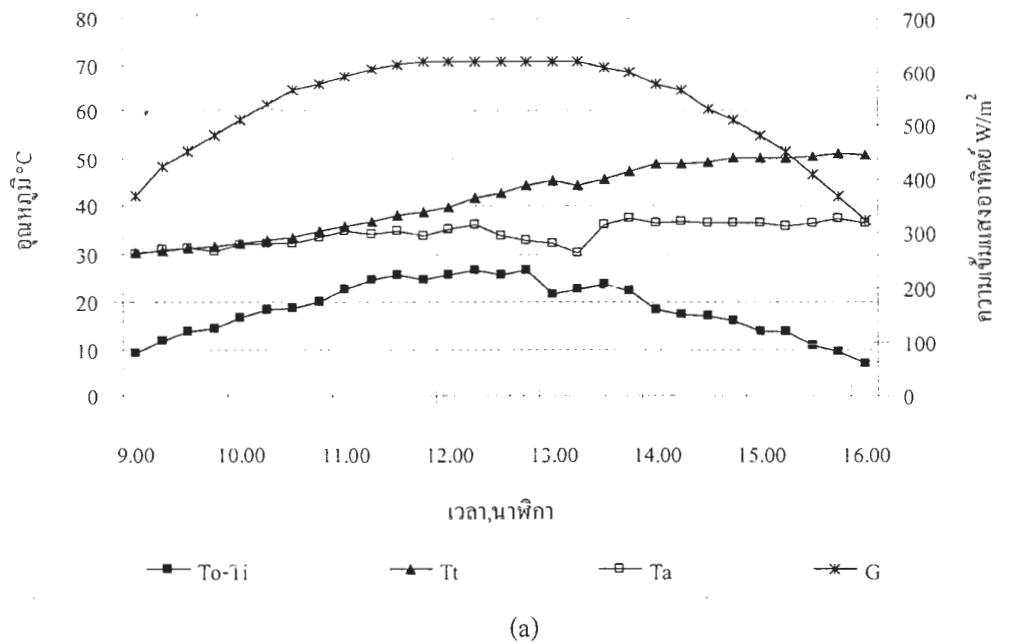
จากการที่ 4.4 (a) และ (b) ที่เวลา 13.00 น. เมื่ออุณหภูมิบรรยายกาศลดลง การสูญเสีย ความร้อนของระบบกเพิ่มขึ้น แรงดึงดูดซึ่งเกิดจากผลต่างของอุณหภูมิมีค่าน้อย มีผลให้อัตราการไหลด ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งที่ความเข้มแสง ณ เวลา 12.00-13.00 น. สูงถึง 710.0 W/m^2

4.3.3 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่ออุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ

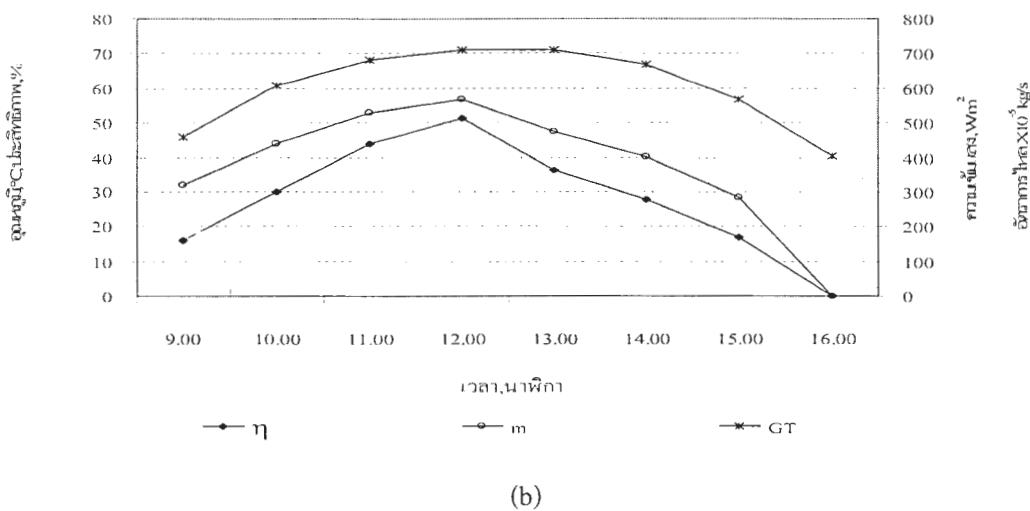
จากการที่ 4.4 (a) เมื่ออุณหภูมิบรรยายกาศที่ลดลงจาก 36.0 °C เมื่อเวลา 12.15 น. เหลือ 30.1 °C เมื่อเวลา 13.15 น. ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บลดลงจาก 45.2 °C ที่เวลา 13.00 น. เหลือ 44.4 °C ในเวลา 13.15 น. เนื่องจากระบบมีการสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้น

4.3.4 ผลของอุณหภูมิบรรยายกาศต่อประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ

จากการที่ 4.4 (a) และ (b) ที่เวลา 13.00 น. อุณหภูมิบรรยายกาศลดลง การสูญเสียความ ร้อนของระบบจะเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบลดลง ทั้งที่ความเข้มแสง ณ เวลา 12.00-13.00 น. สูงถึง 710 W/m^2

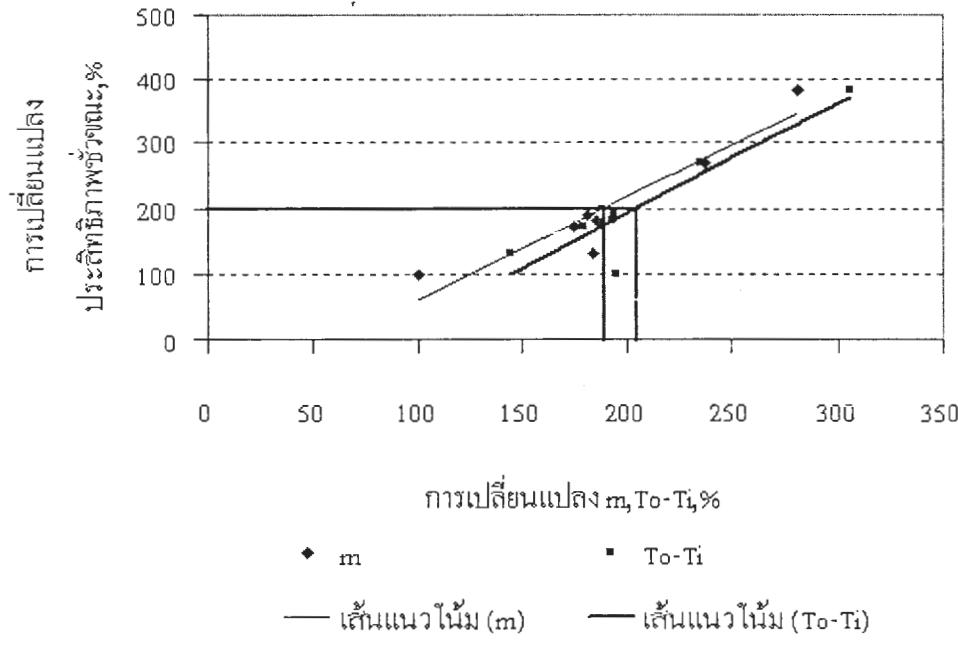


(a)

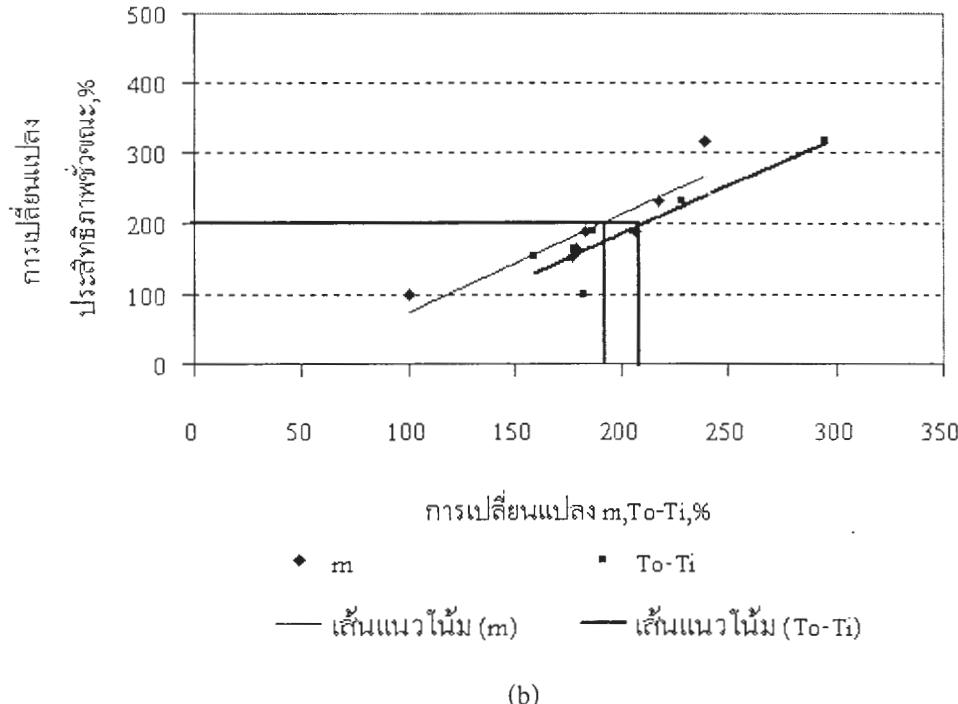


ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548

4.4 ผลของอัตราการไหลดและอุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ



(a)



(b)

ภาพที่ 4.5 แสดงผลของอัตราการไหลดและอุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ

จากภาพที่ 4.5 ซึ่งแสดงผลของอัตราการ ไหลดและอุณหภูมิน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ แกน y แสดงการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ (%) แกน x แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการ ไหลดและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำเมื่อผ่านแพนเก็บรังสี (%) ภาพที่ 4.5 (a) เป็นผลการทดลองในวันที่ 16 มีนาคม 2548 ซึ่งมีความเข้มแสงรวมตลอดทั้งวัน 14.9 MJ/m^2 จากปุ๊บพบว่าเมื่อประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 200% เป็นผลจากการเพิ่มของอัตราการ ไหลดและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำเมื่อผ่านแพนเก็บรังสี 180 และ 204% ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า ผลของการเพิ่มของอัตราการ ไหลดที่มีต่อประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบสูงกว่า ผลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำเมื่อผ่านแพนเก็บรังสี ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับผลการทดลองในวันที่ 19 มีนาคม 2540 ที่มีความเข้มแสง 17.1 MJ/m^2 ดังแสดงในรูป 4.5 (b)

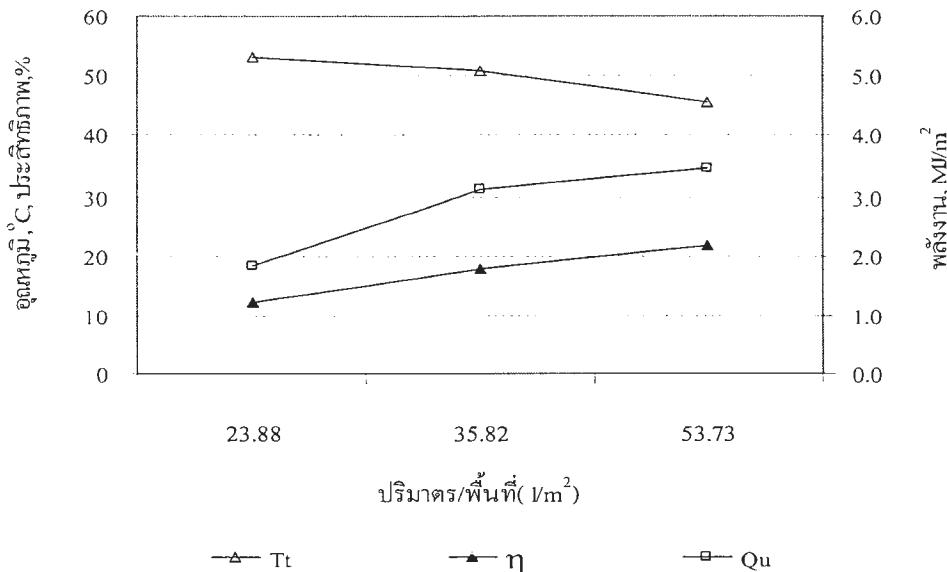
4.5 ผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสี

4.5.1 ผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสีต่ออุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ

อัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสี จากภาพที่ 4.5 ซึ่งเมื่อพิจารณาในวันที่ 3, 8 กุมภาพันธ์ และวันที่ 19 มีนาคม ที่อุณหภูมิเริ่มต้นไม่แตกต่างกันมากนัก พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บจะลดลง เมื่ออัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะว่า เมื่อระบบมีอัตราส่วนปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่เก็บรังสีมาก การหมุนเวียนของน้ำเนื่องจาก Thermosyphonic ต่ำ อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บที่ได้จึงต่ำ นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า ในวันที่ 2 ถึง 9 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งมีปริมาตรน้ำเท่ากับ 90 และ 60 ลิตร อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บก็ยังเพิ่มขึ้นจนจบการทดลองที่เวลา 16.00 น. ส่วนการทดลองในวันที่ 16 และ 19 มีนาคม 2548 ปริมาตรน้ำเท่ากับ 40 ลิตร พบว่าอุณหภูมิของน้ำจะสูงสุดที่เวลา 15.00 น. จากนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บก็ลดลง โดยในวันที่ 16,19 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 50.9°C , 53.0°C และลดลงเหลือ 50.8°C , 52.2°C ตามลำดับ ซึ่งเป็น เพราะว่า ในวันที่ 16 และ 19 ปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสีมีค่า เท่ากับ 23.9 l/m^2 ที่เวลา 15.00 น. อุณหภูมิของแพนเก็บรังสีและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บมีค่าสูง ทำให้การสูญเสียความร้อนของระบบมีสูง และมากกว่าที่ระบบได้รับจากแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บลดลง

4.5.2 ผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสีต่อพัลส์งานที่ได้และประสิทธิภาพรายวัน

จากภาพที่ 4.5 ซึ่งเมื่อพิจารณาในวันที่ 19 มีนาคม, 8 กุมภาพันธ์ และวันที่ 3 กุมภาพันธ์ ปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสีมีค่า 23.88 , 35.82 และ 53.73 l/m^2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิเริ่มต้นไม่แตกต่างกันมากนัก พบว่าปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แพนเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้น พัลส์งานที่ได้และประสิทธิภาพรายวันจะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นพระว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรน้ำในถังเก็บมีผลให้อุณหภูมิขาเข้าแพนเก็บรังสีมีค่าต่ำลงซึ่งจะสามารถรับความร้อนได้สูง ประสิทธิภาพรายวันจึงสูงขึ้นด้วย



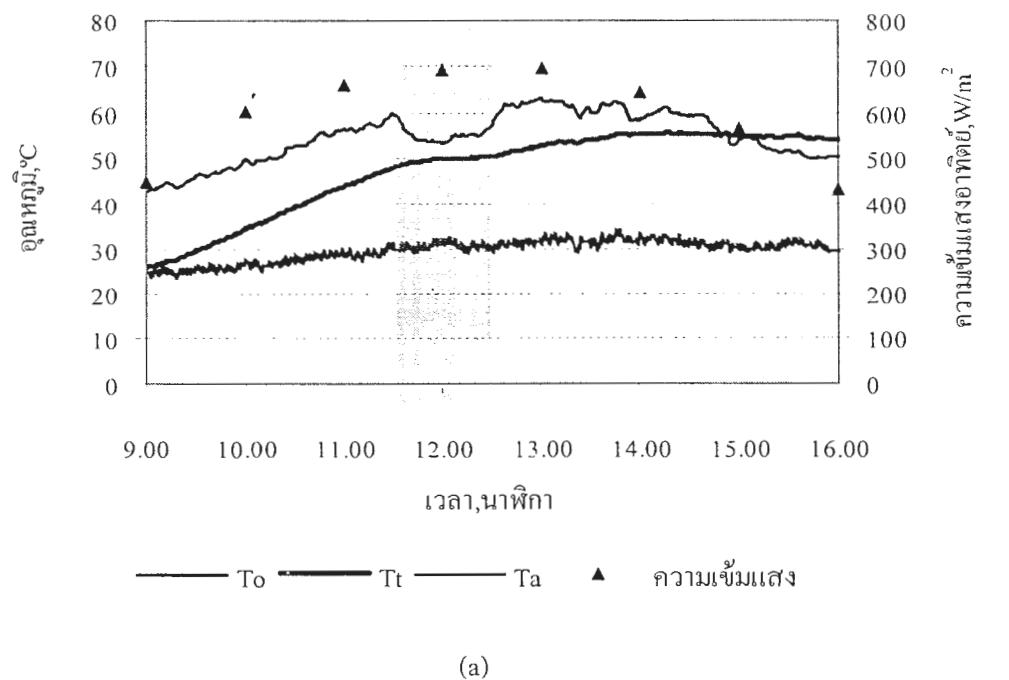
ภาพที่ 4.6 แสดงผลของปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แห้งเก็บรังสี (l/m^2)

4.6 ผลของความเร็วลมต่อพฤติกรรมของระบบ

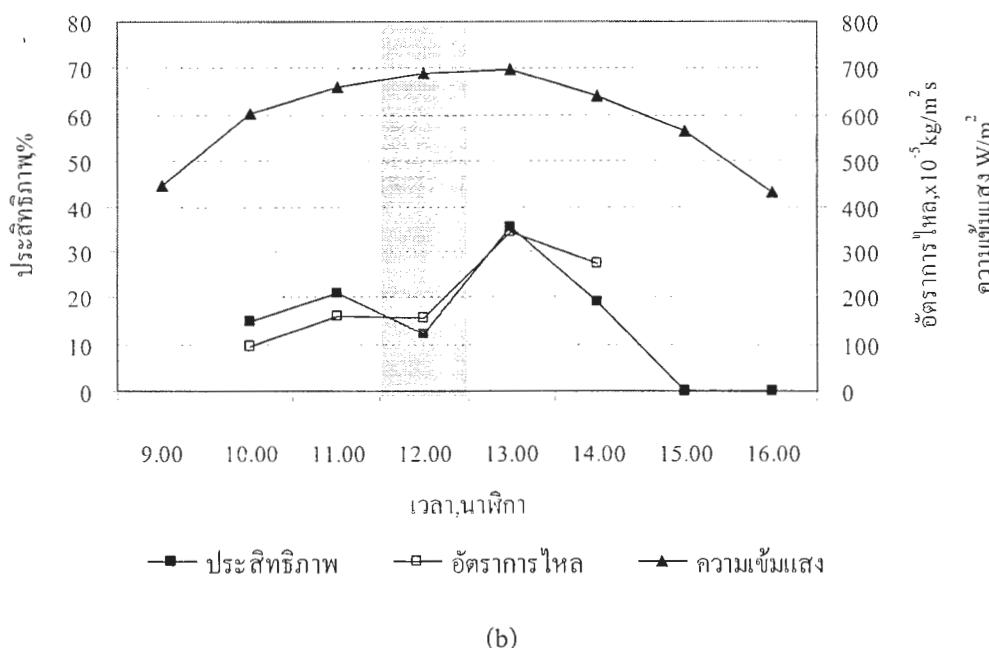
ภาพที่ 4.6 (a) และ (b) แสดงผลการทดลองในวันที่ 1 มกราคม 2549 ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 40 ลิตร บริเวณชั้งแรเจท์เวลา 11.30-12.30 น. แห้งเก็บรังสีจะถูกเปลี่ยนด้วยพัดลมที่ความเร็วลม 2.5 m/s วัด ณ จุดกึ่งกลางเหนือแห้งเก็บรังสี 20 เซนติเมตร ณ เวลาดังกล่าว ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อุณหภูมิบรรยายกาศค่อนข้างคงที่ จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิขาออกลดลงเมื่อปิดพัดลมที่เวลา 11.30 น. และเพิ่มขึ้นเมื่อปิดพัดลมที่เวลา 12.30 น. ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บยังเพิ่มขึ้น ในช่วง 15 นาทีแรก จากนั้นจะค่อนข้างคงที่ซึ่งหมายความว่าการสูญเสียความร้อนอันเนื่องมาจากการพากลมร้อนที่ความเร็วลม 2.5 m/s ในช่วงดังกล่าวสูงถึง $700 W/m^2$ โดยประมาณ และอุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บเพิ่มขึ้นอีกรึมเมื่อปิดพัดลม ดังแสดงในภาพที่ 4.6 (a) ขณะที่อัตราการไหหลังลดลงด้วย เช่นกัน ดังภาพที่ 4.6 (b) เนื่องมาจากการสูญเสียความร้อนทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกน้อยลงอันทำให้การไหอันนี้องมาจากการแตกต่างของความหนาแน่นลดลงด้วย

4.6.1 ผลของความเร็วลมต่ออุณหภูมิขาออกและอุณหภูมน้ำในถังเก็บ

จากภาพที่ 4.7 (a) (b) และ (c) แสดงผลการทดลองที่ปริมาตรถังเก็บ 40 ลิตร จะพบว่า ที่ความเร็วลม 2.5 m/s อุณหภูมิขาออกจะลดลงมากกว่าเมื่อความเร็วลม 1.0 m/s ประมาณ $5^\circ C$ ขณะที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บจะค่อนข้างคงที่ที่ความเร็วลม 2.5 m/s และยังคงเพิ่มขึ้นที่ความเร็วลม 1.0 m/s ดังแสดงในภาพที่ 4.7 (b) โดยที่มีความเข้มแสงและสภาพอากาศดังแสดงในภาพที่ (c)

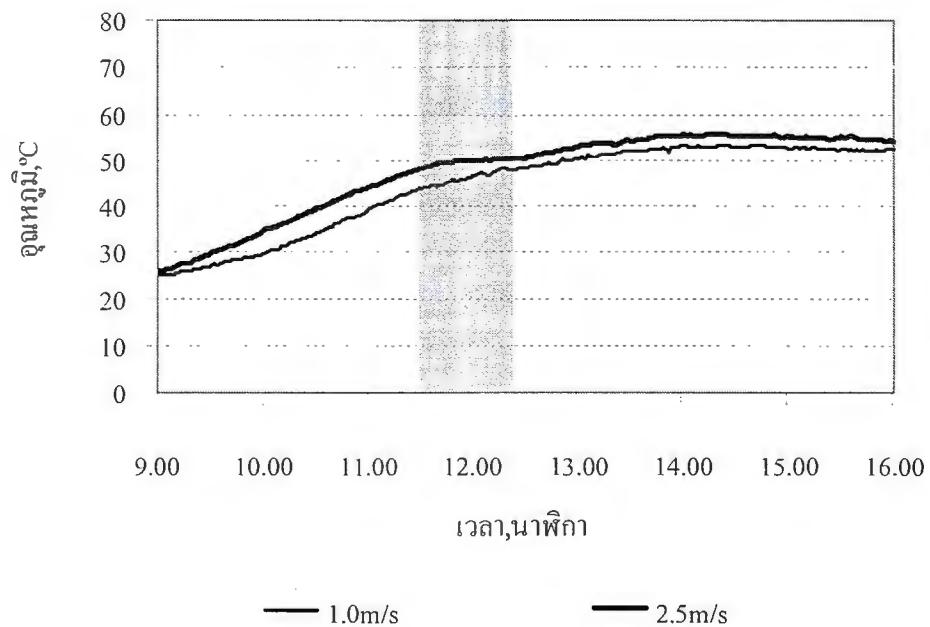
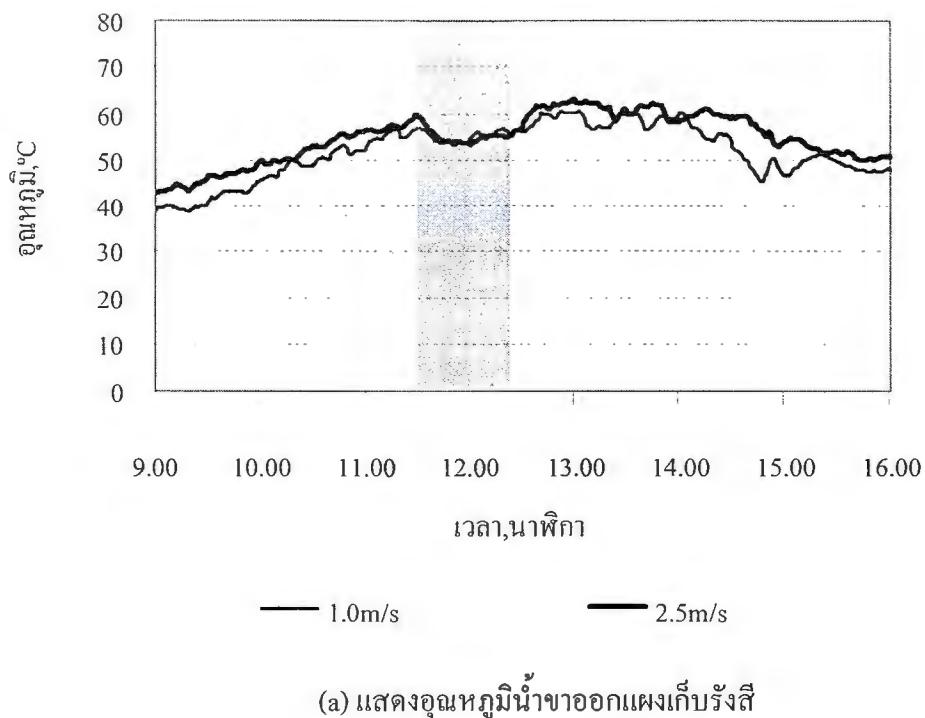


(a)

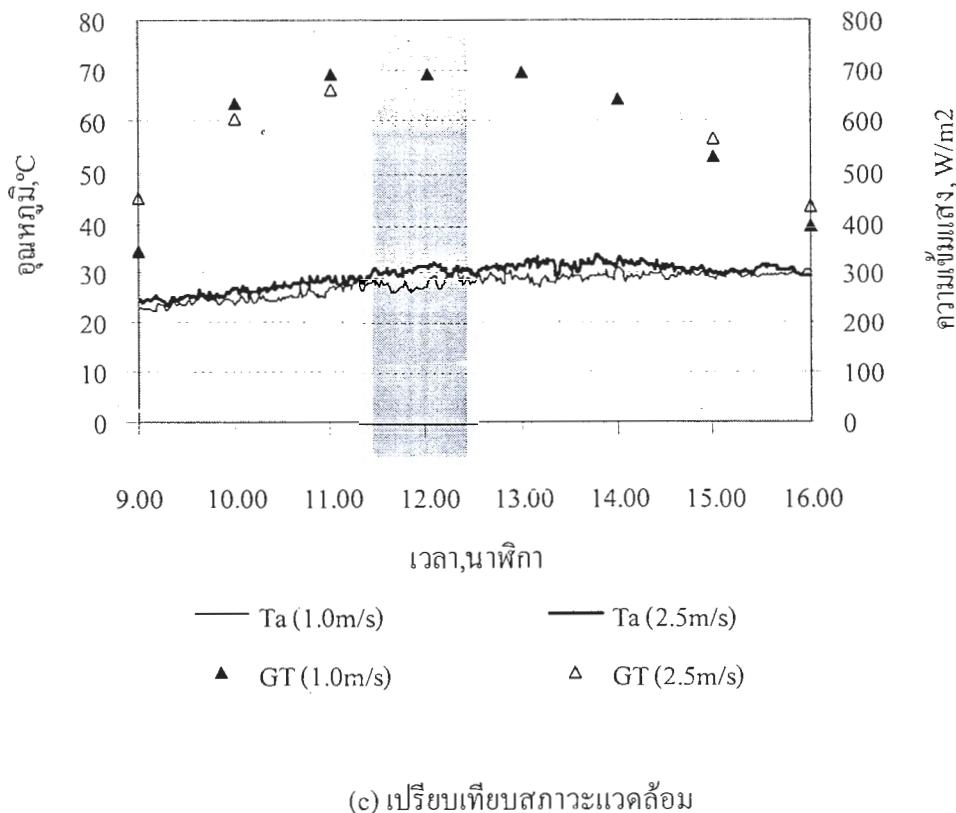


(b)

ภาพที่ 4.7 แสดงผลการทดลองในวันที่ 1 มกราคม 2549



(b) แสดงอุณหภูมิน้ำในถังเก็บ

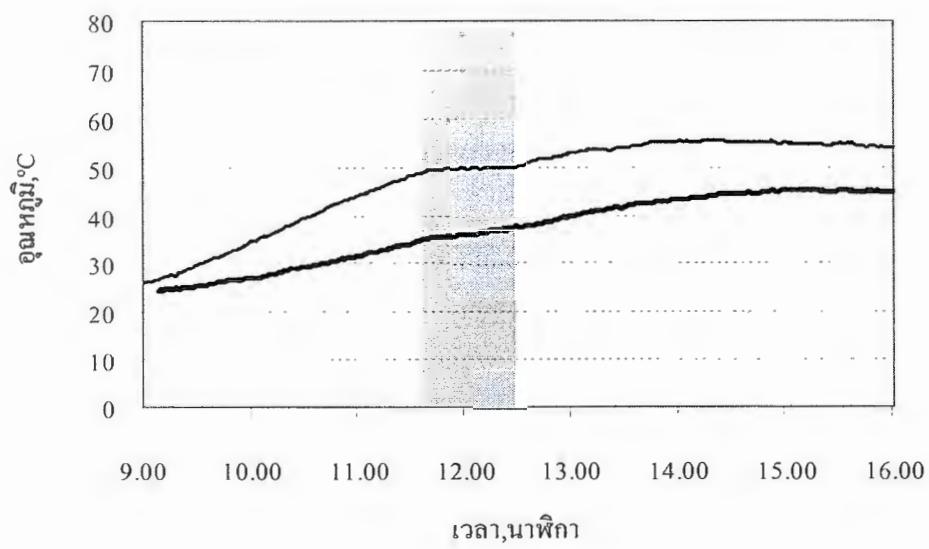


ภาพที่ 4.8 แสดงผลการทดลองผลของความเร็วลม

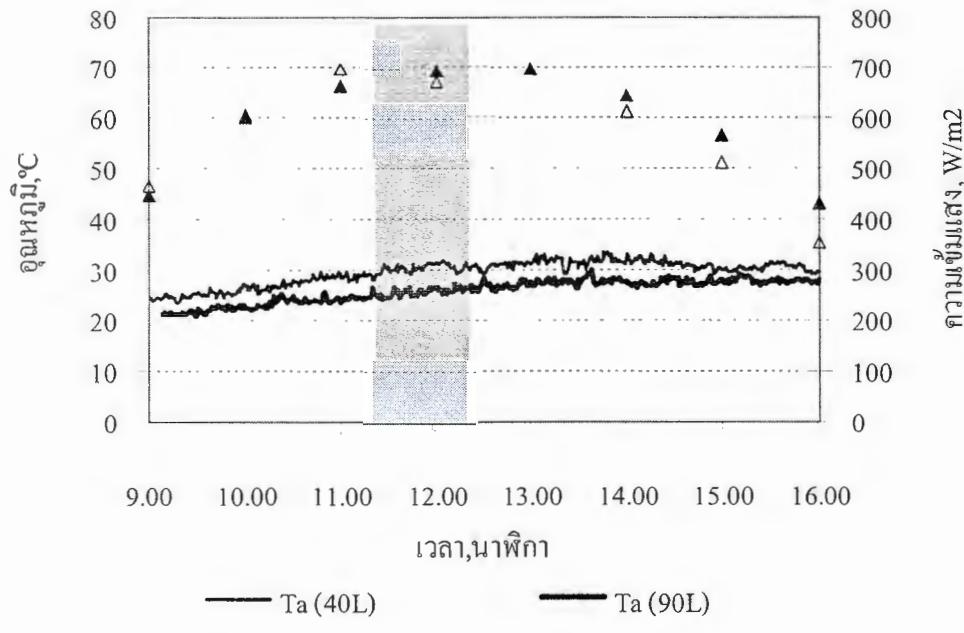
4.6.2 ผลของความเร็วลมต่ออุณหภูมิถังเก็บที่ปริมาตรถังเก็บต่างๆ กัน

จากภาพที่ 4.8 (a) และ (b) แสดงผลการทดลองที่ความเร็วลม 2.5 m/s ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 40 และ 90 ลิตรตามลำดับ โดยมีสภาวะสิ่งแวดล้อมดังภาพที่ 4.8 (b) พบว่าเมื่อปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 40 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บเพิ่มขึ้นเฉพาะในช่วง 10 นาทีแรกจากนั้นจะมีค่าคงที่ ขณะที่เมื่อปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 90 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บมีค่าต่ำกว่าเมื่อปริมาตรเท่ากับ 40 ลิตร ซึ่งเป็นเพราะว่าที่ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 90 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บมีค่าต่ำกว่าเมื่อปริมาตรเท่ากับ 40 ลิตร ซึ่งแม้ว่าอุณหภูมิข้าօจะลดลงจากการพาราความร้อนโดยลม แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้อุณหภูมิถังเก็บเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.9 (a) และ (b) แสดงผลการทดลองที่ความเร็วลม 1.0 m/s ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 40 และ 90 ลิตรตามลำดับ โดยมีสภาวะสิ่งแวดล้อมดังภาพที่ 4.9 (b) พบว่าทั้งที่ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 40 และ 90 ลิตร อุณหภูมิถังเก็บจะเพิ่มขึ้นตลอดเวลาที่ปีดพัดลม ซึ่งเป็น เพราะว่าการสูญเสียพลังงานจากการพาราความร้อนโดยลมมีค่าน้อยเมื่อความเร็วลมเท่ากับ 1.0 m/s อุณหภูมิถังเก็บจึงยังเพิ่มขึ้น

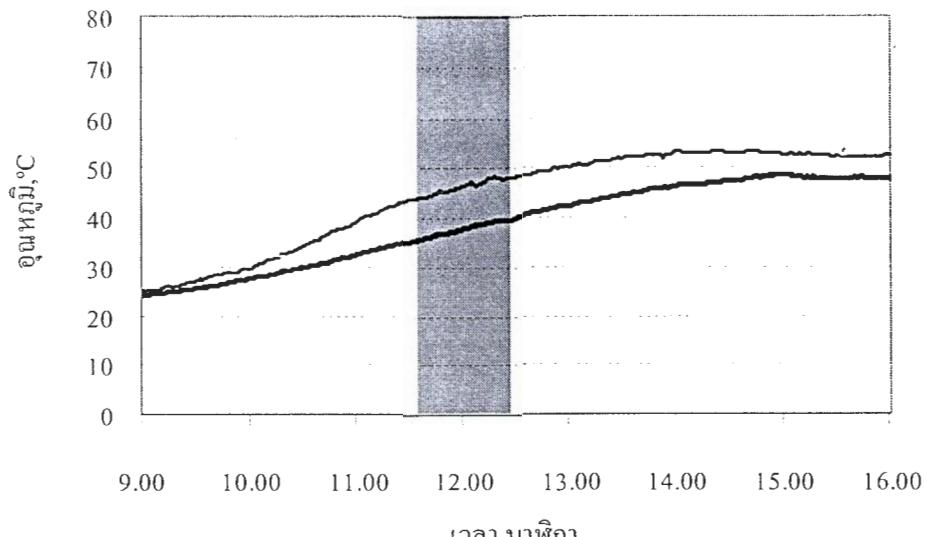


(a)

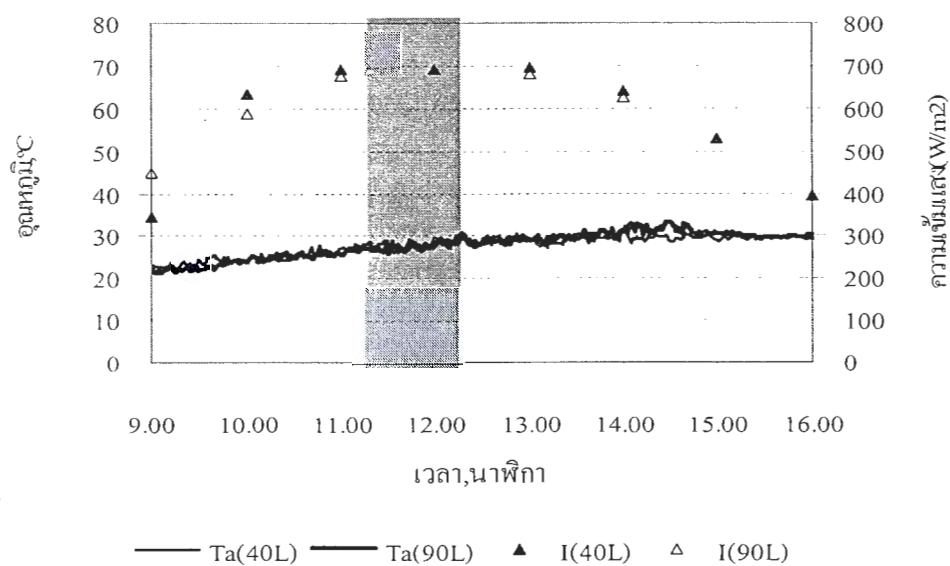


(b)

ภาพที่ 4.9 แสดงผลของความเร็วลมที่ปริมาตรน้ำต่างๆ กัน



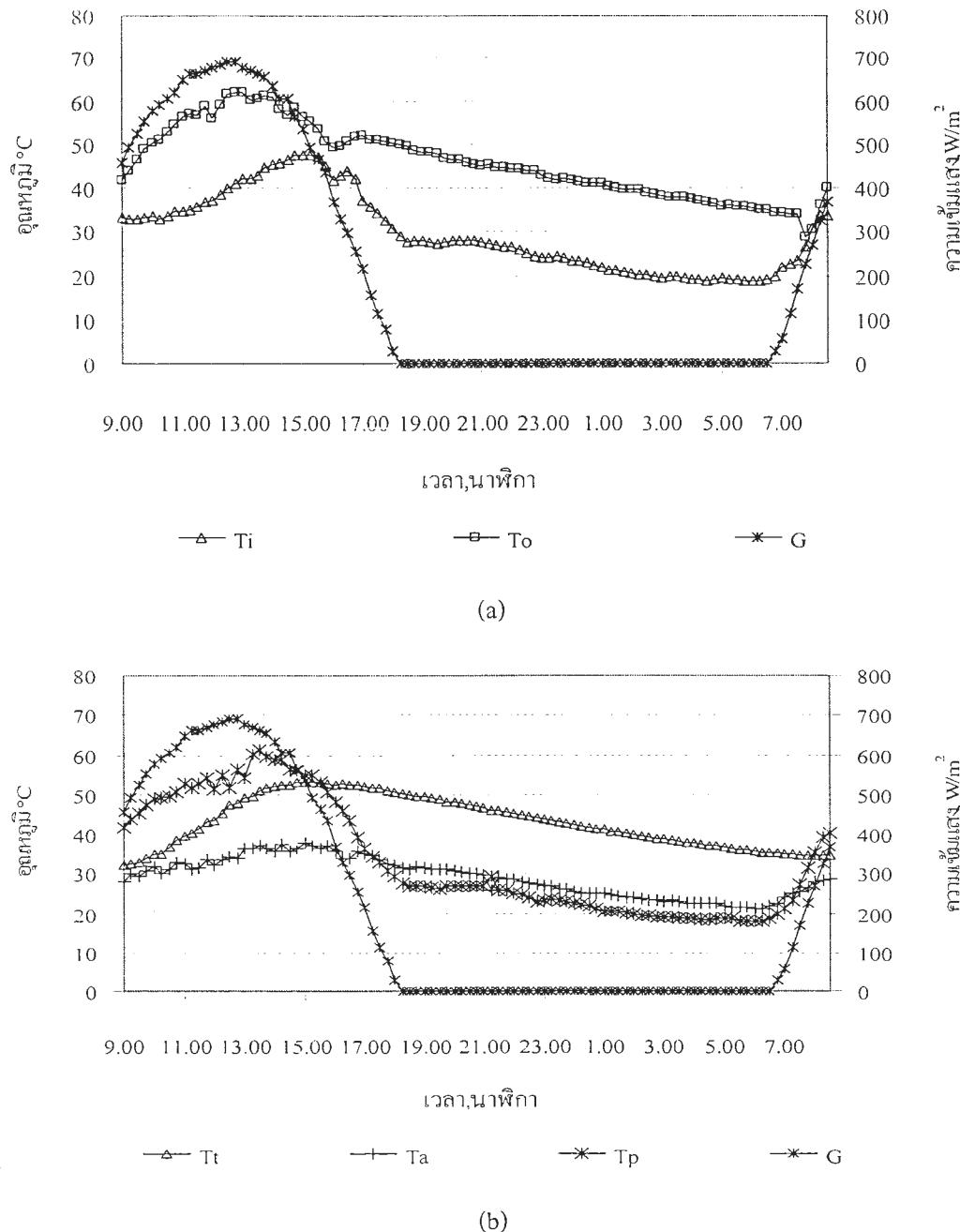
(a)



(b)

ภาพที่ 4.10 แสดงผลของความเร็วลมที่ปริมาตรต่างๆ

4.7 การสูญเสียความร้อนในตอนกลางคืน

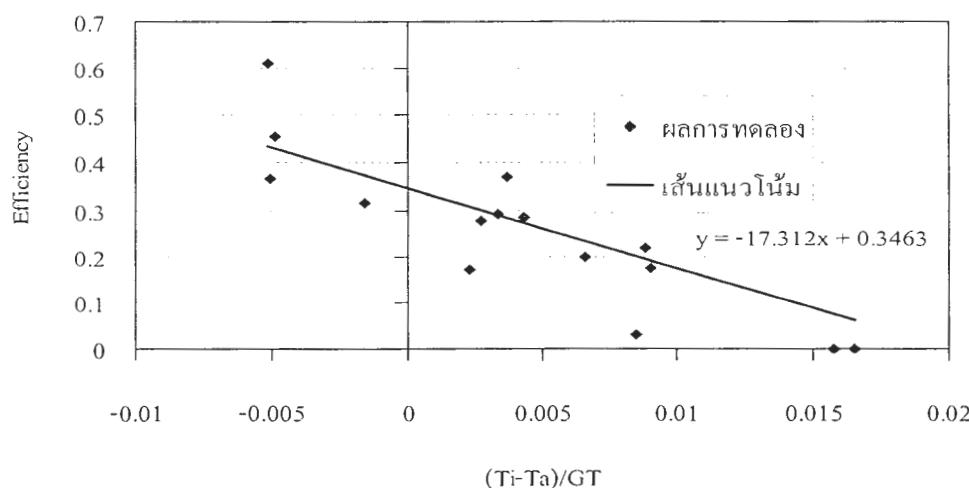


ภาพที่ 4.11 แสดงผลการทดลองในวันที่ 19-20 มีนาคม 2548

จากภาพที่ 4.10 (a) และ (b) ทำการทดลองที่ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุด 53.2°C เมื่อเวลา 15.15 น. ขณะที่อุณหภูมิน้ำขาออกซึ่งลดลงตามความเหี่ยว แสงอาทิตย์ในช่วงบ่าย กลับเพิ่มขึ้นมาเมื่อเวลา 16.15 น. ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลย้อนกลับ (reverse flow) จากนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเข้าของวันที่ 20 มีนาคม 2548 เนื่องจากระบบมีการสูญเสียความร้อน และในช่วงเข้าของวันที่ 20 มีนาคม 2548 เริ่มมีแสงตื้นแต่เวลา 6.15 น. อุณหภูมิน้ำขาออกเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เกิดการไหลเวียนของน้ำ และความร้อนที่ได้จะใช้ในการอุ่น ระบบซึ่งทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของถังยังไม่เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิสูงสุด จนถึงเวลา 8.30 น. เท่ากับ 18.6°C

4.8 ประสิทธิภาพชั่วขณะและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของระบบ

การหาค่า $F_R\alpha, F_RU_L$ จากสมการที่ (3.1) แสดงการหาประสิทธิภาพชั่วขณะ และแฟคเตอร์การสูญเสียความร้อน (heat loss factor) ของระบบ โดยใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss สำหรับ pengเก็บรังสีแบบแผ่น วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Least squares method โดยมีสมมติฐานว่า U_L, F_R และ α มีค่าคงที่ เมื่อปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 60 ลิตร หรืออัตราส่วนปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่รับแสงเท่ากับ 35.8 ลิตรต่อตารางเมตร จากภาพที่ 4.11 พบว่า ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบเมื่ออุณหภูมิขาเข้าpeng เก็บรังสีเท่ากับอุณหภูมิบรรยายกาศ ซึ่งคือจุดตัดบนแกน y (γ_0 หรือ $F_R\alpha$) เท่ากับ 0.35 และแฟคเตอร์การสูญเสียความร้อน (heat loss factor) ซึ่งคือความชันของกราฟ (F_RU_L) เท่ากับ $17.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ และระบบจะให้ประสิทธิภาพชั่วขณะสูง หากระบบทำงานที่อุณหภูมิขาเข้าต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยายกาศ ($(T_i - T_a) < 0$) โดยมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.8 m/s



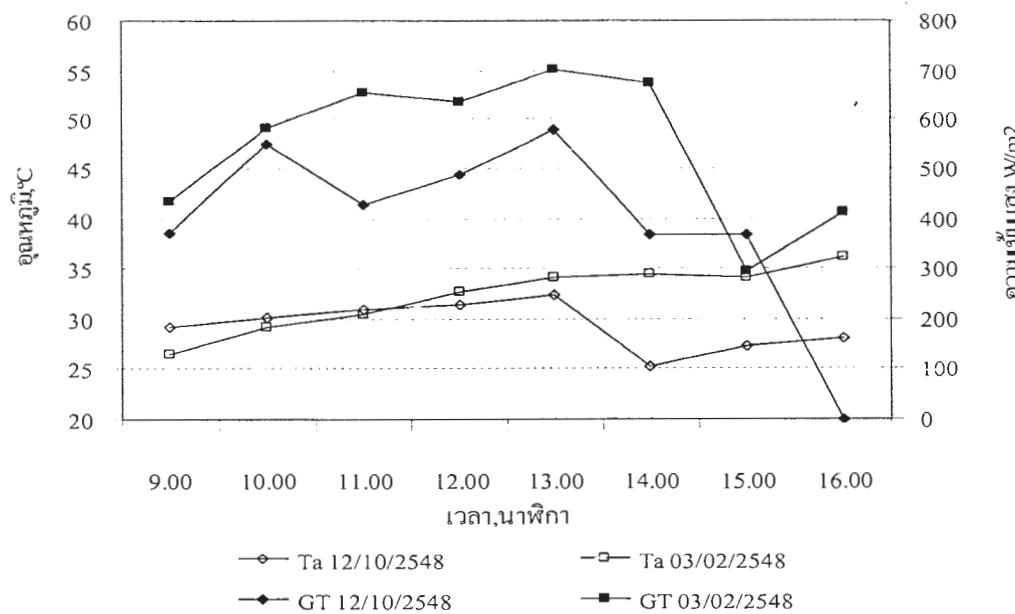
ภาพที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพของระบบ

4.9 ผลการทดลองในฤดูฝน (เดือนตุลาคม) และเปรียบเทียบความสามารถในการทำความร้อนในฤดูฝน กับฤดูหนาว (เดือนกุมภาพันธ์)

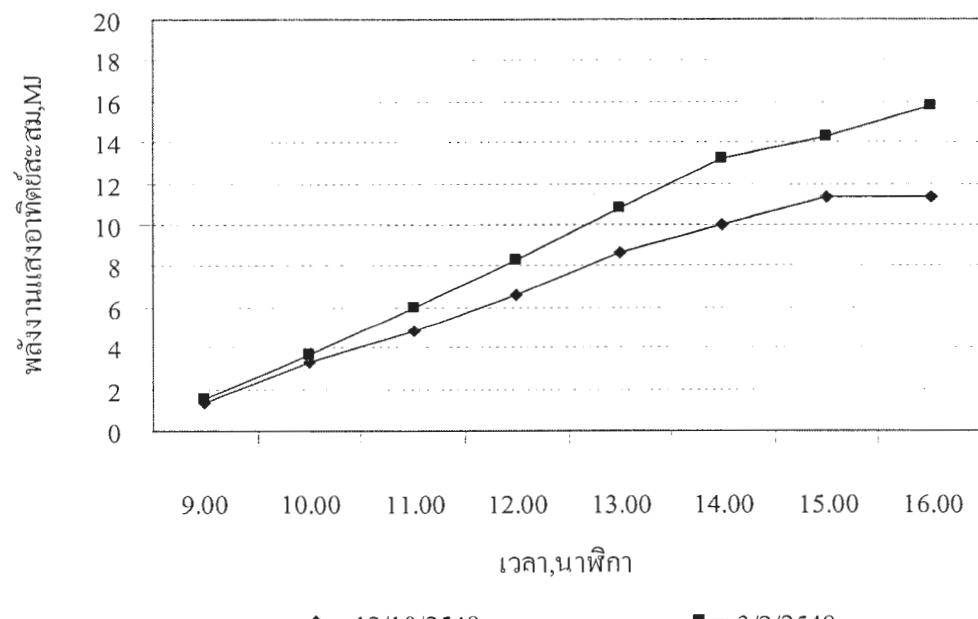
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองในเดือนกันยายนและตุลาคม (ฤดูฝน)

วัน/เดือน	26 ก.ย.	30 ก.ย.	1 ต.ค.	2 ต.ค.	12 ต.ค.	16 ต.ค.
อุณหภูมิเริ่มต้น °C	27.2	27.7	29.0	28.7	26.8	29.6
อุณหภูมิสุดท้าย °C	43.7	51.0	50.4	53.2	40.7	52.1
อุณหภูมิเพิ่มขึ้น °C	16.5	23.3	21.4	24.5	13.9	22.5
ปริมาตร Liters	40	40	60	60	90	90
ความเข้มรังสี MJ/m ²	-	-	14.1	15.9	11.5	15.1
พลังงานที่ได้ MJ/m ³	1.6	2.3	3.2	3.7	3.1	5.0
ปริมาตรถัง/พื้นที่ l/m ²	23.9	23.9	35.8	35.8	53.7	53.7
ประสิทธิภาพรายวัน %	-	-	22.7	23.1	27.1	33.5

จากตารางที่ 4.2 พบร่วมกันว่า ค่าความเข้มแสงต่ำสุดในวันที่ 12 ตุลาคม 2548 มีค่า 11.5 MJ/m^2 ระบบสามารถสะสมพลังงานได้เท่ากับ 3.1 MJ/m^3 โดยมีปริมาตรถังเก็บน้ำเท่ากับ 90 ลิตร อุณหภูมิสุดท้ายที่ได้เท่ากับ 40.70°C และความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 15.9 MJ/m^2 ในวันที่ 2 ตุลาคม 2548 ระบบสามารถสะสมพลังงานได้เท่ากับ 3.7 MJ/m^3 โดยมีปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่เท่ากับ 35.8 l/m^2 อุณหภูมิสุดท้ายที่ได้เท่ากับ 53.2°C ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระบบสามารถทำงานได้ดีแม้ในฤดูฝนที่ความเข้มแสงไม่สูงนัก และหากต้องการอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อความเข้มแสงน้อยกว่าสามารถทำได้โดยลดปริมาตรถังเก็บ



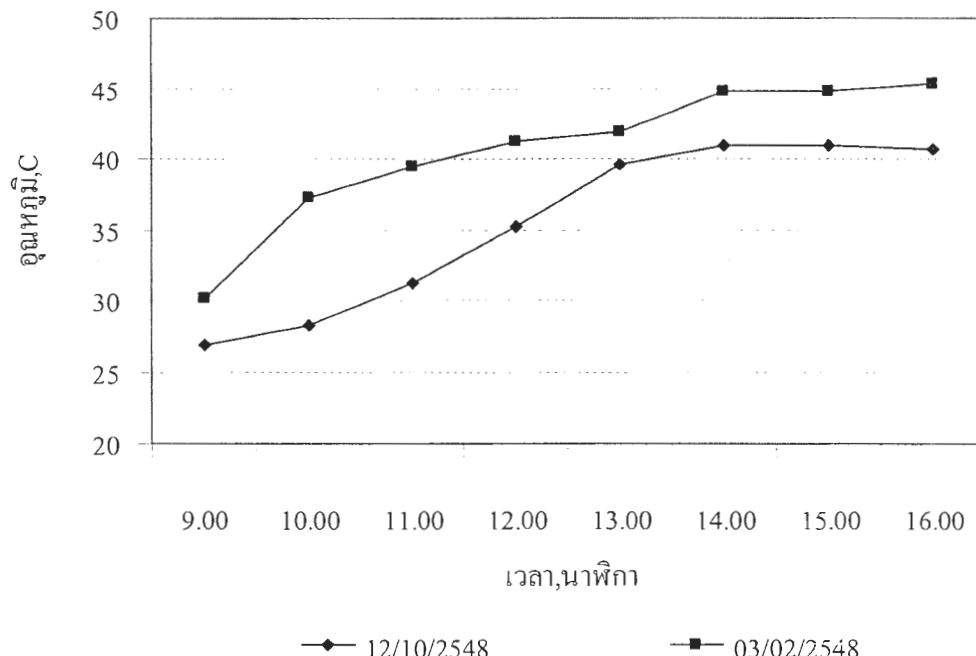
ภาพที่ 4.13 แสดงความเข้มแสงและอุณหภูมิบรรยายอากาศ



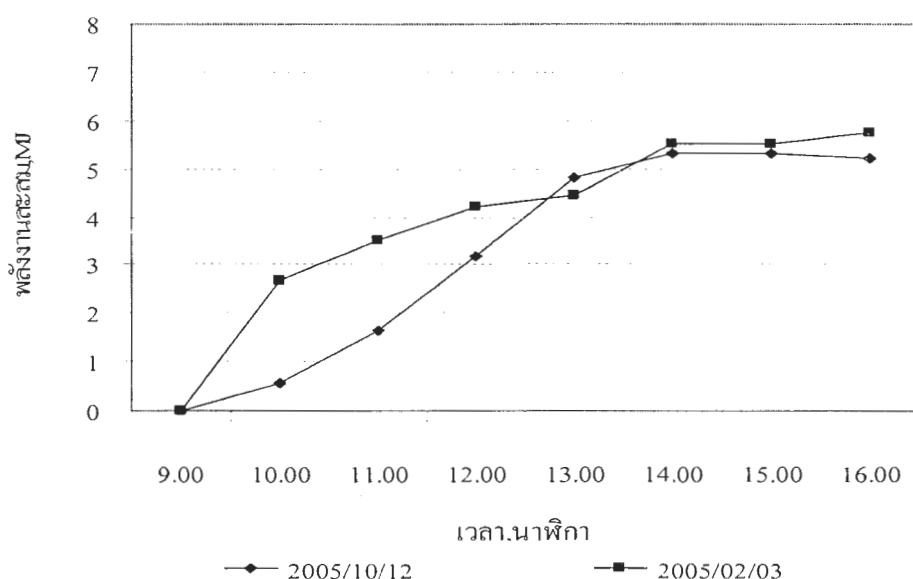
ภาพที่ 4.14 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์สะสมบนแผงเก็บรังสี

ภาพที่ 4.13 เป็นสภาพอากาศ, ความเข้มแสงอาทิตย์ในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ และ 12 ตุลาคม 2548 ซึ่งความเข้มแสงในวันที่ 12 ตุลาคม 2548 ซึ่งเป็นปลายฤดูฝนจะมีค่าต่ำ โดยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์สะสม 11.33 MJ ขณะที่วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์สะสม 15.79 MJ

ดังแสดงในภาพที่ 4.13 จากผลการทดลองโดยมีปริมาตรถังเก็บ 90 ลิตร พนว่า ในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บเพิ่มขึ้น 15.32°C หรือคิดเป็นพลังงานเท่ากับ 5.76 MJ และมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 45.40°C ขณะที่วันที่ 12 ตุลาคม 2548 อุณหภูมิเฉลี่ยของถังเก็บเพิ่มขึ้น 13.90°C หรือคิดเป็นพลังงานเท่ากับ 5.23 MJ และมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 40.90°C ดังแสดงในภาพที่ 4.14 และ 4.15



ภาพที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บ



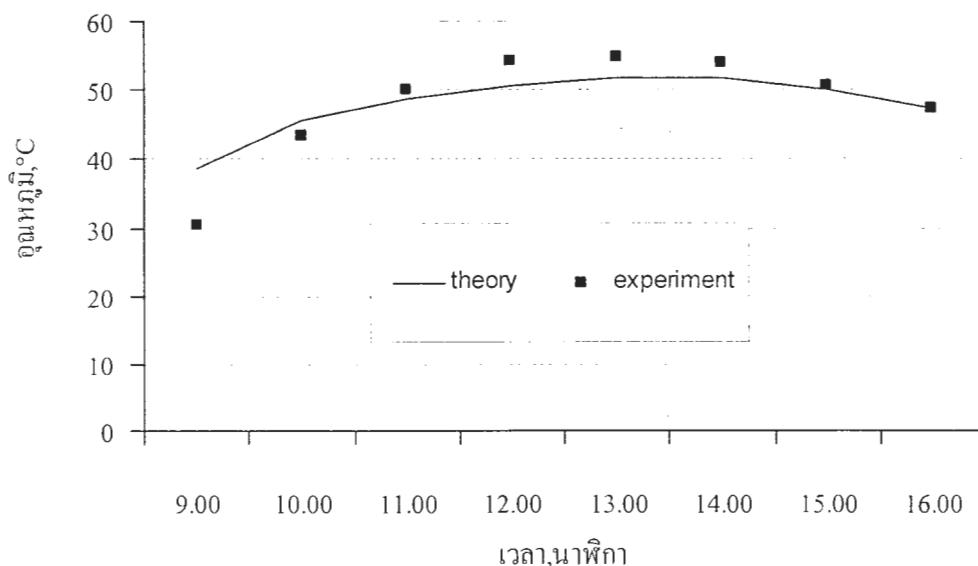
ภาพที่ 4.16 แสดงพลังงานสะสมในถังเก็บ

4.10 การเปรียบเทียบผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

ในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งเป็นวันที่ความเงี้มแสง อุณหภูมิบรรยายกาศเปลี่ยนแปลงน้อย สามารถสร้างสมการเป็นฟังก์ชันกับเวลาโดยมีค่าความผิดพลาดต่ำเพื่อใช้ในการคำนวณทางทฤษฎี การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลการคำนวณในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2548 ให้ผลดังนี้

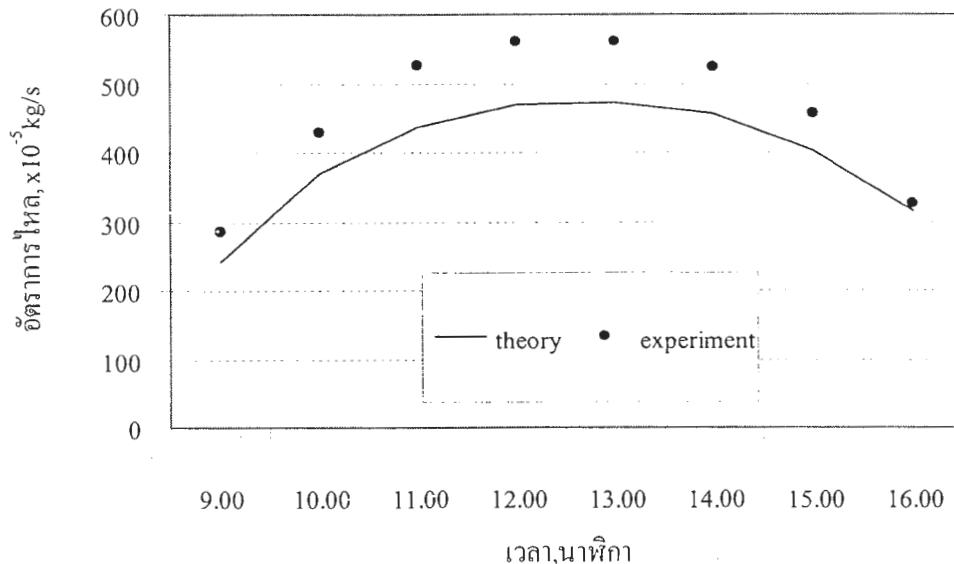
4.10.1 เปรียบเทียบอุณหภูมน้ำข้าวอกแหงเก็บรังสี

จากภาพที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมน้ำข้าวอกแหงเก็บรังสีระหว่างผลการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี ในช่วงเวลา 9.00-10.00 น. อุณหภูมิข้าวอกจากผลการทดลอง มีค่าต่ำกว่าการคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งเป็นเพราะการตอบสนองที่ช้าเนื่องจากความจุความร้อนของระบบ ในช่วงเริ่มการทดลอง หลังจากนั้นผลการทดลองจึงสูงกว่าทฤษฎีเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นเพราะผลของรังสีอินฟราเรดที่ไม่ได้นำมาคำนวณ แต่แนวโน้มทั้งจากทฤษฎีและผลจากการทดลอง มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี



ภาพที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมน้ำข้าวอกแหงเก็บรังสี

4.10.2 เปรียบเทียบอัตราการไหลด

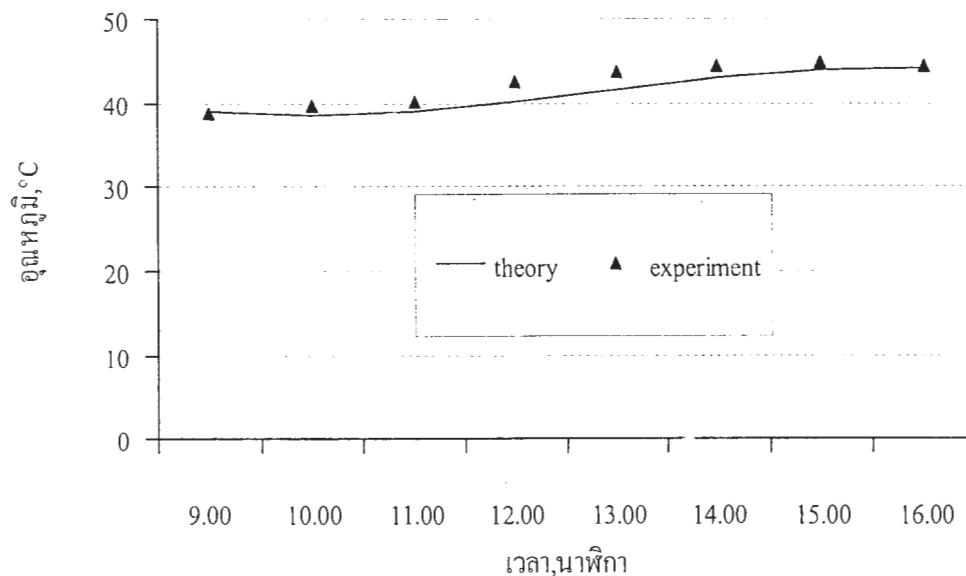


ภาพที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลด

จากภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราการไหลด จะเห็นว่าอัตราการไหลดทั้งผลการทดลองและทฤษฎีมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดยอัตราการไหลดสูงสุดที่เวลา 13.00 น. ผลการทดลองเท่ากับ 0.00561 kg/s และผลการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.004733 kg/s สำหรับผลที่ต่างกันระหว่าง การทดลองและทฤษฎี อาจมีสาเหตุดังนี้

- 1) ความแตกต่างของอัตราการไหลดขณะเวลา 9.00 น. มีสาเหตุมาจากการตอบสนองที่ช้าของระบบ เนื่องจากความร้อน
- 2) มาจากการวัดอัตราการไหลดซึ่งไม่แม่นยำเพียงพอ มีความผิดพลาดประมาณ 15% (Pannigul P., 1999)
- 3) ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่นำมาคำนวณหาผลทางทฤษฎี เป็นค่าซึ่งอ่อนได้จากการซึ่งมีความผิดพลาดจากการอ่านอยู่ในระดับหนึ่ง และยังไม่ได้นำผลของรังสีอินฟราเรดจากท้องฟ้า ซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณ 10% ของรังสีอาทิตย์รวมสูงสุด (Burch J. et al., 2004)
- 4) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่นำมาคำนวณหาผลทางทฤษฎี เป็นค่าซึ่งคำนวณจากการซึ่งสร้างขึ้นจาก ค่าที่บันทึกได้ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.91
- 5) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลด เสนอโดย D.J.Close, 1962 ซึ่งจากการศึกษาโดย Pannigul และคณะ (2005) พบว่ามีความผิดพลาดประมาณ 30%

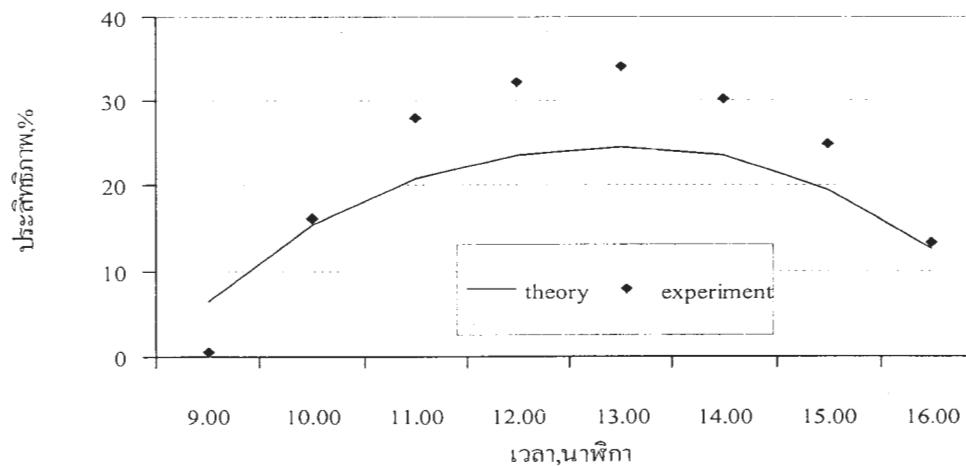
4.10.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิในน้ำถังเก็บ



ภาพที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมน้ำในถังเก็บ

จากภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบอุณหภูมน้ำในถังเก็บ พบว่า ทั้งผลจากการทดลองและผลจากทฤษฎี มีความแนวโน้มสอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยผลการทดลองที่ได้มีค่าสูงกว่าผลจากทฤษฎีเล็กน้อย

4.10.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพชั่วขณะ



ภาพที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพชั่วขณะ

จากภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ จะเห็นว่า ทั้งผลจากการทดลอง และผลจากทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงตามความเข้มแสลงอาทิตย์ ทั้งนี้ค่าที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมีค่าที่ต่างกันอันเนื่องมาจากการพิจารณาด้วยวิธีที่สะสมมาจากข้อ 4.2.1 ถึง ข้อ 4.2.3

4.11 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความร้อน

ผลจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยอ้างอิงตามสมมุติฐานเบื้องต้น สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายด้านเงินลงทุนรายปีเท่ากับ 447.0 บาท

มูลค่าซากรายปีเท่ากับ 10.4 บาท

ค่าซ่อมบำรุงรายปีเท่ากับ 150.0 บาท

และค่าใช้จ่ายทั้งหมดรายปีเท่ากับ 587.0 บาท

และเมื่อวิเคราะห์ดันทุนต่ออัตราน้ำร้อน พบร่วมค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0.03 บาท (3 สตางค์)

4.12 สรุปผลของระบบทำความร้อน

4.12.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์มีผลโดยตรงต่ออุณหภูมน้ำข้าวออกແ Pang เก็บรังสี อัตราการให้ผล และประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น การได้รับพลังงานของ Pang เก็บรังสีเพิ่มขึ้นด้วย พลังงานที่ได้ถูกถ่ายเทให้กับน้ำใน Pang เก็บรังสี ทำให้อุณหภูมน้ำเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง และให้ผลเข้าสู่ถังเก็บท่ออยู่ด้านบน ซึ่งทำให้อุณหภูมน้ำข้าวออกและอัตราการให้ผลที่วัดได้มีค่าสูงขึ้น และเนื่องจากประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบขึ้นกับอัตราการให้ผลและอุณหภูมน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่าน Pang เก็บรังสี ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบจึงเพิ่มขึ้นด้วย และหากความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง อุณหภูมน้ำข้าวออก อัตราการให้ผล และประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบ จะลดลงด้วยเช่นกัน

4.12.2 อุณหภูมิบรรยายกาศมีอิทธิพลต่ออุณหภูมน้ำข้าวออก Pang เก็บรังสีและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บ แต่ผลอุณหภูมิบรรยายกาศจะปราฏภูเห็นได้ชัดเมื่อของความเข้มแสลงอาทิตย์ค่อนข้างคงที่

4.12.3 ปริมาตรของน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ของ Pang เก็บรังสีมีผลต่ออุณหภูมิสูงสุดที่ได้ เมื่อขนาดของถังเก็บน้ำต่อพื้นที่ของ Pang เก็บรังสีต่ำ อุณหภูมิที่ได้จะสูงแต่มีผลให้มีการสูญเสียความร้อนสูงซึ่งทำให้ความร้อนที่ได้ และประสิทธิภาพรายวันของระบบต่ำกว่าเมื่อปริมาตรของน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ของ Pang เก็บรังสีมีค่าสูง

4.12.4 เมื่อปริมาตรของน้ำในถังเก็บมาก การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนโดยลมจะมีค่าต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิต่ำกว่าในกรณีปริมาตรของน้ำในถังเก็บน้อย

4.12.5 ระบบสามารถให้อุณหภูมิในระดับที่สามารถใช้งานภายในการรีวิวได้ เมื่อในสถานะที่ความเข้มของแสงน้อยเช่น ในฤดูฝน และหากต้องการระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยลดขนาดถังเก็บ

4.12.6 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุน และความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ พนวั่นเมื่อใช้จ่ายต่ำเพียง 3 สถาปัตย์ต่อลิตรน้ำร้อนที่ได้จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการผลิตน้ำร้อนไว้ใช้ภายในครัวเรือน

4.12.7 เมื่อประสมประสิทธิภาพของระบบจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชนิดที่ไม่มีกระจกปิดแต่ระบบนี้มีข้อดีในเรื่องราคาอุปกรณ์ที่ถูกกว่า สามารถลดระยะเวลาจุดคุ้มทุนลงได้ และในเรื่องของการติดตั้ง ระบบจะมีความกลมกลืนและไม่สูญเสียความสวยงามของอาคาร

4.13 ผลการทดลองการทำความเย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง

4.13.1 ผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมน้ำข้าวอกแห่งการทำความเย็น

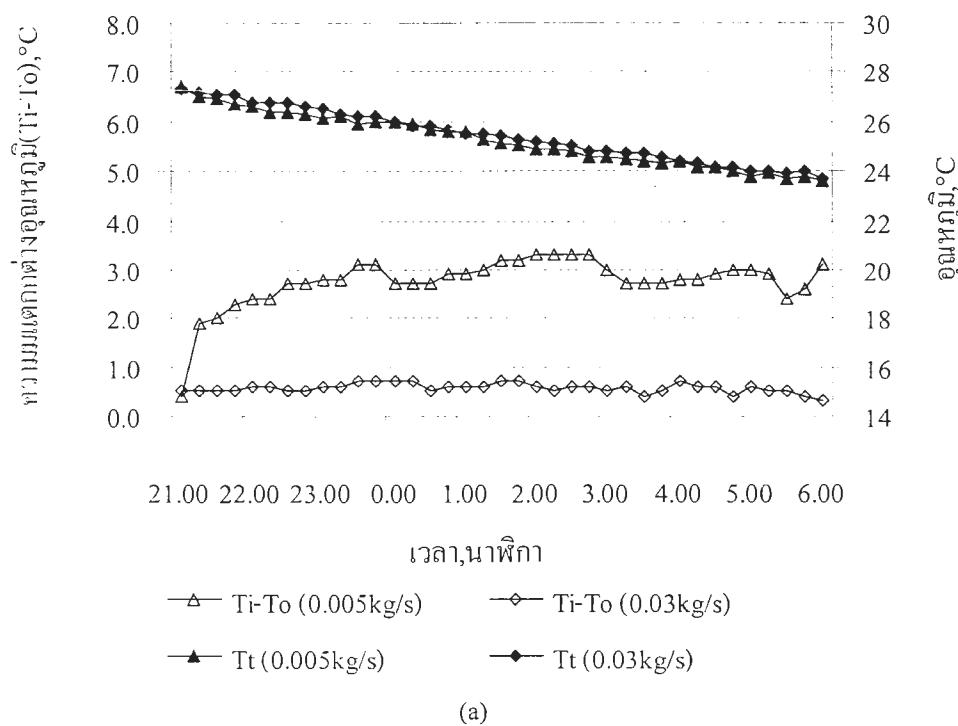
จากภาพที่ 4.20 (a) แสดงผลการทดลองในวันที่ 15-16 และ 26-27 ตุลาคม 2548 ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 150 ลิตร อุณหภูมน้ำในถังเก็บเริ่มต้นมีค่าเท่ากับที่ 27.3°C โดยมีอัตราการไหลดเท่ากับ 0.03 และ 0.005 kg/s ตามลำดับ โดยในวันที่ทำการทดลองอุณหภูมิบรรยายกาศ และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.20(b) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราการไหลดเท่ากับ 0.005 kg/s จะให้อุณหภูมน้ำที่ลดลงโดยเฉลี่ย $2-3^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่ากว่าเมื่ออัตราการไหลดเท่ากับ 0.03 kg/s ที่ลดลงโดยเฉลี่ย 0.5°C ทั้งนี้เนื่องจากความความร้อนจะเข้ากับอัตราการไหลด ที่อัตราการไหลด 0.005 kg/s จะมีภาวะความร้อนน้อยกว่าที่อัตราการไหลด 0.03 kg/s ดังนั้นจึงส่งผลให้อุณหภูมน้ำข้าวอกที่อัตราการไหลด 0.005 kg/s สามารถลดลงได้มากกว่าที่อัตราการไหลด 0.03 kg/s และจากภาพที่ 4.21 (a) และ (b) ซึ่งเป็นผลการทดลองในวันที่ 20-21 และ 26-27 ตุลาคม 2548 มีอัตราการไหลดเท่ากับ 0.01 และ 0.005 kg/s จะเห็นว่า ผลการทดลองมีความสอดคล้องกันกับภาพที่ 4.20 (a) เป็นอย่างดี

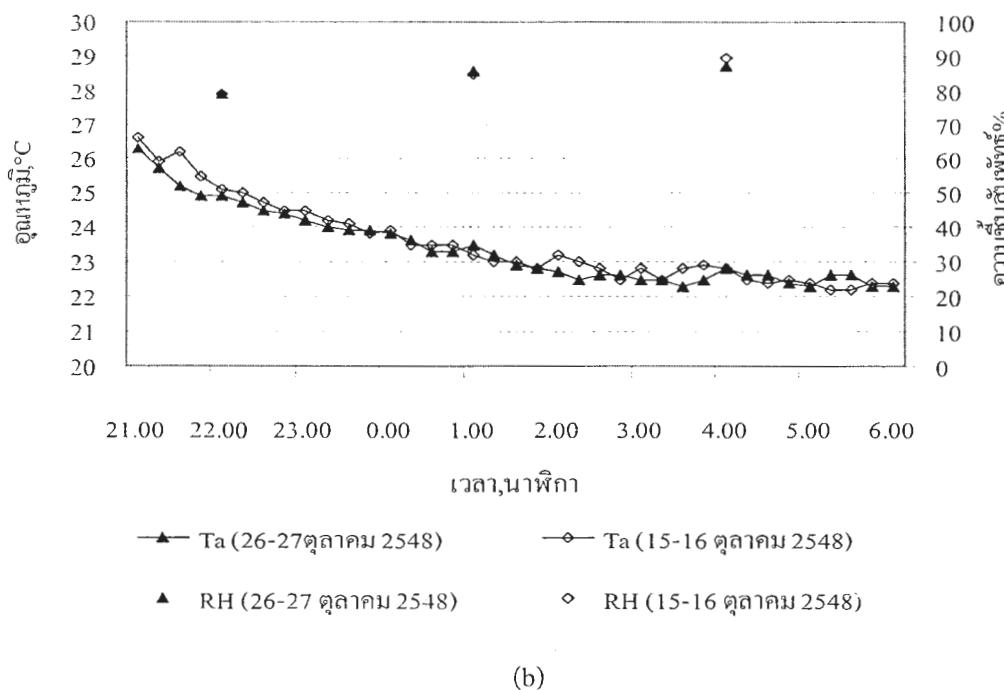
4.13.2 ผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิถังเก็บ

จากภาพที่ 4.20 (a) และ 4.21(a) เปรียบเทียบผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังเก็บที่ไม่มีต่ำไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ถือแม้ต่อการไหลดที่ต่ำจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า แต่จำนวนรอบการหมุนเวียนจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอัตราการไหลดสูงซึ่งอุณหภูมิที่ลดได้ต่อรอบต่ำ อุณหภูมิที่ลดลงของน้ำในถังเก็บเมื่ออัตราการไหลดสูงสามารถลดเชยได้ด้วยจำนวนรอบหมุนเวียนที่สูงกว่า

4.13.3 ผลของอัตราการไหลดต่ออัตราความเย็นที่ได้

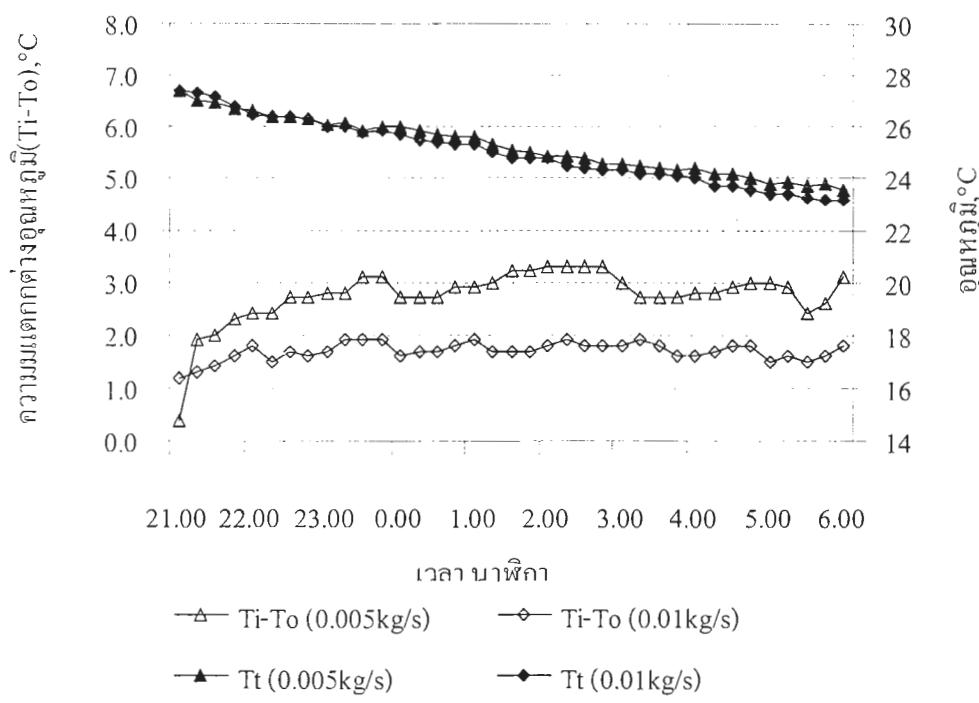
จากภาพที่ 4.22 แสดงผลการทดลองในวันที่ 20-21 และ 26-27 ตุลาคม 2548 ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 150 ลิตร โดยมีอัตราการไหลดเท่ากับ 0.01 และ 0.005 kg/s ตามลำดับ พบว่าอัตราความเย็นที่ได้ เมื่ออัตราการไหลดเท่ากับ 0.01 kg/s จะสูงกว่า ที่อัตราการไหลดเท่ากับ 0.005 kg/s ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลดสูง ภาระความร้อนที่ระบบรับเข้ามาก็จะมากด้วย ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิเนลี่ยองแพลงทำความเย็นมีค่าสูง ส่วนผลให้ระบบมีการแผ่รังสีความร้อนสูงกว่าที่อัตราการไหลดต่ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ได้จะไม่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของอัตราความเย็นที่ได้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความจุความร้อนของระบบ



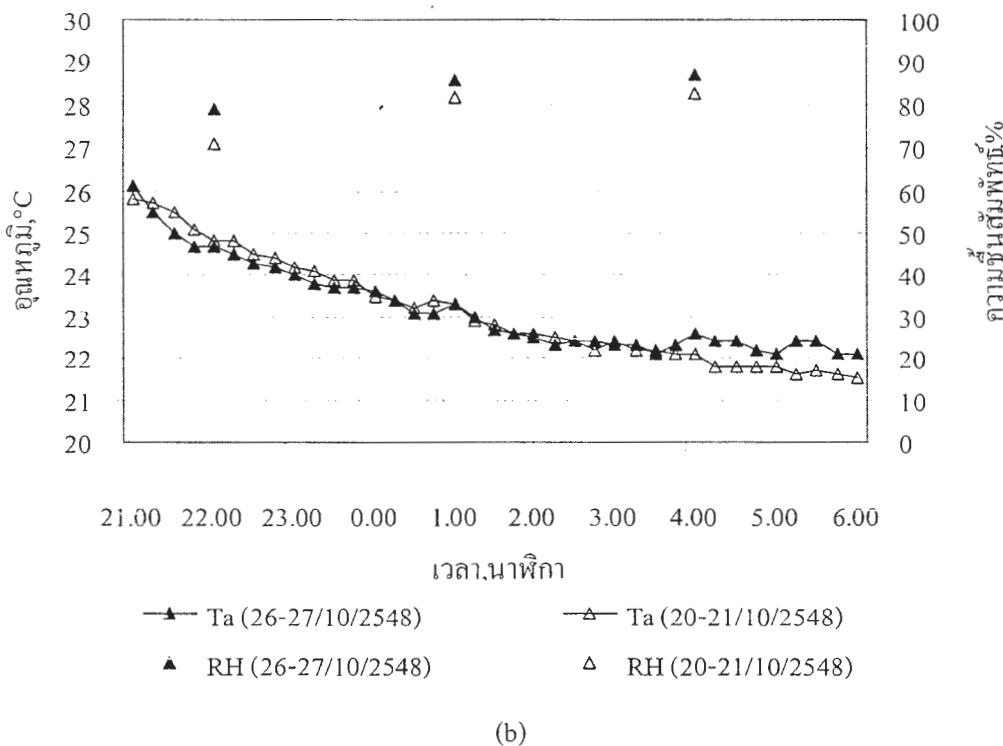


(b)

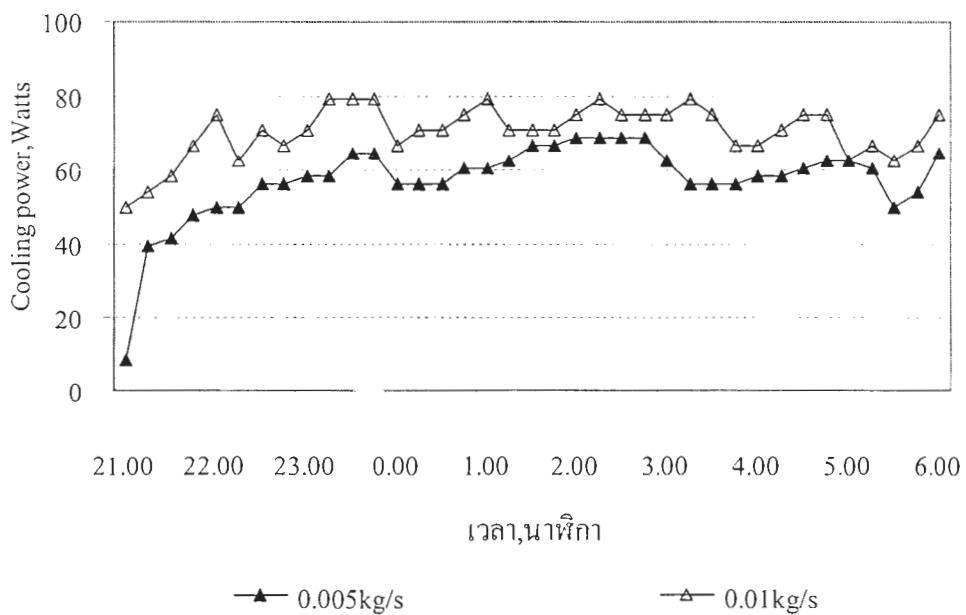
ภาพที่ 4.21 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิน้ำข้าวอกแหงที่ความเย็นและอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ



(a)



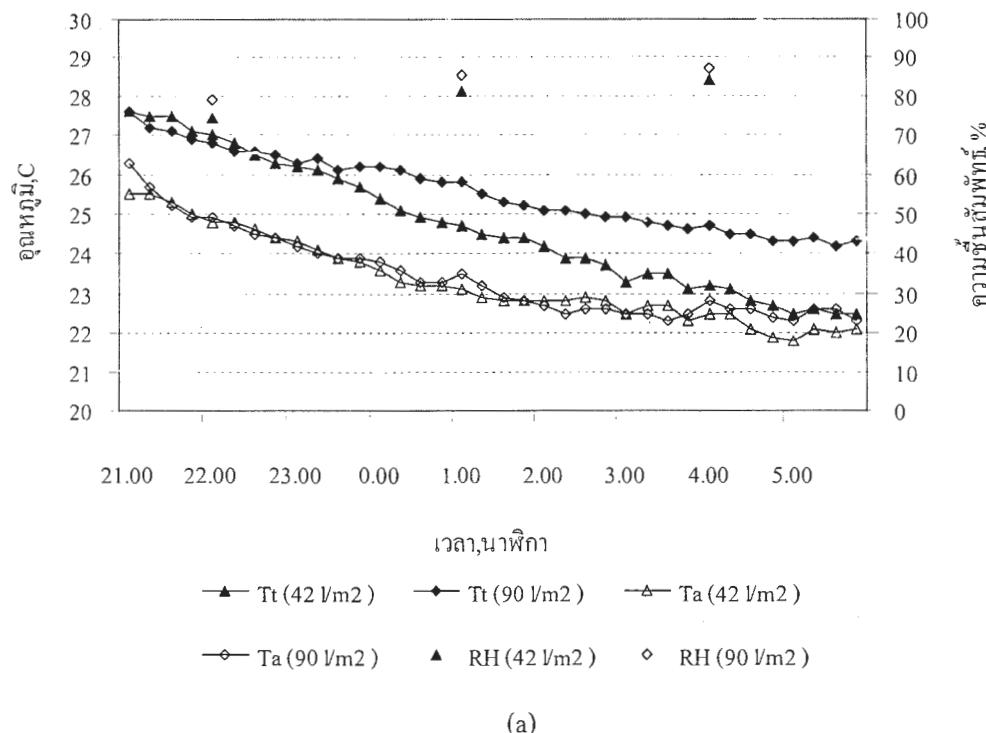
ภาพที่ 4.22 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิน้ำข้าวอกแพงทำความเย็นและอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ



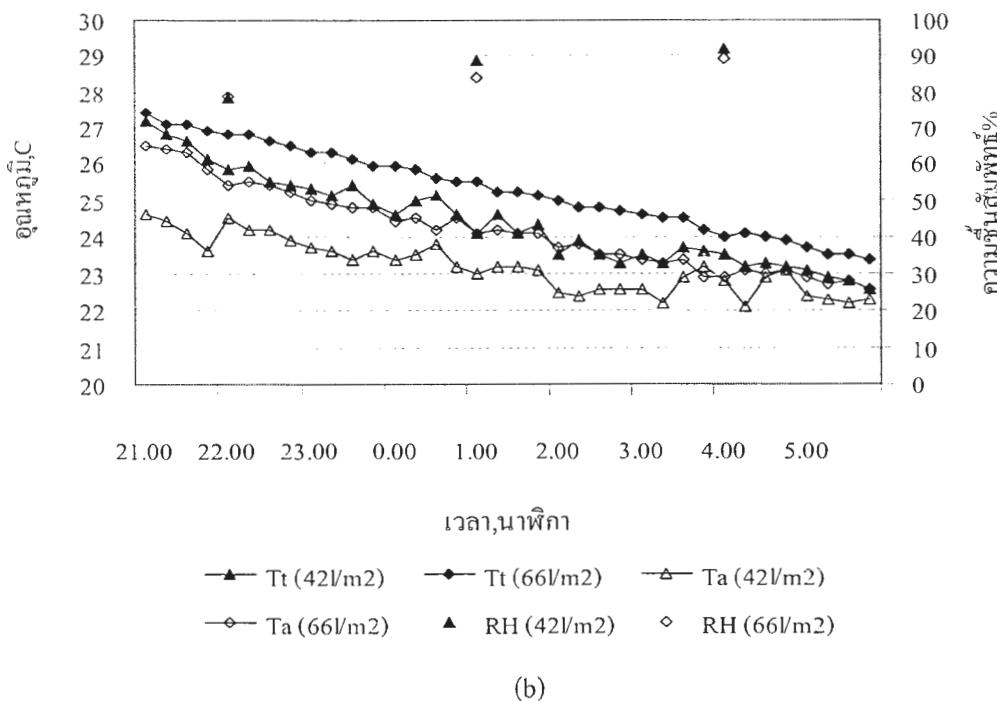
ภาพที่ 4.23 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออัตราความเย็นที่ได้

จากการที่ 4.23 (a) แสดงผลของปริมาตรร้อนในถังเก็บต่อพื้นที่แหงทำความเย็น อัตราการไหลดเท่ากับ 0.005 kg/s เมื่อค่าปริมาตรร้อนในถังเก็บต่อพื้นที่แหงทำความเย็นเท่ากับ $42 \text{ ลิตรต่อตารางเมตร}$ ระบบสามารถลดอุณหภูมิของถังเก็บได้ต่ำกว่า เมื่อค่าปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แหงทำความเย็นเท่ากับ $90 \text{ ลิตรต่อตารางเมตร}$ เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ของแหงทำความเย็นเป็นการลดภาระความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของแหงทำความเย็น ซึ่งเมื่อการลดภาระความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของแหงทำความเย็นลดลง อุณหภูมิข้าวอยู่ลดลงได้มากขึ้น ภาพที่ 4.23 (b) แสดงผลของปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แหงทำความเย็น อัตราการไหลดเท่ากับ 0.03 kg/s เมื่อค่าปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แหงทำความเย็นเท่ากับ 42 และ $66 \text{ ลิตรต่อตารางเมตร}$ จะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งภาพที่ 4.23(a) และ 4.23 (b)

4.13.4 ผลของปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แหงทำความเย็น

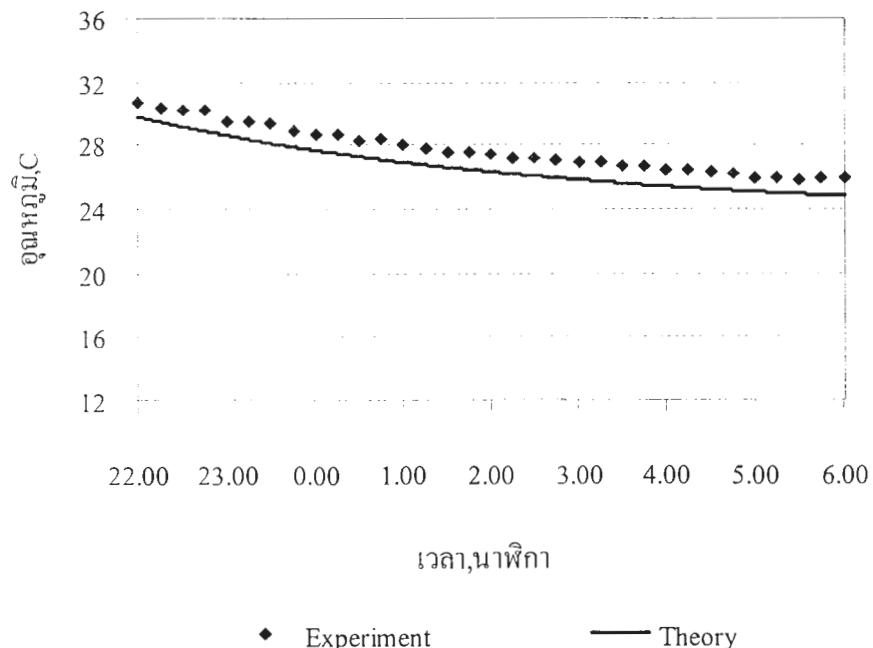


(a)



ภาพที่ 4.24 แสดงผลของปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่แหงทำความเย็น

4.13.5 เปรียบเทียบอุณหภูมินำเข้าออกແงห์ทำความเย็นระหว่างผลการทดลองและการคำนวณ

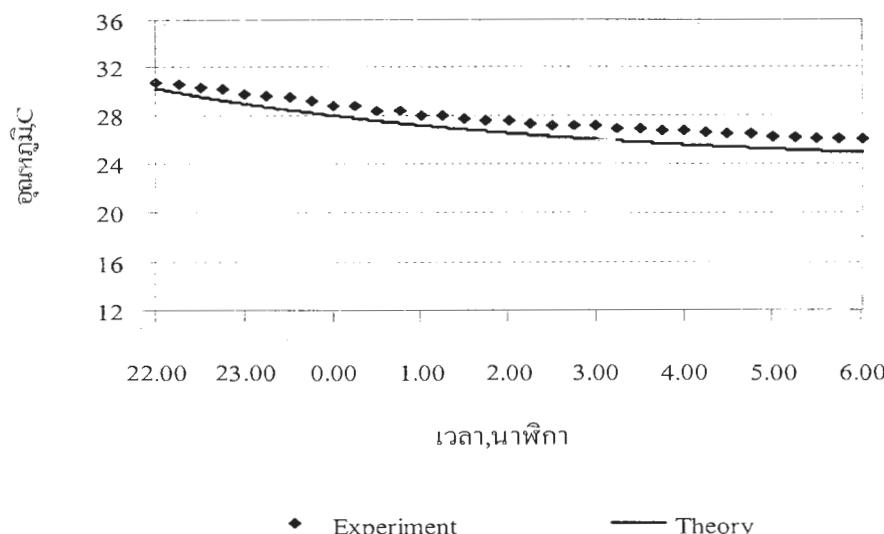


ภาพที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมน้ำเข้าออกແงห์ทำความเย็น

จากภาพที่ 4.24 แสดงผลการทดลองในวันที่ 22-23 มิถุนายน 2548 ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร อัตราการ ไหหล่ำท่ากับ 0.03 kg/s เปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของทั้งการทดลองและการคำนวณ มีแนวโน้มสอดคล้องกัน ค่าความผิดพลาดอาจเกิดจากหลายสาเหตุ ดังนี้

- 1) อุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าซึ่งได้จากการสมการ ซึ่งสร้างขึ้นจาก ค่าที่บันทึกได้ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.88 เช่นเดียวกับอุณหภูมิ dew point
- 2) ค่าความเร็วลม ในการคำนวณใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยเพียงค่าเดียว ขณะที่ความเร็วลมในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
- 3) ในการคำนวณ ไม่คำนึงถึงการรับความร้อนในท่อส่งจากปั๊ม
- 4) ค่าการปลดปล่อยรังสี (emissivity) ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าโดยประมาณซึ่งอาจไม่ตรงความเป็นจริง

4.13.6 เปรียบเทียบอุณหภูมน้ำในถังเก็บระหว่างผลการทดลองและการคำนวณ

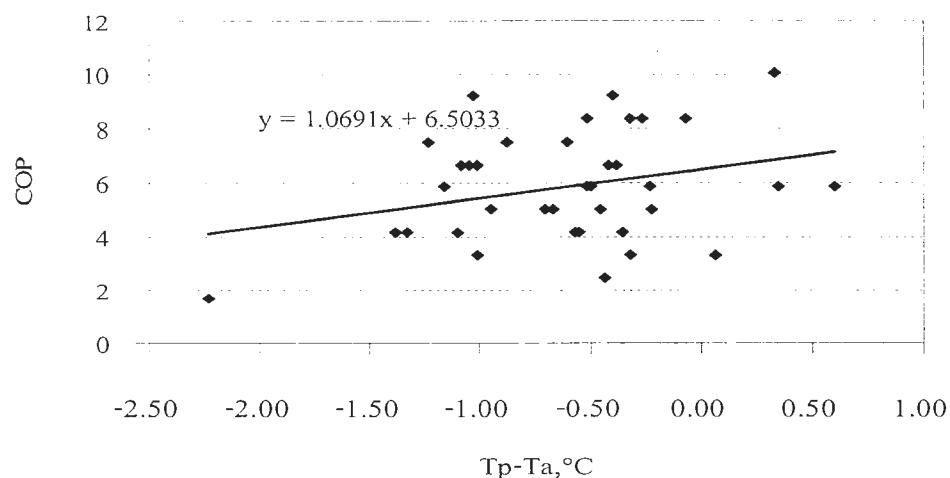


ภาพที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ

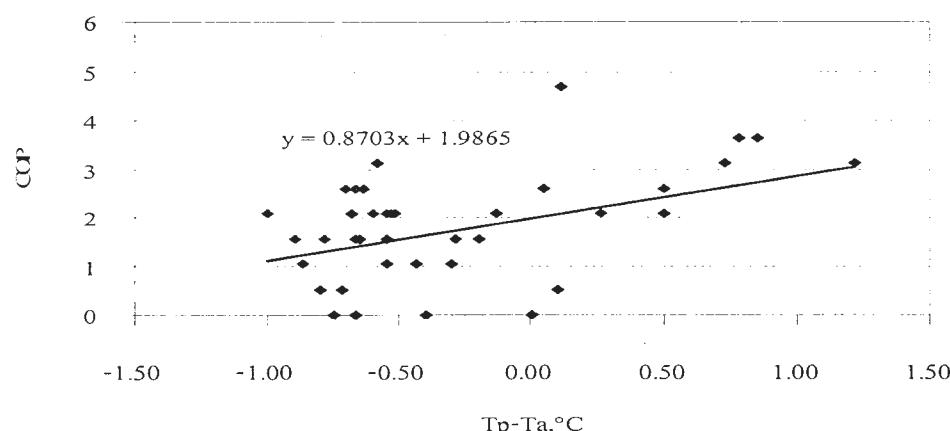
จากภาพที่ 4.25 แสดงผลการทดลองในวันที่ 22-23 มิถุนายน 2548 ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร อัตราการ ไหหล่ำท่ากับ 0.03 kg/s เปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิถังเก็บ ทั้งการทดลองและการคำนวณ มีแนวโน้มสอดคล้องกัน ค่าความผิดพลาดอาจเกิดจากสาเหตุที่ได้กล่าวไปแล้ว ในข้อ 4.5.5

4.13.7 สมรรถนะในการทำความเย็นของระบบ

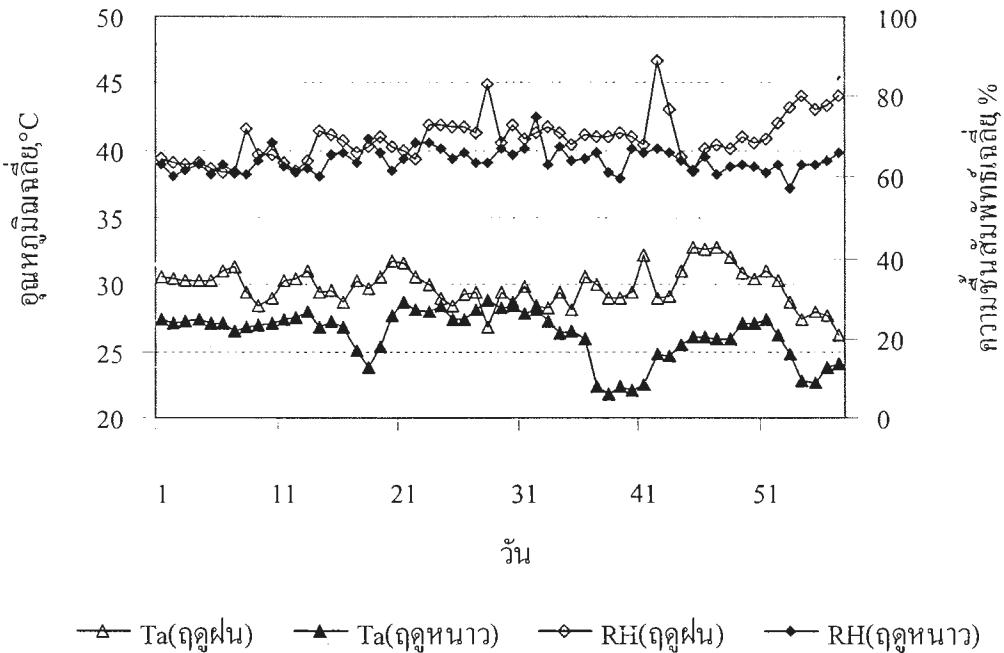
ภาพที่ 4.26 และ 4.27 แสดงสมรรถนะการทำความเย็นของระบบ (COP) เมื่อปริมาตรน้ำในถังเก็บเท่ากับ 71 ลิตร อัตราการไหหล่อกับ 0.03 kg/s โดย ภาพที่ 4.26 เป็นผลการทดลองในช่วงปลายเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน 2548 ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูหนาว ข้อมูลที่อยู่ด้านซ้ายเป็นกรณีที่อุณหภูมิของแพลงทำความเย็นต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งสมรรถนะการทำความเย็นของระบบที่ทำได้ในช่วงนี้จะมีค่าต่ำ เนื่องจากแพลงทำความเย็นจะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ในส่วนของข้อมูลด้านขวา มีอีกกรณีที่อุณหภูมิของแพลงทำความเย็นสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในกรณีนี้สมรรถนะการทำความเย็นของระบบที่ทำได้จะมีค่าสูง ซึ่งเป็น เพราะระบบมีการถ่ายเทความร้อนทั้งการแผ่รังสี และการพากความร้อนสู่บรรยากาศ สำหรับในกรณีที่อุณหภูมิของแพลงทำความเย็นเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สมรรถนะการทำความเย็นของระบบที่ได้เท่ากับ 6.50



ภาพที่ 4.27 แสดงผลการทดลองในเดือนตุลาคม-พฤษจิกายน 2548



ภาพที่ 4.28 แสดงผลการทดลองในเดือนมิถุนายน-ธันวาคม 2548



ภาพที่ 4.29 ข้อมูลสภาพอากาศในกุญแจและกุญแจนาว

สำหรับภาพที่ 4.27 เป็นผลการทดลองในเดือน มิถุนายน-สิงหาคม 2548 ซึ่งเป็นกุญแจ พบว่า เมื่ออุณหภูมิของแพลงทำความสะอาดเกินเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สมรรถนะการทำความเย็นของระบบที่ได้เท่ากับ 1.98

ภาพที่ 4.28 แสดงสภาพอากาศในกุญแจและกุญแจนาว จะเห็นว่าในกุญแจทั้งความชื้น สัมพัทธ์และอุณหภูมิบรรยายความมีค่าสูงกว่ากุญแจนาว เป็นผลให้สมรรถนะการทำความเย็นของระบบในกุญแจ มีค่าต่ำกว่าในกุญแจนาว ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.14 สรุปผลการทำความเย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง

4.14.1 อัตราการไหลดมีผลต่ออุณหภูมน้ำข้าออกแพลงทำความสะอาดเย็น โดยหากอัตราการไหลดต่ำ อุณหภูมิข้าออกจะต่ำด้วย อย่างไรก็ตาม อัตราการไหลดมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำในถังเก็บที่ได้น้อยมาก เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลดต่ำ แม้ว่าอุณหภูมิที่ลดลงต่อรอบการทำหมุนเวียนของน้ำจะมาก แต่จำนวนรอบการทำหมุนเวียนของน้ำผ่านแพลงทำความสะอาดเย็นจะน้อย ในทางกลับกันหากเพิ่มอัตราการไหลด อุณหภูมิที่ลดลงต่อรอบการทำหมุนเวียนของน้ำจะน้อย แต่ระบบสามารถลดอุณหภูมิได้เท่ากับกรณีอัตราการไหลดต่ำ เนื่องจากจำนวนรอบการทำหมุนเวียนผ่านแพลงทำความสะอาดเย็นจะสูง

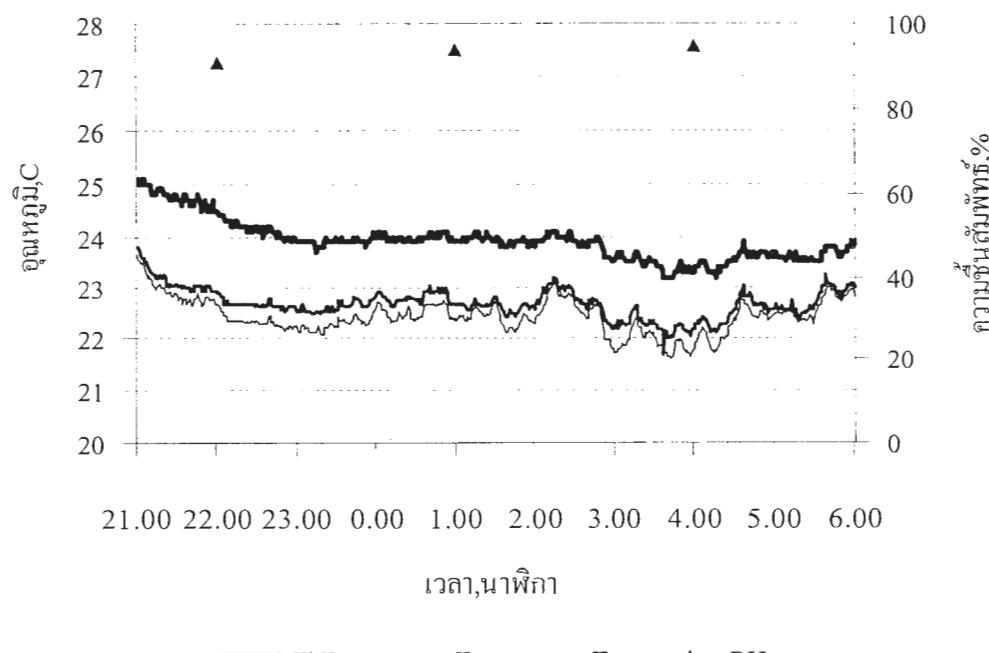
4.14.2 การใช้อัตราการไหลดของน้ำผ่านแมงทำความเย็นสูง อัตราการแพร่รังสีจะสูงกว่าการใช้อัตราการไหลดต่ำ แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิสุกท้ายที่ได้ เนื่องจากความจุความร้อนของระบบและน้ำมีค่าสูง และหากลดอัตราการไหลดก็จะสามารถประทับใจพลังงานที่ใช้และเพิ่มค่า COP ของระบบ

4.14.3 การลดอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่แมงทำความเย็น สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามระบบมีจุดจำกัดด้วยอุณหภูมิของห้องไฟ

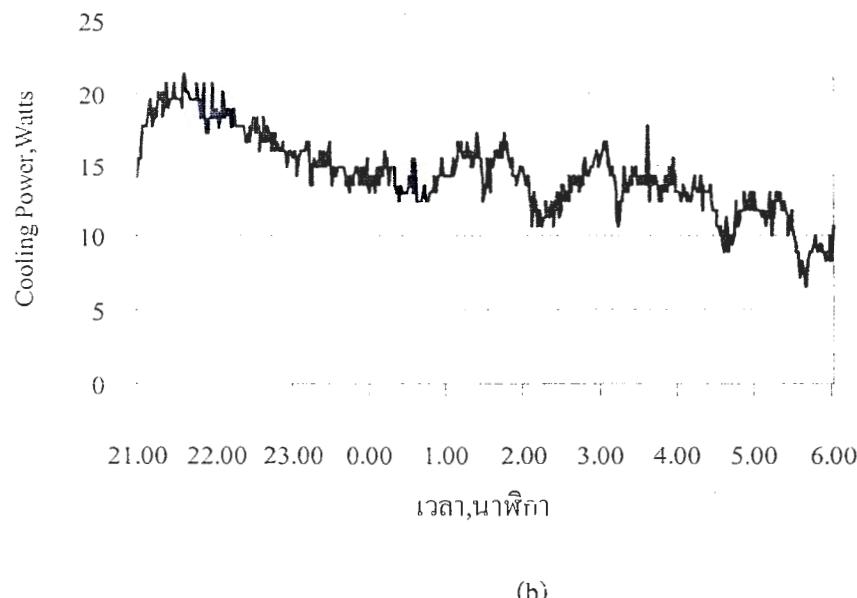
4.14.4 เมื่อเทียบความสามารถในการทำความเย็นในฤดูหนาวและฤดูฝน พบว่าในฤดูหนาวซึ่งมีอุณหภูมิบรรยายกาศและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ระบบจะสามารถแพร่รังสีความร้อนได้สูงกว่าในฤดูฝนซึ่งมีอุณหภูมิบรรยายกาศและความชื้นสัมพัทธ์สูง

4.14.5 การคำนวนโดยใช้สมการซึ่งใช้ในการคำนวนการทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์มาใช้ในการคำนวนการทำความเย็น โดยการแพร่รังสี ด้วยการแทนค่าความเย็นแมงแสงอาทิตย์ด้วยค่าการแพร่รังสีจากแมงทำความเย็นมีความแม่นยำ สามารถใช้งานได้ดี

4.15 ผลการทดลองการทำความเย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง



(a)



ภาพที่ 4.30 แสดงผลการทดลองในวันที่ 11-12 ตุลาคม 2548

จากภาพที่ 4.29 (a) แสดงผลการทดลองในวันที่ 11-12 ตุลาคม 2548 ความเร็วอากาศที่ทางเข้าແengเท่ากับ 1.25 m/s อุณหภูมิขาเข้าซึ่งก็คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม มีค่าเริ่มต้นที่ 25.0°C และ 23.9°C เมื่อถึงสุดการทดลอง ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง $90.7\text{-}94.7\%$ จะเห็นว่าในช่วงเวลา $21.00\text{-}23.00$ อุณหภูมิอากาศที่ลดลงเมื่อผ่านແengทำความเย็นมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลา $2.00\text{-}6.00$ น. ซึ่งเป็น เพราะในช่วงแรกของการทดลอง บรรยายกาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้มีความสามารถในการแผ่รังสีสูงกว่าในช่วงท้ายของการทดลองที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลา $2.00\text{-}6.00$ น. ยังเกิดการกลับตัวของน้ำค้างบนແengทำความเย็น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีความสามารถการแผ่รังสีลดลง (Waewsak, 1998) จากภาพที่ 4.29 (b) อัตราความเย็นที่ระบบทำได้มีค่าอยู่ระหว่าง $7\text{-}22$ Watts

4.15.1 ผลของความเร็วต่ออุณหภูมิขาออก

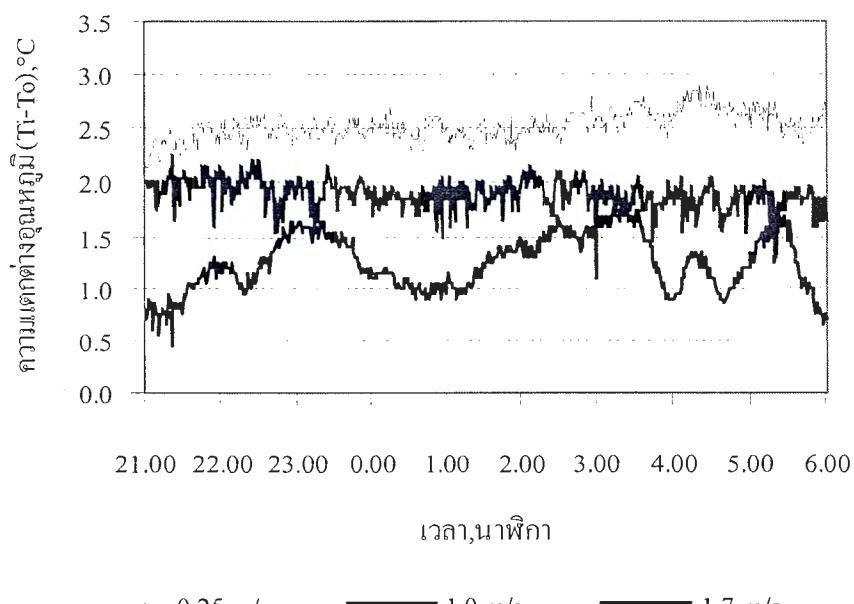
จากภาพที่ 4.30 (a) ซึ่งแสดงผลการทดลองในวันที่ 13-14, 14-15 และ 16-17 ธันวาคม 2548 โดยมีความเร็วอากาศต่ำที่ทางเข้าແengทำความเย็นเท่ากับ $0.25, 1.0$ และ 1.7 m/s ตามลำดับ ในสภาพอากาศที่คล้ายคลึงกันดังแสดงในภาพที่ 4.30 (b) จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่ออากาศเคลื่อนผ่านແengทำความเย็นด้วยความเร็วต่ำระบบจะสามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้มากกว่าเมื่อมีความเร็วสูง สำหรับที่การให้ห้องที่ความเร็วต่ำ ภาระความร้อนที่ระบบรับเข้ามามากกว่าที่ความเร็วสูง อุณหภูมิอากาศที่ผ่านແengทำความเย็นจึงลดลงได้มากกว่า

4.15.2 ผลของความเร็วอากาศต่อสมรรถนะของระบบ

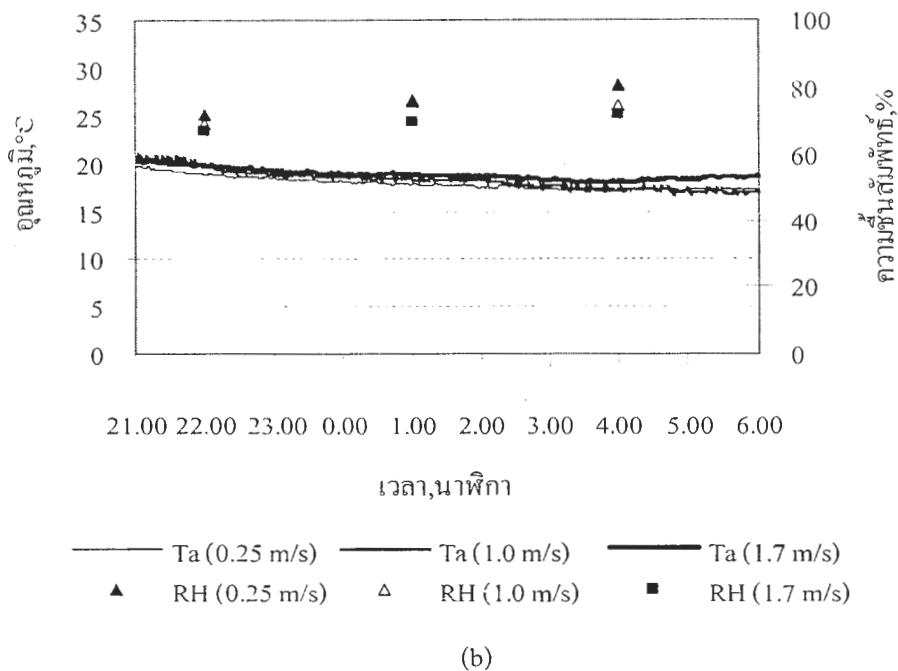
จากการที่ 4.31 เมื่อความเร็วอากาศต่ำ พบร่วมกับความเย็นที่ได้จะมีค่าน้อยเมื่อว่าอุณหภูมิที่ลดได้จะมีค่ามาก แต่อย่างไรก็ตาม พลังงานที่ใช้ในการขับพัดลมก็มีค่าน้อย มีผลให้ค่า Coefficient of Performance (COP) มีค่าสูง ในทางตรงข้ามเมื่อความเร็วอากาศสูง ความเย็นที่ได้มีค่าสูง แต่พลังงานที่ใช้ขับพัดลมก็มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า COP ลดลง การประยุกต์ใช้งานจึงจำเป็นต้องเลือกให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน

4.15.3 ผลของถูกการต่อความสามารถทำการทำความเย็นของระบบ

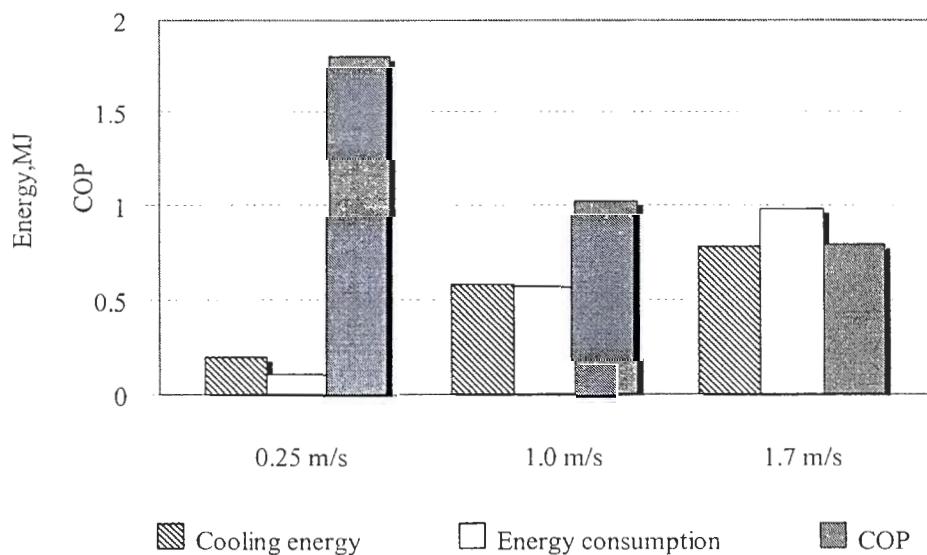
จากการที่ 4.32 (b) แสดงความเย็นที่ได้จากระบบ โดยมีความเร็วอากาศที่ต่างๆ กัน 1.0 m/s ถาวรและล้อมดังแสดงในภาพที่ 4.32 (a) พบร่วมกับในวันที่ 4-5 ธันวาคม 2548 ซึ่งเป็นฤดูหนาว อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิบรรยายอากาศต่ำ ทำให้แห้งทำความเย็นแห้งสีความร้อนได้ดี อัตราความเย็นที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 22 Watts สามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้ 1.2-2.2 °C ขณะที่ในวันที่ 6-7 ตุลาคม 2548 ซึ่งเป็นฤดูฝนอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิบรรยายอากาศสูง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการแห้งสีความร้อนของแห้งทำความเย็น อากาศซึ่งผ่านแห้งทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงประมาณ 0.5-1.5 °C อัตราความเย็นที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 15 Watts



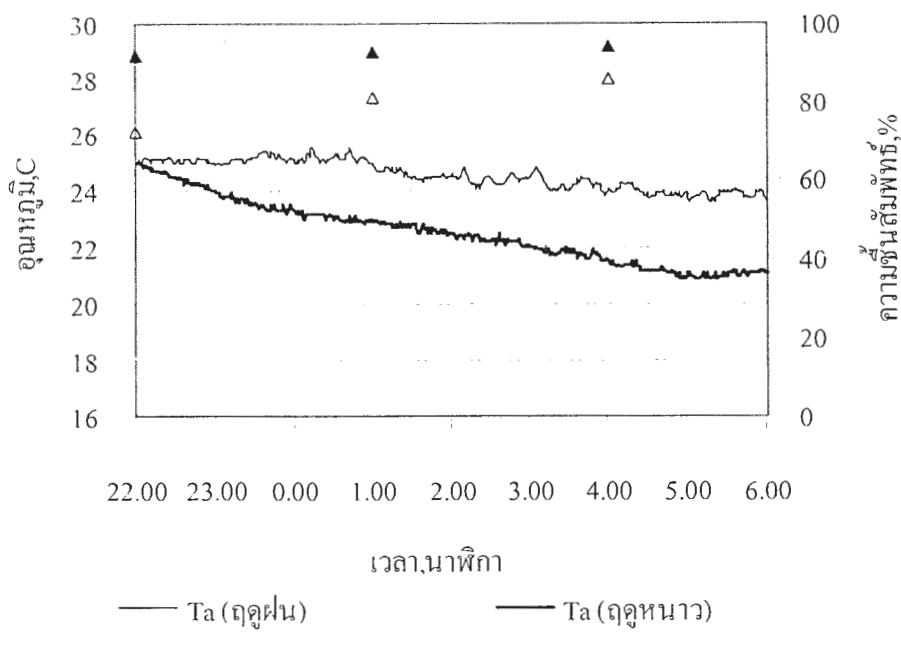
(a)



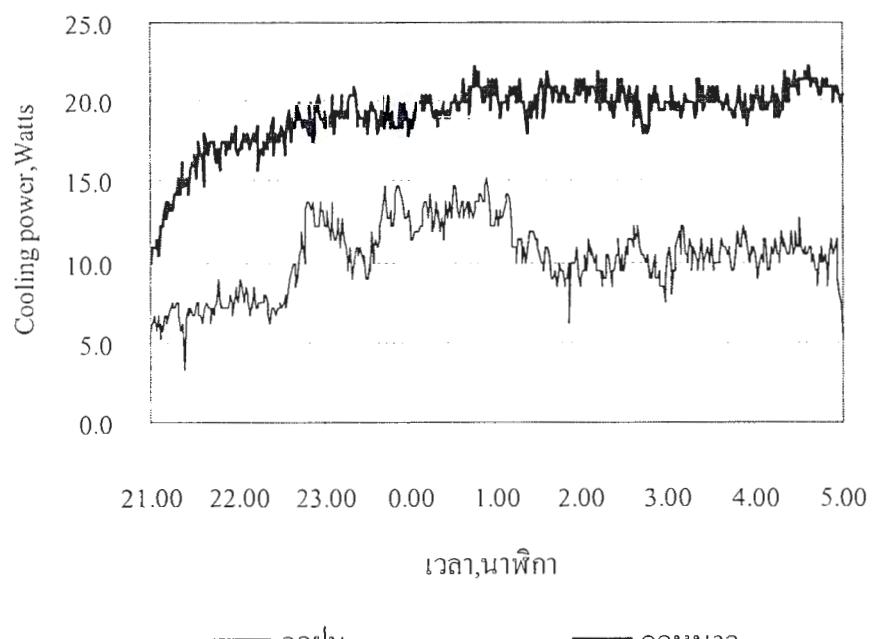
ภาพที่ 4.31 ผลการทดสอบทำความเย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง



ภาพที่ 4.32 แสดงสมรรถนะของระบบ

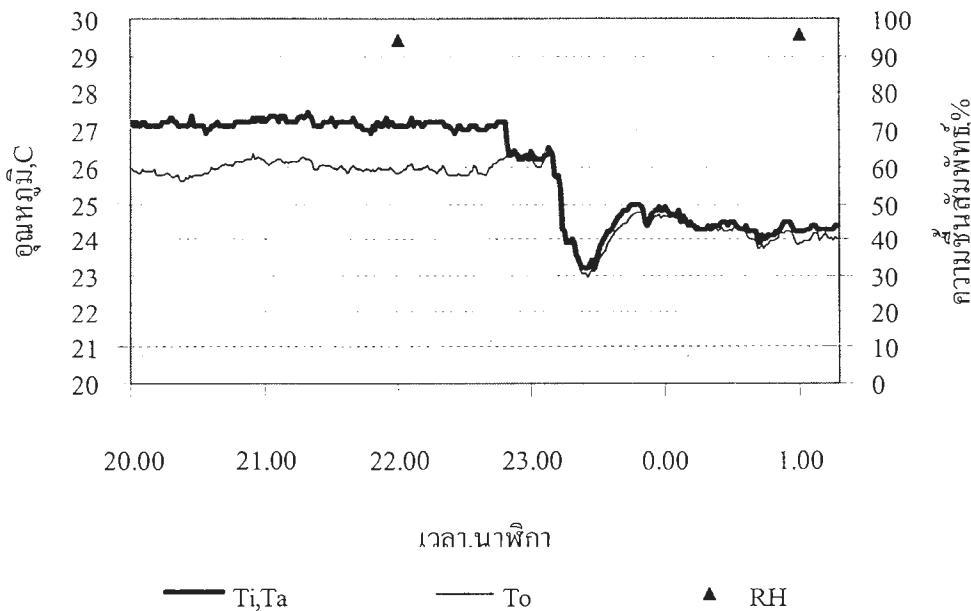


(a)



(b)

ภาพที่ 4.33 แสดงผลของการต่อความสามารถในการทำความเย็น



ภาพที่ 4.34 แสดงผลการทดลองในวันที่ 6-7 กันยายน 2548

จากภาพที่ 4.33 ซึ่งแสดงผลการทดลองในวันที่ 6-7 กันยายน 2548 พบร่วมกันว่าเมื่อเวลาประมาณ 22.45-23.30 นาฬิกา มีฝนตก อุณหภูมิบรรยายอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิอากาศเข้าและออกในช่วงเวลาดังกล่าวไม่แตกต่างกัน หลังจากนั้น ในช่วงเวลา 23.30-1.15 น. อุณหภูมิบรรยายอากาศสูงขึ้นแล้ว ลดลงเล็กน้อย ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกมีค่าน้อยนี้ องจากความชื้นสัมพัทธ์ ยังคงมีค่าสูง ซึ่งเป็นอุปสรรคในการแพร่รังสีความร้อน

4.16 สรุปผลการทำความเข้าใจใช้อากาศเป็นตัวกลาง

4.16.1 ความเร็วอากาศที่ถูกคัดผ่านแผงทำความเย็นมีผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ลดลง โดยเมื่อความเร็วอากาศมีค่าสูง ซึ่งก็คือมีมวลและการความร้อนสูง ทำให้อุณหภูมิอากาศที่ลดลงมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับในกรณีที่ความเร็วอากาศต่ำซึ่งมีการความร้อนต่ำกว่า

4.16.2 เมื่ออากาศถูกคัดผ่านแผงทำความเย็นด้วยความเร็วต่ำ อุณหภูมิที่ลดลงมีค่าสูงแต่ พลังงานความร้อนที่ลดลงมีค่าไม่มากเนื่องจากอัตราการไอน้ำอยู่ในรูปร่างของพลาสติกตามพลังงานที่ใช้ในการขับ พัดลม ก็มีค่าต่ำด้วย ค่า COP ของระบบที่ได้จึงมีค่าสูง ในทางกลับกันเมื่อความเร็วอากาศสูงอุณหภูมิที่ลดลงมีค่าต่ำแต่พลังงานความร้อนที่ลดลงมีค่ามากเนื่องจากอัตราการไอน้ำสูงและพลังงานที่ใช้ในการขับ พัดลมก็มีค่าสูงด้วย ค่า COP ของระบบที่ได้มีค่าต่ำ

4.16.3 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการทำความเย็นในฤดูหนาวและฤดูฝนจะพบว่ามีลักษณะเดียวกันกับการทำความเย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง โดยพบว่าในฤดูหนาวซึ่งมีอุณหภูมิ

บรรยายกาศและความซื่นสัมพัทธ์ที่ ระบบจะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงกว่าในถุงฟัน ซึ่งมีอุณหภูมิบรรยายกาศและความซื่นสัมพัทธ์สูง

4.16.4 ขณะฟันตกลอุณหภูมิบรรยายกาศลดลง แต่พบว่าอุณหภูมิอากาศที่ผ่านแผงทำความเย็นไม่ลดลงเนื่องจากระบบไม่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การทำความร้อน

ในการศึกษาการทำความเย็นและความร้อนโดยใช้แพลงโอละเป็นตัวเก็บรังสีครั้งนี้ แพลงโอละที่ใช้เป็นแผ่นสังกะสี ทำด้วยสีน้ำตาลแดงซึ่งมีจำหน่ายในห้องตลาดโดยทั่วไป ใน การศึกษาการทำความร้อน ได้ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยสภาวะแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความเข้มของแสงอาทิตย์ อัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ที่แรงรับแสงอาทิตย์ นอกจากนั้นยังได้ศึกษาคุณภาพที่มีผลต่อการทำความร้อน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จากผลการทดลองในถุงฟันซึ่งมีความเข้มแสงโดยเฉลี่ยประมาณ 11.54 MJ/m^2 ระบบสามารถทำอุณหภูมิได้ 40°C และในถุงหน้าเมื่อความเข้มแสง 17.13 MJ/m^2 สามารถทำอุณหภูมิได้ 43°C เมื่อปริมาตรน้ำในถังเก็บเท่ากับ 40 ลิตร และพบว่า เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์คงที่ การลดลงของอุณหภูมิบรรยายกาศมีผลให้ระบบมีการสูญเสียความร้อนของระบบเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเร็วลมจะมีผลต่อระบบที่มีขนาดถังเก็บเล็กสูงกว่าเมื่อระบบมีขนาดถังเก็บใหญ่ เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ที่แรงรับแสงอาทิตย์ พบร่วมกับอัตราส่วนของปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่รับแสงมีค่าสูง ประสิทธิภาพของระบบและความร้อนที่ได้จะสูงแต่อุณหภูมิที่ได้จะต่ำ แต่หากอัตราส่วนของปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่รับแสงมีค่าต่ำ ประสิทธิภาพของระบบและความร้อนที่ได้จะต่ำแต่อุณหภูมิที่ได้จะสูง ใน การศึกษา เงื่อนไขความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบร่วมกับค่าใช้จ่ายต่ำเพียง 3 สตางค์ต่อลิตรน้ำร้อนที่ได้ นอกเหนือการสร้างระบบก็ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อน จึงมีความเป็นไปได้สูงในการที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานจริง โดยเฉพาะงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนัก เช่น การอุปโภคภัยในครัวเรือน

5.1.2 การทำความเย็น

สำหรับการศึกษาการทำความเย็นโดยการแผ่รังสี ได้ใช้น้ำและอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย สภาวะแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ที่แรงทำความเย็น, อัตราการไหลของน้ำ, ความเร็วของอากาศ (ในกรณีของการทำความเย็นให้อากาศ) พบร่วมกับในช่วงถุงฟันซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิบรรยายกาศสูง การแผ่รังสีความร้อนมีค่าต่ำกว่าในถุงหน้าที่มีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิบรรยายกาศต่ำกว่า การลดอัตราส่วนปริมาตรน้ำในถังเก็บต่อพื้นที่ที่แรงทำความเย็นลงจะทำให้ระบบสามารถ

อุณหภูมิได้มากขึ้น แต่ก็มีจุดจำกัดซึ่งตามทฤษฎีแล้วไม่สามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำกว่าอุณหภูมิท้องฟ้า ส่วนการปรับอัตราการไอล อัตราการไอลที่ต่ำกว่าจะให้อุณหภูมิขาดออกที่ต่ำกว่าอัตราการไอลนีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ได้ไม่แตกต่างกัน การใช้อัตราการไอลที่ต่ำ กว่ามีข้อดีคือพลังงานที่ใช้ในการขับปืนน้อย เนื่องจากจำนวนรอบการหมุนเวียนน้อยกว่า ค่า COP ที่ได้ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีเมื่ออัตราการไอลสูง อนึ่งน้ำที่ใช้ในการทดลอง เมื่อเริ่มการทดลองจะมีอุณหภูมิสูง กว่าบรรยายกาศเดือนน้อย และเนื่องจากระบบที่ใช้ในการทดลองไม่มีแผ่นกันลม อุณหภูมน้ำที่ได้จึงไม่ ต่างจากอุณหภูมิบรรยายกาศมากนัก อย่างไรก็ตามเนื่องจากในตอนกลางคืนอุณหภูมิบรรยายกาศลดลง อุณหภูมิที่ได้จึงลดลงตามไปด้วย

ในการทดลองเมื่อใช้อากาศเป็นตัวกลาง เมื่ออากาศถูกดูดผ่านແงห์ทำความเย็นด้วย ความเร็วต่ำอุณหภูมิที่ลดลงมีค่าสูงแต่พลังงานความร้อนที่ลดลงมีค่าไม่มากเนื่องจากอัตราการไอลน้อย อย่างไรก็ตามพลังงานที่ใช้ในการขับพัดลมก็มีค่าต่ำด้วย ค่า COP ของระบบที่ได้จึงมีค่าสูง ในทาง กลับกัน เมื่อความเร็วอากาศสูงอุณหภูมิที่ลดลงมีค่าต่ำแต่พลังงานความร้อนที่ลดลงมีค่ามากเนื่องจาก อัตราการไอลสูง และพลังงานที่ใช้ในการขับพัดลมก็มีค่าสูงด้วย ค่า COP ของระบบที่ได้มีค่าต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาการทำน้ำร้อนควรศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่ແงห์บรังสีทางด้วยสีอื่นๆ เช่น สีน้ำเงิน สีเขียว เป็นต้น

5.2.2 ในการศึกษาการทำความเย็นด้วยการແร้รังสี ควรมีชุดทดลองอย่างน้อย 2 ชุด โดยมี 1 ชุด ซึ่งเป็นชุดสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้

5.2.3 วัสดุที่ใช้ทำถังเก็บและท่อ ควรเป็นวัสดุที่ไม่เกิดสนิมซึ่งจะทำให้มีปัญหาการอุดตัน และการปรับอัตราการไอล

5.2.4 ในการศึกษาการทำความเย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางควรศึกษาเพิ่มเติมถึงจุดที่ เหมาะสมของความเร็วลมที่มีต่อความเย็นที่ได้ พลังงานที่ใช้ในการขับพัดลมและ ค่า COP

เอกสารอ้างอิง

จราบ บุญยบูลและคนอื่นๆ. พลังงาน. ศูนย์วิจัยและอบรมพลังงาน : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

นักศึกษา คุณนาชัย. การถ่ายเทความร้อน (HEATTRANSFER). คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2526.

มารีนา มะหนี่. วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2542.

Adnan Shariah and Bassam Shalabi. Optimal design for a thermosyphon solar water heater Renewable Energy. Vol.11, No.3, pp351-361,1997.

Al-Nimr, M.A., Kodah Z. and Nassar. B. 1998. A theoretical and experiment investigation of a radiative cooling system. Solar energy. Vol.63, No.6, pp.367-373.

Al-Nimr M., Tahat M. and Al-Rashdan, M. 1999. A night cold storage system enhanced by radiative cooling -a modified Australian cooling system. Applied Thermal Engineering, 19, pp1013-1026.

Auttapol R. T., Golaka and Exell. R.H.B. Night radiative cooling and underground water storage in a hot humid climate: a preliminary investigation. Proceedings of the 2nd Regional Conference on Energy Technology Toward a clean environment, Phuket Thailand. February 12-14, 2003.

Chow T.T. and Chan. A.L.S. 2004. Numerical study of desirable solar collector orientations for coastal region of South China. Applied Energy. in press.

Close D.J. 1962. The performance of solar water heaters with natural circulation. Solar energy 6,pp33-40

Dobson K.D., Hodes G. and Mastai Y. 2003. Thin semiconductor films for radiative cooling Application. Solar energy material & Solar cells, 80, pp.283-296.

Eisenmann W., Vajen K. and Ackermann H. 2004. On the correlations between collector efficiency factor and material content of parallel flow flat plat solar collector, Solar energy. Vol.76, pp.381-387.

Erell E. and Etzion. E.Y. 1999. Analysis and experimental verification of an improved cooling Radiator. Renewable Energy, 16 pp700-703.

Evyatar Erell and Yair Etzion. 1996. Heating experiments with radiative cooling system. Building and environment, vol.31, No.6 pp509-517.

- Evyatar Erell and Yair Etzion. 2000. Radiative cooling of building with flat plate solar Collectors. Building and environment, Vol.35, pp.297-305.
- HachemI A. 1999. Experimental study of heat transfer and flow friction in solar air heaters with and without selective absorbers, Renewable Energy, 17, pp155-168.
- Haddad O.M., Al-Nimr M.A., and Maqableh A. 2000. Enhance solar still performance using a radiative cooling system 21, pp.459-469.
- Hamza A., Ali Taha H. and Ismail. I.M.S. 1995. Cooling of water flowing through a night sky radiator, Solar energy. Vol.55, pp.235-253.
- Hellstrom B. and others. 2003. The impact of optical and thermal properties on the performance of flat plate solar collectors. Renewable Energy, Vol.28, pp.331-344.
- Jay Burch and others. 2004. Simulation of unglazed collector system for domestic hot water and space heating and cooling. Solar energy, in press.
- Joeijoo P. and Sorapipatana A. 2003. An assessment of solar radiation estimation of ASHRAE clear sky model in northern part of Thailand. Proceedings of the 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, Phuket Thailand, February 12- 14, 2003.
- Jompob Waewsak. 1998. Feasibility study of night radiation cooling in Thailand. Master of Science Thesis, Energy Technology Program, School of Energy and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 103 p
- Kalogirou S., Tripanagnostopoulos Y. and Souliotis. M. 2004. Performance of solar systems Employing collectors with colored absorber. Energy and buildings, In press
- Khedari J. and others. 1999. Field investigation of night radiation cooling under tropical climate, Renewable energy, 20,2000, 183-193.
- Lluminosu I. and Fara. L. 2004. Determination of the optimal operation mode of a flat solar collector by exergies analysis and numerical simulation. Energy, pp.1-17.
- Medved S., Arkar C. and Cerne. B. A. 2003. A large panel unglazed roof integrated liquid solar collector-energy and economic evaluation. Solar energy, Vol.75, pp.455-467.
- Meir M.G., Eekstad J.B. and LØvvik. O.M. 2003. A study of polymer-based radiative cooling System. Solar energy, in press.
- Mihalakakou G., Ferante A. and Lewis. J.O. 1998. The cooling potential of metallic nocturnal radiator, Building and environment. Vol.28, pp.251-256.

- Oliveti G., Arcuri N. and Ruffolo S. 2000. Experimental investigation on thermal radiation exchangeof horizontal outdoor surfaces. Building and Environment, 38,2003,pp 83-89.
- Pisit Panigul. 1999. A study of temperature and flow distribution in a natural circulatic: solar water heater system. Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Bangkok, Thailand.
- Sopian K. and others. 2004. Performance of a non- metallic unglazed solar water heater with integrated storage system. Renewable energy, 29, 1421-1430.
- Soteris A. and Kalogirou. 2004. Solar thermal collectors and applications. Energy and Combustion Science, Vol.30, pp.231-295.
- Tiris C., Tiris M. and Ture I.E. 1995. Effect of fin design on collector efficiency. Energy, Vol.20, No.10 pp1021-1026.
- Wang Xiaowu and Hua Ben. 2004. Exergy analysis of domestic scale solar water heater, Renewable and Sustainable Energy Reviews. in press.
- Yeh H.M., Ho C.-D. and Hou. J.-Z. 2002. Collector efficiency of double flow solar air heaters with fin attached. Energy Vol.27, pp.715-727.

ภาคผนวก

ตารางที่ ก-1 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 16 มีนาคม 2548 ปริมาณรำ 40 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอม	ความรุนแรง	ผลิตภัณฑ์ได้	ปรับตัวเข้ามา	
Time	T _i	T _o	T ₄	T ₅	T ₆	T _r	T _{p1}	T _{p2}	T _{b1}	T _a	T _t	T _p	m	G/T	Q _u	ชั่วโมง, %
9.00	33.10	39.80	32.70	32.40	32.30	37.10	37.00	38.20	38.50	38.90	30.40	32.47	37.60	0.001242	445.25	34.79
10.00	33.90	47.70	36.40	33.30	32.30	42.30	42.10	43.50	43.60	45.50	31.50	34.00	42.80	0.002254	591.60	130.08
11.00	34.90	53.60	43.00	37.50	33.50	45.90	45.70	50.00	51.20	51.30	32.50	38.00	47.85	0.003088	649.73	241.47
12.00	37.80	55.10	48.20	43.30	37.40	47.40	47.30	51.00	51.90	52.10	34.70	42.97	49.15	0.002639	619.81	190.96
13.00	41.40	57.70	51.20	47.30	41.70	49.50	49.10	54.60	54.20	53.40	33.90	46.73	51.85	0.002133	516.61	145.39
14.00	43.80	51.00	53.40	50.10	45.50	46.10	45.90	47.60	47.60	46.90	34.80	49.67	46.75	0.001796	561.50	54.06
15.00	45.80	51.50	53.40	51.50	47.90	47.50	47.60	47.30	47.20	46.20	35.20	50.93	47.70	0.001343	444.38	32.02
16.00	43.80	49.20	52.60	51.20	48.60	45.40	45.30	46.70	46.40	45.80	36.30	50.80	46.00	0.000000	297.85	0.00

ตารางที่ ก-2 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 19 มีนาคม 2548 ปริมาณรำ 40 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอม	ความรุนแรง	ผลิตภัณฑ์ได้	ปรับตัวเข้ามา	
Time	T _i	T _o	T ₄	T ₅	T ₆	T _r	T _{p1}	T _{p2}	T _{b1}	T _a	T _t	T _p	m	G/T	Q _u	ชั่วโมง, %
9.00	33.10	41.70	31.50	31.10	30.80	38.00	37.70	41.20	41.10	41.20	28.10	31.13	39.45	0.00158	470.84	56.98
10.00	33.60	50.40	38.30	33.90	32.60	43.60	43.60	47.50	48.40	48.40	31.90	34.93	45.55	0.00220	587.56	154.92
11.00	34.80	56.40	45.10	38.80	34.30	47.50	47.20	51.80	52.30	51.10	32.50	39.40	49.50	0.00258	675.16	233.15
12.00	37.30	56.10	49.60	43.60	37.40	48.60	48.40	51.30	51.60	49.40	32.30	43.53	49.85	0.00275	704.31	216.48
13.00	42.10	61.90	54.30	49.20	43.30	52.20	51.90	54.90	54.20	51.00	36.50	48.93	53.40	0.00228	704.38	188.53
14.00	45.40	60.80	55.90	52.30	47.30	53.70	53.50	57.80	58.60	57.90	35.70	51.83	55.65	0.00178	660.71	114.66
15.00	47.30	56.30	55.50	53.70	49.90	51.70	51.60	54.40	54.10	53.80	37.80	53.03	53.00	0.00136	558.59	51.30
16.00	41.70	49.10	53.80	52.60	50.30	46.90	46.90	48.20	46.70	46.70	35.90	52.23	47.55	0.00000	397.92	0.00

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณรอน้ำ 60 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอมเหลว	ความซึมแสง	ผลิตภัณฑ์	ปรับตัวเร็ว	
Time	°C	m	GT	Qu	ชั่วโมง.ก.	%										
8/02/2548	Ti	To	T4	T5	T6	Tr	Tp1	Tp2	Tb1	Tb2	Ta	Tl	Tp	W/m2		
9.00	30.81	40.09	30.13	29.79	29.79	39.65	41.36	40.48	40.92	29.83	29.90	40.29	0.001905	460.22	73.92	
10.00	30.96	47.56	36.08	30.22	29.93	44.14	43.46	45.56	45.70	45.65	31.88	32.08	44.51	0.002635	608.78	182.90
11.00	31.40	54.15	43.75	32.57	30.22	48.14	47.41	49.66	50.59	51.46	34.62	35.51	48.54	0.003158	680.85	300.45
12.00	32.13	57.86	50.44	37.40	31.15	50.39	49.51	51.17	52.78	53.52	35.21	39.66	50.34	0.003389	709.51	364.70
13.00	34.57	56.20	55.03	44.34	35.30	50.15	48.93	49.51	50.39	49.32	32.03	44.89	49.22	0.002842	710.57	257.12
14.00	38.04	56.54	56.10	49.32	40.33	51.86	51.32	52.64	53.27	52.44	36.23	48.58	51.98	0.002392	668.41	185.10
15.00	41.50	55.18	54.98	51.17	43.60	50.83	50.24	51.86	51.90	51.86	36.52	49.92	51.05	0.001685	567.01	96.40
16.00	43.16	50.10	54.10	52.00	45.95	47.90	47.56	48.58	48.19	48.14	36.47	50.68	48.07	0.000000	404.73	0.00

ตารางที่ ก-4 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณรอน้ำ 60 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอมเหลว	ความซึมแสง	ผลิตภัณฑ์	ปรับตัวเร็ว	
Time	°C	m	GT	Qu	ชั่วโมง.ก.	%										
9/02/2548	Ti	To	T4	T5	T6	Tr	Tp1	Tp2	Tb1	Tb2	Ta	Tl	Tp	W/m2		
9.00	32.86	35.79	39.45	37.99	35.21	38.04	37.65	39.45	38.92	39.06	29.25	37.55	38.55	0.001208	459.02	14.80
10.00	35.50	48.78	39.65	38.13	35.94	45.80	45.17	47.12	46.88	46.88	31.69	37.91	46.15	0.002371	607.55	131.66
11.00	36.38	54.44	43.55	38.13	36.33	49.95	49.02	52.05	52.29	52.78	34.13	39.34	50.54	0.002731	695.46	206.29
12.00	37.40	59.18	49.32	39.50	35.94	50.83	48.14	49.37	48.14	48.44	28.52	41.59	48.76	0.002992	724.07	272.32
13.00	36.08	59.91	53.52	43.16	37.79	54.44	54.25	57.13	58.94	59.38	39.75	44.82	55.69	0.002858	725.13	284.82
14.00	40.28	59.38	57.13	49.07	42.24	54.69	53.96	56.10	57.28	56.69	37.40	49.48	55.03	0.002702	683.04	215.85
15.00	42.48	58.40	56.84	51.17	44.34	53.71	53.17	55.03	55.27	54.74	37.50	50.78	54.10	0.002317	581.89	154.25
16.00	44.29	53.03	56.35	53.03	46.88	49.76	49.46	50.29	49.76	49.17	37.40	52.09	49.88	0.000961	437.05	35.13

ตารางที่ ก-๕ แสดงผลการทดสอบในวันที่ ๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๘ ปริมาณรำ ๙๐ ลิตร

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	ชั้นวางอากาศ	ความรุ่มแรง	ผลงานที่ได้	ประดิษฐ์		
Time	°C	m	GT	Qu	ชั่วขณะ.%													
9.00	30.81	29.83	39.89	39.16	36.82	32.76	33.59	32.32	32.71	32.62	25.83	38.94	32.96	0.000000	400.48	0.00	0.00	
10.00	34.57	42.38	38.48	39.79	37.26	39.16	38.43	39.79	39.16	39.16	25.78	38.60	39.11	0.002570	551.10	83.94	15.23	
11.00	34.77	48.78	40.09	37.65	39.75	36.77	44.48	43.85	45.80	45.02	45.51	27.49	38.57	44.83	0.003158	639.80	185.05	28.92
12.00	38.23	54.98	46.68	41.21	42.29	40.19	49.51	48.34	50.54	50.29	50.10	30.08	42.59	49.44	0.003365	668.59	235.73	35.26
13.00	38.82	54.30	48.88	43.46	41.85	40.04	48.63	47.31	49.46	50.39	50.44	31.40	43.56	48.39	0.003371	653.77	218.23	33.38
14.00	39.31	57.81	50.10	46.00	41.99	40.04	51.90	51.12	53.08	53.96	53.52	34.28	44.53	52.10	0.003137	611.32	242.67	39.70
15.00	38.84	52.20	50.40	47.55	43.00	40.60	47.75	46.83	49.80	50.54	50.00	34.77	44.44	48.32	0.002740	492.45	153.11	31.09
16.00	40.09	45.41	48.93	47.27	42.09	39.45	42.43	43.02	43.16	42.58	33.45	45.39	42.73	0.000000	377.99	0.00	0.00	

ตารางที่ ก-๖ แสดงผลการทดสอบในวันที่ ๓ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๘ ปริมาณรำ ๙๐ ลิตร

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	ชั้นวางอากาศ	ความรุ่มแรง	ความรุ่นที่ได้	ประดิษฐ์		
Time	°C	m	GT	Qu	ชั่วขณะ.%													
9.00	28.76	33.50	29.83	29.79	31.74	28.96	36.18	35.89	37.94	37.65	37.26	26.46	30.08	36.52	0.000000	432.79	0.00	0.00
10.00	31.10	43.31	38.87	37.65	35.64	36.62	40.19	39.60	41.99	41.94	41.36	29.20	37.20	40.80	0.002371	582.42	121.06	20.79
11.00	33.50	50.68	43.31	38.77	36.91	38.57	46.24	45.17	46.24	45.70	46.00	30.37	39.39	45.71	0.002878	654.72	206.75	31.58
12.00	35.06	55.57	46.24	40.92	38.57	39.31	50.29	49.32	51.42	51.61	52.05	32.62	41.26	50.37	0.002910	635.76	249.57	39.26
13.00	35.89	53.37	49.51	42.87	38.77	36.47	49.37	48.63	49.51	48.44	48.34	34.03	41.91	49.07	0.002891	700.50	211.35	30.17
14.00	37.35	45.51	51.86	46.83	41.80	38.43	43.41	43.02	41.94	41.50	34.33	44.73	43.22	0.001834	674.49	62.60	9.28	
15.00	38.04	53.71	50.59	47.02	42.68	38.72	48.58	48.58	46.88	45.31	44.43	34.03	44.75	47.73	0.001954	294.84	128.05	43.43
16.00	39.06	48.19	50.15	47.61	44.04	39.79	45.51	45.07	46.29	46.29	36.08	45.40	45.68	0.000000	411.11	0.00	0.00	

ตารางที่ ก-7 แต่งผัดการทดสอบในวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณรำ 90 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลีก	ความชื้นแห้ง	พื้นที่ผิวน้ำ	ปรับตัวเร็วๆ		
Time	°C	m	GT	Qu	ช้าลง													
9.00	29.54	40.33	33.57	38.04	35.79	32.18	40.82	41.11	43.46	42.82	43.60	26.17	36.15	42.29	0.001799	464.93	81.19	17.46
10.00	33.74	49.76	42.24	39.45	37.35	34.13	45.65	45.07	46.88	46.58	47.46	30.96	38.29	45.98	0.002180	613.60	146.06	23.80
11.00	34.62	52.00	45.85	40.67	37.84	35.30	48.78	48.14	49.07	49.32	49.07	30.71	39.92	48.61	0.002366	701.47	171.97	24.52
12.00	36.23	56.98	49.76	43.75	38.87	36.52	52.59	51.61	54.25	55.13	55.62	33.06	42.23	52.93	0.002376	698.24	206.14	29.52
13.00	36.77	55.42	52.64	46.68	39.75	36.62	50.00	48.34	52.15	53.71	53.56	30.96	43.92	50.25	0.002365	731.17	200.09	27.37
14.00	38.18	60.64	55.32	50.44	42.72	38.77	53.96	53.27	54.54	53.96	53.52	35.21	46.81	53.91	0.002321	577.11	236.80	41.03
15.00	39.01	54.69	53.96	50.59	44.19	39.50	52.15	51.17	54.98	55.71	55.57	35.01	47.06	53.08	0.002293	555.73	150.38	27.06
16.00	39.89	50.15	53.03	50.83	45.65	40.77	47.46	47.31	47.17	46.58	46.00	34.57	47.57	47.24	0.000000	409.85	0.00	0.00

ตารางที่ ก-8 แต่งผัดการทดสอบในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณรำ 90 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลีก	ความชื้นแห้ง	พื้นที่ผิวน้ำ	ปรับตัวเร็วๆ		
Time	°C	m	GT	Qu	ช้าลง													
9.00	31.49	41.50	40.92	38.18	34.13	37.50	37.06	39.01	38.57	38.87	28.52	38.68	38.0;	0.000922	397.52	10.75	2.71	
10.00	34.33	48.00	41.85	40.82	38.57	35.06	45.31	44.73	46.58	45.56	45.80	30.08	39.08	45.66	0.001853	547.95	105.93	19.33
11.00	35.60	54.98	45.70	41.06	38.77	35.89	50.73	49.85	52.49	53.17	52.93	31.88	40.36	51.17	0.002251	636.63	182.42	28.65
12.00	37.30	59.47	50.68	43.26	39.16	36.33	52.73	50.88	51.90	50.73	51.03	29.10	42.36	51.39	0.002457	665.45	227.79	34.23
13.00	37.50	59.67	53.42	46.53	39.65	36.32	52.64	50.54	52.15	52.29	52.05	31.40	44.03	51.35	0.002353	650.64	218.18	33.53
14.00	38.04	49.44	53.37	49.17	41.80	38.57	45.21	44.78	45.02	45.56	45.95	34.91	45.78	44.90	0.001499	480.07	71.45	14.88
15.00	39.31	48.85	52.88	50.59	43.85	39.79	47.41	47.27	47.31	46.29	46.00	34.47	46.78	47.29	0.001412	391.42	56.32	14.39
16.00	40.09	48.14	51.71	50.24	45.07	40.67	45.85	45.51	46.68	46.88	46.53	34.57	46.92	46.10	0.000000	340.49	0.00	0.00

ตราสารที่ ก-9 ใบอนุญาตการประกอบธุรกิจ 26 ห้องเลขที่ 140 ถนนสุรัตน์ บ้านที่ 40 หมู่ 1

Date	C1H01	C1H02	C1H04	C1H05	C1H06	C1H07	C1H08	C1H09	C1H10	C1H11	C1H12	อัตราการร้าบ	ต่อวันที่คงเหลือ	ผู้ดูแลที่ร้าบ	ประจำเดือน
Time	°C	G _r	Q _u	พ.ร.บ.ที่ร้าบ	%										
26/09/2548	Ti	To	T4	T5	T6	Tb1	Tb2	Tr	Tp1	Tp2	Ta	T _r	T _p	m	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
9.00	27.50	33.30	27.50	27.10	27.10	-	-	32.70	32.60	32.50	27.50	27.23	32.60	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
10.00	28.50	44.80	31.10	28.40	27.60	-	-	38.60	38.50	38.00	29.10	29.03	38.37	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
11.00	29.20	55.50	39.70	32.60	28.20	-	-	47.60	48.80	49.50	31.40	33.50	48.63	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
12.00	32.40	50.60	46.30	40.30	32.70	-	-	48.60	50.40	51.90	32.80	39.77	50.30	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
13.00	35.90	45.30	47.60	44.40	37.40	-	-	45.80	47.90	49.60	31.20	43.13	47.77	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
14.00	39.20	51.90	47.30	45.50	40.80	-	-	49.20	49.50	49.80	32.10	44.53	49.50	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
15.00	35.80	40.50	45.80	44.50	41.20	-	-	40.10	39.20	38.60	28.80	43.83	39.30	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ
16.00	35.40	44.00	45.30	44.30	41.60	-	-	30.40	28.80	27.20	26.50	43.73	28.80	-	พ.ร.บ.ที่ร้าบ

କିମ୍ବା କିମ୍ବା କିମ୍ବା କିମ୍ବା କିମ୍ବା କିମ୍ବା କିମ୍ବା କିମ୍ବା

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	ชั้นรากชาวไร่	ความชื้นแมลง	พืชงานที่ได้	ประดิษฐ์ภัย		
Time	T _i	T _o	T ₄	T ₅	T ₆	T _{b1}	T _{b2}	T _r	T _{p1}	T _{p2}	T _a	T _t	T _p	m	G _T	Qu	%
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kg/m ²	W/m ²	W/m ²	Qu	%
30/09/2548																	
9.00	28.20	45.60	28.50	27.30	27.30	-	-	42.80	46.70	47.40	31.30	27.70	45.63	0.00	-	266.35	-
10.00	30.40	52.60	46.70	38.90	29.10	-	-	45.40	49.80	50.70	30.60	38.23	48.63	0.00	-	368.62	-
11.00	39.90	53.60	53.90	49.40	42.00	-	-	49.30	52.30	53.40	32.30	48.43	51.67	0.00	-	230.48	-
12.00	45.20	58.60	55.40	53.10	48.30	-	-	56.90	51.70	52.30	31.30	52.27	53.63	0.00	-	95.68	-
13.00	48.90	63.30	60.00	55.80	51.70	-	-	59.80	58.60	61.40	33.60	55.83	59.93	0.00	-	161.00	-
14.00	42.10	56.40	57.30	57.10	53.70	-	-	42.40	41.10	40.80	30.40	56.03	41.43	0.00	-	13.60	-
15.00	34.20	47.30	53.30	54.40	52.10	-	-	43.80	41.20	42.10	30.20	53.27	42.37	0.00	-	31.89	-
16.00	33.60	46.10	50.30	52.20	50.50	-	-	38.00	36.80	37.60	29.80	51.00	37.47	-			

ตารางที่ ก-11 แสดงผลการทดสอบ ไข่ในวันที่ 1 ตุลาคม 2548 ปริมาณรึ่ง 60 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12		อัตราการหลอม	ความรุนแรง	ผังงานที่ได้	ประดิษฐ์ภาพ
Time	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		kg/m ²	W/m ²	W/m ²	%
9.00	29.40	42.50	29.00	29.00	28.90	-	-	40.70	40.80	41.60	28.50	28.97	41.03	-	299.93	-
10.00	29.40	37.20	31.90	29.10	28.90	-	-	36.00	37.30	37.80	29.10	29.97	37.03	-	388.18	-
11.00	30.30	51.40	36.40	30.80	29.00	-	-	49.40	54.70	57.40	31.00	32.07	53.83	-	476.82	-
12.00	30.90	46.10	47.60	36.00	31.20	-	-	37.50	39.30	39.90	32.10	38.27	38.90	-	625.60	-
13.00	33.60	54.10	49.70	44.50	36.20	-	-	51.10	54.50	56.80	32.80	43.47	54.13	-	715.77	-
14.00	38.60	55.30	53.30	48.50	43.00	-	-	51.30	54.30	56.30	36.10	48.27	53.97	-	638.20	-
15.00	42.30	50.30	54.30	51.70	47.10	-	-	45.40	43.80	44.00	33.10	51.03	44.40	-	481.76	-
16.00	40.10	44.10	52.10	51.30	47.80	-	-	46.40	45.40	47.10	34.00	50.40	46.30	-	305.85	-

ตารางที่ ก-12 แสดงผลการทดสอบ ไข่ในวันที่ 2 ตุลาคม 2548 ปริมาณรึ่ง 60 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12		อัตราการหลอม	ความรุนแรง	ผังงานที่ได้	ประดิษฐ์ภาพ
Time	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		kg/m ²	W/m ²	W/m ²	%
9.00	31.60	49.50	28.80	28.70	28.50	-	-	46.70	51.80	52.00	32.60	28.67	50.17	-	481.12	-
10.00	30.30	52.30	38.30	29.20	28.60	-	-	44.30	49.10	49.80	31.10	32.03	47.73	-	598.47	-
11.00	31.50	57.60	49.30	39.30	31.10	-	-	49.80	56.20	58.50	33.40	39.90	54.83	-	656.90	-
12.00	35.10	57.70	52.60	46.70	38.40	-	-	51.70	53.70	54.80	34.30	45.90	53.40	-	641.72	-
13.00	40.50	59.80	54.20	50.70	44.50	-	-	53.20	54.30	55.90	33.40	49.80	54.47	-	627.56	-
14.00	44.60	60.10	55.90	53.00	48.70	-	-	55.50	56.20	58.10	33.90	52.53	56.60	-	629.65	-
15.00	47.30	57.20	56.80	55.10	51.70	-	-	54.40	54.60	55.60	37.90	54.53	54.87	-	483.17	-
16.00	36.90	47.40	55.00	54.10	50.50	-	-	42.40	42.80	44.30	34.60	53.20	43.17	-	307.21	-

ตารางที่ ก-13 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 12 ตุลาคม 2548 ปริมาณรainless 90 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12		อัตราการไหล m	ความเข้มแสง W/m ²	ผิวน้ำที่ได้ kg/m ² s	ปริมาณรainless %
Ti	To	T3	T4	T5	T6	Tb1	Tb2	Tr	Tp1	Tp2	Ta	Tr	Tp	G _T	Q _u	ชั่วขณะที่	
Time	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kg/m ² s	W/m ²	%	
9.00	27.70	38.40	26.90	26.80	26.70	-	-	36.90	37.70	37.50	29.20	26.80	37.37	-	370.15	-	
10.00	28.00	39.50	31.40	27.40	27.20	27.10	-	36.80	37.10	37.70	30.10	28.28	37.20	-	550.17	-	
11.00	28.40	45.80	39.40	30.60	27.50	27.20	-	42.10	43.10	44.00	30.90	31.18	43.07	-	426.19	-	
12.00	28.30	54.40	44.80	37.60	30.70	27.80	-	44.50	48.10	50.60	31.40	35.23	47.73	-	486.71	-	
13.00	29.80	45.60	48.10	43.30	36.60	30.60	-	37.10	38.00	38.30	32.30	39.65	37.80	-	579.29	-	
14.00	27.70	41.50	47.90	44.20	38.90	32.60	-	26.50	26.50	26.80	25.20	40.90	26.60	-	368.15	-	
15.00	31.60	38.90	46.20	43.80	39.70	33.90	-	37.50	36.00	35.90	27.20	40.90	36.47	-	368.15	-	
16.00	28.70	36.20	44.80	43.60	39.80	34.60	-	32.60	32.30	32.30	28.00	40.70	32.40	-	0.00	-	

ตารางที่ ก-14 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 16 ตุลาคม 2548 ปริมาณรainless 90 ลิตร

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12		อัตราการไหล m	ความเข้มแสง W/m ²	ผิวน้ำที่ได้ kg/m ² s	ปริมาณรainless %
Ti	To	T3	T4	T5	T6	Tb1	Tb2	Tr	Tp1	Tp2	Ta	Tr	Tp	G _T	Q _u	ชั่วขณะที่	
Time	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kg/m ² s	W/m ²	%	
9.00	27.40	47.10	37.10	28.20	26.60	26.50	-	-	40.80	41.10	45.20	29.10	29.60	43.37	-	373.90	-
10.00	28.10	44.30	43.90	36.70	29.60	27.40	-	-	37.60	39.00	39.70	34.40	38.77	-	369.86	-	
11.00	29.30	58.30	47.40	41.80	36.10	30.20	-	-	47.90	50.00	52.10	30.10	38.88	50.00	-	644.16	-
12.00	32.20	55.50	52.60	47.40	41.80	36.20	-	-	50.30	52.70	55.30	32.70	44.50	52.77	-	658.92	-
13.00	36.80	54.20	54.90	50.60	47.00	41.70	-	-	43.30	43.00	43.00	31.60	48.55	43.10	-	752.89	-
14.00	40.70	56.20	53.70	53.20	49.90	45.70	-	-	51.60	53.20	55.00	31.40	51.13	53.27	-	650.11	-
15.00	43.40	55.00	55.40	54.30	52.10	48.60	-	-	52.50	52.70	54.00	32.70	52.60	53.07	-	519.03	-
16.00	35.80	46.70	53.60	53.90	52.10	48.60	-	-	42.70	42.60	43.60	31.40	52.05	42.97	-	343.41	-

16/03/2568										เวลา (s)/5 cm				ค่าคงที่			อัตราการหล่อ
Time	1	2	3	.4	5	6	7	8	9	10	cm/s	cm ³	ml	kg/sX10 ⁵	กม./s	กม./s	
9.00	4.31	4.22	4.19	4.30	4.30	4.20	4.20	4.10	4.10	4.40	1.18	2.09	995.85	208.00			
10.00	2.44	2.22	2.50	2.40	2.34	2.28	2.30	2.28	2.30	2.25	2.15	3.79	995.59	377.54			
11.00	1.81	1.59	1.76	1.69	1.62	1.92	1.92	1.85	1.75	1.10	2.94	5.20	995.27	517.20			
12.00	2.19	1.91	2.00	1.88	1.97	2.00	1.84	2.06	2.03	2.00	2.52	4.45	994.30	442.10			
13.00	2.50	2.47	2.66	2.66	2.40	2.35	2.31	2.31	2.60	2.31	2.04	3.60	993.03	357.25			
14.00	3.00	2.91	2.90	3.10	2.72	3.03	3.12	3.06	2.62	2.70	1.71	3.03	992.14	300.75			
15.00	5.00	3.97	4.37	3.50	3.65	3.75	3.37	3.59	3.75	4.00	1.28	2.27	991.38	224.98			
16.00												0.00	0.00	992.14	0.00		

ตาราง(s)/5 cm										ค่าคงที่ของแก๊ส			ค่าคงที่ของแก๊ส		
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	cm/s	cm ³ /s	g/l	kg/l×10 ⁵	
9.00	3.22	3.38	3.35	3.34	3.32	3.27	3.28	3.30	3.31	3.40	1.51	2.66	995.85	265.38	
10.00	2.55	2.69	2.41	2.12	2.38	2.41	2.47	2.25	2.30	2.45	2.10	3.71	995.69	369.33	
11.00	1.94	2.19	2.09	1.97	2.00	1.75	2.15	2.16	1.91	2.19	2.46	4.34	995.30	432.32	
12.00	1.94	1.97	1.91	1.82	2.00	1.85	2.05	1.65	1.90	1.97	2.62	4.64	994.47	461.20	
13.00	2.22	2.25	2.31	2.31	2.25	2.34	2.28	2.34	2.40	2.31	2.17	3.84	992.78	381.38	
14.00	2.78	2.97	2.65	3.00	3.32	2.94	2.97	3.07	2.87	2.82	1.70	3.01	991.53	298.21	
15.00	4.00	4.10	4.00	3.83	3.41	3.56	3.78	3.92	4.04	3.72	1.30	2.30	990.79	228.31	
16.00												0.00	0.00	992.92	0.00

ตารางที่ ก-17 แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณน้ำ 60 ลิตร

8/02/2548											อัตราการไหล cm ³ /s	ความหนาแน่น g/l	อัตราการหล่อล虎 ⁵ kg/sX10 ⁵			
Time	เวลา (s)/5 cm															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
9.00	2.94	2.87	2.81	2.71	2.69	2.59	2.59	2.78	2.78	1.81	3.20	996.55	319.04			
10.00	2.09	1.94	1.97	1.98	2.03	2.00	2.03	1.91	1.94	2.51	4.43	996.51	441.30			
11.00	1.63	1.63	1.69	1.60	1.70	1.72	1.62	1.72	1.75	1.59	3.00	5.31	528.96			
12.00	1.50	1.50	1.62	1.56	1.60	1.60	1.60	1.50	1.47	1.56	3.22	5.70	996.15	567.72		
13.00	1.80	1.82	1.75	1.85	1.80	1.94	1.94	1.91	1.82	1.85	2.71	4.78	995.38	476.11		
14.00	2.00	2.10	2.19	2.10	2.19	2.30	2.18	2.30	2.32	2.25	2.28	4.03	994.22	400.74		
15.00	3.09	3.03	3.20	3.19	3.00	3.16	3.09	3.09	3.09	3.16	1.61	2.84	993.00	282.73		
16.00	"เรือนรอด" อัตราการหล่อล虎										0.00	0.00	992.38	0.00		

ตารางที่ ก-18 แสดงผลการวัดอัตราการไหลในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณน้ำ 60 ลิตร

9/02/2548											อัตราการไหล cm ³ /s	ความหนาแน่น g/l	อัตราการหล่อล虎 ⁵ kg/sX10 ⁵			
Time	เวลา (s)/5 cm															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
9.00	4.32	4.23	4.40	4.45	4.34	4.41	4.45	4.43	4.25	4.23	1.15	2.03	995.92	202.33		
10.00	2.14	2.31	2.32	2.10	2.12	2.27	2.23	2.42	2.00	2.24	2.26	3.99	995.08	397.10		
11.00	1.37	1.97	2.00	1.96	1.89	1.87	1.93	1.84	1.82	2.60	4.60	994.78	457.50			
12.00	1.94	1.90	1.59	1.69	1.84	1.63	1.97	1.82	1.59	1.57	2.85	5.04	994.44	501.15		
13.00	1.94	1.81	1.91	1.91	1.75	1.73	1.79	1.85	1.81	1.87	2.72	4.81	994.88	478.72		
14.00	1.95	1.91	1.74	2.24	1.75	1.84	2.00	1.83	2.12	2.02	2.58	4.56	993.44	452.64		
15.00	2.35	2.15	2.34	2.42	2.39	2.12	2.12	2.39	2.23	2.10	2.21	3.91	992.64	388.07		
16.00	5.51	5.45	5.81	5.89	6.00	4.89	5.34	5.45	5.12	5.00	0.92	1.62	991.96	161.00		

ตารางที่ ก-19 ทดสอบการวัดอัตราการหลอมเหลวในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณรน้ำ 90 ลิตร

เวลา (s)/5 cm											ค่าเฉลี่ย			อัตราการหลอมเหลว		ความหนาแน่น	
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	cm/s	cm/s	ญล./	kg/sX105			
9.00	3.50	3.60									0.00	0.00	996.55	0.00			
10.00	1.94	2.11	1.98	2.07	2.12	2.14	1.87	2.12	2.10	1.99	1.73	3.06	995.38	304.34			
11.00	1.69	1.62	1.67	1.72	1.64	1.60	1.64	1.69	1.70	1.66	2.54	4.49	995.31	447.05			
12.00	1.59	1.55	1.50	1.41	1.61	1.60	1.44	1.67	1.68	1.54	2.85	5.04	994.16	500.72			
13.00	1.50	1.50	1.66	1.47	1.47	1.67	1.53	1.70	1.50	1.56	2.56	4.53	993.95	450.09			
14.00	1.62	1.62	1.72	1.68	1.69	1.71	1.66	1.69	1.74	1.59	2.10	3.72	993.78	369.71			
15.00	1.90	1.93	2.00	1.88	1.85	1.88	1.94	2.01	1.90	1.75	3.09	3.09	993.94	306.87			
16.00	2.94	2.99	3.12	3.10	3.11	3.12	3.15	3.15	3.09	3.21	0.00	0.00	993.50	0.00			

ตารางที่ ก-20 ทดสอบการวัดอัตราการหลอมเหลวในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณรน้ำ 90 ลิตร

เวลา (s)/5 cm											ค่าเฉลี่ย			อัตราการหลอมเหลว		ความหนาแน่น	
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	cm/s	cm/s	ญล./	kg/sX105			
9.00											0.00	0.00	997.16	0.00			
10.00	2.19	2.16	2.22	2.31	2.34	2.15	2.37	2.25	2.22	1.97	2.25	3.99	996.47	397.12			
11.00	1.75	1.94	1.72	1.75	1.75	1.88	1.75	1.81	1.97	1.94	2.74	4.84	995.72	482.01			
12.00	1.51	1.91	1.75	1.91	1.91	1.87	1.84	1.75	1.81	1.79	2.77	4.90	995.22	487.37			
13.00	1.78	1.72	1.90	1.94	1.88	1.60	1.87	1.79	1.75	1.93	2.75	4.87	994.95	484.29			
14.00	2.44	2.44	2.72	3.06	2.72	2.93	3.03	3.31	2.87	3.09	1.75	3.09	994.46	307.25			
15.00	2.82	2.68	2.97	2.84	2.75	2.66	2.75	2.54	2.34	2.50	1.86	3.29	994.22	327.31			
16.00	3.13	3.16	3.10	3.31	3.28	3.40	3.22	3.22	3.41	3.44	0.00	0.00	993.87	0.00			

ตารางที่ ก-21 แสดงผลการวัดอัตราการหลอมในวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณร้อน 90 ลิตร

วันที่/2548	เวลา (ส)/5 cm										ค่าคงที่	อัตราการหลอม	ความหนาแน่น	อัตราการหลอม
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	cm ³ /s	cm ³ /s	g/l	kg/sX105
9.00	3.15	2.81	2.90	2.81	3.07	2.85	2.87	3.00	2.84	2.94	1.71	3.02	996.93	301.37
10.00	2.44	2.54	2.43	2.32	2.30	2.45	2.35	2.31	2.40	2.56	2.07	3.67	995.65	365.18
11.00	2.07	2.25	2.37	2.35	2.20	2.16	2.16	2.19	2.25	2.20	2.25	2.98	995.36	396.32
12.00	2.16	2.10	2.06	2.25	2.15	2.22	2.25	2.22	2.41	2.28	2.26	4.00	994.83	397.90
13.00	2.07	1.94	2.13	2.00	1.94	2.12	2.13	2.09	1.94	2.10	2.44	4.32	994.65	429.72
14.00	2.22	2.13	2.22	2.10	1.93	2.06	2.00	2.03	1.90	2.22	2.40	4.25	994.17	422.29
15.00	2.25	2.25	2.37	2.25	2.28	2.44	2.22	2.31	2.25	2.25	2.19	3.87	993.88	384.14
16.00	3.56	3.44	3.59	4.06	3.91	3.80	3.85	4.10	3.81	4.00	0.00	0.00	993.58	0.00

ตารางที่ ก-22 แสดงผลการวัดอัตราการหลอมในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548 ปริมาณร้อน 90 ลิตร

วันที่/2548	เวลา (ส)/5 cm										ค่าคงที่	อัตราการหลอม	ความหนาแน่น	อัตราการหลอม
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	cm ³ /s	cm ³ /s	g/l	kg/sX105
9.00	6.40	5.97	6.25	5.56	5.79	4.89	5.54	5.50	5.65	5.50	0.88	1.55	996.35	154.37
10.00	2.78	2.84	2.90	2.75	2.81	2.88	2.86	2.84	2.87	2.82	1.76	3.12	995.46	310.37
11.00	2.40	2.41	2.45	2.31	2.35	2.25	2.22	2.34	2.35	2.25	2.14	3.79	995.04	377.00
12.00	2.25	2.13	2.12	2.13	2.00	2.20	2.19	2.18	1.97	2.19	2.34	4.14	994.47	411.54
13.00	2.19	2.31	2.22	2.15	2.15	2.25	2.28	2.25	2.32	2.18	2.24	3.96	994.41	394.16
14.00	3.40	3.56	3.57	3.60	3.50	3.50	3.62	3.47	3.44	3.35	1.43	2.52	994.22	251.02
15.00	3.75	3.75	3.63	3.80	3.72	3.60	3.85	3.65	3.75	3.65	1.35	2.38	993.73	236.35
16.00	4.66	4.84	4.69	4.91	4.75	4.68	4.53	4.72	4.90	0.00	0.00	0.00	993.50	185.15

ตารางที่ ก-23 เสด็จผลการทดสอบในวันที่ 30 ธันวาคม 2548 ปริมาณความเร็วลม 1.0m/s

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอม	ความเข้มแสง	พลังงานที่ได้	ประสิทธิภาพ		
Time	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kg/m s	W/m ²	W/m ²	%		
9.00	24.30	39.80	26.20	23.50	23.40	-	-	35.60	37.80	38.40	22.80	24.15	37.27	0.002505	447.69	162.37	36.27	
10.00	25.00	46.10	36.50	26.40	23.70	23.50	-	-	39.90	43.30	44.60	24.50	27.53	42.60	0.002837	585.62	250.36	42.73
11.00	25.60	48.90	43.50	35.20	27.10	24.20	-	-	42.70	46.40	48.50	25.70	32.50	45.87	0.003098	677.51	301.89	44.56
12.00	26.30	50.00	47.20	42.20	34.40	27.20	-	-	42.10	45.10	47.40	29.50	37.75	44.87	0.003026	692.46	297.41	42.95
13.00	30.30	52.10	49.20	46.10	41.00	33.40	-	-	45.10	46.20	48.20	29.00	42.43	46.50	0.003784	680.73	344.98	50.68
14.00	35.80	53.60	51.50	48.70	45.40	39.70	-	-	48.30	48.90	51.00	30.90	46.33	49.40	0.002545	626.30	189.43	30.25
15.00	38.80	50.60	51.70	50.50	47.90	43.60	-	-	38.00	37.30	36.60	30.70	48.43	37.30	-	529.96	-	-
16.00	30.00	45.80	50.70	49.80	47.00	43.10	-	-	31.30	31.00	30.80	29.30	47.65	31.03	-	394.07	-	-

ตารางที่ ก-24 เสด็จผลการทดสอบในวันที่ 29 ธันวาคม 2548 ปริมาณความเร็วลม 2.5m/s

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอม	ความเข้มแสง	พลังงานที่ได้	ประสิทธิภาพ		
Time	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kg/m s	W/m ²	W/m ²	%		
9.00	24.70	38.70	25.50	23.70	23.60	23.50	-	-	35.70	37.80	37.50	20.80	24.08	37.00	0.002086	465.17	122.15	26.26
10.00	25.10	45.20	35.60	25.60	23.50	23.30	-	-	38.90	41.70	41.80	22.20	27.00	40.80	0.002537	602.61	213.22	35.38
11.00	25.60	47.90	42.90	33.90	26.20	23.60	-	-	41.50	44.60	45.50	23.80	31.65	43.87	0.003116	694.31	290.64	41.86
12.00	26.40	43.20	45.30	41.00	33.10	26.40	-	-	35.90	36.40	37.40	26.70	36.45	36.57	0.002482	668.00	174.37	26.10
13.00	29.20	51.40	42.90	38.50	30.90	-	-	-	41.90	47.90	49.80	27.60	39.68	47.53	0.002990	697.62	277.55	39.78
14.00	33.80	51.20	49.20	45.50	41.80	36.50	-	-	46.20	46.30	48.60	27.70	43.25	47.03	0.002718	609.67	197.75	32.44
15.00	36.40	48.30	48.90	47.50	44.10	39.70	-	-	35.40	34.70	34.30	27.90	45.05	34.80	-	512.62	-	-
16.00	29.90	43.10	48.60	47.20	44.10	40.00	-	-	30.20	29.90	29.70	27.90	44.98	29.93	-	355.04	-	-

ตารางที่ ก-25 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 28 ธันวาคม 2548 ปริมาตรน้ำ 90 ลิตร ความเร็วอน 3.5 m/s

Date	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12		อัตราการหลอม	ความร้อน latent	หลังงานที่ได้	ปรับตัวอัตรา	รัฐเมด, ဂ.	
Time	T _i	T _o	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T _{b1}	T _{b2}	T _r	T _{p1}	T _{p2}	T _a	T _t	T _p	m	1	Qu		
9.00	25.50	46.30	24.70	24.60	24.50	-	-	42.10	45.10	44.60	23.90	24.60	43.93	0.002464	448.15	214.29	47.82		
10.00	26.20	47.00	37.30	26.70	24.80	24.70	-	-	40.80	43.60	44.90	25.60	28.38	43.10	0.002561	602.85	222.80	36.96	
11.00	26.60	50.00	44.60	35.90	27.70	25.10	-	-	42.60	45.40	47.30	28.20	33.33	45.10	0.002754	694.56	269.49	38.80	
12.00	27.30	45.80	47.30	43.10	35.30	27.80	-	-	38.90	39.80	41.20	29.80	38.38	39.97	0.002184	676.48	169.00	24.98	
13.00	30.30	44.60	47.70	45.60	41.10	33.30	-	-	36.10	35.90	35.70	28.10	41.93	35.90	0.001405	639.73	84.01	13.13	
14.00	34.00	43.10	48.20	46.10	44.00	38.20	-	-	36.60	35.90	35.60	28.70	44.13	36.03	0.001219	626.88	46.39	7.40	
15.00	33.10	41.80	47.90	45.80	44.50	40.00	-	-	37.30	36.90	36.70	28.70	44.55	36.97	-	535.02	-	-	
16.00	31.30	39.60	47.20	45.70	43.90	40.00	-	-	31.90	31.20	31.00	28.10	44.20	31.37	-	375.11	-	-	

ตารางที่ 26 เมตรชองผลการทดสอบในวันที่ 2 มกราคม 2549 ปริมาณความร้อน 40 ลิตร ความเร็วลม 1.0 m/s

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอม	ความร้อนคงเหลือ	อัตราการหลอม	ปริมาณกําลัง	
Time	°C	°C	T ₄	T ₅	T ₆	T _{b1}	T _{b2}	T _r	T _{p1}	T _{p2}	T _t	m	W/m ²	W/m ²	%	
9.00	25.40	38.90	27.00	24.30	23.70	-	37.20	38.60	38.60	22.90	25.00	38.13	343.74	-	-	
10.00	26.50	34.90	28.60	25.00	-	-	40.30	42.90	43.30	23.50	29.50	42.17	634.84	98.15	15.46	
11.00	32.00	32.50	45.70	39.10	33.00	-	-	47.00	48.60	50.40	27.10	39.27	48.67	693.08	170.33	24.58
12.00	38.30	54.60	51.20	46.80	41.50	-	-	47.60	47.40	48.80	27.50	46.50	47.93	691.53	141.18	20.42
13.00	43.50	60.30	53.70	50.20	46.80	-	-	55.60	56.10	57.70	28.90	50.23	56.47	696.34	207.03	29.73
14.00	46.40	59.70	55.60	53.50	50.40	-	-	56.50	56.00	58.00	30.90	53.17	56.83	642.16	120.61	18.78
15.00	37.90	46.70	54.00	52.80	50.70	-	-	50.00	47.00	46.40	28.90	52.50	47.80	-	528.80	-
16.00	32.00	48.00	53.40	52.70	50.70	-	-	32.50	32.40	32.30	30.60	52.27	32.40	392.64	-	-

ตารางที่ 27 เมตรชองผลการทดสอบในวันที่ 1 มกราคม 2549 ปริมาณความร้อน 40 ลิตร ความเร็วลม 2.5 m/s

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอม	ความร้อนคงเหลือ	อัตราการหลอม	ปริมาณกําลัง	
Time	°C	°C	T ₄	T ₅	T ₆	T _{b1}	T _{b2}	T _r	T _{p1}	T _{p2}	T _t	m	W/m ²	W/m ²	%	
9.00	25.30	42.90	29.50	24.60	23.90	-	-	38.30	41.70	41.70	24.60	26.00	40.57	447.17	0.00	-
10.00	28.00	49.90	41.60	34.20	28.20	-	-	43.60	47.10	47.80	27.00	34.67	46.17	601.78	88.02	14.63
11.00	35.90	56.40	49.80	44.10	38.40	-	-	50.20	53.30	54.00	28.40	44.10	52.50	660.42	137.12	20.76
12.00	40.90	53.60	53.40	50.70	46.10	-	-	48.80	48.10	50.00	31.40	50.07	48.97	691.89	83.10	12.01
13.00	45.80	62.90	55.90	52.50	50.00	-	-	57.70	55.40	57.70	31.30	52.80	56.93	696.72	244.36	35.07
14.00	47.60	58.30	57.90	55.70	52.70	-	-	57.10	56.90	58.30	32.60	55.43	57.43	642.57	122.61	19.08
15.00	45.40	54.20	56.50	55.60	53.40	-	-	52.50	49.30	47.40	29.90	55.17	49.73	564.52	-	-
16.00	33.20	30.60	55.30	54.60	52.60	-	-	32.30	32.00	31.70	29.50	54.17	32.00	432.50	-	-

ตารางที่ 28 เมตริกส์ถ่ายภาพทดสอบในวันที่ 31 ธันวาคม 2548 ณ ริมแม่น้ำ 40 ติ่งร ความเร็วลม 3.5 m/s

Date	CH01	CH02	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	อัตราการหลอมเหลว	ความเข้มแสง	ผลิตภัณฑ์ต่อชั่วโมง	ปรับสัมภาระพื้นผิว
Time	T _g	T _d	T ₄	T ₅	T ₆	T ₁₆	T ₆₂	T _{p1}	T _{p2}	T _u	T _t	m	W/m ²	W/m ²	%
9.00	26.90	23.90	24.10	23.90	-	-	29.10	28.80	28.70	21.20	23.97	28.87	-	120.46	-
10.00	24.00	31.40	25.30	24.40	24.10	-	-	30.40	30.50	30.70	22.60	24.60	30.53	-	334.47
11.00	25.10	42.90	29.70	25.90	24.50	-	-	38.40	40.90	41.80	25.20	26.70	40.37	0.002113	602.88
12.00	27.40	43.80	38.90	33.20	28.20	-	-	37.40	38.10	39.20	27.80	33.43	38.23	0.001918	646.84
13.00	32.60	52.60	43.90	39.10	34.80	-	-	47.20	48.90	49.90	28.70	39.27	48.67	0.002274	580.84
14.00	37.50	47.90	48.80	45.50	40.90	-	-	45.80	45.80	46.70	29.80	45.07	46.10	0.001240	477.94
15.00	38.90	48.80	47.00	45.60	42.80	-	-	40.00	38.80	37.90	28.70	45.13	38.90	-	463.39
16.00	30.80	42.60	46.60	45.40	43.50	-	-	30.90	30.70	30.70	29.10	45.17	30.77	-	339.49

國立臺灣文博館典藏圖書
卷之二十九

၁၂၃၈၅၇ ၂-၃၀ မြန်မာနိုင်ငြာနှင့် ၁၂၃၈၅၉ ၂၅၄၉

ตามที่ ก-3 แสดงผลการวัดอัตราการหลอมในวันที่ 31 ธันวาคม 2548 ปริมาณต่ำกว่า 40 สิบ กิโลกรัม/km² หรือ 3.5 m/s

ທ່ານທີ່ມະນຸຍາ-ບໍລິສັດ ຖະແຫຼງການ ໂດຍມີຄວາມຮັດຮັດໃຫຍ້ເປົ້າມາຈະໄດ້ຮັດຮັດໄດ້

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบการทํางานสำเร็จ

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการทดลองในวันที่ 4-5 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s

ปริมาตรรังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	28.7	28.2	28.6	20.9	26.9	26.7	89.9	0.14
21.15	28.6	28.3	28.5	12.5	26.9	26.8	95.3	0.11
21.30	28.6	28.1	28.4	20.9	26.7	26.8	92.3	0.08
21.45	28.4	28.1	28.4	12.5	26.7	27.0	93.5	0.27
22.00	28.2	27.9	28.1	12.5	26.6	26.6	92.6	0.61
22.15	28.0	27.8	27.9	8.4	26.5	26.5	89.3	0.34
22.30	28.0	27.7	27.8	12.5	26.3	26.5	89.8	0.75
22.45	27.7	27.8	27.7	-4.2	26.5	26.7	89.8	0.30
23.00	27.6	27.7	27.5	-4.2	26.4	26.8	89.3	0.33
23.15	27.5	27.7	27.6	-8.4	26.4	26.9	89.6	0.48
23.30	27.4	27.5	27.4	-4.2	26.2	26.6	89.3	1.14
23.45	27.4	27.4	27.3	0.0	26.2	26.8	89.2	0.60
0.00	27.3	27.3	27.2	0.0	26.1	26.6	89.3	0.41
0.15	27.2	27.3	27.2	-4.2	26.2	26.8	89.0	0.33
0.30	27.2	27.2	27.1	0.0	26.1	26.9	89.1	0.05
0.45	27.2	27.2	27.1	0.0	26.1	26.8	87.5	0.49
1.00	27.1	27.2	27.1	-4.2	26.1	27.0	99.1	0.18
1.15	27.1	27.1	27.0	0.0	26.0	27.0	88.1	0.61
1.30	27.1	27.0	26.9	4.2	26.1	27.1	87.7	0.20
1.45	27.0	27.0	26.9	0.0	26.2	27.1	87.5	0.88
2.00	27.0	26.9	26.8	4.2	26.2	27.1	97.6	0.38
2.15	26.9	27.0	26.8	-4.2	26.1	27.1	87.7	0.16
2.30	27.0	26.9	26.8	4.2	26.0	26.9	87.6	0.38
2.45	26.8	26.8	26.8	0.0	26.1	27.0	87.7	0.16
3.00	26.8	26.8	26.8	0.0	26.1	27.1	87.6	0.26
3.15	26.8	26.8	26.7	0.0	26.0	26.9	88.4	0.55
3.30	26.8	26.8	26.7	0.0	26.2	27.0	88.5	0.67
3.45	26.8	26.8	26.8	0.0	26.1	26.9	88.6	0.39
4.00	26.8	26.8	26.7	0.0	26.2	26.8	88.3	0.99
4.15	26.8	26.8	26.8	0.0	26.1	26.8	89.1	0.20
4.30	26.8	26.8	26.7	0.0	26.1	26.7	88.3	0.25
4.45	26.7	26.8	26.7	-4.2	26.0	26.7	89.2	0.37
5.00	26.8	26.7	26.6	4.2	26.0	26.8	89.2	0.09
5.15	26.8	26.8	26.7	0.0	26.1	26.5	89.0	0.18
5.30	26.8	26.7	26.6	4.2	26.0	26.6	88.7	0.47
5.45	26.7	26.7	26.7	0.0	26.0	26.8	88.6	0.45
6.00	26.8	26.7	26.6	4.2	26.1	26.8	88.4	0.45

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 5-6 กรกฎาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	29.4	28.9	29.2	41.8	27.6	27.9	88.1	0.22
21.15	29.3	28.8	28.9	41.8	27.6	27.8	88.8	0.04
21.30	29.3	28.9	29.0	33.5	27.7	28.4	87.9	0.25
21.45	29.2	28.5	28.7	58.5	27.3	28.1	88.0	0.05
22.00	29.2	28.6	28.8	50.2	27.4	28.0	92.2	0.03
22.15	28.8	28.4	28.7	33.5	27.2	27.6	92.2	0.05
22.30	28.8	28.3	28.4	41.8	27.0	27.8	89.7	0.51
22.45	28.8	28.2	28.3	50.2	27.1	27.5	93.3	0.05
23.00	28.4	28.0	28.2	33.5	26.6	27.3	94.3	0.14
23.15	28.5	28.0	28.1	41.8	26.7	27.2	95.7	0.21
23.30	28.3	27.8	27.9	41.8	26.6	27.1	95.4	0.08
23.45	28.1	27.5	27.8	50.2	26.4	27.1	95.8	0.10
0.00	28.1	27.5	27.7	50.2	26.4	26.9	96.8	0.09
0.15	28.0	27.4	27.5	50.2	26.2	26.9	97.1	0.17
0.30	27.8	27.3	27.5	41.8	26.2	27.1	97.4	0.16
0.45	27.8	27.2	27.4	50.2	26.1	26.7	98.4	0.20
1.00	27.6	27.2	27.3	33.5	25.9	26.6	99.1	0.02
1.15	27.5	27.0	27.2	41.8	25.8	26.6	97.1	0.07
1.30	27.4	27.0	27.2	33.5	26.0	26.8	98.4	0.02
1.45	27.2	26.9	27.1	25.1	25.7	26.6	97.7	0.43
2.00	27.2	26.7	26.9	41.8	25.7	26.8	97.8	0.15
2.15	27.1	26.7	26.8	33.5	25.7	26.8	95.5	0.18
2.30	27.0	26.4	26.7	50.2	25.3	26.5	97.5	0.12
2.45	27.0	26.5	26.8	41.8	25.6	26.5	98.6	0.08
3.00	27.0	26.4	26.5	50.2	25.2	26.0	98.8	0.07
3.15	26.8	26.2	26.5	50.2	25.2	26.1	98.7	0.37
3.30	26.7	26.5	26.3	16.7	25.6	26.1	97.5	0.04
3.45	26.6	26.2	26.3	33.5	25.1	25.9	97.8	0.26
4.00	26.6	26.1	26.3	41.8	24.9	25.8	97.5	0.02
4.15	26.5	26.0	26.2	41.8	24.8	25.8	99.0	0.15
4.30	26.5	25.9	26.1	50.2	24.8	25.8	98.2	0.02
4.45	26.2	25.8	26.0	33.5	24.8	25.8	98.3	0.06
5.00	26.2	25.7	25.9	41.8	24.7	25.6	98.2	0.15
5.15	26.1	25.6	25.9	41.8	24.6	25.8	97.3	0.14
5.30	26.1	25.5	25.7	50.2	24.6	25.5	98.0	0.38
5.45	25.9	25.4	25.5	41.8	24.3	25.2	97.6	0.09
6.00	25.6	25.3	25.5	25.1	24.4	25.5	97.2	0.37

ตารางที่ ข-3 แสดงผลการทดลองในวันที่ 31-1 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00								
21.15								
21.30								
21.45								
22.00	24.1	24.5	27.5	-33.5	24.3	25.6	89.4	0.22
22.15	27.1	26.8	27.0	25.1	25.7	25.8	89.6	0.26
22.30	27.1	26.8	26.8	25.1	25.8	25.8	89.7	0.43
22.45	27.0	26.8	26.8	16.7	25.8	25.8	89.7	0.09
23.00	26.8	26.5	26.6	25.1	25.5	25.7	89.4	0.12
23.15	26.7	26.4	26.5	25.1	25.6	25.7	89.7	0.44
23.30	26.5	26.2	26.4	25.1	25.4	25.6	89.0	0.70
23.45	26.4	26.1	26.1	25.1	25.2	25.3	89.9	0.02
0.00	26.4	26.0	26.0	33.5	25.1	25.5	89.7	0.19
0.15	26.1	25.8	25.9	25.1	25.0	25.6	89.0	0.30
0.30	26.2	25.8	25.9	33.5	24.8	25.5	90.1	0.73
0.45	26.0	25.8	25.8	16.7	25.0	25.5	89.5	0.17
1.00	25.8	25.6	25.7	16.7	24.9	25.4	90.0	0.62
1.15	25.7	25.5	25.5	16.7	24.8	25.5	89.6	0.38
1.30	25.6	25.5	25.5	8.4	24.8	25.3	90.1	0.13
1.45	25.6	25.5	25.5	8.4	25.0	25.4	90.7	0.28
2.00	25.5	25.4	25.5	8.4	24.8	25.4	90.9	0.62
2.15	25.5	25.3	25.4	16.7	24.6	25.2	91.0	0.25
2.30	25.3	25.2	25.3	8.4	24.6	25.2	90.7	0.18
2.45	25.2	25.0	25.2	16.7	24.3	24.9	91.4	0.09
3.00	25.2	25.0	25.1	16.7	24.3	25.1	91.6	0.38
3.15	25.2	25.0	25.0	16.7	24.3	24.8	91.7	0.11
3.30	25.1	24.9	25.0	16.7	24.2	24.9	91.7	1.35
3.45	25.2	25.0	25.1	16.7	24.1	25.2	92.6	0.08
4.00	25.1	24.8	25.0	25.1	24.1	24.9	92.9	0.09
4.15	25.0	24.9	24.9	8.4	24.1	25.0	93.2	0.13
4.30	25.1	24.9	24.8	16.7	24.3	24.9	91.5	0.55
4.45	24.9	24.8	24.9	8.4	24.2	24.9	91.3	0.16
5.00	25.0	25.0	25.0	0.0	24.4	25.1	91.1	0.10
5.15	25.0	24.9	24.9	8.4	24.4	25.2	90.9	0.34
5.30	24.9	24.9	24.8	0.0	24.4	25.2	89.8	0.31
5.45	25.0	24.8	24.8	16.7	24.4	25.2	90.1	0.09
6.00	25.0	25.1	25.0	0.0	24.8	25.2	89.8	0.39

ตารางที่ ข-4 แสดงผลการทดลองในวันที่ 20-21 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร

ตารางที่ ข-5 แสดงผลการทดลองในวันที่ 22-23 มิถุนายน 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00								
21.15								
21.30	32.0	31.5	31.3	62.7	29.3	28.6	81.0	0.18
21.45	31.4	31.0	31.2	50.2	29.0	27.9	80.6	0.11
22.00	31.3	30.7	30.7	75.3	28.6	27.4	80.1	0.27
22.15	30.9	30.4	30.6	62.7	28.4	27.1	83.3	0.34
22.30	30.8	30.3	30.3	62.7	28.4	27.5	83.6	0.10
22.45	30.7	30.3	30.2	50.2	28.1	27.1	84.4	0.25
23.00	30.2	29.5	29.7	87.8	27.7	26.8	84.8	0.06
23.15	30.2	29.5	29.6	87.8	27.5	26.9	86.9	0.37
23.30	30.0	29.4	29.4	75.3	27.5	27.2	88.5	0.14
23.45	29.6	28.9	29.2	87.8	27.1	26.5	89.4	0.08
0.00	29.4	28.7	28.8	87.8	26.9	26.1	89.7	0.16
0.15	29.3	28.6	28.8	87.8	26.8	26.3	88.1	0.66
0.30	28.8	28.3	28.3	62.7	26.4	26.1	88.5	0.46
0.45	28.8	28.4	28.3	50.2	26.5	25.7	88.1	0.56
1.00	28.4	28.0	28.0	50.2	26.2	25.7	88.2	0.70
1.15	28.3	27.8	27.9	62.7	26.1	25.8	88.3	1.04
1.30	28.1	27.6	27.7	62.7	26.0	25.8	88.7	0.30
1.45	27.9	27.5	27.6	50.2	26.0	25.7	90.0	0.06
2.00	27.8	27.4	27.5	50.2	25.9	25.6	89.6	0.17
2.15	27.7	27.2	27.3	62.7	25.9	25.9	89.1	0.52
2.30	27.5	27.2	27.2	37.6	25.8	25.8	89.9	0.66
2.45	27.4	27.1	27.2	37.6	25.7	25.5	90.5	0.02
3.00	27.3	27.0	27.1	37.6	25.7	26.2	90.0	0.47
3.15	27.3	26.9	26.9	50.2	25.5	25.8	90.8	0.65
3.30	27.1	26.7	26.8	50.2	25.5	25.9	90.1	0.35
3.45	27.1	26.7	26.7	50.2	25.4	26.1	90.9	0.16
4.00	26.9	26.5	26.7	50.2	25.3	25.8	91.3	0.37
4.15	26.8	26.4	26.6	50.2	25.1	26.0	92.2	0.48
4.30	26.7	26.3	26.4	50.2	25.1	25.6	92.2	0.56
4.45	26.7	26.2	26.4	62.7	25.0	25.7	93.0	0.30
5.00	26.5	26.0	26.2	62.7	25.0	25.6	92.8	0.48
5.15	26.5	25.9	26.2	75.3	24.8	25.5	94.0	0.34
5.30	26.4	25.8	26.1	75.3	24.8	25.5	93.5	0.25
5.45	26.6	25.9	26.1	87.8	24.8	25.5	94.8	0.20
6.00	26.3	26.0	26.0	37.6	25.1	25.7	93.3	0.45

ตารางที่ ข-6 แสดงผลการทดลองในวันที่ 30-1 ตุลาคม 2548 อัตราการไฟล 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	27.9	27.5	27.5	50.2	25.6	26.5		
21.15	27.5	27.1	27.1	50.2	25.6	25.8		
21.30	27.4	26.7	26.9	87.8	25.9	25.3		
21.45	27.1	26.5	26.5	75.3	25.3	25.0		
22.00	27.2	26.6	26.7	75.3	25.0	25.4	91.7	
22.15	27.0	26.5	26.5	62.7	24.6	25.0		
22.30	26.8	26.4	26.4	50.2	24.8	25.2		
22.45	26.8	26.5	26.6	37.6	24.7	25.7		
23.00	26.8	26.3	26.4	62.7	25.0	25.8		
23.15	26.7	26.2	26.2	62.7	25.4	25.2		
23.30	26.8	26.5	26.5	37.6	25.1	25.6		
23.45	26.8	26.3	26.3	62.7	24.9	25.5		
0.00	26.5	26.1	26.1	50.2	25.1	25.2		
0.15	26.3	25.8	25.8	62.7	25.0	25.0		
0.30	26.2	25.7	25.7	62.7	24.7	24.8		
0.45	26.3	25.7	25.6	75.3	24.4	25.1		
1.00	25.9	25.4	25.3	62.7	24.4	24.7	94.9	
1.15	26.0	25.5	25.5	62.7	24.4	24.9		
1.30	25.8	25.4	25.4	50.2	24.0	24.8		
1.45	25.8	25.3	25.4	62.7	24.2	24.9		
2.00	25.9	25.5	25.4	50.2	24.0	25.2		
2.15	25.7	25.4	25.4	37.6	24.1	25.0		
2.30	25.6	25.3	25.2	37.6	24.2	24.9		
2.45	25.6	25.4	25.3	25.1	24.1	25.0		
3.00	25.6	25.2	25.2	50.2	24.0	25.0		
3.15	25.2	25.0	24.9	25.1	23.9	24.8		
3.30	25.3	24.9	24.8	50.2	24.3	24.5		
3.45	25.2	25.0	25.0	25.1	23.9	24.7		
4.00	25.4	25.1	25.0	37.6	23.6	25.0	95.7	
4.15	25.3	25.1	25.0	25.1	23.9	25.2		
4.30	25.0	24.7	24.5	37.6	24.3	24.6		
4.45	25.2	25.1	25.0	12.5	24.6	25.3		
5.00	25.2	25.0	25.0	25.1	23.8	25.3		
5.15	25.2	25.1	25.1	12.5	24.5	25.5		
5.30	25.2	25.0	24.8	25.1	24.4	25.2		
5.45	25.1	24.8	24.7	37.6	24.7	24.6		
6.00	25.1	24.8	24.7		24.5	24.7		

ตารางที่ ข-7 แสดงผลการทดลองในวันที่ 7-8 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00								
21.15	27.8	27.8	28.1	0.0	27.1	27.3	83.3	0.09
21.30	27.8	27.7	27.9	4.2	27.1	27.2	83.3	0.03
21.45	27.8	27.8	28.0	0.0	27.2	27.3	83.8	0.20
22.00	27.8	27.7	27.8	4.2	26.9	27.2	84.3	0.30
22.15	27.8	27.7	27.8	4.2	26.9	27.2	84.1	0.22
22.30	27.8	27.7	27.7	4.2	26.9	27.2	85.3	0.23
22.45	27.8	27.4	27.6	16.7	25.9	26.5	88.0	0.36
23.00	27.8	27.2	27.5	25.1	25.9	26.1	91.5	0.17
23.15	27.7	27.2	27.4	20.9	25.8	26.1	92.8	0.16
23.30	27.5	27.1	27.2	16.7	25.9	25.6	95.3	0.15
23.45	27.3	26.9	26.9	16.7	25.5	25.1	96.1	0.15
0.00	27.3	27.0	27.1	12.5	25.7	25.5	96.1	0.11
0.15	27.2	27.0	26.9	8.4	25.7	25.5	96.0	0.14
0.30	27.0	26.7	26.8	12.5	25.7	25.5	96.6	0.50
0.45	27.0	26.5	26.7	20.9	25.8	25.7	97	0.24
1.00	26.7	26.0	26.4	29.3	25.2	25.0	96.5	0.79
1.15	26.7	26.1	26.5	25.1	25.4	25.3	96.4	0.16
1.30	26.7	26.0	26.4	29.3	25.4	25.5	96.2	0.26
1.45	26.6	26.0	26.3	25.1	25.4	25.2	96.4	0.18
2.00	26.4	25.8	26.2	25.1	25.1	25.0	96.2	0.90
2.15	26.3	25.7	26.0	25.1	24.9	24.9	97.0	0.20
2.30	26.5	25.8	26.1	29.3	25.0	25.1	99.3	0.01
2.45	26.4	25.6	26.0	33.5	24.9	25.0	99.4	0.07
3.00	26.3	25.7	26.0	25.1	25.1	25.2	98.7	0.33
3.15	26.0	25.6	25.9	16.7	24.9	25.1	98.0	0.37
3.30	26.1	25.6	25.8	20.9	25.0	25.3	97.7	0.51
3.45	26.1	25.5	25.8	25.1	24.9	25.2	97.1	0.32
4.00	26.0	25.5	25.8	20.9	24.9	25.4	97.0	0.09
4.15	25.9	25.5	25.8	16.7	24.9	25.5	96.7	0.32
4.30	25.8	25.4	25.7	16.7	24.7	25.4	97.1	0.12
4.45	25.8	25.3	25.5	20.9	24.8	25.3	96.5	0.42
5.00	25.8	25.5	25.6	12.5	24.9	25.6	95.7	0.26
5.15	25.8	25.5	25.5	12.5	24.9	25.6	95.8	0.14
5.30	25.7	25.2	25.5	20.9	24.7	25.5	97.0	0.42
5.45	25.7	25.2	25.5	20.9	24.8	25.5	96.1	0.07
6.00	25.8	25.3	25.5	20.9	24.7	25.5	95.8	0.13

ตารางที่ ข-8 แสดงผลการทดลองในวันที่ 3-4 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

ตารางที่ ข-9 แสดงผลการทดลองในวันที่ 2-3 ตุลาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	29.7	28.6	29.2	92.0	27.3	26.9		
21.15	29.8	28.8	29.2	33.6	27.3	26.8		
21.30	29.2	28.3	29.1	75.3	27.0	26.8		
21.45	29.2	28.2	29	83.6	27.1	26.8		
22.00	28.9	28.3	28.9	50.2	26.9	26.8	89.6	
22.15	28.8	28	28.6	66.9	26.5	26.5		
22.30	28.9	27.9	28.5	83.6	26.5	26.5		
22.45	28.4	27.7	28.4	58.5	26.4	26.5		
23.00	28.5	27.6	28.1	75.3	26.3	26.5		
23.15	28.4	27.5	28	75.3	26.3	26.6		
23.30	28.1	27.4	27.9	58.5	26.1	26.8		
23.45	28	27.2	27.8	66.9	26.0	26.7		
0.00	27.7	27.1	27.7	50.2	25.9	26.2		
0.15	27.7	27.1	27.5	50.2	25.9	26.4		
0.30	27.6	27.1	27.4	41.8	25.9	26.4		
0.45	27.4	26.9	27.3	41.8	25.7	26.3		
1.00	27.1	26.8	27.2	25.1	25.9	26.5	95.8	
1.15	27.2	26.7	27.1	41.8	25.5	25.9		
1.30	27.1	26.6	27.0	41.8	25.3	25.8		
1.45	27.1	26.6	27.0	41.8	25.3	25.7		
2.00	26.9	26.4	26.8	41.8	25.1	25.7		
2.15	26.7	26.2	26.6	41.8	25.1	25.5		
2.30	26.5	26.0	26.5	41.8	24.9	25.5		
2.45	26.4	26.0	26.3	33.5	24.8	25.4		
3.00	26.5	25.8	26.2	58.5	24.7	25.2		
3.15	26.2	25.7	26.2	41.8	24.6	25.2		
3.30	26.3	25.8	26.1	41.8	24.6	25.5		
3.45	26.0	25.7	26.1	25.1	24.8	25.5		
4.00	25.8	25.6	25.9	16.7	24.6	25.6	95.8	
4.15	26.0	25.5	25.8	41.8	24.6	25.5		
4.30	25.6	25.5	25.8	8.4	24.7	25.6		
4.45	25.6	25.6	25.7	0.0	24.8	25.5		
5.00	25.6	25.4	25.7	16.7	24.7	25.7		
5.15	25.6	25.2	25.5	33.5	24.3	25.4		
5.30	25.7	25.1	25.5	50.2	24.3	25.2		
5.45	25.6	25.0	25.3	50.2	24.1	25.2		
6.00	25.5	25.0	25.3	50.2	24.2	25.0		

ตารางที่ ข-10 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 19-20 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s ลิตร

ปริมาตรรถังเก็บ 110

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	26.6	26.0	26.6	75.3	24.5	23.3		
21.15	26.7	26.0	26.4	87.8	24.6	23.5		
21.30	26.4	26.0	26.3	50.2	24.8	23.5	95.1	0.06
21.45	26.2	25.8	26.1	50.2	24.6	23.3	97.0	0.23
22.00	25.9	25.7	25.8	25.1	24.3	23.3	96.6	0.28
22.15	25.8	25.5	25.7	37.6	24.3	23.3	97.6	0.16
22.30	25.8	25.6	25.7	25.1	24.3	23.3	98.5	0.23
22.45	25.5	25.3	25.5	25.1	24.2	23.3	99.0	0.17
23.00	25.4	25.2	25.2	25.1	24.0	23.2	98.9	0.10
23.15	25.4	25.1	25.2	37.6	24.1	23.5	99.0	0.08
23.30	25.3	25.2	25.4	12.5	24.2	23.3	97.1	0.25
23.45	25.1	24.8	25.0	37.6	23.7	22.9	96.5	0.07
0.00	25.1	25.0	25.0	12.5	23.7	22.8	95.5	0.26
0.15	25.2	25.0	25.0	25.1	23.9	23.0	95.4	0.19
0.30	25.0	25.0	25.0	0.0	24.0	23.4	95.4	0.22
0.45	25.0	24.8	24.8	25.1	23.8	23.2	97.2	0.13
1.00	25.1	25.0	25.0	12.5	23.9	23.0	96.8	0.21
1.15	25.0	24.9	25.0	12.5	24.0	23.1	97.0	0.07
1.30	25.0	24.8	24.8	25.1	23.9	23.0	97.3	0.23
1.45	24.9	24.8	24.8	12.5	23.9	23.3	98.0	0.05
2.00	25.1	25.0	25.0	12.5	24.2	23.3	98.1	0.07
2.15	24.9	24.9	24.9	0.0	24.0	23.2	98.0	0.11
2.30	24.9	24.8	24.8	12.5	24.0	23.2	98.2	0.04
2.45	24.7	24.7	24.7	0.0	23.9	23.2	99.3	0.04
3.00	24.7	24.6	24.6	12.5	23.9	23.1	98.7	0.17
3.15	24.6	24.5	24.5	12.5	23.6	22.8	98.9	0.16
3.30	24.7	24.7	24.7	0.0	23.9	23.2	98.8	0.07
3.45	24.8	24.7	24.6	12.5	24.0	23.8	99.0	0.02
4.00	24.6	24.5	24.6	12.5	24.0	23.5	99.1	0.09
4.15	24.7	24.5	24.6	25.1	23.9	23.3	99.1	0.10
4.30	24.8	24.5	24.7	37.6	23.9	23.2	99.3	0.14
4.45	24.5	24.3	24.3	25.1	23.5	22.9	98.3	0.07
5.00	24.7	24.4	24.5	37.6	23.5	22.9	98.4	0.27
5.15	24.7	24.5	24.5	25.1	23.9	23.3	98.7	0.14
5.30	24.7	24.5	24.5	25.1	24.0	23.5	98.8	0.16
5.45	24.7	24.6	24.7	12.5	24.0	23.4	97.8	0.20
6.00	24.8	24.6	24.7	25.1	24.1	24.2	97.7	0.18

ตารางที่ ข-11 แสดงผลการทดลองในวันที่ 29-30 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	28.7	28.5	28.5	25.1	27.2	27.5		
21.15	28.4	28.2	28.1	25.1	26.8	26.9		
21.30	28.2	28.2	28.1	0.0	26.6	26.5		
21.45	28.1	28.1	28.0	0.0	26.7	26.6		
22.00	28.4	28.4	28.4	0.0	27.2	27.1	88.2	
22.15	28.3	28.2	28.2	12.5	27.0	26.8		
22.30	28.0	27.8	27.7	25.1	26.3	26.7		
22.45	28.1	27.9	27.9	25.1	26.7	27.1		
23.00	27.9	27.6	27.5	37.6	26.1	26.2		
23.15	28.1	27.8	27.7	37.6	26.4	26.6		
23.30	27.8	27.5	27.4	37.6	25.9	26.0		
23.45	27.7	27.4	27.4	37.6	25.9	26.2		
0.00	27.8	27.5	27.4	37.6	26.1	26.5		
0.15	27.5	27.4	27.3	12.5	25.9	26.2		
0.30	27.5	27.2	27.1	37.6	25.7	25.8		
0.45	27.5	27.1	27.0	50.2	25.5	25.7		
1.00	27.4	27.1	27.0	37.6	25.5	25.9	89.6	
1.15	27.3	27.0	26.8	37.6	25.3	25.7		
1.30	27.2	27.0	26.9	25.1	25.4	25.8		
1.45	27.1	26.8	26.7	37.6	25.1	25.4		
2.00	27.2	27.0	26.9	25.1	25.4	25.8		
2.15	27.1	26.9	26.9	25.1	25.5	25.9		
2.30	27.1	26.8	26.7	37.6	25.4	25.6		
2.45	26.9	26.5	26.5	50.2	25.1	25.8		
3.00	26.9	26.7	26.8	25.1	25.5	26.1		
3.15	27.1	26.7	26.7	50.2	25.5	26.1		
3.30	26.7	26.4	26.4	37.6	25.2	25.7		
3.45	26.5	26.2	26.0	37.6	24.8	25.0		
4.00	26.7	26.5	26.4	25.1	25.2	25.7	94.2	
4.15	26.7	26.5	26.5	25.1	25.5	26.1		
4.30	26.7	26.4	26.4	37.6	25.5	26.2		
4.45	26.4	25.9	25.8	62.7	24.6	25.0		
5.00	26.3	26.0	25.8	37.6	24.7	25.4		
5.15	26.4	26.0	26.0	50.2	24.7	25.5		
5.30	26.2	25.9	25.8	37.6	24.7	25.5		
5.45	26.1	25.8	25.7	37.6	24.6	25.1		
6.00	26.1	25.8	25.7	37.6	24.7	25.2		

ตารางที่ ข-12 แสดงผลการทดลองในวันที่ 12-13 สิงหาคม 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00								
21.15								
21.30	26.1	25.5	27.4	75.3	25.2	27.1	85.7	0.12
21.45	27.1	27.2	27.4	-12.5	26.0	27.1	85.8	0.17
22.00	27.2	27.2	27.2	0.0	26.3	26.8	86.0	0.14
22.15	27.1	27.2	27.2	-12.5	26.2	26.6	86.4	0.10
22.30	27.2	27.1	27.1	12.5	26.2	26.6	87.9	0.08
22.45	27.2	27.1	27.1	12.5	26.1	26.5	87.7	0.10
23.00	27.2	27.0	27.1	25.1	26.0	26.5	88.0	0.24
23.15	27.2	27.0	27.1	25.1	26.1	26.5	88.6	0.06
23.30	27.1	27.0	27.0	12.5	26.1	26.7	88.1	0.26
23.45	27.1	27.0	27.0	12.5	26.1	26.5	88.7	0.10
0.00	27.1	26.9	27.0	25.1	26.1	26.5	88.4	0.06
0.15	27.1	26.8	26.9	37.6	26.0	26.3	89.7	0.06
0.30	27.0	26.8	26.8	25.1	25.9	26.2	89.5	0.09
0.45	26.8	26.5	26.6	37.6	25.6	25.9	90.2	0.31
1.00	26.8	26.6	26.7	25.1	25.6	26.1	90.6	0.10
1.15	26.8	26.6	26.6	25.1	25.7	26.0	90.2	0.12
1.30	26.8	26.5	26.6	37.6	25.7	25.9	89.6	0.04
1.45	26.7	26.4	26.5	37.6	25.5	26.0	89.6	0.15
2.00	26.7	26.5	26.5	25.1	25.6	25.9	90.8	0.32
2.15	26.5	26.4	26.4	12.5	25.6	26.2	90.4	0.02
2.30	26.5	26.3	26.4	25.1	25.4	26.1	90.8	0.08
2.45	26.5	26.3	26.4	25.1	25.4	26.2	90.5	0.26
3.00	26.5	26.3	26.3	25.1	25.6	26.1	90.0	0.12
3.15	26.3	26.3	26.3	0.0	25.5	26.1	89.8	0.07
3.30	26.3	26.2	26.2	12.5	25.4	25.9	90.2	0.25
3.45	26.3	26.1	26.1	25.1	25.5	25.9	89.8	0.10
4.00	26.3	26.0	26.0	37.6	25.2	25.8	89.8	0.03
4.15	26.4	26.1	26.0	37.6	25.3	25.8	90.8	0.24
4.30	26.1	25.8	25.9	37.6	25.1	25.8	90.1	0.18
4.45	26.2	26.0	25.9	25.1	25.2	25.8	87.1	0.14
5.00	26.1	25.9	25.9	25.1	25.1	25.8	86.6	0.17
5.15	26.0	25.8	25.8	25.1	25.3	25.9	88.6	0.10
5.30	26.0	25.8	25.8	25.1	25.2	25.8	88.7	0.37
5.45	26.0	25.8	25.8	25.1	25.2	25.8	88.4	0.09
6.00	26.1	26.0	26.0	12.5	25.4	25.9	88.5	0.22

ตารางที่ ข-13 แสดงผลการทดลองในวันที่ 8-9 สิงหาคม 2548 อัตราการไหลด 0.01 kg/s

ปริมาตรรังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00								
21.15								
21.30	28.3	26.4	28.6	79.5	25.5	25.8	90.3	0.94
21.45	28.3	26.4	28.5	79.5	25.5	25.8	90.8	0.84
22.00	28.2	26.0	28.3	92.0	25.2	24.7	91.8	0.26
22.15	27.9	26.4	28.1	62.7	25.3	24.6	95.5	0.31
22.30	27.8	26.5	27.8	54.4	25.6	24.8	95.8	0.22
22.45	27.7	26.5	27.7	50.2	25.5	24.5	96.5	0.04
23.00	27.8	26.1	27.5	71.1	25.0	24.6	96.6	0.43
23.15	27.5	25.8	27.4	71.1	25.0	24.8	97.5	0.10
23.30	27.2	25.6	27.2	66.9	24.8	24.5	97.5	0.15
23.45	27.0	25.6	27.0	58.5	24.8	24.3	97.4	0.50
0.00	27.0	25.4	26.9	66.9	24.6	24.5	97.4	0.45
0.15	26.8	25.1	26.8	71.1	24.6	24.3	97.5	0.61
0.30	26.7	24.9	26.6	75.3	24.4	24.1	97.3	0.34
0.45	26.5	25.0	26.6	62.7	24.4	24.2	97.7	0.35
1.00	26.4	24.8	26.4	66.9	24.2	24.0	97.7	0.80
1.15	26.2	24.7	26.2	62.7	24.0	23.9	98.2	1.00
1.30	25.9	24.5	25.8	58.5	23.9	23.5	98.9	0.23
1.45	25.8	24.1	25.7	71.1	23.5	23.3	99.9	0.59
2.00	25.4	24.2	25.5	50.2	23.6	23.2	97.9	0.04
2.15	25.3	24.2	25.4	46.0	23.6	23.0	97.3	0.96
2.30	25.2	24.2	25.2	41.8	23.6	23.2	97.1	0.06
2.45	25.1	24.1	25.2	41.8	23.4	23.2	96.3	0.31
3.00	25.0	23.9	25.0	46.0	23.3	23.1	95.7	0.40
3.15	24.8	23.9	25.0	37.6	23.3	23.1	96.9	0.16
3.30	24.7	23.7	24.8	41.8	23.3	23.3	95.9	0.32
3.45	24.7	23.6	24.6	46.0	23.2	23.3	96.6	1.30
4.00	24.6	23.7	24.6	37.6	23.1	23.2	97.6	0.79
4.15	24.5	23.6	24.5	37.6	23.2	23.3	98.0	0.15
4.30	24.3	23.6	24.4	29.3	23.1	23.3	97.8	0.22
4.45	24.4	23.7	24.4	29.3	23.2	23.5	97.9	0.43
5.00	24.2	23.7	24.2	20.9	23.4	23.6	96.7	0.22
5.15	24.3	23.7	24.3	25.1	23.4	23.8	97.2	0.43
5.30	24.2	23.7	24.2	20.9	23.4	23.7	97.1	0.16
5.45	24.1	23.7	24.2	16.7	23.5	23.9	96.4	0.47
6.00	24.0	23.7	24.1	12.5	23.4	23.6	96.4	0.18

ตารางที่ ข-14 แสดงผลการทดลองในวันที่ 17-18 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH .%	V _w m/s
21.00								
21.15								
21.30								
21.45								
22.00	28.5	27.4	28.4	46.0	26.9	28.4	86.6	0.06
22.15	28.5	27.4	28.3	46.0	26.8	28.2	87.4	0.11
22.30	28.7	27.4	28.1	54.4	26.7	28.6	88.5	0.17
22.45	28.6	27.4	28.2	50.2	26.8	28.9	89.2	0.10
23.00	28.1	27.4	28.1	29.3	26.6	28.7	83.8	0.83
23.15	28.3	27.4	28.1	37.6	26.6	28.8	82.5	0.08
23.30	28.1	27.2	27.9	37.6	26.5	28.8	77.5	0.73
23.45	28.1	26.9	27.8	50.2	25.6	27.3	83.4	0.10
0.00	28.1	27.0	27.8	46.0	26.1	28.3	84.3	0.04
0.15	27.9	27.0	27.8	37.6	25.9	27.7	86.4	0.34
0.30	27.8	26.9	27.8	37.6	26.2	27.8	85.7	0.07
0.45	27.7	26.8	27.7	37.6	26.1	27.7	89.2	0.43
1.00	27.8	26.9	27.8	37.6	26.4	28.2	98.4	0.07
1.15	27.8	26.8	27.5	41.8	26.0	27.5	98.6	0.04
1.30	27.6	26.8	27.5	33.5	26.0	27.7	98.2	0.33
1.45	27.5	26.7	27.6	33.5	26.0	27.8	98.9	0.08
2.00	27.5	26.6	27.5	37.6	25.9	27.7	98.2	0.04
2.15	27.4	26.4	27.3	41.8	25.8	27.7	98.6	0.25
2.30	27.3	26.2	27.1	46.0	25.4	27.1	97.8	0.06
2.45	27.4	26.5	27.2	37.6	25.7	27.4	99.2	0.14
3.00	27.1	26.3	27.3	33.5	25.5	27.3	98.9	0.16
3.15	27.2	26.4	27.2	33.5	25.8	27.6	98.7	0.23
3.30	27.1	26.4	27.1	29.3	25.8	27.4	93.2	0.13
3.45	27.1	26.6	26.9	20.9	25.9	27.2	92.9	0.06
4.00	27.1	26.7	27.0	16.7	25.9	27.3	92.6	0.14
4.15	27.1	26.7	27.0	16.7	25.8	27.1	93.3	0.18
4.30	27.0	26.6	26.9	16.7	25.8	27.2	91.4	0.10
4.45	26.9	26.5	26.9	16.7	25.8	27.2	90.6	0.06
5.00	26.8	26.5	26.9	12.5	25.6	27.1	90.3	0.21
5.15	26.8	26.4	26.8	16.7	25.5	27.1	90.3	0.28
5.30	26.8	26.1	26.8	29.3	25.3	26.9	91.1	0.22
5.45	26.8	26.4	26.8	16.7	25.5	27.1	91.5	0.15
6.00	26.8	26.2	26.8	25.1	25.4	26.8	91.2	0.14

ตารางที่ ข-15 แสดงผลการทดลองในวันที่ 2-3 สิงหาคม 2548 อัตราการไหล 0.02 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00								
21.15								
21.30								
21.45								
22.00								
22.15								
22.30								
22.45								
23.00	26.9	26.5	26.9	33.5	25.0	24.6	96.7	0.04
23.15	26.8	26.7	27.0	8.4	25.4	24.7	92.7	0.14
23.30	26.8	26.4	26.7	33.5	25.1	24.9	93.6	0.12
23.45	26.7	26.3	26.7	33.5	25.1	25.1	91.8	0.05
0.00	26.8	26.1	26.7	58.5	24.6	24.1	94.4	0.02
0.15	26.7	26.1	26.5	50.2	24.7	24.5	93.7	0.06
0.30	26.5	25.8	26.2	58.5	24.4	24.0	95.1	0.38
0.45	26.4	25.6	26.1	66.9	24.1	23.6	93.9	0.28
1.00	26.3	25.5	25.8	66.9	23.9	23.5	92.3	0.34
1.15	26.1	25.4	25.8	58.5	23.8	23.6	92.7	0.32
1.30	26.1	25.4	25.8	58.5	24.0	23.9	94.6	0.22
1.45	25.9	25.2	25.5	58.5	23.6	23.4	97.5	0.08
2.00	25.8	25.2	25.5	50.2	23.7	23.2	98.3	0.1
2.15	25.8	25.1	25.4	58.5	23.8	23.2	98.0	0.15
2.30	25.4	24.8	25.2	50.2	23.3	22.8	98.8	0.24
2.45	25.6	24.8	25.2	66.9	23.6	23.5	97.2	0.19
3.00	25.5	25.1	25.3	33.5	23.9	23.5	97.3	0.17
3.15	25.5	24.8	25.0	58.5	23.5	23.0	98.4	0.39
3.30	25.4	24.8	25.0	50.2	23.7	23.5	98.3	0.29
3.45	25.1	24.7	25.0	33.5	23.5	23.2	98.1	0.12
4.00	25.2	24.8	25.0	33.5	23.7	23.5	98.6	0.65
4.15	25.2	24.8	25.0	33.5	23.8	23.7	97.9	0.16
4.30	25.2	24.7	24.8	41.8	23.7	23.5	98.2	0.28
4.45	25.0	24.7	24.8	25.1	23.7	23.5	99.2	0.34
5.00	25.0	24.8	24.9	16.7	23.9	23.8	98.0	0.45
5.15	25.0	24.7	24.8	25.1	23.9	23.9	98.2	0.2
5.30	24.9	24.6	24.8	25.1	23.8	23.9	98.4	0.23
5.45	24.9	24.7	24.7	16.7	23.9	23.9	98	0.07
6.00	24.8	24.5	24.5	25.1	23.6	23.7	98.1	0.22

ตารางที่ ข-16 แสดงผลการทดลองในวันที่ 1-2 ตุลาคม 2548 อัตราการไฟล 0.02 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	28.4	28.0	28.4	33.5	24.8	26.2		
21.15	28.6	27.9	28.2	58.5	24.8	26.2		
21.30	28.3	27.2	28.2	92.0	24.6	25.9		
21.45	28.5	27.5	28.1	83.6	24.9	26.2		
22.00	28.2	27.4	28.0	66.9	24.8	26.1	90.3	
22.15	28.0	27.1	27.7	75.3	24.2	26.0		
22.30	28.1	27.2	27.7	75.3	24.5	26.1		
22.45	27.9	27.1	27.7	66.9	24.4	26.1		
23.00	27.9	26.9	27.5	83.6	24.4	25.8		
23.15	27.8	26.8	27.5	83.6	24.3	26.0		
23.30	27.6	26.5	27.1	92.0	24.1	25.5		
23.45	27.7	26.6	27.2	92.0	23.9	25.5		
0.00	27.5	26.6	27.2	75.3	23.9	25.7		
0.15	27.5	26.5	27.1	83.6	23.9	25.5		
0.30	27.5	26.4	27.0	92.0	23.9	25.5		
0.45	27.2	26.3	26.9	75.3	23.9	25.4		
1.00	27.0	25.8	26.5	100.4	23.4	25.0	93.3	
1.15	27.1	25.9	26.5	100.4	23.4	25.1		
1.30	26.8	25.8	26.4	83.6	23.4	25.0		
1.45	26.7	25.5	26.1	100.4	23.4	24.7		
2.00	26.5	25.5	26.1	83.6	23.5	24.8		
2.15	26.6	25.5	26.1	92.0	23.8	25.3		
2.30	26.5	25.3	25.9	100.4	23.3	24.8		
2.45	26.2	25.2	25.7	83.6	23.1	24.9		
3.00	26.3	25.2	25.9	92.0	23.4	25.0		
3.15	26.5	25.5	26.1	83.6	23.8	25.4		
3.30	26.3	25.4	25.9	75.3	23.8	25.2		
3.45	26.2	25.0	25.5	100.4	23.0	24.8		
4.00	26.1	25.1	25.7	83.6	23.2	24.8	90.7	
4.15	26.1	25.1	25.6	83.6	23.5	24.8		
4.30	25.8	24.7	25.2	92.0	22.5	24.2		
4.45	25.7	24.8	25.2	75.3	22.5	24.1		
5.00	25.5	24.4	24.9	92.0	22.2	23.6		
5.15	25.7	24.7	25.3	83.6	22.7	24.2		
5.30	25.2	24.2	24.8	83.6	21.9	23.5		
5.45	25.6	24.5	25.0	92.0	22.5	24.2		
6.00	25.4	24.2	24.8	100.4	22.0	23.7		

ตารางที่ ข-17 แสดงผลการทดลองในวันที่ 11-12 สิงหาคม 2548 อัตราการไหหล 0.03 kg/s

ปริมาณตรดังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	28.3	28.0	28.2	37.6	26.6	26.6	91.3	0.02
21.15	28.1	28.0	28.1	12.5	26.4	26.5	90.1	0.07
21.30	27.9	28.0	28.1	-12.5	26.6	26.8	93.8	0.09
21.45	27.9	27.7	28.0	25.1	26.5	26.9	95.0	0.04
22.00	27.8	27.5	27.8	37.6	26.2	26.6	95.2	0.48
22.15	27.7	27.7	27.8	0.0	26.4	26.8	94.4	0.25
22.30	27.7	27.5	27.7	25.1	26.3	26.6	93.8	0.03
22.45	27.6	27.4	27.7	25.1	26.1	26.8	93.9	0.07
23.00	27.5	27.2	27.4	37.6	26.0	26.8	94.0	0.13
23.15	27.6	27.2	27.5	50.2	26.2	26.6	93.8	0.10
23.30	27.4	27.2	27.4	25.1	26.3	27.0	91.4	0.35
23.45	27.4	27.1	27.2	37.6	26.1	26.8	92.0	0.30
0.00	27.2	27.0	27.2	25.1	26.0	27.0	91.2	0.14
0.15	27.2	27.0	27.2	25.1	26.0	27.2	91.2	1.42
0.30	27.1	26.8	27.0	37.6	25.8	26.7	90.1	0.14
0.45	27.1	26.8	26.8	37.6	25.6	26.8	90.1	0.63
1.00	26.9	26.7	26.8	25.1	25.6	26.5	88.9	0.21
1.15	26.9	26.8	26.9	12.5	25.6	26.5	87.3	0.20
1.30	26.7	26.7	26.7	0.0	25.5	26.6	87.2	1.69
1.45	26.8	26.7	26.8	12.5	25.6	26.7	87.2	0.32
2.00	26.7	26.7	26.7	0.0	25.6	26.5	86.7	1.02
2.15	26.7	26.7	26.7	0.0	25.6	26.7	86.4	0.52
2.30	26.5	26.4	26.6	12.5	25.4	26.8	87.0	0.67
2.45	26.5	26.4	26.5	12.5	25.2	26.3	86.6	0.13
3.00	26.5	26.4	26.5	12.5	25.3	26.5	86.1	0.66
3.15	26.5	26.2	26.5	37.6	25.2	26.5	86.1	0.21
3.30	26.5	26.3	26.4	25.1	25.3	26.5	86.5	0.07
3.45	26.4	26.3	26.4	12.5	25.5	26.3	86.5	0.07
4.00	26.4	26.3	26.2	12.5	25.5	26.5	85.8	0.10
4.15	26.3	26.2	26.2	12.5	25.6	26.4	85.7	0.25
4.30	26.2	26.1	26.1	12.5	25.5	26.3	84.7	0.26
4.45	26.2	26.2	26.2	0.0	25.7	26.6	84.6	0.08
5.00	26.2	26.1	26.1	12.5	25.5	26.4	84.3	1.20
5.15	26.2	25.7	26.1	62.7	24.6	25.8	86.9	0.24
5.30	26.0	25.5	25.9	62.7	24.5	25.6	87.3	0.31
5.45	26.2	25.8	26.0	50.2	24.6	26.0	88.2	1.23
6.00	26.1	25.8	25.9	37.6	24.9	25.9	87.5	0.82

ตารางที่ ข-18 แสดงผลการทดลองในวันที่ 18-19 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

ตารางที่ ข-19 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 28-29 กันยายน 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _p °C	T _a °C	RH %	V _w m/s
21.00	27.9	27.5	27.8	50.2	26.2	26.8		
21.15	27.8	27.4	27.6	50.2	26.1	26.7		
21.30	27.7	27.3	27.5	50.2	26.1	26.9		
21.45	27.7	27.2	27.4	62.7	26.1	26.8		
22.00	27.6	27.1	27.3	62.7	25.7	26.4	93.3	
22.15	27.3	26.2	26.8	138.0	24.5	23.5		
22.30	27.1	26.1	26.7	125.5	24.1	23.6		
22.45	26.6	25.8	26.2	100.4	23.7	22.9		
23.00	26.5	25.8	26.2	87.8	23.9	23.6		
23.15	26.5	26.1	26.6	50.2	24.4	24.5		
23.30	26.6	25.9	26.3	87.8	24.4	24.3		
23.45	26.2	25.6	26.0	75.3	24.1	23.9		
0.00	26.3	25.8	26.1	62.7	24.1	24.1		
0.15	26.1	25.5	25.9	75.3	23.9	24.0		
0.30	26.1	25.5	25.9	75.3	23.9	24.2		
0.45	25.9	25.4	25.8	62.7	23.9	24.2		
1.00	26.0	25.5	25.8	62.7	23.9	24.3	93.1	
1.15	25.9	25.4	25.7	62.7	24.0	24.4		
1.30	25.7	25.4	25.7	37.6	24.1	24.5		
1.45	25.7	25.3	25.5	50.2	24.0	24.5		
2.00	25.6	25.2	25.5	50.2	23.9	24.5		
2.15	25.6	25.2	25.4	50.2	23.9	24.5		
2.30	25.4	25.0	25.2	50.2	23.8	24.3		
2.45	25.5	25.2	25.4	37.6	24.0	24.5		
3.00	25.4	25.1	25.2	37.6	23.9	24.5		
3.15	25.5	25.0	25.2	62.7	23.8	24.5		
3.30	25.3	24.8	25.0	62.7	23.7	24.4		
3.45	25.5	25.0	25.1	62.7	23.9	24.6		
4.00	25.2	24.9	25.1	37.6	23.9	24.8	93.1	
4.15	25.1	24.8	25.0	37.6	23.9	24.7		
4.30	25.0	24.7	24.8	37.6	23.7	24.4		
4.45	25.0	24.8	24.9	25.1	23.8	24.6		
5.00	25.1	24.9	25.0	25.1	24.0	24.8		
5.15	25.2	24.9	25.0	37.6	24.0	24.8		
5.30	25.0	24.7	24.8	37.6	23.8	24.5		
5.45	25.0	24.8	24.9	25.1	23.7	24.6		
6.00	25.0	24.8	24.9	25.1	23.8	24.7		

ตารางที่ ข-20 แสดงผลการทดลองในวันที่ 31-1 พฤษภาคม 2548 อัตราการไหล 0.005 kg/s

ปริมาตรรังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	26.3	24.5	25.6	37.6	23.5	
21.15	26.2	24.3	25.5	39.7	23.5	
21.30	26.2	24.2	25.5	41.8	23.3	
21.45	25.4	23.9	25.1	31.4	23.0	
22.00	25.1	22.4	25.0	56.5	22.8	74.5
22.15	25.0	22.7	24.8	48.1	22.8	
22.30	25.0	22.6	24.5	50.2	22.6	
22.45	25.0	22.4	24.3	54.4	22.4	
23.00	25.0	22.4	24.2	54.4	22.3	
23.15	24.9	22.2	24.1	56.5	22.1	
23.30	24.8	22.1	23.9	56.5	21.9	
23.45	23.9	22.0	23.7	39.7	21.8	
0.00	23.6	21.6	23.4	41.8	21.6	
0.15	23.5	21.4	23.1	43.9	21.3	
0.30	23.5	21.3	22.9	46.0	21.2	
0.45	23.4	21.2	22.8	46.0	21.2	
1.00	23.5	21.1	22.7	50.2	21.1	81.1
1.15	23.4	20.9	22.5	52.3	20.9	
1.30	23.3	20.8	22.4	52.3	20.8	
1.45	23.2	20.8	22.4	50.2	20.8	
2.00	22.4	20.8	22.2	33.5	20.8	
2.15	22.2	20.4	21.9	37.6	20.8	
2.30	22.5	20.5	21.9	41.8	20.9	
2.45	22.4	20.4	21.7	41.8	20.8	
3.00	22.1	20.1	21.3	41.8	20.5	
3.15	22.3	20.2	21.5	43.9	20.7	
3.30	22.4	20.2	21.5	46.0	20.7	
3.45	22.0	19.8	21.1	46.0	20.3	
4.00	22.1	20.0	21.2	43.9	20.5	84.1
4.15	21.3	19.8	21.1	31.4	20.5	
4.30	21.2	19.6	20.8	33.5	20.1	
4.45	21.1	19.3	20.7	37.6	19.9	
5.00	21.1	19.2	20.5	39.7	19.8	
5.15	21.1	19.4	20.6	35.5	20.1	
5.30	21.1	19.2	20.5	39.7	20.0	
5.45	21.2	19.2	20.5	41.8	20.1	
6.00	21.1	19.2	20.1	39.7	20.0	

ตารางที่ ข-21 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 25-26 ตุลาคม 2548 อัตราการไฟล 0.01 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	27.5	26.6	27.0	37.6	26.5	
21.15	27.2	26.3	26.7	37.6	26.4	
21.30	27.2	26.3	26.8	37.6	26.2	
21.45	27.1	26.2	26.6	37.6	26.0	
22.00	27.0	26.1	26.5	37.6	25.8	90.0
22.15	26.8	25.9	26.4	37.6	25.6	
22.30	27.0	26.0	26.5	41.8	25.5	
22.45	26.2	25.7	26.3	20.9	24.8	
23.00	26.9	26.1	26.5	33.5	25.3	
23.15	26.7	25.6	26.2	46.0	25.0	
23.30	26.6	25.2	26.0	58.5	24.7	
23.45	26.7	25.1	26.1	66.9	24.5	
0.00	26.7	25.2	26.2	62.7	24.8	
0.15	26.3	24.9	25.8	58.5	24.4	
0.30	26.2	24.6	25.5	66.9	23.9	
0.45	26.5	25.1	25.8	58.5	24.3	
1.00	26.5	25.1	25.8	58.5	24.4	90.0
1.15	25.8	24.3	25.1	62.7	23.5	
1.30	25.5	23.9	24.8	66.9	23.2	
1.45	25.8	24.2	25.0	66.9	23.9	
2.00	25.5	23.8	24.6	71.1	23.2	
2.15	25.9	24.5	25.2	58.5	23.9	
2.30	25.1	23.9	24.5	50.2	23.5	
2.45	25.1	23.8	24.4	54.4	23.3	
3.00	25.0	23.5	24.2	62.7	23.1	
3.15	25.0	23.5	24.2	62.7	23.4	
3.30	24.8	23.1	24.0	71.1	22.8	
3.45	24.5	23.0	23.8	62.7	22.7	
4.00	24.4	22.9	23.6	62.7	22.6	90.0
4.15	24.2	22.8	23.5	58.5	22.7	
4.30	24.4	22.9	23.5	62.7	22.8	
4.45	24.6	23.2	23.9	58.5	23.1	
5.00	24.1	22.8	23.5	54.4	22.8	
5.15	23.9	22.4	23.1	62.7	22.1	
5.30	23.8	22.4	23.0	58.5	22.1	
5.45	23.8	22.4	23.0	58.5	22.2	
6.00	23.9	22.5	23.1	58.5	22.2	

ตารางที่ ข-22 แสดงผลการทดลองในวันที่ 1-2 พฤศจิกายน 2548 อัตราการไหลด 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 71 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	26.2	25.5	25.9	87.8	23.3	
21.15	26.0	25.4	25.8	75.3	23.2	
21.30	25.8	25.1	25.5	87.8	23.1	
21.45	25.5	24.8	25.2	87.8	23.2	
22.00	25.3	24.6	25.0	87.8	22.9	84.9
22.15	25.2	24.6	25.0	75.3	23.4	
22.30	25.1	24.3	24.6	100.4	23.3	
22.45	24.8	24.1	24.5	87.8	23.0	
23.00	24.8	24.2	24.5	75.3	23.1	
23.15	24.6	24.2	24.4	50.2	23.1	
23.30	24.5	23.9	24.2	75.3	23.0	
23.45	24.5	23.9	24.1	75.3	22.9	
0.00	24.3	23.5	23.9	100.4	22.8	
0.15	24.2	23.5	23.9	87.8	22.6	
0.30	24.0	23.2	23.5	100.4	22.5	
0.45	23.9	23.3	23.7	75.3	22.2	
1.00	23.7	22.9	23.2	100.4	22.2	90
1.15	23.6	23.0	23.3	75.3	22.5	
1.30	23.6	23.1	23.4	62.7	22.5	
1.45	23.6	23.2	23.3	50.2	22.4	
2.00	23.4	23.0	23.2	50.2	22.5	
2.15	23.4	23.1	23.3	37.6	22.9	
2.30	23.1	22.7	22.9	50.2	22.8	
2.45	23.2	22.8	22.9	50.2	22.6	
3.00	23.2	22.9	23.0	37.6	22.9	
3.15	23.1	22.6	22.8	62.7	22.7	
3.30	23.1	22.5	22.7	75.3	22.5	
3.45	23.1	22.7	22.9	50.2	22.9	
4.00	23.2	22.7	22.9	62.7	22.8	91.7
4.15	23.1	22.7	23.0	50.2	22.9	
4.30	23.2	22.8	23.1	50.2	22.6	
4.45	22.9	22.4	22.8	62.7	22.5	
5.00	22.8	22.2	22.5	75.3	22.2	
5.15	22.8	22.3	22.7	62.7	21.9	
5.30	22.9	22.3	22.6	75.3	21.8	
5.45	22.5	21.9	22.2	75.3	21.9	
6.00	22.5	21.9	22.2	75.3	21.4	

ตารางที่ ข-23 แสดงผลการทดลองในวันที่ 27-28 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.005 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	28.3	26.1	27.6	46.0	25.4	
21.15	28.2	25.8	27.3	50.2	25.0	
21.30	27.5	25.8	27.3	35.5	24.9	
21.45	27.3	25.2	26.9	43.9	24.8	
22.00	27.2	25.1	26.8	43.9	24.6	74.8
22.15	27.1	25.0	26.7	43.9	24.4	
22.30	27.2	24.9	26.6	48.1	24.1	
22.45	27.1	24.7	26.4	50.2	24.0	
23.00	27.2	24.8	26.4	50.2	24.0	
23.15	26.4	24.3	26.0	43.9	23.8	
23.30	26.4	24.3	25.9	43.9	23.6	
23.45	26.3	24.1	25.8	46.0	23.6	
0.00	26.4	24.2	25.8	46.0	23.5	
0.15	26.2	23.9	25.4	48.1	23.3	
0.30	26.2	23.9	25.4	48.1	23.1	
0.45	25.6	23.8	25.2	37.6	23.0	
1.00	25.6	23.7	25.2	39.7	22.9	80.0
1.15	25.4	23.4	24.9	41.8	22.7	
1.30	25.3	23.3	24.8	41.8	22.5	
1.45	25.4	23.3	24.8	43.9	22.8	
2.00	25.2	23.0	24.5	46.0	22.4	
2.15	25.2	22.9	24.5	48.1	22.2	
2.30	24.5	22.6	24.2	39.7	22.1	
2.45	24.7	23.0	24.3	35.5	22.4	
3.00	24.6	22.7	24.2	39.7	22.3	
3.15	24.6	22.6	24.1	41.8	22.3	
3.30	24.5	22.5	23.9	41.8	22.1	
3.45	24.3	22.2	23.6	43.9	21.9	
4.00	24.1	22.4	23.8	35.5	22.1	84.4
4.15	24.0	22.2	23.6	37.6	21.9	
4.30	24.0	22.0	23.4	41.8	21.9	
4.45	23.9	22.0	23.4	39.7	21.9	
5.00	23.9	21.8	23.3	43.9	21.9	
5.15	23.8	21.6	23.0	46.0	21.3	
5.30	23.9	21.8	23.2	43.9	21.6	
5.45	23.3	21.4	22.8	39.7	21.3	
6.00	23.2	21.3	22.6	39.7	21.2	

ตารางที่ ช-24 แสดงผลการทดลองในวันที่ 23-24 ตุลาคม 2548 อัตราการไหล 0.01kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	27.3	25.6	27.0	71.1	24.8	
21.15	27.2	25.4	26.8	75.3	24.8	
21.30	27.2	25.4	26.8	75.3	24.8	
21.45	27.2	25.3	26.6	79.5	24.8	
22.00	26.8	25.2	26.5	66.9	24.6	72.2
22.15	26.7	25.1	26.2	66.9	24.6	
22.30	26.6	25.2	26.1	58.5	24.4	
22.45	26.8	25.4	26.4	58.5	24.9	
23.00	26.7	25.0	26.1	71.1	24.4	
23.15	26.5	25.1	26.2	58.5	24.5	
23.30	26.3	24.8	25.8	62.7	24.0	
23.45	26.2	24.7	25.6	62.7	24.1	
0.00	26.1	25.0	25.6	46.0	24.2	
0.15	26.0	24.9	25.5	46.0	24.2	
0.30	25.8	25.0	25.5	33.5	24.4	
0.45	25.8	25.0	25.6	33.5	24.5	
1.00	25.8	24.8	25.5	41.8	24.2	80.8
1.15	25.6	24.2	25.2	58.5	23.9	
1.30	25.5	24.1	25.0	58.5	23.9	
1.45	25.3	24.1	25.1	50.2	23.9	
2.00	25.4	24.1	25.1	54.4	23.8	
2.15	25.3	23.9	24.9	58.5	23.8	
2.30	25.4	24.1	24.9	54.4	23.7	
2.45	25.2	23.8	24.8	58.5	23.5	
3.00	25.0	23.7	24.7	54.4	23.4	
3.15	25.0	23.5	24.5	62.7	23.5	
3.30	25.1	23.7	24.7	58.5	23.7	
3.45	25.0	23.6	24.4	58.5	23.5	
4.00	24.8	23.5	24.2	54.4	23.2	83.8
4.15	24.8	23.5	24.1	54.4	23.1	
4.30	24.5	23.4	24.0	46.0	23.2	
4.45	24.5	23.4	24.2	46.0	23.3	
5.00	24.6	23.5	24.2	46.0	23.5	
5.15	24.7	23.4	24.3	54.4	23.4	
5.30	24.5	23.1	24.0	58.5	23.2	
5.45	24.5	23.2	24.1	54.4	22.9	
6.00	24.5	23.3	24.2	50.2	23.2	

ตารางที่ ข-25 แสดงผลการทดลองในวันที่ 18-19 ตุลาคม 2548 อัตราการไหล 0.03 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 110 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	27.6	27.3	27.4	37.6	26.5	
21.15	27.6	27.0	27.1	75.3	26.4	
21.30	27.5	27.1	27.1	50.2	26.3	
21.45	27.4	26.8	26.9	75.3	25.8	
22.00	27.2	26.8	26.8	50.2	25.4	82.5
22.15	27.2	26.7	26.8	62.7	25.5	
22.30	27.1	26.5	26.6	75.3	25.4	
22.45	27.0	26.4	26.5	75.3	25.2	
23.00	26.8	26.2	26.3	75.3	25.0	
23.15	26.7	26.3	26.3	50.2	24.9	
23.30	26.6	26.1	26.1	62.7	24.8	
23.45	26.3	25.8	25.9	52.7	24.8	
0.00	26.5	25.9	25.9	75.3	24.4	
0.15	26.2	25.7	25.8	62.7	24.5	
0.30	26.2	25.5	25.6	87.8	24.2	
0.45	25.9	25.5	25.5	50.2	24.5	
1.00	25.8	25.4	25.5	50.2	24.1	91.6
1.15	25.7	25.2	25.2	62.7	24.2	
1.30	25.6	25.2	25.2	50.2	24.1	
1.45	25.5	25.1	25.1	50.2	24.1	
2.00	25.4	24.9	25.0	62.7	23.7	
2.15	25.3	24.8	24.8	62.7	23.8	
2.30	25.1	24.7	24.8	50.2	23.5	
2.45	25.0	24.7	24.7	37.6	23.5	
3.00	25.0	24.5	24.6	62.7	23.4	
3.15	24.8	24.5	24.5	37.6	23.3	
3.30	24.9	24.4	24.5	62.7	23.4	
3.45	24.7	24.1	24.2	75.3	22.9	
4.00	24.7	24.0	24.0	87.8	22.9	91.4
4.15	24.4	23.9	24.1	62.7	23.1	
4.30	24.3	23.9	24.0	50.2	23.0	
4.45	24.4	23.8	23.9	75.3	23.1	
5.00	24.1	23.6	23.7	62.7	22.9	
5.15	24.1	23.5	23.5	75.3	22.7	
5.30	24.0	23.4	23.5	75.3	22.8	
5.45	23.9	23.4	23.4	62.7	22.6	
6.00	23.8	23.2	23.3	75.3	22.5	

ตารางที่ ข-26 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 26-27 ตุลาคม 2548 อัตราการไหลด 0.005 kg/s
ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	26.4	26.0	27.4	8.4	26.1	
21.15	26.5	24.6	27.0	39.7	25.5	
21.30	26.4	24.4	26.9	41.8	25.0	
21.45	26.3	24.0	26.7	48.1	24.7	
22.00	26.3	23.9	26.6	50.2	24.7	79.1
22.15	26.1	23.7	26.4	50.2	24.5	
22.30	26.2	23.5	26.4	56.5	24.3	
22.45	26.1	23.4	26.3	56.5	24.2	
23.00	25.9	23.1	26.1	58.5	24.0	
23.15	25.9	23.1	26.2	58.5	23.8	
23.30	25.9	22.8	25.9	64.8	23.7	
23.45	26.0	22.9	26.0	64.8	23.7	
0.00	25.6	22.9	26.0	56.5	23.6	
0.15	25.5	22.8	25.9	56.5	23.4	
0.30	25.3	22.6	25.7	56.5	23.1	
0.45	25.4	22.5	25.6	60.6	23.1	
1.00	25.4	22.5	25.6	60.6	23.3	85.6
1.15	25.2	22.2	25.3	62.7	23.0	
1.30	25.1	21.9	25.1	66.9	22.7	
1.45	25.0	21.8	25.0	66.9	22.6	
2.00	25.0	21.7	24.9	69.0	22.5	
2.15	25.0	21.7	24.9	69.0	22.3	
2.30	25.0	21.7	24.8	69.0	22.4	
2.45	25.0	21.7	24.6	69.0	22.4	
3.00	24.6	21.6	24.6	62.7	22.3	
3.15	24.3	21.6	24.5	56.5	22.3	
3.30	24.2	21.5	24.4	56.5	22.1	
3.45	24.2	21.5	24.3	56.5	22.3	
4.00	24.3	21.5	24.4	58.5	22.6	87.1
4.15	24.2	21.4	24.2	58.5	22.4	
4.30	24.2	21.3	24.2	60.6	22.4	
4.45	24.1	21.1	24.0	62.7	22.2	
5.00	24.2	21.2	23.8	62.7	22.1	
5.15	24.2	21.3	23.9	60.6	22.4	
5.30	24.1	21.7	23.7	50.2	22.4	
5.45	24.2	21.6	23.8	54.4	22.1	
6.00	24.1	21.0	23.6	64.8	22.1	

ตารางที่ ข-27 แสดงผลการทดลองในวันที่ 20-21 ตุลาคม 2548 อัตราการไหล 0.01 kg/s

ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	27.2	26.0	27.4	50.2	25.8	
21.15	27.2	25.9	27.3	54.4	25.7	
21.30	27.2	25.8	27.2	58.5	25.5	
21.45	27.0	25.4	26.8	66.9	25.1	
22.00	27.0	25.2	26.5	75.3	24.8	71.0
22.15	26.8	25.3	26.4	62.7	24.8	
22.30	26.8	25.1	26.4	71.1	24.5	
22.45	26.5	24.9	26.3	66.9	24.4	
23.00	26.4	24.7	26.0	71.1	24.2	
23.15	26.5	24.6	26.0	79.5	24.1	
23.30	26.4	24.5	25.8	79.5	23.9	
23.45	26.4	24.5	25.9	79.5	23.9	
0.00	26.0	24.4	25.7	66.9	23.5	
0.15	25.9	24.2	25.5	71.1	23.4	
0.30	25.8	24.1	25.4	71.1	23.2	
0.45	25.8	24.0	25.3	75.3	23.4	
1.00	25.8	23.9	25.3	79.5	23.3	81.9
1.15	25.2	23.5	25.0	71.1	22.9	
1.30	25.2	23.5	24.8	71.1	22.8	
1.45	25.2	23.5	24.8	71.1	22.6	
2.00	25.2	23.4	24.8	75.3	22.6	
2.15	25.1	23.2	24.5	79.5	22.5	
2.30	24.8	23.0	24.4	75.3	22.4	
2.45	24.8	23.0	24.3	75.3	22.2	
3.00	24.8	23.0	24.3	75.3	22.4	
3.15	24.8	22.9	24.2	79.5	22.2	
3.30	24.6	22.8	24.2	75.3	22.2	
3.45	24.3	22.7	24.1	66.9	22.1	
4.00	24.2	22.6	24.0	66.9	22.1	82.6
4.15	24.1	22.4	23.7	71.1	21.8	
4.30	24.1	22.3	23.7	75.3	21.8	
4.45	24.1	22.3	23.6	75.3	21.8	
5.00	23.7	22.2	23.4	62.7	21.8	
5.15	23.7	22.1	23.4	66.9	21.6	
5.30	23.6	22.1	23.3	62.7	21.7	
5.45	23.7	22.1	23.2	66.9	21.6	
6.00	23.7	21.9	23.2	75.3	21.5	

ตารางที่ ข-28 แสดงผลการทดลองในวันที่ 15-16 ตุลาคม 2548 อัตราการไฟล 0.03 kg/s
ปริมาตรถังเก็บ 150 ลิตร

เวลา นาฬิกา	T _i °C	T _o °C	T _t °C	P _c Watts	T _a °C	RH %
21.00	27.7	27.2	27.3	62.7	26.6	
21.15	27.6	27.1	27.2	62.7	25.9	
21.30	27.5	27.0	27.1	62.7	26.2	
21.45	27.5	27.0	27.1	62.7	25.5	
22.00	27.4	26.8	26.8	75.3	25.1	79.0
22.15	27.4	26.8	26.8	75.3	25.0	
22.30	27.2	26.7	26.8	62.7	24.7	
22.45	27.1	26.6	26.6	62.7	24.5	
23.00	27.1	26.5	26.5	75.3	24.5	
23.15	26.9	26.3	26.3	75.3	24.2	
23.30	26.9	26.2	26.2	87.8	24.1	
23.45	26.8	26.1	26.2	87.8	23.8	
0.00	26.7	26.0	26.0	87.8	23.9	
0.15	26.5	25.8	25.8	87.8	23.5	
0.30	26.3	25.8	25.8	62.7	23.5	
0.45	26.3	25.7	25.7	75.3	23.5	
1.00	26.1	25.5	25.5	75.3	23.2	84.8
1.15	26.0	25.4	25.5	75.3	23.0	
1.30	26.0	25.3	25.4	87.8	23.0	
1.45	25.9	25.2	25.3	87.8	22.8	
2.00	25.7	25.1	25.2	75.3	23.2	
2.15	25.5	25.0	25.1	62.7	23.0	
2.30	25.6	25.0	25.0	75.3	22.8	
2.45	25.4	24.8	24.8	75.3	22.5	
3.00	25.3	24.8	24.8	62.7	22.8	
3.15	25.2	24.6	24.7	75.3	22.5	
3.30	25.0	24.6	24.7	50.2	22.8	
3.45	25.0	24.5	24.6	62.7	22.9	
4.00	25.0	24.3	24.4	87.8	22.8	89.5
4.15	24.8	24.2	24.3	75.3	22.5	
4.30	24.7	24.1	24.2	75.3	22.4	
4.45	24.6	24.2	24.2	50.2	22.5	
5.00	24.5	23.9	24.0	75.3	22.4	
5.15	24.4	23.9	24.0	62.7	22.2	
5.30	24.3	23.8	23.9	62.7	22.2	
5.45	24.3	23.9	24.0	50.2	22.4	
6.00	24.1	23.8	23.7	37.6	22.4	

ตารางที่ ค-1 แสดงผลการทดลองในวันที่ 9-10 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 0.25m/s

เวลา นาฬิกา	T _{i,Ta} °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH
21.00	23.4	20.7	2.7	21.3	6.4	
21.15	23.3	20.9	2.5	21.5	5.8	
21.30	23.3	21.0	2.3	21.5	5.4	
21.45	23.2	20.7	2.5	21.2	5.9	
22.00	22.9	20.3	2.7	20.8	6.3	78.1
22.15	22.9	20.7	2.3	21.1	5.3	
22.30	22.8	20.3	2.5	20.7	5.9	
22.45	22.2	19.7	2.6	20.0	6.0	
23.00	22.4	19.9	2.5	20.2	5.9	
23.15	22.1	19.8	2.4	20.0	5.6	
23.30	21.8	19.4	2.5	19.7	5.8	
23.45	21.8	19.4	2.5	19.7	5.8	
0.00	21.7	19.4	2.4	19.7	5.6	
0.15	21.5	19.3	2.3	19.6	5.3	
0.30	21.5	19.1	2.4	19.5	5.7	
0.45	21.2	19.0	2.3	19.3	5.3	
1.00	20.9	18.6	2.4	18.9	5.6	83.4
1.15	20.8	18.6	2.3	18.8	5.3	
1.30	20.6	18.3	2.4	18.6	5.6	
1.45	20.7	18.5	2.3	18.7	5.3	
2.00	20.5	18.2	2.3	18.5	5.4	
2.15	20.2	18.0	2.3	18.2	5.3	
2.30	20.0	17.9	2.2	18.1	5.1	
2.45	20.1	17.8	2.3	18.1	5.4	
3.00	19.8	17.7	2.2	17.9	5.1	
3.15	20.0	17.8	2.2	18.0	5.2	
3.30	20.0	17.9	2.2	18.2	5.1	
3.45	19.7	17.6	2.1	17.9	5.0	
4.00	19.4	17.2	2.2	17.5	5.2	90.2
4.15	19.4	17.1	2.3	17.4	5.4	
4.30	19.5	17.0	2.5	17.3	5.9	
4.45	19.3	16.9	2.4	17.2	5.7	
5.00	19.1	16.8	2.3	17.1	5.4	
5.15	19.3	17.2	2.1	17.3	5.0	
5.30	19.2	17.2	2.0	17.4	4.7	
5.45	19.2	17.2	2.1	17.3	4.9	
6.00	19.2	17.2	2.1	17.4	4.9	

ตารางที่ ค-2 แสดงผลการทดลองในวันที่ 10-11 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 0.25 m/s

เวลา นาฬิกา	T _{i,Ta} °C	T _o °C	T _{i-To} °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	23.5	21.5	2.3	21.9	5.3	
21.15	23.4	21.1	2.4	21.7	5.6	
21.30	23.4	21.1	2.4	21.8	5.6	
21.45	23.6	21.2	2.4	21.9	5.7	
22.00	23.5	20.9	2.6	21.6	6.2	79.4
22.15	23.4	20.9	2.5	21.6	5.9	
22.30	23.2	20.7	2.6	21.3	6.0	
22.45	22.9	20.3	2.7	20.9	6.3	
23.00	23.0	20.5	2.5	21.3	5.9	
23.15	22.9	20.6	2.4	21.2	5.6	
23.30	22.9	20.8	2.2	21.4	5.1	
23.45	22.5	20.4	2.2	20.9	5.1	
0.00	22.4	20.2	2.3	20.7	5.3	
0.15	22.2	19.9	2.4	20.4	5.6	
0.30	22.2	19.9	2.4	20.4	5.6	
0.45	22.1	19.8	2.4	20.3	5.6	
1.00	22.0	19.7	2.4	20.2	5.6	85.4
1.15	22.0	19.8	2.3	20.3	5.3	
1.30	21.7	19.5	2.3	20.0	5.3	
1.45	21.6	19.5	2.1	20.1	5.0	
2.00	21.4	19.2	2.2	19.7	5.2	
2.15	21.2	19.1	2.1	19.5	5.0	
2.30	21.4	19.3	2.1	19.7	5.0	
2.45	21.0	19.0	2.0	19.4	4.7	
3.00	20.9	18.8	2.2	19.1	5.1	
3.15	21.0	19.0	2.1	19.4	4.9	
3.30	20.9	19.0	2.0	19.3	4.6	
3.45	20.8	18.8	2.0	19.1	4.7	
4.00	20.7	18.6	2.2	18.9	5.1	89.6
4.15	20.7	18.6	2.2	18.8	5.1	
4.30	20.5	18.4	2.1	18.7	5.0	
4.45	20.5	18.5	2.1	18.7	4.9	
5.00	20.4	18.4	2.1	18.7	4.9	
5.15	20.3	18.3	2.0	18.6	4.7	
5.30	20.4	18.4	2.0	18.8	4.7	
5.45	20.3	18.4	2.0	18.7	4.6	
6.00	20.5	18.6	2.0	18.9	4.6	

ตารางที่ ค-3 แสดงผลการทดลองในวันที่ 15-16 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 0.25 m/s

เวลา นาฬิกา	T _{i,Ta} °C	T _o °C	T _{i-To} °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	19.4	18.0	1.5	18.2	3.4	
21.15	19.3	17.7	1.6	18.0	3.8	
21.30	19.2	17.5	1.8	17.9	4.1	
21.45	19.2	17.8	1.5	18.0	3.4	
22.00	19.2	17.7	1.6	17.9	3.7	69.4
22.15	18.8	17.1	1.8	17.5	4.1	
22.30	18.5	16.8	1.8	17.1	4.1	
22.45	18.3	16.5	1.8	16.8	4.3	
23.00	18.2	16.6	1.7	16.8	3.9	
23.15	18.1	16.4	1.7	16.6	4.0	
23.30	18.0	16.4	1.7	16.6	3.9	
23.45	17.9	16.4	1.6	16.6	3.7	
0.00	17.7	16.0	1.7	16.3	4.0	
0.15	17.5	15.4	2.1	15.8	5.0	
0.30	17.5	15.4	2.2	15.7	5.1	
0.45	17.1	14.9	2.3	15.3	5.3	
1.00	17.1	15.0	2.2	15.4	5.1	75.6
1.15	17.1	15.0	2.1	15.4	5.0	
1.30	17.1	15.1	2.1	15.5	4.9	
1.45	17.0	14.7	2.3	15.2	5.4	
2.00	17.1	15.1	2.0	15.5	4.7	
2.15	17.0	15.2	1.9	15.5	4.4	
2.30	17.1	15.7	1.4	15.9	3.3	
2.45	17.1	16.0	1.2	16.1	2.7	
3.00	17.2	16.0	1.2	16.2	2.8	
3.15	17.3	16.2	1.2	16.3	2.7	
3.30	17.1	16.1	1.1	16.2	2.5	
3.45	17.2	16.3	0.9	16.3	2.1	
4.00	17.2	16.4	0.8	16.4	2.0	75.7
4.15	17.1	16.5	0.7	16.5	1.5	
4.30	17.3	16.4	0.9	16.4	2.2	
4.45	17.4	16.6	0.8	16.6	2.0	
5.00	17.4	16.7	0.8	16.6	1.8	
5.15	17.4	16.7	0.8	16.6	1.8	
5.30	17.6	16.8	0.9	16.8	2.0	
5.45	17.5	16.7	0.9	16.7	2.0	
6.00	17.5	16.6	0.9	16.6	2.1	

ตารางที่ ค-4 แสดงผลการทดลองในวันที่ 16-17 ขันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 0.25 m/s

เวลา นาฬิกา	Ti,Ta °C	To °C	Ti-To °C	Tp °C	Cooling power watts	RH %
21.00	19.7	17.5	2.2	18.1	20.8	
21.15	19.7	17.3	2.4	17.9	22.7	
21.30	19.5	17.1	2.4	17.7	22.7	
21.45	19.2	16.7	2.6	17.2	24.2	
22.00	19.2	16.7	2.6	17.1	24.2	72.3
22.15	19.1	16.7	2.5	17.2	23.2	
22.30	18.9	16.4	2.5	16.8	23.7	
22.45	18.8	16.3	2.5	16.8	23.7	
23.00	18.7	16.3	2.4	16.7	22.7	
23.15	18.6	16.1	2.6	16.4	24.2	
23.30	18.5	16.0	2.6	16.4	24.2	
23.45	18.4	15.8	2.6	16.2	24.6	
0.00	18.4	15.8	2.6	16.3	24.6	
0.15	18.2	15.5	2.7	15.9	25.6	
0.30	18.2	15.9	2.4	16.3	22.3	
0.45	18.1	15.6	2.5	16.0	23.7	
1.00	18.1	15.6	2.5	16.0	23.7	76.3
1.15	18.0	15.6	2.5	15.9	23.2	
1.30	18.0	15.4	2.6	15.9	24.6	
1.45	18.0	15.5	2.6	16.0	24.2	
2.00	17.8	15.4	2.5	15.9	23.2	
2.15	17.8	15.3	2.5	15.6	23.7	
2.30	17.9	15.5	2.5	15.9	23.2	
2.45	17.7	15.1	2.6	15.5	24.6	
3.00	17.6	15.1	2.6	15.5	24.2	
3.15	17.6	15.0	2.7	15.5	25.1	
3.30	17.5	14.8	2.8	15.2	26.0	
3.45	17.5	14.9	2.6	15.4	24.6	
4.00	17.4	14.8	2.6	15.3	24.6	80.8
4.15	17.4	14.6	2.8	15.2	26.5	
4.30	17.5	14.8	2.7	15.3	25.6	
4.45	17.5	14.9	2.7	15.4	25.1	
5.00	17.6	14.9	2.7	15.4	25.6	
5.15	17.7	15.0	2.8	15.4	26.0	
5.30	17.6	15.1	2.5	15.6	23.7	
5.45	17.8	15.4	2.5	15.8	23.2	
6.00	17.8	15.2	2.7	15.6	25.1	

ตารางที่ ค-5 แสดงผลการทดลองในวันที่ 12-13 ธันวาคม 2548
 ความเร็วอากาศ 1.0 m/s

เวลา นาฬิกา	Ti,Ta °C	To °C	Ti-To °C	Tp °C	Cooling power watts	RH
21.00	20.5	19.1	1.5	19.4	13.7	
21.15	20.3	19.1	1.2	19.5	11.4	
21.30	20.5	18.9	1.6	19.2	15.2	
21.45	20.3	18.7	1.6	19.1	15.2	
22.00	20.3	18.7	1.6	19.0	15.2	66.0
22.15	20.0	18.4	1.6	18.7	15.2	
22.30	20.0	18.5	1.6	18.8	14.7	
22.45	19.8	18.0	1.9	18.3	17.5	
23.00	19.6	18.1	1.5	18.5	14.2	
23.15	19.7	18.0	1.7	18.3	16.1	
23.30	19.4	17.8	1.6	18.0	15.2	
23.45	19.4	17.7	1.7	18.0	16.1	
0.00	19.3	17.6	1.7	17.9	16.1	
0.15	19.3	17.6	1.8	17.9	16.6	
0.30	19.2	17.4	1.8	17.7	17.1	
0.45	19.1	17.1	2.0	17.5	18.9	
1.00	18.9	17.1	1.9	17.3	17.5	76.0
1.15	18.9	16.9	2.0	17.4	18.9	
1.30	18.9	16.9	2.0	17.2	18.9	
1.45	18.8	16.8	2.0	17.4	18.9	
2.00	18.8	16.6	2.2	17.1	20.8	
2.15	18.8	16.6	2.2	17.2	20.8	
2.30	18.7	16.6	2.1	17.1	19.9	
2.45	18.6	16.4	2.2	16.9	20.8	
3.00	18.3	16.2	2.1	16.7	19.9	
3.15	18.0	15.8	2.2	16.3	20.8	
3.30	17.9	15.8	2.2	16.2	20.4	
3.45	17.9	15.7	2.3	16.2	21.3	
4.00	17.8	15.7	2.1	16.0	19.9	78.3
4.15	17.8	15.6	2.2	16.0	20.8	
4.30	17.8	15.6	2.3	15.9	21.3	
4.45	17.9	15.7	2.2	16.1	20.8	
5.00	17.8	15.7	2.1	16.0	19.9	
5.15	17.8	15.8	2.0	16.2	18.9	
5.30	17.9	15.9	2.1	16.2	19.4	
5.45	17.9	15.9	2.1	16.3	19.4	
6.00	18.0	15.8	2.2	16.3	20.8	

ตารางที่ ค-6 แสดงผลการทดลองในวันที่ 13-14 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.0 m/s

เวลา นาฬิกา	Ti,Ta °C	To °C	Ti-To °C	Tp °C	Cooling power watts	RH
21.00	20.8	18.8	2.0	19.1	18.9	
21.15	20.8	18.8	2.0	19.1	18.9	
21.30	20.5	18.5	2.1	18.9	19.4	
21.45	20.4	18.3	2.2	18.6	20.4	
22.00	19.9	17.9	2.1	18.2	19.4	69.6
22.15	19.6	17.7	2.0	18.0	18.5	
22.30	19.5	17.3	2.2	17.7	20.8	
22.45	19.3	17.6	1.7	17.8	16.1	
23.00	19.2	17.3	1.9	17.6	18.0	
23.15	19.0	17.2	1.8	17.5	17.1	
23.30	18.9	17.0	2.0	17.3	18.5	
23.45	18.8	17.0	1.8	17.3	17.1	
0.00	18.8	16.9	1.9	17.1	18.0	
0.15	18.7	16.9	1.9	17.2	17.5	
0.30	18.6	16.8	1.9	17.1	17.5	
0.45	18.5	16.8	1.8	17.1	16.6	
1.00	18.6	16.8	1.9	16.9	17.5	75.6
1.15	18.6	16.7	2.0	16.9	18.5	
1.30	18.4	16.7	1.8	16.9	16.6	
1.45	18.2	16.6	1.7	16.8	15.6	
2.00	18.3	16.3	2.1	16.6	19.4	
2.15	18.0	16.0	2.0	16.4	18.9	
2.30	17.9	15.9	2.1	16.2	19.4	
2.45	17.6	15.7	1.9	16.1	18.0	
3.00	17.6	16.0	1.7	16.2	15.6	
3.15	17.6	15.8	1.9	16.0	17.5	
3.30	17.4	15.5	1.9	15.8	18.0	
3.45	17.5	15.8	1.8	16.1	16.6	
4.00	17.4	15.6	1.9	15.9	17.5	75.0
4.15	17.3	15.6	1.8	15.9	16.6	
4.30	17.3	15.3	2.1	15.6	19.4	
4.45	17.2	15.4	1.8	15.7	17.1	
5.00	17.2	15.4	1.8	15.6	17.1	
5.15	17.0	15.5	1.5	15.8	14.2	
5.30	17.1	15.2	1.9	15.5	18.0	
5.45	17.0	15.2	1.9	15.4	17.5	
6.00	16.8	15.2	1.7	15.5	15.6	

ตารางที่ ค-7 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 8-9 มีนาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.7 m/s

เวลา นาฬิกา	T _{i,Ta} °C	T _o °C	T _{i-To} °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	21.0	18.9	2.1	19.3	33.8	
21.15	20.8	18.8	2.1	19.1	33.0	
21.30	20.8	18.7	2.1	19.0	33.8	
21.45	20.7	18.6	2.1	18.9	33.8	
22.00	20.4	18.3	2.2	18.5	34.6	75.9
22.15	20.3	18.2	2.2	18.3	34.6	
22.30	20.1	18.0	2.2	18.2	34.6	
22.45	20.0	17.9	2.1	18.0	33.8	
23.00	19.7	17.8	2.0	17.9	31.4	
23.15	19.7	17.8	2.0	17.9	31.4	
23.30	19.5	17.5	2.1	17.6	33.0	
23.45	19.4	17.4	2.1	17.5	33.0	
0.00	19.2	17.4	1.9	17.5	29.8	
0.15	19.2	17.3	2.0	17.4	31.4	
0.30	18.9	16.8	2.1	16.9	33.8	
0.45	18.7	16.6	2.1	16.7	33.8	
1.00	18.8	16.7	2.1	16.7	33.8	85.2
1.15	18.6	16.5	2.2	16.6	34.6	
1.30	18.6	16.5	2.1	16.5	33.8	
1.45	18.5	16.6	2.0	16.6	31.4	
2.00	18.4	16.5	2.0	16.5	31.4	
2.15	18.4	16.4	2.0	16.5	32.2	
2.30	18.4	16.3	2.1	16.4	33.8	
2.45	18.2	16.2	2.0	16.3	32.2	
3.00	18.4	16.9	1.6	16.9	25.0	
3.15	18.2	16.5	1.8	16.5	28.2	
3.30	18.2	16.4	1.8	16.5	29.0	
3.45	18.1	16.4	1.8	16.4	28.2	
4.00	18.1	16.5	1.6	16.5	25.8	87.9
4.15	18.3	16.6	1.8	16.6	28.2	
4.30	18.2	16.3	1.9	16.4	30.6	
4.45	18.1	16.4	1.7	16.4	27.4	
5.00	18.2	16.6	1.7	16.6	26.6	
5.15	18.1	16.5	1.7	16.4	26.6	
5.30	18.3	16.9	1.4	16.9	22.5	
5.45	18.3	16.8	1.5	16.8	24.2	
6.00	18.2	16.7	1.6	16.6	25.0	

ตารางที่ ค-8 แสดงผลการทดลองในวันที่ 7-8 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.7 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i ,T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
27.00	21.1	19.5	1.6	20.0	25.8	
21.15	20.7	19.0	1.7	19.6	27.4	
21.30	20.6	19.0	1.6	19.6	25.8	
21.45	20.5	18.9	1.6	19.5	25.8	
22.00	20.1	18.6	1.6	19.0	25.0	70.3
22.15	20.1	18.8	1.4	19.3	21.7	
22.30	19.9	18.4	1.5	18.9	24.2	
22.45	19.5	17.9	1.7	18.3	26.6	
23.00	19.5	18.0	1.5	18.4	24.2	
23.15	19.4	18.0	1.5	18.5	23.3	
23.30	19.2	17.7	1.6	18.1	25.0	
23.45	19.3	17.8	1.5	18.3	24.2	
0.00	19.1	17.7	1.5	18.1	23.3	
0.15	19.1	17.7	1.4	18.3	22.5	
0.30	18.9	17.4	1.5	17.9	24.2	
0.45	18.9	17.4	1.5	17.9	24.2	
1.00	18.4	17.1	1.3	17.6	20.9	75.8
1.15	18.3	16.8	1.5	17.3	24.2	
1.30	18.2	16.7	1.5	17.2	24.2	
1.45	18.0	16.5	1.6	16.9	25.0	
2.00	18.0	16.4	1.7	16.8	26.6	
2.15	18.1	16.6	1.6	16.9	25.0	
2.30	18.1	16.6	1.6	17.0	25.0	
2.45	18.2	17.1	1.2	17.4	18.5	
3.00	18.1	17.1	1.1	17.4	16.9	
3.15	18.1	16.8	1.4	17.1	21.7	
3.30	18.1	16.7	1.5	17.1	23.3	
3.45	18.2	16.8	1.4	17.3	22.5	
4.00	18.0	16.5	1.5	17.0	24.2	81.8
4.15	18.0	16.6	1.5	16.9	23.3	
4.30	18.1	16.7	1.5	17.1	23.3	
4.45	17.8	16.3	1.5	16.7	24.2	
5.00	17.9	16.4	1.5	16.9	24.2	
5.15	18.0	16.6	1.5	16.9	23.3	
5.30	17.8	16.2	1.6	16.6	25.8	
5.45	17.8	16.3	1.6	16.7	25.0	
6.00	17.8	16.1	1.8	16.5	28.2	

ตารางที่ ค-9 แสดงผลการทดลองในวันที่ 14-15 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.7 m/s

เวลา นาฬิกา	T _{i,Ta} °C	T _o °C	T _{i-To} °C	T _p °C	Cooling power watts	RH
21.00	20.6	19.8	0.8	19.8	12.9	
21.15	20.5	19.8	0.8	19.8	12.1	
21.30	20.2	19.3	0.9	19.3	15.3	
21.45	20.0	18.9	1.2	18.9	18.5	
22.00	19.9	18.8	1.2	18.9	18.5	67.2
22.15	19.8	18.8	1.0	18.9	16.1	
22.30	19.8	18.6	1.3	18.7	20.1	
22.45	19.7	18.2	1.5	18.5	24.2	
23.00	19.5	17.9	1.6	18.1	25.8	
23.15	19.5	18.0	1.6	18.1	25.0	
23.30	19.4	18.0	1.5	18.1	23.3	
23.45	19.4	18.1	1.4	18.3	21.7	
0.00	19.3	18.2	1.1	18.2	17.7	
0.15	19.3	18.2	1.2	18.3	18.5	
0.30	19.2	18.2	1.0	18.2	16.1	
0.45	19.3	18.4	0.9	18.5	15.3	
1.00	19.1	18.1	1.1	18.2	16.9	69.8
1.15	19.1	18.2	1.0	18.2	15.3	
1.30	19.0	17.8	1.2	17.9	19.3	
1.45	19.0	17.7	1.3	17.9	20.9	
2.00	18.9	17.5	1.5	17.6	23.3	
2.15	18.8	17.3	1.5	17.5	24.2	
2.30	18.7	17.1	1.7	17.3	26.6	
2.45	18.6	17.2	1.5	17.4	23.3	
3.00	18.5	16.9	1.6	17.1	25.8	
3.15	18.4	16.7	1.7	16.9	27.4	
3.30	18.1	16.5	1.6	16.7	25.8	
3.45	18.2	17.0	1.2	17.2	19.3	
4.00	18.4	17.5	0.9	17.6	14.5	72.1
4.15	18.3	17.0	1.3	17.2	20.9	
4.30	18.5	17.4	1.1	17.5	17.7	
4.45	18.7	17.7	1.0	17.8	16.1	
5.00	18.7	17.4	1.4	17.6	21.7	
5.15	18.8	17.3	1.6	17.6	25.0	
5.30	18.7	17.3	1.5	17.5	23.3	
5.45	18.7	17.8	0.9	17.8	15.3	
6.00	19.0	18.3	0.7	18.3	11.3	

ตารางที่ ค-10 แสดงผลการทดลองในวันที่ 1-2 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.0 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i , T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	26.9	25.7	1.2	25.7	11.4	
21.15	27.0	25.9	1.2	25.7	10.9	
21.30	26.8	25.1	1.8	25.2	16.6	
21.45	26.4	24.8	1.7	24.8	15.6	
22.00	26.2	25.0	1.3	24.9	11.8	75.3
22.15	26.1	24.9	1.3	24.7	11.8	
22.30	25.8	24.1	1.7	24.2	16.1	
22.45	25.5	23.8	1.7	23.9	16.1	
23.00	25.2	23.4	1.9	23.5	17.5	
23.15	25.1	23.2	1.9	23.3	18.0	
23.30	24.8	22.8	2.1	23.0	19.4	
23.45	24.7	22.9	1.8	23.0	17.1	
0.00	24.2	22.5	1.8	22.6	16.6	
0.15	24.2	22.3	2.0	22.3	18.5	
0.30	24.0	22.0	2.0	22.1	18.9	
0.45	24.1	21.9	2.2	22.1	20.8	
1.00	23.9	21.8	2.2	22.0	20.4	84.5
1.15	23.8	21.8	2.0	22.0	18.9	
1.30	23.6	21.7	2.0	21.8	18.5	
1.45	23.5	21.4	2.1	21.7	19.9	
2.00	23.3	21.3	2.0	21.5	18.9	
2.15	23.4	21.4	2.0	21.7	18.9	
2.30	23.2	21.6	1.7	21.6	15.6	
2.45	23.0	21.2	1.8	21.4	17.1	
3.00	22.8	21.0	1.9	21.1	17.5	
3.15	22.9	21.0	2.0	21.2	18.5	
3.30	22.8	21.0	1.8	21.1	17.1	
3.45	22.8	21.0	1.9	21.1	17.5	
4.00	22.6	21.0	1.6	21.1	15.2	89.3
4.15	22.3	20.7	1.7	20.8	15.6	
4.30	22.2	20.6	1.6	20.7	15.2	
4.45	22.1	20.7	1.5	20.7	13.7	
5.00	22.2	20.8	1.5	20.9	13.7	
5.15	22.1	20.7	1.5	20.7	13.7	
5.30	22.1	20.4	1.7	20.5	16.1	
5.45	22.1	20.5	1.7	20.5	15.6	
6.00	21.8	20.3	1.5	20.3	14.2	

ตารางที่ ค-11 แสดงผลการทดลองในวันที่ 4-5 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.0 m/s

เวลา นาฬิกา	T _{i,Ta} °C	T _o °C	T _{i-To} °C	T _p °C	Cooling power watts	RH
21.00	25.3	24.3	1.0	24.6	9.5	
21.15	25.2	23.6	1.6	23.9	15.2	
21.30	25.0	23.5	1.5	23.7	14.2	
21.45	25.1	24.2	0.9	24.1	8.5	
22.00	25.0	24.0	1.1	23.9	9.9	71.7
22.15	24.7	23.3	1.4	23.4	13.3	
22.30	24.5	22.8	1.8	22.8	16.6	
22.45	24.2	22.5	1.7	22.6	16.1	
23.00	23.9	22.2	1.8	22.2	16.6	
23.15	23.7	22.0	1.8	21.9	16.6	
23.30	23.6	21.7	2.0	21.7	18.5	
23.45	23.4	21.4	2.0	21.6	18.9	
0.00	23.3	21.3	2.0	21.5	18.9	
0.15	23.2	21.2	2.1	21.4	19.4	
0.30	23.0	21.1	1.9	21.3	18.0	
0.45	23.0	21.0	2.1	21.0	19.4	
1.00	22.9	21.0	2.0	21.1	18.5	80.8
1.15	22.7	20.7	2.1	20.7	19.4	
1.30	22.8	20.7	2.1	20.9	19.9	
1.45	22.7	20.4	2.4	20.5	22.3	
2.00	22.5	20.4	2.2	20.5	20.4	
2.15	22.3	20.2	2.1	20.3	19.9	
2.30	22.2	20.2	2.1	20.2	19.4	
2.45	22.2	20.1	2.1	20.2	19.9	
3.00	22.0	19.9	2.2	19.9	20.4	
3.15	21.8	19.7	2.2	19.7	20.4	
3.30	21.9	19.7	2.2	19.9	20.8	
3.45	21.6	19.7	2.0	19.8	18.5	
4.00	21.5	19.4	2.1	19.5	19.9	85.5
4.15	21.4	19.3	2.1	19.5	19.9	
4.30	21.2	19.1	2.1	19.2	19.9	
4.45	21.1	19.1	2.0	19.3	18.9	
5.00	21.0	18.9	2.2	19.0	20.4	
5.15	21.1	19.0	2.2	19.0	20.4	
5.30	21.0	18.9	2.2	18.8	20.4	
5.45	21.0	18.9	2.2	18.9	20.4	
6.00	21.1	19.0	2.2	19.0	20.4	

ตารางที่ ค-12 แสดงผลการทดสอบในวันที่ 2-3 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.25 m/s

เวลา นาฬิกา	T _{i,Ta} °C	T _o °C	T _{i-To} °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	26.5	24.5	2.1	24.5	24.3	
21.15	26.4	24.1	2.3	24.3	27.2	
21.30	25.8	23.7	2.2	23.6	25.5	
21.45	25.7	23.6	2.1	23.7	24.9	
22.00	25.5	23.5	2.0	23.6	23.7	75.8
22.15	25.4	23.4	2.0	23.6	23.7	
22.30	25.1	23.3	1.8	23.4	21.3	
22.45	25.0	23.3	1.8	23.2	20.7	
23.00	25.0	23.1	2.0	23.0	23.1	
23.15	24.7	22.8	1.9	23.0	22.5	
23.30	24.3	22.3	2.1	22.4	24.3	
23.45	24.4	22.4	2.1	22.4	24.3	
0.00	24.2	22.1	2.2	22.1	25.5	
0.15	24.2	22.0	2.3	21.9	26.6	
0.30	24.0	22.0	2.0	22.0	23.7	
0.45	24.0	22.1	2.0	22.1	23.1	
1.00	23.8	22.0	1.8	22.0	21.3	82.9
1.15	23.7	21.7	2.1	21.8	24.3	
1.30	23.6	21.6	2.0	21.7	23.7	
1.45	23.6	21.6	2.1	21.8	24.3	
2.00	23.2	21.3	1.9	21.4	22.5	
2.15	23.2	21.2	2.1	21.3	24.3	
2.30	22.9	21.0	1.9	21.1	22.5	
2.45	22.9	20.9	2.0	20.9	23.7	
3.00	22.8	20.9	2.0	20.9	23.1	
3.15	22.8	20.9	2.0	20.9	23.1	
3.30	22.8	20.8	2.0	20.8	23.7	
3.45	22.7	20.8	2.0	20.8	23.1	
4.00	22.5	20.7	1.9	20.6	21.9	88.4
4.15	22.5	20.7	1.9	20.7	21.9	
4.30	22.3	20.7	1.7	20.7	19.5	
4.45	22.3	20.5	1.8	20.4	21.3	
5.00	22.3	20.7	1.7	20.6	19.5	
5.15	22.2	20.5	1.7	20.5	20.1	
5.30	22.1	20.5	1.6	20.4	18.9	
5.45	22.2	20.5	1.7	20.4	20.1	
6.00	22.1	20.4	1.7	20.3	20.1	

ตารางที่ ค-13 แสดงผลการทดลองในวันที่ 3-4 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i ,T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Density kg/m ³	Area m ²	Velocity m/s	C _p J/kg°C	Cooling power watts	RH %
21.00	26.9	24.8	2.2	25.2	1.18	0.008	1.50	1006.0	30.5	
21.15	26.4	24.5	1.9	24.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.0	
21.30	26.4	24.4	2.1	24.6	1.18	0.008	1.50	1006.0	29.1	
21.45	26.0	24.0	2.1	24.1	1.18	0.008	1.50	1006.0	29.1	
22.00	25.8	23.9	2.0	24.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	74.0
22.15	25.8	23.8	2.1	23.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	29.1	
22.30	25.8	23.8	2.0	24.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	28.4	
22.45	25.8	23.7	2.1	23.8	1.18	0.008	1.50	1006.0	29.8	
23.00	25.5	23.5	2.0	23.6	1.18	0.008	1.50	1006.0	28.4	
23.15	25.2	23.3	2.0	23.3	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	
23.30	25.0	23.1	2.0	23.2	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	
23.45	24.9	23.0	2.0	23.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	
0.00	24.7	22.8	2.0	22.7	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	
0.15	24.7	22.8	2.0	22.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	
0.30	24.5	22.6	2.0	22.6	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	
0.45	24.3	22.4	2.0	22.4	1.18	0.008	1.50	1006.0	27.7	
1.00	24.1	22.1	2.1	22.1	1.18	0.008	1.50	1006.0	29.1	83.1
1.15	23.8	22.0	1.9	22.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	26.3	
1.30	23.9	21.6	2.3	21.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	32.7	
1.45	23.8	21.7	2.2	21.8	1.18	0.008	1.50	1006.0	30.5	
2.00	23.4	21.4	2.1	21.4	1.18	0.008	1.50	1006.0	29.1	
2.15	23.3	21.3	2.0	21.2	1.18	0.008	1.50	1006.0	28.4	
2.30	23.0	21.2	1.8	21.1	1.18	0.008	1.50	1006.0	25.6	
2.45	22.9	21.1	1.9	21.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	26.3	
3.00	22.9	21.1	1.9	20.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	26.3	
3.15	22.9	21.1	1.9	21.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	26.3	
3.30	22.9	21.1	1.9	21.1	1.18	0.008	1.50	1006.0	26.3	
3.45	22.8	21.1	1.8	21.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	24.9	
4.00	22.8	21.0	1.8	21.0	1.18	0.008	1.50	1006.0	25.6	91.1
4.15	22.7	20.9	1.8	20.7	1.18	0.008	1.50	1006.0	25.6	
4.30	22.7	20.9	1.8	20.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	25.6	
4.45	22.5	20.7	1.8	20.7	1.18	0.008	1.50	1006.0	25.6	
5.00	22.5	20.9	1.7	20.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	23.4	
5.15	22.4	20.8	1.7	20.9	1.18	0.008	1.50	1006.0	23.4	
5.30	22.2	20.7	1.5	20.6	1.18	0.008	1.50	1006.0	21.3	
5.45			0.0		1.18	0.008	1.50	1006.0	0.0	
6.00			0.0		1.18	0.008	1.50	1006.0	0.0	

ตารางที่ ค-14 แสดงผลการทดลองในวันที่ 6-7 กันยายน 2548

ความเร็วอากาศ 1.00 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i ,T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH
21.00	27.2	26.2	1.1		2.5	
21.15	27.3	26.2	1.2		2.7	
21.30	27.3	26.0	1.3		3.1	
21.45	27.0	26.0	1.1		2.5	
22.00	27.1	25.9	1.3		3.0	94.3
22.15	27.2	26.0	1.3		3.0	
22.30	27.0	25.8	1.2		2.8	
22.45	27.2	26.2	1.1		2.5	
23.00	26.4	26.4	0.0		0.0	
23.15	24.2	24.4	-0.2		-0.4	
23.30	23.6	23.3	0.3		0.7	
23.45	25.0	24.7	0.4		0.8	
0.00	24.9	24.7	0.3		0.6	
0.15	24.3	24.4	-0.1		-0.2	
0.30	24.5	24.3	0.3		0.6	
0.45	24.0	23.9	0.1		0.4	
1.00	24.2	23.9	0.3		0.7	95.7
1.15	24.3	24.0	0.4		0.8	
1.30			0.0		0.0	
1.45			0.0		0.0	
2.00			0.0		0.0	
2.15			0.0		0.0	
2.30			0.0		0.0	
2.45			0.0		0.0	
3.00			0.0		0.0	
3.15			0.0		0.0	
3.30			0.0		0.0	
3.45			0.0		0.0	
4.00			0.0		0.0	96.6
4.15			0.0		0.0	
4.30			0.0		0.0	
4.45			0.0		0.0	
5.00			0.0		0.0	
5.15			0.0		0.0	
5.30			0.0		0.0	
5.45			0.0		0.0	
6.00			0.0		0.0	

ตารางที่ ค-15 แสดงผลการทดลองในวันที่ 6-7 ตุลาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.00 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i ,T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH
21.00	'					
21.15						
21.30						
21.45						
22.00	25.0	24.4	0.6	24.3	1.4	91.8
22.15	25.1	24.4	0.8	24.4	1.8	
22.30	25.0	24.3	0.7	24.2	1.7	
22.45	25.0	24.2	0.8	24.1	1.9	
23.00	24.9	24.1	0.8	24.1	1.9	
23.15	25.1	24.3	0.8	24.2	1.9	
23.30	25.2	24.5	0.8	24.3	1.8	
23.45	25.2	24.1	1.2	23.8	2.7	
0.00	25.0	23.7	1.3	23.5	3.1	
0.15	25.3	24.2	1.2	24.0	2.7	
0.30	25.2	24.3	0.9	24.2	2.2	
0.45	25.2	23.9	1.4	23.8	3.2	
1.00	24.9	23.6	1.3	23.6	3.1	92.4
1.15	24.7	23.4	1.4	23.2	3.2	
1.30	24.5	23.0	1.6	22.8	3.7	
1.45	24.5	23.1	1.4	22.9	3.3	
2.00	24.6	23.2	1.4	23.2	3.3	
2.15	24.2	23.2	1.1	23.1	2.5	
2.30	24.4	23.3	1.2	23.2	2.7	
2.45	24.6	23.6	1.1	23.5	2.5	
3.00	24.5	23.6	0.9	23.3	2.2	
3.15	24.1	23.1	1.0	23.0	2.4	
3.30	24.0	23.0	1.0	22.8	2.4	
3.45	24.4	23.4	1.1	23.2	2.5	
4.00	24.0	22.9	1.1	22.8	2.6	93.9
4.15	24.3	23.1	1.2	23.1	2.8	
4.30	23.9	22.7	1.2	22.6	2.8	
4.45	23.8	22.8	1.0	22.7	2.4	
5.00	23.9	22.8	1.1	22.6	2.6	
5.15	23.8	22.7	1.1	22.6	2.6	
5.30	23.9	22.8	1.2	22.6	2.7	
5.45	23.7	22.7	1.1	22.6	2.9	
6.00	23.6	23.1	0.6	22.8	5.2	

ตารางที่ ค-16 แสดงผลการทดลองในวันที่ 7-8 ตุลาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.00 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i , T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH
21.00	25.6	24.0	1.6	24.1	3.8	
21.15	25.6	23.7	1.9	23.7	4.5	
21.30	25.4	23.8	1.6	23.7	3.8	
21.45	25.2	23.5	1.7	23.4	4.0	
22.00	25.4	23.5	2.0	23.3	4.6	80.4
22.15	25.5	23.7	1.9	23.6	4.4	
22.30	25.4	23.8	1.6	23.7	3.8	
22.45	25.2	23.6	1.6	23.5	3.8	
23.00	25.0	23.3	1.8	23.1	4.1	
23.15	25.0	23.3	1.8	23.2	4.1	
23.30	25.0	23.8	1.3	23.4	3.0	
23.45	25.0	23.8	1.3	23.4	3.0	
0.00	24.9	23.8	1.2	23.4	2.7	
0.15	24.8	23.7	1.2	23.3	2.7	
0.30	24.7	23.6	1.1	23.3	2.6	
0.45	24.7	23.7	1.1	23.2	2.5	
1.00	24.6	23.6	1.1	23.3	2.5	87.4
1.15	24.4	23.5	0.9	23.2	2.1	
1.30	24.4	23.5	0.9	23.0	2.2	
1.45	24.4	23.4	1.0	23.0	2.4	
2.00	24.4	23.4	1.0	23.2	2.1	
2.15	24.5	23.1	1.5	22.9	3.4	
2.30	24.5	23.4	1.2	23.1	2.7	
2.45	24.7	24.0	0.8	23.6	1.8	
3.00	23.5	23.3	0.3	22.7	0.6	
3.15	23.3	22.9	0.4	22.4	0.9	
3.30	23.2	22.7	0.6	22.0	1.3	
3.45	23.1	22.7	0.4	22.1	0.9	
4.00	23.0	22.3	0.7	22.0	1.7	93.9
4.15	22.9	22.4	0.5	22.0	1.2	
4.30	23.1	22.7	0.4	22.2	0.9	
4.45	23.0	22.6	0.4	22.2	1.1	
5.00	22.8	22.4	0.4	21.8	0.9	
5.15	22.9	22.5	0.4	22.1	1.1	
5.30	22.7	22.4	0.3	21.9	0.8	
5.45	22.7	22.4	0.3	22.0	3.3	
6.00	22.7	22.5	0.3	21.9	2.4	

ตารางที่ ค-17 แสดงผลการทดลองในวันที่ 13-14 ตุลาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.00 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i , T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	25.7	24.4	1.4	24.4	3.2	
21.15	25.8	24.5	1.4	24.7	3.2	
21.30	25.2	24.0	1.2	24.1	2.8	
21.45	25.2	23.9	1.3	23.8	3.1	
22.00	25.3	24.2	1.2	24.1	2.7	94.2
22.15	25.0	23.7	1.4	23.6	3.2	
22.30	24.8	23.6	1.3	23.4	3.0	
22.45	25.0	24.1	0.9	23.9	2.2	
23.00	25.0	24.0	1.0	23.9	2.4	
23.15	24.8	23.8	1.0	23.7	2.4	
23.30	24.7	23.4	1.3	23.2	3.1	
23.45	24.9	23.9	1.1	23.6	2.5	
0.00	25.0	24.1	0.9	24.0	2.1	
0.15	24.8	23.9	0.9	23.8	2.2	
0.30	24.7	23.7	1.0	23.6	2.4	
0.45	25.0	24.0	1.0	23.9	2.4	
1.00	24.8	24.0	0.9	23.8	2.0	94.9
1.15	24.5	23.4	1.1	23.1	2.6	
1.30	24.8	23.6	1.3	23.0	3.0	
1.45	24.8	23.6	1.3	23.3	3.0	
2.00	24.8	23.7	1.2	23.6	2.7	
2.15	24.6	23.3	1.4	23.1	3.2	
2.30	24.7	23.5	1.3	23.3	3.0	
2.45	24.7	23.2	1.6	23.0	3.7	
3.00	24.4	23.3	1.2	23.2	2.7	
3.15	24.5	23.1	1.5	22.8	3.4	
3.30	24.5	23.3	1.2	23.3	2.8	
3.45	24.3	23.1	1.2	23.1	2.8	
4.00	24.2	23.1	1.2	22.9	2.7	96.5
4.15	24.2	22.9	1.3	22.5	3.1	
4.30	24.1	22.8	1.4	22.5	3.2	
4.45	24.1	22.9	1.2	22.8	2.8	
5.00	24.0	22.7	1.3	22.6	3.1	
5.15	23.9	22.5	1.4	22.3	3.3	
5.30	23.7	22.4	1.3	22.1	3.1	
5.45	23.9	22.6	1.3	22.5	12.3	
6.00	23.7	22.4	1.3	22.3	12.3	

ตารางที่ ค-18 แสดงผลการทดลองในวันที่ 8-9 ตุลาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.25 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i ,T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	25.7	24.4	1.4	24.4	16.0	
21.15	25.8	24.5	1.4	24.7	16.0	
21.30	25.2	24.0	1.2	24.1	14.2	
21.45	25.2	23.9	1.3	23.8	15.4	
22.00	25.3	24.2	1.2	24.1	13.6	94.2
22.15	25.0	23.7	1.4	23.6	16.0	
22.30	24.8	23.6	1.3	23.4	14.8	
22.45	25.0	24.1	0.9	23.9	11.2	
23.00	25.0	24.0	1.0	23.9	11.8	
23.15	24.8	23.8	1.0	23.7	11.8	
23.30	24.7	23.4	1.3	23.2	15.4	
23.45	24.9	23.9	1.1	23.6	12.4	
0.00	25.0	24.1	0.9	24.0	10.7	
0.15	24.8	23.9	0.9	23.8	11.2	
0.30	24.7	23.7	1.0	23.6	11.8	
0.45	25.0	24.0	1.0	23.9	11.8	
1.00	24.8	24.0	0.9	23.8	10.1	94.9
1.15	24.5	23.4	1.1	23.1	13.0	
1.30	24.8	23.6	1.3	23.0	14.8	
1.45	24.8	23.6	1.3	23.3	14.8	
2.00	24.8	23.7	1.2	23.6	13.6	
2.15	24.6	23.3	1.4	23.1	16.0	
2.30	24.7	23.5	1.3	23.3	14.8	
2.45	24.7	23.2	1.6	23.0	18.4	
3.00	24.4	23.3	1.2	23.2	13.6	
3.15	24.5	23.1	1.5	22.8	17.2	
3.30	24.5	23.3	1.2	23.3	14.2	
3.45	24.3	23.1	1.2	23.1	14.2	
4.00	24.2	23.1	1.2	22.9	13.6	96.5
4.15	24.2	22.9	1.3	22.5	15.4	
4.30	24.1	22.8	1.4	22.5	16.0	
4.45	24.1	22.9	1.2	22.8	14.2	
5.00	24.0	22.7	1.3	22.6	15.4	
5.15	23.9	22.5	1.4	22.3	16.6	
5.30	23.7	22.4	1.3	22.1	15.4	
5.45	23.9	22.6	1.3	22.5	15.4	
6.00	23.7	22.4	1.3	22.3	15.4	

ตารางที่ ค-19 แสดงผลการทดลองในวันที่ 11-12 ตุลาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.25 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i ,T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH
21.00	25.0	23.8	1.2	23.7	14.2	
21.15	24.8	23.3	1.6	23.0	18.4	
21.30	24.7	23.1	1.7	22.8	19.5	
21.45	24.7	23.1	1.7	22.9	19.5	
22.00	24.5	23.0	1.6	22.7	18.4	90.7
22.15	24.3	22.7	1.6	22.4	18.9	
22.30	24.2	22.7	1.5	22.4	17.8	
22.45	24.1	22.7	1.5	22.3	17.2	
23.00	23.9	22.6	1.3	22.3	15.4	
23.15	23.7	22.6	1.2	22.1	13.6	
23.30	23.9	22.6	1.3	22.2	15.4	
23.45	24.0	22.8	1.2	22.5	14.2	
0.00	24.0	22.9	1.1	22.7	13.0	
0.15	23.9	22.8	1.2	22.4	13.6	
0.30	23.9	22.8	1.2	22.4	13.6	
0.45	24.0	23.0	1.1	22.7	12.4	
1.00	23.9	22.7	1.2	22.4	14.2	93.9
1.15	24.1	22.8	1.3	22.7	15.4	
1.30	23.9	22.8	1.1	22.7	13.0	
1.45	23.9	22.5	1.5	22.1	17.2	
2.00	23.8	22.6	1.2	22.3	14.2	
2.15	24.1	23.2	0.9	23.2	10.7	
2.30	23.9	22.8	1.2	22.7	13.6	
2.45	23.9	22.8	1.2	22.7	13.6	
3.00	23.5	22.2	1.3	21.7	15.4	
3.15	23.6	22.6	1.0	22.3	11.8	
3.30	23.5	22.3	1.2	22.1	14.2	
3.45	23.3	22.2	1.2	21.8	13.6	
4.00	23.3	22.2	1.1	21.8	13.0	94.7
4.15	23.3	22.2	1.1	21.7	13.0	
4.30	23.6	22.6	1.0	22.4	11.8	
4.45	23.7	22.7	1.1	22.4	12.4	
5.00	23.7	22.6	1.1	22.5	13.0	
5.15	23.5	22.6	0.9	22.4	11.2	
5.30	23.5	22.7	0.9	22.3	10.1	
5.45	23.8	23.0	0.8	23.0	9.5	
6.00	23.9	23.0	0.9	22.9	10.7	

ตารางที่ ค-20 แสดงผลการทดลองในวันที่ 12-13 ตุลาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.25 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i ,T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	25.4	24.4	1.1	24.3	12.4	
21.15	25.3	24.6	0.8	24.5	8.9	
21.30	25.2	24.3	0.9	23.9	10.7	
21.45	25.4	24.4	1.0	24.4	11.8	
22.00	25.4	24.7	0.8	24.5	8.9	95.8
22.15	25.0	24.0	1.0	23.9	11.8	
22.30	25.2	24.3	0.9	24.3	11.2	
22.45	25.0	23.9	1.1	24.0	13.0	
23.00	25.0	23.9	1.2	23.9	13.6	
23.15	24.9	24.0	0.9	23.8	10.7	
23.30	24.7	23.5	1.3	23.5	14.8	
23.45	24.7	23.7	1.0	23.7	11.8	
0.00	24.5	23.3	1.3	23.1	14.8	
0.15	25.0	23.8	1.2	23.7	14.2	
0.30	24.9	23.8	1.1	23.7	13.0	
0.45	24.6	23.3	1.3	23.0	15.4	
1.00	24.8	23.5	1.4	23.5	16.0	
1.15	24.9	23.9	1.0	23.8	11.8	95.7
1.30	24.6	23.7	0.9	23.6	10.7	
1.45	24.3	23.1	1.2	22.8	14.2	
2.00	24.7	23.5	1.3	23.2	14.8	
2.15	24.3	23.1	1.2	22.9	14.2	
2.30	24.6	23.5	1.2	23.3	13.6	
2.45	24.6	23.6	1.1	23.5	12.4	
3.00	24.5	23.5	1.1	23.5	12.4	
3.15	24.3	23.5	0.8	23.5	9.5	
3.30	24.2	23.5	0.8	23.2	8.9	
3.45	24.5	23.9	0.6	23.7	7.7	
4.00	24.4	23.4	1.0	23.3	11.8	
4.15	24.3	23.3	1.0	23.2	11.8	95.7
4.30	24.2	23.4	0.8	23.1	10.1	
4.45	24.4	23.5	0.9	23.2	11.2	
5.00	24.5	24.0	0.5	23.8	5.9	
5.15	24.7	24.3	0.4	24.0	5.3	
5.30	24.9	24.6	0.3	24.2	4.1	
5.45	25.0	24.6	0.4	24.4	4.7	
6.00	24.9	24.7	0.3	24.4	3.0	

ตารางที่ ค-21 แสดงผลการทดลองในวันที่ 9-10 ตุลาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา นาฬิกา	T _i , T _a °C	T _o °C	T _i -T _o °C	T _p °C	Cooling power watts	RH %
21.00	26.1	24.4	1.7	24.3	24.2	
21.15	26.0	24.2	1.9	24.0	26.3	
21.30	25.8	24.1	1.7	24.0	24.2	
21.45	25.2	23.7	1.6	23.6	22.0	
22.00	25.4	23.8	1.6	23.6	22.7	76.7
22.15	25.5	23.7	1.8	23.6	25.6	
22.30	25.4	23.9	1.6	23.6	22.0	
22.45	25.1	23.6	1.5	23.4	21.3	
23.00	25.0	23.4	1.7	23.2	23.4	
23.15	25.0	23.3	1.7	23.2	24.2	
23.30	24.8	23.1	1.7	22.9	24.2	
23.45	24.9	23.1	1.8	22.9	25.6	
0.00	24.7	23.2	1.6	22.8	22.0	
0.15	24.7	23.6	1.1	23.2	15.6	
0.30	24.6	23.2	1.5	23.0	20.6	
0.45	24.6	23.2	1.5	23.0	20.6	
1.00	24.4	22.8	1.6	22.6	22.7	79.8
1.15	24.2	22.5	1.7	22.3	24.2	
1.30	23.9	22.3	1.6	22.0	22.7	
1.45	23.9	22.0	1.9	21.9	27.0	
2.00	23.8	21.9	1.9	21.8	27.0	
2.15	23.7	21.8	1.9	21.7	27.0	
2.30	23.6	21.9	1.8	21.7	24.9	
2.45	23.5	21.7	1.9	21.5	26.3	
3.00	23.3	21.6	1.7	21.5	24.2	
3.15	23.3	21.6	1.8	21.4	24.9	
3.30	23.4	21.6	1.9	21.5	26.3	
3.45	23.4	21.6	1.8	21.5	25.6	
4.00	23.4	21.6	1.8	21.4	25.6	86
4.15	23.5	21.8	1.8	21.6	24.9	
4.30	23.6	21.8	1.9	21.7	26.3	
4.45	23.9	22.3	1.7	22.1	23.4	
5.00	23.7	22.1	1.6	22.1	22.7	
5.15	23.7	21.8	2.0	22.1	27.7	
5.30	23.7	21.8	1.9	22.1	27.0	
5.45	23.6	21.9	1.7	22.1	24.2	
6.00	23.5	22.0	1.5	21.8	24.2	

ตารางที่ ค-22 แสดงผลการทดลองในวันที่ 14-15 พฤษภาคม 2548

ความเร็วอากาศ 1.5 m/s

เวลา นาฬิกา	Ti,Ta °C	To °C	Ti-To °C	Tp °C	Cooling power watts	RH %
21.00	26.7	25.0	1.8	24.8	24.9	
21.15	26.9	25.0	2.0	25.0	27.7	
21.30	27.0	25.1	1.9	25.0	27.0	
21.45	26.8	24.9	2.0	24.7	27.7	
22.00	26.7	24.7	2.1	24.5	29.1	81.6
22.15	26.5	24.6	1.9	24.5	27.0	
22.30	26.5	24.4	2.2	24.2	30.5	
22.45	26.1	24.2	2.0	24.1	27.7	
23.00	25.9	24.1	1.9	23.9	26.3	
23.15	25.9	23.9	2.0	23.8	28.4	
23.30	26.0	24.0	2.0	23.8	28.4	
23.45	25.6	23.6	2.0	23.5	28.4	
0.00	25.6	23.5	2.2	23.5	30.5	
0.15	25.5	23.3	2.2	23.3	31.3	
0.30	25.3	23.3	2.0	23.2	28.4	
0.45	25.2	23.1	2.1	23.2	29.8	
1.00	25.0	22.9	2.2	22.7	30.5	87.4
1.15	24.7	22.7	2.1	22.4	29.1	
1.30	24.8	22.7	2.2	22.5	30.5	
1.45	24.7	22.5	2.2	22.4	31.3	
2.00	24.6	22.4	2.2	22.2	31.3	
2.15	24.4	22.3	2.1	22.1	29.8	
2.30	24.1	22.2	1.9	22.0	27.0	
2.45	23.9	22.1	1.9	21.9	26.3	
3.00	24.0	22.1	1.9	21.9	27.0	
3.15	23.9	22.1	1.8	21.9	25.6	
3.30	24.1	22.3	1.9	22.2	26.3	
3.45	24.0	22.1	1.9	21.8	27.0	
4.00	23.8	22.1	1.8	21.8	24.9	91.3
4.15	23.8	22.3	1.6	22.2	22.0	
4.30	23.9	22.0	1.9	21.9	27.0	
4.45	23.9	22.1	1.8	22.0	25.6	
5.00	23.9	22.0	2.0	21.8	27.7	
5.15	23.7	21.9	1.8	21.6	25.6	
5.30	23.9	22.0	1.9	21.7	27.0	
5.45	23.9	22.0	1.9	21.8	27.0	
6.00	23.6	22.0	1.7	21.8	24.2	

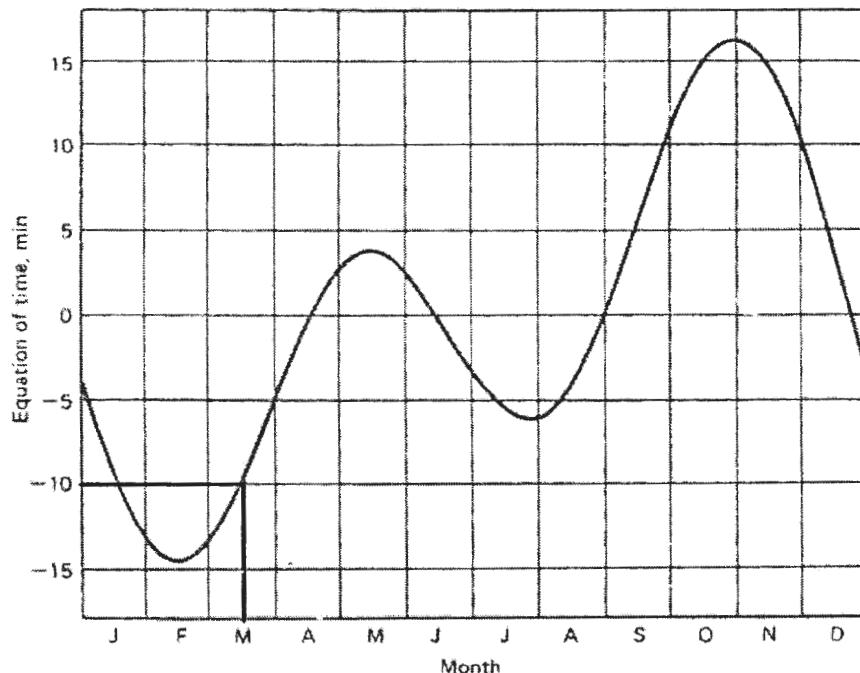
ภาคผนวก ๔
คุณลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนแบบมีกระจกปิด

ตารางที่ ง-1 คุณลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนแบบมีกระจุกปีค จาก Pannigul,1999

a.	Solar collector	
	Dimension	780x1820x90mm
	Header	1" Galvanized pipe
	Riser	3/4" Galvanized pipe
	Number of riser	7 risers
	Absorber	Steel sheet painted black Thickness 1.0 mm
	Insulation	Microfiber,thickness 25 mm
	Glass cover	Temper glass thickness 3.0 mm
	Fram	Galvanized sheet
b.	Storage tank	
	Dimension	Diameter 480 mm x 1160 mm
	Material	Stainless steel,thickness 2.0 mm
	Insulation	Microfiber,thickness 25 mm
	Cover	Stainless steel,thickness 2.0 mm
	Volumes	200 liters
	Fitting	3/4" copper pipe threaded
c.	Connecting Pipe	
	Material	3/4" Copper pipe
	Insulation	Aeroflex 3/4" wall thickness

ภาคผนวก จ
ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณประสิทธิภาพชั่วขณะ



รูปที่ จ-1 แสดงสมการเวลา,EQT ในหน่วยนาที

วันที่ 16 มีนาคม 2548, ($n = 75$) เวลา 12.00 นาฬิกา

$\phi, s = 15^\circ = 0.26, Localtime = 12.00, tz = -7, long = 7$

จากรูปที่ จ-1 $EQT = -10$

ปริมาตรน้ำในถังเก็บ 40 ลิตร

อุณหภูมิน้ำข้าแข้งเก็บรังสี (T_i) 37.8°C

อุณหภูมิน้ำข้าออกແงเก็บรังสี (T_o) 55.1°C

อุณหภูมิน้ำในถังเก็บรีมตัน (T_s) 32.5°C

อุณหภูมิน้ำในถังเก็บเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (T_f) 50.8°C

ความเร็วเฉลี่ยของน้ำข้าแข้งเก็บรังสี ที่เคลื่อนที่ผ่านท่ออย่าง (V) 2.52 cm/s

เส้นผ่าศูนย์ท่ออย่าง 1.5 cm

พื้นที่แห่งทำความเย็น (A_c) 1.67 m^2

ความเข้มแสงบนพื้นฐาน (G) 592.0 W/m^2

ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมน้ำข้า (ρ)

$$\rho = 0.0029T^2 - 0.1231T + 1003.1$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.0029 * 37.8^2 - 0.1231 * 37.8 + 1003.1 \\
 &= 994.3 g/l
 \end{aligned}$$

อัตราการไหล (m)

$$m = \frac{\rho A V}{A_c}$$

$$\begin{aligned}
 &= (994.3 * \pi * 1.5^2 * 2.52 / 4) / 1.67 * 10^6 \\
 &= 0.002639 kg/m^2 s
 \end{aligned}$$

ผลิตงานที่ได้ (Q_u)

$$Q_u = m C_p (T_o - T_i)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.002639 * 4182 * (55.1 - 37.8) \\
 &= 190.96 W/m^2
 \end{aligned}$$

มุม declination (δ)

$$\delta = 23.45 \sin(360(284 + n) / 365)$$

$$\begin{aligned}
 &= 23.45 \sin(360(284 + 75) / 365) \\
 &= -2.35
 \end{aligned}$$

เวลาสุริยะ (Solar time)

$$Solar time = Local time + tz + long + eqt / 60$$

$$\begin{aligned}
 &= 12.0 - 7 + 7 - 10 / 60 \\
 &= 11.83
 \end{aligned}$$

มุม hour angle (ω)

$$\omega = -15(12 - Solartime)$$

$$= -15(12 - 11.83)$$

$$= -2.55$$

อัตราส่วนความเข้มรังสีตรงบนพื้นอิ่ยงต่อรังสีบนพื้นราบ (R_b)

$$R_b = \frac{\cos(\phi - s)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi - s)\sin(\delta)}{\cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi)\sin(\delta)}$$

$$= \frac{\cos(0)\cos(-2.35)\cos(-2.55) + \sin(0)\sin(-2.35)}{\cos(0.26)\cos(-2.35)\cos(-2.55) + \sin(0.26)\sin(-2.35)}$$

$$= 1.05$$

ความเข้มรังสีบนพื้นอิ่ยง (G_T)

$$G_T = R_b G$$

$$= 1.05 * 592.0$$

$$= 619.81 \text{ Watts} / m^2$$

ประสิทธิภาพชั่วขณะ (η)

$$\eta = 100 Q_u / G_T$$

$$= 100 * 190.96 / 619.81$$

$$= 30.8\%$$

การคำนวณประสิทธิภาพรายวัน (η_d)

$$\eta_d = \frac{mC_p(T_s - T_f)}{A_C dT \sum G_T}$$

$$= \frac{40 * 4182 * (50.8 - 32.5)}{1.67 * 3600 * (445.25 + 591.6 + 649.7 + 619.81 + 516.61 + 561.5 + 444.38 + 297.85)}$$

$$= 12.2\%$$

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ขนาดแพงเก็บรังสีมี 2 ตารางเมตร

ขนาดถังเก็บน้ำ 70 ลิตร

อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 20°C

ราคาประมาณ 3,000 บาท

สมมติฐาน คือ อัตราดอกเบี้ย (i) 8 เปอร์เซ็นต์

อายุการใช้งาน (n) 10 ปี

ค่าบำรุงรักษาต่อปี 5 เปอร์เซ็นต์ของราคาน้ำทุน

มูลค่าซากปีสุดท้ายเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของราคาน้ำทุน

ระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ย 300 วัน/ปี

การคำนวณเงินลงทุนสร้างเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_p)

$$\begin{aligned} C_p &= \text{ราคาน้ำทุน} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\ &= 3000 * \frac{0.08(1+0.08)^{10}}{(1+0.08)^{10} - 1} \\ &= 447.1 \text{ บาท} \end{aligned}$$

มูลค่าซากเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_s)

$$C_S = \text{มูลค่าซากปีสุดท้าย} \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right)$$

$$= 3000 * 0.05 * \left(\frac{0.08}{(1+0.08)^{10} - 1} \right) \\ = 10.4 \text{ บาท}$$

ค่าซ่อมบำรุงรายปี (C_m)

$$C_m = 0.05 \times \text{ราคาต้นทุน}$$

$$= 0.05 * 3000 \\ = 150.0 \text{ บาท}$$

รวมค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด (C_T)

$$C_T = C_P - C_S + C_m$$

$$= 447.0 - 10.4 + 150.0 \\ = 587.0 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่ายต่อลิตรน้ำร้อน

$$\frac{Cost}{Liter} = \frac{C_T}{Volume \times days} \\ = \frac{587.0}{70 * 300} \\ = 0.03 \text{ บาท}$$

การคำนวณ

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance)

การทดลองในวันที่ 1-2 พฤษภาคม 2548

ปริมาตรน้ำในถังเก็บเท่ากับ (M) 71 ลิตร

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (T_s) 25.9°C

อุณหภูมิน้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (M_f) 22.2°C

อัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ (m) 0.03 kg/s

ทำการทดลองเป็นเวลา (T) 9 ชั่วโมง

ปริมาตรน้ำที่ทำการทำงานของปั๊มน้ำ 1 ครั้งเป็นเวลา (t) $100 \text{ วินาที} \times 47 \text{ ลิตร}$

กำลังปั๊มน้ำที่วัดได้ (Q_p) 225 Watts

การคำนวณ COP ขณะเวลาใดๆ

จำนวนครั้งการทำงานของปั๊ม (n_p)

$$n_p = \frac{mT}{v}$$

$$= 0.03 * 9 * 3600 / 47$$

$$= 17.05 \text{ รอบ}$$

งานรวมที่ปั๊มน้ำใช้ (W_{pt})

$$W_{pt} = Q_p * n_p * t$$

$$= 225 * 17.05 * 100 / 10^6 = 0.38MJ$$

$$= 0.38MJ$$

กำลังที่ปั๊มน้ำใช้โดยเฉลี่ยตลอดการทดลอง (Q_{pm})

$$Q_{pm} = \frac{W_{pt}}{T}$$

$$= 0.38 * 10^6 / (9 * 3600)$$

$$= 11.84 \text{ Watts}$$

ความเย็นที่ได้มี่อเวลาใดๆ (Q_{um})

$$Q_{um} = mC_p(T_i - T_o)$$

ที่เวลา 21.00 น. วัดอุณหภูมิน้ำแข็งเข้าและขาออก ได้เท่ากับ 26.2 และ 25.5°C ตามลำดับ

$$\begin{aligned}
 &= 0.03 * 4182 * (26.2 - 25.5) \\
 &= 87.8 \text{ Watts}
 \end{aligned}$$

ค่า COP ขณะเวลา 21.00 นาฬิกา

$$COP = \frac{Q_{ut}}{Q_{pt}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 87.8 / 11.84 \\
 &= 7.4
 \end{aligned}$$

การคำนวณ COP เมื่อถึงสุดการทดลอง
งานจากความเย็นที่ได้ (W_{ut})

$$\begin{aligned}
 W_{ut} &= MC_p(T_f - T_s) \\
 &= 71 * 4182(25.9 - 22.2) / 10^6 \\
 &= 1.09 MJ
 \end{aligned}$$

ค่า COP

$$COP = \frac{W_{ut}}{W_{pt}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.09 / 0.38 \\
 &= 2.87
 \end{aligned}$$

การทำลมเย็น

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance)

การทดลองในวันที่ 13-14 ธันวาคม 2548

ความเร็วอากาศ (V_w) 1.0 m/s

พื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน (A) 0.008 m^2

เวลาที่ทำการทดลอง (T) 9 ชั่วโมง
 สมมติว่าความเย็นที่ได้มีค่าคงที่ใน (t) 15 นาที
 คุณสมบัติอากาศ
 ความหนาแน่น (ρ) 1.18 kg/m^3
 ค่าความจุความร้อน (C_p) $1006.0 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$

งานจากความเย็นที่ได้ (W_{ut}) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

$$W_{ut} = t \sum m C_p (T_i - T_o)$$

จากผลการทดลอง

$$\sum m C_p (T_i - T_o) = 657.4 \text{ Watts}$$

$$\begin{aligned} W_{ut} &= 15 * 60 * 675.4 / 10^6 \\ &= 0.59 \text{ MJ} \\ \text{กำลังของพัดลม} (Q_f) & \end{aligned}$$

$$Q_f = IVP_F$$

ที่ความเร็วพัดลม 1.0 m/s

$$I = 0.115, V = 180.0, P_F = 0.85$$

$$\begin{aligned} Q_f &= 0.115 * 180.0 * 0.85 \\ &= 17.59 \text{ Watts} \end{aligned}$$

งานที่พัดลมใช้ (W_{ft})

$$\begin{aligned} W_{ft} &= Q_f T \\ &= 17.59 * 9 * 3600 / 10^6 \\ &= 0.57 \text{ MJ} \end{aligned}$$

ค่า COP

$$COP = \frac{W_{ut}}{W_{fi}}$$

$$= 0.59 / 0.57$$

$$= 1.03$$

ภาคผนวก ฉ
โปรแกรมการคำนวณระบบการทำน้ำร้อนและน้ำเย็น

```

PROGRAM COLLECTOR

! A FINITE DIFFERENCE APPROXIMATION

DIMENSION TOLD(7),TNEW(7),S(7),RMUE(7),U(7),W(7),A(7),ROH(7),QL(7),
F_TOLD(7)

OPEN(UNIT=6,FILE='2feb_recalculate.DAT')

WRITE(6,*)'TIME','I_tilt','Ti','T(1)','To','T(2)','T(3)','T(4)','T(5)',
'T(6)','T(7)','Tt','Ta','FLOW','EFF.','SI_Qu'

! CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

! ASSIGN CONSTANT VALUE

PI=3.14

G0=9.81

ALPH=.85

ZIGMA=5.67E-8

! CALCULATION NONETIME CONSTANT W,A

! CALCULATION THERMAL CAPACITY W_1

! RISER PIPE

R_NO_RIS=7.

RIS_Cp=383.

RIS_DEN=8795.

RIS_DI=+10./1000.

RIS_LE=2.5

RIS_TH=+1.35/1000.

W_RIS=PI*RIS_DI*RIS_TH*RIS_LE*R_NO_RIS*RIS_DEN*RIS_Cp

! WATER THERMAL CAPACITY IN RISER PIPE

RIS_VO=(PI*RIS_DI**2)/4.*RIS_LE*R_NO_RIS

WAT_DEN=1000.

WAT_Cp=4182.

W_WAT1=RIS_VO*WAT_DEN*WAT_Cp

! LEAD FOR WELDING

R_LEAD =1. !mass of lead =1.kg

R_LEAD_Cp=130.

W_LEAD=R_LEAD*R_LEAD_Cp

```

```

! ROOF METAL PANEL
R_META_Cp=460.
R_META_TH=+.2/1000.
R_META_WI=.67
R_META_LE=2.5
R_META_DEN=7879.

W_METAL=R_META_TH*R_META_WI*R_META_LE*R_META_DEN*
R_META_Cp

! W_1
W_1=W_RIS+W_WAT1+W_METAL

! CALCULATION THERMAL CAPACITY W_2
! OUTLET PIPE FROM COLLECTOR
OUT_Cp=383.
OUT_DEN=8795.
OUT_DI=+15./1000.
OUT_LE=1.5
OUT_TH=2./1000.
W_OUT=PI*OUT_DI*OUT_TH*OUT_LE*OUT_DEN*OUT_Cp

! WATER THERMAL CAPACITY IN OUTLET PIPE
OUT_VO=(PI*OUT_DI**2)/4*OUT_LE
W_WAT2=OUT_VO*WAT_DEN*WAT_Cp

! W_2
W_2=W_OUT+W_WAT2

! CALCULATION STORAGE TANK THERMAL CAPACITY (W3-W6)
TANK_Cp=452.
TANK_TH=2./1000.
TANK_DI=.5
TANK_H=.45
TANK_DEN=7879.

W_TANK=PI*TANK_DI*TANK_TH*TANK_H*TANK_DEN*TANK_Cp

! WATER THERMAL CAPACITY IN TANK
TANK_VO=(PI*TANK_DI**2)/4*TANK_H

```

```

W_WAT=TANK_VO*WAT_DEN*WAT_Cp
W_WAT3=W_WAT/4.
W_WAT4=W_WAT3
W_WAT5=W_WAT3
W_WAT6=W_WAT3
! W_3-W_6
W_3=(W_TANK+W_WAT)/4+(PI*TANK_DI**2/4.*TANK_TH*TANK_DEN*
TANK_Cp)
W_4=(W_TANK+W_WAT)/4
W_5=W_4
W_6=W_3
! CALCULATION INLET PIPE THERMAL CAPACITY (W7)
R_IN_DI=+15./1000.
R_IN_LE=5.4
R_IN_TH=1.3/1000.
W_IN=PI*R_IN_DI*R_IN_TH*R_IN_LE*OUT_DEN*OUT_Cp
! WATER THERMAL CAPACITY IN INLET PIPE
R_IN_VO=(PI*R_IN_DI**2)/4*R_IN_LE
W_WAT7=R_IN_VO*WAT_DEN*WAT_Cp
! W_7
W_7=W_IN+W_WAT7
! ASSIGN W(I)
W(1)=W_1
W(2)=W_2
W(3)=W_3
W(4)=W_4
W(5)=W_5
W(6)=W_6
W(7)=W_7
! CACULATION AREA OF EACH NODE
A_1=R_META_WI*R_META_LE
A_2=PI*OUT_DI*OUT_LE

```

```

A_3=(PI*TANK_DI**2)/4+PI*TANK_DI*TANK_H/4
A_4=PI*TANK_DI*TANK_H/4
A_5=A_4
A_6=A_3
A_7=PI*R_IN_DI*R_IN_LE
! ASSIGN A(I)
A(1)=A_1
A(2)=A_2
A(3)=A_3
A(4)=A_4
A(5)=A_5
A(6)=A_6
A(7)=A_7
! CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
! ASSIGN TIME STEP
! start testing at 9.00 O'clock
DTIME=.016667
S_DTIME=.016667*3600.
NSTEPS=440
! SET UP INITIAL AND BOUNDARY
TOLD(1)=30.17
TOLD(2)=30.32
TOLD(3)=40.74
TOLD(4)=40.71
TOLD(5)=40.24
TOLD(6)=36.72
TOLD(7)=30.17
ToOLD=2*TOLD(1)-TOLD(7)
DO 2 I=1,7
F_TOLD(I)=TOLD(I)*(9./5.)+32.
2 CONTINUE
F_ToOLD=ToOLD*(9./5.)+32.

```

```

!      CALCULATION NEW TEMPERATURE
TIME=DTIME
S_TIME=DTIME*3600.
ISTEPS=1
200  STEPS=ISTEPS+1
!      CALCULATION PROPERTY OF WATER (BRITISH UNIT)
DO 60 I=1,7
S(I)=-1.25E-6*TOLD(I)**2-5.83E-5*TOLD(I)+0.99967 !OK
RMUE(I)=0.0006*F_TOLD(I)**(-.9646) !OK
ROH(I)=-7E-5*F_TOLD(I)**2+0.0018*F_TOLD(I)+62.485 !OK
60    CONTINUE
So=-1.25E-6*ToOLD**2-5.83E-5*ToOLD+0.99967
!      SI UNIT
Ta_ISTEP=-.0351*TIME**3+.3101*TIME**2+.8988*TIME+25.268
KTa_ISTEP=Ta_ISTEP+273.15
Tp_ISTEP=TOLD(1)
KTp_ISTEP=Tp_ISTEP+273.15
!      WIND EFFECT, AVERAGE WIND VELOCITY 0.1 m/s
hw=2.8+3.*.1
KTs_ISTEP=.0552*KTa_ISTEP**1.5
!      RADIATION HEATLOSS
hrp_a=ALPH*ZIGMA*(KTp_ISTEP+KTs_ISTEP)*(KTp_ISTEP**2+KTs_ISTEP**2)
*(KTp_ISTEP-KTs_ISTEP)/(KTp_ISTEP-KTa_ISTEP)
!      CALCULATION HEAT LOSS COEFFICIENCY U(I)
U(1)=hw+hrp_a
!      S_U=U(1)
U(2)=0.
DO 65 I=3,6
U(I)=.9*(TOLD(I)-Ta_ISTEP)
65    CONTINUE
U(7)=0.
!      CALCULATION TOTAL HEATLOSS

```

```

DO 66 I=1,7
QL(I)=A(I)*U(I)
66  CONTINUE
QL=0.

DO 67 I=1,7
QL=QL+QL(I)
67  CONTINUE
QL=QL

!  CALCULATION FIN EFFICIENCY
CODUC=58.9

Rm=(U(1)/(CODUC*R_META_TH))**0.5
WIDTH=+9.5/100
FIN=(TANH(Rm*(WIDTH-RIS_DI)/2.))/(Rm*(WIDTH-RIS_DI)/2.)
!  CALAULATION PLAT EFFICIENCY F
Cbond=1155.
Hfi=300.
AA=1./U(1)
BB=1/(U(1)*(RIS_DI+(WIDTH-RIS_DI)*FIN))
CC=1/Cbond
DD=1/(PI*RIS_DI*Hfi)
F=AA/(WIDTH*(BB+CC+DD))

!  CALCULATION THERMORYPHON HEAD(BRITISH UNIT)
H_1=.5*3.3803
H_2=1.15*3.3803
H_3=1.50*3.3803
H_4=H_3
H_5=1.17*3.3803
H_6=1.60*3.3803

!  CALCULATION THERMOSYPHON HEAD
Fh=2*(H_3-H_1)-(H_2-H_1)-((H_3-H_5)**2)/(H_6-H_5)
Ht=0.5*(S(7)-S0)*Fh
fr=0.035

```

```

RKe=39.6

! Hf=5.65E-6*RL*RMUE*FLOW/D**4+(5.02E-13*RKe*FLOW**2)/D**4
RL=OUT_DI+R_IN_DI
RIS_AHf=5.02E-13*RKe/(OUT_DI*3.3803)**4.
RIS_BHf=5.65E-6*RL*3.3803*RMUE(1)/((OUT_DI*3.3803)**4.)

! CALCULATION FLOW RATE from Ht=Hf
flo_1=(-RIS_BHf-(RIS_BHf**2+4*RIS_AHf*Ht)**0.5)/(2.*RIS_AHf)
IF(flo_1>0)THEN
FLOW=flo_1
ELSE
flo_2=(-RIS_BHf+(RIS_BHf**2+4*RIS_AHf*Ht)**0.5)/(2.*RIS_AHf)
FLOW=flo_2
END IF
SI_FLOW=FLOW*0.4536/3600.

! .....
! SOLAR INSOLATION IS A TIME FUNCTION start at 9.00 O'clock
H_ISTEP=(-23.05*TIME**2+154.79*TIME+411.05)

! CALCULATION NEW TEMPERATURE
Ti=TOLD(7)
TNEW(1)=TOLD(1)+(S_DTIME/W(1))*(ALPH*F*A(1)*H_ISTEP-
U(1)*A(1)*(TOLD(1)-Ta_ISTEP)-SI_FLOW*WAT_Cp*(ToOLD-Ti))
TNEW(2)=TOLD(2)+(S_DTIME/W(2))*(-U(2)*A(2)*(TOLD(2)-Ta_ISTEP)-
SI_FLOW*WAT_Cp*(TOLD(2)-ToOLD))
DO 50 I=3,7
TNEW(I)=TOLD(I)+(S_DTIME/W(I))*(-U(I)*A(I)*(TOLD(I)-Ta_ISTEP)-
SI_FLOW*WAT_Cp*(TOLD(I)-TOLD(I-1)))

50 CONTINUE
ToNEW=2*TNEW(1)-TNEW(7)

! CALCULATION AVERAGE TEMPERATURE OF STORAGE TANK
Ttank=(TOLD(3)*W_WAT3+TOLD(4)*W_WAT4+TOLD(5)*W_WAT5+TOLD(6)*
W_WAT6)/W_WAT

! EFFICIENCY CACULATION

```

```
Qu=SI_FLOW*WAT_Cp*(ToNEW-TNEW(7))
EFF=Qu/(H_ISTEP*A(1))
!
CONVERSE UNIT
RTIME=TIME+8.98333333
80  CONTINUE
      WRITE(6,100)RTIME,H_ISTEP,Ti,TOLD(1),ToOLD,(TOLD(I),I=2,7),Ttank,Ta_ISTE
P,SI_FLOW,EFF,F,Ht
100 FORMAT(F6.3,1X,12F6.2,1X,F6.4,1X,F7.4,1X,2F10.6)
      DO 70 I=1,7
      TOLD(I)=TNEW(I)
70  CONTINUE
!
Ta=Ta_ISTEP
ToOLD=ToNEW
IF(ISTEPS<=NSTEPS)THEN
      TIME=TIME+DTIME
      GOTO 200
ELSE
      END IF
      STOP
END
```

ภาคผนวก ช
ผลงานทางวิชาการ

การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพัฒนาแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1
11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบานาเดอร์ชิล์ด จอมเทียน จังหวัดลพบุรี

เครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้พัลส์งานแสงอาทิตย์ชนิดไม่มีกระจกปิด

An unglazed metallic roof panel solar water heater

เรวัฒน์ ขุนทองจันทร์* อร่าไพศาลกิตติ์ ทีบุญมา และ พิสิษฐ์ เศรษฐรุ่งไพรศาลา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190. โทรศัพท์ 04535 3320 โทรสาร 04528 8378

Rewat Khunthongjan* Umphaisak Teeboonma Pisit Techarungpaisan

Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Ubonratchathani 34190. Tel. 04535 3320 Fax. 04528 8378

E-mail: rewatk@ego.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดอุปประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบ เครื่องทำน้ำร้อนอ่างจ่าย โดยใช้พัลส์งานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีแนวคิดที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับบ้านที่ใช้สังกะสีมุงหลังคา ในการออกแบบชุดทดลอง ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความยาว 2.5 เมตร จำนวน 7 ท่อ วางบนหลังคาสังกะสี โดยมีลักษณะน้ำร้อนขนาด 90 ลิตร ที่ต้องการท่อและตั้ง ไฟล์เว็บน์ โดยอาศัยแรงล�ดึงทัวร์ที่เกิดจากผลต่างของความหนาแน่นของน้ำร้อนและน้ำเย็น

ผลจากการทดสอบ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้พัลส์งานแสงอาทิตย์ ชนิดไม่มีกระจกปิด สามารถทำอุณหภูมิน้ำสูงสุด 53 องศาเซลเซียส และขึ้นไปว่าระบบมีความสามารถสำหรับการประยุกต์ใช้งานในบ้านพัก

คำสำคัญ: พัลส์งานแสงอาทิตย์ / แรงดึงทัวร์

Abstract

The purpose of this research was to design, construct, and test the performance of simple solar water heater. The concept of this work was applied to the metallic roof panel, widely used in rural of Thailand. To construct this system, seven copper tubes with diameter 12.7 mm were weld to a $2.5 \times 0.67 \text{ m}^2$ metallic roof panel. The volume of storage tank is 90 liters circulated by thermosyphonic force.

The experimental results showed that the system constructed in this study yields average hot water temperature of 53°C . It should be noted that this system is suitable for domestic hot water system.

Keywords: solar energy / solar collector.

1.บทนำ

การใช้งานเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพัลส์งานแสงอาทิตย์ ราคาและประสิทธิภาพเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ โดยทั่วไปแล้ว เครื่องที่มีข้อด้อยในท้องตลาดจะเป็นแบบมีกระจกปิดทับด้านหน้าและแผ่นดูดกลืนซึ่งหมายความว่า “ไม่สามารถดูดซับพลังงานได้”

ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามราคาก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ไม่มีการใช้งานที่แพร่หลายมากนัก การใช้หลังคาของอาคารเป็นแผ่นดูดกลืนรังสี นับเป็นทางเลือกที่ดีหากทางหนึ่ง สามารถลดระยะเวลาคืนทุนลงมาเหลือเพียง 1.5-2.7 ปี ซึ่งดีกว่าเครื่องแบบมีกระจกอยู่ประมาณ 4 เท่า [1] นอกจากนี้ การใช้แผ่นดูดกลืนรังสีแบบดี มีข้อดีที่สามารถถดถอยร่วมกับอาคารได้ โดยยังคงความสามารถของอาคารไว้ เช่นเดิม สีของแผ่นดูดกลืนรังสีที่ค่อนข้างมีคละจะใช้ประสิทธิภาพสูงกว่าเฉลี่ยว่า [2] ในการศึกษา[3]พบว่า แผ่นดูดกลืนรังสีแบบดี ซึ่งมีค่า absorptivity 0.85 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบดีตา (absorptivity 0.95) 7-18% ซึ่งต้องเพิ่มพื้นที่ของแผงเพื่อรับรังสี และพบว่า หากใช้อุณหภูมิใหม่เป็นแผ่นดูดกลืนรังสีแทนเหล็ก จะสามารถลดขนาดของตัวเก็บรังสีลงได้[1] หรือในการศึกษา[4] โดยใช้แผงทำความเข้ม ซึ่งทำให้ขาว เป็นตัวเก็บรังสีที่ทำความร้อนให้กับน้ำในตอนกลางวันพบว่า ระบบให้ความร้อนสูงสุด 510 W/m^2 และมีค่าเฉลี่ย 324 W/m^2 โดยมี ประสิทธิภาพ 38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีแดดจัด และ 28 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพอากาศแปรปรวน อย่างไรก็ตามเครื่องที่ใช้ดูดที่กล่าวมาข้างต้นมักเป็นระบบขนาดใหญ่ ใช้ปั๊มช่วยในการหมุนเวียนน้ำ (active system) ซึ่งมีข้อดีคือ แม้แรงดึงทัวร์จะน้อยก็สามารถทำให้อุณหภูมิสูงได้ [4] สำหรับเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้พัลส์งานแสงอาทิตย์แบบไม่มีกระจกปิด ขนาดเล็ก หมุนเวียนน้ำแบบธรรมชาติ มีผู้ศึกษาบ้างแต่ไม่มากนัก ในการศึกษา[5]ใช้ fiberglass reinforced polyester(GFRP) สำหรับแผ่นดูดกลืนรังสี มีถังเก็บขนาด 329 litor รวมกับแผ่นเก็บรังสี (integrated system)สามารถให้อุณหภูมิสูงสุด 63°C มีรังสีเฉลี่ย 700 W/m^2 นอกจากนั้น [6] บังไดศึกษาสามารถลดขนาดของระบบ Unglazed textile plastic solar absorber พบว่าระบบมีความไวต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็สามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับระบบการหมุนเวียน แบบธรรมชาติ ต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิพอสมควร ในการสร้างแรงดันในการไหล [4]

ในส่วนของงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการทำน้ำร้อนด้วย พัลส์งานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผ่นสังกะสีที่ใช้สูงหลังคา กันโดยทั่วไป เป็นแผ่น

อาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น อันเนื่องมาจากการอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยมีขนาดถังเก็บ 40-90 ลิตร

2. กฎภูมิที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบจะใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss สำหรับแห้งเก็บรังสีแบบแผ่นดังนี้

$$\eta = F_R \alpha - F_R U_L (T_i - T_a) / I$$

(1)

$$\eta = m C_p (T_o - T_i) / A c_l$$

(2)

เมื่อค่า $F_R U_L$, $F_R \alpha$ เป็นฟังก์ชันของความเร็วลม

โดยมีสมมติฐานและวิธีการดังนี้ดังนี้

- เนื่องจากค่ารังสีที่วัดได้เป็นการวัดบนพื้นราบ ในการใช้งานจึงต้องคำนวณหาค่ารังสีบนพื้นผิวของทางลาด

$$R_b = \cos(\theta_r) / \cos(\theta_s)$$

(3)

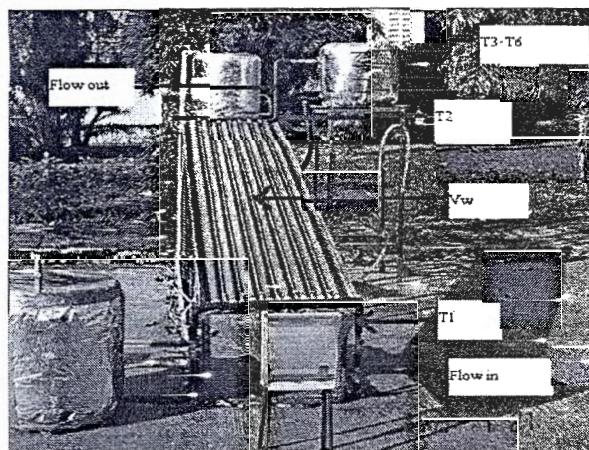
เมื่อ R_b คืออัตราส่วนของรังสีตรงบนพื้นผิวของทางลาดต่อรังสีตรงบนพื้นราบ θ_s และ θ_r คือมุมต่อกลับบนพื้นผิวของทางลาดต่อทางลาด และ $R_d = R_b$, เมื่อห้องฟ้าไปร่อง R_d คืออัตราส่วนของรังสีกระจาบบนพื้นผิวอิฐต่อรังสีกระจาบนพื้นราบ [7]

- ไม่นำผลของ Long wave sky irradiance มาพิจารณา
- เนื่องจากความเร็วลมตามธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก นัก ในการทดสอบนี้จะต้องหาค่าที่สูงที่สุดในวันนั้น จึงใช้ไม่มีการพิจารณาถึงผลของความเร็วลมต่อประสิทธิภาพของระบบ
- การหาค่า $F_R \alpha$, $F_R U_L$ จากสมการที่(1) หาจากการสร้างสมการเชิงเส้นโดยวิธี least square method
- ไม่นำผลของมุมต่อกลับมาพิจารณา

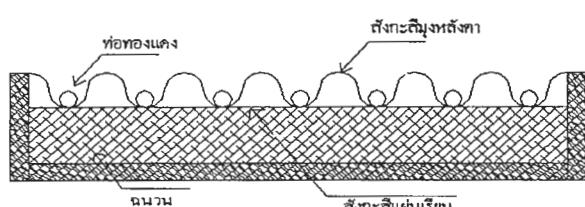
3. การทดลอง

ในการออกแบบระบบตามรูปที่ 1 ใช้ท่อทองแดงขนาด 12.7 มิลลิเมตร บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสีขนาด 2.5×0.67 เมตร² ทาด้วยสีน้ำตาลแดง ด้านล่างปิดทับด้วย สังกะสีแผ่นเรียบ ปิดทับด้วยผ้าใบแก้วหนา 50 มิลลิเมตร วางในกล่องไม้อัด บนโครงเหล็กท่านูมอิฐ 15 องศากับแนวราบหน้าไปทางทิศใต้ ดังเก็บน้ำทำด้วยเหล็กหนีบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร หุ้มด้วยผ้าใบแก้วหนา 50 มิลลิเมตร สำหรับการวัดอุณหภูมิ ให้ใช้วิธี dye trace injection [8] โดยทำการวัดทุกๆ 1 ชั่วโมง ในกระบวนการบันทึกอุณหภูมิ น้ำบรรทุก แห้งเก็บรังสีและท่อ riser ใช้ Data logger บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ความเร็วลมวัดโดยใช้ Anemometer ทุก 5 นาที ที่ระดับเหนือแผงเก็บรังสี 10 เซนติเมตร การวัดอุณหภูมน้ำในถังเก็บวัด 3 และ 4 ระดับ

ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น.



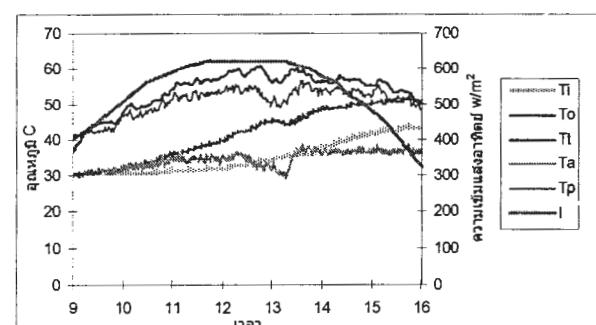
รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 แสดงภาคตัดขวางของตัวเก็บรังสี

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

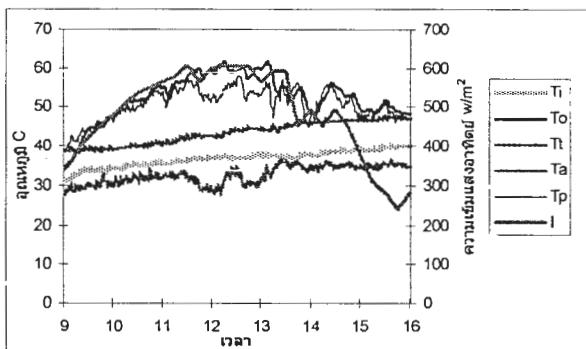
ในการทำการทดลอง ได้ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 3-9 กุมภาพันธ์ และวันที่ 16-19 มีนาคม 2548 สำหรับตัวอย่างของการทดลองได้นำเสนอดังนี้



รูปที่ 3 แสดงผลการวัดอุณหภูมิและแสงอาทิตย์บนพื้นราบของวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548

จากรูปที่ 3 แสดงผลการทดลองของวันที่ 8 กุมภาพันธ์ ซึ่งห้องที่ 1 แห่งน้ำมีแอดเดคตอลห้องวัน โคลนีปรินาคร่าน้ำในถัง 60 ลิตร ในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. อุณหภูมิของแห้งเก็บรังสีจะเพิ่มเร็วกว่าอุณหภูมิของบรรทุก แห้งเก็บรังสีและท่อ riser ซึ่งเป็นผลจากความ

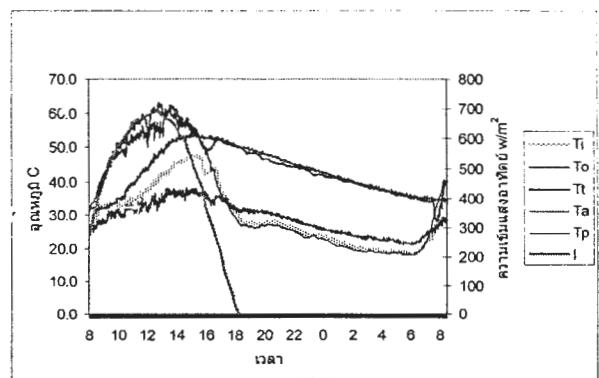
เข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่อุณหภูมน้ำหน้า朋และอุณหภูมิเฉลี่ยในดังเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงบ่ายเวลา 12.00-13.30 น. ความเข้มรังสีค่อนข้างคงที่ขณะที่อุณหภูมนิบรรยายลดลง ทำให้อุณหภูมน้ำหน้าออกจาก朋เก็บรังสี และ朋เก็บรังสีลดลง ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในดังลดลง หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมนิบรรยายเพิ่มขึ้น ความร้อนที่ได้จากระบบทึกดับบันเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลาประมาณ 13.30-16.00 น. ความเข้มรังสีลดลงอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมนิของ朋เก็บรังสีและอุณหภูมน้ำหน้าออกลดลงตามความเข้มรังสี และแม้ว่าความเข้มของ朋รังสีจะลดลง อุณหภูมน้ำหน้า朋และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในดังเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 แสดงผลของอุณหภูมิและแสงอาทิตย์บนพื้นทรายในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2548

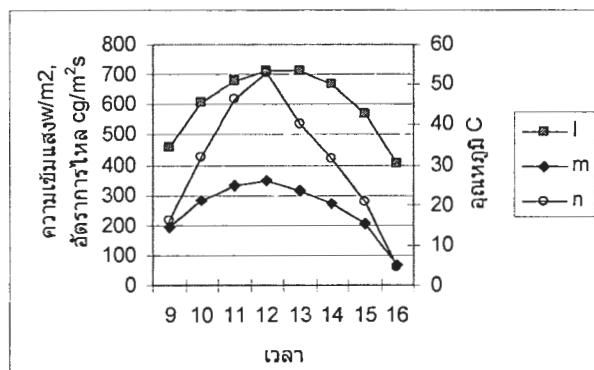
จากกลุ่มที่ 4 แสดงผลการทดลองของวันที่ 5 กุมภาพันธ์ แทนวันที่มีความเข้มของแสงน้อย มีแคดล์มีส่วนในช่วงเช้า ตอนบ่ายเปรียบปรวน โดยมีปริมาตรน้ำในดัง 90 ลิตร ในช่วงเช้านี้เวลาประมาณ 12.00 น. อุณหภูมน้ำหน้าออกและอุณหภูมิตัวเก็บรังสีเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น ที่เวลาประมาณ 12.00 และ 13.00 น. ความเข้มรังสีลดลงพร้อมๆ กับอุณหภูมนิบรรยาย ทำให้อุณหภูมิ朋เก็บรังสีและอุณหภูมน้ำหน้าออกลดลง แต่กระบวนการอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในดังเพิ่งเล็กน้อย ซึ่งเป็นเพราะปริมาตรน้ำในดังมากกว่าในวันที่ 8 ขณะที่อุณหภูมนิบรรยายลดลง แต่ต้องใช้เวลาระหว่าง 13.00-16.00 น. ความเข้มรังสีค่อนข้างเปรียบปรวน ซึ่งทำให้อุณหภูมนิตัวเก็บรังสีและอุณหภูมน้ำหน้าออกเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสี ขณะที่อุณหภูมนิบรรยายค่อนข้างจะคงที่

จากกลุ่มที่ 5 ทำการทดลองที่ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบร้าอุณหภูมน้ำหน้าเฉลี่ยสูงสุด 53 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 15.16 น. ขณะที่อุณหภูมน้ำหน้าออกซึ่งลดลงตามความเข้มแสงอาทิตย์ ในช่วงบ่ายกัดบันเพิ่มขึ้นมาเมื่อเวลา 18.08 น. ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ reverse flow เนื่องจากระบบมีการสูญเสียความร้อน ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเช้าของวันที่ 20 มีนาคม 2548

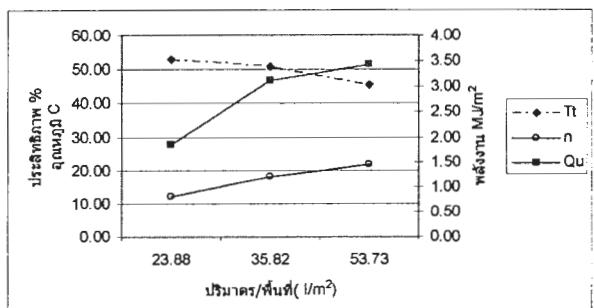


รูปที่ 5 ผลการทดลองในวันที่ 19 มีนาคม 2548

จากกลุ่มที่ 6 แสดงผลจากการทดลองเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 ตอนช่วงเวลา 9.00-12.00 น. พบร้า อัตราการไหลด และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น ตามความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น และในตอนบ่าย เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลง อัตราการไหลดและประสิทธิภาพจะลดลงตามไปด้วย พบร้า ประสิทธิภาพสูงสุดที่เวลา 12.00 น. ซึ่งเท่ากับ 53 % โดยมีอัตราการไหลด 3.5 g/m² s อุณหภูมนิชาออกสูงสุด 58 องศาเซลเซียส ความเข้มรังสีติดกระถางแบบ朋รังสีสูงสุด 710 w/m² ทั้งนี้ปริมาตรน้ำในดัง 60 ลิตร อุณหภูมนิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส น. สามารถได้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเวลา 16.00 น. ที่ 51 องศาเซลเซียส หรือได้ความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้ 3.10 MJ/m²



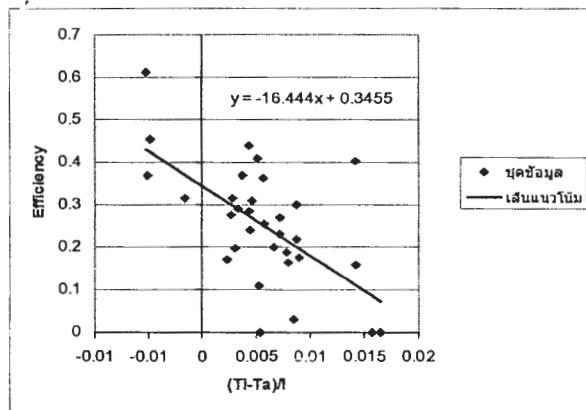
รูปที่ 6 แสดงประสิทธิภาพ, อัตราการไหลด, ความเข้มแสงอาทิตย์บน朋รังสีติดกระถาง



รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิ, ความร้อนที่ได้ ที่ปริมาตรดังต่อไปนี้朋รังสีต่างๆ กัน

จากกลุ่มที่ 7 เมื่อเพิ่มปริมาตรดังต่อไปนี้朋รังสี ความร้อนที่ได้และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจะลดลง

ซึ่งระบบไห้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด เมื่อมีปริมาตรถังต่อพื้นที่ແ penetration เท่ากับ 53 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนสูงสุด เมื่อมีปริมาตรถังต่อพื้นที่ແ penetration เท่ากับ 53.7 ลิตรต่อตารางเมตรเท่ากับ 3.44 MJ/m^2 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 21.8 เปอร์เซนต์



รูปที่ 8 แสดงประสิทธิภาพในวันที่ 3-9 กุมภาพันธ์ 2548

จากรูปที่ 8 ให้ค่าประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิขาเข้าແ penetration เท่ากับอุณหภูมิบรรยาย ($T_0 = F_R U$) 35 % และแฟคเตอร์การสูญเสียความร้อน (heat loss factor) $F_R U_L 16.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0.0-1.7 m/s

5. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

สมมติແ penetration เท่ากับ 70 ลิตร สามารถไห้อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 20 องศาเซลเซียส ราคาโดยประมาณ 8,500 บาท ระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ย 300 วัน/ปี จากสูตรประเมินความร้อน

$$\begin{aligned} Q &= mC_p\Delta T \\ &= 70 \text{ kg} \times 1 \text{ kcal/kg} \times 20 \text{ C} \\ &= 1,400 \text{ kcal} \end{aligned}$$

หรือใน เป็น ได้พลังงานเท่ากับ $300 \times 1,400 = 420,000 \text{ kcal}$ ติดเป็น พลังงานที่ได้ต่อวันลงทุน

$$\begin{aligned} &= 420,000 \text{ kcal} / 8,500 \text{ บาท} \\ &= 49.4 \text{ kcal/บาท} \end{aligned}$$

หรือเท่ากับ

$$= 0.057 \text{ kw-hr/บาท}$$

เพิ่งกับเครื่องทำน้ำร้อนซึ่งไไฟฟ้า ราคาโดยประมาณ 6,000 บาท ประสิทธิภาพในการทำงาน 90% ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 2 บาท ต่อ kw-hr ดังนั้น พลังงานที่เครื่องต้องการเท่ากับ

$$\begin{aligned} &= 420,000 \text{ kcal} / (860 \times 0.9) \\ &= 542.6 \text{ kw-hr} \end{aligned}$$

คิดค่ากระแสไฟฟ้าปีนเงิน $2 \times 542.6 = 1,085.2 \text{ บาท}$

เมื่อคิดค่าพลังงานที่ได้ต่อบาท มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} &= (420,000 / 860) / (6,000 + 1,085.2) \\ &= 0.067 \text{ kw-hr/บาท} \end{aligned}$$

ซึ่งพบว่าค่าใช้จ่ายในปีแรก เครื่องทำน้ำร้อนแบบไไฟฟ้ากิตติ์จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนแบบไไฟฟ้าประมาณ 1.2 เท่า

หากสมมติว่าเราซื้อเครื่องทำน้ำร้อนแบบไไฟฟ้าในราคา 6,000 บาท และเอาเงินที่เหลือ 2,500 บาท ไปฝากธนาคาร ได้อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 0.75 จะได้ดอกเบี้ยปีละ 18.75 บาท ค่ากระแสไฟฟ้าหลังจากหักดอกเบี้ยเงินฝากเท่ากับ $1,085.2 - 18.75 = 1066.45 \text{ บาท}$ เราสามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในแต่ละปีของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองชนิดได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่าย	เครื่องทำน้ำร้อน แบบกิตติ์	เครื่องทำน้ำร้อน ไไฟฟ้า
ลงทุนครั้งแรก	8,500	6,000
ค่าใช้จ่ายสัปดาห์ที่ 1	-	1066.45
ค่าใช้จ่ายสัปดาห์ที่ 2	-	1066.45
ค่าใช้จ่ายสัปดาห์ที่ 3	-	1066.45
ค่าใช้จ่ายรวม	8,500	9,180.0

6. ສຽງ

1. อุณหภูมน้ำข้าวของแขงเก็บรังสีเขียวอยู่กับปั๊บปั๊บขี้ 2 ประการ
คือความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมนิรรยาการ โดยความเข้ม²
แสงอาทิตย์จะมีผลต่ออุณหภูมนิรรยาของมากกว่าอุณหภูมนิรรยาการ

2. ปรับสิทธิภาคของระบบจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มน้ำดึงเกินต่อพื้นที่แห้งเก็บรังสี แต่อย่างก้มน้ำที่ได้จะลดลง

3. ในสภาวะสั่งแวดล้อมเดียวกัน ระบบที่มีต้นน้ำขนาดเล็กกว่าสามารถให้อุณหภูมิคลื่นของตนได้สูงกว่า แต่ระบบจะมีความไวต่อการสูญเสียความร้อนเมื่ออุณหภูมินองบรรยายลดลง

4. จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นว่าแม้ประสิทธิภาพของระบบจะค่อนข้างต่ำ แต่ระบบก็สามารถให้ความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดี สำหรับกรณีที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนัก เช่น อบโภภัยในครัวเรือน

5. การใช้สังกัดสื่อนุ่งหลังคาซึ่งใช้งานกันอยู่ทั่วไปตามชนบท เป็นแผ่นคุณลักษณะในการทำหน้าที่สอนด้วยแสงอาทิตย์ ขนาด 2 ตารางเมตร ขนาดถังเก็บ 70 ลิตร มีระยะเวลาทันทุนประมาณ 3 ปี

6. ในการใช้งานจริงการติดตั้ง Thermodiode เพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการแร่รังสีและการพากวนร้อนจากลม

7. ข้อเสนอแนะ

การมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของความเร็วลง ต่อประสิทธิภาพของระบบ

8. กิจกรรมประจำ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย

ສັນຕິພາບ

α ค่าการดูดกลืนรังสี

๗, ๗๙, ๙ ประสีทธิการ

Ac พื้นที่ตัวเก็บรังสี m^2

C_p ค่าความจุความร้อน J/kgK

F. α optical factor

F.U. heat loss factor w/m²K

1 ความเข้มแสงอาทิตย์ w/m^2

m อัตราการไหล $\text{g}/\text{m}^2\text{s}$

On ความรู้สึกที่ใช้ M.W.

T₃ ခေါ်မချင်မရန်မာခုနှစ် C

T: គឺមានតិចប៉ុណ្ណោះទេ

Tt ခြေမျက်နှာရီ၏အိမ်အိမ်

T- សេរីអេឡិចត្រូនិក និងបណ្តុះបណ្តាល

Tr. ခြောက်ပါရီ၊ အောင်ချိန်၊ ၁၃၅၈

9. เอกสารอ้างอิง

1. S.Medved, C.Arkar and B.Cerne, 2003, A large panel unglazed roof integrated liquid solar collector-energy and economic evaluation, Solar energy, Vol.75, pp.455-467.
 2. Y.Tripanagnostopoulos, M.Souliotis and TH.Nousia, 2000, Solar collectors with colored absorbers, Solar energy, Vol. 68, pp. 343-356.
 3. S.Kalogirou, Y.Tripanagnostopoulos and M.Souliotis, 2004, Performance of solar system employing collector with colored absorber, inpress
 4. Eyyatay Erell, Yair Etzion, 1996, Heating experiments with radiative cooling system, Building and environment, vol.31, No.6, pp.509-517.
 5. K.Sopian, M.Syahri, S.Abdollah, M.Y.Othman and B.Yatim, 2004, Performance of non-metallic unglazed solar water heater with integrated storage system, Renewable energy, Vol. 29, pp.1421-i430.
 6. Bohumil Nabilek, Engin Kiran, Ferdi Turksoy and Azmi Yazar, 1999, Performance of an unglazed textile-plastic Solar absorber, Renewable Energy, Vol. 16, pp.635-638.
 7. John A.Duffie, William A.Bectman, Solar energy Thermal Process, 1975.
 8. Pisit Pannigul, 1999, A study of temperature and flow distribution in a natural circulation solar water heater system, Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Bangkok, Thailand.

การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 ประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
วันที่ 23-24 มกราคม พ.ศ. 2549 จังหวัดมหาสารคาม

การศึกษาความเป็นไปได้การทำน้ำเย็นโดยใช้แผงหลังคาสังกะสี
A Feasible Study of Water Cooling using Metallic Roof Panel

เรวัฒน์ ขุนทองจันทร์¹ อร่ามพัศก์ ทีบูลูนغا¹ และ พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพบูล¹
Rewat khunthongjan¹, Umphisak Teeboonma¹ and Pisit Techrungpaisan¹

Abstract

The purpose of this research is to investigate the technical feasibility of water cooling which is cooled by nocturnal radiative cooling in Ubonratchathani province. The concept of this work is applied to the metallic roof panel, widely used in rural of Thailand. To construct this system, seven copper tubes with diameter 12.7 mm are weld to a $2.5 \times 0.67 \text{ m}^2$ metallic roof panel. Water is circulated from upper storage tank to lower tank by gravity and from lower tank to upper tank by pumping .The parameter used to study is the effect of mass flow rate on outlet water temperature, mean storage temperature, and cooling capacity of the system. The experimental results showed that the effect of mass flow rate on mean storage temperature is insignificant. Additionally, it was also found that at flow rate 0.01 and 0.02 kg/s the system can released energy 1.15 and 1.24 MJ and COP was 4.6 and 2.5 consequently.

Key words: Radiative cooling, Roof metal panel

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้การทำน้ำเย็นด้วยการแพร่รังสีในเวลา กลางคืน กรณีศึกษาที่จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้สังกะสีสำหรับมุ่งหลังคาเป็นแผงทำความเย็น สำหรับชุดทดลองทำจากห้องทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความยาว 2.5 เมตร จำนวน 7 ท่อวางบนหลังคาสังกะสีขนาด 1.67 ตารางเมตร โดยออกแบบให้น้ำไหลผ่านแผงทำความเย็นด้วย แรงโน้มถ่วงของโลกจากถังด้านบนสู่ถังด้านล่าง ซึ่งมีปริมาตรอยู่ระหว่าง 71 - 150 ลิตร ซึ่งน้ำจะถูกสูบโดยปั๊ม กลับสู่ถังด้านบนอีกรั้ง ปัจจัยที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ผลของการทดลองพบร่วมกับ อุณหภูมิ น้ำข้าวอก อุณหภูมน้ำแข็งลี่ของระบบ และความเย็นที่ทำได้ ผลจากการทดลองพบว่า อัตรา การไหลไม่มีผลต่ออุณหภูมิสุกห้ำของน้ำในถังที่ได้ และเมื่ออัตราการไหลเท่ากัน 0.01 และ 0.02 kg/s ระบบสามารถทำความเย็นได้ 1.15 และ 1.24 MJ และ COP เท่ากับ 4.6 และ 2.5 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การทำความเย็นด้วยการแพร่รังสี, แผงทำความเย็น

คำนำ

สืบเนื่องจากสภาพอากาศร้อนในปัจจุบันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การแสวงหาพลังงานทดแทนเป็นสิ่งที่จำเป็น ระบบการทำความเย็นโดยการแพร่รังสี เป็นระบบที่น่าสนใจ เพราะเป็นระบบที่พึงพาไม่มีมลพิษ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้ลดการใช้น้ำมันลงได้ และสามารถประยุกต์ใช้ในการทำความเย็นในระบบต่างๆ เช่น การทำความเย็นในอาคาร การใช้ในการเก็บอาหาร หรือในระบบ heat pump cooling system เป็นต้น หลักการทำความเย็นด้วยการแพร่รังสีความร้อน จะอาศัยการแพร่รังสีความร้อนออกจากแหล่งทำความเย็น (heat source) สู่ท้องฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า (heat sink) สำหรับบรรยายศาสตร์ยอมให้รังสีที่มีความยาวคลื่นประมาณ 8 ถึง 13 ไมโครเมตร ผ่านได้โดยไม่มีการดูดกลืนซึ่งเป็น ช่วงความยาวคลื่นที่เรียกว่า หน้าต่างของบรรยายศาสตร์ (atmospheric window) ซึ่งอาจลดอุณหภูมิของของไหลที่ผ่านแผงทำความเย็น ได้มากกว่าสิ่งแวดล้อมภายในได้สภาวะที่เหมาะสม (Meir et al,2003) โดยอาจจะมีแผ่นปิด (glazed) ป้องกันไม่ให้รับความร้อนจากภายนอก ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้รังสีคลื่นสั้นเข้ามาและยอมให้รังสีคลื่นยาวผ่านออกได้ และรวมมีค่าการปลดปล่อยความร้อน (Emissivity) สูง สำหรับระบบที่ไม่มีแผ่นปิดจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาที่ค่อนข้างสูง และเพื่อความสัมฤทธิ์ผลในการทำความเย็นสูงสุด ควรติดตั้งในแนวราบ (Erell and Etzion,1999)

ในการศึกษาการทำความเย็นโดยการแพร่รังสี มีทั้งที่ใช้น้ำ และอากาศเป็นตัวกลาง ผู้ที่ศึกษาโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง เช่น Hamza และคณะ, 1995, Al-Nimr และคณะ, 1998 Al-Nimr และคณะ, 1999 Erell และ Etzion, 1999 Erell and Etzion, 2000 Meir และคณะ, 2003 และ Burch และคณะ, 2004 ระบบที่ศึกษามีทั้งระบบปิด หมุนเวียนน้ำด้วยปั๊ม และระบบเปิด ซึ่งปล่อยให้น้ำไหลผ่านแผงทำความเย็นด้วย

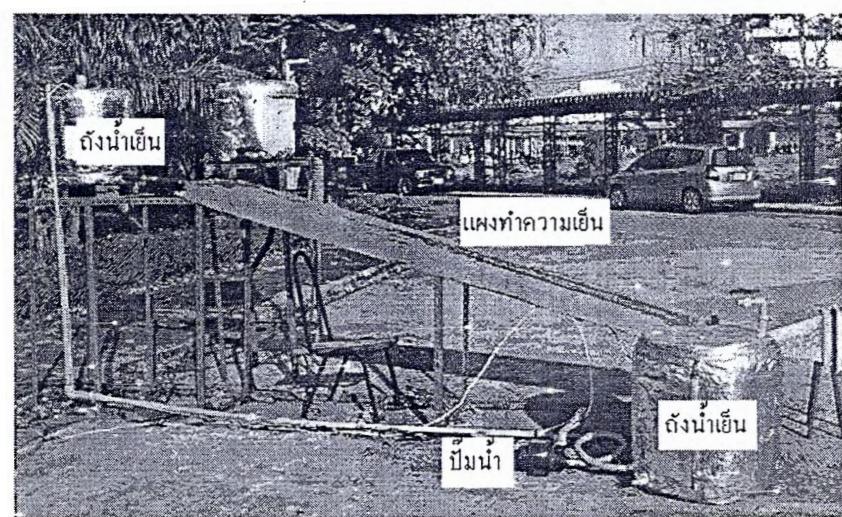
แรงโน้มถ่วงของโลก แรงทำความเย็นที่ใช้มีทั้งแบบมีแผ่นปิดซึ่งทำด้วย Polyethylenec และไม่มีแผ่นปิดวัสดุที่ใช้ทำแรงมีทั้งโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก และ อะโลหะ เช่น polyphenylenoxid (PPO) resin เป็นต้น ซึ่งผลการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า ระบบสามารถรับความต้องการ Load ได้ สำหรับงานของ Mihalakakou และคณะ, 1998 เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง เพื่อใช้ในการปรับปรุงอาคารเก่า โดยใช้แรงทำความเย็นแบบโลหะ จากผลการศึกษาพบว่าระบบสามารถให้ความเย็นได้ระหว่าง 29.7 ถึง 55.8 Wh/m² ในคืนท่องฟ้าเฉลี่ยใส่และ 26.7 ถึง 44.9 Wh/m² ในคืนที่มีเมฆมาก

สำหรับการศึกษาการทำความเย็นแบบแผ่รังสีในประเทศไทยยังค่อนข้างน้อย จากการศึกษาความเป็นไปได้หากประยุกต์ใช้ในจังหวัดเชียงราย ซึ่งศึกษาโดย Auttapol et al, (2003) พบว่ามีศักยภาพที่จะใช้ในระบบปรับอากาศของห้องพักอาศัย จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าในประเทศไทย มีการศึกษาความเป็นไปได้การทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีเฉพาะในเขตภาคเหนือ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ศึกษาความเป็นไปได้ในการทำน้ำเย็นในตอนกลางคืน เพื่อใช้ในระบบปรับอากาศในตอนกลางวัน กรณีศึกษาที่จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้สังกะสีสำหรับมุงหลังคาเป็นแรงทำความเย็น

อุปกรณ์และวิธีการ

ชุดทดลอง

รูปที่ 1 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของชุดทดลองซึ่งทำจากห่อทองแดงขนาด 12.7 มิลลิเมตร บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสีขนาด 2.5x0.67 ตารางเมตร ทาด้วยสีน้ำตาลแดง ด้านล่างปิดทับด้วยสังกะสีแผ่นเรียบและหนา 50 มิลลิเมตร วางในกล่องไม้อัด โดยโครงเหล็กอึบงทำมุม 15 องศาก้นแนวราบทันไปทางทิศใต้ ถังน้ำเย็นจะประกอบด้วยถังพักด้านบนขนาด 60 ลิตร ซึ่งจะรับน้ำที่ถูกปั๊มมาจากถังด้านล่างขนาด 150 ลิตร จากนั้นปล่อยให้หลอกลับถังด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ถังน้ำทึบหุ้มด้วยผ้าใบ 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 ชุดทดลอง

วิธีทดลอง

การทดสอบการผลิตน้ำเย็น จะทำการทดสอบที่ปริมาตรน้ำในถังอยู่ระหว่าง 71 - 150 ลิตร โดยมีอัตราการไหลดเท่ากับ 0.01-0.03 kg/s ในระหว่างการทดลองจะบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 15 นาที บันทึกอุณหภูมิโดยใช้ Data logger บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที และความเร็วลมของสภาพแวดล้อมทุกๆ 15 นาที ที่ระดับเหนือเพิงเก็บรังสี 20 เซนติเมตร โดยทำการทดลองตั้งแต่เวลา 21.00-06.00 น.

การวิเคราะห์ระบบการทำน้ำเย็น

อัตราการทำความเย็นจากการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับ ผลต่างของอุณหภูมิวัตถุกับอุณหภูมิท้องฟ้า และลักษณะของพื้นผิว ในกรณีที่อุณหภูมิของแผงทำความเย็นสูงกว่าสิ่งแวดล้อมจะมีการถ่ายเทความร้อนออกจากแผงทำความเย็นด้วยการพาความร้อน ส่วนการนำความร้อนสามารถตัดทิ้งได้ดังนั้นสำหรับการคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$P_C = P_{rad} + P_{conv} \quad (1)$$

เมื่อ P_{rad} คือ การทำความเย็นจากการแผ่รังสี, W/m^2

P_{conv} คือ การทำความเย็นจากการพาความร้อน, W/m^2

นอกจากนั้นยังสามารถคำนวณความสามารถในการทำความเย็นของระบบจากสมการดังต่อไปนี้

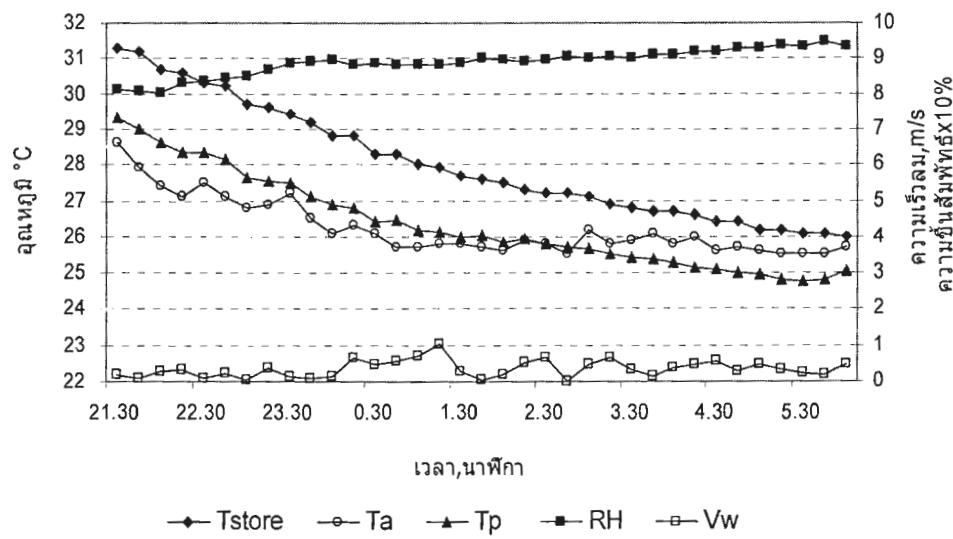
$$P_c = n \& C_p (T_i - T_o) \quad (2)$$

สำหรับสมการนี้สามารถทำความเย็นคำนวณได้จาก

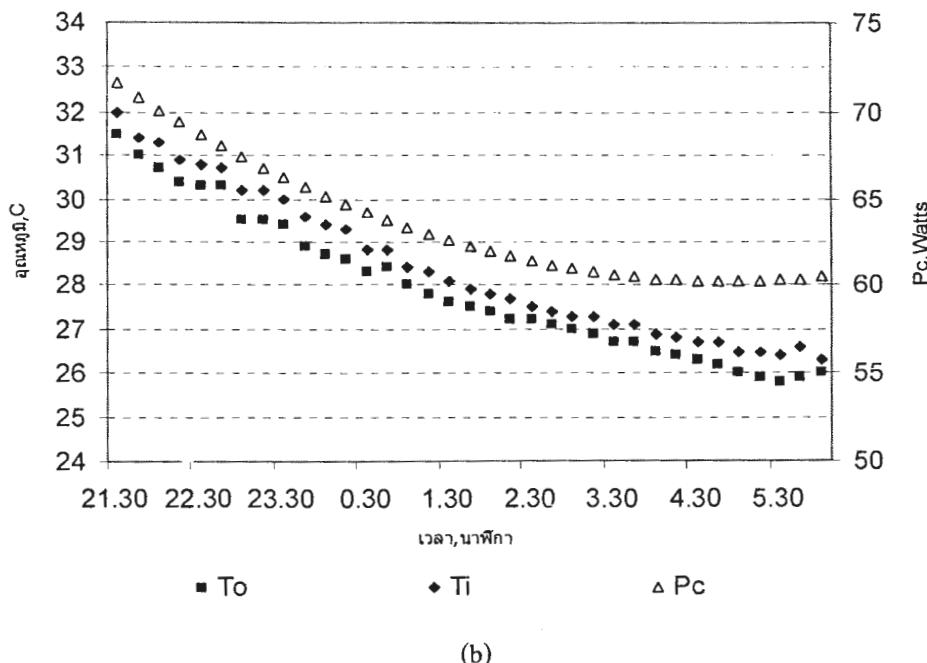
$$COP = \frac{\text{พลังงานความเย็นที่ทำได้}}{\text{พลังงานที่จ่ายให้กับปั๊มน้ำ}} \quad (3)$$

ผลการทดลองและวิเคราะห์

จากการทดลองในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้



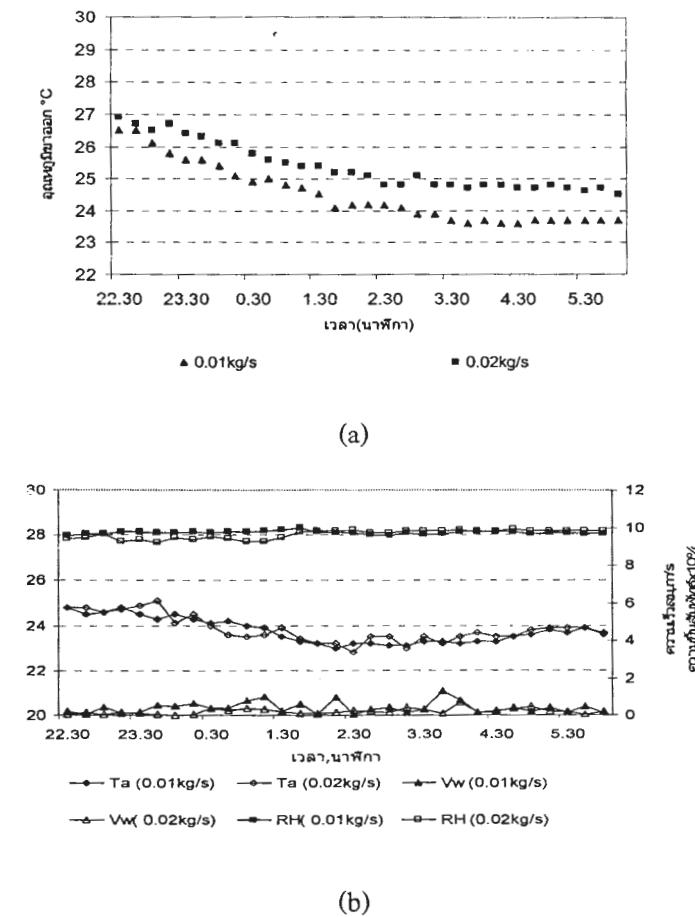
(a)



รูปที่ 2 แสดงผลการทดลองในวันที่ 22-23 มิถุนายน 2548

รูปที่ 2 (a) และ (b) แสดงผลการทดลองและคำนวณ ในวันที่ 22-23 มิถุนายน 2548 ที่อัตราการไหหล่อกับ 0.03 kg/s จากกราฟจะเห็นว่าในช่วงเวลา 21.00-2.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงทำความเย็นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ทำให้ระบบมีการแผ่รังสีความร้อนที่สูง เนื่องจากอุณหภูมิของระบบยังคงสูงอยู่ และมีการพากความร้อนออกจากระบบ สำหรับความสามารถทำการทำความเย็นที่ได้ในช่วงนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 63 ถึง 73 Watts จากการทดลองในช่วงเวลา 2.30 - 6.00 น. จะเห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงทำความเย็นมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในช่วงนี้ระบบจะทำความเย็นโดยการแผ่รังสีแต่จะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมด้วยการพากความร้อน สำหรับความเย็นที่ทำได้ในช่วงนี้ค่าอยู่ระหว่าง 61 ถึง 63 Watts ทำให้ในช่วงเวลานี้อุณหภูมิของระบบลดลงน้อยเมื่อเทียบกับช่วงเวลา ก่อนหน้า เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระบบสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 5.6°C เมื่อถังเก็บน้ำมีปริมาตรเท่ากับ 71 ลิตร หรือคิดเป็นพลังงานที่ทำได้เท่ากับ 1.7 MJ โดยต้องจ่ายพลังงานให้กับปั๊มเท่ากับ 0.73 MJ ซึ่งเมื่อคำนวณค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) ได้เท่ากับ 2.3

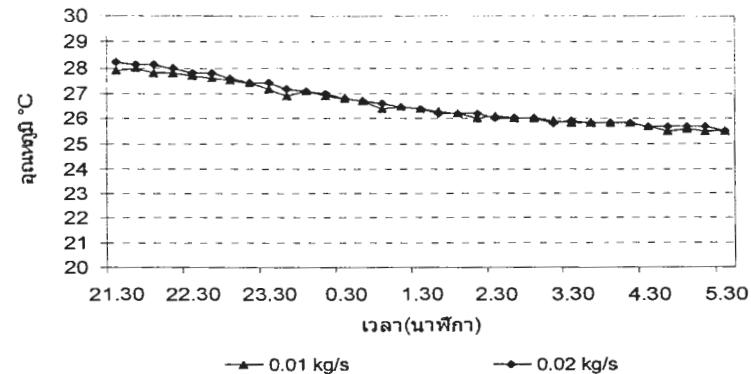
ผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิน้ำข้าวอก



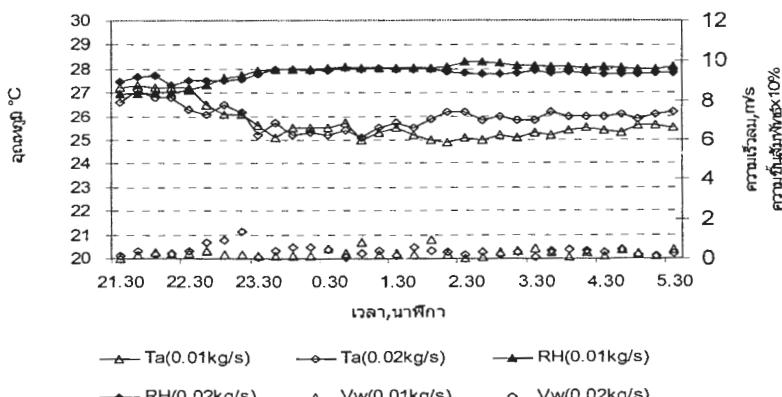
รูปที่ 3 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิน้ำข้าวอก

รูปที่ 3 (a) และ (b) เปรียบเทียบข้อมูลการทดลองในวันที่สภาพอากาศลักษณะคล้ายกัน โดยมีปริมาตรถังเก็บน้ำเท่ากับ 150 ลิตร พบร่วมกันในช่วงแรกของการทดลอง เมื่ออัตราการไหลดเท่ากับ 0.01 kg/s อุณหภูมิน้ำข้าวอกคงเร็วกว่าที่อัตราการไหลดเท่ากับ 0.02 kg/s จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงท้ายของการทดลอง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิน้ำข้าวอกที่อัตราการไหลดเท่ากับ 0.01 kg/s จะต่ำกว่าที่อัตราการไหลดเท่ากับ 0.02 kg/s ตลอดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราการไหลดสูงภาระความร้อนที่ระบบรับเข้ามาก็จะมากด้วย ดังนั้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิน้ำข้าวอกมีค่าสูง สำหรับที่อัตราการไหลดต่ำ ภาระความร้อนที่ระบบรับเข้ามาจะมีค่าไม่มาก ดังนั้นหากระบบยังคงมีความสามารถทำการทำความเย็นเท่าเดิมแล้ว อุณหภูมิน้ำข้าวอกที่ได้ย้อมจะมีค่าที่ต่ำกว่ากรณีภาระความร้อนสูง

ผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังเก็บ



(a)

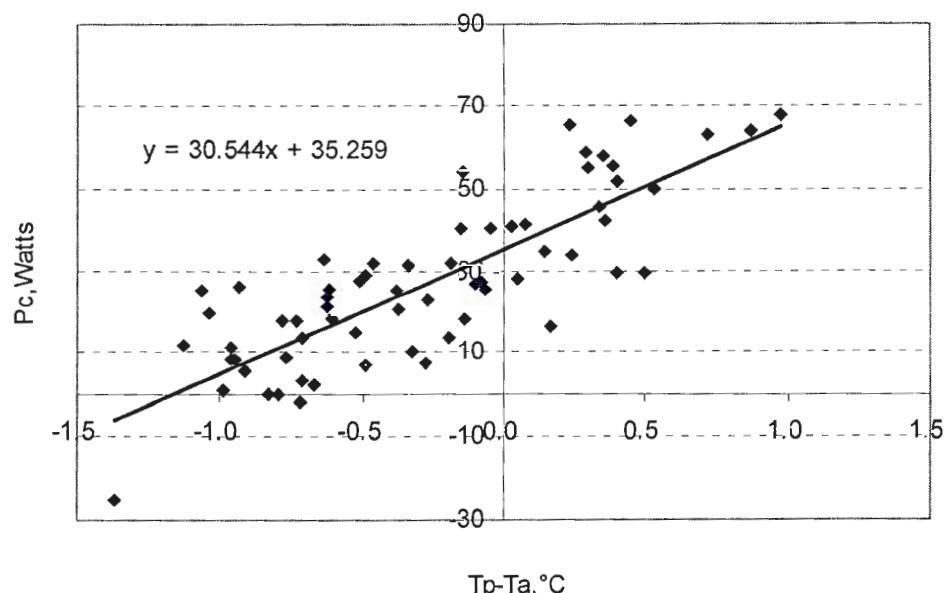


(b)

รูปที่ 4 แสดงผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังเก็บ

รูปที่ 4 (a) และ (b) การเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลดต่ออุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังเก็บที่ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 110 ลิตร เมื่อทำการทดลองที่อัตราการไหลดเท่ากับ 0.01 และ 0.02 kg/s พบว่า อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังเก็บที่ไม่มีค่าไม้เตกต่างกันในสภาพอากาศที่คล้ายกันดังแสดงในรูปที่ 4(b) ทั้งนี้ถึงแม้อัตราการไหลดที่ต่างจะให้อุณหภูมน้ำข้าออกต่ำ แต่อัตราการไหลดที่ต่ำก็จะมีผลให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บลดลงอย่างช้าๆ ทำให้มีอัตราการไหลดเท่ากับ 0.01 kg/s ระบบสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 2.5°C เมื่อถังเก็บน้ำมีปริมาตรเท่ากับ 110 ลิตร หรือคิดเป็นพลังงานที่ทำได้เท่ากับ 1.15 MJ โดยต้องจ่ายพลังงานให้กับน้ำเท่ากับ 0.25 MJ ซึ่งเมื่อคำนวณค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) ได้เท่ากับ 4.6 ขณะที่อัตราการไหลดเท่ากับ 0.02 kg/s ระบบสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 2.7°C หรือคิดเป็นพลังงานที่ทำได้เท่ากับ 1.24 MJ โดยต้องจ่ายพลังงานให้กับน้ำเท่ากับ 0.49 MJ ค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) เท่ากับ 2.5

ความสามารถในการทำความเย็นของระบบ



รูปที่ 5 แสดงความเย็นที่ได้ในช่วงเดือน มิถุนายน - สิงหาคม

รูปที่ 5 แสดงความสามารถการทำความเย็นในช่วงเดือนมิถุนายน - สิงหาคม ซึ่งเป็นฤดูฝน โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าค่อนข้างสูง ในรูปที่ 5 ข้อมูลที่อยู่ค่าน้ำข่ายเป็นกรณีที่อุณหภูมิของแสงทำความเย็นต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งความเย็นที่ทำได้ในช่วงนี้จะมีค่าต่ำ เนื่องจากแสงทำความเย็น

จะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ในส่วนของข้อมูลด้านความเมื่อยเป็นกรณีที่อุณหภูมิของแผงทำความเย็นสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในกรณีนี้ค่าความเย็นที่ทำได้จะมีค่าสูง ซึ่งเป็นเพราระบบที่มีการถ่ายเทความร้อนทั้งการแผ่รังสีและก่อร้าความร้อนสู่บรรยากาศ สำหรับในกรณีที่อุณหภูมิของแผงทำความเย็นเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ระบบสามารถทำความเย็นที่ได้เท่ากับ 35 Watts

สรุป

จากการศึกษาความเป็นไปได้การทำน้ำเย็นโดยการแผ่รังสีในตอนกลางคืนพบว่า มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง นอกจานั้นยังพบว่า อัตราการไหลดของน้ำไม่มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังเมื่อถึงสุดการทดลอง อย่างไรก็ตามการใช้อัตราการการไหลดที่ต่ำจะสามารถลดอัตราการถึงเปลือกพลังงานของปั๊มน้ำได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากปัจจัยจากสภาพแวดล้อมมีผลต่อระบบค่อนข้างสูง ดังนั้นการศึกษาในสภาพอากาศที่ต่างออกไป เช่น ฤดูร้อน และฤดูหนาวยังมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษา

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย

สัญลักษณ์

อัตราการไหลด kg/s

RH ความชื้นสัมพัทธ์ %

Ta อุณหภูมิบรรยาย °C

Ti อุณหภูมิน้ำขาเข้าแผงทำความเย็น °C

Tstore อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ °C

To อุณหภูมิน้ำขาออก °C

Tp อุณหภูมิเฉลี่ยแผงทำความเย็น °C

Vw ความเร็วลม m/s

ເອກສາຮ້າງອີງ

- Hamza, H.Ali., Taha, I.M.S. and Ismail, I.M. (1995) Cooling of water flowing through a night sky radiator. *Solarenergy*,55,235-253.
- Auttapol , R., Golaka, T. and Exell, R.H.B. (2003) Night radiative cooling and underground water storage in a hot humid climate: a preliminary investigation, Proceedings of the 2 nd Regional Conference on Energy Technology Toward a clean environment, Phuket Thailand. February 12-14,
- Erell, E. and Etzion, Y. (1999) Analysis and experimental verification of an improved cooling radiator. *Renewable Energy*,16,700-703.
- Erell, E., and Etzion, Y. (2000) Radiative cooling of building with flat plate solar collectors. *Building and environment*,35,297-305.
- Mihalakakou, G., Ferante, A. and Lewis, J.O. (1998) The cooling potential of metallic nocturnal radiator. *Building and environment*,28,251-256.
- Burch, J., Christensen, C., Salasovich, J. and Thornton, J. (2004) Simulation of unglazed collector system for domestic hot water and space heating and cooling, *Solar energy*, in press.
- Al-Nimr, M.A., Kodah, Z. and Nassar, B. (1998) A theoretical and experiment investigation of a radiative cooling System. *Solar energy*,63,367-373.
- Al-Nimr, M.A., Tahat , M. and Al-Rashdan, M.(1999) A night cold storage system enhanced by radiative cooling -a modified Australian cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 19,1013-1026.
- Meir, M.G., Eekstad, J.B., and LØvvik, O.M. (2003) A study of polymer-based radiative cooling system. *Solar energy* ; in press.

เครื่องทำน้ำร้อนแบบไอลเวียนตามธรรมชาติโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ชนิดไม่มีกระจกปิด

เรวัฒน์ ชูนทองจันทร์ จำพักกดิ์ ทีบุญมา และ พิสิษฐ์ เทชะรุ่งไฟฉาย
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

E-mail: rewatk@ego.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบ เครื่องทำน้ำร้อนอย่างง่าย โดยใช้ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีแนวคิดที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับบ้านที่ใช้สังกะสีมุงหลังคา ในการ ออกแบบชุดทดลอง ใช้ห้องทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความยาว 2.5 เมตร จำนวน 7 ท่อ วางบนหลังคาสังกะสี ขนาด 1.67 ตารางเมตร โดยมีถังเก็บน้ำร้อนขนาด 90 ลิตร น้ำที่ อยู่ภายใต้ห่อและถัง ไอลเวียนโดยอาศัยแรงดึงดูดที่เกิดจากผลต่างของความหนาแน่นของน้ำร้อน และน้ำเย็น ผลจากการทดสอบ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ ชนิดไม่มีกระจกปิด สามารถทำอุณหภูมน้ำสูงสุด 53 องศาเซลเซียส และยังพบว่าระบบ นี้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในบ้านพัก จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่ามี ค่าใช้จ่ายต่อลิตรน้ำร้อนเท่ากับ 0.03 บาท

คำสำคัญ; พลังงานแสงอาทิตย์ / แผงเก็บรังสี / เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

An unglazed metallic roof panel solar water heater with a natural circulation

Rewat Khunthongjan Umphisak Teeboonma and Pisit Techarungpaisan

Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Ubonratchathani University,
Ubonratchathani 34190.

E-mail: rewatk@ego.co.th

Abstract

The purpose of this research was to design, construct, and test the performance of simple solar water heater. The concept of this work was applied to the metallic roof panel, widely used in rural of Thailand. To construct this system, seven copper tubes with diameter 12.7 mm were weld to a 1.67 m^2 metallic roof panel. The volume of storage tank is 90 liters circulated by thermosyphonic force. The experimental results, conducted in February, showed that the system constructed in this study yields maximum water temperature of 53°C . It should be noted that this system is suitable for domestic hot water system. Additionally, the economical analysis reveled that cost of hot water per liter is 0.03 Baht.

Keywords: solar energy / solar collector / solar water heater

บทนำ

การใช้งานเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ราคาและประสิทธิภาพเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ โดยทั่วไปแล้ว เครื่องที่มีขายอยู่ในห้องตลาดจะเป็นแบบมีกระจกปิดทับค้านหน้า และแผ่นดูดกลืนรังสีจะทาด้วยสีดำ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนและเพิ่มการดูดกลืนรังสี ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามราคากลางๆของอุปกรณ์ทั้งหมดค่อนข้างสูง ทำให้ไม่มีการใช้งาน เพราะหลายมากนัก การใช้หลังคาของอาคารเป็นแผ่นดูดกลืนรังสี นับเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่ง สามารถลดระยะเวลาคืนทุนลงเหลือเพียง 1.5-2.7 ปี ซึ่งต่ำกว่าเครื่องแบบมีกระจกปิดตั้งร่วมกับอาคารได้ โดยยังคงความสวยงามของอาคารไว้ เช่นเดิม สีของแผ่นดูดกลืนรังสีที่ค่อนข้างมีดีจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเฉลี่ยที่ส่วนใหญ่ (Tripanagnostopoulos *et al.*, 2000) ใน การศึกษาของ Kalogirou *et al.*, 2004 พบว่า แผ่นดูดกลืนรังสีแบบสี ซึ่งมีค่า absorptivity 0.85 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบสีดำ (absorptivity 0.95) ประมาณ 7-18% ซึ่งต้องเพิ่มพื้นที่ของแผงเก็บรังสี และพบว่า หากใช้อุปกรณ์เป็นแผ่นดูดกลืนรังสีแทนเหล็ก จะสามารถลดขนาดของตัวเก็บรังสีลงได้ (Medved *et al.*, 2003) Erell and Etzion, 1996 ศึกษาการทำน้ำร้อน โดยใช้แผงทำความเย็น ซึ่งทาสีขาว เป็นตัวเก็บรังสีทำความร้อนให้กับน้ำในต่อนกลางวัน พบว่า ระบบให้ความร้อนสูงสุด 510 W/m^2 และมีค่าเฉลี่ย 324 W/m^2 โดยมี ประสิทธิภาพประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีแดดจัด และ 28 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพอากาศแปรปรวน อย่างไรก็ตามเครื่องที่ใช้วัสดุที่ก่อความข้างต้น แม้เป็นระบบขนาดใหญ่ ใช้ปั๊มช่วยในการหมุนเวียนน้ำ (active system) ซึ่งมีข้อดีคือ แม้แผงเก็บรังสี มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ก็สามารถนำความร้อนที่เก็บขึ้นมาใช้งานได้ สำหรับเครื่องทำน้ำร้อน โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่มีกระจกปิด ขนาดเล็ก หมุนเวียนน้ำแบบธรรมชาติ มีผู้ศึกษาอยู่บ้างแต่ไม่มากนัก ในการศึกษาของ Sopian *et al.*, 2004 โดยใช้ fiberglass reinforced polyester (GFRP) ตีดำเนเป็นแผ่นดูดกลืนรังสี มีถังเก็บขนาด 329 ลิตร รวมกับแผ่นเก็บรังสี (integrated system) สามารถให้อุณหภูมิสูงสุด 63°C โดยที่รังสีเฉลี่ยเท่ากับ 700 W/m^2 นอกจากนี้ Nabilek *et al.*, 1999 ยังได้ศึกษาสมรรถนะของระบบ Unglazed textile plastic solar absorber พบว่าระบบมีความไวต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตามสำหรับระบบการหมุนเวียน แบบธรรมชาติ ต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิพอสมควร ในการสร้างแรงดันในการไหล (Erell and Etzion, 1996)

ในส่วนของงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้แผ่นสังกะสีที่ใช้มุงหลังคา กันโดยทั่วไป เป็นแผ่นดูดกลืนรังสี และติดตั้งท่อทองแดงค้านบน ซึ่งการหมุนเวียนของน้ำจะอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น ขึ้นเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยมีขนาดถังเก็บ 40-90 ลิตร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบจะใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss สำหรับ
แผนเก็บรังสีแบบแผ่นดังนี้

$$\eta = F_R \alpha - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{I_T} \quad (1)$$

$$= \eta_0 - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{I_T} \quad (2)$$

แลดวิชีการ Calorimetric method

$$\eta = \frac{\overset{o}{m} C_p (T_o - T_i)}{A_C I_T} \quad (3)$$

เมื่อค่า $F_R \alpha$ และ $F_R U_L$ เป็นฟังก์ชันของความเร็วลม

การวิเคราะห์ความคุ้นค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์เพื่อหาต้นทุน เมื่อแผนเก็บรังสีมีขนาด 2 ตารางเมตร และมีขนาดถังเก็บน้ำ 70 ลิตร สามารถให้อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 20 องศาเซลเซียส ราคาโดยประมาณ 3,000 บาท และมีสมมติฐาน คือ อัตราดอกเบี้ย (i) 8 เปอร์เซ็นต์ อายุการใช้งาน (n) 10 ปี ค่าบำรุงรักษาต่อปี 5 เปอร์เซ็นต์ของราคានุทุน มูลค่าซากปีสุดท้ายเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของราคานุทุน และระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ย 300 วัน/ปี

จากข้อมูลข้างต้นสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

เงินลงทุนสร้างเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_p) คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$C_p = \text{ราคาต้นทุน} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

มูลค่าซากเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_s) คำนวณได้จาก

$$C_s = \text{มูลค่าซากปีสุดท้าย} \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (5)$$

ค่าซ่อมบำรุงรายปี (C_m) คำนวณได้จาก

$$C_m = 0.05 \times \text{ราคาต้นทุน} \quad (6)$$

รวมค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$C_T = C_p - C_s + C_m \quad (7)$$

ค่าใช้จ่ายต่อลิตร คำนวณจาก

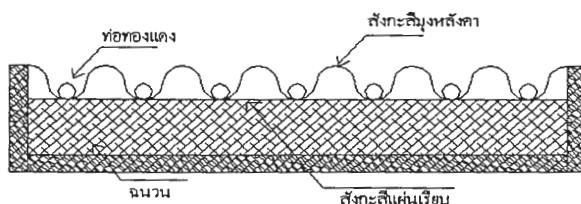
$$\text{Cost/liter} = C_T / (\text{Volume} \times \text{days}) \quad (8)$$

การทดลอง

ในการออกแบบระบบตามรูปที่ 1 ใช้ท่อห้องแดงขนาด 12.7 มิลลิเมตร บัดกรีติดกับแผ่นสังกะสีขนาด 2.5×0.67 ตารางเมตร ทาด้วยสีน้ำตาลแดง ด้านล่างปิดทับด้วยสังกะสีแผ่นเรียบปิดทับด้วยผ้าใบแก้วหนา 50 มิลลิเมตร วางในกล่องไม้อัดดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 โดยโครงเหล็กเอียงทำมุม 15 องศากับแนวราบหันไปทางทิศใต้ ตั้งเก็บน้ำทำด้วยเหล็กเหนียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร หุ้มด้วยผ้าใบแก้วหนา 50 มิลลิเมตร สำหรับการวัดอัตราการไหล ใช้วิธี dye trace injection (Pannigul, 1999) โดยทำการวัดทุกๆ 1 ชั่วโมงในการบันทึกอุณหภูมิ ใช้ Data logger บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ความเร็วลมวัดโดยใช้ Anemometer ทุก 15 นาที ที่ระดับเหนือแผงเก็บรังสี 10 เซนติเมตร การวัดอุณหภูมน้ำในถังเก็บวัด 3 และ 4 ระดับ ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



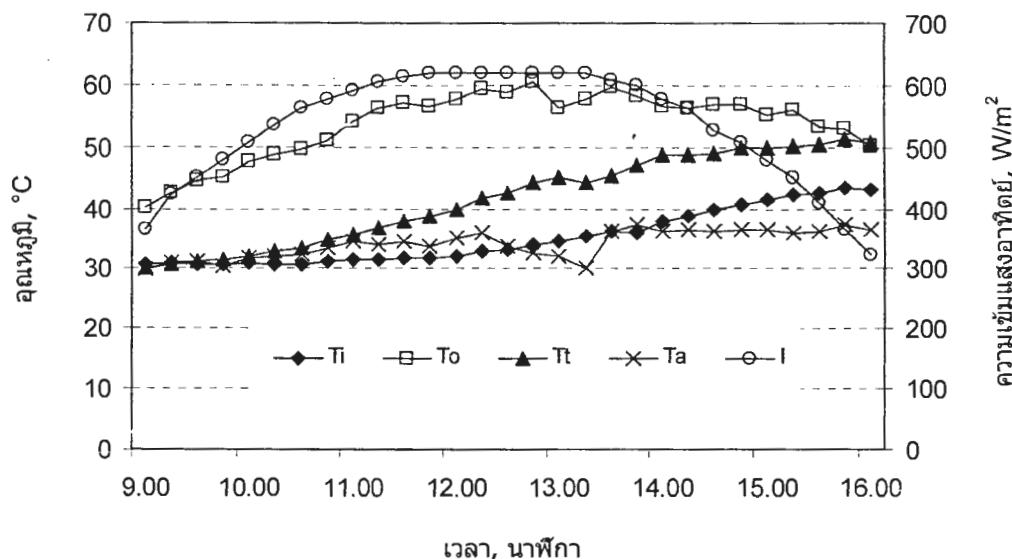
รูปที่ 2 แสดงภาคตัดขวางของแพงเก็บรังสี

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการทำการทดลอง ได้ทดลองตั้งแต่วันที่ 2-9 กุมภาพันธ์ และวันที่ 16 และ 19 มีนาคม 2548 สำหรับตัวอย่างผลการทดลองมีดังนี้

ผลของการเข้มแสงและอุณหภูมิบรรยายกาศ

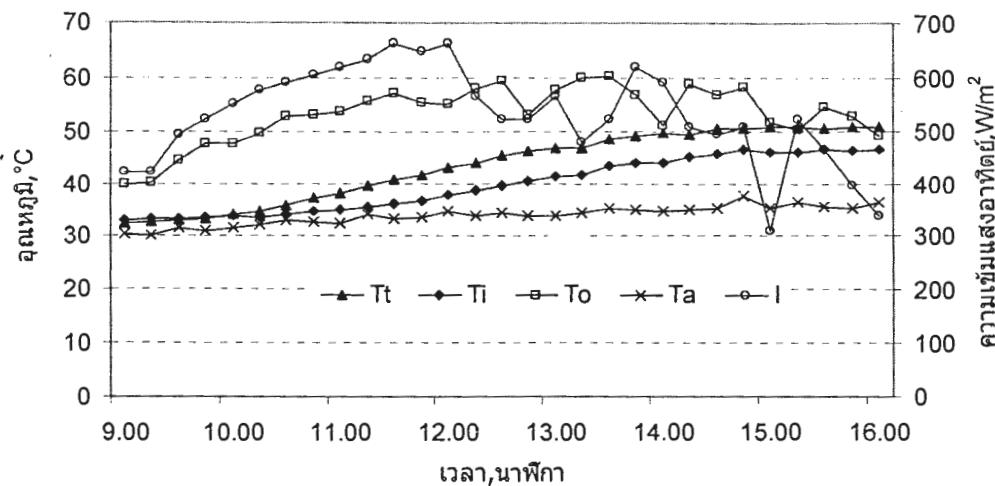
จากรูปที่ 3 แสดงผลการทดลองของวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งท้องฟ้าแจ่มใส มีแดด ตลอดทั้งวัน มีความเข้มแสงต่ำสุดบนแพงเก็บรังสีเฉลี่ย 601 W/m^2 โดยมีปริมาตรน้ำในถัง 60 ลิตร ในช่วงเช้าเวลา 9.00-12.00 น. อุณหภูมน้ำข้าวอกจากแพง จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมน้ำข้าวอกยังได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิบรรยายกาศด้วย โดยพบว่า ที่เวลา 9.45 น. และ 11.45 น. อุณหภูมิบรรยายกาศลดลงจาก 31.15°C เป็น 30.42°C และจาก 34.72°C เป็น 33.79°C มีผลให้ที่เวลา 9.45 น. อุณหภูมน้ำข้าวอก เพิ่มขึ้นอยกว่าที่ควรจะเป็น และที่เวลา 11.45 น. อุณหภูมน้ำข้าวอกลดลง จาก 57.28°C เหลือ 56.49°C อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแนวโน้มโดยรวมแล้ว พบว่าอุณหภูมน้ำข้าวอกในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. ยังคงเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสง



Ti อุณหภูมิน้ำข้าวเปลือกเก็บรังสี To อุณหภูมิน้ำข้าวอกแพลงเก็บรังสี Tt อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ Ta อุณหภูมิบรรยายกาศ I ความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ

รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ และความเข้มของแสงอาทิตย์ของวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548

ในช่วงบ่ายเวลา 12.00-13.30 น. ความเข้มรังสีค่อนข้างคงที่ขณะที่อุณหภูมิบรรยายกาศลดลง ทำให้การสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมน้ำข้าวอกและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังลดลง หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิบรรยายกาศเพิ่มขึ้นความร้อนที่ได้จากระบบทึกถังมาเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลาประมาณ 13.30-16.00 น. ความเข้มรังสีลดลงอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมน้ำข้าวอกก็ลดลงตามความเข้มรังสี และแม้ว่าความเข้มของรังสีจะลดลง แต่ก็ยังเพียงพอที่ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและออกจากแพลงเก็บรังสี ที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำในระบบ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังขึ้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังซึ่งหมายถึงค่าพลังงานที่ได้ก็จะลดลงตามความเข้มของรังสี



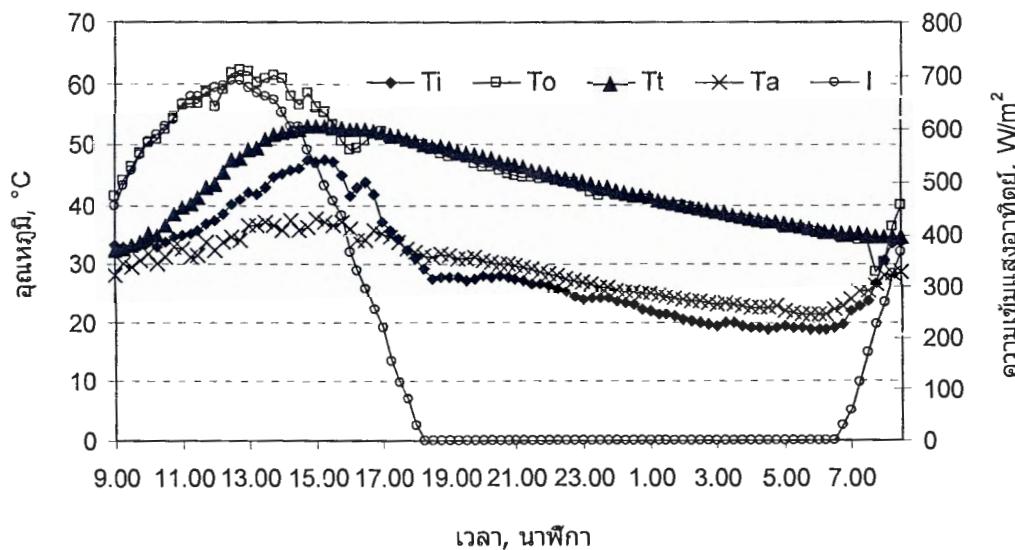
T_t อุณหภูมิน้ำข้าแข้งแพลงเก็บรังสี T_o อุณหภูมน้ำข้าวออกแพลงเก็บรังสี T_t อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ Ta อุณหภูมิบรรยายกาศ I ความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ

รูปที่ 4 แสดงผลของอุณหภูมิและแสงอาทิตย์บนพื้นราบในวันที่ 16 มีนาคม 2548

จากรูปที่ 4 แสดงผลการทดลองของวันที่ 16 มีนาคม 2548 ซึ่งเป็นตัวแทนข้อมูลของวันที่มีความเข้มของแสงน้อย โดยมีความเข้มแสงต่ำที่สุดในช่วงบ่าย โดยมีปริมาตรน้ำในถัง 40 ลิตร ในช่วงเช้า จนถึงเวลาประมาณ 12.00 น. อุณหภูมน้ำข้าวอออกเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้นและได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิบรรยายกาศเช่นเดียวกัน โดยพบว่า ที่เวลา 10.30-11.00 น. อุณหภูมิบรรยายกาศลดลงจาก 33.10°C เหลือ 32.50°C มิผลให้อุณหภูมน้ำข้าวและอุณหภูมิเฉลี่ยในถังค่อยๆ เพิ่มขึ้น ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.00-16.00 น. ความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างแปรปรวน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมน้ำข้าวอออกเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสี อย่างไรก็ตามทั้งอุณหภูมน้ำข้าวและอุณหภูมิเฉลี่ยในถังยังคงเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 12.00-14.00 น. และค่อนข้างจะคงที่ในช่วงเวลา 14.00-16.00 น.

การสูญเสียความร้อนในตอนกลางคืน

จากรูปที่ 5 ทำการทดลองที่ปริมาตรน้ำ 40 ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบร่วมกับอุณหภูมน้ำเฉลี่ยสูงสุด 53 องศาเซลเซียส เมื่อเวลา 15.16 น. ขณะที่อุณหภูมน้ำข้าวอออกซึ่งลดลงตามความเข้มแสงอาทิตย์ ในช่วงบ่ายกลับเพิ่มขึ้นมาเมื่อเวลา 18.08 น. ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลย้อนกลับ (reverse flow) เนื่องจากระบบมีการสูญเสียความร้อน ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเช้าของวันที่ 20 มีนาคม 2548

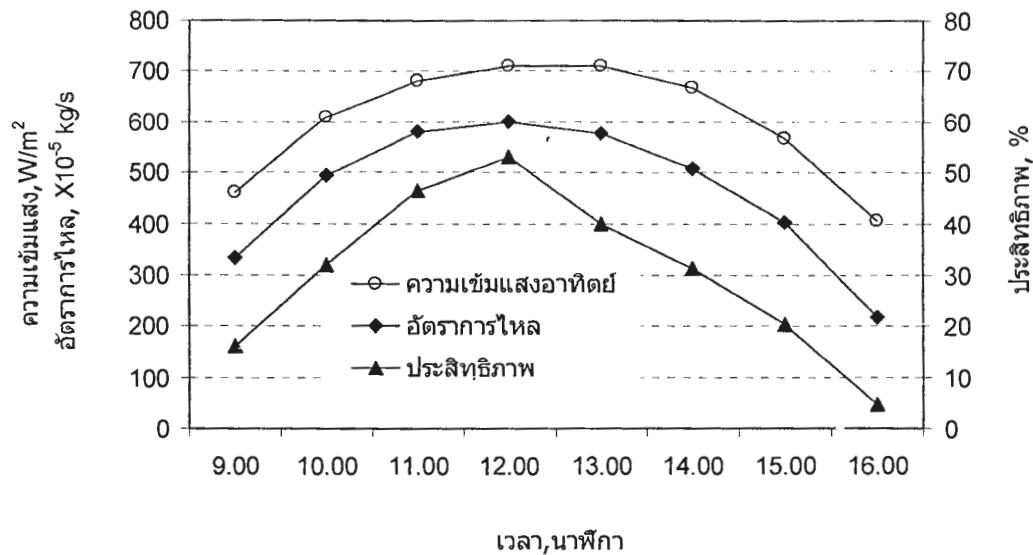


Ti อุณหภูมินำเข้าเข้าແengเก็บรังสี To อุณหภูมินำเข้าออกແengเก็บรังสี Tt อุณหภูมิเคลื่อนไหวในถังเก็บ Ta อุณหภูมิบรรยายกาศ I ความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นทราย

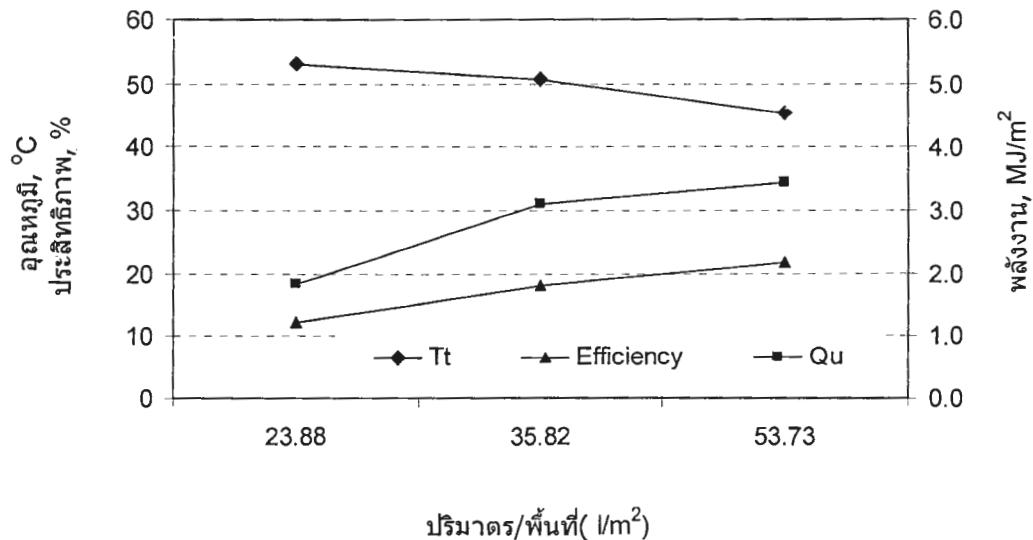
รูปที่ 5 ผลการทดลองในวันที่ 19-20 มีนาคม 2548

ประสิทธิภาพของระบบ, ความร้อนที่ได้และผลของปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่

จากรูปที่ 6 เป็นผลจากการทดลอง เมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2548 แสดงประสิทธิภาพ, อัตราการไหลดและความเข้มแสงที่ติดบนແengเก็บรังสี ในตอนเช้าเวลา 9.00-12.00 น. พนว่า อัตราการไหลด และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น ตามความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการไหลดจึงเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้พลังงานที่ได้และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ด้วย และในตอนบ่าย เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลง อัตราการไหลดและประสิทธิภาพจะลดลงตามไปด้วย พนว่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เวลา 12.00 น. ซึ่งเท่ากับ 53 % โดยมีอัตราการไหลด 0.0058 kg/s อุณหภูมิขาอกสูงสุด 58 องศาเซลเซียส ความเข้มรังสีติดกระหบบນແengเก็บรังสีสูงสุด 710 W/m² ทั้งนี้ปริมาตรน้ำในถัง 60 ลิตร อุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส สามารถให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเวลา 16.00 น. ที่ 51 องศาเซลเซียส หรือได้ความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้ 3.10 MJ/m²



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพ อัตราการให้ حرรด และความเข้มแสงอาทิตย์บนแผงเก็บรังสี

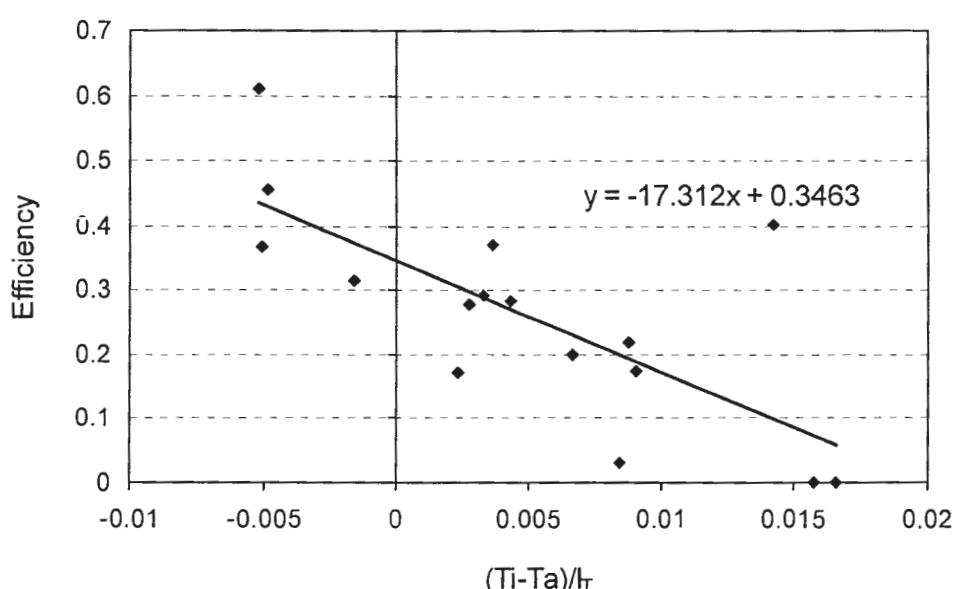


รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บ (T_t) ประสิทธิภาพ (Efficiency) และพลังงานที่ได้ (Q_u) ที่ปริมาตรถังต่อพื้นที่แผงเก็บรังสีต่างๆ

จากรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเก็บ ประสิทธิภาพและพลังงานที่ได้ ที่ปริมาตรถังต่อพื้นที่แผงเก็บรังสีต่างๆ จากกราฟจะเห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาตรถังต่อพื้นที่แผงเก็บรังสี พลังงานที่ได้และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจะลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อเพิ่มปริมาตรถังต่อพื้นที่เก็บรังสี มีผลให้อุณหภูมน้ำที่เข้าสู่แผงเก็บรังสี

มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้สามารถรับความร้อนจากแสงเงินเก็บรังสีได้ และมีประสิทธิภาพสูง จากผลการทดลอง ระบบให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด เมื่อมีปริมาตรถังต่อพื้นที่แสงเงินเก็บรังสี 23.8 ลิตรต่อตารางเมตร เท่ากับ 53 องศาเซลเซียส และให้พลังงานสูงสุด เมื่อมีปริมาตรถังต่อพื้นที่แสงเงินเก็บรังสี 53.7 ลิตรต่อตารางเมตร เท่ากับ 3.44 MJ/m^2 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 8 แสดงการหาประสิทธิภาพ และแฟคเตอร์การสูญเสียความร้อน (heat loss factor) ของระบบ โดยใช้สมการของ ของ Hottel-Whillier-Bliss สำหรับแสงเงินเก็บรังสีแบบแผ่น วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Least squares method โดยมีสมนติฐานว่า U_L, F_R และ α มีค่าคงที่ เมื่อ ปริมาตรถังเก็บเท่ากับ 60 ลิตร หรืออัตราส่วนปริมาตรถังเก็บต่อพื้นที่รับแสงเท่ากับ 35.8 ลิตรต่อตารางเมตร จากราฟพบว่า ประสิทธิภาพของระบบเมื่ออุณหภูมิขาเข้าแสงเงินเก็บรังสีเท่ากับอุณหภูมิบรรยายกาศ ซึ่งคืออุคตดับนแกน y (η_0 หรือ $F_R\alpha$) เท่ากับ 0.35 และแฟคเตอร์การสูญเสียความร้อน (heat loss factor) ซึ่งคือความชันของกราฟ ($F_R U_L$) เท่ากับ $17.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ และระบบจะให้ ประสิทธิภาพสูง หากระบบทำงานที่อุณหภูมิขาเข้าต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยายกาศ ($(T_i - T_a) < 0$) โดยมี ความเร็วลมเฉลี่ย 0.8 m/s



รูปที่ 8 แสดงประสิทธิภาพในวันที่ 8-9 กุมภาพันธ์ 2548

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยอ้างอิงตามสมนुทิฐานเบื้องต้น สามารถสรุปผลได้ดังนี้ ค่าใช้จ่ายต้านเงินลงทุนรายปีเท่ากับ 447 บาท น้ำมันเชื้อเพลิงรายปีเท่ากับ 10 บาท ค่าซ่อมบำรุงรายปีเท่ากับ 150 บาท และค่าใช้จ่ายห้องหมอดรายปีเท่ากับ 587 บาท และเมื่อวิเคราะห์ต้นทุนต่อลิตรน้ำร้อน พบร่วมค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0.03 บาท

สรุป

1. อุณหภูมิน้ำข้าวอกของแพงเก็บรังสีขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิบรรยายกาศ โดยอิทธิพลของอุณหภูมิบรรยายกาศ จะปรากฏชัดเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์คงที่

2. ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มน้ำดักถังเก็บต่อพื้นที่แพงเก็บรังสี ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่แพงเก็บรังสีมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้สามารถรับความร้อนจากแพงเก็บรังสีได้ดี และมีประสิทธิภาพสูง แต่อุณหภูมิน้ำที่ได้จะลดลงเนื่องจาก ในการณ์ที่น้ำดักถังเก็บต่อพื้นที่แพงเก็บรังสี มีค่ามาก จำนวนรอบการหมุนเวียนของน้ำผ่านแพงเก็บรังสีจะน้อยกว่าเมื่อขนาดถังเก็บต่อพื้นที่แพงเก็บรังสีมีค่าน้อย อุณหภูมิที่ได้จะต่ำกว่าน้ำที่หมุนเวียนผ่านแพงเก็บรังสีหลายรอบกว่า

3. ในสภาวะสิ่งแวดล้อมเดียวกัน ระบบที่มีถังน้ำขนาดเล็กกว่าสามารถให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำได้สูงกว่า ทำให้อุณหภูมิแตกต่างระหว่างระบบกับบรรยายกาศมีค่าสูง ซึ่งเป็นผลให้มีการสูญเสียความร้อนสูงกว่าระบบที่มีขนาดถังใหญ่กว่า ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า

4. จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นว่าแม้ประสิทธิภาพของระบบจะไม่สูงนัก แต่สามารถให้ความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดี สำหรับกรณีที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูง เช่น อุปโภคภัยในครัวเรือน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย

สัญลักษณ์

α ค่าการดูดกลืนรังสี

$\eta, \eta_0, n, Eff.$ ประสิทธิภาพ

A_c พื้นที่ตัวเก็บรังสี, m²

C_p ค่าความถูกความร้อน, J/kgK

$F_F\alpha$ Optical factor

$F_R U_L$ Heat loss factor, W/m²K

I, I_T ความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นราบและพื้นเอียงตามลำดับ, W/m²

m อัตราการไหล, kg/s

Q_u ความร้อนที่ได้, MJ/m²

T_a อุณหภูมิบรรยายกาศ, °C

T_i อุณหภูมน้ำขาเข้าแผงเก็บรังสี, °C

T_t อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังเก็บ, °C

T_o อุณหภูมน้ำออกจากแผงเก็บรังสี, °C

T_p อุณหภูมิเฉลี่ยตัวเก็บรังสี, °C

เอกสารอ้างอิง

1. Nabilek, B., Kiran, E., Turksoy, F., and Yazar, A. 1999, Performance of an unglazed textile-plastic Solar absorber, **Renewable Energy**, Vol. 16, pp.635-638.
2. Ewyatar Erell, Yair Etzion, 1996, Heating experiments with radiative cooling system, **Building and environment**, vol.31, No.6, pp.509-517.
3. K.Sopian, M.Syahri, S.Abdollah, M.Y.Othman and B.Yatim, 2004, Performance of non-metallic unglazed solar water heater with integrated storage system, **Renewable energy**, Vol. Pannigul, P. 1999, **A study of temperature and flow distribution in a natural circulation solar water heater system**, Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Bangkok, Thailand.
4. S.Kalogirou, Y.Tripanagnostopoulos and M.Souliotis, 2004, Performance of solar system employing collector with colored absorber, **inpress**
5. S.Medved, C.Arkar and B.Cerne, 2003, A large panel unglazed roof integrated liquid solar collector-energy and economic evaluation, **Solar energy**, Vol.75, pp.455-467.
6. Y.Tripanagnostopoulos, M.Souliotis and TH.Nousia, 2000, Solar collectors with colored absorbers, **Solar energy**, Vol. 68, pp. 343-356.

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายเรวัฒน์ บุนทองจันทร์
วันเดือนปีเกิด	27 กรกฎาคม 2510
สถานที่เกิด	อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเบญจมราชนิพิทย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2529 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ¹ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2535 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ² มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2549 วิศวกร ระดับ 7
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	กองเครื่องกล ฝ่ายก่อสร้างพลังความร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี โทร. 024361248-9