

ผลของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศ
ที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

Effect of Working Fluids on Evacuated Tube Solar Collector with
Closed-Loop Oscillating heat pipe

นายทศวรรษ จิรินันดร รหัส 53361993
นายปิยะเรศ วิชัยโน รหัส 52361079
นายอมรศักดิ์ อภิชัย รหัส 53362396

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน..... 16912366
เลขเรียกหนังสือ..... ศส.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๗ 239 ๒ 2556



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการงาน

ผลของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอด
สุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
Effect of Working Fluids on Evacuated Tube Solar
Collector with Closed-Loop Oscillating heat pipe

ผู้ดำเนินโครงการงาน

นายทศวรรษ จิรินันดร รหัส 53361993
นายปิยะเรศ วิชัยโน รหัส 52361079
นายอมรศักดิ์ อภิชัย รหัส 53362396

ที่ปรึกษาโครงการงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา

2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการงาน

.....ที่ปรึกษาโครงการงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ผลของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอด สุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายทศวรรษ	จิรนิรันดร	รหัส 53361993
	นายปิยะเรศ	วิชัยโน	รหัส 52361079
	นายอมรศักดิ์	อภิชัย	รหัส 53362396
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ โดยใช้สารทำงานและอัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบให้แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์หาชนิดของสารทำงานและอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมซึ่งให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด และได้สร้างท่อความร้อนแบบสั้นให้มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้งเลี้ยว มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m มีความยาวส่วนควบแน่น 0.05 m มีความยาวที่ไม่มีการสูญเสียความร้อน 0.05 m และมีน้ำบรรจุในถังน้ำร้อนปริมาตร 1.5 L ทำการทดลองโดยใช้สารทำงานทั้งหมด 4 สาร คือสาร R123 R134a R404a และ R410a ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% 50% และ 70% ของปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ โดยทำการทดลองในช่วงเวลา 10.00 น.-15.00 น. และทำการวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K วัดค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ในทุกๆ 30 นาที จากผลการทดลองพบว่าสารทำงาน R404a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70 % และ R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ทำงานได้ดีที่สุดคือมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังที่สูงและใกล้เคียงกันคือมีค่า 54.6°C และ 54.3°C ตามลำดับ มีค่าปริมาณความร้อนสะสมใกล้เคียงกันคือมีค่า 171772 J และ 174912 J ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันคือมีค่า 24.4% และ 24% ตามลำดับ ดังนั้นสามารถเลือกใช้สารทำงานได้ทั้ง 2 ชนิด แต่ควรจะมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมกับสารแต่ละชนิดด้วย

Project title	Effect of Working Fluids on Evacuated Tube Solar Collector with Closed-Loop Oscillating heat pipe		
Name	Mr. Thotsawat	Jiranirundorn	ID 53361993
	Mr. Piyared	Wichaino	ID 52361079
	Mr. Amornsak	Apichai	ID 53362396
Project advisor	Asst. Prof. Dr. Piyanun Charoensawan		
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2013		

Abstract

This project was to study the effect of working fluids on evacuated tube solar collector with closed-loop oscillating heat pipe. The various working fluids and filling ratios of closed-loop oscillating heat pipe was investigated to determine the optimal working fluid and filling ratio of the solar water heater with high efficiency. The oscillating heat pipes with 15 meandering turns were constructed. Their evaporator, condenser and adiabatic lengths were 1.5 m, 0.05 m and 0.05 m respectively. The hot water tank volume was 1.5 L. The tested working fluids were R123 R134a R404a and R410a. Each fluid was tested at the filling ratios of 30%, 50% and 70 % of the total internal tube volume. The experimental time interval was during 10:00 am - 15:00 pm. The K-type thermocouple was used to measure at all points. All temperatures and the solar intensity were monitored in every 30 minutes. The experimental results showed that the best performance of solar collector was occurred when the working fluid were both R404a with 70% filling ratio and R410a with 50% filling ratio. The maximum water temperatures were 54.6°C and 54.3°C respectively, the amounts of heat gain accumulation were 171772 J and 174912 J respectively and the solar collector efficiencies were 24.4 % and 24 %, respectively. Therefore these two refrigerants can be applied in the evacuated tube solar collector with closed-loop oscillating heat pipe and there is the optimal filling ratio for each refrigerant.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงการจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์วาฤทธิ์ ภมร ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจ สม่่าเสมอตลอดมา



คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
สารบัญกราฟ	ฅ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.6 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	5
1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน	5
1.8 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 รังสีอาทิตย์ (Solar Radiation)	6
2.2 ส่วนประกอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	8
2.3 ลักษณะของท่อความร้อนและท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ	9
2.4 การทดสอบตัวเก็บรังสี	12
2.5 สมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	14
2.6 การใช้สัญลักษณ์เรียกชื่อสารทำความเย็น	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	
3.1 ลักษณะและการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	18
3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการศึกษา	20
3.3 การออกแบบ	21
3.4 การสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	22
3.5 การดำเนินการทดลอง	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่อัตราการเติม 50%	30
4.2 ผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่อัตราการเติม 30%	39
4.3 ผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่อัตราการเติม 70%	47
4.4 ผลกระทบของอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลการทดลอง	67
ภาคผนวก ข ตารางคุณสมบัติ	77
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	79
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติ	5
1.2 รายละเอียดงบประมาณ	5
3.1 ตัวแปรควบคุม	20
3.2 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	20
4.1 ค่าการดูดซับความร้อนของตัวรับรังสีและค่าปริมาณการสูญเสียความร้อน	62
ก.1 ข้อมูลการทดลองวันที่ 29 ตุลาคม 2556	68
ก.2 ข้อมูลการทดลองวันที่ 30 ตุลาคม 2556	69
ก.3 ข้อมูลการทดลองวันที่ 31 ตุลาคม 2556	70
ก.4 ข้อมูลการทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556	71
ก.5 ข้อมูลการทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556	72
ก.6 ข้อมูลการทดลองวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556	73
ก.7 ข้อมูลการทดลองวันที่ 4 ธันวาคม 2556	74
ก.8 ข้อมูลการทดลองวันที่ 5 ธันวาคม 2556	75
ก.9 ข้อมูลการทดลองวันที่ 6 ธันวาคม 2556	76
ข.1 แสดงสมบัติของ R123, R134a, R404a และ R410a ที่สถานะของของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว	78
ตารางที่ ข.2 แสดงสมบัติของสารทำงาน R123 ณ เวลา 12:00 น.	78
ตารางที่ ข.3 แสดงสมบัติของสารทำงาน R134a, R404a และ R410a ณ เวลา 12:00 น.	78

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ	1
1.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง	1
1.3 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	2
2.1 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) วัดรังสีรวม	7
2.2 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) วัดรังสีกระจาย	7
2.3 ไพร์เฮลิโอมิเตอร์	7
2.4 ตำแหน่งการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบ 1 ปี	8
2.5 ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	8
2.6 ลักษณะของท่อความร้อนธรรมดา	9
2.7 ประเภทของท่อความร้อนแบบสั้น	10
2.8 การแสดงตัวอย่าง สารทำความเย็น Tetrafluoroethane (R-134a)	16
3.1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ	19
3.2 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ	21
3.3 ภาพฉายของถังน้ำร้อน	21
3.4 ภาพฉายของโครงฐานตัวรับรังสีแสงอาทิตย์	22
3.5 โครงฐานตัวรับรังสีแสงอาทิตย์	23
3.6 ถังน้ำร้อน	23
3.7 ท่อทองแดงจำนวน 15 โค้งเลี้ยว	24
3.8 ปี้นสุญญากาศ	24
3.9 การประกอบท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบเข้ากับท่อแก้วสุญญากาศและถังน้ำร้อน	25
3.10 ทุ้มฉนวนถังน้ำร้อนโดยใช้ฉนวนใยแก้วและฟอยล์อะลูมิเนียม	25
3.11 แผนผังการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ ที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ	26
3.12 ไพรานอมิเตอร์	27
3.13 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ	27
3.14 สายเทอร์โมคัปเปิล	27
3.15 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ	27
3.16 การวัดข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลอง	28

สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลา ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%	30
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%	32
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%	34
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%	37
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลา ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30%	39
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30%	41
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30%	43
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30%	45
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลา ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70 %	47
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70 %	49
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70 %	51
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70 %	53
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลาที่ดียที่สุด	55
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลา ของสารR134a, R404a และ R410a	57
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลา ของสารR134a, R404a และ R410a	58
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลา ของสารR134a, R404a และ R410a	60

สารบัญกราฟ

กราฟที่
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับรังสี
เทียบกับค่า $(T_{av} - T_{amb})/I$

หน้า
61



สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

		หน่วย
A	คือ พื้นที่หน้าตัดภายในท่อความร้อน	m^2
A_c	คือ พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์	m^2
C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	$J/kg\cdot K$
$D_{l,max}$	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสูงสุด	m
FR	คือ อัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนชนิดนี้	
F_R	คือ แฟคเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสี	
g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	m/s^2
I	คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์	W/m^2
l_t	คือ ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน	m
M	คือ มวลของน้ำ	kg
\dot{M}	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ	kg/s
Q	คือ ปริมาณความร้อน	J
\dot{Q}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
U_L	คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน	$W/m^2\cdot K$
V_t	คือ ปริมาตรสารทำงานภายในท่อ	m^3
t	คือ เวลา	s
σ	คือ แรงตึงผิวของสารทำงาน	N/m
ρ_l	คือ ความหนาแน่นของสารทำงาน	kg/m^3
η	คือ ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	
ΔT	คือ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำ	K
$(\tau\alpha)$	คือ ผลคูณของค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสี	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

การทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องมีอุปกรณ์หลักในการเปลี่ยนรังสีแสงอาทิตย์ให้เป็น พลังงานความร้อน คือ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (Solar collector) แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

1.1.1 แบบท่อแก้วสุญญากาศสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 100 ถึง 200°C ดังรูปที่ 1.1



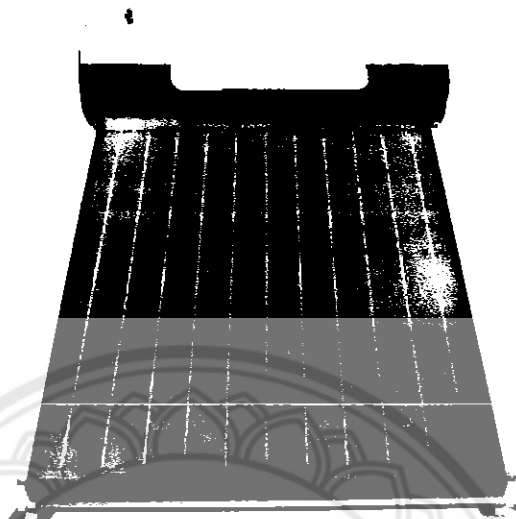
รูปที่ 1.1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ [1]

1.1.2 แบบรวมแสงสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงกว่า 300 °C ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง [2]

1.1.3 แบบแผนเรียบสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 40 ถึง 90 °C ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผนเรียบ [3]

พบว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมแสงจะทำความร้อนได้สูงที่สุด แต่ต้นทุนอุปกรณ์ค่อนข้างสูงและพื้นที่ติดตั้งมาก ดังนั้นตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ จึงถูกนำมาใช้ และการทำวิจัยอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศสามารถทำความร้อนได้สูง ส่วนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผนเรียบ ยังมีความสามารถในการทำความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับทั้ง 3 แบบ

หลอดแก้วสุญญากาศ คือ ตัวดูดซับรังสีในระบบผลิตความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดูดซับมา จะเปลี่ยนเป็นความร้อนเมื่อนำน้ำมาส่งผ่านก็จะกลายเป็นน้ำร้อน หลอดแก้วสุญญากาศ เป็นหลอดแก้วประเภท "Borosilicate glass" มีความแข็งแรงมาก หลอดแก้วชั้นนอกเป็นแก้วชนิดโปร่งใส โดยรังสีอาทิตย์สามารถผ่านได้แต่จะสะท้อนกลับได้น้อยมาก หลอดแก้วชั้นในจะถูกเคลือบด้วยกรรมวิธีพิเศษที่เรียกว่า "Selective Coating ด้วยสาร Al-N/Al" ซึ่งจะทำให้สามารถดูดซับรังสีอาทิตย์ได้ดี และรังสีจะสะท้อนกลับได้น้อยมาก ส่วนบนของหลอดแก้วทั้ง 2 ชั้นจะถูกหลอมเข้าด้วยกัน และอากาศที่อยู่ระหว่างหลอดแก้วทั้งสอง จะถูกดูดออกไปโดยใช้อุณหภูมิที่สูงมาก ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่เรียกว่า "Evacuation" เพื่อให้เป็นสุญญากาศ

สุญญากาศ คือ ฉนวนกันความร้อนสูญเสียที่ดีที่สุดมีความสำคัญมาก เพราะหลอดแก้วสุญญากาศ ทำหน้าที่ดูดซับรังสีอาทิตย์เปลี่ยนเป็นความร้อน จึงไม่ต้องการให้ความร้อนนั้นสูญเสียไปโดยเฉพาะอุณหภูมิภายในหลอดแก้วชั้นในสูงถึง 200 °C แต่หลอดแก้วชั้นนอกจะเย็นโดยสามารถสัมผัสได้ ซึ่งเป็นวิธีทำความร้อนได้โดยแม้กระทั่งในช่วงหน้าฝนและช่วงหน้าหนาว หากเป็นตัวรับรังสีชนิดแผ่นเรียบจะไม่สามารถป้องกันความร้อนสูญเสียนี้ได้

ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe) ซึ่งเป็นท่อความร้อนที่พัฒนาต่อจากท่อความร้อนธรรมดาและมีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า ในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำท่อความร้อนแบบสั่นมาประยุกต์ใช้เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อแก้วสุญญากาศ โดยท่อความร้อนแบบสั่น

สร้างขึ้นมาจากท่อคาบิลลาเรียนำมาขุดไปมาระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเกิดเป็นโค้งเล็ก ๆ ภายในท่อจะดูดอากาศออกแล้วเติมสารทำงานเข้าไป และสารทำงานภายในท่อจะจัดเรียงตัวสลับกันไปมาระหว่างแท่งของเหลวและฟองไอ การถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้โดยการไหลเวียนและสั่นในแนวแกนของสารทำงานภายในท่อร่วมกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงานภายในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ท่อความร้อนแบบสั่นสามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีวาล์วก้นกลับ ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ โดยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีวาล์วก้นกลับจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด รองลงมาคือท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดตามลำดับ แต่เนื่องจากท่อที่ใช้สร้างท่อความร้อนนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กมาก การติดตั้งวาล์วก้นกลับจึงเป็นไปได้ยากและค่าใช้จ่ายสูง การใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจึงเป็นที่แพร่หลายมากกว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีวาล์วก้นกลับและท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

ของไหลทำงานที่ใช้ในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนมักใช้เป็นสารทำความเย็น โดยในปัจจุบันนี้มีอยู่จำนวนมาก เช่น R-22, R-134a และ R-407C เป็นต้น แต่มีน้อยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะไม่มีผลกระทบในการทำลายชั้นบรรยากาศชั้นโอโซนและทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อความร้อนแบบวงรอบ (Loop heat pipe) กับสารทำความเย็นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน [12] ได้ทำการออกแบบสร้างและทดสอบภายใต้สภาพการทำงานที่เหมือนกัน เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความเร็วลม วัสดุ และขนาดของตัวรับรังสี สารทำความเย็นที่ใช้มี 3 ชนิดที่แตกต่างกันและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คือ R-134a, R407C และ R410a เพื่อทำการตรวจสอบสารทำความเย็นที่ดีที่สุดที่ควรใช้เป็นสารทำงานสำหรับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ใช้ท่อความร้อนแบบวงรอบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการสร้างและทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อศึกษาผลของสารทำงาน ที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-Loop Oscillating heat pipe) และเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนการเติมสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงผลกระทบของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

1.3.2 ทราบถึงผลกระทบของอัตราส่วนการเติมสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

1.4.1 ตัวแปรควบคุม

1. ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นแบบท่อแก้วสุญญากาศโดยเป็นท่อแก้ว 2 ชั้น ทำมาจาก Borosilicate มีความยาวท่อแก้วสุญญากาศเป็น 1.5 m
2. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1.5 m มีส่วนความยาวที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนเป็น 0.05 m และมีความยาวส่วนควบแน่นเป็น 0.05 m จำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้งเลี้ยว
3. ตัวรับรังสีทำมุมเอียง 16° จากแนวระดับ
4. ปริมาณน้ำในถัง 1.5 L

1.4.2 ตัวแปรต้น

1. สารทำงานที่ใช้คือ R123, R134a, R404a และ R410a
2. อัตราส่วนการเติมของสารทำงานคือ 30%, 50%, 70% ของปริมาตรภายในท่อ

1.4.3 ตัวแปรตาม

1. อุณหภูมิของน้ำในถัง
2. ปริมาณความร้อนสะสมในน้ำ
3. ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ออกแบบเครื่องทำน้ำร้อน
- 1.5.3 สร้างเครื่องทำน้ำร้อน
- 1.5.4 ทดลองและบันทึกผล
- 1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 1.5.6 จัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์
- 1.5.7 นำเสนอผลงาน

1.6 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติ

กิจกรรม	2556									
	ม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
1. ศึกษาทฤษฎี บทความที่เกี่ยวข้อง	■	■	■							
2. ออกแบบเครื่องทำน้ำร้อน				■	■					
3. สร้างเครื่องทำน้ำร้อน						■	■			
4. ทดลองและบันทึกผล								■	■	
5. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง										■
6. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										■
7. นำเสนอผลงาน										■

1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน

หน่วยวิจัยท่อความร้อนและระบบความร้อน อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.8 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดงบประมาณ

ลำดับที่	รายการ	ราคา (บาท)
1.	โครงสร้างเครื่องทำน้ำร้อน	1500
2.	สารทำความเย็น	1000
3.	จัดทำรูปเล่ม	500
รวม		3000

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

หลักการและทฤษฎีจะกล่าวถึงรังสีแสงอาทิตย์ส่วนประกอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ลักษณะของท่อความร้อนและท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีอาทิตย์ (Solar Radiation)

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลม [4] โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 1.7% ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกและดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 1.495×10^{11} m รังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) คือค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าประมาณ $1,367 \text{ W/m}^2$ หรือ $432 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$

2.1.1 รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นโลกสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทได้แก่

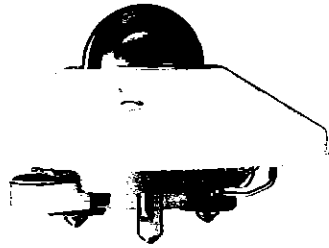
1. รังสีตรง (Direct or beam radiation) เป็นรังสีที่ได้จากดวงอาทิตย์โดยตรงมีทิศทางที่แน่นอนสามารถปรับเปลี่ยนทิศทางรังสีเช่นรวมแสงหรือสะท้อนเพื่อนำไปใช้งาน
2. รังสีกระจาย (Diffuse radiation) เป็นรังสีที่ได้รับหลังจากที่มีการกระจายหักเหและสะท้อนในชั้นบรรยากาศหรือสิ่งแวดล้อมทำให้มีทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบไม่สามารถรวมแสงหรือสะท้อนได้
3. รังสีรวม (Total or global radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย

2.1.2 อุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์

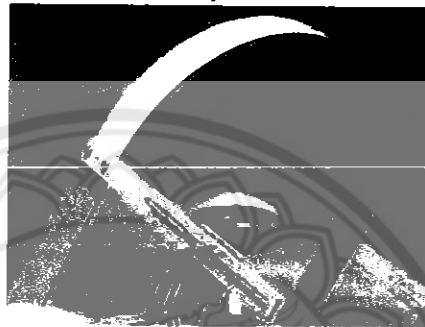
เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีรวมคือไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) การวัดรังสีกระจายจะใช้ไพรานอมิเตอร์โดยมีแหวนเงา (Shading ring) บังไม่ให้ตัววัดเห็นดวงอาทิตย์และการวัดรังสีตรงจะใช้ไพเฮลิโอมิเตอร์ (Pyheliometer)

1. ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือวัดรังสีรวมที่ประกอบด้วยเทอร์โมไพล์ (Thermopile) หลายชุดต่ออนุกรมกันตัวรับรังสีบรรจุอยู่ในโดมแก้วครึ่งทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.1 ในการที่จะวัดรังสีกระจายในแนวราบสามารถทำได้โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ชนิดเดียวกับที่ใช้วัดรังสีรวมแต่จะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้บังรังสีตรงไม่ให้รังสีตรงตกลงบนตัวรับรังสีดังรูปที่ 2.2 อุปกรณ์บังรังสีตรงที่สำคัญมี 2 ชนิดคือจานเงา (Shading disc) และแหวนเงา (Shading ring)

2. ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดรังสีตรงมีชุดขับเคลื่อนตัวดวงอาทิตย์เพื่อที่จะให้ผิวรับรังสีตั้งฉากกับลำแสงตลอดเวลาผิวรับรังสีติดอยู่ส่วนท้ายของท่อที่ใส่แสงเข้าดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) วัดรังสีรวม [5]



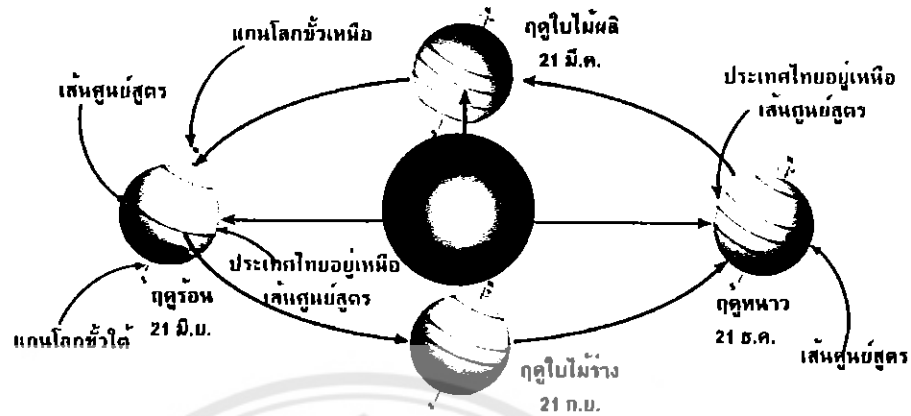
รูปที่ 2.2 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) วัดรังสีกระจาย [5]



รูปที่ 2.3 ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ [5]

2.1.3 ตำแหน่งการติดตั้งแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ [6] ในลักษณะที่แกนเอียงทำมุมกับแนวตั้ง 23.5° ตำแหน่งบนพื้นโลกหันเข้าหาดวงอาทิตย์ตามลักษณะดังรูปที่ 2.4 ซึ่งในการติดตั้งแผงรับรังสีแสงอาทิตย์นั้นควรจะติดตั้งตำแหน่งที่มีโอกาสจะได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันและต้องไม่ถูกร่มเงาของอาคารหรือต้นไม้บังแสงและควรทำมุมเอียงเพื่อตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์และควรติดตั้งไว้ทางทิศใต้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ทางซีกโลกเหนือซึ่งด้านทิศใต้จะได้รับแสงแดดตลอดทั้งวันและจังหวัดพิษณุโลกตั้งอยู่ที่พิกัดละติจูดที่ $16.78^{\circ} 44$ ลิปดาเหนือลองจิจูดที่ $100^{\circ} 16.4$ ลิปดาตะวันออกดังนั้นการวางตัวของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ควรทำมุม 16.78° กับแนวระดับจึงจะสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรอบ 1 ปี [7]

2.2 ส่วนประกอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ [8] เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนโดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (Solar collector) เป็นตัวแปลงและเก็บพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $40-70^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วนคือตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อนดังรูปที่ 2.5



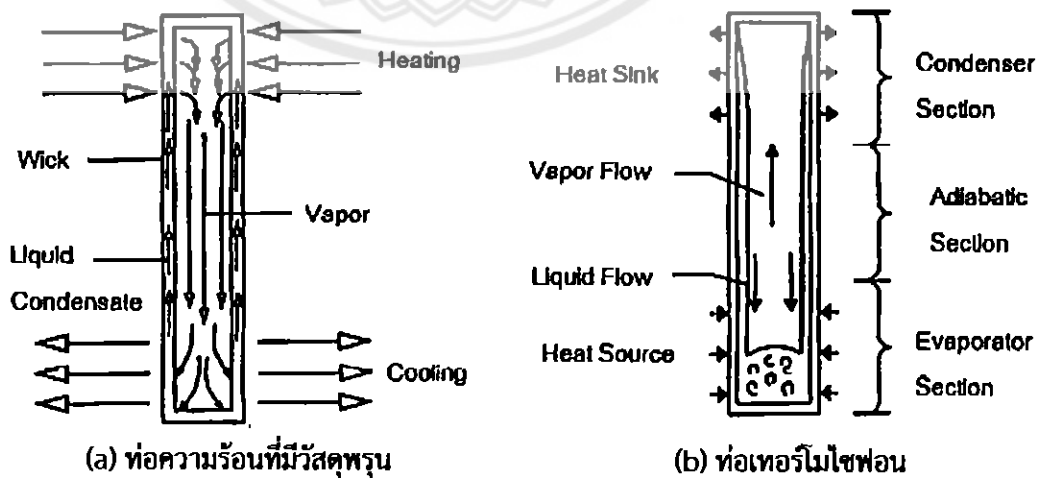
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [9]

2.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1. ตัวดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องทำน้ำร้อนถูกดูดซับไว้ซึ่งวัสดุที่เป็นตัวดูดซับมีความจำเป็นมากในการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากหากปราศจากตัวดูดซับจะทำให้ระบบการทำความร้อนไม่สามารถผลิตความร้อนมาให้เพียงพอต่อการทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิตามที่ต้องการได้
2. ฉนวนกันความร้อนเป็นสิ่งป้องกันความร้อนรั่วไหลเนื่องจากฉนวนกันความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ป้องกันไม่ให้ความร้อนภายในเครื่องทำน้ำร้อนรั่วไหลออกมาภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจึงถือว่าฉนวนกันความร้อนเป็นอุปกรณ์สำคัญในเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทุกๆแบบ
3. ท่อทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนไปยังถังเก็บหรืออุปกรณ์ที่ต้องการใช้ความร้อนจากน้ำร้อน
4. ถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) เป็นถังแบบปิดนิยมทำด้วยสแตนเลสอย่างดีที่สุดที่ไม่เป็นสนิมฉนวนหุ้มป้องกันการสูญเสียความร้อน

2.3 ลักษณะของท่อความร้อนและท่อความร้อนแบบสั่นวรูป

ท่อความร้อน (Heat pipe) [8] เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปิดสองสถานะที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งทำจากท่อโลหะ ภายในท่อจะประกอบด้วยวัสดุพรุนและสารทำงานดังรูปที่ 2.6(a) โดยทั่วไปท่อความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือส่วนที่ระเหยส่วนควบแน่นและส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนหลักการทำงานของท่อความร้อนคือเมื่อมีการให้ความร้อนที่ส่วนที่ระเหยสารทำงานที่เป็นของเหลวจะกลายเป็นไอทำให้ไหลไปยังส่วนควบแน่นและเมื่อไอที่ส่วนควบแน่นมีการถ่ายเทความร้อนออกจะกลับคืนสถานะเป็นของเหลวไหลไปยังส่วนที่ระเหย โดยอาศัยแรงคาปิลลารีผ่านวัสดุพรุนหรือแรงโน้มถ่วงของโลกและจะทำงานเป็นวัฏจักร



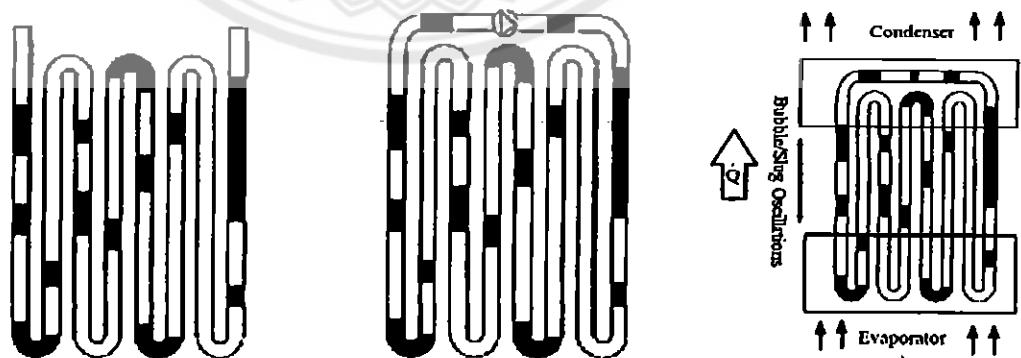
รูปที่ 2.6 ลักษณะของท่อความร้อนธรรมดา [8]

2.3.1 ท่อความร้อนธรรมชาติ

ท่อความร้อนธรรมชาติถูกสร้างขึ้นโดย Gaugler ในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1942 เป็นท่อปลายปิดที่มีสารทำงานปริมาณหนึ่งบรรจุไว้ภายในดังรูปที่ 2.6(a) โดยที่ช่องเหลวจะรับความร้อนและกลายเป็นไอในส่วบนของท่อหลังจากนั้นไอจะเคลื่อนที่มายังด้านล่างส่วนควบแน่นและคายความร้อนออกมาเพื่อเปลี่ยนเป็นของเหลวแล้วอาศัยแรงคาпилลารีที่เกิดจากโครงสร้างวัสดุพรุน (Wick structure) ภายในท่อเพื่อดึงของเหลวนั้นกลับขึ้นไปด้านบนไปยังแหล่งกำเนิดความร้อนอีกครั้ง หากแหล่งกำเนิดความร้อนอยู่ต่ำกว่าแหล่งระบายความร้อนดังรูปที่ 2.6(b) ท่อความร้อนก็ไม่จำเป็นต้องใช้โครงสร้างวัสดุพรุนเนื่องจากอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกดึงสารทำงานเหลวกลับลงมายังแหล่งกำเนิดความร้อนแทนซึ่งเรียกท่อความร้อนธรรมดานี้ว่าเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) ซึ่งท่อความร้อนนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากแต่อย่างไรก็ตามจากการพัฒนาทางเทคโนโลยีแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ นั้นมีขนาดเล็กลงและมีความร้อนที่ต้องระบายออกสูงขึ้นดังนั้นท่อความร้อนที่นำมาใช้กับงานนี้จึงต้องมีขนาดเล็กลงแต่ต้องสามารถดึงความร้อนออกจากแผงวงจรได้มากขึ้นการลดขนาดท่อความร้อนลงอย่างมากจนถึงระดับไมโครเมตรหรือคาพิลลารี (Capillary tube) มีผลทำให้เกิดขีดจำกัดการส่งผ่านความร้อนขึ้นนั่นคือขีดจำกัดคาพิลลารีซึ่งเกิดจากโครงสร้างวัสดุพรุนจึงไม่สามารถนำของเหลวย้อนกลับมายังส่วนทำระเหยได้อย่างเพียงพอ

2.3.2 ท่อความร้อนแบบสั้น

ท่อความร้อนแบบสั้นสร้างขึ้นจากท่อคาพิลลารียาว เป็นท่อเดี่ยวที่นำมาดัดโค้งขดไปมาระหว่างแหล่งความร้อนและแหล่งระบายความร้อนเกิดเป็นโค้งเลี้ยวขึ้น โดยปราศจากวัสดุพรุนและบรรจุสารทำงานไว้ภายในท่อ โดยสารทำงานภายในท่อคาพิลลารีนี้จะเกิดการจับเรียงตัวในรูปแท่งของเหลว (Liquid slug) แท่งหรือฟองไอ (Vapor plug/Bubble) จะสลับกันไปตลอดความยาวของท่อหรือเรียกว่า Slug train ดังนั้นกระบวนการทำงานเพื่อส่งถ่ายความร้อนจึงแตกต่างจากท่อความร้อนแบบธรรมดา โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทของท่อความร้อนแบบสั้นได้ 3 ชนิดตามโครงสร้างของท่อ ดังรูปที่ 2.7



(a) แบบสั้นปลายปิด

(c) แบบสั้นวงรอบติดตั้งวาล์วกันกลับ

(b) แบบสั้นวงรอบ

รูปที่ 2.7 ประเภทของท่อความร้อนแบบสั้น [5]

รูปที่ 2.7(a) คือท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe, CLOHP) สร้างจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียว ที่มีการปิดปลายท่อทั้งสองข้างแยกจากกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการสั่นจะถูกกระตุ้นโดยการผันผวนของคลื่นความดันอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการเดือดแบบฟองในของไหลทำงาน รูปที่ 2.7 (b) คือท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) สร้างจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการเชื่อมต่อกับปลายท่อทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานร่วมกับการไหลเวียนของสารทำงานผ่านโค้งเลี้ยวต่างๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง รูปที่ 2.7 (c) คือท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ (Closed-loop oscillating heat pipe with checkvalves, CLOHP/CV) เป็นท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับไว้ในวงจรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของสารทำงานเมื่อมีการให้ความร้อนที่แหล่งกำเนิดความร้อน ความร้อนจะไปสร้างฟองไอเพิ่มขึ้นทำให้แรงของเหลวถูกผลักไปยังส่วนควบแน่นทำให้สารทำงานเกิดการไหลขึ้นและที่แหล่งระบายความร้อนจะถูกถ่ายเทออกไปทำให้ฟองไอยุบตัวลงหรือกลายเป็นของเหลวไปรวมกับแรงของเหลวที่อยู่ติดกัน ทำให้เกิดแรงไหลย้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดความร้อนและเมื่อการไหลของทั้งสองแหล่งไหลชนกันทำให้เกิดการสั่นขึ้นตามแนวแกนการไหลของท่อ ซึ่งปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในท่อความร้อนนี้จึงมีความซับซ้อนมาก ถึงแม้ว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับจะทำให้สารทำงานไหลเวียนได้ง่ายในทิศทางที่กำหนดแต่มีความยุ่งยากในการสร้างและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดกับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบซึ่งสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะมีประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดอย่างเห็นได้ชัดจึงมีความสนใจการนำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

ท่อความร้อนแบบสั่นจะทำงานได้โดยมีการทำงานคือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมา หรือแบบสั่นของสารทำงานร่วมกับการเปลี่ยนสถานะของสารทำงาน นั่นคือ เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อน สารทำงานเหลวจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้ฟองไอในส่วนทำระเหยมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความดันไอเพิ่มขึ้น จึงเกิดแรงดันสารทำงานในรูปแรงของเหลวและฟองไอให้ไหลไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หลังจากนั้นฟองไอจะเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวที่ส่วนควบแน่นและช่วยเพิ่มผลต่างความดันระหว่างสองส่วนนี้ เนื่องจากท่อคาปิลลารีเป็นท่อเดี่ยวที่ขดไปมาระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาว ดังนั้นการเคลื่อนที่ของแรงของเหลวและฟองไอจำนวนหนึ่งจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่น จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแรงของเหลวและฟองไออีกจำนวนหนึ่งผ่านโค้งเลี้ยวมายังส่วนทำระเหยและเกิดการระเหยของสารทำงาน จึงทำให้ความดันไอเพิ่มสูงขึ้นและเกิดแรงย้อนกลับ ซึ่งจะดันสารทำงานให้ไหลย้อนกลับไปยังส่วนควบแน่นอีกครั้ง จากผลของแรงขับและแรงย้อนกลับที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อ นอกจากนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อยังมีผลต่อการจัดเรียงตัวของสารทำงานอยู่ในรูปแรงของเหลวและฟองไอ โดยท่อจะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอจึงสามารถเกิดการเรียงตัวของสารทำงานในรูปแบบนี้ขึ้น ดังสมการที่ 2.1

$$D_{i,max} = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l g}} \quad (2.1)$$

โดยที่	$D_{i,max}$	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสูงสุด, m
	σ	คือ	แรงตึงผิวของสารทำงาน, N/m
	ρ_l	คือ	ความหนาแน่นของสารทำงาน, kg / m ³
	g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m/s ²

นิยามของอัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนแบบสันนวงรอบ จะแตกต่างจากท่อความร้อนทั่วไป และมีอัตราส่วนการเติมควรมากกว่า 50% ของปริมาตรภายในท่อ ดังสมการที่ 2.2

$$FR = \frac{V_l}{Al_l} \quad (2.2)$$

โดยที่	FR	คือ	อัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนชนิดนี้
	V_l	คือ	ปริมาตรสารทำงานภายในท่อ, m ³
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดภายในท่อความร้อน, m ²
	l_l	คือ	ความยาวทั้งหมดของท่อความร้อน, m

2.4 การทดสอบตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

กลางทศวรรษ 1970 ได้มีการออกแบบตัวเก็บรังสีแบบใหม่สำหรับเชิงพาณิชย์ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนามาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รายละเอียดต่าง ๆ ที่ต้องทราบ คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดูดกลืนพลังงานได้อย่างไร สูญเสียความร้อนได้อย่างไร ผลของมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ และผลของความชื้นเฉพาะ ในสหรัฐอเมริกาสำนักมาตรฐานแห่งชาติได้ออกแบบการทดสอบ ซึ่งถูกปรับปรุงโดย ASHRAE (1977) ซึ่งมาตรฐาน ASHRAE 93-77 เป็นหลักพื้นฐานสำหรับหัวข้อนี้

การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกเกี่ยวกับการหาค่าประสิทธิภาพช่วงขณะกับรังสีตรงซึ่งตกกระทบในแนวตั้งฉากกับแผ่นดูดกลืนรังสี ในส่วนที่สองจะเกี่ยวข้องกับผลของมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ และส่วนที่สามเป็นการหาค่าที่เวลา การวัดความจุความร้อนประสิทธิผล เป็นวิธีพื้นฐานในการวัดสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะแสดงการทำงานของตัวเก็บรังสีเมื่อมีรังสีอาทิตย์ การวัดอุณหภูมิของไหลตรงทางเข้าและทางออก และอัตราการไหลความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้ โดย ($\tau\alpha$) คือ ค่าการส่งผ่านและการ

ดูดกลืน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของรังสีตรง รังสีกระจายและรังสีที่สะท้อนจากพื้นดินไปยังตัวเก็บรังสี ดังสมการที่ 2.3

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_c I} = F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L \Delta T}{I} \quad (2.3)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์
 F_R คือ แฟกเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสี
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, J/kg-K
 A_c คือ พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์, m^2
 \dot{Q} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
 ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำ, K
 I คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์, W/m^2
 $(\tau\alpha)$ คือ ผลคูณของค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสี
 U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน, W/m^2-K

และ

$$\eta = \frac{\dot{M} C_p \Delta T}{A_c I} \quad (2.4)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์
 \dot{M} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ, kg/s
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, J/kg-K
 ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำ, K
 A_c คือ พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์, m^2
 I คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์, W/m^2

ASHRAE 93-77 ได้กำหนดมาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ของเหลวและอากาศ โดยตัวเก็บรังสีที่ใช้ของเหลวต้องเป็นระบบปิดสำหรับการทำความร้อน แม้ว่าจะมีข้อแตกต่างกันในรายละเอียดแต่หลักสำคัญสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ป้อนของเหลวที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วงที่ต้องการเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์
2. วัดรังสีอาทิตย์ด้วยพารานอมิเตอร์ที่วางตัวบนระนาบเดียวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์
3. วัดอัตราการไหลอุณหภูมิของไหลตรงทางเข้าและทางออกและสภาวะแวดล้อม
4. วัดความดันและความดันลดในตัวเก็บรังสีอาทิตย์

วิธีการของ ASHRAE สำหรับอากาศประกอบด้วยหลักสำคัญเหมือนในกรณีของตัวทำน้ำร้อน โดยจะเพิ่มรายละเอียดที่สัมพันธ์กับการไหลของอากาศ การผสมของอากาศ อุณหภูมิของอากาศ รวมทั้งค่าความดันลด การวัดอาจทำได้ทั้งในร่มหรือกลางแจ้ง ถ้าเป็นการทดสอบในร่มจะใช้แสงอาทิตย์เทียม ซึ่งจะมีการกระจายและมีความเข้มของแสงอาทิตย์สม่ำเสมอ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการ

ทดสอบตัวเก็บรังสีจะกระทำกลางแจ้ง Gillet (1980) ได้เปรียบเทียบผลของการทดสอบกลางแจ้งกับการรวมกันระหว่างการทดสอบในร่มกับกลางแจ้ง ซึ่งได้ข้อสังเกตว่าสัดส่วนของการกระจายและการเปลี่ยนแปลงของรังสีคลื่นยาวจะมีผลต่อการทดสอบ โดยทั่วไปการทดสอบจะนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาดำเนินการภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงกับสภาวะคงที่ จะต้องวัดข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณ Q ทำการวัดค่า Q และ ΔT ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ 2.3 การทดสอบกลางแจ้งจะทำการทดสอบในช่วงเที่ยงของวันที่อากาศแจ่มใสซึ่งจะมีรังสีตรงสูงและค่อนข้างตั้งฉากกับแผ่นรับรังสี

2.5 สมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อสารได้รับความร้อนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น [8] และถ้าได้รับปริมาณความร้อนมากพอจะมีผลทำให้สารเกิดการเปลี่ยนสถานะ (Phase) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจุความร้อนของสารแต่ละชนิดซึ่งไม่เท่ากัน

ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) เป็นปริมาณของพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิที่ให้กับสารใดๆเพิ่ม 1°C ต่อหน่วยมวลถ้าปริมาณความร้อน Q หน่วยถูกถ่ายเทมวล m กับสิ่งแวดล้อมแล้วทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT สมการคำนวณปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านไปยั้งน้ำ ดังสมการที่ 2.5

$$Q = MC_p \Delta T \quad (2.5)$$

โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อน, J
 M คือ มวลของน้ำ, kg
 C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, J/kg-K
 ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำ, K

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสี (Collector efficiencies) ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์จะเป็นดัชนีที่ใช้ออกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งสามารถแสดงได้จากอัตราส่วนความร้อนที่อยู่ภายในถึงน้ำต่อค่าการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ได้จากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาเดียวกัน ดังสมการที่ 2.6

$$\eta = \frac{Q}{A_c \int_{T_{w1}}^{T_{w2}} I dt} \quad (2.6)$$

โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อน, J
 A_c คือ พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์, m^2
 $\int_{T_{w1}}^{T_{w2}} I dt$ คือ ค่าความเข้มแสง, J/m^2
 η คือ ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จริงต่อพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อแผ่นดูดกลืนรังสีมีอุณหภูมิเท่ากับของที่ไหลเข้า เรียกว่า แฟคเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสี (Collector Heat Removal Factor, F_R) ดังสมการที่ 2.7

$$F_R = \frac{\dot{M} C_p \Delta T}{A_c [I - U_L \Delta T]} \quad (2.7)$$

โดยที่	F_R	คือ	แฟกเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสี
	C_p	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, J/kg-K
	A_c	คือ	พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์, m^2
	U_L	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน, W/m^2-K
	ΔT	คือ	ผลต่างอุณหภูมิของน้ำ, K
	I	คือ	ค่าความเข้มแสงแสงอาทิตย์, W/m^2
	\dot{M}	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ, kg / s

2.6 การใช้สัญลักษณ์เรียกชื่อสารทำความเย็น

การเรียกชื่อสารทำความเย็น [9] ตามวิธีการของ ASHRAE Standard 34 ซึ่งพัฒนามาจากการเรียกชื่อสารทำความเย็นของบริษัทผู้ปกครอง ได้กำหนดให้ใช้ตัวอักษร R- นำหน้าการเรียกชื่อสารทำความเย็น ตามด้วยตัวเลขหรือตัวอักษร โดยแบ่งการเรียกชื่อตามกลุ่มชนิดของสารทำความเย็น ดังนี้

2.6.1 สารทำความเย็นกลุ่มฮาโลคาร์บอน

สารกลุ่มนี้ได้แก่ สารทำความเย็นตระกูล CFC สารทำความเย็นตระกูล HCFC และสารทำความเย็นตระกูล HFC มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อนี้ดังนี้

1. ตัวเลขตำแหน่งแรกด้านขวามือคือจำนวนอะตอมของฟลูออรีน (F)
 2. ตัวเลขตำแหน่งที่สองจากด้านขวามือคือจำนวนอะตอมของไฮโดรเจน (H)
 3. ตัวเลขตำแหน่งที่สามจากด้านขวามือคือจำนวนอะตอมของคาร์บอน (C)
- บวกรวมตัวเลขตำแหน่งที่สามกับเลขศูนย์ให้ตัดทิ้งไม่ต้องใส่

4. ตัวเลขตำแหน่งที่สี่จากด้านขวามือคือจำนวนพันธะของคาร์บอนกับคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวของสารประกอบในสารทำความเย็น ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ให้ตัดทิ้งไม่ต้องใส่

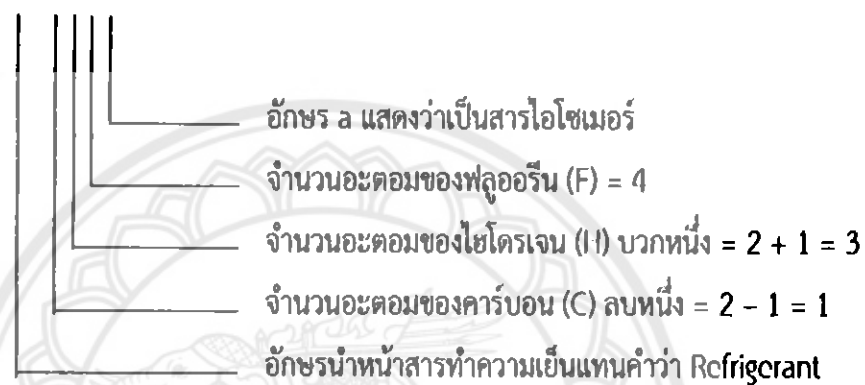
5. จำนวนอะตอมของคลอรีนหาได้จากการนำผลรวมของจำนวนอะตอมของฟลูออรีน (F) โบรมีน (B) และไฮโดรเจน (H) มาลบออกจากจำนวนอะตอมที่สามารถสร้างพันธะเคมีได้ของคาร์บอน โดยคาร์บอน 1 ตัวสามารถสร้างพันธะเคมีได้กับ 4 อะตอม คาร์บอน 2 ตัวสามารถสร้างพันธะเคมีได้กับ 6 อะตอม และคาร์บอน 3 ตัวสามารถสร้างพันธะเคมีได้กับ 8 อะตอม เช่น R123 และ R134a

6. ในบางกรณีที่มีอะตอมของคลอรีนถูกแทนที่ด้วยอะตอมของโบรมีน อาจเป็นบางส่วนหรือทั้งหมดให้นำตัวอักษร B มาใช้ในตัวเลขด้วย โดยตัวเลขที่ตามหลังตัวอักษร B แสดงจำนวนอะตอมของโบรมีนที่ปรากฏอยู่

7. กรณีที่สารทำความเย็นมีอะตอมสร้างพันธะกันอย่างไม่สมมาตรในลักษณะเป็น สารไอโซเมอร์ (มีโครงสร้างโมเลกุลต่างกันแต่มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน) ให้ตามด้วยอักษร a ต่อท้ายตัวเลขตำแหน่งแรกด้านขวามือ

ทั้งหมดนี้จะแสดงตัวอย่างของ สารทำความเย็น Tetrafluoroethane (R-134a) ซึ่ง มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CFC}_3\text{H}_2\text{F}$ และจึงมีชื่อสัญลักษณ์ว่า R-134a จากรูปที่ 2.8

R-134a



รูปที่ 2.8 การแสดงตัวอย่าง สารทำความเย็น Tetrafluoroethane (R-134a) [7]

2.6.2 สารทำความเย็นผสมชนิดซีไอโทรปิกและกึ่งอะซีไอโทรปิก

สารกลุ่มนี้มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้เลขในกลุ่มอนุกรม 400 เรียงลำดับกันไปตามการค้นพบหรือพัฒนา สำหรับสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมจากสารทำความเย็น ชนิดที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมต่างกัน ให้ตามหลังด้วยตัวอักษร A, B, C ตามลำดับไป เช่น สารทำความเย็น R-402A มีส่วนผสมของสารทำความเย็น R-22 จำนวนร้อยละ 38 สารทำความเย็น R-125 จำนวนร้อยละ 60 กับ โพรเพนจำนวนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และสารทำความเย็น R-402B มีส่วนผสมของสารทำความเย็น R-22 จำนวนร้อยละ 38 สารทำความเย็น R-125 จำนวนร้อยละ 60 กับโพรเพน (R-290) จำนวนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เช่น R404a และ R410a เป็นต้น

2.6.3 สารทำความเย็นผสมชนิดอะซีไอโทรปิก

สารกลุ่มนี้มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้เลขในกลุ่มอนุกรม 500 เรียงลำดับกันไปตามการค้นพบหรือพัฒนา สำหรับสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมจากสารทำความเย็น ชนิดที่เหมือนกัน แต่อัตราส่วนผสมต่างกัน ให้ตามหลังด้วยตัวอักษร A, B, C ตามลำดับไป เช่น สารทำความเย็น R-508A และสารทำความเย็น R-508B เป็นต้น

2.6.4 สารทำความเย็นประกอบ

สารกลุ่มนี้เป็นสารทำความเย็นที่ประกอบด้วยสารทำความเย็นผสมที่นำมารวมกับ สารทำความเย็นชนิดอื่นให้เป็นสารทำความเย็นชนิดใหม่ มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้ชื่อของสารทำความเย็นที่นำมาผสมระบุเรียงต่อกันไปพร้อมทั้งบอกส่วนผสมตามน้ำหนักในวงเล็บท้ายชื่อ สารทำความเย็นด้วย เช่น สารทำความเย็นที่ประกอบด้วยส่วนผสมของสารทำความเย็น R-502

(สารทำความเย็นผสมชนิดอะซีโอโพรปิก ระหว่าง R-22 กับ R-115) จำนวนร้อยละ 92 กับสารทำความเย็น R-290 (Propane) จำนวนร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก จะเรียกชื่อสารทำความเย็นนี้ว่า R-290/22/115 (8/45/47) เป็นต้น

2.6.5 สารทำความเย็นกลุ่มสารอินทรีย์อื่นๆ

สารกลุ่มนี้มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้เลขในกลุ่มอนุกรม 600

2.6.6 สารทำความเย็นกลุ่มสารอนินทรีย์

สารกลุ่มนี้มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้เลขในกลุ่มอนุกรม 700

2.6.7 สารทำความเย็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่ไม่อิ่มตัว

สารกลุ่มนี้มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้เลขในกลุ่มอนุกรม 1000

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ M. Esen และ H. Esen (2005) [10] ได้ทำการศึกษาการทดลองเพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะโดยใช้สารทำความเย็นแตกต่างกัน ในการทดสอบจะใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเล็กเหมือนกันทั้ง 3 ชุด สำหรับแต่ละสารทำความเย็นที่ใช้คือ R-134a, R407C และ R410a โดยจะทำการสร้างและทดสอบสารทั้ง 3 ชนิดภายใต้สภาวะแวดล้อมและภาระความร้อนเดียวกันจากการทดลองพบว่าสารทำความเย็นที่ดีคือ R410a รองลงมาคือ R407C และ R-134a ตามลำดับ

งานวิจัยของ P.Charoensawan และ P.Terdtoon (2008) [11] โดยสร้างท่อความร้อนจากท่อคาปิลลารีทองแดงและศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเป็น 1 mm 1.5 mm และ 2 mm ความยาวส่วนทำระเหยเป็น 50 mm และ 150 mm จำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 5, 11, 16 และ 26 โดยสารทำงานที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำและเอทานอลที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานต่างๆ คือ 30% 50% และ 80% ทำการทดสอบที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยตั้งแต่ 40°C ถึง 90°C จากการทดลองทั้งหมดพบว่า การเริ่มทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวรอบที่วางตัวแนวนอน จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิส่วนทำระเหยซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนโค้งเลี้ยว จำนวนโค้งเลี้ยววิกฤตจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อและสมบัติของสารทำงานซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิการทำงาน เมื่ออุณหภูมิเกิน 70°C จะมีจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤตของท่อขนาด 2 mm เป็น 11 โค้งเลี้ยว นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น ลดความยาวส่วนทำระเหยหรือความยาวประสิทธิภาพ และเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวมากขึ้น และพบว่าอัตราส่วนการเติมที่เหมาะสมสำหรับท่อความร้อนที่มีความยาวส่วนทำระเหย 150 mm คือ 30% แต่สำหรับความยาวส่วนทำระเหย 50 mm จะเป็นทั้ง 30% และ 50% และน้ำเป็นสารทำงานที่เหมาะสมกับท่อความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2 mm แต่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1 mm สามารถใช้ได้ทั้งน้ำและเอทานอล

จากบริภูณานิพนธ์ของดำรงศักดิ์ ท้าวอินทร์ดี และคณะ (2552) [4] ได้ทำการศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวกักเก็บความร้อนแบบหลอดสุญญากาศที่มีเทอร์โมไซฟอน โดยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ตัวกักเก็บความร้อน

และตัวถังน้ำร้อน ลักษณะตัวถังเก็บความร้อนเป็นหลอดแก้วสุญญากาศ 2 ชั้นข้างในประกอบด้วยท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ R134a เป็นสารทำงาน จากการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงและความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจากถังน้ำร้อน โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 17.30 น. มีค่าประมาณ 78% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวัน มีค่าประมาณ 28.9% น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 16.00 น. มีค่าประมาณ 42.6°C และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวันมีค่าประมาณ 39.5°C

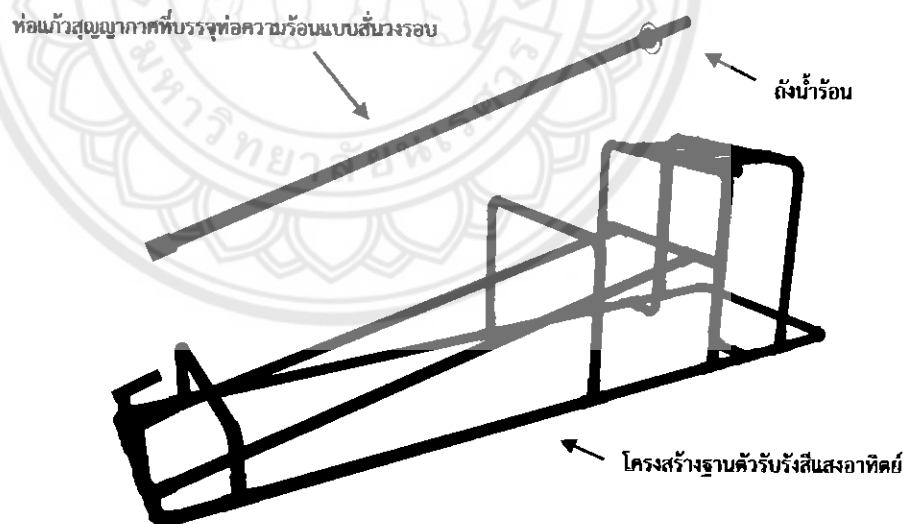
จากปริณญาณิพนธ์ของกิตติภพ ย่างกุลไพโรจน์และคณะ (2554) [6] ได้ทำการศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ชนิดคือเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบซึ่งทำการทดลองโดยให้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีท่อความร้อนบรรจุอยู่ในและกำหนดให้ท่อความร้อนของทั้ง 2 ชนิดมีพื้นที่ผิวเท่ากันจากการทดลองพบว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแต่เนื่องจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบยังเหลือพื้นที่ในการบรรจุท่อเพิ่มทำให้งานวิจัยนี้คิดที่จะเพิ่มพื้นที่สัมผัสของท่อความร้อนแบบสั่นขึ้นและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบต่อไป

จากปริณญาณิพนธ์ของ ทวีชัย เจนจบ และคณะ (2555) [8] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งทำการทดลองโดยการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ใช้สารทำงานเป็น R-134a โดยมีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรภายในทั้งหมดของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ จากการทดลองพบว่าเครื่องทำน้ำร้อนแบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 15 โค้งเหลี่ยม ที่มีควมยาวส่วนควบแน่น 0.05 m มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 115.2 W และมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย 73.34% ซึ่งสูงที่สุด โดยสูงกว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 15 โค้งเหลี่ยม ที่มีความยาวส่วนควบแน่น 0.15 m และ 0.25 m ที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อน 99.12 W และ 93.89 W ตามลำดับ และประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย 63.14% และ 60.12% ตามลำดับ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 ลักษณะและการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 โดยมีอุปกรณ์ต่างๆ คือ ถังน้ำร้อน ท่อแก้วสุญญากาศที่อยู่ในบรรจุท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ และโครงสร้างฐานตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบลงบนท่อแก้วสุญญากาศจะส่งผ่านความร้อนเข้าสู่พื้นผิวดูดซับแสงอาทิตย์ จากนั้นความร้อนจะถูกส่งผ่านสู่ท่อความร้อนในส่วนทำระเหย และส่งความร้อนไปสู่ส่วนควบแน่นเพื่อถ่ายเทความร้อนสู่น้ำที่อยู่ภายในถังน้ำร้อน ทำให้สารทำงานภายในท่อความร้อนมีอุณหภูมิลดลงและเกิดการควบแน่นไหลกลับไปยังส่วนทำระเหยเพื่อไปรับความร้อนอีกครั้งเป็นวัฏจักร



รูปที่ 3.1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ

3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการศึกษา

ในการทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรควบคุม ดังตารางที่ 3.1 และตัวแปรที่ต้องการศึกษา ดังตารางที่ 3.2 และทำการวิเคราะห์หาผลของตัวแปรเหล่านี้ที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรควบคุม

ตัวแปรควบคุม	ขนาด
1. ท่อแก้วสุญญากาศ <ul style="list-style-type: none"> - เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก - เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน - ความยาว 	0.058 m 0.047 m 1.5 m
2. ท่อทองแดงที่ใช้ทำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ <ul style="list-style-type: none"> - เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก - เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 	0.0024 m 0.0016 m
3. จำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ	15 โค้งเลี้ยว
4. ความยาวส่วนทำระเหย	1.5 m
5. ความยาวส่วนที่ไม่มีการสูญเสียความร้อน	0.05 m
6. ความยาวส่วนควบแน่น	0.05 m
7. ปริมาณน้ำในถัง	1.5 L
8. ตัวรับรังสีทำมุมเอียง	16° จากแนวระดับ หันหน้าไปทางทิศใต้
9. ค่าความเข้มแสงบริเวณอาคารปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก	ณ เวลาทำการทดลอง (W/m^2)

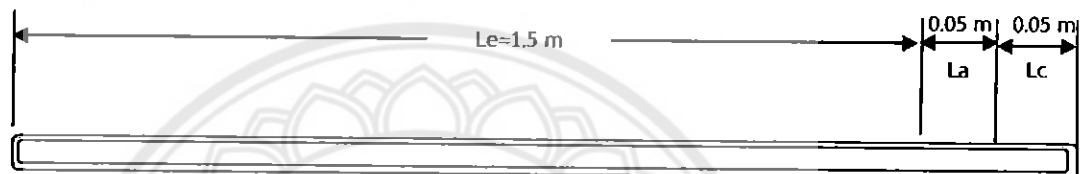
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	ขนาด/ชนิด
1. สารทำงานที่ใช้	R404a, R410a, R134a และ R123
2. อัตราส่วนการเติมของสารทำงาน	30%, 50% และ 70% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด

3.3 การออกแบบ

3.3.1 ออกแบบท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

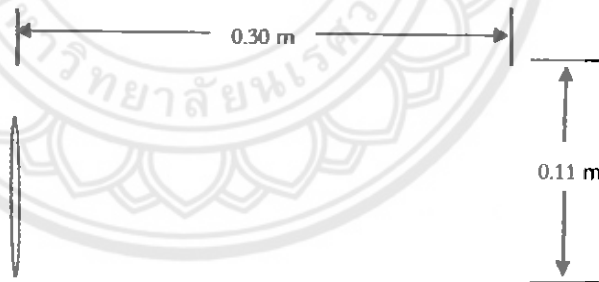
ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบทำจากท่อทองแดงขนาดคาปิลลารี ทนการกัดกร่อนไม่ เป็นสนิมและระบายความร้อนได้ดี ในการออกแบบท่อ ใช้ท่อทองแดง 1 เส้นซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 0.0016 m และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.0024 m จากนั้นนำมาขดไปมาจนได้จำนวน 15 โค้งเลี้ยวที่ต้องการ ซึ่งมีส่วนควบแน่นยาว 0.05 m ส่วนทำระเหยยาว 1.5 m และส่วนที่ไม่มีการ สูญเสียความร้อนยาว 0.05 m ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

3.3.2 การออกแบบถังน้ำร้อน

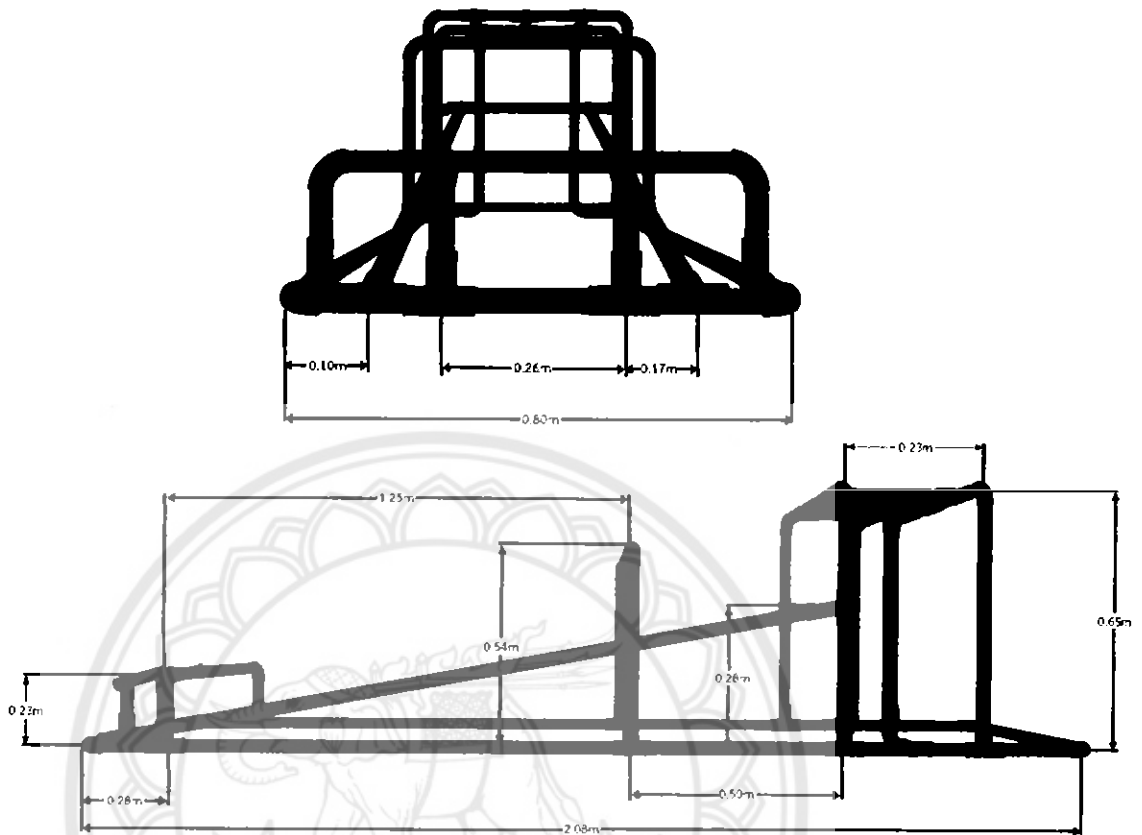
ถังน้ำร้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.11 m ความยาว 0.30 m โดยถังน้ำร้อน เป็นแบบปิดไม่มีน้ำไหลเข้าและออก จะทำการวัดอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในถังเก็บเทียบกับเวลา ตลอดช่วงการทดลอง ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพฉายของถังน้ำร้อน

3.3.3 การออกแบบโครงฐานตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

การออกแบบโครงฐานตัวรับรังสีทำมุมเอียง 16° กับแนวระดับ เพื่อให้สัมพันธ์กับมุม การรับแสงอาทิตย์ของจังหวัดพิษณุโลก กำหนดให้มีขนาดความกว้าง 0.80 m ยาว 2.08 m สูง 0.65 m เพื่อรองรับกับแผงรับรังสีแสงอาทิตย์และถังน้ำร้อน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพฉายของโครงฐานตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

3.4 การสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ขั้นตอนในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

3.4.1 การสร้างโครงฐานตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

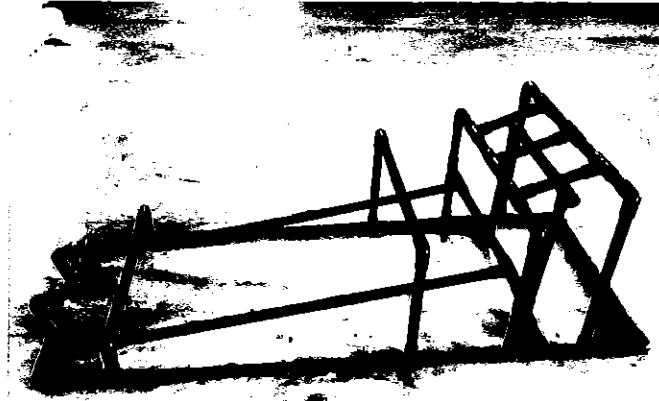
- เลือกท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้ว เพื่อสร้างโครงฐานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และทำการเชื่อมต่อท่อพีวีซีเป็นโครงฐานสำหรับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และถังน้ำร้อน ดังรูปที่ 3.5

3.4.2 การสร้างถังน้ำร้อน

- นำถังน้ำร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.11 m ความยาว 0.30 m มาทำการเจาะรูด้านหนึ่งเพื่อใส่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ และปิดช่องว่างด้วยซิลิโคน

- ทำการปิดฝาอีกด้านด้วยซิลิโคน ดังรูปที่ 3.6

3.4.3 การสร้างท่อแก้วสุญญากาศที่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบบรรจุไว้ภายใน จำนวน 4 ท่อ สำหรับสารทำงานแต่ละชนิด



รูปที่ 3.5 โครงฐานตัวรับรังสีแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.6 ถังน้ำร้อน

- เลือกท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.0024 m และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.0016 m สำหรับทำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
- ทำการขุดท่อทองแดงจำนวน 15 โค้งเลี้ยว โดยมีความยาวรวมของส่วนทำระเหย ส่วนที่ไม่มีการสูญเสียความร้อน และส่วนควบแน่น คือ 1.6 m
- ทำการเชื่อมต่อท่อทองแดงเข้าเป็นวงรอบและต่อปลายท่อออกมาเพื่อใช้ในการเดินสารทำงาน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ท่อทองแดงจำนวน 15 โค้งเลี้ยว

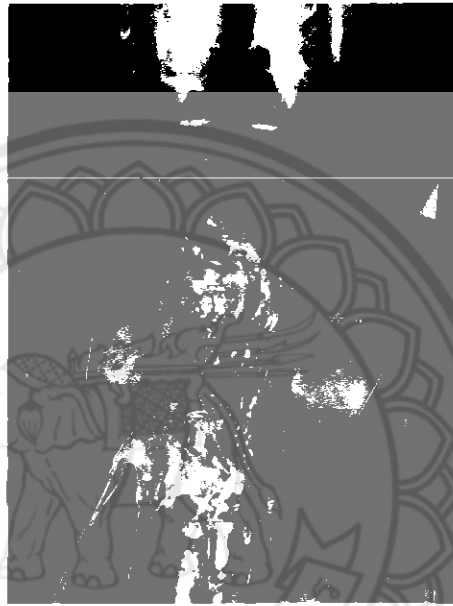
- ทำให้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเป็นสุญญากาศ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ ดังรูปที่ 3.8 แล้วเติมสารทำงาน R123, R-134a, R404a และ R410a เข้าไปในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแต่ละท่อ โดยการนำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมาลดอุณหภูมิด้วยน้ำแข็งเพื่อให้ความดันลด แล้วทำการเติมสารทำงาน R123, R-134a, R404a และ R410a โดยแต่ละชุดการทดลองจะเติมสารทำงานจำนวน 30%, 50% และ 70% ลงในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
- นำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบทั้ง 4 ท่อ ประกอบเข้าไปในท่อแก้วสุญญากาศและปิดช่องว่างด้วยซิลิโคน
- นำท่อแก้วสุญญากาศที่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบบรรจุอยู่ภายในยึดกับถังน้ำร้อนในส่วนควบแน่น ดังรูปที่ 3.9



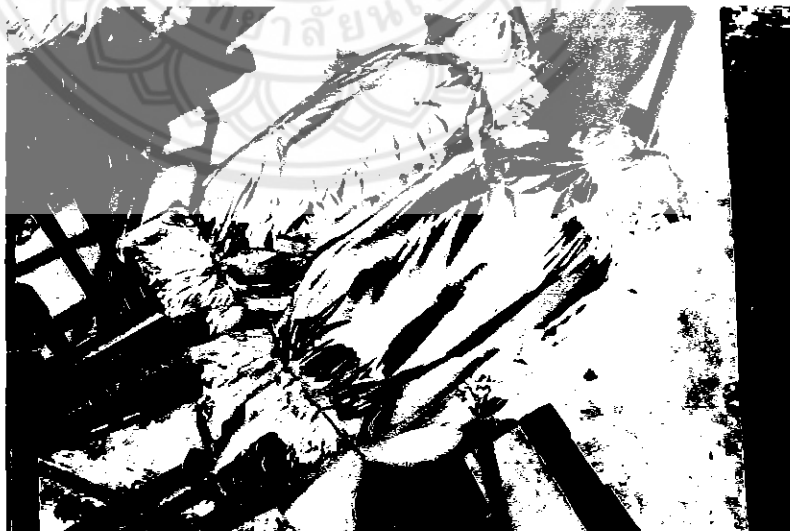
รูปที่ 3.8 ปั๊มสุญญากาศ

3.4.4 การประกอบเครื่องทำน้ำร้อน

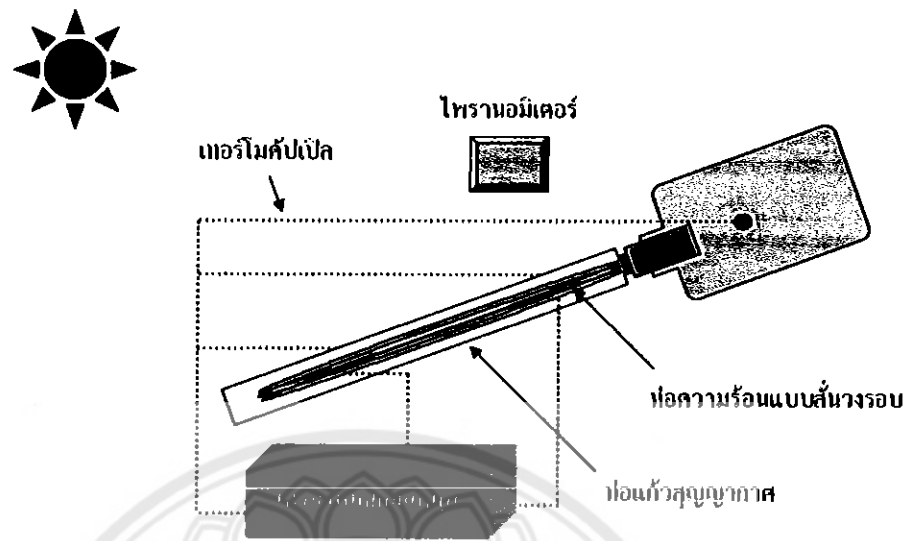
- นำท่อแก้วสุญญากาศที่มีต่อความร้อนแบบสั้นวางรอบบรรจุอยู่ มาติดตั้งบนท่อพีวีซีที่เป็นโครงฐานสำหรับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ จากนั้นยึดท่อแก้วสุญญากาศที่มีต่อความร้อนแบบสั้นวางรอบบรรจุอยู่ติดกับโครงฐานให้แน่น
- ทำการหุ้มฉนวนในส่วนที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนและถึงน้ำร้อน โดยใช้ฉนวนใยแก้วและฟอยส์อะลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 การประกอบต่อความร้อนแบบสั้นวางรอบเข้ากับท่อแก้วสุญญากาศและถึงน้ำร้อน



รูปที่ 3.10 หุ้มฉนวนส่วนที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนและถึงน้ำร้อน โดยใช้ฉนวนใยแก้วและฟอยส์อะลูมิเนียม



รูปที่ 3.11 แผนผังการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ
ที่อยู่ในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

3.5 การดำเนินการทดลอง

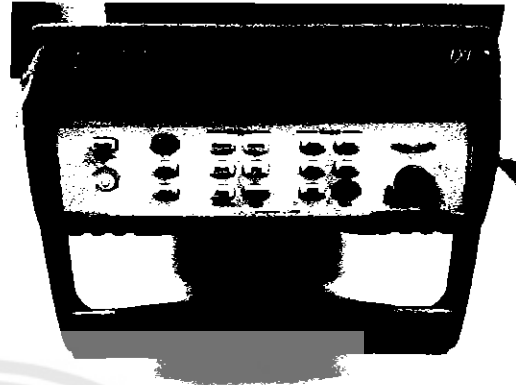
ในการดำเนินการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ สายเทอร์โมคัปเปิล และเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งมีแผนผังการทดลองดังรูปที่ 3.11 โดยทำการวัดอุณหภูมิของ ส่วนที่ระเหย ส่วนควบแน่น ผิวท่อแก้วสุญญากาศชั้นนอก อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำจำนวนสองจุด และอุณหภูมิสภาพแวดล้อม โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type K ในการวัด และใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ในการแปลงผลอุณหภูมิจากสายเทอร์โมคัปเปิลและบันทึกข้อมูล และทำการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งติดกับโครงฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

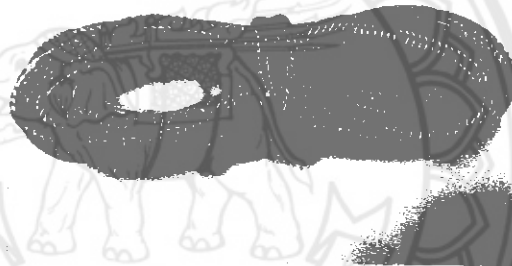
- ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ดังรูปที่ 3.12 ใช้สำหรับวัดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น SP Lite 2 สามารถวัดค่าความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 0 – 2000 W/m^2 โดยมีความคลาดเคลื่อน 2%
- เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ดังรูปที่ 3.13 ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34907 ใช้ในการบันทึกอุณหภูมิ ความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0.004% ถึง 0.006%
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ดังรูป 3.14 ยี่ห้อ Omega ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิด K สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -200 ถึง 1350 °C ค่าความคลาดเคลื่อนคือ $\pm 1^{\circ}C$
- เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย ท่อแก้วสุญญากาศจำนวน 4 ท่อ ดังรูปที่ 3.15



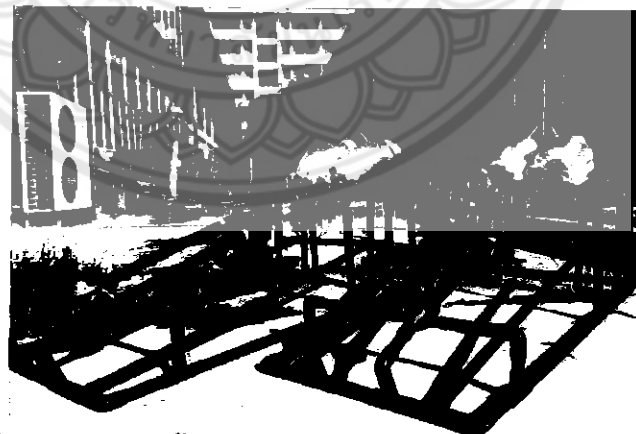
รูปที่ 3.12 ไพรานอมิเตอร์



รูปที่ 3.13 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ



รูปที่ 3.14 สายเทอร์โมคัปเปิล

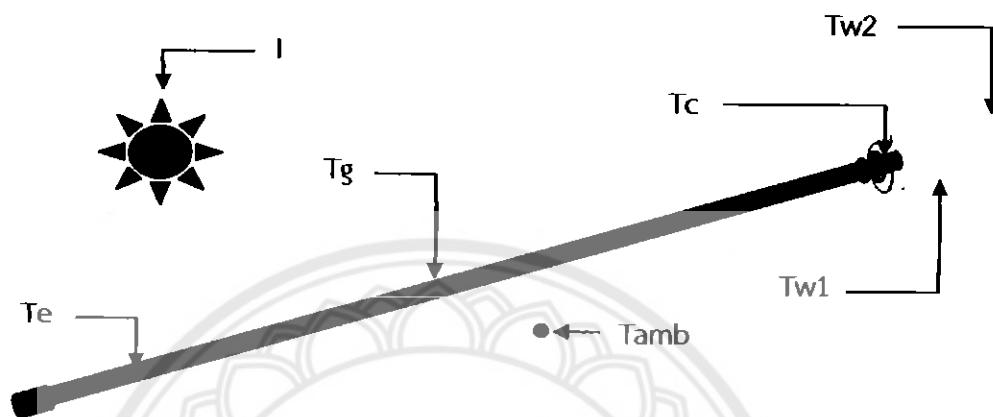


รูปที่ 3.15 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ

3.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำมาเก็บข้อมูลต่างๆ โดยจะเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่สะสมและประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ผังรูปที่ 3.16 ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิน้ำในถังจำนวน 2 จุด (T_{w1}, T_{w2}) อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย (T_e) อุณหภูมิที่ส่วนควบแน่น (T_c) อุณหภูมิที่ผิวท่อแก้วสุญญากาศ (T_g) อุณหภูมิอากาศโดยรอบ (T_{amb}) และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (I) โดยจะเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที ตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น.



รูปที่ 3.16 การวัดข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. นำท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีอัตราส่วนการเติม 50% มาทำการติดตั้งกับโครงฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นนำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปติดตั้ง ณ อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลโดยจัดให้อยู่บริเวณที่โล่งไม่มีเงาบัง และหันหน้าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้
2. ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type K เป็นตัววัดอุณหภูมิ โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ซึ่งเครื่องบันทึกอุณหภูมิจะวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ที่ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลไว้
3. ติดตั้งเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ (ไพรานอมิเตอร์) เข้ากับโครงฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยให้ทำมุมเอียง 16° กับแนวระดับ
4. เริ่มทำการเก็บข้อมูล โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. ในการบันทึกข้อมูลจะทำการบันทึกทุกๆ 30 นาที
5. ทำการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิตามจุดต่างๆ จากเครื่องวัดอุณหภูมิ และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์วัดได้จากไพรานอมิเตอร์
6. ทำการเก็บข้อมูล 3 วัน/ชุดการทดลอง จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนสะสมและประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
7. ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนการเติมสารทำงานเป็น 30% และทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-6
8. ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนการเติมสารทำงานเป็น 70% และทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-6

3.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อหาปริมาณความร้อนสะสมและประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ซึ่งประกอบด้วย ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังตามจุดต่างๆ ที่แสดงในขั้นตอนการทดลอง

1. นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกข้อมูลมาเขียนกราฟเพื่อวิเคราะห์ อุณหภูมิน้ำในถัง ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิสภาพแวดล้อม เทียบกับเวลา
2. คำนวณหาปริมาณความร้อนสะสมของน้ำภายในถัง จากนั้นเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ในแต่ละอัตราส่วนการเติมสารทำงานต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนสะสม
3. คำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ในแต่ละอัตราส่วนการเติมสารทำงานต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

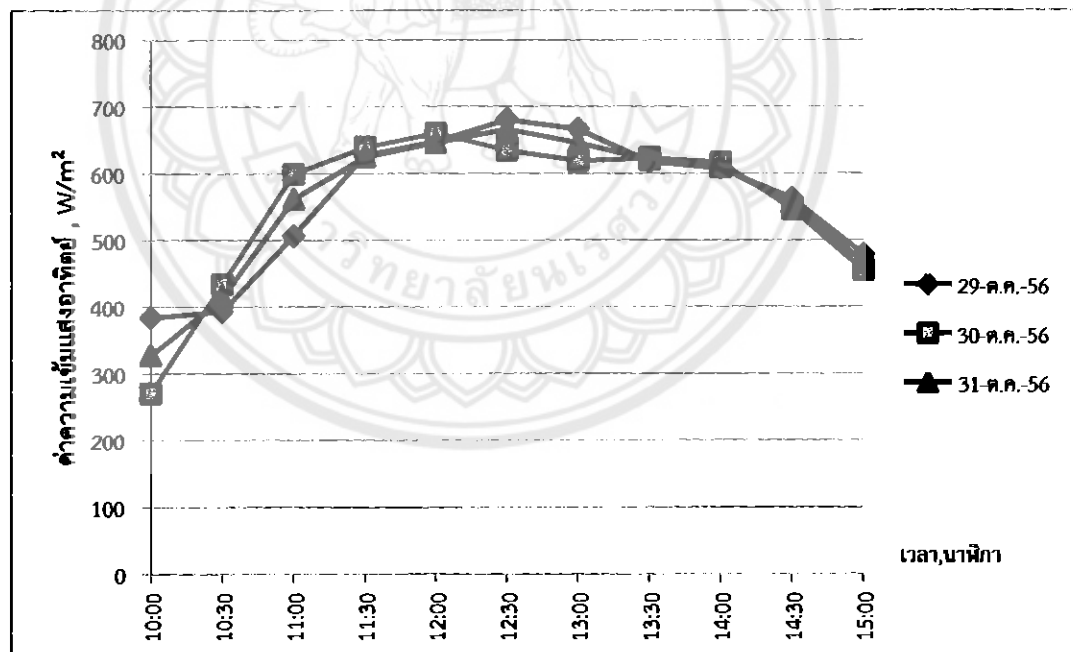


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อความร้อนแบบ สิ้นวงรอบนั้นประกอบด้วย การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของท่อความร้อนแบบ สิ้นวงรอบโดย ใช้สารทำงานและอัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนแบบ สิ้นวงรอบให้แตกต่างกันเพื่อ วิเคราะห์หาประสิทธิภาพชนิดของสารทำงานที่ดีที่สุดในการใช้งานและอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ เหมาะสมและเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด

4.1 ผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่อัตราการเติม 50%

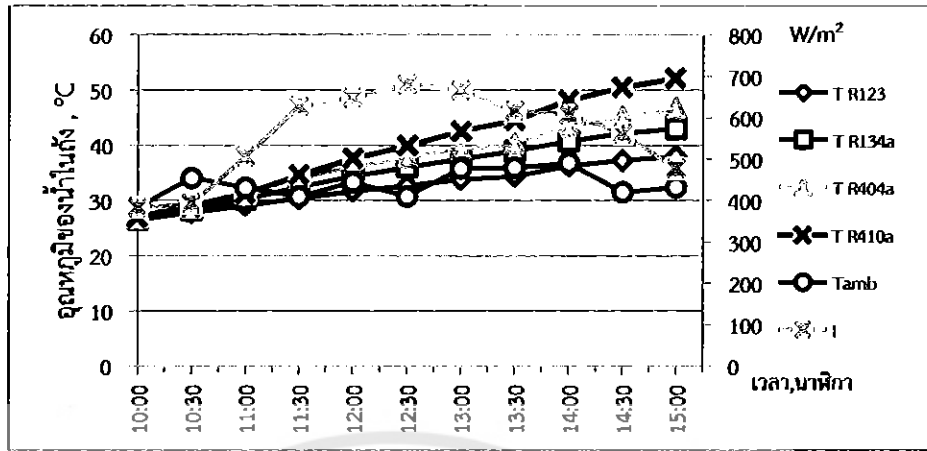


กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลา ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%

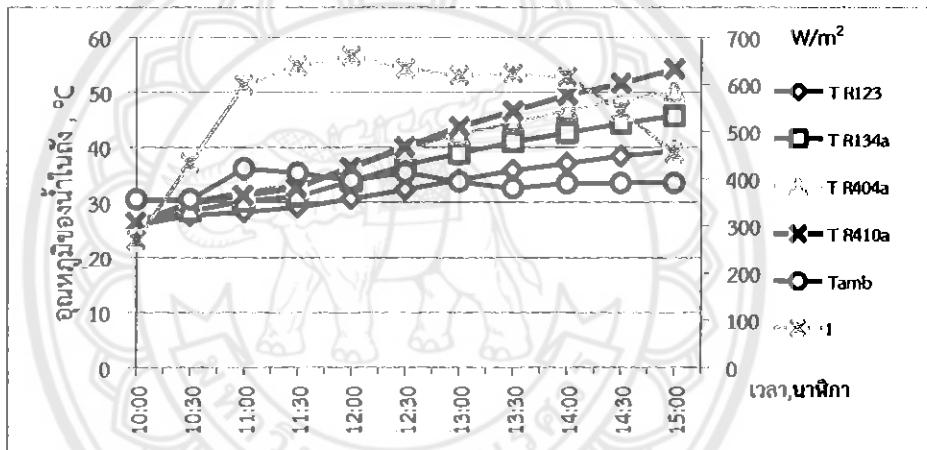
การทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% และมีสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a ได้ทำการทดลองในวันที่มีท้องฟ้าโปร่งใสตลอดทั้งวันโดยดูจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ดังแสดงในกราฟที่ 4.1 และวันที่ได้ทำการทดลองคือวันที่ 29, 30 และ 31 ตุลาคม 2556 ซึ่งทดลองในช่วงเวลา 10.00 น. – 15.00 น. โดยมีการหันเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้และมีมุมเอียง 16° กับแนวระดับจากการทดลองพบว่าค่าในวันที่ 29, 30, และ 31 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.00 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างต่ำและมีค่าใกล้เคียงกันคือ 384 W/m^2 , 270 W/m^2 และ 327 W/m^2 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ แล้วเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในช่วงเวลา 12.30 น. สำหรับในวันที่ 29 และ 31 ตุลาคม 2556 มีค่าเป็น 681 W/m^2 และ 666 W/m^2 ตามลำดับ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น. ไปจนถึงเวลา 15.00 น. แต่สำหรับวันที่ 30 ตุลาคม 2556 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. โดยมีค่า 660 W/m^2 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.30 น. ไปจนถึงเวลา 15.00 น.

4.1.1 อุณหภูมิในถังน้ำร้อน

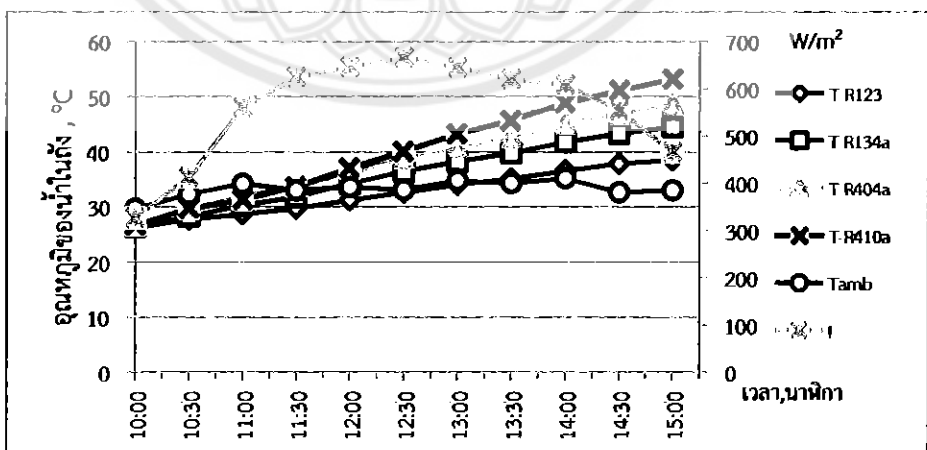
กราฟที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50% โดยมีการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% โดยมีสารทำงาน 4 สาร คือ R123, R134a, R404a และ R410a จากกราฟที่ 4.2(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 29 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 681 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 40°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 37.9°C , 36.1°C และ 32.7°C ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 52.2°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 46.8°C , 43.1°C และ 38.1°C ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.2(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 30 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 660 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด



(a) การทดลองวันที่ 29 ตุลาคม 2556



(b) การทดลองวันที่ 30 ตุลาคม 2556



(c) การทดลองวันที่ 31 ตุลาคม 2556

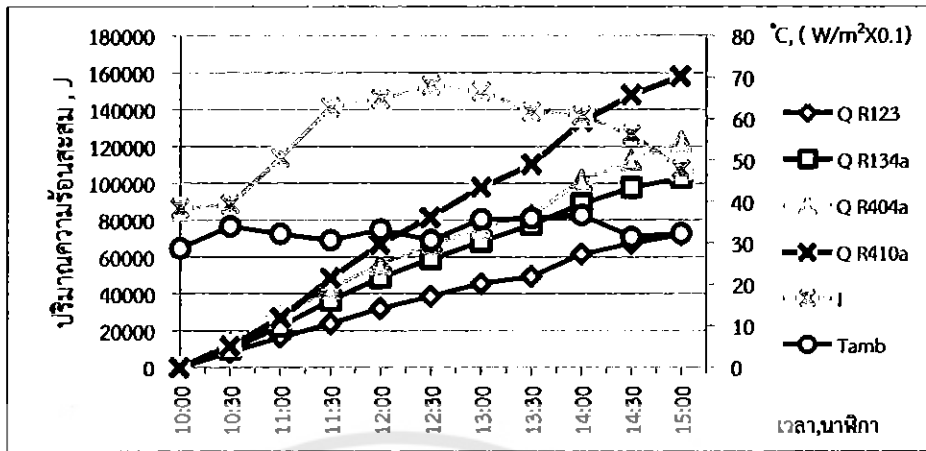
กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%

โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 36.4°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 36.2°C , 33.9°C และ 30.7°C ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 54.3°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 50.3°C , 45.8°C และ 39.3°C ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.2(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 31 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 666 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 40.1°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 38.8°C , 36.5°C และ 32.6°C ตามลำดับ และในเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 53.3°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 48.6°C , 44.5°C และ 38.5°C ตามลำดับ

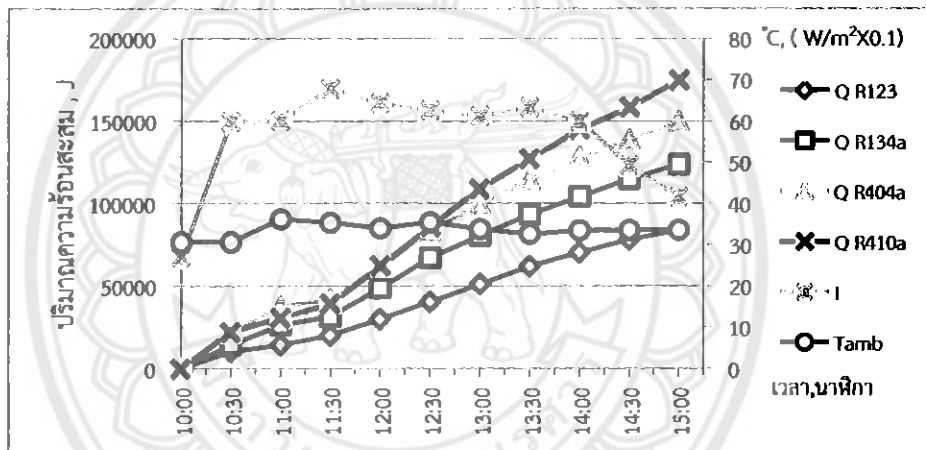
จึงสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลา และจากการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วันพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สารทำงาน R410a มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุดรองลงมาคือสารทำงาน R404a, R134a และ R123 ตามลำดับ โดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 30 ตุลาคม 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกัน ตามกราฟที่ 4.2(b) ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 54.3°C

4.1.2 ปริมาณความร้อนที่สะสม

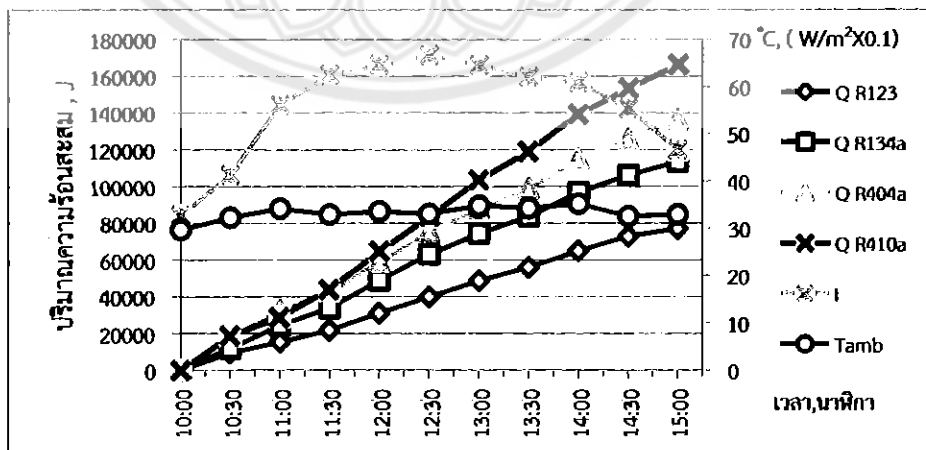
กราฟที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50% โดยมีการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% โดยมีสารทำงาน 4 สาร คือ R123, R134a, R404a และ



(a) การทดลองวันที่ 29 ตุลาคม 2556



(b) การทดลองวันที่ 30 ตุลาคม 2556



(c) การทดลองวันที่ 31 ตุลาคม 2556

กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%

R410a จากกราฟที่ 4.3(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 29 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 681 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 81647 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือ สาร R404a, R134a และ R123 ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 66887 J , 59037 J และ 38625 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าปริมาณความร้อนสะสมก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 158269 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือ สาร R404a, R134a และ R123 ที่มีปริมาณความร้อนสะสมคือ 122784 J , 103000 J และ 72226 J ตามลำดับ

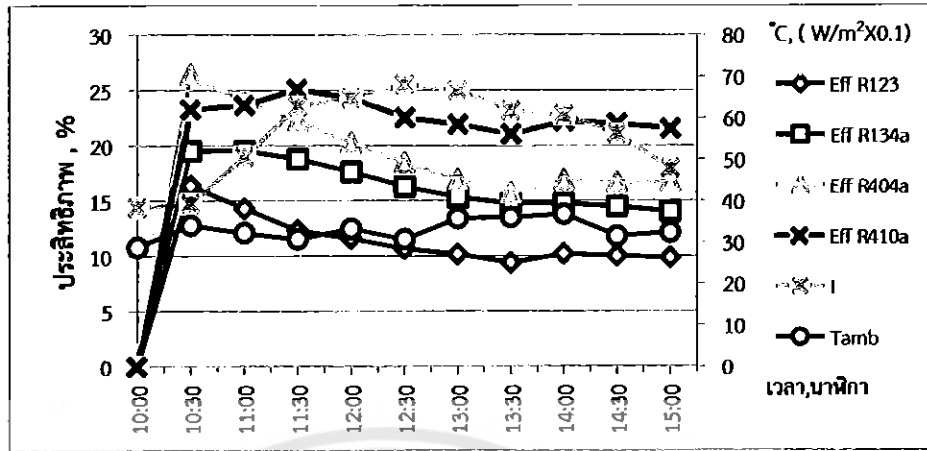
จากกราฟที่ 4.3(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 30 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้น สูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 660 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 62491 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือ สาร R123, R134a และ R404a ที่มีปริมาณความร้อนสะสมคือ 61549 J , 48987 J และ 29832 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าปริมาณความร้อนสะสมก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีปริมาณความร้อนสะสมสูงที่สุดยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 174911.93 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือ สาร R404a, R134a และ R123 ที่มีปริมาณความร้อนสะสมคือ 149790 J , 123726 J และ 83845 J ตามลำดับ

จากกราฟที่ 4.3(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 31 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าต่ำจนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 666 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 83845 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือ สาร R404a, R134a และ R123 ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 75366 J , 63119 J และ 39881 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ปริมาณความร้อนสะสมยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีปริมาณความร้อนสะสมสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 166433 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือ สาร R404a, R134a และ R123 ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 136601 J , 113363 J และ 76936 J ตามลำดับ

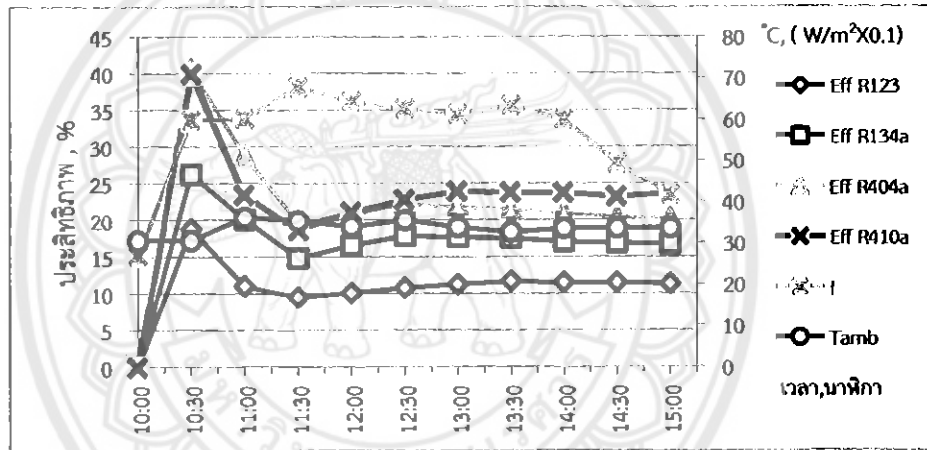
จึงสรุปได้ว่าค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลา และจากการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน พบว่ามีค่าปริมาณความร้อนสะสมของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้ว สุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สารทำงาน R410a มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงสุดรองลงมาเป็น R404a, R134a และ R123 ตามลำดับ โดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 30 ตุลาคม 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกันตามกราฟที่ 4.3(b) ทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือ โดยสารทำงาน R410a มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 166433 J

4.1.3 ประสิทธิภาพ

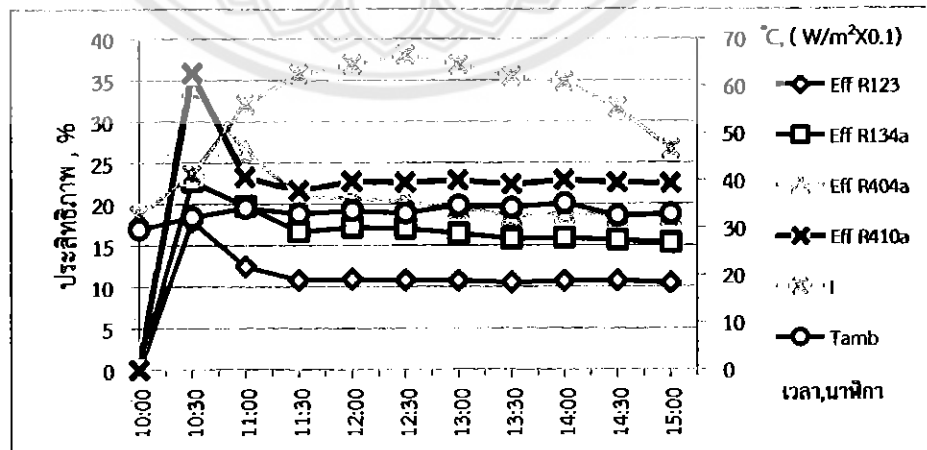
กราฟที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50% โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% โดยมีสารทำงาน 4 สาร คือ R123, R134a, R404a และ R410a จากกราฟที่ 4.4(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 29 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีประสิทธิภาพที่สูงเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่าของผลต่างอุณหภูมิระหว่างตอนเริ่มต้นกับที่ 10.30 น. มีค่ามากจึงทำให้ค่าของประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 10.30 น. มีค่าสูงที่สุดและลดลงถึงเวลา 11.30 น. หลังจากนั้นค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดจนถึงเวลา 15.00 น. เนื่องจากช่วงเวลา 11.30 น.-14.00 น. อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าค่อนข้างจะคงที่และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานี้ก็มีค่าค่อนข้างที่ด้วย ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีมีค่าไม่แตกต่างกันและหลังจากเวลา 14.00 น.-15.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการเพิ่มของปริมาณความร้อนสะสมก็มีค่าลดลงด้วยทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีไม่เปลี่ยนแปลงไปและสารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือสารทำงาน R410a มีค่าประสิทธิภาพคือ 22% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 17%, 14% และ 10% ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.4(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 30 ตุลาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีประสิทธิภาพที่สูงเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่าของผลต่างอุณหภูมิระหว่างตอนเริ่มต้นกับที่ 10.30 น. มีค่ามากจึงทำให้ค่าของประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 10.30 น. มีค่าสูงที่สุดและลดลงถึงเวลา 11.30 น. หลังจากนั้นค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดจนถึงเวลา 15.00 น. เนื่องจากช่วงเวลา



(a) การทดลองวันที่ 29 ตุลาคม 2556



(b) การทดลองวันที่ 30 ตุลาคม 2556



(c) การทดลองวันที่ 31 ตุลาคม 2556

กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 50%

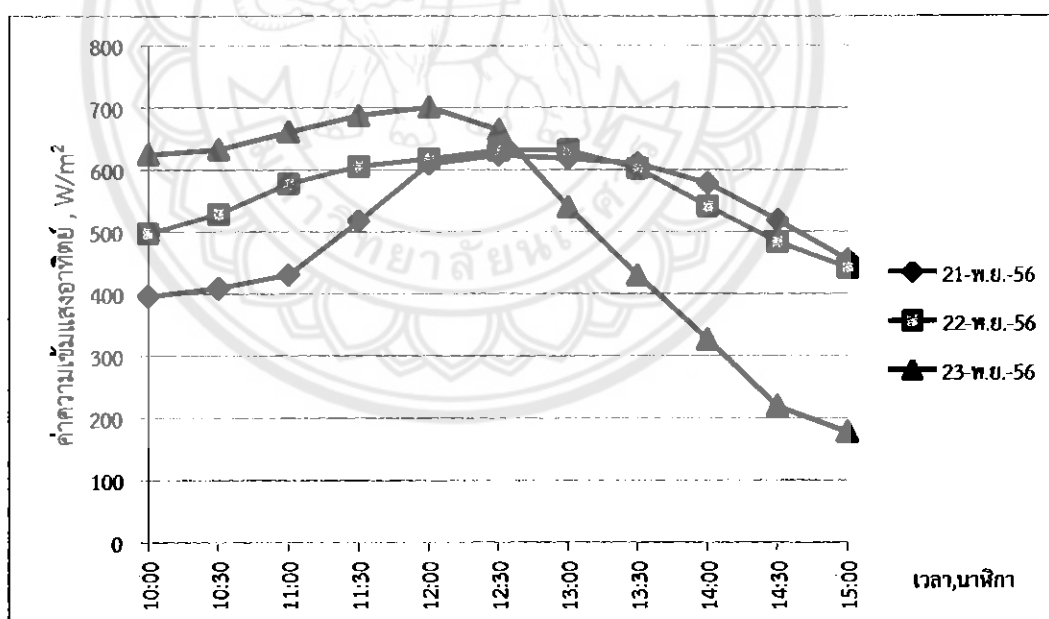
11.30 น.-13.30 น. อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าค่อนข้างจะคงที่และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานี้ก็มีค่าค่อนข้างที่ด้วย ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีมีค่าไม่แตกต่างกันและหลังจากเวลา 13.30 น.-15.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการเพิ่มของปริมาณความร้อนสะสมก็มีค่าลดลงด้วยทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีไม่เปลี่ยนแปลงไปและสารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือสารทำงาน R410a มีค่าประสิทธิภาพคือ 24% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 20%, 17% และ 11% ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.4(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 31 ตุลาคม 2556 ในเวลา 10.30 น. มีค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่สูง เนื่องจากมีสาเหตุเหมือนกับวันที่ 29 และ 30 ตุลาคม 2556 จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือสารทำงาน R410a มีค่าประสิทธิภาพคือ 23% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R404a, R134a และ R123 และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 19%, 15% และ 10% ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือในเวลา 10.30 น. ค่าประสิทธิภาพจะสูงที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ประสิทธิภาพในช่วงนี้สูงที่สุด และจะลดต่ำลงไปเรื่อยๆ จนถึงเวลา 11.30 น. แล้วหลังจากนั้นประสิทธิภาพของแผงรับรังสีจะค่อนข้างคงที่ไปจนกระทั่งเวลา 15.00 น. และจากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีทั้ง 3 วัน พบว่ามีค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สารทำงาน R410a มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดรองลงมาเป็นสาร R404a, R134a และ R123 ตามลำดับ โดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 30 ตุลาคม 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกัน ตามกราฟที่ 4.4(b) ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือ โดยสาร R410a มีค่าประสิทธิภาพ 24% ซึ่งสูงกว่าสารอื่นๆที่เหลือ

จากผลการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้จะเห็นว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สารทำงาน R123 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถัง ปริมาณความร้อนสะสมและประสิทธิภาพของตัวรับรังสีต่ำกว่าสารทำงานอีก 3 สารมาก จึงไม่ได้ทำการทดลอง ณ ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% และ 70%

4.2 ผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่อัตราการเติม 30%

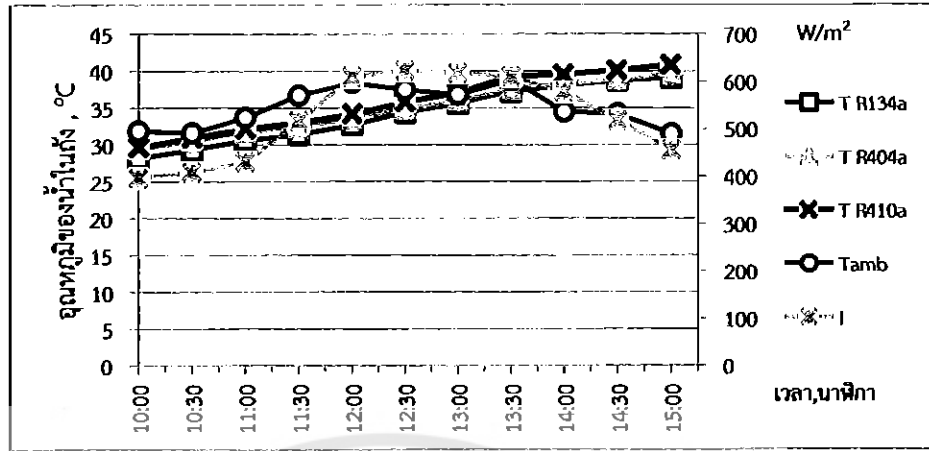
การทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% และมีสารทำงานคือ R134a, R404a และ R410a ได้ทำการทดลองในวันที่มีท้องฟ้าโปร่งใสตลอดทั้งวันโดยดูจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ดังแสดงในกราฟที่ 4.5 และวันที่ได้ทำการทดลองคือวันที่ 21, 22 และ 23 พฤศจิกายน 2556 ซึ่งทดลองในช่วงเวลา 10.00 น. - 15.00 น. โดยมีการหันเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้และมีมุมเอียง 16° กับแนวระดับจากการทดลองพบว่าค่าในวันที่ 21, 22, และ 23 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.00 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างต่ำและมีค่าใกล้เคียงกันคือ 396 W/m^2 , 498 W/m^2 และ 625 W/m^2 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 12.30 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 624 W/m^2 และลดต่ำลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น.-15.00 น. ในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 13.00 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 632 W/m^2 และลดต่ำลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.30 น.-15.00 น. และในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 12.00 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 701 W/m^2 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.30 น.-15.00 น.



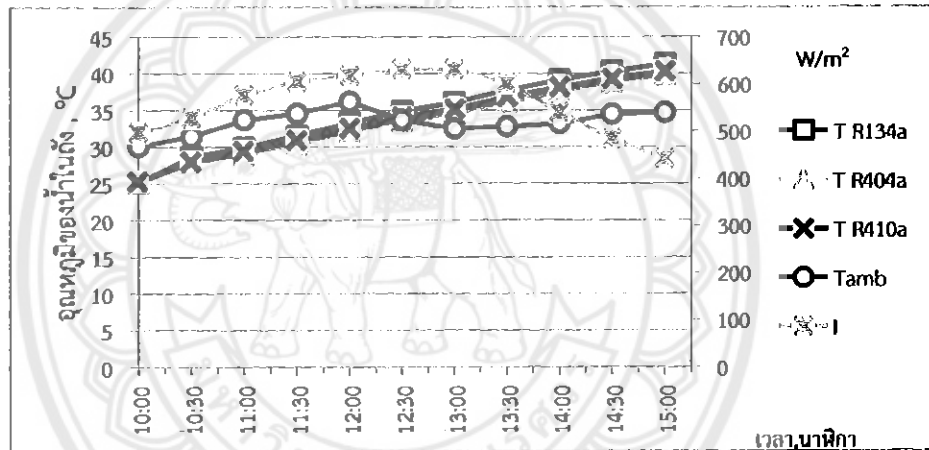
กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลา ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30%

4.2.1 อุณหภูมิในถังน้ำร้อน

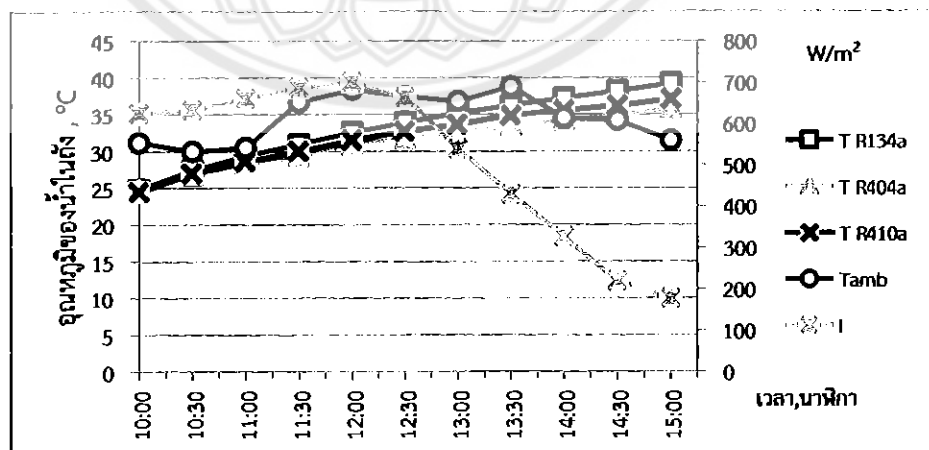
กราฟที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30% โดยมีการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% โดยมีสารทำงาน 4 สาร คือ R134a, R404a และ R410a จากกราฟที่ 4.6(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้ และมีค่าเท่ากับ 624 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 35.9°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R404a และ R134a และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 34.9°C และ 34.4°C ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 40.9°C ซึ่งมากกว่าทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R404a และ R134a ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 39.7°C และ 39.1°C ตามลำดับจากกราฟที่ 4.6(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 632 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 36.1°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 35.2°C และ 34.5°C ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R134a คือ 41.3°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 40.3°C และ 39.7°C ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.6(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้ และมีค่าเท่ากับ 701 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 32.6°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 31.6°C และ 30.9°C ตามลำดับ และในเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของ



(a) การทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556



(b) การทดลองวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556



(c) การทดลองวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556

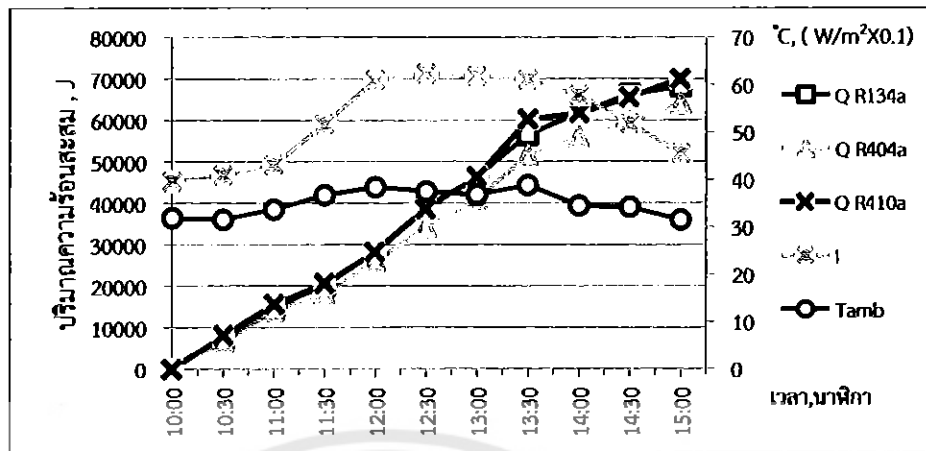
กราฟที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30%

น้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R134a คือ 39.3°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 37.2°C และ 35.8°C ตามลำดับ

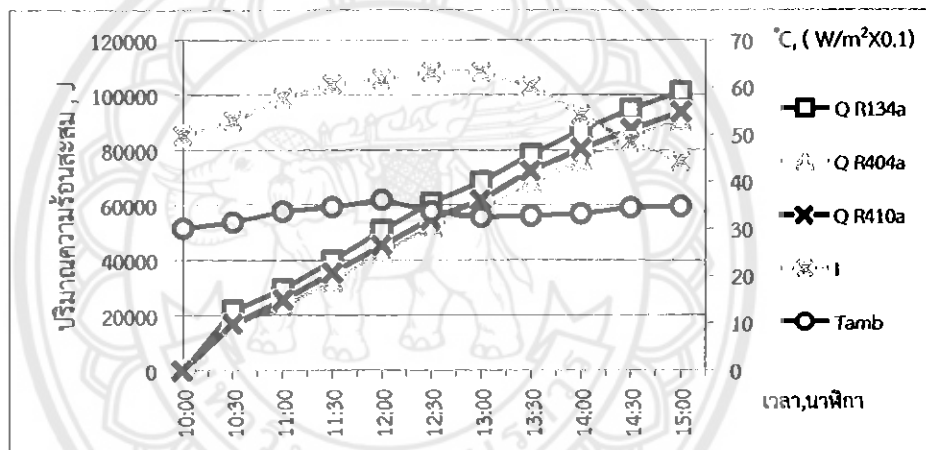
จึงสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลา และจากการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วัน พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% สารทำงาน R134a มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด รองลงมาคือสารทำงาน R410a และ R404a ตามลำดับโดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 มีความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกัน ตามกราฟ 4.6(b) ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือ โดยสารทำงานมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 41.3°C

4.2.2 ปริมาณความร้อนที่สะสม

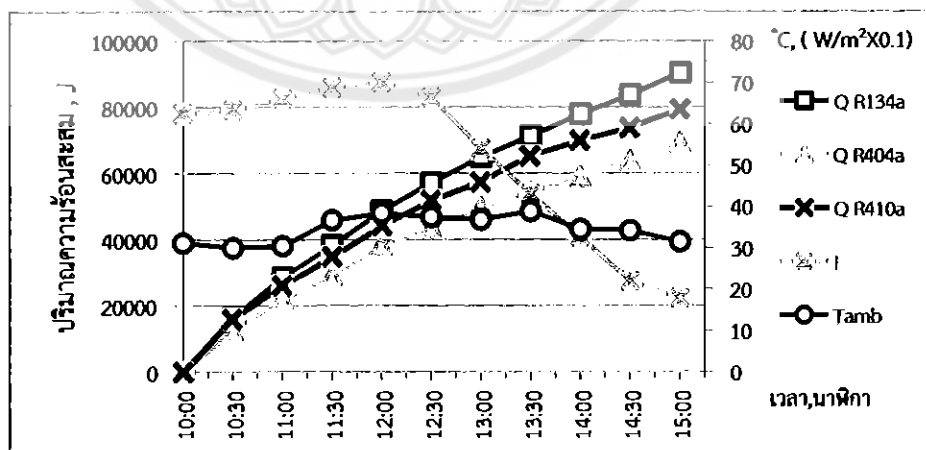
กราฟที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30% โดยมีการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% โดยมีสารทำงาน 3 สาร คือ R134a, R404a และ R410a จากกราฟที่ 4.7(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 624 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 38625 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R134a และ R404a ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 38939 J และ 34229 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าปริมาณความร้อนสะสมก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R410a คือ 70028 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R134a และ R404a ที่มีปริมาณความร้อนสะสมคือ 68143 J และ 64061 J ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.7(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 632 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 68457 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404C ที่มี



(a) การทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556



(b) การทดลองวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556



(c) การทดลองวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556

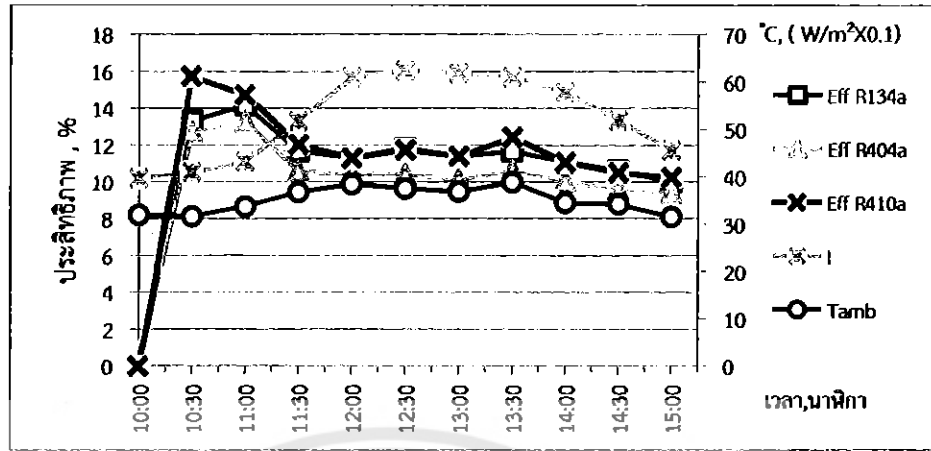
กราฟที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวัน ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30%

ปริมาณความร้อนสะสมคือ 61863J และ 58095 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าปริมาณความร้อนสะสมก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีปริมาณความร้อนสะสมสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R134a คือ 101116 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a ที่มีปริมาณความร้อนสะสมคือ 93893 J และ 90753 J ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.7(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้ และมีค่าเท่ากับ 701 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลาโดยที่สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุดโดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 48674 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 44278 J และ 38311 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ปริมาณความร้อนสะสมยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R134a คือ 90439 J ต่างๆซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 79448 J และ 69686 J ตามลำดับ

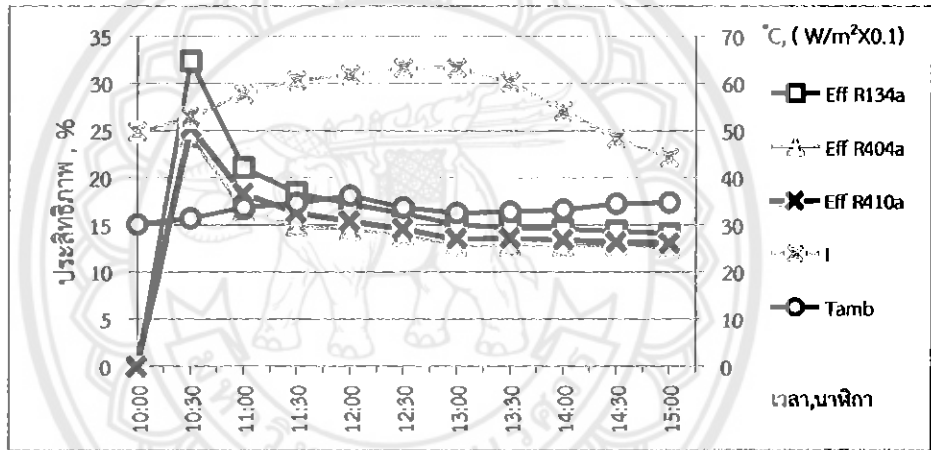
จึงสรุปได้ว่าค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลา และจากการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน พบว่ามีค่าปริมาณความร้อนสะสมของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% สารทำงาน R134a มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงที่สุดรองลงมาคือ R410a และ R404a ตามลำดับ โดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกันตามกราฟที่ 4.7(b) ทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือ โดยสารทำงาน R134a มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 101116 J

4.2.3 ประสิทธิภาพ

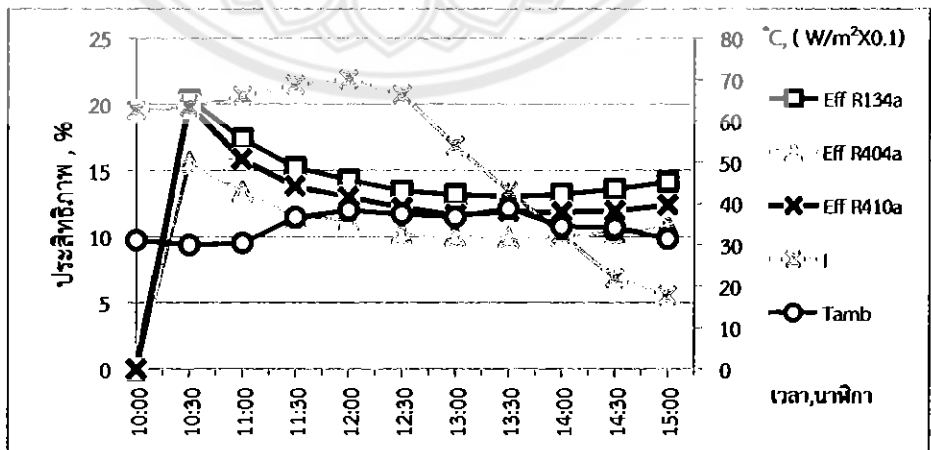
กราฟที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30% โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% โดยมีสารทำงาน 3 สาร คือ R134a, R404a และ R410a จากกราฟที่ 4.8(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีประสิทธิภาพที่สูงเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่าของผลต่าง



(a) การทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556



(b) การทดลองวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556



(c) การทดลองวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556

กราฟที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ

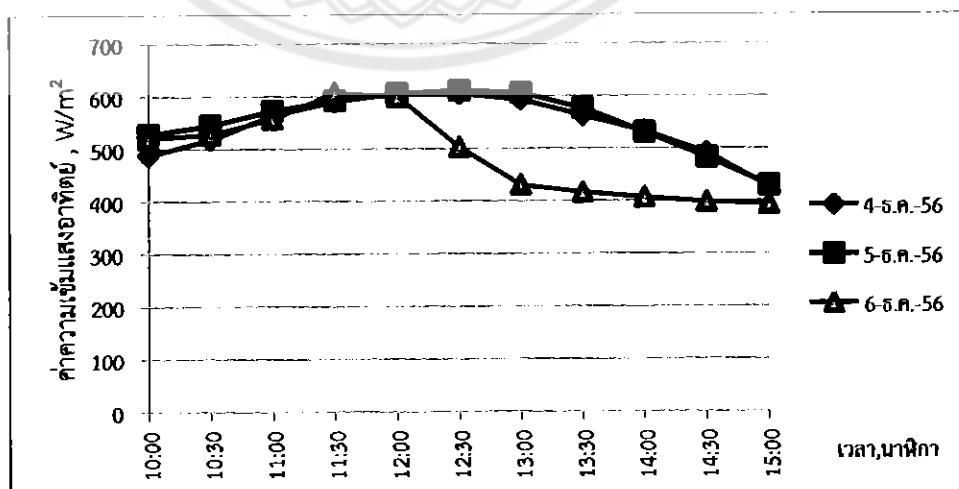
ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 30% อุณหภูมิระหว่างตอนเริ่มต้นกับที่ 10.30 น. มีค่ามากจึงทำให้ค่าของประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 10.30 น. มีค่าสูงที่สุดและลดลงถึงเวลา 11.30 น. หลังจากนั้นค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดจนถึงเวลา 15.00 น. เนื่องจากช่วงเวลา 11.30 น.-14.00 น. อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าค่อนข้างจะคงที่และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานี้ก็มีค่าค่อนข้างที่ด้วย ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีมีค่าไม่แตกต่างกันและหลังจากเวลา 14.00 น.-15.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการเพิ่มของปริมาณความร้อนสะสมก็มีค่าลดลงด้วยทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีไม่เปลี่ยนแปลงไปและสารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือสารทำงาน R410a มีค่าประสิทธิภาพคือ 10.3% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R134a และ R404a และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 10% และ 9% ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.8(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีประสิทธิภาพที่สูงเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่าของผลต่างอุณหภูมิระหว่างตอนเริ่มต้นกับที่ 10.30 น. มีค่ามากจึงทำให้ค่าของประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่ เวลา 10.30 น. มีค่าสูงที่สุดและลดลงถึงเวลา 13.00 น. อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าค่อนข้างจะคงที่และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานี้ก็มีค่าค่อนข้างที่ด้วย ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีมีค่าไม่แตกต่างกันและหลังจากเวลา 13.30 น.-15.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการเพิ่มของปริมาณความร้อนสะสมก็มีค่าลดลงด้วยทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีไม่เปลี่ยนแปลงไปและสารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือสารทำงาน R134a มีค่าประสิทธิภาพคือ 14% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 13% และ 12.6% ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.8(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556 ในเวลา 10.30 น. มีค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่สูงเนื่องจากมีสาเหตุเหมือนกับวันที่ 29 และ 30 ตุลาคม 2556 จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือสารทำงาน R134a มีค่าประสิทธิภาพคือ 14% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 3 สาร คือสาร R410a และ R404a และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 12% และ 11% ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือในเวลา 10.30 น. ค่าประสิทธิภาพจะสูงที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ประสิทธิภาพในช่วงนี้สูงที่สุด และจะลดต่ำลงไปเรื่อยๆจนถึงเวลา 11.30 น. แล้วหลังจากนั้นประสิทธิภาพของแผงรับรังสีจะค่อนข้างคงที่ไปจนกระทั่งเวลา 15.00 น. และจากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีทั้ง 3 วัน พบว่ามีค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30%

สารทำงาน R134a มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดรองลงมาเป็นสาร R404a และ R410a ตามลำดับโดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกัน ตามกราฟที่ 4.8(b) ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือสาร R134a มีค่าประสิทธิภาพ 14% ซึ่งสูงกว่าสารอื่นๆ ที่เหลือ

4.3 ผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่อัตราการเติม 70%

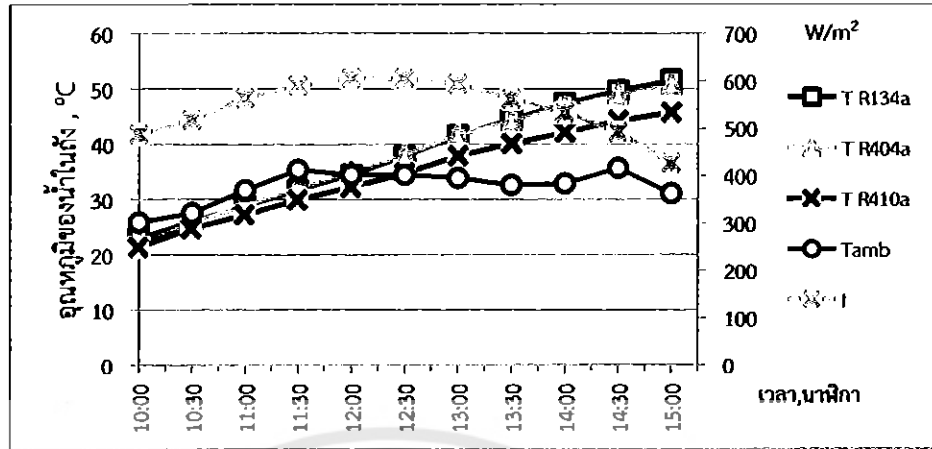
การทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% และมีสารทำงานคือ R134a, R404a และ R410a ได้ทำการทดลองในวันที่มีท้องฟ้าโปร่งใสตลอดทั้งวันโดยดูจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ดังแสดงในกราฟที่ 4.9 และวันที่ได้ทำการทดลองคือวันที่ 4, 5 และ 6 ธันวาคม 2556 ซึ่งทดลองในช่วงเวลา 10.00 น. - 15.00 น. โดยมีการหันเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้และมีมุมเอียง 16° กับแนวระดับจากการทดลองพบว่าค่าในวันที่ 4, 5 และ 6 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.00 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างต่ำและมีค่าใกล้เคียงกันคือ 488 W/m^2 , 528 W/m^2 และ 521 W/m^2 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ในวันที่ 4 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 12.00 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 606 W/m^2 และลดต่ำลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.30 น.-15.00 น. ในวันที่ 5 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 12.30 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 611 W/m^2 และลดต่ำลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น.-15.00 น. และในวันที่ 6 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 11.30 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 607 W/m^2 และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงไปเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.00 น.-15.00 น



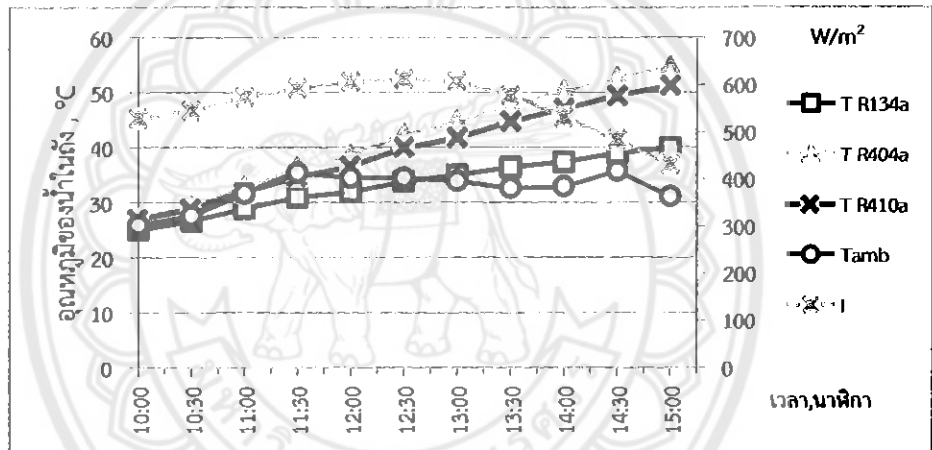
กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลา ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70 %

4.3.1 อุณหภูมิในถังน้ำร้อน

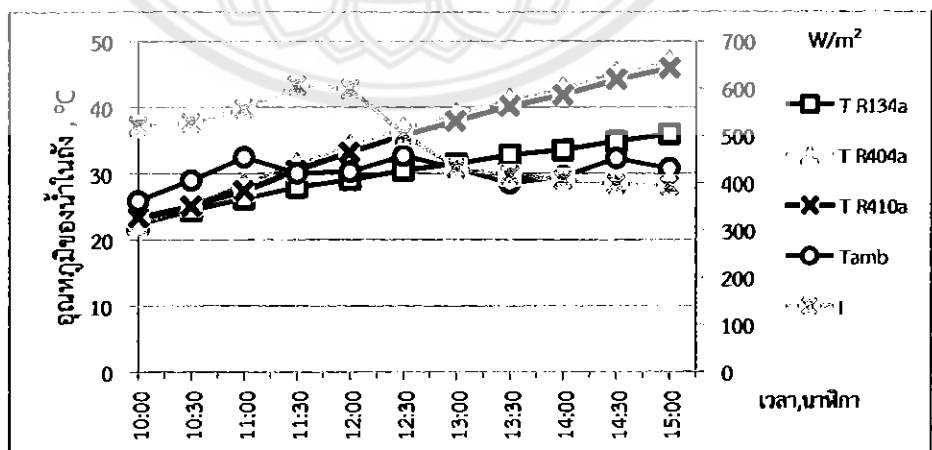
กราฟที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70% โดยมีการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% โดยมีสารทำงาน 3 สาร คือ R134a, R404a และ R410a จากกราฟที่ 4.10(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 4 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 606 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 35°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R134a และ R404a และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 34.5°C และ 32.3°C ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R134a คือ 51.6°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R404a และ R410a ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 51°C และ 45.8°C ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.11(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 5 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 611 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ $43.5.6^\circ\text{C}$ ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 40.1°C และ 33.8°C ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน R404a คือ 54.6°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 51.3°C และ 39.9°C ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.11(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 6 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 11.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 607 W/m^2 จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 31.6°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a และมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 30.6°C และ 28°C ตามลำดับ และในเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงที่สุด ยังคงเป็นสารทำงาน



(a) การทดลองวันที่ 4 ธันวาคม 2556



(b) การทดลองวันที่ 5 ธันวาคม 2556



(c) การทดลองวันที่ 6 ธันวาคม 2556

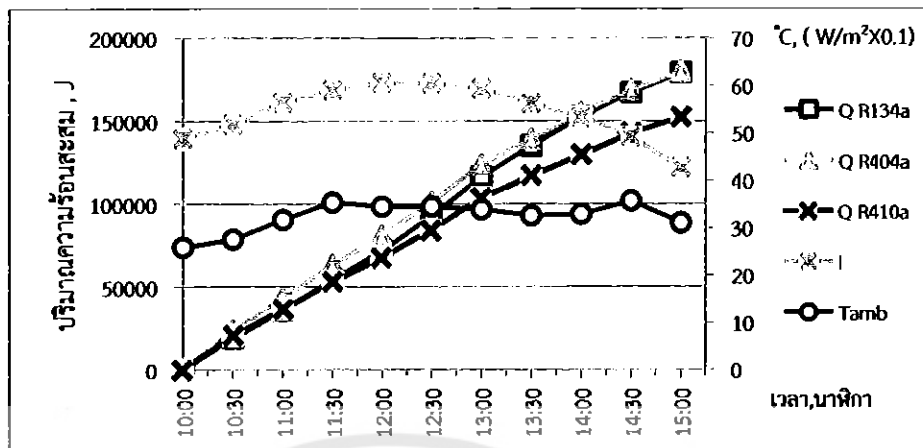
กราฟที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70%

R404a คือ 47°C ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 46°C และ 36°C ตามลำดับ

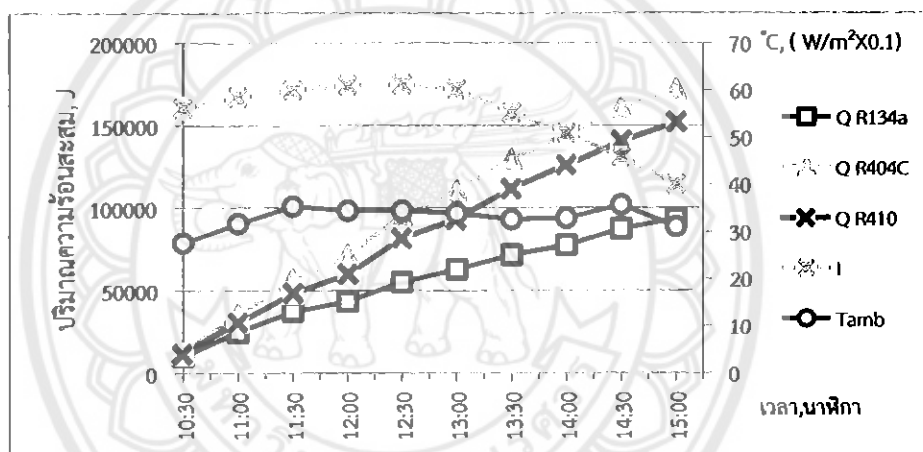
จึงสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลา และจากการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังทั้ง 3 วันพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อ แก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบล้นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% สารทำงาน R404a มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงสุด รองลงมาคือสารทำงาน R410a และ R134a ตามลำดับโดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 5 ธันวาคม 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกัน ตามกราฟที่ 4.11(b) ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือ โดยสารทำงานมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 54.6°C

4.3.2 ปริมาณความร้อนที่สะสม

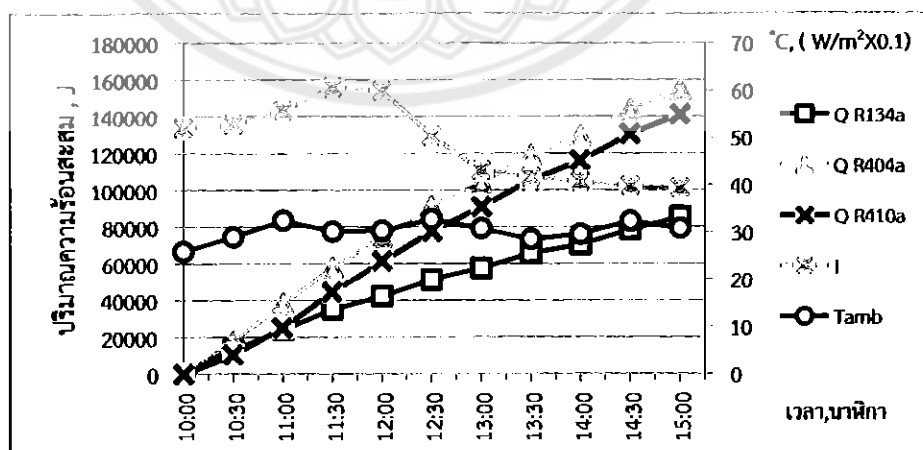
กราฟที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70% โดยมีการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% โดยมีสารทำงาน 3 สาร คือ R134a, R404a และ R410a จากกราฟที่ 4.11(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 4 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงสุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 606 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 81018 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R134a และ R410a ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 71912 J และ 67829J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าปริมาณความร้อนสะสมก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงสุด ยังคงเป็นสารทำงาน R404a คือ 180250 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R134a และ R410a ที่มีปริมาณความร้อนสะสมคือ 179308J และ 152616J ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.11(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 5 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 12.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงสุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 611 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 95778J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a ที่มีปริมาณ



(a) การทดลองวันที่ 4 ธันวาคม 2556



(b) การทดลองวันที่ 5 ธันวาคม 2556



(c) การทดลองวันที่ 6 ธันวาคม 2556

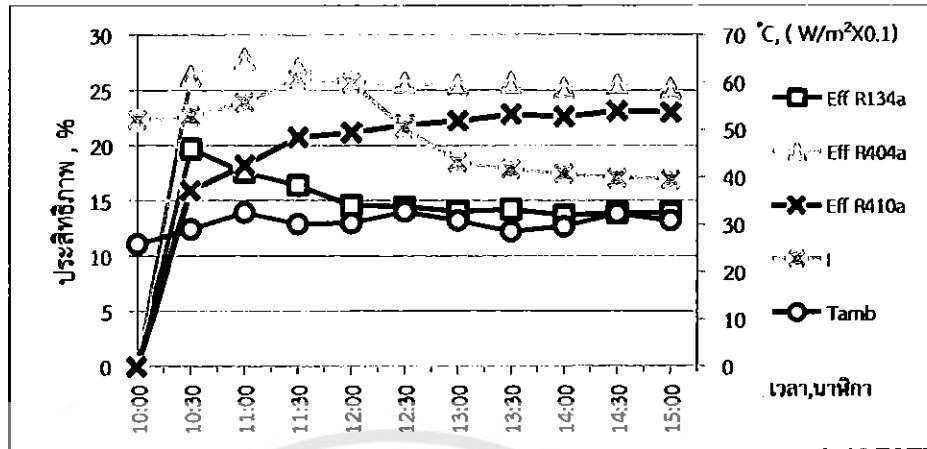
กราฟที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70%

ความร้อนสะสมคือ 81961 J และ 55268 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 13.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ค่าปริมาณความร้อนสะสมก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีปริมาณความร้อนสะสมสูงสุด ยังคงเป็นสารทำงาน R404a คือ 171772 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a ที่มีปริมาณความร้อนสะสมคือ 15230 J และ 93579 J ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.11(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 6 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นน้อยมาก เนื่องจากค่าความเข้มอาทิตย์มีค่าต่ำ จนกระทั่งเวลา 11.30 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นสูงสุดของวันนี้และมีค่าเท่ากับ 607 W/m^2 จึงทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามระยะเวลา โดยที่สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 57781 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R404a ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 44592 J และ 35179 J ตามลำดับ แม้ว่าในเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงแต่ปริมาณความร้อนสะสมยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีปริมาณความร้อนสะสมสูงสุด ยังคงเป็นสารทำงาน R404a คือ 154500 J ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a ที่มีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 141311 J และ 85415 J ตามลำดับ

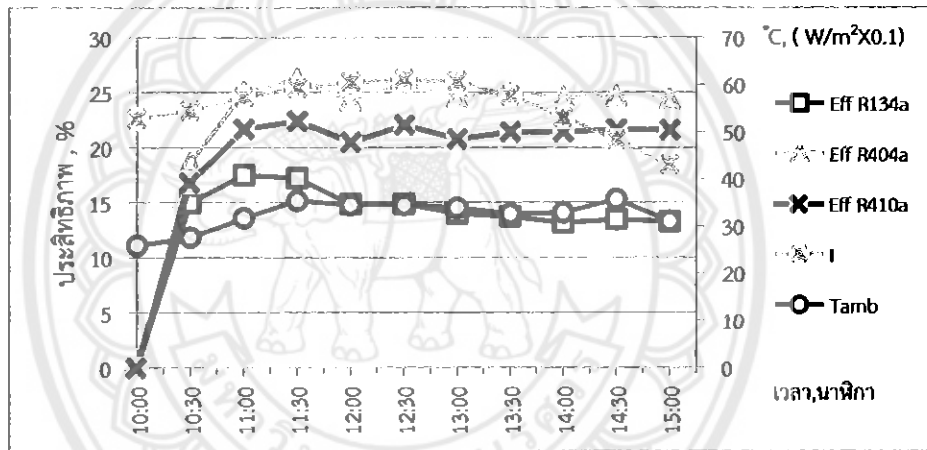
จึงสรุปได้ว่าค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลา และจากการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนสะสมทั้ง 3 วัน พบว่ามีค่าปริมาณความร้อนสะสมของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% สารทำงาน R404a มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงสุดรองลงมาคือ R410a และ R134a ตามลำดับ โดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 5 ธันวาคม 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกันตามกราฟที่ 4.11(b) ทำให้ค่าปริมาณความร้อนสะสมที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือ โดยสารทำงาน R404a มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 171772 J

4.3.3 ประสิทธิภาพ

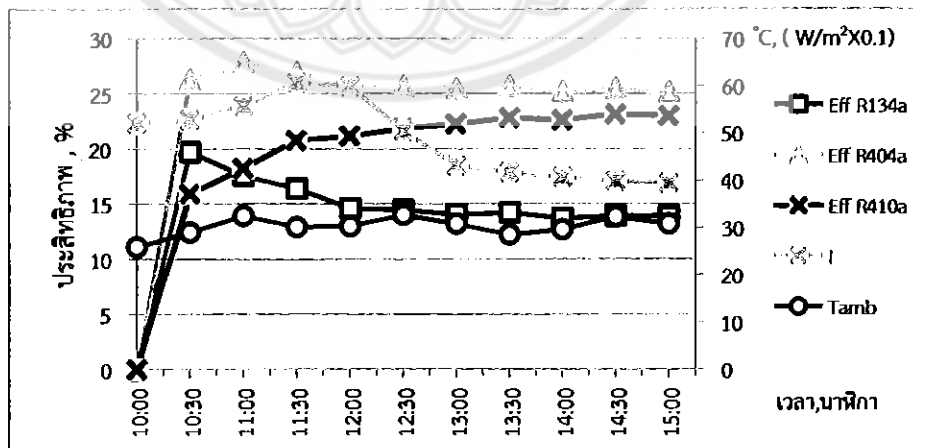
กราฟที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆโดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้ง 3 วัน ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% โดยมีสารทำงาน 3 สาร คือ R134a, R404a และ R410a จากกราฟ 5.2(a) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 4 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีประสิทธิภาพที่สูงเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่าของผลต่างอุณหภูมิระหว่างตอนเริ่มต้นกับที่ 10.30 น. มีค่ามากจึงทำให้ค่า



(a) การทดลองวันที่ 4 ธันวาคม 2556



(b) การทดลองวันที่ 5 ธันวาคม 2556



(c) การทดลองวันที่ 6 ธันวาคม 2556 ที่อัตราการเติม 70%

กราฟที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาในวันต่างๆ ณ อัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ 70%

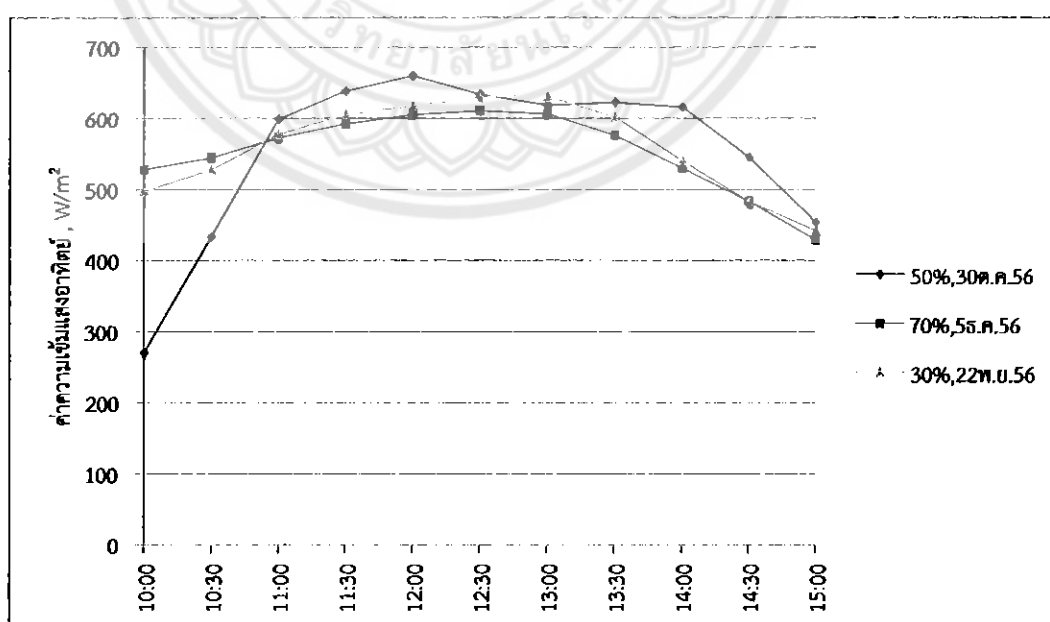
ของประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 10.30 น. มีค่าสูงสุดและลดลงถึงเวลา 12.00 น. หลังจากนั้นค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดจนถึงเวลา 15.00 น. เนื่องจากช่วงเวลา 12.00 น.-14.00 น. อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าค่อนข้างจะคงที่และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานี้ก็มีค่าค่อนข้างที่ด้วย ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีมีค่าไม่แตกต่างกันและหลังจากเวลา 14.00 น.-15.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการเพิ่มของปริมาณความร้อนสะสมก็มีค่าลดลงด้วยทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีไม่เปลี่ยนแปลงไปและสารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือสารทำงาน R404a มีค่าประสิทธิภาพคือ 25.9% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R134a และ R410a และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 25.7% และ 22% ตามลำดับ จากกราฟที่ 5.2(b) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 5 ธันวาคม 2556 ในช่วงเวลา 10.30 น. มีประสิทธิภาพที่สูงเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่าของผลต่างอุณหภูมิระหว่างตอนเริ่มต้นกับที่ 10.30 น. มีค่ามากจึงทำให้ค่าของประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 10.30 น. มีค่าสูงสุดและลดลงถึงเวลา 13.00 น. หลังจากนั้นค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดจนถึงเวลา 15.00 น. เนื่องจากช่วงเวลา 13.00 น.-15.00 น. อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนสะสมในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าค่อนข้างจะคงที่และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานี้ก็มีค่าค่อนข้างที่ด้วย ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีมีค่าไม่แตกต่างกันและหลังจากเวลา 13.00 น.-15.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการเพิ่มของปริมาณความร้อนสะสมก็มีค่าลดลงด้วยทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีไม่เปลี่ยนแปลงไปและสารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือสารทำงาน R404a มีค่าประสิทธิภาพคือ 24.4% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 22% และ 13% ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.12(c) เป็นกราฟข้อมูลผลการทดลองในวันที่ 6 ธันวาคม 2556 ในเวลา 10.30 น. มีค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่สูง เนื่องจากมีสาเหตุเหมือนกับวันที่ 4 และ 5 ธันวาคม 2556 จนกระทั่งถึงเวลา 15.00 น. สารทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือสารทำงาน R404a มีค่าประสิทธิภาพคือ 25% ซึ่งมากกว่าสารทำงานทั้ง 2 สาร คือสาร R410a และ R134a และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 23% และ 14% ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ ในเวลา 10.30 น. ค่าประสิทธิภาพจะสูงที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในถังตอนเริ่มต้นมีอุณหภูมิต่ำและเมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ประสิทธิภาพในช่วงนี้สูงที่สุด และจะลดต่ำลงไปเรื่อยๆจนถึงเวลา 11.30 น. แล้วหลังจากนั้นประสิทธิภาพของแผงรับรังสีจะค่อนข้างคงที่ไปจนกระทั่งเวลา 15.00 น.

และจากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีทั้ง 3 วัน พบว่ามีค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% สารทำงาน R404a มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมาคือสาร R410a และ R134a ตามลำดับโดยการทดลองทั้ง 3 วัน ข้อมูลผลการทดลองของวันที่ 5 ธันวาคม 2556 มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาและใกล้เคียงกัน ตามกราฟ 4.12(b) ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่เวลา 15.00 น. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วันที่เหลือสาร R404a มีค่าประสิทธิภาพสูงถึง 24.4%

4.4 ผลกระทบของอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์สำหรับสารทำงานแต่ละชนิด จึงได้ทำการเลือกข้อมูลการทดลองในวันที่ดีที่สุดของแต่ละอัตราส่วนการเติมสารทำงานซึ่งมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกันมาเปรียบเทียบ โดยดูจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ดังแสดงในกราฟที่ 4.13 โดยอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ใช้ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในวันที่ 30 ตุลาคม 2556 อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% ใช้ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 และอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% ใช้ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในวันที่ 5 ธันวาคม 2556



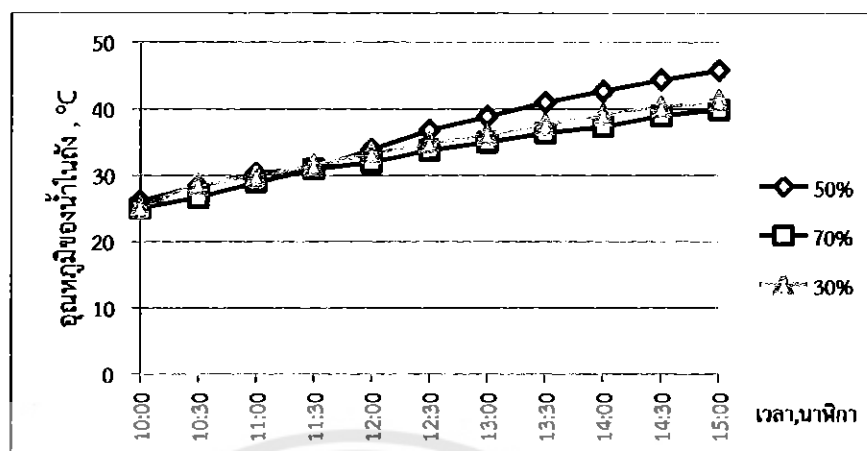
กราฟที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับเวลาที่วัดได้

4.4.1 อุณหภูมิในถังน้ำร้อน

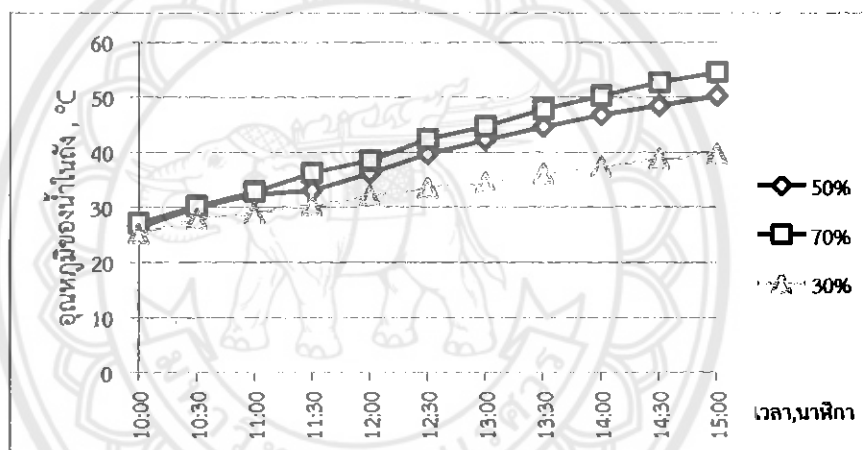
กราฟที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังเทียบกับเวลาของสาร R134a, R404a และ R410a ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30%, 50% และ 70% จากการเปรียบเทียบกราฟที่ 4.14(a) สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 50% โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 45.8 °C รองลงมาคือที่ 30% และ 70% โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 41.3 °C และ 39.93 °C ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.14(b) สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 70% โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 54.6 °C รองลงมาคือที่ 50% และ 30% ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 50.3 °C และ 39.7 °C ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.14(c) สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 50% โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 54.3 °C รองลงมาคือที่ 70% และ 30% โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังคือ 51.3 °C และ 40.3 °C ตามลำดับ

4.4.2 ปริมาณความร้อนที่สะสม

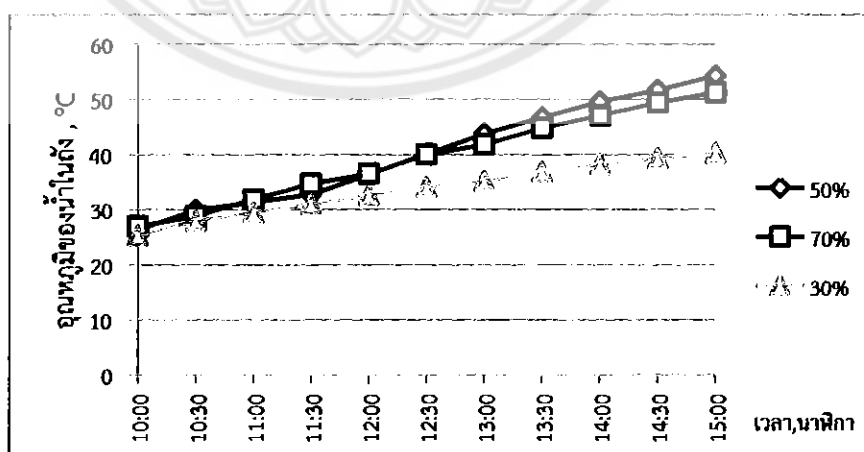
กราฟที่ 4.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมภายในน้ำเทียบกับเวลาของสาร R134a, R404a และ R410a ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30%, 50% และ 70% จากการเปรียบเทียบกราฟที่ 4.15(a) สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 50% โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 123726 J รองลงมาคือที่ 30% และ 70% โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 101116 J และ 93579 J ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.15(b) สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 70% โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 171772 J รองลงมาคือที่ 50% และ 30% โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 149789 J และ 90753 J ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.15(c) สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 50% โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมถึง 174912 J รองลงมาคือที่ 70% และ 30% โดยมีค่าปริมาณความร้อนสะสมคือ 152302 J และ 93893 J ตามลำดับ



(a) สารทำความเย็น R134a

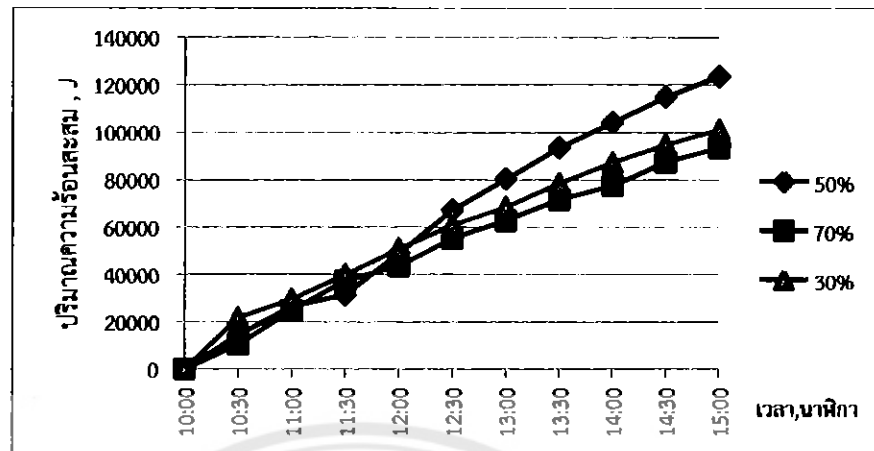


(b) สารทำความเย็น R404a

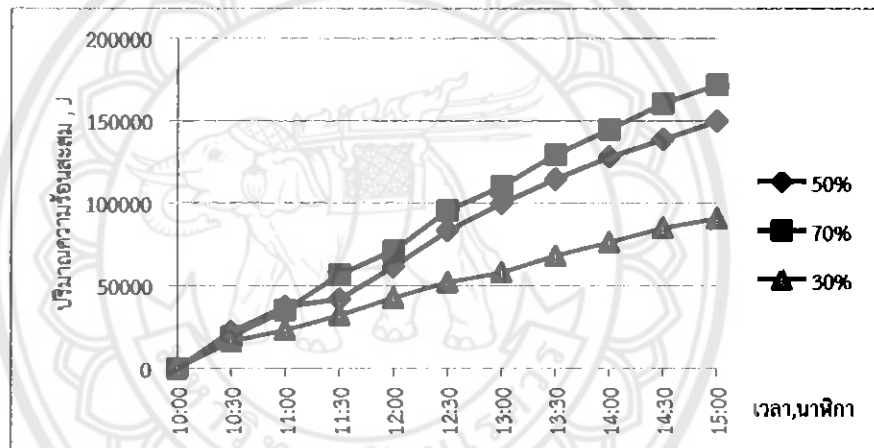


(c) สารทำความเย็น R410a

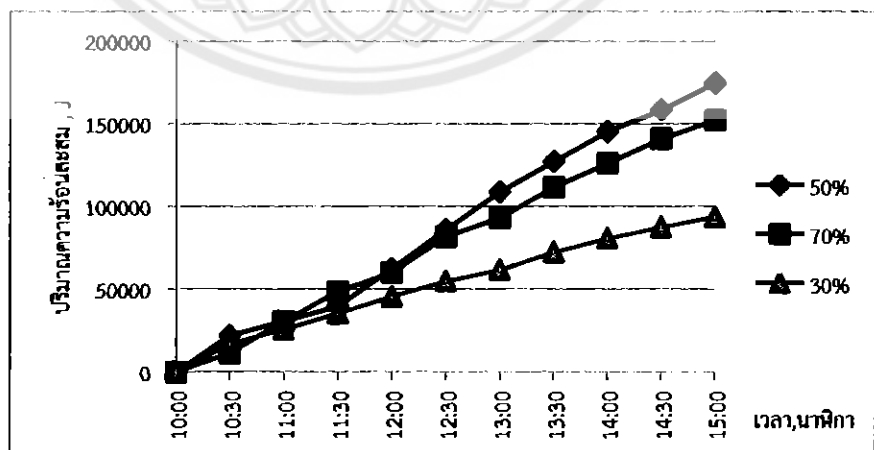
กราฟที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลา
ของสาร R134a, R404a และ R410a



(a) สารทำความเย็น R134a



(b) สารทำความเย็น R404a



(c) สารทำความเย็น R410a

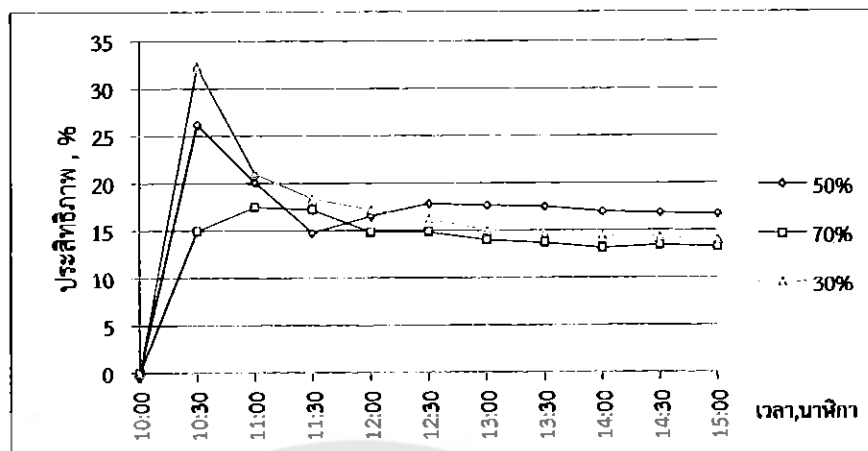
กราฟที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนสะสมเทียบกับเวลา
ของสาร R134A, R404a และ R410a

4.4.3 ประสิทธิภาพ

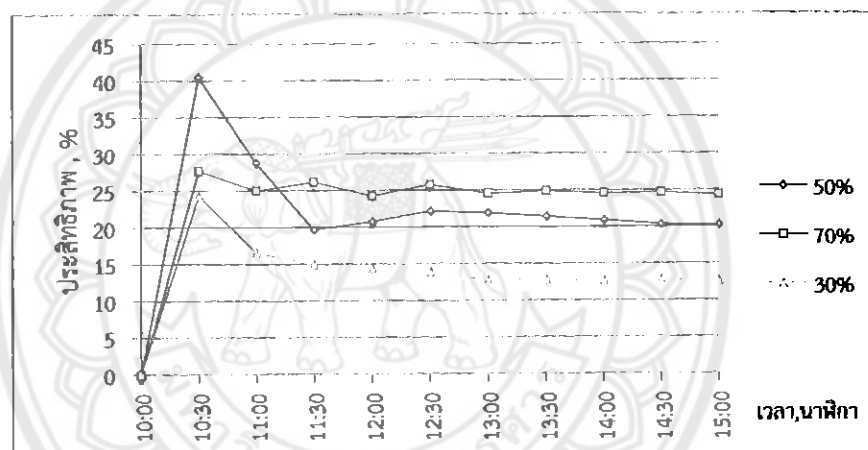
กราฟที่ 4.16 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลาของสาร R134a, R404a และ R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30%, 50% และ 70% จากการเปรียบเทียบกราฟที่ 4.16(a) สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 50% โดยมีค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์คือ 18% รองลงมาที่ 30% และ 70% โดยมีค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์คือ 14% และ 13% ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.16(b) สารทำงาน R404a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 70% โดยมีค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์คือ 24.4% รองลงมาที่ 50% และ 30% โดยมีค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์คือ 20% และ 13% ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.16(c) สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 50% โดยมีค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์คือ 24% รองลงมาที่ 70% และ 30% โดยมีค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์คือ 22% และ 13% ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าสารทำงาน R404a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70 % และ R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ทำงานได้ดีที่สุดคือมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังที่สูงและใกล้เคียงกันคือมีค่า 54.6°C และ 54.3°C ตามลำดับ มีค่าปริมาณความร้อนสะสมใกล้เคียงกันคือมีค่า 171772 J และ 174912 J ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันคือมีค่า 24.4% และ 24% ตามลำดับ ดังนั้นสามารถเลือกใช้สารทำงานได้ทั้ง 2 ชนิด แต่ควรจะมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมกับสารแต่ละชนิดด้วย

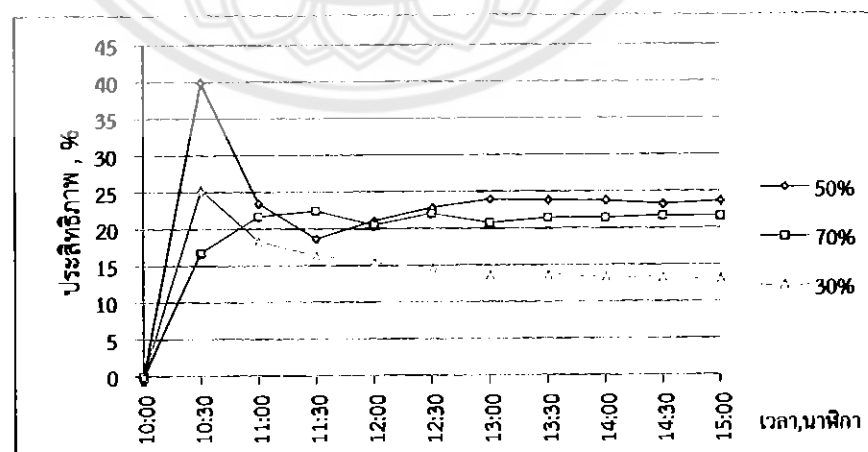
คาดว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30% มีปริมาตรที่เป็นสุญญากาศภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่เหลือน้อยกว่าอัตราส่วนการเติมสารทำงานอีก 2 อัตราส่วนการเติม จึงทำให้สารทำงาน R134a ทำงานได้ดีที่สุด อาจเนื่องมาจากมีค่าจุดเดือดที่ต่ำจึงทำให้สารทำงานระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายและมีความหนาแน่นวิกฤตที่มากทำให้สารทำงานระเหยขึ้นไปในส่วนควบแน่นได้มากกว่าสารอื่นๆ จึงทำให้มีอุณหภูมิของน้ำในถังสูงกว่าอีก 2 สารทำงานที่เหลือ สำหรับที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สารทำงาน R410a ทำงานได้ดีที่สุด อาจเนื่องมาจากมีค่าจุดเดือดต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสารทำงานอีก 3 สาร ทำให้สารทำงานระเหยกลายเป็นไอได้รวดเร็วและมาก แล้วยังมีความหนาแน่นวิกฤตค่อนข้างสูงจึงทำให้สารทำงานที่กลายเป็นไอ ระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้มากกว่าสารอื่นๆ จึงทำให้มีค่าอุณหภูมิของน้ำในถังสูงที่สุดสำหรับในอัตราส่วนการเติมนี้ และที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% สารทำงาน R404a ที่ทำงานได้ดีที่สุดและทำงานได้ใกล้เคียงกับสารทำงาน R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% อาจเนื่องมาจากที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% มีปริมาตรที่เป็นสุญญากาศภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเหลือน้อย และสารทำงาน R404a มีค่าจุดเดือดที่ต่ำและมีค่าความหนาแน่นวิกฤตน้อยกว่าสารทำงาน R410a ไม่มากสาร



(a) สารทำความเย็น R134a



(b) สารทำความเย็น R404a

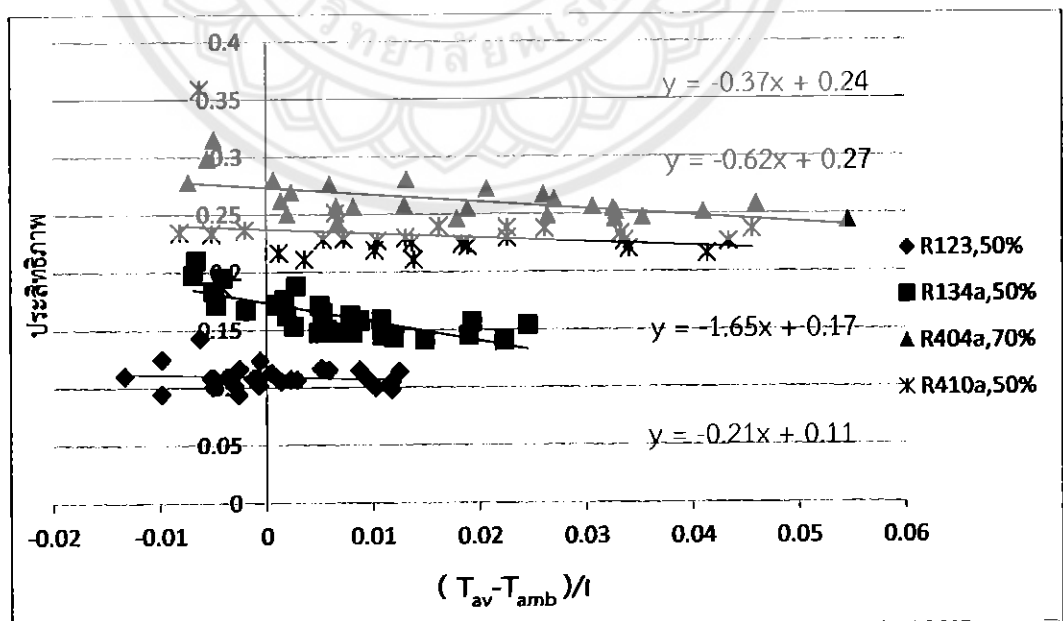


(c) สารทำความเย็น R410a

กราฟที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับเวลา
ของสาร R134a, R404a และ R410a

ทำงาน R404a จึงทำให้สารทำงานระเหยกลายเป็นไอรวดเร็ว และมีค่าความหนาแน่นวิกฤตที่ค่อนข้างต่ำทำให้สารทำงานที่ระเหยกลายเป็นไอ ระเหยไปในส่วนควบแน่นได้ไวกว่าสารทำงานอื่นๆ อีก 2 สารที่เหลือ จึงทำให้มีอุณหภูมิของน้ำในถังสูงที่สุด

จากกราฟที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับรังสีเทียบกับค่า $(T_{av} - T_{amb})/I$ เพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซับความร้อนของตัวรับรังสี แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นค่า $F_R(T\alpha)$ หรือค่าจุดตัดบนแกน Y จากสมการเส้นตรง และหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนซึ่งเป็นค่า F_{RUL} หรือค่าความชันจากสมการเส้นตรงในกราฟที่ 4.17 จากตารางค่าความสามารถในการดูดซับความร้อนของตัวรับรังสีและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน พบว่าสารทำงาน R123 ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด มีค่า $0.21 \text{ W/m}^2\text{C}$ เมื่อเทียบกับสารทำงานอีก 3 สารที่เหลือคือสาร R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สาร R404a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% และสาร R134a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% มีค่า $0.37 \text{ W/m}^2\text{C}$, $0.62 \text{ W/m}^2\text{C}$ และ $1.65 \text{ W/m}^2\text{C}$ ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการดูดซับความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ สารทำงาน R404a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% มีค่าความสามารถในการดูดซับความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด มีค่า 0.27 เมื่อเทียบกับสารทำงานอีก 3 สารที่เหลือคือสาร R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สาร R134a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% และ สาร R123 ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% มีค่า 0.24, 0.17 และ 0.11 ตามลำดับ



กราฟที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับรังสี
เทียบกับค่า $(T_{av} - T_{amb})/I$

ตารางที่ 4.1 ความสามารถในการดูดซับความร้อนของตัวรับรังสีและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน

สารทำงาน, อัตราส่วนการเติม	$F_R U_L$ $W/m^2 \cdot ^\circ C$	$F_R(\tau\alpha)$	R^2
R123, 50%	0.21	0.11	0.02
R134a, 50%	1.65	0.17	0.58
R404a, 70%	0.62	0.27	0.34
R410a, 50%	0.37	0.24	0.04

จึงสรุปได้ว่าสารทำงาน R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% มีค่าความสามารถในการดูดซับความร้อนของตัวรับรังสีน้อยกว่า สารทำงาน R404a ที่มีอัตราส่วนการเติม 70% ไม่มากนัก และยิ่งสูงกว่าสารทำงานอีก 2 สารที่เหลือ และยังมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่น้อยกว่า สารทำงาน R404a ไม่มาก ดังนั้นสารทำงาน R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% และ สาร R404a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% ทำงานได้ดีที่สุดทั้ง 2 สาร สามารถเลือกใช้สารทำงานได้ทั้ง 2 ชนิดแต่ควรจะมีอัตราส่วนการเติมที่เหมาะสมกับแต่ละชนิด

ถ้าค่า $T_{av} - T_{amb}$ มีค่าต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพตัวรับรังสีมีสูง เนื่องจากค่า T_{av} มีค่าไม่แตกต่างกับค่า T_{amb} และค่า I มีค่าสูง และในทางตรงกันข้ามถ้าค่า $(T_{av} - T_{amb})/I$ มีค่าสูงจะทำให้ค่าของ ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีมีค่าต่ำลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.17

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ทำการทดลองโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้ง เลี้ยว มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m มีความยาวส่วนควบแน่น 0.05 m มีความยาวส่วนที่ไม่มีการสูญเสียความร้อน 0.05 m และมีถังน้ำร้อนที่มีน้ำบรรจุอยู่ในถัง 1.5 ลิตร โดยมีการทดลองที่ใช้สารทำงาน R123, R1234a, R404a และ R410a ซึ่งทำการทดลองโดยมีการเติมสารทำงานในอัตราส่วนการเติม 30%, 50% และ 70% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด และในแต่ละอัตราส่วนการเติมสารทำงานจะทำการทดลองซ้ำกัน 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะใช้สารทำงานแตกต่างกัน 4 สาร เพื่อศึกษาผลกระทบของสารทำงานและอัตราส่วนการเติมสารทำงาน ในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีต่อการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

5.1.1 จากการเปรียบเทียบผลกระทบของสารทำงานที่มีต่อตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ พบว่าที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30 % สารทำงานที่ทำงานได้ดีที่สุดคือสาร R134a สำหรับข้อมูลในวันที่มีความเข้มแสงสม่ำเสมอและสูงที่สุดถึง 632 W/m^2 สาร R134a มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 41.3°C มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 101116 J และมีประสิทธิภาพของตัวรับรังสีคือ 14% ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% สารทำงานที่ทำงานได้ดีที่สุดคือสาร R410a สำหรับข้อมูลในวันที่มีความเข้มแสงสม่ำเสมอและสูง มีค่า 660 W/m^2 สาร R410a มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 54.3°C มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 174912 J และมีประสิทธิภาพของตัวรับรังสีคือ 24% และที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70% สารทำงานที่ทำงานได้ดีที่สุดคือสาร R404a สำหรับข้อมูลในวันที่มีความเข้มแสงสม่ำเสมอและสูง มีค่า 611 W/m^2 สาร R410a มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสูงถึง 54.6°C มีค่าปริมาณความร้อนสะสมสูงถึง 171772 J และมีประสิทธิภาพของตัวรับรังสีคือ 24.4%

5.1.2 จากการเปรียบเทียบผลกระทบของสารทำงานและอัตราส่วนการเติมสารทำงาน โดยเลือกข้อมูลการทดลองในวันที่ดีที่สุดของแต่ละอัตราส่วนการเติมสารทำงานซึ่งมีความเข้มแสงอาทิตย์ที่สูงและใกล้เคียงกันมาทำการเปรียบเทียบ พบว่าสารทำงาน R404a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70 % และ R410a ที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ทำงานได้ดีที่สุดคือมีค่า

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังที่สูงและใกล้เคียงกันคือมีค่า 54.6°C และ 54.3°C ตามลำดับ มีค่าปริมาณความร้อนสะสมใกล้เคียงกันคือมีค่า 171772 J และ 174912 J ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันคือมีค่า 24.4% และ 24% ตามลำดับ ดังนั้นสามารถเลือกใช้สารทำงานได้ทั้ง 2 ชนิด แต่ควรจะมีอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมกับสารแต่ละชนิดด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเพิ่มจำนวนท่อแก้วสุญญากาศที่ภายในบรรจุท่อความร้อนแบบล้นวงรอบ เพื่อให้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้อุณหภูมิน้ำที่สูงขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

5.2.1 บริเวณส่วนควบแน่นกับปลอกทองแดงที่สวมอยู่ มีการสัมผัสกันได้น้อยควรจะใส่เจลนำความร้อนลงไป เพื่อลดความร้อนที่สูญเสีย ณ บริเวณนั้น

5.2.3 สามารถเพิ่มพื้นที่การรับแสงของเครื่องทำน้ำร้อน โดยการนำวัสดุที่มีความสามารถในการสะท้อนแสงสูงๆ มาทำแผ่นสะท้อนที่ด้านหลังหลอดแก้ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนให้สูงขึ้น

5.2.4 เนื่องจากผลของความจุความร้อนโดยปริมาตร ทำให้ค่าผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังมีค่าน้อยทำให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนมีน้อย ควรจะเพิ่มปริมาตรของน้ำในถังให้มากขึ้น เพื่อกำจัดผลกระทบของค่าความจุความร้อนโดยปริมาตรของน้ำ

5.2.5 เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจหรือค่า $R2$ มีค่าต่ำ ควรจะมีการควบคุมการทดลองให้อิงตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ซึ่งอาศัยรังสีตรง โดยการสร้างเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ขึ้นมาเพื่อใช้แทนแสงอาทิตย์และเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] <http://freeenergy.tarad.com/product-th-681496-2251564-เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ.html>[สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2556]
- [2] <http://freeenergy.tarad.com/product.index?lang=th> [สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2556]
- [3] <http://www.thaisolarwind.com/97512/เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์> [สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2556]
- [4] ตำรงค์ดี ท้าวอินทร์ดี, ภัทรพันธ์ ทอทะเลเสน, วสันต์ รุ่งวิทย์วาทัญญู. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวกักเก็บความร้อนแบบหลอดสุญญากาศที่มีเทอร์โมไซฟอน ปรินญาณีพันธ์ วศ.บ. วิศวกรรมเครื่อง มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2552
- [5] http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Solar%20Energy/HTML/unit_01.htm [สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2556]
- [6] กิตติภพ ย่างกุลไพโรจน์, ทศวรรษ รักสกุล, วันเฉลิม เมืองพระฝาง. การพัฒนาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ปรินญาณีพันธ์ วศ.บ. วิศวกรรมเครื่อง มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2554
- [7] <http://www.baannatura.com/th/fengshui/content/detail/55.html> [สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2556]
- [8] ทวีชัย เจนจบ, มานพ วงษ์จันทร์, นัฐวัฒน์ พุกจินดา. ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบล้นวงรอบ ปรินญาณีพันธ์ วศ.บ. วิศวกรรมเครื่อง มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2555
- [9] <http://hotwater.siam2web.com/?cid=1016209> [สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2556]
- [10] M.Esen and H.Esen, Experimental investigation of a two-phase closed termosiphon solar water heater, vol.Solar Energy 79,pp.459-468,2005. [สืบค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2556]
- [11] P.Charoensawanand P.Terdtoon,Thermal performance of horizontal closed-loop oscillating heat pipes, vol. 28, pp.460-446, 2008.[สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2556]
- [12] หนังสือการทำความเย็น Refrigeration ผศ. น.อ. ดร.ตระการ ก้าวกลิกรรม ,2555 [สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2556]
- [13] <http://www.ebooks.in.th/download/6444/> [สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2556]
- [14] <http://www.renewableenergyworld.com/rea/companies/kipp-zonen/products/sp-lite2-silicon-pyranometer> [สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2556]
- [15] <http://www.kmitl.ac.th/foodeng/new/img/Equipments/2/3/4/Data-logger.jpg> [สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2556]
- [16] http://market.onlineoops.com/487129/en_US [สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2556]
- [17] http://www2.dupont.com/Refrigerants/en_US/products/Suva/#.UsPqE_RdX0g [สืบค้นเมื่อ 1 มกราคม 2557]





ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการทดลองวันที่ 29 ตุลาคม 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 50% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R123	Te	39.8	72.6	109.2	127.6	134.1	141.1	146.1	149.5	163.7	156.9	148.3
	Tc	31.8	46.1	68.9	64.3	66.3	69.8	71.6	74.4	81.4	77.0	73.7
	Tg	30.2	34.9	39.0	32.0	35.9	40.6	38.3	43.8	34.1	34.9	34.6
	Tw1	26.6	27.8	29.1	30.3	31.6	32.7	33.8	34.4	36.3	37.3	38.0
	Tw2	26.5	27.9	29.2	30.4	31.7	32.7	33.8	34.4	36.4	37.3	38.1
R134a	Te	41.2	73.1	107.9	127.2	133.6	140.2	144.0	149.4	164.3	156.0	147.6
	Tc	34.1	69.3	78.8	78.1	79.4	81.7	81.4	82.9	82.6	83.2	80.8
	Tg	30.2	35.4	39.6	33.0	36.6	40.1	35.8	42.0	42.1	36.3	35.0
	Tw1	26.6	28.2	30.2	32.4	34.4	36.0	37.5	38.6	40.8	42.2	43.0
	Tw2	26.7	28.2	30.2	32.5	34.4	36.1	37.6	39.4	40.8	42.2	43.1
R404a	Te	39.1	70.1	105.1	125.7	131.9	137.6	141.9	148.2	156.8	144.8	134.2
	Tc	35.2	52.2	56.3	58.4	59.7	61.0	62.0	64.0	71.8	70.5	69.4
	Tg	30.0	34.8	37.7	32.5	34.6	39.6	35.6	41.8	40.0	35.8	34.5
	Tw1	27.3	29.6	31.9	34.3	36.4	38.1	39.5	40.6	43.7	45.1	47.0
	Tw2	27.1	29.0	31.2	33.8	35.8	37.6	39.0	40.1	43.1	45.1	46.5
R410a	Te	42.5	72.3	94.8	100.6	101.5	106.4	109.8	118.2	135.3	123.7	113.6
	Tc	36.5	61.1	75.3	77.6	78.8	81.0	82.2	85.7	91.6	89.1	86.1
	Tg	30.4	36.2	40.0	33.7	34.6	37.8	34.5	39.6	39.4	35.2	34.9
	Tw1	27.0	28.9	31.4	34.8	37.7	40.0	42.6	44.6	48.3	50.6	52.2
	Tw2	27.0	28.8	31.2	34.7	37.7	40.0	42.6	44.6	48.3	50.6	52.2
	Tamb	28.8	34.1	32.3	30.7	33.3	30.7	35.8	36.0	36.8	31.5	32.4
	I	384.0	402.0	610.9	644.5	651.3	710.2	622.8	612.3	602.1	521.8	434.7

*หมายเหตุ T หน่วยเป็น °C และ I หน่วยเป็น W/m²

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดลองวันที่ 30 ตุลาคม 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ทำความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 50% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R123	Te	27.5	43.6	51.9	68.7	75.7	82.1	84.5	85.7	85.9	86.5	88.4
	Tc	33.5	35.1	36.8	37.5	37.9	38.0	39.3	39.8	40.2	40.5	42.1
	Tg	32.7	33.6	38.7	42.4	43.4	45.2	44.1	43.0	41.3	40.8	40.5
	Tw1	26.0	27.5	28.3	29.1	30.6	32.4	34.1	35.9	37.1	38.4	39.4
	Tw2	25.9	27.7	28.2	29.2	30.8	32.4	34.1	35.8	37.2	38.4	39.2
R134a	Te	33.8	71.6	101.6	134.8	152.2	166.6	171.7	172.4	169.8	168.2	164.7
	Tc	29.8	44.8	55.7	61.7	67.6	73.7	75.0	75.9	76.8	77.5	77.9
	Tg	30.7	32.9	36.8	39.4	42.1	38.4	44.0	37.8	41.6	44.2	40.1
	Tw1	26.1	28.4	30.3	31.1	33.9	36.8	38.9	41.0	42.7	44.4	45.8
	Tw2	26.1	28.4	30.3	31.1	33.9	36.8	38.9	41.0	42.7	44.4	45.8
R404a	Te	33.9	69.8	99.3	129.3	147.4	153.1	156.9	158.6	155.4	155.3	152.7
	Tc	29.5	46.1	51.5	53.8	53.8	66.1	67.6	68.9	69.5	70.1	70.6
	Tg	31.5	32.9	36.8	38.1	41.4	38.8	43.3	37.2	40.2	42.6	39.5
	Tw1	26.5	30.1	32.6	33.2	36.3	40.0	42.6	44.9	47.1	48.8	50.5
	Tw2	26.3	29.8	32.2	32.9	36.1	39.4	42.0	44.4	46.5	48.2	50.0
R410a	Te	32.8	68.4	101.2	107.6	123.0	131.7	135.4	137.1	134.7	134.7	133.1
	Tc	30.4	58.0	68.4	81.0	87.8	92.8	94.8	96.3	96.8	97.4	97.5
	Tg	31.4	33.3	40.2	38.8	38.1	39.1	43.5	39.1	42.1	40.9	41.8
	Tw1	26.6	29.0	31.1	32.8	36.4	40.2	43.7	46.7	49.5	51.7	54.2
	Tw2	26.3	30.9	31.6	32.7	36.4	40.1	43.9	46.7	49.7	51.7	54.4
	Tamb	30.6	30.6	36.2	35.4	34.0	35.5	33.8	32.6	33.5	33.6	33.6
	I	270.2	597.6	600.8	677.7	643.2	625.4	612.5	633.5	599.3	492.4	416.4

*หมายเหตุ T หน่วยเป็น °C และ I หน่วยเป็น W/m²

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการทดลองวันที่ 31 ตุลาคม 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 50% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R123	Te	33.7	58.1	80.6	98.2	104.9	111.6	115.3	117.6	124.8	121.7	118.4
	Tc	32.7	40.6	50.6	51.9	53.4	53.9	55.5	57.1	60.8	58.8	57.9
	Tg	31.5	34.3	38.9	37.2	39.7	42.9	41.2	43.4	37.7	37.9	37.6
	Tw1	26.3	27.7	28.7	29.7	31.1	32.6	34.0	35.2	36.4	37.8	38.3
	Tw2	26.2	27.8	28.7	29.8	31.3	32.6	34.0	35.1	36.8	37.9	38.7
R134a	Te	37.5	72.4	104.8	131.0	142.9	153.4	157.9	160.9	167.1	162.1	156.2
	Tc	32.0	57.1	67.3	69.9	73.5	77.7	78.2	79.4	79.7	80.4	79.4
	Tg	30.5	34.2	38.2	36.3	39.4	39.3	39.9	40.2	41.9	40.3	37.6
	Tw1	26.4	28.3	30.3	31.8	34.2	36.4	38.2	39.8	41.8	43.3	44.4
	Tw2	26.4	28.3	30.3	31.8	34.2	36.5	38.3	39.7	41.8	43.3	44.5
R404a	Te	36.5	70.0	102.2	127.5	139.7	145.4	149.4	153.4	156.1	150.1	143.5
	Tc	32.4	49.2	53.9	56.1	56.8	63.6	64.8	66.5	70.7	70.3	70.0
	Tg	30.8	33.9	37.3	35.3	38.0	39.2	39.5	39.8	40.1	39.2	37.0
	Tw1	26.9	29.9	32.3	33.8	36.4	39.1	41.1	42.8	45.4	47.0	48.8
	Tw2	26.7	29.4	31.7	33.4	36.0	38.5	4.5	42.3	44.8	46.7	48.3
R410a	Te	37.7	70.4	98.0	104.1	112.3	119.1	122.6	127.7	135.0	129.2	123.4
	Tc	33.5	59.6	71.9	79.3	83.3	86.9	88.5	91.0	94.2	93.3	91.8
	Tg	30.9	34.8	40.1	36.3	36.4	38.5	39.0	39.4	40.8	38.1	38.4
	Tw1	26.8	29.6	31.3	33.8	37.1	40.1	43.2	45.7	48.9	51.2	53.2
	Tw2	26.7	29.9	31.4	33.7	37.1	40.1	43.3	45.7	49.0	51.2	53.3
	Tamb	29.7	32.3	34.2	33.0	33.6	33.1	34.8	34.3	35.2	32.6	33.0
	I	327.1	499.8	622.7	627.1	664.5	667.8	622.9	617.7	600.7	507.2	425.6

*หมายเหตุ T หน่วยเป็น °C และ I หน่วยเป็น W/m²

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบล้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 30% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R134a	Te	40.4	58.7	85.9	99.7	126.2	155.4	156.2	157.3	136.9	131.8	126.8
	Tc	39.6	52.0	59.5	65.4	71.3	75.7	76.4	77.3	68.2	68.5	64.9
	Tg	32.6	35.0	36.5	39.0	42.8	44.5	45.3	45.4	37.7	39.3	33.8
	Tw1	28.2	29.3	30.6	31.4	32.7	34.4	35.6	37.2	38.0	38.7	39.1
	Tw2	28.2	29.3	30.6	31.4	32.7	34.4	35.6	37.2	38.1	38.8	39.0
R404a	Te	37.8	58.9	87.6	110.0	138.1	162.2	168.7	172.2	138.3	132.8	127.3
	Tc	30.4	35.8	41.6	45.2	51.0	56.7	58.8	60.2	54.0	53.2	52.4
	Tg	32.4	35.2	37.4	38.4	42.9	44.3	44.8	43.3	37.6	39.3	34.4
	Tw1	29.5	30.5	31.7	32.3	33.4	34.9	36.0	37.6	38.3	38.9	39.7
	Tw2	29.4	30.5	31.7	32.4	33.8	34.9	36.0	37.7	38.4	39.0	39.6
R410a	Te	32.1	41.6	89.0	112.0	142.2	165.6	172.3	176.4	140.3	134.3	128.8
	Tc	31.4	35.5	51.1	58.4	68.7	75.8	78.9	81.8	64.6	65.8	64.5
	Tg	33.2	35.5	37.1	39.5	41.7	42.2	42.8	42.4	38.4	37.5	33.6
	Tw1	29.7	31.1	32.3	33.1	34.3	36.0	37.2	39.3	39.6	40.2	40.9
	Tw2	29.7	30.9	32.1	32.9	34.1	35.7	37.0	39.3	39.5	40.1	40.8
	Tamb	31.9	31.6	33.7	36.7	38.4	37.5	36.8	38.8	34.5	34.2	31.5
	I	396.4	421.4	440.2	594.6	624.8	623.0	613.4	607.2	549.8	487.8	421.8

*หมายเหตุ T หน่วยเป็น °C และ I หน่วยเป็น W/m²

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 30% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R134a	Te	45.9	104.9	134.2	155.2	169.2	173.4	175.2	175.7	173.6	169.0	166.1
	Tc	43.9	62.2	68.7	71.7	72.5	72.1	73.1	74.3	74.0	73.8	72.9
	Tg	33.4	37.2	39.0	39.9	43.7	45.8	44.3	41.6	43.8	43.5	43.0
	Tw1	25.2	28.7	29.9	31.5	33.3	34.9	36.1	37.7	39.1	40.3	41.3
	Tw2	25.2	28.6	29.9	31.6	33.3	34.9	36.1	37.7	39.1	40.3	41.3
R404a	Te	44.7	104.1	136.7	157.5	170.4	174.4	175.4	175.5	172.9	168.5	165.8
	Tc	30.5	50.1	59.2	65.5	69.9	72.4	74.2	74.8	37.7	38.0	35.4
	Tg	33.9	38.2	41.2	41.2	44.4	46.5	45.4	42.0	42.3	43.5	42.0
	Tw1	25.2	27.7	28.8	30.2	31.9	33.3	34.3	35.9	37.2	38.8	39.5
	Tw2	25.3	27.9	29.0	30.4	32.1	33.6	34.5	36.1	37.4	38.8	39.7
R410a	Te	43.9	108.1	143.6	164.3	176.3	179.8	180.5	180.0	176.8	171.8	168.6
	Tc	31.9	54.1	66.7	75.0	80.2	81.8	82.5	83.7	82.8	81.5	81.1
	Tg	33.0	37.2	41.3	42.4	42.9	46.2	46.7	41.5	40.8	42.8	41.6
	Tw1	25.4	28.2	29.6	31.2	32.8	34.3	35.0	37.1	38.4	39.4	40.4
	Tw2	25.3	27.9	29.3	30.8	32.4	33.9	35.0	36.7	38.0	39.2	40.2
	Tamb	30.1	31.4	33.7	34.6	36.2	33.7	32.5	32.8	33.2	34.5	34.7
	I	497.5	558.6	596.3	614.9	620.8	641.9	621.4	583.0	498.6	468.4	416.3

*หมายเหตุ T หน่วยเป็น °C และ I หน่วยเป็น W/m²

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการทดลองวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 30% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R134a	Te	46.5	83.9	113.5	130.6	148.5	156.2	151.3	142.1	126.1	131.5	129.2
	Tc	44.6	56.6	62.6	66.0	70.4	70.8	71.5	61.6	64.0	66.4	67.3
	Tg	32.2	34.2	34.6	31.7	40.5	38.8	40.2	34.29	34.1	36.0	38.7
	Tw1	24.9	27.5	29.4	30.9	32.6	33.9	35.2	36.2	37.2	38.2	39.2
	Tw2	24.8	27.4	29.4	31.0	32.6	34.0	35.2	36.2	37.3	38.2	39.3
R404a	Te	43.8	85.8	117.4	135.4	152.2	158.5	159.5	143.8	129.0	133.6	131.7
	Tc	27.6	35.8	41.0	44.4	48.4	50.5	51.4	50.2	49.6	52.4	52.3
	Tg	31.6	34.4	35.2	38.4	41.5	39.0	40.5	35.9	35.4	35.8	38.8
	Tw1	24.6	26.5	28.0	29.1	30.8	31.5	32.5	33.4	34.3	35.0	35.9
	Tw2	25.0	27.1	28.6	29.7	31.0	32.0	32.9	33.5	34.1	34.9	35.7
R410a	Te	45.1	67.0	86.2	98.6	106.4	110.2	109.2	146.9	132.0	136.9	139.8
	Tc	30.5	35.3	37.2	39.8	43.5	45.8	41.0	66.1	61.4	64.9	64.8
	Tg	30.7	34.7	36.4	38.8	40.7	39.6	38.8	31.6	36.8	35.5	40.2
	Tw1	24.8	27.1	28.7	30.1	31.6	32.8	33.7	35.0	35.7	36.3	37.2
	Tw2	24.2	27.0	28.6	30.0	31.5	32.7	33.6	34.8	35.6	36.2	37.1
	Tamb	31.2	30.0	30.5	36.7	38.4	37.5	36.8	38.8	34.5	34.2	31.5
	I	624.6	640.8	681.0	694.1	707.5	620.2	458.9	400.8	252.6	158.4	169.5

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการทดลองวันที่ 4 ธันวาคม 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 70% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R134a	Te	39.7	87.1	111.4	125.9	135.7	139.6	140.4	139.1	139.0	138.9	136.9
	Tc	38.9	81.7	99.9	106.6	109.6	108.5	106.9	103.6	100.1	95.9	92.6
	Tg	29.1	33.1	34.8	38.6	38.9	41.9	40.4	40.1	39.2	40.2	37.4
	Tw1	23.0	26.0	28.7	31.6	34.4	37.8	41.5	44.5	47.3	49.7	51.6
	Tw2	23.1	26.2	28.9	31.8	34.6	37.9	41.7	44.7	47.4	49.7	51.6
R404a	Te	44.6	91.0	114.6	128.6	137.6	142.4	145.2	145.6	144.4	141.6	138.2
	Tc	44.3	65.7	80.3	92.1	95.9	100.5	101.8	103.6	102.9	103.4	103.2
	Tg	30.4	34.4	36.8	39.9	39.2	41.9	41.6	40.1	40.2	40.6	37.3
	Tw1	22.1	25.8	28.9	32.1	34.9	38.1	41.7	44.2	46.7	48.9	50.7
	Tw2	22.0	25.9	29.0	32.2	35.0	38.2	41.8	44.3	46.8	49.0	50.8
R410a	Te	39.5	91.8	118.8	135.3	144.6	149.6	152.3	152.6	151.5	148.4	144.7
	Tc	36.9	68.6	97.0	105.3	110.8	112.8	114.5	114.0	115.3	114.4	112.2
	Tg	30.3	35.9	38.4	41.2	41.1	43.8	42.1	41.5	41.2	42.5	38.3
	Tw1	21.5	24.8	27.3	30.0	32.3	34.9	38.0	40.2	42.2	44.3	45.8
	Tw2	21.4	24.8	27.3	29.9	32.2	34.8	37.9	40.1	42.1	44.2	45.7
	Tamb	25.9	27.6	31.7	35.4	34.5	34.5	33.9	32.6	32.9	35.7	31.1
	I	487.8	549.2	579.36	601.2	611.0	599.2	588.0	537.1	528.7	454.3	400.4

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการทดลองวันที่ 5 ธันวาคม 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ต่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 70% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R134a	Te	46.1	71.9	113.7	143.5	155.6	165.6	168.6	169.5	167.6	166.0	164.0
	Tc	44.6	62.3	68.4	70.8	70.3	69.3	68.3	66.3	63.3	61.2	59.6
	Tg	33.0	33.6	37.4	38.9	39.6	42.1	43.5	40.3	38.6	40.3	38.7
	Tw1	25.0	26.6	28.9	30.9	31.9	33.7	34.9	36.3	37.2	38.8	39.8
	Tw2	25.0	26.7	29.0	31.0	32.0	33.9	35.1	36.5	37.5	39.1	40.0
R404a	Te	44.6	96.0	100.2	119.6	127.8	136.9	139.7	141.5	140.5	139.7	138.1
	Tc	45.3	67.1	85.4	94.7	98.4	102.6	103.7	104.8	104.5	104.3	103.8
	Tg	32.5	33.6	38.6	38.5	39.7	41.8	41.6	40.6	38.5	39.1	38.6
	Tw1	27.2	30.2	32.8	36.2	38.5	42.4	44.7	47.8	50.2	52.7	54.5
	Tw2	27.2	30.3	32.9	36.3	38.6	42.5	44.8	47.9	50.3	52.8	54.6
R410a	Te	48.3	76.1	100.6	112.8	116.1	121.1	122.3	123.3	122.7	121.7	120.4
	Tc	20.2	55.2	94.5	105.3	108.8	114.8	118.5	114.0	109.3	107.4	104.7
	Tg	32.8	34.8	39.7	40.3	41.6	42.7	42.6	42.2	39.8	39.6	39.7
	Tw1	27.1	29.1	32.2	35.1	36.9	40.4	42.2	45.1	47.4	49.7	51.5
	Tw2	26.9	28.6	31.6	34.4	36.3	39.7	41.5	44.5	46.8	49.2	51.0
	Tamb	25.9	27.6	31.7	35.4	34.5	34.5	33.9	32.6	32.9	35.7	31.1
	I	527.9	561.8	584.3	600.2	610.2	611.8	601.2	552.1	508.6	458.4	400.4

*หมายเหตุ T หน่วยเป็น °C และ I หน่วยเป็น W/m²

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองวันที่ 6 ธันวาคม 2556

ใบบันทึกข้อมูลการทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ที่อัตราส่วนการเติม 70% และสารทำงานคือ R123, R134a, R404a และ R410a

สารทำความเย็น		10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
R134a	Te	46.1	55.8	105.7	138.4	149.6	147.7	149.4	148.8	138.5	144.6	147.2
	Tc	24.7	31.6	43.9	51.1	53.4	52.4	53.5	52.4	50.2	53.3	55.3
	Tg	33.0	300.7	35.9	37.1	35.9	40.2	38.5	35.4	37.8	39.6	38.6
	Tw1	22.3	24.4	26.1	27.9	29.0	30.4	31.4	32.7	33.5	34.8	35.9
	Tw2	22.4	24.5	26.3	28.0	29.2	30.6	31.6	32.9	33.6	34.9	36.0
R404a	Te	44.6	60.2	102.4	125.2	131.1	124.9	127.1	125.2	112.8	122.5	125.8
	Tc	45.3	58.2	84.5	95.4	97.5	95.4	96.8	96.0	90.8	95.7	97.3
	Tg	32.5	32.7	33.2	38.2	36.0	38.5	32.8	30.4	34.5	35.8	35.3
	Tw1	22.3	25.1	28.4	31.5	34.2	36.8	38.9	41.2	42.9	45.2	46.9
	Tw2	22.4	25.2	28.5	31.6	34.3	36.9	39.0	41.3	43.0	45.3	47.0
R410a	Te	48.3	60.2	102.4	125.2	131.1	124.9	127.1	125.2	121.8	122.5	125.8
	Tc	20.2	58.2	84.5	95.4	97.5	95.4	96.8	96.0	90.8	95.7	97.3
	Tg	32.8	31.2	33.2	38.2	36.0	38.5	32.8	30.4	34.5	35.8	35.3
	Tw1	23.4	25.1	27.4	30.5	33.2	35.8	37.9	40.2	41.9	44.2	45.9
	Tw2	23.5	25.2	27.5	30.6	33.3	35.8	38.0	40.3	42.0	44.3	46.0
	Tamb	25.9	29.0	32.5	30.1	30.3	32.7	30.8	28.5	29.6	32.3	30.8
	I	520.6	534.4	580.2	62.8	565.3	441.2	420.7	412.5	401.1	394.8	392.1

*หมายเหตุ T หน่วยเป็น °C และ I หน่วยเป็น W/m²



ภาคผนวก ข

ตารางคุณสมบัติ

ตารางที่ ข.1 แสดงสมบัติของสารทำงาน R123, R134a, R404a และ R410a ที่สถานะของของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว [17]

ชื่อสารทำงาน	สมการเคมี	อยู่ในจำพวก	น้ำหนักโมเลกุล	ค่า ρ วิกฤต, (kg/m ³)	ρ ที่ 0°C	จุดเดือด
R123	CHCl ₂ CF ₃	HCFC	152.93	550.0	1523.7	27.85°C
R134a	CH ₂ FCF ₃	HFC	102.03	515.3	1293.3	-26.06°C
R404a	CHF ₂ CF ₃	HFC	97.60	484.5	1151.5	-46.45°C
R410a	CH ₂ F ₂	HFC	72.58	488.9	1176.7	-51.58°C

ตารางที่ ข.2 แสดงสมบัติของสารทำงาน R123 ณ เวลา 12:00 น. [17]

ชื่อสารทำงาน	FR (%)	Ta (°C)	P _{sat/sup} (kPa)	h _{fg} (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	h _f (kJ/kg)	ρ_f (kg/m ³)	ρ_g (kg/m ³)	V _f (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)	S _f (kJ/kg)(K)	S _g (kJ/kg)(K)
R123	50	57	262.38	157.6	414.4	256.8	1378.6	15.92	0.0007	0.0628	1.1876	1.6651

ตารางที่ ข.3 แสดงสมบัติของสารทำงาน R134a, R404a และ R410a ณ เวลา 12:00 น. [17]

ชื่อสารทำงาน	FR(%)	T (°C)	P วิกฤต (kPa)	T วิกฤต (°C)	ρ วิกฤต (kg/m ³)	V วิกฤต (m ³ /kg)
R134a	30	121	4060.3	101.08	515.3	0.00194
	50	110	4060.3	101.08	515.3	0.00194
	70	113	4060.3	101.08	515.3	0.00194
R404a	30	120	3731.5	72.07	484.5	0.00206
	50	101	3731.5	72.07	484.5	0.00206
	70	113	3731.5	72.07	484.5	0.00206
R410a	30	128	4926.1	72.13	488.9	0.00205
	50	105	4926.1	72.13	488.9	0.00205
	70	112	4926.1	72.13	488.9	0.00205



ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณหาค่าอัตราส่วนการเติมสารทำงาน

$$D_i = 0.0016$$

$$L = 48 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \pi \frac{(0.0016)^2}{4} = 2.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$V = A \times L = 2.01 \times 10^{-6} \times 48 = 9.65 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 30%

$$V_{50\%} = 9.65 \times 10^{-5} \times 0.3 = 2.89 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50%

$$V_{50\%} = 9.65 \times 10^{-5} \times 0.5 = 4.83 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

ที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 70%

$$V_{50\%} = 9.65 \times 10^{-5} \times 0.7 = 6.76 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

2. การคำนวณหาปริมาณความร้อนสะสม

$$\text{จาก } Q = MC_p \Delta T \quad (2.5)$$

โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อนสะสม, J

M คือ ปริมาณของน้ำในถัง, kg

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, J/kg-K

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำสะสม, K

วันที่ 29 ตุลาคม 2556 ที่อัตราส่วนการเติม 50% ของสาร R410a เวลา 10:30 น. :

$$Q = 1.5(4187)(1.9) = 11618.93 \text{ J}$$

3. การคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับ

$$\text{จาก } Q_{in} = A_c \int_{T_{wi}}^{T_{w2}} I dt$$

โดยที่ Q_{in} คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่, J

A_c คือ พื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์, m^2

$\int_{T_{wi}}^{T_{w2}} I dt$ คือ ค่าความเข้มแสง, J/m^2

วันที่ 29 ตุลาคม 2556 ที่อัตราส่วนการเติม 50% เวลา 10:30 น. :

$$Q_{in} = 0.0705(393)(1800) = 49871.70 \text{ J}$$

4. การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$$\text{จาก } \eta = \frac{Q}{Q_{\text{in}}} \times 100 = \frac{MC_p \Delta T}{A_c \int_{T_{w1}}^{T_{w2}} I dt} \times 100$$

โดยที่ η คือ ค่าประสิทธิภาพการทำงาน

วันที่ 29 ตุลาคม 2556 ที่อัตราส่วนการเติม 50% ของสาร R410a เวลา 10:30 น. :

$$\eta = \frac{11618.93}{49871.70} \times 100 = 23.30\%$$

5. การคำนวณหา $\frac{T_{\text{av}} - T_{\text{amb}}}{I_{\text{av}}}$

โดยที่ T_{av} คือ อุณหภูมิของน้ำในถังเฉลี่ย, °C

T_{amb} คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม, °C

I_{av} คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย, J/m²

วันที่ 29 ตุลาคม 2556 ที่อัตราส่วนการเติม 50% ของสาร R410a เวลา 10:30 น. :

$$\frac{T_{\text{av}} - T_{\text{amb}}}{I_{\text{av}}} = \frac{28.9 - 34.1}{393} = -0.0134$$