



รายงานโครงการวิจัย

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อชุมชน

Solar Hot Water System for the Community

ภาณุศักดิ์ มูลศรี และคณะ

สิงหาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 สถานที่ดำเนินการทดสอบ	3
1.7 แผนการดำเนินงาน	3
1.8 งบประมาณ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์	6
2.2 ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (Solar collector system)	8
2.3 หลักการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	9
2.4 ตัวรับรังสีอาทิตย์	13

2.5 การประเมินประสิทธิภาพระบบ	16
-------------------------------	----

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 รูปแบบการต่อแฉงรับรังสีอาทิตย์	19
2.7 การใช้ประโยชน์น้ำร้อน	20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 วิธีดำเนินการ	26
3.2 อุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	28
3.3 อุปกรณ์วัดและบันทึกข้อมูล	38
3.4 การประกอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	41
3.5 ตำแหน่งจุดตรวจวัด	45
3.6 ขั้นตอนการทดลอง	47
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองการปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าตัวรับรังสี อาทิตย์ 10 ระดับ	49
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองของการปรับอุณหภูมิน้ำรวมตัวรับรังสี	57
4.3 ประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	68
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	73
ก การเขียนแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	74
ข ใบตรวจสอบตลอดการเก็บรวบรวมข้อมูล	83
ค ตัวอย่างการคำนวณ	89

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนที่ตั้งกายภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	6
2.2 การแปลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ	8
2.3 ระบบหมุนเวียนน้ำมีการหมุนเวียนน้ำไปถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ (Circulate)	10
2.4 ระบบความร้อนเสริม (Heater)	12
2.5 ระบบจ่ายน้ำร้อนและน้ำไหลเวียนกลับ	13
2.6 ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ	14
2.7 ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ	15
2.8 วงจรการนำน้ำร้อนไปใช้งานและน้ำไหลกลับถึงพักน้ำร้อน	17
2.9 การต่อแผงรับรังสีอาทิตย์แบบขนาน	20
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	28
3.2 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	29
3.3 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบวัตถุภายในสีดำผลิตขึ้นเอง	30
3.4 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำผลิตจากต่างประเทศ	30
3.5 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบโดยวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า	31
3.6 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ	31
3.7 ถังเก็บน้ำร้อน	32
3.8 ปั๊มน้ำขนาด 0.5 HP	33
3.9 ปั๊มน้ำขนาด 0.36 HP	33
3.10 ขดลวดทำความร้อน	33

3.11 วาล์วประตู	34
-----------------	----

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.12 บอลวาล์ว	34
3.13 วาล์วกันกลับ	35
3.14 วาล์วระบายอากาศอัตโนมัติ	35
3.15 กรองรูปตัววาย	36
3.16 ส่วนประกอบระบบ PLC	37
3.17 ส่วนประกอบระบบจ่ายไฟ	37
3.18 เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์	38
3.19 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ	38
3.20 เครื่องวัดอุณหภูมิ	39
3.21 เครื่องวัดอัตราการไหล	39
3.22 สายเทอร์โมคัปเปิล	40
3.23 เกจวัดอุณหภูมิ	40
3.24 เครื่องวัดการไหล	41
3.25 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านไอโซเมตริก	41
3.26 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านซ้าย	42
3.27 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านขวา	43
3.28 แบบจำลองมุมมองระบบผลิตน้ำร้อน	43
3.29 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านหลัง	44
3.30 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านหน้า	45

3.31 จุดตรวจวัดค่าอุณหภูมิและอัตราการไหล	46
4.1 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำ	52
4.3 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง	53
4.4 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T9	54
4.5 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T10	54
4.6 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T11	55
4.7 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T12	55
4.8 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุดของตัวรับรังสีแต่ละแบบ	57
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.26	58
4.10 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.26	59
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.30	60
4.12 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.30	60
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.35	62
4.14 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.35	63
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.40	64
4.16 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.40	65
4.17 ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแต่ละแบบ	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในช่วงการปรับวาล์วแต่ละรอบ	50
4.2 ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยการปรับอุณหภูมิน้ำ	66
ทางออก	

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์เจิมรง ปราณารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความรู้ตลอดจนแนวทางแก้ปัญหาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างมาก ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการวิจัย ตลอดจนบุคลากรและนักศึกษาทุกคน และโครงการนี้จะเกิดขึ้นมาได้ต้องขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่อุดหนุนงบประมาณกับโครงการวิจัย ตามมติคณะรัฐมนตรี ปีงบประมาณ 2559

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจให้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ภาณุศักดิ์ มูลศรี และคณะ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
Q_s	ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้ในถังเก็บน้ำร้อน, kJ
$m_{w,s}$	มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, kg
$C_{p,w}$	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg. °C
$T_{and,s}$	อุณหภูมิที่เวลาเริ่มต้นภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C
$T_{initial,s}$	อุณหภูมิที่เวลาสุดท้ายภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C
Q_{loss}	ปริมาณการถ่ายความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้กับน้ำ, kJ
	การสูญเสียความดันของของไหล, kJ
η_c	ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์, (%)
$\dot{Q}$	ปริมาณความร้อนที่ได้, kJ
A_c	พื้นที่รับรังสีอาทิตย์, m ²
I_c	ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง, W / m ²
Q_s	ปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน, kJ
H_{tot}	ผลรวมค่ารังสีที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี, kJ
I_T	ค่ารังสีรายวัน, W
$\dot{m}$	อัตราการไหลของของไหล, kg / s
ρ	ค่าความหนาแน่นของของไหล, kg / m ³
V	ความเร็วของของไหล, m / s
A	พื้นที่หน้าตัด, m ²

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สภาพอากาศของประเทศไทยในปัจจุบันถือได้ว่าเหมาะสมกับการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ จากข้อมูลการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่ามีค่าเท่ากับ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ซึ่งเป็นศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากประเทศอื่น ๆ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2542) จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มีความน่าสนใจ

โดยปัจจุบันมีโรงพยาบาล โรงเรียน โรงแรมและรีสอร์ท จำนวนมากตามชุมชนหรือพื้นที่ต่าง ๆ ต้องใช้น้ำร้อนในการอุปโภค เช่น โรงแรมใช้น้ำร้อนสำหรับอาบน้ำ หรือเพิ่มอุณหภูมิในสระว่ายน้ำ โรงพยาบาลใช้น้ำร้อนสำหรับซักผ้าเพื่อฆ่าเชื้อโรค โรงเรียนใช้น้ำร้อนให้เด็กเล็กอาบน้ำหรือล้างจาน เพื่อสุขอนามัยที่ดี ส่วนใหญ่ใช้น้ำร้อนจากการต้มน้ำโดยก๊าซหุงต้ม หรือจากเครื่องทำน้ำอุ่นที่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมกับคุณค่าของพลังงาน และมีราคาแพง ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ในการลดต้นทุนด้านพลังงานให้กับสถานประกอบการต่าง ๆ อีกทั้งเป็นพลังงานสะอาดสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงฟอสซิลได้

โครงการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ (Solar collector system) โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 แบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน และทำการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพื่อเป็นชุดสาธิตสำหรับการศึกษาและจัดอบรมถ่ายทอดความรู้ให้กับสถานประกอบการที่สนใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อสร้างชุดสาธิตระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 แบบ

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ใช้ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบแตกต่างกัน 4 แบบ คือ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ

1.3.2 พื้นที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ขนาดตัวละ 2 m^2

1.3.3 ควบคุมการทำงานด้วยระบบ PLC (Programmable Logic Controller)

1.3.4 ขนาดถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 1,000 L

1.3.5 ไม่มีการเปิดใช้น้ำร้อนจากระบบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี มีระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์สำหรับเป็นตัวอย่างในการถ่ายทอดความรู้ให้กับสถานประกอบการที่สนใจ

1.4.2 เป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจให้กับสถานประกอบ

1.4.3 เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 สุญญากาศ คือ ปริมาตรช่องว่างที่ไม่มีอากาศหรือโมเลกุลใด ๆ อยู่ภายใน

1.5.2 ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน จากนั้นถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ มีแผ่นปิดด้านบนเป็นผิวเรียบ

1.5.3 ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector) คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนชนิดหนึ่ง มีท่อแก้วใสเรียงเป็นแถว ภายในท่อแก้วมีสองชั้น ชั้นในเคลือบด้วยสารดูดกลืนรังสี ช่องว่างระหว่างชั้นเป็นสุญญากาศเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

1.6 สถานที่ดำเนินการทดสอบ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

1.7 แผนการดำเนินงาน

แผนงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน พ.ศ. 2559						
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล							
2. ออกแบบและสร้างชุดทดลอง							
3. ทดลองระบบการทำงาน							
4. สรุปผลการทดลอง							
5. จัดทำรายงาน							

1.8 งบประมาณ

รายการ	จำนวน	รวม (บาท)
1. ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำ	1 แผง	15,000
2. ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า	1 แผง	18,000
3. ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำทำเอง	1 แผง	9,000
4. ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ	1 แผง	15,000
5. ถังพักน้ำร้อน	1 ถัง	120,000
6. ปั๊มน้ำขนาด 0.5 HP	2 เครื่อง	3,200
7. ปั๊มน้ำขนาด 0.36 HP	1 เครื่อง	3,000
8. ขดลวดทำความร้อน	1 เครื่อง	1,200
9. วาล์วประตูขนาด 3/4 in	4 อัน	1,880
10. บอลวาล์วขนาด 3/4 in	17 อัน	4,760
11. วาล์วกันกลับขนาด 3/4 in	2 อัน	920
12. ระบายอากาศอัตโนมัติ	2 อัน	2,600
13. กรองรูปตัววายขนาด 3/4 in	1 อัน	640
14. เกจวัดอุณหภูมิ	3 อัน	2,550
15. มิเตอร์ไฟฟ้า	1 อัน	550
18. จุดวัดอุณหภูมิ	12 จุด	12,000
19. เครื่องวัดการไหล	6 อัน	42,000
20. ยูเนียนเหล็กขนาด 3/4 in	6 อัน	1,320
21. สามทางเหล็กขนาด 3/4 in	3 อัน	315
22. นิปปเปิ้ลเหล็กขนาด 3/4 in	12 อัน	1,032
23. ลดเหลี่ยมเหล็กขนาด 3/4 in	12 อัน	900
24. ข้องอ 90° ทองแดงขนาด 3/4 in	20 อัน	920
25. สามทางทองแดงขนาด 3/4 in	10 อัน	900
26. เกลียวนอกทองแดงขนาด 3/4 in	8 อัน	480
27. ข้องอ 90° PVC ขนาด 3/4 in	5 อัน	25
28. ท่อทองแดงขนาด 3/4 in	30 เมตร	25,500

รายการ	จำนวน	รวม (บาท)
29. ท่อ PVC ขนาด 3/4 in	4 เส้น	60
30. ท่อ PPR ขนาด 3/4 in	4 เส้น	600
31. สามทาง PPR ขนาด 3/4 in	1 อัน	22
32. ข้องอ PPR ขนาด 3/4 in	9 อัน	207
33. ข้องอ 90° เกลียวนอก PPR ขนาด 3/4 in	1 อัน	132
34. ท่อร้อยสายขนาด 1/2 in	2 เส้น	78
35. ข้อโค้ง 90° ท่อร้อยสายขนาด 1/2 in	3 อัน	24
36. ถังพลาสติกทรงกระบอก 200 L	4 ถัง	2,000
37. ซิลิโคนใส TOA	4 อัน	300
38. เทปพันเกลียว	10 อัน	200
39. ต่อตรงเกลียวใน PVC ขนาด 1/2 in	15 อัน	75
40. ต่อตรงเกลียวนอก PVC ขนาด 1/2 in	15 อัน	75
41. โครงสร้าง	18 ตรม.	63,000
42. โครงเสา	2 คู่	20,000
43. ฉนวนกันความร้อนขนาด 1 in	30 เมตร	10,500
44. ชุดควบคุม PLC	1 ชุด	100,000
รวม		480,965

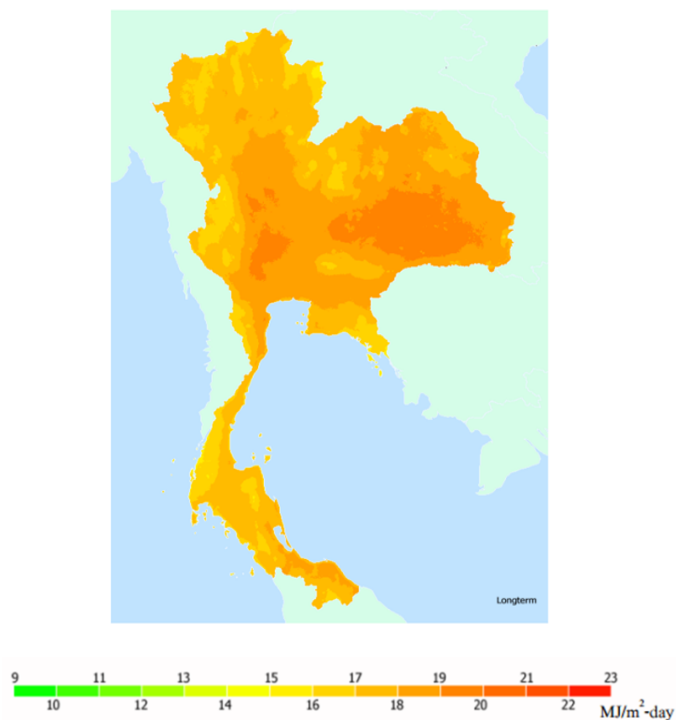
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ จำเป็นจะต้องเข้าใจถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในเรื่องหลักการทำงานของระบบ อุปกรณ์ภายในระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้มีการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ.2542) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

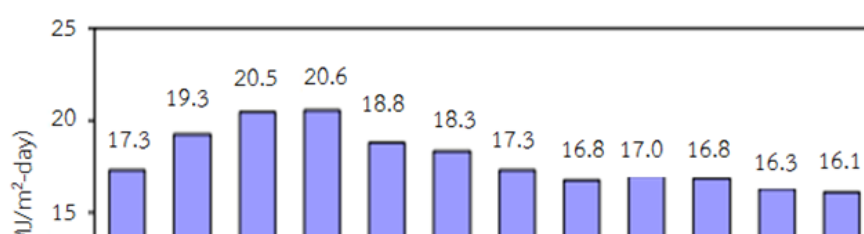


ภาพที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2542)

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ในแต่ละเดือนของประเทศไทย ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง $20 - 24 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีอยู่ในช่วง $19 - 20 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย และพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง $18 - 19 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้มีการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ที่คำนวณได้จะแปรค่าในรอบปีอยู่ในช่วงระหว่าง $16 - 21 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ โดยค่าจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม และสูงสุดในเดือนเมษายน หลังจากนั้นค่าความเข้มรังสีค่อย ๆ ลดลงต่ำอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและค่าความเข้มรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนกันยายน ค่าความเข้มรังสีมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม จากการวัดค่ารังสีอาทิตย์พบว่าค่ารังสีอาทิตย์ในประเทศไทยมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำรังสีอาทิตย์มาใช้ประยุกต์ทางด้านพลังงานรังสีอาทิตย์ เช่น ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์



ภาพที่ 2.2 การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ
ที่มา : (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2542)

2.2 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ (Solar collector system)

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ คือ การใช้ความร้อนจากแหล่งความร้อนที่เกิดขึ้นตามกลไกของธรรมชาติโดยอาศัย การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนมาผลิตน้ำร้อนหลัก ๆ สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ ระบบการไหลเวียนตามธรรมชาติ (Thermosyphon system) ระบบการไหลเวียนแบบบังคับ (Force circulation) ระบบแบบผสมผสาน (Solar hybrid system) และสามารถแบ่งตัวรับรังสีหลัก ๆ 3 ประเภท ได้แก่ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat-plate solar collector) ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrating solar collector) ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector) ซึ่งตัวรับรังสีทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลภายในตัวรับรังสีอาทิตย์ทำให้ของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการสูญเสียความร้อนน้อยและสามารถถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนให้แกของไหลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปตัวรับรังสีอาทิตย์จะยึดติดอยู่กับที่ หันหน้าไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณละติจูดของตำแหน่งที่อยู่ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมากกว่า เนื่องจากการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษาสามารถรับรังสีตรงและรังสี

กระจายได้ แต่ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงนั้นจะทำงานได้เฉพาะกรณีที่รังสีตรงเท่านั้น อุณหภูมิ น้ำร้อนที่ได้จากของตัวรับรังสี จะอยู่ในช่วงใดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น ค่ารังสี อาทิตย์ ค่าการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสี ถึงเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิของอากาศโดยรอบและค่า ประสิทธิภาพของระบบโดยรวม และได้มีการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงาน รังสีอาทิตย์แบบมีแรงดันและไม่มีแรงดัน ระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์มี 2 ระบบ คือ ระบบที่ ของเหลวไหลเวียนแบบธรรมชาติหรือระบบไม่มีแรงดันและระบบการไหลเวียนแบบบังคับหรือระบบมี แรงดันดังต่อไปนี้

2.2.1 ระบบมีแรงดัน

ข้อดี น้ำร้อนไหลเร็วและทั่วถึง ติดตั้งถึงเก็บน้ำร้อนไว้สูงหรือต่ำกว่าแผงรับรังสีก็ได้ นอกจากนี้สามารถใช้ได้กับระบบน้ำหมุนเวียนธรรมดา สามารถปรับอัตราการไหลได้ ทำการทดลองได้ อย่างสะดวกรวดเร็ว และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำร้อน

ข้อเสีย ต้นทุนในการผลิตสูงต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตสูงหากมีอัตราการไหลมีค่ามาก เกินไปน้ำเย็นจะไม่สามารถรับความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ได้ดีเท่าที่ควร

2.2.2 ระบบไม่มีแรงดัน

ข้อดี ใช้ต้นทุนต่ำสามารถผลิตน้ำร้อนจำนวนมาก ๆ ได้สะดวกรวดเร็ว

ข้อเสีย มีจุดอ่อนที่ลู่กลอย เพราะอาจเกิดติดขัดหรือจมทำให้น้ำล้นหรือน้ำไม่เข้าตัวถังเก็บ น้ำร้อนจะต้องอยู่ส่วนบนของอาคารและมีสนิม หินปูน เกิดขึ้นรวดเร็วกว่าระบบที่มีแรงดัน เพราะมี อากาศเข้ามาปะปนในถังพักน้ำร้อน ทนแรงดันสูงไม่ได้

ทำงานระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

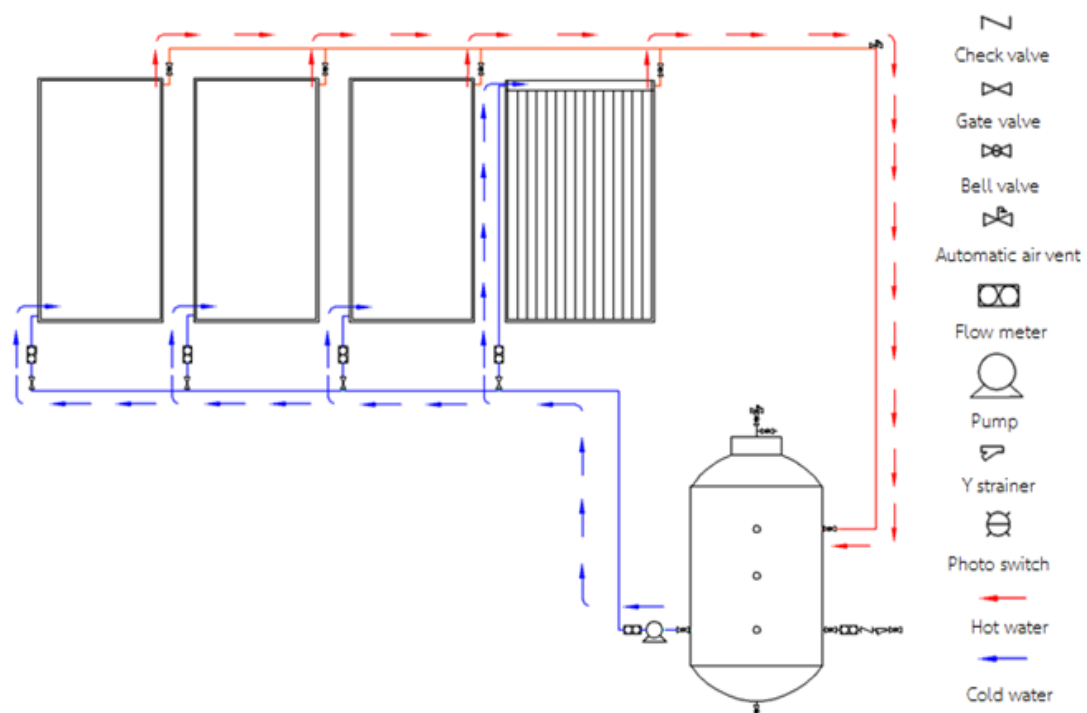
หลักการทำงานระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ มี 3 ระบบ แต่ละระบบนั้นทำหน้าที่แตกต่างกัน ออกไปดังนี้

2.3.1 ระบบหมุนเวียนน้ำมีการหมุนเวียนน้ำไปถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์

(Circulate) เป็นระบบหลักในการผลิตน้ำร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยที่ระบบจะทำการหมุนเวียน

น้ำด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำที่สุดในถังเก็บน้ำร้อน ไปรับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากนั้นก็ไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อนบริเวณด้านบนของถังเก็บน้ำร้อน โดยมีการควบคุมการไหลจากปั้มน้ำ ใช้อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.03 L/s-m^2 เนื่องจากเป็นค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมตามมาตรฐานการปรับตั้งค่าอัตราการไหลของน้ำของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน

และอนุรักษ์พลังงาน โดยการทำงานของระบบถูกควบคุมให้ทำงานเฉพาะเวลากลางวันชุดสวิทช์แสงแดด (Photo switch) เพื่อไม่ให้น้ำร้อนสูญเสียความร้อนในเวลากลางคืน ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำด้วยชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นสากล (Universal electronic controller) โดยปั้มน้ำจะทำงานเมื่ออุณหภูมิระหว่างน้ำในถังเก็บน้ำร้อนด้านล่างกับอุณหภูมิน้ำบริเวณทางออกของตัวรับรังสีอาทิตย์รวมมีค่าต่างกัน 5°C



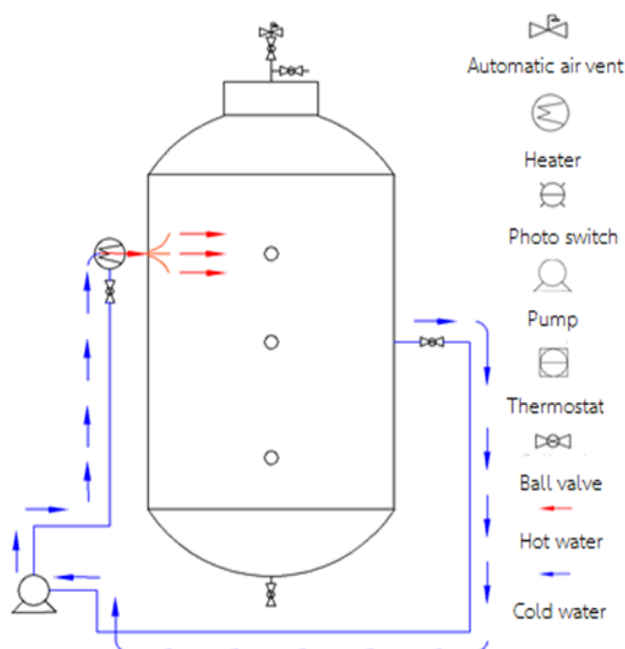
ภาพที่ 2.3 ระบบหมุนเวียนน้ำมีการหมุนเวียนน้ำไปถ่ายเทความร้อน
จากตัวรับรังสีอาทิตย์ (Circulate)

2.3.2 ระบบความร้อนเสริม (Heater) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เป็นระบบที่ทำน้ำร้อนเสริมให้กับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ในช่วงเวลาที่ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ไม่สามารถ

ผลิตน้ำร้อนได้ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีรังสีอาทิตย์หรือช่วงฤดูกาลที่มีรังสีอาทิตย์น้อย จึงได้ใช้ระบบความร้อนเสริมโดยใช้เครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า ซึ่งระบบความร้อนเสริมนี้จะมีการปรับตั้งเงื่อนไขให้ทำงาน โดยจะขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิที่จะมีการปรับตั้งให้มีการเริ่มทำงานหรือหยุดทำงาน ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ซึ่งเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ตามการถ่ายเทความร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อนโดยตรงและถ่ายเทความร้อนโดยอ้อมเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้านั้นติดตั้งง่ายและมีประสิทธิภาพสูงถึง 80 - 90% และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจึงสามารถแบ่งชนิดเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้าได้ดังนี้

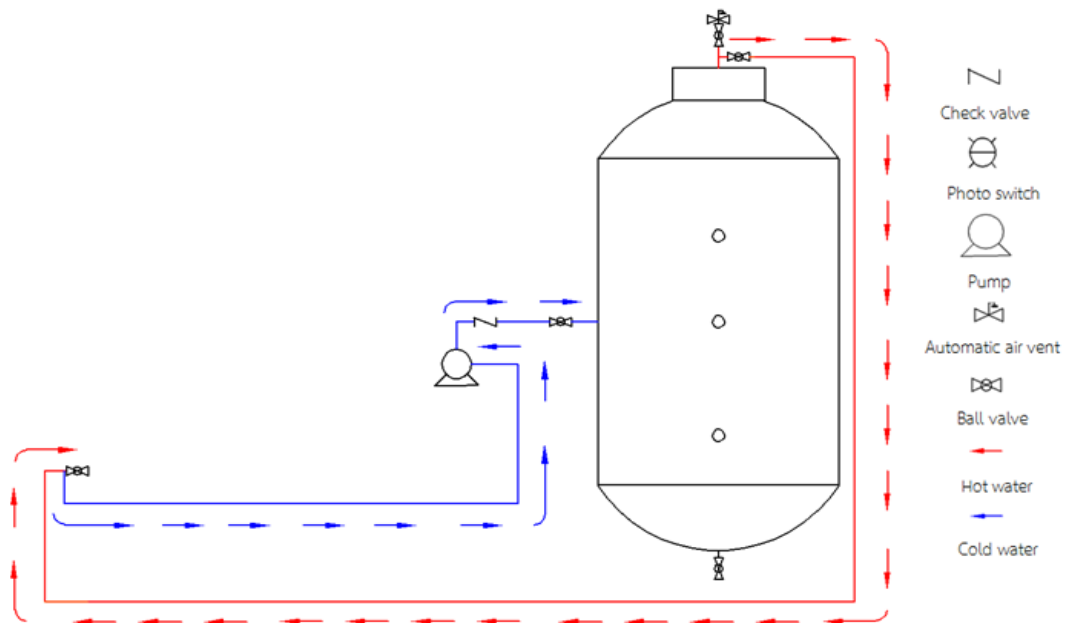
2.3.2.1 เครื่องทำความร้อนแบบหม้อต้ม มีลักษณะการทำความร้อนโดยให้น้ำจะไหลเข้าสู่หม้อต้มที่มีความร้อนเพื่อรับความร้อนและจะไหลออกจากหม้อต้มเมื่อได้รับความร้อนที่เหมาะสม

2.3.2.1 เครื่องทำความร้อนแบบน้ำผ่าน มีลักษณะการทำความร้อน โดยขดลวดให้ความร้อนจะอยู่ภายในท่อจะให้ของของเหลว ไหลผ่านขดลวดเพื่อรับความร้อนและไหลออกไปใช้งาน ระบบควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงาน (Timer switch) และเทอร์โมสแตต (Thermostat) เป็นอุปกรณ์ตั้งช่วงเวลาการทำงานและควบคุมการทำงานด้วยอุณหภูมิในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อรองรับการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในขณะที่ระบบไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ทันต่อความต้องการของผู้ใช้โดยอุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงานกำหนดเวลาการทำงานที่ 04.30 – 05.00 น., 07.30 – 08.00 น., 19.35 – 20.15 น. และ 22.35 – 23.15 น. ของทุกวันสั่งให้เทอร์โมสแตตทำงาน แต่ระบบจะทำงานเมื่ออุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนต่ำกว่า 35 °C



ภาพที่ 2.4 ระบบความร้อนเสริม (Heater)

2.3.3 ระบบจ่ายน้ำร้อนและน้ำไหลเวียนกลับ (Return) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เป็นระบบจ่ายน้ำไปใช้ในห้องพัก และใช้ไหลเวียนน้ำร้อนที่ค้างภายในท่อ โดยที่ระบบจะทำการปั้มน้ำร้อนบริเวณด้านบน



บนของถังเก็บน้ำร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุด เพื่อจ่ายน้ำร้อนไปยังห้องพักหรือแหล่งที่มีการใช้น้ำร้อน ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงาน 2 ตัว เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานตามเวลาที่กำหนดเพื่อให้น้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนไหลเวียนไปพร้อมใช้งานตามจุดที่มีการใช้งาน โดยอุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงาน ตัวแรกตั้งเวลาทำงาน 07.30 น., 14.00 น., 16.35 น., 18.35 น., 20.00 น., 22.00 น., 24.00 น. และ 01.35 น. แต่ต้องทำงานครั้งละ 1.30 นาที ของทุกวัน สั่งให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic contactor) ทำงานเพื่อกระจายกระแสไฟฟ้าไปที่ปั้มน้ำระบบจ่ายน้ำร้อน ทำงานตามเวลาที่กล่าวไว้ข้างต้น และอุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงานตัวที่ 2 ทำงานต่อจากอุปกรณ์ตั้งเวลา

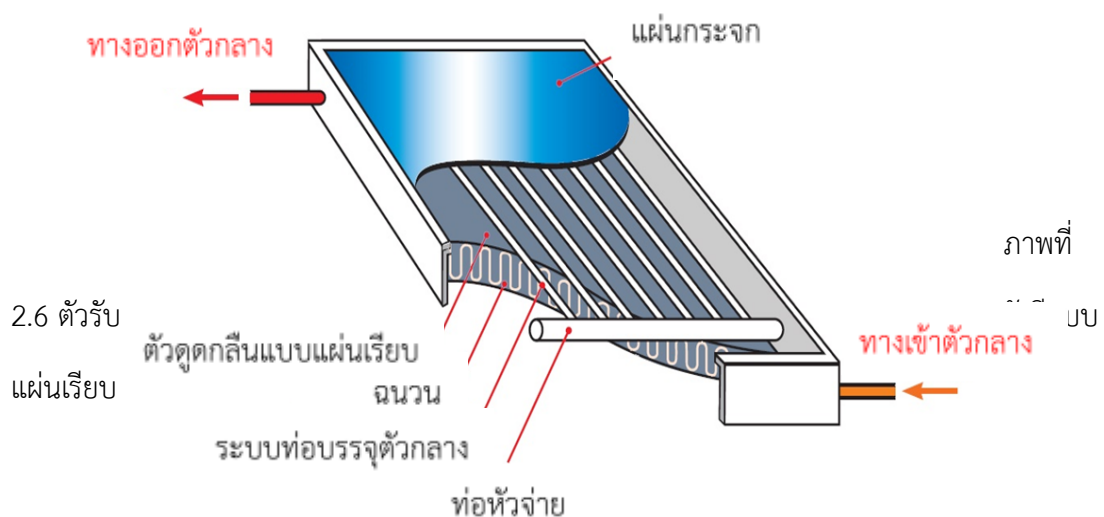
การทำงานตัวแรก แต่เป็นการนับเวลาหยุดประมาณ 1.30 นาที ของทุกเวลาที่กำหนดตามอุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงาน ตัวแรกโดยสั่งให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์หยุดทำงานเพื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำระบบจ่ายน้ำร้อนการปรับตั้งเวลาการทำงานของระบบน้ำไหลเวียนกลับนั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมหรือลักษณะการใช้น้ำร้อนของผู้ใช้งาน เพื่อลดการสูญเสียความร้อนและลดการใช้พลังงานจะสามารถกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

ภาพที่ 2.5 ระบบจ่ายน้ำร้อนและน้ำไหลเวียนกลับ

2.4 ตัวรับรังสีอาทิตย์

ตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ซึ่งมีส่วนประกอบแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับผู้ผลิตหลัก ๆ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังต่อไปนี้

2.4.1 ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ มีลักษณะเป็นแผ่นราบเรียบทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนหรือถ่ายเทความร้อนให้กับของของไหลซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ๆ 4 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ที่มา : (Energy without carbon, 2015)

2.4.1.1 แผ่นดูดกลืนรังสี ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทให้กับของไหล โดยของไหลจะไหลในท่อที่ประกอบติดกับตัวรับรังสี ที่สามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี ทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี และไม่สูญเสียสมบัติที่สำคัญในการถ่ายเทความร้อนให้อุณหภูมิสูง ในปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีของตัวรับรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความสามารถของตัวรับรังสี สามารถดูดกลืนรังสีได้มากขึ้น และลดการใช้ตัวรับรังสีที่ใช้สีในการดูดกลืนความร้อน การเคลือบด้วยสารเคมีต่าง ๆ วัสดุที่นิยมใช้ทำตัวรับรังสีในปัจจุบัน เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม และเหล็ก เป็นต้น

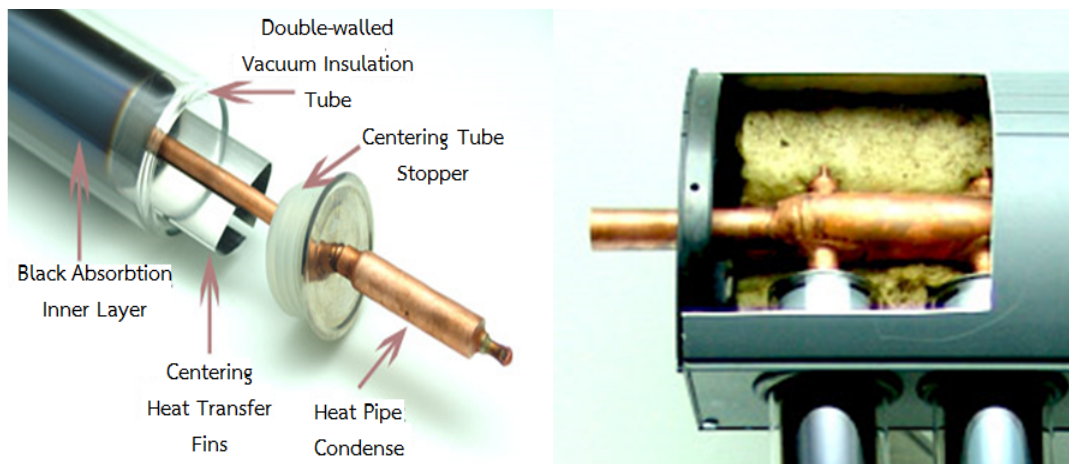
2.4.1.2 แผ่นโปร่งแสง ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้านบนเนื่องจากลม และป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี แผ่นครอบใสต้องมีคุณสมบัติที่สามารถต้านทานการแผ่รังสี และสามารถส่งผ่านรังสีความยาวคลื่นสั้นไปยังตัวรับรังสี แผ่นครอบใสส่วนใหญ่ทำจากกระจกที่มีค่าการส่งผ่านรังสีได้มากที่สุด

2.4.1.3 ฉนวนความร้อน ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านข้างและด้านล่างของตัวรับรังสีอาทิตย์โดยใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น โยแก้วหรือพอลิยูรีเทนโฟม เป็นต้น ฉนวนที่ใช้ควรมีคุณสมบัติ คือ สามารถทนต่อความร้อนได้สูง ทนต่อความชื้นได้มาก ไม่ติดไฟ ไม่สะสมความร้อน ไม่ทำปฏิกิริยาเคมี และไม่มีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีอาทิตย์

2.4.1.4 ท่อ ทำหน้าที่เป็นทางส่งผ่านของของไหล เพื่อรับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยอาจมีลักษณะคดเคี้ยวหรืออาจมีลักษณะเป็นท่อหลายท่อต่อขนานกัน โดยยึดติดกันกับตัวรับรังสีอาทิตย์ ท่อของของไหลควรมีสมบัติในการนำความร้อนที่ดี และทนต่อการกัดกร่อนส่วนใหญ่ในปัจจุบันนิยมใช้ท่อทองแดงโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยท่อเฮดเดอร์ (Heatder) และท่อไรเซอร์ (Riser)

2.4.2 ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นหลอดแก้วซ้อนกันสองชั้นระหว่างหลอดแก้วสองชั้นมีภาวะเป็นสุญญากาศ โดยทั่วไปท่อตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต้องทำมุมเอียงกับแนวระนาบและมีเทคนิคการผลิตที่แตกต่างกันออกไป (แล้วแต่ผู้ผลิต) ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศมีประกอบหลัก ๆ 5 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

ที่มา : (Solar panels plus, 2014)

2.4.2.1 หลอดแก้วกันความร้อนสุญญากาศ (Vacuum insulation tube) ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ได้รับ ไม่ให้ความร้อนที่ได้รับระบายออกอย่างง่ายทำให้สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูง

2.4.2.2 จุกปิดหลอดแก้ว (Centering tube stopper) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญทำหน้าที่อุดหลอดแก้วสองชั้นและป้องกันการถ่ายเทความร้อนทำให้หลอดแก้วทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.2.3 ท่อความร้อนคอนเดนเซอร์ (Heat pipe condenser) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับของของไหล โดยภายในท่อความร้อนคอนเดนเซอร์ ภายในจะมีสารทำงานหรือ

สารทำความเย็นที่มีจุดเดือดต่ำเมื่อได้รับรังสีอาทิตย์จนทำให้สารทำงานเดือดระเหยเป็นไอลอยขึ้นเพื่อไปถ่ายเทความร้อน เมื่อสารทำงานสูญเสียความร้อน เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ของเหลวจะถูกดูดซับด้วยวัสดุที่มีชื่อเรียกว่า " WICK " ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนฟองน้ำหรือผ้าด้ายดิบ เป็นตัวดูดซับของเหลวหลังจากเกิดการกลั่นตัวของไอแล้ว เพื่อให้ของเหลวที่กลั่นตัวนั้นไหลกลับไปยังบริเวณฐานและปล่อยให้ไอนั้นไหลขึ้นมาได้บริเวณกึ่งกลางท่อที่ปล่อยโล่งไว้เพื่อถ่ายเทความร้อนต่อไป

2.4.2.4 ครีบทัวกลางถ่ายเทความร้อน (Centering heat transfer fins) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อ (Heat pipe) ทำอุณหภูมิภายในภายในหลอดแก้วสุญญากาศมีความเสถียรมากขึ้น โดยทั่วไปครีบทัวจะทำด้วยวัสดุประเภทอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นวัสดุที่รับความร้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดี

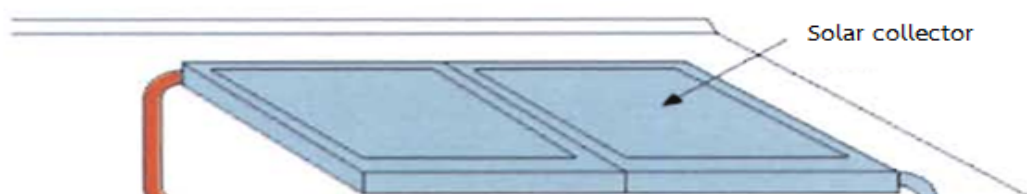
2.4.2.5 ชั้นดูดซึมภายในสีดำ (Black absorbtion inner layer) ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ซึ่งสีดำนั้นมีความสมบัติในการดูดซับความร้อนได้ดี ทำให้อุณหภูมิภายในหลอดแก้วสูงขึ้นเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับครีบทัวภายในได้เป็นอย่างดี

2.5 การประเมินประสิทธิภาพระบบ

การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถแบ่งระบบในการทำงานได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะการทำงานในการหมุนของของไหลเพื่อรับความร้อน

2.5.1 การหมุนเวียนของของไหลแบบธรรมชาติหรือเทอร์โมไซฟอนเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนของของไหลแบบธรรมชาติ เป็นระบบที่ของไหลสามารถไหลได้โดยอาศัยความหนาแน่นหรือความแตกต่างของของไหลและความแตกต่างของความสูง ระบบที่ใช้หลักการไหลแบบธรรมชาตินี้จะมีขนาดเล็กและมีอุปกรณ์น้อยง่ายต่อการบำรุงรักษา

2.5.2 การหมุนเวียนของของไหลแบบบังคับ ระบบการหมุนเวียนของของไหลแบบบังคับส่วนใหญ่จะใช้ปั๊มในการบังคับน้ำเพื่อรับความร้อนโดยทั่วไประบบที่ใช้การหมุนเวียนแบบบังคับจะเป็นระบบใหญ่ประกอบด้วยแผงเป็นจำนวนมากวงจรการนำน้ำร้อนไปใช้งานและน้ำไหลกลับถึงเก็บน้ำร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 วงจรการนำน้ำร้อนไปใช้งานและน้ำไหลกลับถึงเก็บน้ำร้อน

ที่มา : (เนตร ภูประสม, 2556)

พลังงานความร้อนระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ใช้ประโยชน์ได้ สามารถคำนวณได้

จากสมการ

$$Q_s = (m_{w,s})(C_{p,w})(T_{and,s} - T_{initial,s})$$

(2.1)

เมื่อ Q_s = ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้ในถังเก็บน้ำร้อน, kJ

$m_{w,s}$ = มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, kg

$C_{p,w}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg.°C

$T_{and,s}$ = อุณหภูมิที่เวลาเริ่มต้นภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C

$T_{initial,s}$ = อุณหภูมิที่เวลาสุดท้ายภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนให้น้ำของตัวเก็บรังสี สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = (m_{w,s})(C_{p,w})(T_{and,s} - T_{initial,s}) + \text{loss}$$

(2.2)

เมื่อ Q = ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้กับน้ำ, kJ

$m_{w,s}$ = มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, kg

$C_{p,w}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg.°C

$T_{and,s}$ = อุณหภูมิของน้ำที่เวลาเริ่มต้นภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C

$T_{\text{initial},s}$ = อุณหภูมิของน้ำที่เวลาสุดท้ายภายในถังเก็บน้ำร้อน, °C

$loss$ = การสูญเสียความดันของของไหล, kJ

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \left(\frac{\int Q_s dt}{Ac \int I_T dt} \right) (100\%) = \left(\frac{Q_s}{H_{\text{tot}}} \right) (100\%)$$

(2.3)

เมื่อ Q_s = ปริมาณความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อน, kJ

A_c = พื้นที่ตัวรับรังสี, m^2

H_{tot} = ผลรวมค่ารังสีที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี, kJ

I_T = ค่ารังสีรายวัน, W

ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ (%) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_c = \left(\frac{\sum Q}{I_T A_c} \right) (100\%)$$

(2.4)

เมื่อ η_c = ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์, (%)

$\sum Q$ = ปริมาณความร้อนที่ได้, kJ

$$A_c = \text{พื้นที่รับรังสีอาทิตย์, m}^2$$

$$I_c = \text{ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง, W/m}^2$$

อัตราการไหลของของไหลสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\dot{m} = \rho V A \quad (2.5)$$

$$\text{เมื่อ } \dot{m} = \text{อัตราการไหลของของไหล, kg/s}$$

$$\rho = \text{ค่าความหนาแน่นของของไหล, kg/m}^3$$

$$V = \text{ความเร็วของของไหล, m/s}$$

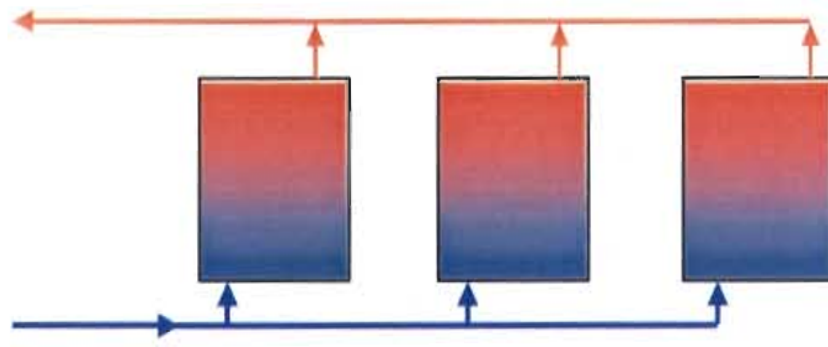
$$A = \text{พื้นที่หน้าตัด, m}^2$$

2.6 รูปแบบการต่อแผงรับรังสีอาทิตย์

การต่อแผงรับรังสีอาทิตย์ ควรมีอัตราการไหลของของไหลสม่ำเสมอเท่ากันทุกแผง ซึ่งจะทำให้แผงรับรังสีอาทิตย์ทุกแผงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้งานได้ทุกแผงไม่ว่าจะเป็นการต่อแผงรับรังสีอาทิตย์แบบใดควรประเมินขนาดของท่อต่าง ๆ ที่มีผลต่อไหลและความร้อน

การต่อแผงรับรังสีอาทิตย์แบบขนานในทางทฤษฎีการต่อแผงรับรังสีอาทิตย์แบบขนานนั้นจะทำให้มีอัตราการไหลของของไหลและถ่ายโอนความร้อนผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์เท่ากันทุกแผงแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละชุดต้องมีอัตราการไหลของสารถ่ายโอนความร้อนไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งปกติอัตรา

การไหลมีค่าระหว่าง $40 - 80 \text{ L/h/m}^2$ ของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบระบบน้ำ ร้อนดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การต่อแผงรับรังสีอาทิตย์แบบขนาน

ที่มา : (เนตร ภูประสม, 2556)

2.7 การใช้ประโยชน์น้ำร้อน

ปัจจุบันน้ำร้อนเป็นน้ำที่ถูกนำมาใช้กับการอุปโภคและบริโภคกันอย่างกว้างขวาง และการใช้น้ำ ร้อนที่ดีนั้นควรมีอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เหมาะสมกับการใช้น้ำร้อนซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

2.7.1 การใช้ประโยชน์น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 35°C

น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 35°C ซึ่งจะสามารถใช้อาบ ใช้ล้างมือ ใช้ล้างหน้าซึ่ง การอาบนํ้าอุ่นนั้นหรือแช่นํ้าอุ่นนานๆนั้นจะทำให้รูขุมขนขยายตัวมากขึ้นและจะขับถ่ายของเสียออก จากร่างกายได้ดีรวมถึงช่วยคลายกล้ามเนื้อและคลายปวดเมื่อย ช่วยให้การไหลเวียนโลหิตดีขึ้น ลดความหยาบกร้านของผิวหนังและทำให้ผิวพรรณสวยงามอีกด้วย

2.7.2 การใช้ประโยชน์น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°C

น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ สามารถนำมาใช้ในการสร้างความอบอุ่นให้กับตัวอาคารโดยเฉพาะในประเทศที่มีอากาศที่หนาวเย็น สามารถใช้ในการทำความสะอาดและสามารถใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์จากน้ำร้อนในด้านอื่น ๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนตร ภูประสม (2556) ได้ทำการออกแบบระบบน้ำร้อนรังสีอาทิตย์สำหรับรีสอร์ทในเขตปริมณฑลโดยใช้ปั๊มหมุนเวียนประกอบด้วย แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบจำนวน 8 แผง ขนาด $1 \times 2\text{ m}^2$ ต่อแบบขนานกันใช้ระบบปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำหรือ (Active system) โดยระบบจะใช้ปั๊มในการหมุนเวียนน้ำผ่านตัวเก็บรังสีแล้วนำไปเก็บไว้ในถังน้ำร้อน เป็นระบบที่สามารถนำน้ำร้อนไปใช้งานได้โดยตรง มีถังเก็บน้ำร้อนขนาด 2,000 L และระบบความร้อนเสริม 3,600 W จำนวน 2 ชุด ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ เพื่อศึกษาแผงรับรังสีอาทิตย์ ขนาดของถังเก็บความร้อน อุณหภูมิของน้ำและปริมาณการใช้น้ำโดยออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนรังสีแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มค่า

อุณหภูมิของน้ำในถังโดยใช้อัตราการไหล 0.45 L/s จากผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำในถังสะสมได้เฉลี่ย $40 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยแผงรับรังสีแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนได้ 0.66 เท่าของค่ารังสีอาทิตย์ ซึ่งในเดือนตุลาคมแผงรับรังสีอาทิตย์สามารถผลิตความร้อนได้ $2,682\text{ MJ}$ และมีความร้อนที่นำไปใช้งาน $1,238\text{ MJ}$ ซึ่งระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำร้อนสำหรับรีสอร์ทที่สภาวะปกติ

ศศิษา เรียมสุวรรณ (2554) ได้ทำการเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบใช้ปั๊มความร้อนกับใช้แผงรับแสงอาทิตย์แผ่นราบเรียบสำหรับอาคารพักอาศัยโดยระบบทำน้ำร้อนประกอบด้วยปั๊ม ความร้อนหรือแผงรับแสงอาทิตย์กับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 150 L ในการทดสอบจะใช้ปั๊มความร้อนขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.78 kW และ 1.25 kW ส่วนแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับแสง 2 m^2 วางหันไปทางทิศใต้ทำมุม 15 องศา กับแนวระดับพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการศึกษาได้แก่

อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิน้ำร้อนในถังพักน้ำร้อน อุณหภูมิอากาศภายนอก กระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า ความเข้มของแสง อุณหภูมิเข้าและออกแผงรับแสงอาทิตย์ การทดสอบจะมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 08.00 - 16.00 น. แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนและ ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ จากผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นแสงอาทิตย์เฉลี่ย ประมาณ 682.28 W/m^2 โดยมีประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนอยู่ในช่วง 43.82 – 52.57% ซึ่งน้ำ ร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 16 – 21 MJ/day และสามารถทำน้ำร้อนได้สูงสุด $64.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้น $30.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด 57.16% ที่อุณหภูมิ อากาศโดยรอบเฉลี่ย $36.3 - 37.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยความเข้มข้นของแสงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 790.82 – 847.16 W/m^2 โดยปั๊มความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 4.2 – 5.5% ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปี เมื่อมีอุณหภูมิเริ่มต้น $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าระบบน้ำร้อนแบบปั๊ม ความร้อนมีการใช้ไฟฟ้าในช่วง 300 – 800 หน่วยต่อปี ส่วนระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการ ใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 100 – 530 หน่วยต่อปี ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของ ระบบทำน้ำร้อนระบบทำน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 13.0 – 13.6 ปี ส่วนระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะเวลาคืนทุน 16.8 ปี เมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้า

ศิริวรรณ กล้าหาญ และคณะ (2549) ได้ทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.899 – 2532) ภายใต้ระบบแสงอาทิตย์เทียม โดยทำ การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพกลางแจ้งกับการทดสอบภายใต้ระบบแสงอาทิตย์เทียมแล้วปรับ ให้อยู่ในสภาพที่เปรียบเสมือนว่าทำการทดลองกลางแจ้ง การทดสอบกลางแจ้งใช้ตัวเก็บรังสีแผ่นราบ ที่มีโฟมฉนวนเป็นฉนวนและทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบซึ่งมีสภาวะการทดสอบดังนี้ความเร็วลม $2 \pm 0.5 \text{ m/s}$ รังสีรวมบน

ระนาบตัวเก็บรังสีวัดได้ไม่น้อยกว่า 600 W/m^2 มุมตกกระทบไม่เกิน 30°C อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 30°C ที่ช่วงเวลา 10.00 - 14.00 น. และต้องคงที่อย่างน้อยมากกว่าค่า (Time constant) ของตัวเก็บรังสีนั้น ๆ การทดสอบประสิทธิภาพภายใต้ระบบแสงอาทิตย์เทียม การทดสอบจะใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตัวเดิม และดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตัวเก็บรังสีแผ่นราบโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากระบบแสงอาทิตย์เทียมแทนแสงธรรมชาติและ ปรับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบกลางแจ้ง แล้วเปรียบเทียบผลการทดสอบกลางแจ้งกับผลที่ได้จากการทดสอบภายใต้แสงอาทิตย์เทียมเพื่อเอาค่าทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกัน จากการทดสอบใกล้เคียงกัน และในการทำการทดสอบตัวเก็บรังสีที่มีฉนวนหลายชนิดแล้วปรับค่าที่ได้ให้อยู่เสมือนกลางแจ้ง พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีฉนวนทำด้วยโฟมฉนวน โยแก๊ว ขี้เลื่อย และแกลบมีอัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 9.28, 11.99, 9.77 และ $6.91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือที่เรียกว่า มอก. 899 – 2532 ภายใต้ระบบแสงอาทิตย์เทียมช่วยลดระยะเวลาทดสอบและ เนื่องจากการทดสอบภายใต้สภาวะแสงและสิ่งแวดล้อมที่เหมือนกันสามารถทำให้การเปรียบเทียบผลการทดสอบมีความเชื่อถือได้ร้อยละ 90%

ฤทธิชัย บุญทาศรี (2556) ได้ทำการพัฒนาระบบอุ่นน้ำด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้หลอดแก้วสุญญากาศกับท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบในการส่งถ่ายความร้อนโดยการหาจำนวนหลอดแก้วสุญญากาศและขนาดท่อความร้อนที่ต้องใช้การถ่ายเทความร้อนของระบบทำน้ำร้อนซึ่งในการออกแบบท่อความร้อนโดยเปลี่ยนแปลงตัวแปรของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อคาปิลลารี 1 และ 2 mm ความยาวสำหรับทำระเหยของท่อความร้อนจาก 1 - 1.4 m ส่วนควบแน่นจาก 0.5 - 1 m สารทำงานที่ใช้ คือ น้ำ R123 และเอทานอล โดยทำการเก็บข้อมูล ตั้งแต่ระยะเวลา 8.00 - 18.00 น. อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น 25°C เพิ่มขึ้นเป็น 33°C ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งวัน 571 W/m^2 จากการเก็บข้อมูลพบว่า น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 8°C โดยอุณหภูมิในบ่อใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ สรรว่ายน้ำที่เก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่ดังนั้นในการศึกษานี้จึงจำลองสรวายน้ำให้มี

ขนาดเล็กลง เป็นขนาดความจุ 1,000 L ขนาดความกว้าง 1.1 m ความยาว 1.65 m และลึก 0.56 m โดยต้องการให้อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 33 - 38 °C ซึ่งกำหนดอุณหภูมิน้ำที่ 35 °C และอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25 °C เพิ่มขึ้นเป็น 35 °C โดยข้อมูลนี้ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 8.00 - 16.00 น. จากข้อมูลที่ได้ทำการทดลองต้องใช้อัตราการส่งถ่ายความร้อนที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์ 1,161.67 W จึงต้องการอัตราการส่งถ่ายความร้อนเพิ่มจากแผงสะสมรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 290.41 W ที่แผงมีประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 50% ซึ่งนำไปสู่การออกแบบระบบทำน้ำร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศกับท่อความร้อนแบบสแตนเลสวงรอบ ที่ความต้องการส่งถ่ายความร้อน 600 W จึงเลือกใช้หลอดแก้วสุญญากาศเป็นตัวดูดซับและสะสมรังสีดวงอาทิตย์เป็นหลอดแก้ว 2 ชั้น ยาว 1.8 m และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.047 m จำนวน 12 หลอด ส่วนท่อสแตนเลสวงรอบเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และความยาวส่วนควบแน่น 0.5 m ใช้ท่อคาปิลารีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 mm จำนวน 24 โค้งเลี้ยว ใช้ R123 เป็นสารทำงาน

โดยทำการทดลอง ด้วยการเติมน้ำด้วยอัตราการไหลประมาณ 17 L/s ลงในบ่อน้ำที่มีความจุ 1,000 L และทำการบันทึกผลทุก ๆ 1 s ซึ่งการทดลองจะไม่ให้แสงอาทิตย์ตกกระทบบ่อน้ำโดยตรง และนำผลที่ได้ไปหาสมรรถนะเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 15 min ตลอดระยะเวลาการทดลองซึ่งเก็บค่าเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ จากผลการทดลองพบว่าระบบทำน้ำร้อนที่ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 637.4 W/m^2 อัตราส่งถ่ายความร้อนที่น้ำได้รับ 220 W ประสิทธิภาพของแผง 34.5% แผงสะสมรังสีดวงอาทิตย์มีมุมเอียง 18 องศาจากแนวระดับ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ 699.96 W/m^2 อัตราส่งถ่ายความร้อนที่น้ำได้รับ 299.3 W ประสิทธิภาพของแผง 42.7 % ระยะเวลาคืนทุนหลังจากการติดตั้งระบบทำน้ำร้อน 4 ปี 2 เดือน เมื่อคิดอายุการใช้งาน

ระบบทำน้ำร้อนที่ 10 ปี มีค่าผลตอบแทนการลงทุนเป็น 142.7 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 7,113 บาท
ผลตอบแทนภายในทางการเงินเท่ากับ 20.51 %

จิรวัดน์ วุฒยากร (2556) ได้ศึกษาพัฒนาปรับปรุงถึงสะสมความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการเปรียบเทียบถึงสะสมความร้อนปกติ และถึงน้ำสะสมความร้อนแบบมีแผ่นตะแกรงเจาะรู ขนาด 4, 6 และ 8 mm กันแบ่งชั้นความร้อนภายในถังบริเวณบนถึงล่างของถังสะสมความร้อน และถึงสะสมความร้อนแบบมีแผ่นตะแกรงกัน บน กลาง และล่างของถังสะสมความร้อน เพื่อเปรียบเทียบการแบ่งชั้นความร้อนภายในถังสะสมความร้อน ผลที่ได้จากการทดลองคือ ถังสะสมความร้อนแบบมีแผ่นตะแกรงเจาะรูขนาด 4 mm สามารถแบ่งชั้นความร้อนของน้ำภายในถังสะสมความร้อนได้ดีกว่าไม่มีแผ่นตะแกรงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นตะแกรงขนาด 6 mm และ 8 mm

เอกลักษณ์ สุวรรณสถิต (2556) ได้ศึกษาสภาพการใช้งานที่เหมาะสมและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดสำหรับโรงพยาบาล โดยการศึกษา ระบบหมุนเวียนน้ำระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์กับถังสะสมความร้อน ระบบความร้อนเสริม ระบบน้ำร้อนไปใช้งานและน้ำไหลกลับ โดยใช้แผ่นรับรังสีอาทิตย์แบบราบเรียบจำนวน 9 แผง พื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 16.54 m^2 ถังเก็บความร้อนขนาด 2,000 L และพฤติกรรมกรใช้น้ำของโรงพยาบาล มาทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาค่าความผิดพลาดเพื่อคาดการณ์ระบบการทำงานในแต่ละช่วงเวลาให้สอดคล้องการใช้น้ำร้อน และปรับค่าอัตราการไหล (Circulate pump) ให้เหมาะสมแก่ระบบเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่พร้อมใช้งานสูงสุด และสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด เมื่อทำการปรับตั้งระบบ พบว่าความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนที่แผงผลิตน้ำร้อนได้เทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบจะมีความสัมพันธ์ดังสมการถดถอยเชิงเส้น $Y = 0.4345X - 0.9022$ หรือมีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อน 43.45% ซึ่งมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีการปรับตั้ง ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าสูงกว่าข้อมูลจาก

การทดลองเล็กน้อย เนื่องจากการทดลองจริงมีความสูญเสียความร้อนอื่น ๆ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ 3%

ชัยชนะ ยอดนิล (2556) ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการศึกษาสมรรถนะระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดในภูมิภาคเป็น ซึ่งระบบถูกควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ และอุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงาน ซึ่งระบบที่นำมาพิจารณา มี 3 ระบบ คือ ระบบหมุนเวียน (Circulate) ระบบความร้อนเสริม (Heater) ระบบน้ำร้อนไปใช้งาน และน้ำไหลกลับ (Return) ทดลองโดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ขนาด 18 m^2 ซึ่งผลิตในประเทศไทย ถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 2,500 L ซึ่งเก็บค่าในแต่ละวันจากระบบ ทำให้ทราบพฤติกรรมการใช้งานของคนที่เข้าพักในรีสอร์ทและรังสีอาทิตย์ที่ได้รับต่อวัน นำผลที่ได้มาป้อนค่าในโปรแกรมเพื่อคาดการณ์การทำงานล่วงหน้าของระบบว่าจะเพียงพอหรือไม่ ต้องให้ความร้อนเสริมช่วงเวลาใดเป็นพิเศษ เพื่อประมวลผลการเปิดปิดไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบปั๊มต่าง ๆ ของระบบ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและได้ประสิทธิภาพอุณหภูมิให้เพียงพอต่อพฤติกรรมการใช้งานของคนที่เข้าพักในรีสอร์ท

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดวิธีดำเนินการ อุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ อุปกรณ์วัดและบันทึกข้อมูล การประกอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ตำแหน่งจุดตรวจวัด และขั้นตอนการทดลอง แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีดำเนินการ

โครงการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ซึ่งใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์จำนวน 4 แผง โดยแต่ละแผงมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศมีสารทำงานจุดเดือดต่ำบรรจุอยู่ภายในหลอดแก้วสุญญากาศ โดยตัวรับรังสีมีพื้นที่แผงละ 2 m^2 และถังพักน้ำร้อนมีขนาด 1,000 L ซึ่งมีวิธีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ซึ่งได้แก่ ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน ศึกษาแผนที่ศักยภาพพลังงานรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย และศึกษาหลักการทำงานของตัวรับรังสีอาทิตย์

3.1.2 กำหนดวัตถุประสงค์

เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ในการสร้างระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ว่ามีวัตถุประสงค์อย่างไร

3.1.3 ออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

การออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ จึงได้ศึกษาชุดควบคุมทางไฟฟ้า ศึกษาอุปกรณ์ในระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และศึกษา ตำแหน่งจุดตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำและอัตราการไหลของน้ำ

3.1.4 ติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

ติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ในเรื่องของการประกอบแผงการเชื่อมต่อ ทองแดงและประกอบชิ้นส่วนวาล์วต่าง ๆ จนเสร็จสมบูรณ์

3.1.5 ศึกษาตัวแปรและเก็บข้อมูล

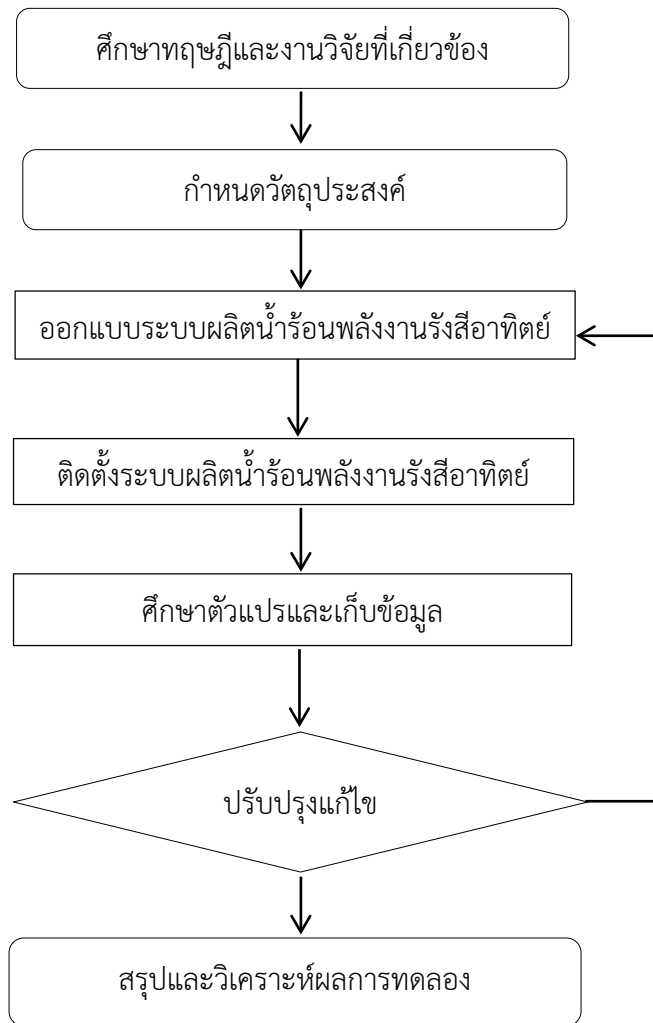
ศึกษาตัวแปรและเก็บข้อมูลที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของ ระบบเก็บข้อมูลผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์

3.1.6 ปรับปรุงแก้ไข

หากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ไม่เป็นไปตามที่ต้องการหรือมีวิธีการดำเนินงานเกิดการผิดพลาดในเรื่องของการติดตั้งและไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ต้องมีการแก้ไขปรับปรุง

3.1.7 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ได้จากการศึกษาทดลองแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดง ในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 อุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

อุปกรณ์ในการสร้างระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์และการติดตั้งแสดงในภาพที่ 3.2 จากภาพจะเห็นว่าระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ โครงสร้างระบบ ถังพักน้ำร้อน และตัวรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 4 แผง โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบมีลักษณะดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.2 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

3.2.1 ตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector)

ตัวรับรังสีอาทิตย์ แบ่งเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ ที่แตกต่างกัน 3 แผง และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ จำนวน 1 แผง มีพื้นที่ขนาด 2 m^2 เท่ากัน โดยใช้วัตถุในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละแผงรวมทั้งหมด 4 แผง

3.2.1.1 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง โดยมีรายละเอียดวัสดุดังนี้ 1.ท่อทองแดงขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว 2. แผ่นสังกะสี 3. ลวดม้วนท่อทองแดงติดกับสังกะสี 4. กรอบอะลูมิเนียม 5. สีดำ ซึ่งตัวรับรังสีชนิดนี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความนิยมในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศหนาวเย็น แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาทำให้ตัวรับรังสีอาทิตย์มีราคาสูงขึ้นตามไปด้วย จึงได้มีการผลิตตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ โดยวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำขึ้นเองเพื่อจะเป็นการลดต้นทุน ดังแสดงในภาพที่ 3.3



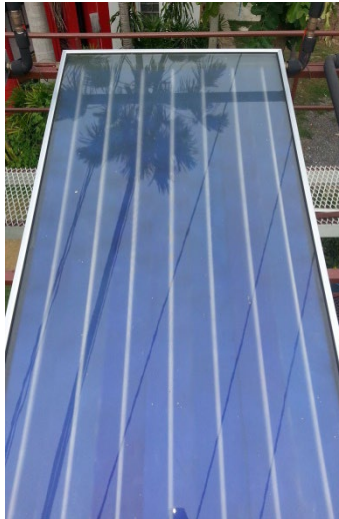
ภาพที่ 3.3 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบวัตถุภายในสีดำผลิตขึ้นเอง

3.2.1.2 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับตัวรับรังสีภายในเป็นสีดำแบบทำเอง แตกต่างกันที่ตัวรับรังสีอาทิตย์นี้ผลิตจากบริษัทต่างประเทศ ดังแสดงในภาพที่ 3.4



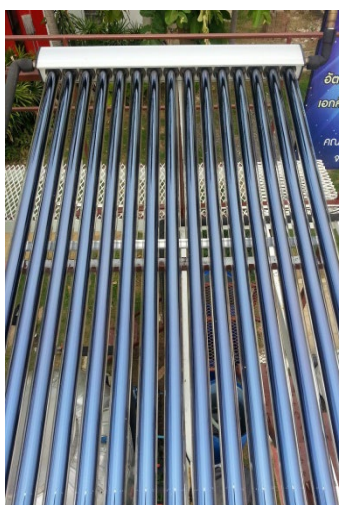
ภาพที่ 3.4 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำผลิตจากต่างประเทศ

3.2.1.3 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบโดยวัสดุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า ผลิตจากต่างประเทศมีลักษณะเป็นแผ่นราบ วัสดุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบโดยวัสดุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า

3.2.1.4 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ มีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอกภายในมีสารทำงานซึ่งมีจุดเดือดต่ำทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีหลอดจำนวน 15 หลอด ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ

3.2.2 ถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank)

ถังน้ำร้อนมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกตั้งสูงไปในอากาศ ด้านภายในสุดเคลือบสีอีพ็อกซี่ (Epoxy paint) เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ทำจากแผ่นเหล็กหนา 5 mm มีฉนวนกันความร้อนหนา 1 in และหุ้มด้วยอลูมิเนียม (Aluminium) ด้านนอก สามารถเก็บน้ำร้อนได้ 1,000 L ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ถังเก็บน้ำร้อน

3.2.3 ปั๊มน้ำ (Pump)

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ประกอบด้วยปั๊มน้ำจำนวน 3 ตัว โดยแบ่งเป็นขนาดครึ่งแรงหรือ 0.5 HP จำนวน 2 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 3.8 และปั๊มขนาด 0.36 HP จำนวน 1 ตัว

ดังแสดงในภาพที่ 3.9 โดยระบบหมุนเวียนน้ำจะติดตั้งปั้มน้ำขนาด 0.36 HP ระบบความร้อนเสริม และระบบจ่ายน้ำร้อนจะติดตั้งปั้มน้ำขนาด 0.5 HP



ภาพที่ 3.8 ปั้มน้ำขนาด 0.5 HP



ภาพที่ 3.9 ปั้มน้ำขนาด 0.36 HP

3.2.4 ขดลวดความร้อน (Heater)

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้การทำความร้อนเสริมจากขดลวดความร้อน ขนาด 3,000 W จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ขดลวดทำความร้อน

3.2.5 วาล์วในระบบน้ำร้อนรังสีอาทิตย์

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ประกอบด้วยวาล์วดังต่อไปนี้

3.2.5.1 วาล์วประตู (Gate valve)

วาล์วประตูวาล์วประเภทนี้สามารถใช้ปรับอัตราการไหลในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้วาล์วประตูขนาด 3/4 in จำนวน 4 วาล์ว ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 วาล์วประตู

3.2.5.2 บอลวาล์ว (Ball valve)

บอลวาล์วใช้ปรับอัตราการไหลในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้บอลวาล์วขนาด 3/4 in ทั้งหมดจำนวน 17 วาล์ว ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 บอลวาล์ว

3.2.5.3 วาล์วกันกลับ (Check valve)

วาล์วกันกลับทำหน้าที่ให้น้ำไหลผ่านได้ทางเดียวไม่สามารถไหลย้อนกลับในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้วาล์วกันกลับขนาด 3/4 in จำนวน 2 วาล์ว ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 วาล์วกันกลับ

3.2.5.4 วาล์วระบายอากาศอัตโนมัติ (Automatic air vent)

อุปกรณ์ระบายอากาศอัตโนมัติทำหน้าที่ระบายอากาศ โดยใช้ระบายอากาศในน้ำก่อนเข้าถึงเก็บน้ำร้อน ทั้งน้ำเย็นที่เข้าระบบและน้ำร้อนที่ออกจากตัวรับรังสีเพื่อการจ่ายน้ำร้อนใช้อย่างมีประสิทธิภาพ น้ำร้อนจ่ายตลอดไม่ขาดตอนเพราะฟองอากาศ ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้อุปกรณ์ระบายอากาศอัตโนมัติจำนวน 2 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 วาล์วระบายอากาศอัตโนมัติ

3.2.5.5 กรองรูปตัววาย (Y strainer)

กรองรูปตัววายทำหน้าที่กรองน้ำ ก่อนเข้าระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ เพื่อป้องกันการอุดตันในระบบท่อ และความสะอาดของน้ำร้อนเมื่อนำไปใช้งาน ในระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้กรองรูปตัววายจำนวน 1 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 กรองรูปตัววาย

3.2.6 ระบบควบคุมการทำงาน

ชุดระบบควบคุมการทำงานมีการแบ่งตามลักษณะการทำงานโดยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller) หรือเรียกว่าระบบ PLC เป็นระบบที่ทำหน้าที่ประมวลผลเก็บข้อมูลส่งข้อมูลได้โดยการเขียนโปรแกรมป้อนเข้าไปเพื่อกำหนดให้มีการทำงานตามที่ต้องการ และระบบจ่ายไฟ (Power) เป็นระบบที่ทำหน้าที่ตามคำสั่งของระบบ PLC เพื่อจ่ายไฟหรือตัดไฟตามเงื่อนไขของระบบที่ได้ปรับไว้

ระบบควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบตามเงื่อนไขที่กำหนด เป็นระบบที่ใช้ประมวลผลการทำงาน การสั่ง

ให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบทำงานและหยุดการทำงานของระบบเมื่อทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดอย่างถูกต้อง รวมถึงการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่จุดวัดต่าง ๆ อัตราการไหลที่จุดต่าง ๆ ของระบบ

3.2.6.1 ระบบโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ส่วนประกอบระบบ PLC

3.2.6.2 ระบบจ่ายไฟ ดังแสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 ส่วนประกอบระบบจ่ายไฟ

3.2.7 อุปกรณ์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์อื่น ๆ

สายไฟ กรอบมิเตอร์ กรอบเก็บสาย ลวดเชื่อมสายไฟ ฉนวนกันความร้อน ท่อและข้อต่อ โครงสร้างเหล็ก เหล็กทรงกระบอกขนาด เหล็กแผ่นขนาด ตะแกรง เหล็ก เหล็กคานขนาด และเหล็กฉาก ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการสร้างระบบให้เสร็จสมบูรณ์

3.3 อุปกรณ์วัดและบันทึกข้อมูล

อุปกรณ์ในการวัดและบันทึกข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญต่อการทดลองเป็นอย่างมากในการวัดค่ารังสีอาทิตย์ รวมถึงการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และการวัดเครื่องวัดการไหล (Flow meter) นอกจากนี้ยังมีชุดควบคุมการทำงานของระบบ ดังต่อไปนี้

3.3.1 เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์ (Pyranometer) ยี่ห้อ Omron รุ่น CMP11 ดังแสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์

3.3.2 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) ยี่ห้อ Omron รุ่น ZR-ZX25 ดังแสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

3.3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิเยื่อ Tenmars รุ่น TM-747DU ดังแสดงในภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 เครื่องวัดอุณหภูมิ

3.3.4 เครื่องวัดอัตราการไหล เยื่อ Systec controls แบบ deltawaveC ดังแสดงในภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 เครื่องวัดอัตราการไหล

3.3.5 สายเทอร์โมคัปเปิล

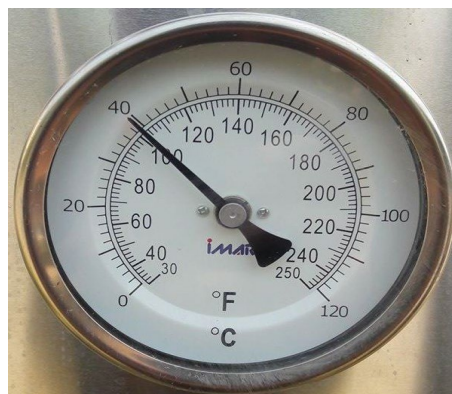
สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลในระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้ ชนิด Type K ซึ่งมีค่าความแม่นยำ (Accuracy) $\pm 1^{\circ}\text{C}$ สามารถวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง $-200 - 1,350^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 สายเทอร์โมคัปเปิล

3.3.6 เกจวัดอุณหภูมิ

เกจวัดอุณหภูมิทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและแสดงค่า เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกต ซึ่งระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้ เกจวัดอุณหภูมิจำนวน 3 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 เกจวัดอุณหภูมิ

3.3.7 เครื่องวัดการไหล

เครื่องวัดการไหลเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหล ในระบบนี้มีเครื่องวัดการไหล
จำนวน 6 เครื่อง ตามจุดตรวจวัดอัตราการไหล 6 จุด ดังแสดงในภาพที่ 3.24

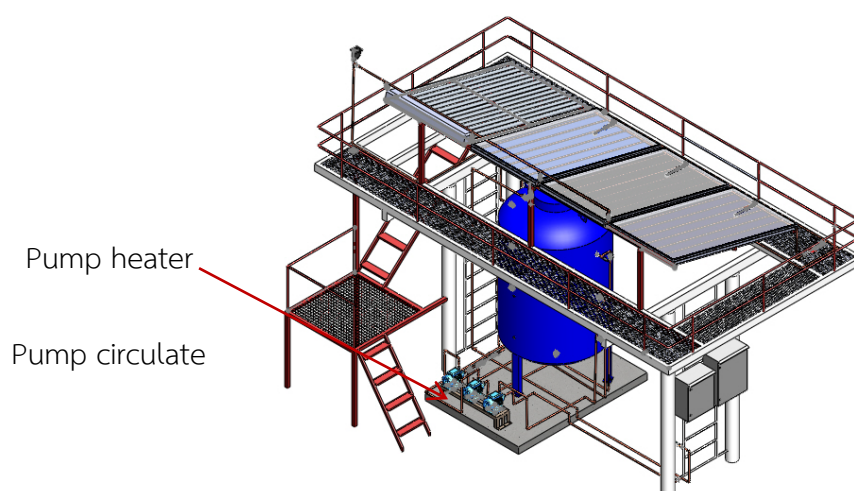


ภาพที่ 3.24 เครื่องวัดการไหล

3.4 การประกอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนเพื่อให้ได้ทราบถึงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

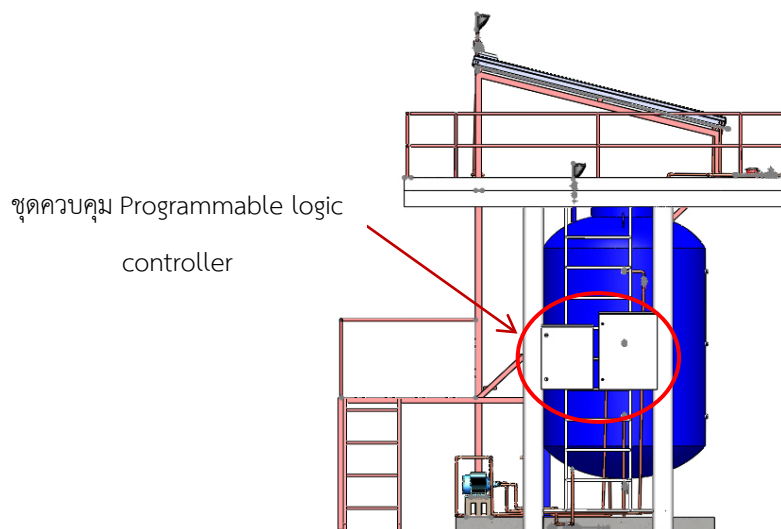
3.4.1 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทางด้านไอโซเมตริกจากภาพแบบจำลอง
ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นแบบจำลองที่ทำให้เห็นภาพส่วนประกอบของระบบโดยรวม
หลัก ๆ ระบบจะมีการติดตั้งปั๊มซึ่งอยู่ใกล้กับถังเก็บน้ำร้อน โดยด้านซ้ายสุดเป็นปั๊มในวงจรความร้อน
เสริม ด้านขวาสุดจะมีการติดตั้งปั๊มในวงจรจ่ายน้ำ ไหลเวียนกลับ ส่วนตรงกลางระหว่างปั๊มทั้งสองเป็น
การติดตั้งปั๊มในวงจรไหลเวียนน้ำเพื่อรับความร้อนจากตัวรับรังสี ดังแสดงในภาพที่ 3.25



Pump return → 42

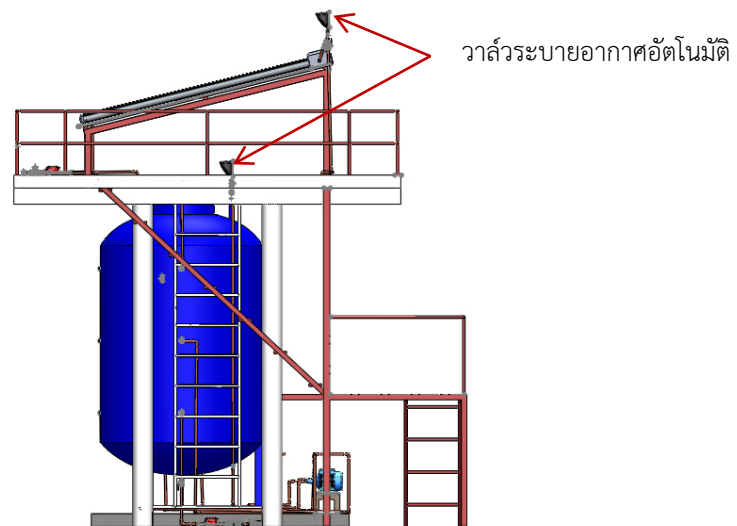
ภาพที่ 3.25 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านไอโซเมตริก

3.4.2 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทางด้านซ้ายจากภาพแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าทางด้านซ้ายของระบบน้ำร้อนจะมีการติดตั้งชุดควบคุมระบบน้ำร้อน ซึ่งจะอยู่ห่างจากถังเก็บน้ำร้อนและปั้มน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.26



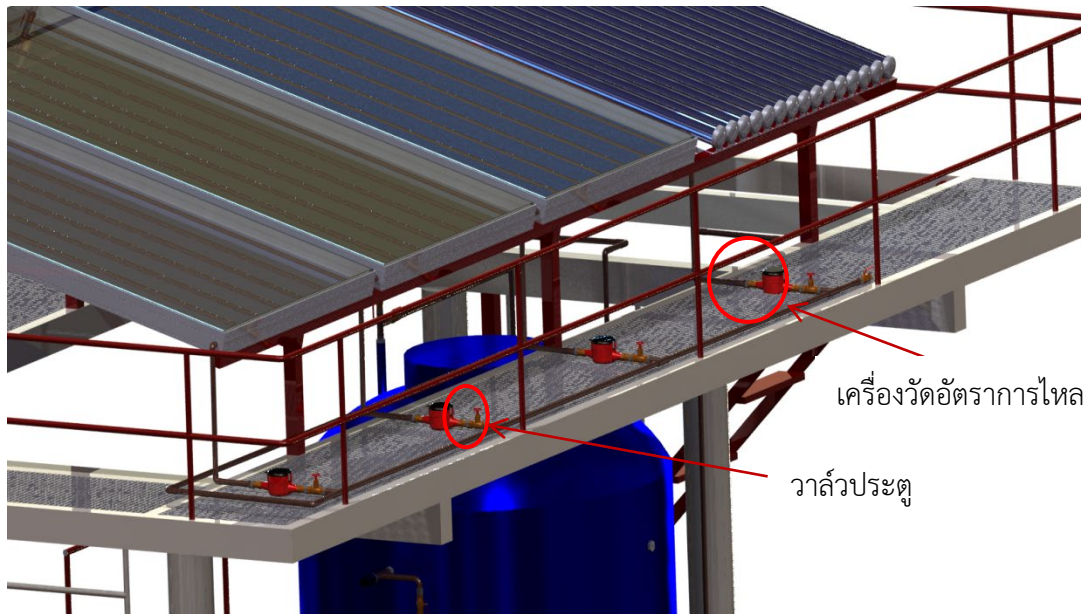
ภาพที่ 3.26 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านซ้าย

3.4.3 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทางด้านขวาจากภาพแบบจำลองของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าทางด้านขวาสุดของระบบน้ำร้อนจะมีการวาล์วระบายอากาศอัตโนมัติจำนวน 2 วาล์ว ทางด้านมุมบนของระบบเพื่อระบายอากาศจากถังเก็บน้ำร้อนและท่อน้ำออกรวม ดังแสดงในภาพที่ 3.27



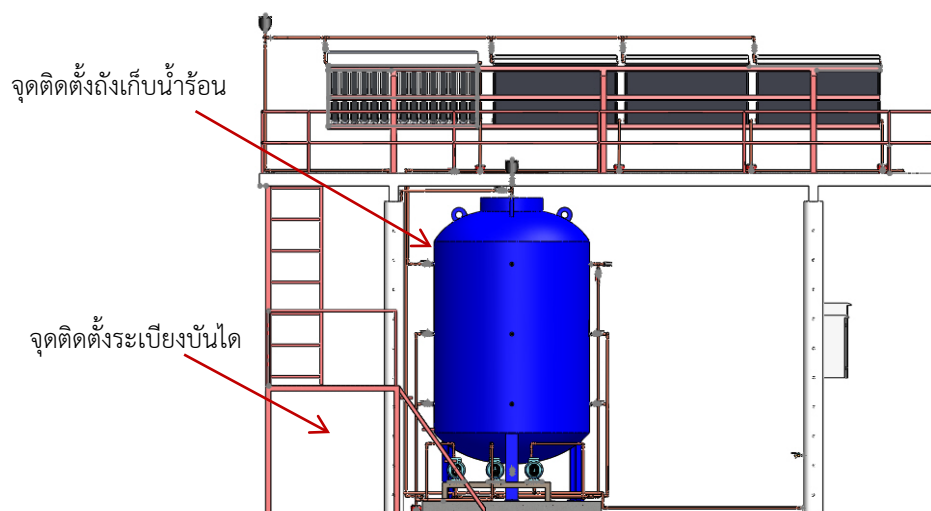
ภาพที่ 3.27 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านขวา

3.4.4 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในมุมขวาบน เป็นการฉายภาพแบบจำลองทางด้านมุมขวาด้านบนระบบผลิตน้ำร้อน เพื่อให้เห็นอุปกรณ์ที่ประกอบที่ด้านบนของระบบน้ำร้อนจะเห็นได้ว่าส่วนบนของระบบจะประกอบไปด้วยตัวรับรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน 4 ชนิด นอกจากนี้ยังมีการประกอบวาล์วประตูกับมิเตอร์น้ำที่ท่อก่อนเข้า ดังแสดงในภาพที่ 3.28



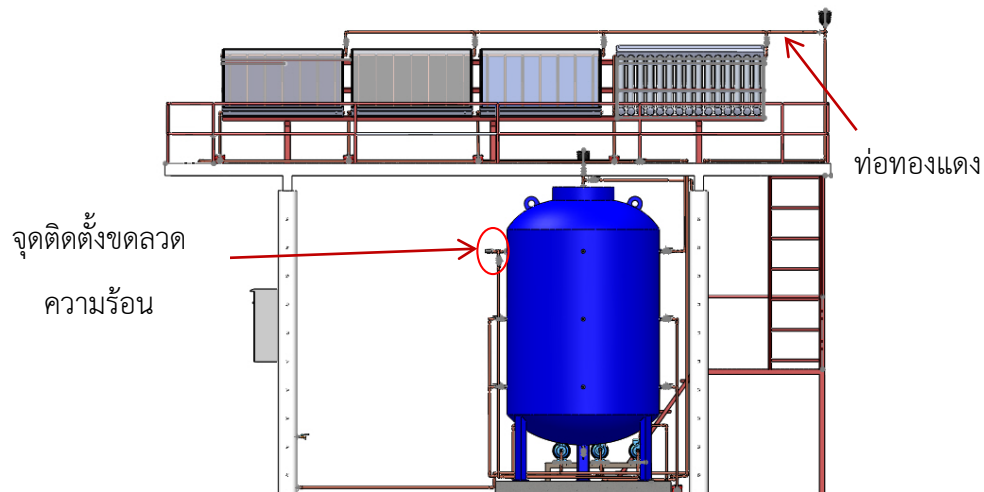
ภาพที่ 3.28 แบบจำลองมุมมองระบบผลิตน้ำร้อน

3.4.5 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทางด้านหลัง จากภาพแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์จะเป็นได้ว่าระบบจะมีการติดตั้งชุดควบคุมไว้ทางด้านขวาสุดข้างเสาทางด้านขวาเมื่อมองจากด้านหลัง และมีการติดตั้งถังเก็บน้ำร้อนอยู่ด้านซ้ายของระบบข้างเสาทางด้านซ้ายเมื่อมองจากด้านหลังของระบบ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้ง ระเบียบบันได ดังแสดงในภาพที่ 3.29



ภาพที่ 3.29 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านหลัง

3.4.6 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทางด้านหน้าจากภาพแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เมื่อมองจากทางด้านหน้าของระบบ จะเห็นได้ว่าด้านบนจะมีการวางท่อทองแดงเพื่อให้น้ำร้อนออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 4 แผง ด้านล่างตัวรับรังสีอาทิตย์จะมีการติดตั้งถังเก็บน้ำร้อนด้านด้านขวาของระบบข้างเสา ด้านขวาของระบบเมื่อมองจากด้านหน้า และด้านขวาสุดจะมีการติดตั้งบันไดขึ้นตรวจสอบระบบ นอกจากนี้ทางด้านซ้ายของระบบจะมีการติดตั้งชุดควบคุมข้างเสา ด้านซ้ายของระบบมองจากด้านหน้า รวมถึงมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อน และบอลลวาล์ว ดังแสดงในภาพที่ 3.30



ภาพที่ 3.30 แบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนด้านหน้า

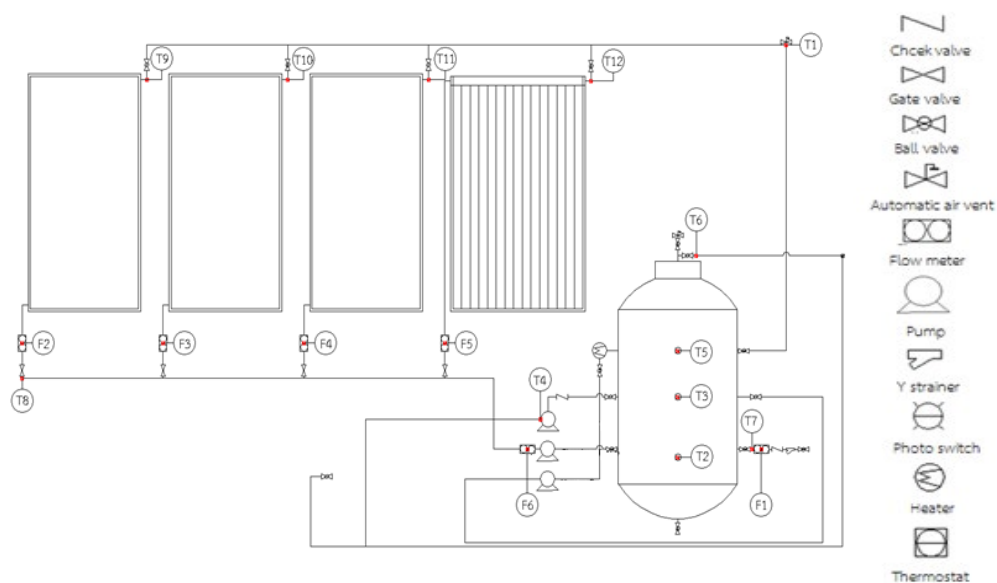
3.5 ตำแหน่งจุดตรวจวัด

ตำแหน่งจุดตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำและตำแหน่งจุดตรวจวัดอัตราการไหล

3.5.1 ตำแหน่งจุดตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ

การตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ โดยการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุม โดยมีการตรวจวัดอุณหภูมิทั้งหมด 12 จุดและตรวจวัดอัตราการไหล 6 จุด โดยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัตินั้นจะมีการบันทึกส่วนของการตรวจวัดอุณหภูมิ 12 จุดเท่านั้น

รวมจุดตรวจวัดทั้งหมด 18 จุด ดังแสดงในภาพที่ 3.31 การปรับอัตราการไหลให้มีการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ แต่ละจุดนั้นทำให้สามารถทราบถึงจุดย่อยของระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ว่ามีจุดที่ทำให้ระบบสูญเสียความร้อนที่จุดใด และทราบถึงประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด



ภาพที่ 3.31 จุดตรวจวัดค่าอุณหภูมิและอัตราการไหล

3.5.1.1. อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์รวมทั้ง 4 แผง (T_1)

3.5.1.2. อุณหภูมิของน้ำส่วนล่างถัง (T_2)

3.5.1.3. อุณหภูมิของน้ำกลางถัง (T_3)

3.5.1.4. อุณหภูมิของน้ำที่ระบบน้ำไหลกลับ (T_4)

3.5.1.5. อุณหภูมิของน้ำส่วนบนของถัง (T_5)

3.5.1.6. อุณหภูมิของน้ำออกจากถังพักน้ำร้อนที่ระบบจ่ายน้ำร้อน (T_6)

3.5.1.7. อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าถังพักน้ำร้อน (T_7)

3.5.1.8. อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงรวม (T_8)

3.5.1.9. อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีตัวถูรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง (T_9)

3.5.1.10. อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีตัวถูรับรังสีภายในเป็นสีดำ (T_{10})

3.5.1.11. อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีตัวถูรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า (T_{11})

3.5.1.12. อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (T_{12})

3.5.2 ตำแหน่งจุดตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ

การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์นั้นถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญต่อระบบ โดยการตรวจวัดทำให้ทราบถึงค่าของอัตราการไหลว่ามีอัตราการไหลเท่าใด และได้ทำการปรับค่าอัตราการไหลได้อย่างเหมาะสม 6 จุดดังต่อไปนี้

3.5.2.1. อัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าถัง (F_1)

3.5.2.2. อัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีตัวถูรับรังสีภายในเป็นสีดำแบบผลิตขึ้นเอง (F_2)

3.5.2.3. อัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีตัวถูรับรังสีภายในเป็นสีดำ (F_3)

3.5.2.4. อัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีตัวถูรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า (F_4)

3.5.2.5. อัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (F_5)

3.5.2.6. อัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด (F_6)

3.6 ขั้นตอนการทดลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.6.1 ก่อนเริ่มเก็บข้อมูลการทดลองได้ทำการปรับอุณหภูมิน้ำโดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง $34 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในการปรับอุณหภูมิสามารถทำได้ 2 กรณี คือ เมื่ออุณหภูมิของน้ำมีค่าต่ำกว่า $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต้องทำการปั้มน้ำผ่านเครื่องผลิตน้ำร้อนจนมีอุณหภูมิระหว่าง $34 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงกว่า $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต้องเปิดถังพักน้ำร้อน 200 L เพื่อระบายความร้อน ในกรณีนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิน้ำหลังการทดลองเสร็จ

3.6.2 การบันทึกข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์โดยการตั้งค่าเครื่องบันทึกข้อมูล โดยให้บันทึกข้อมูลหนึ่งข้อมูลต่อ 1 s และบันทึกข้อมูลลงในแฟลชไดรฟ์ (Flash drive) เริ่มบันทึกข้อมูลเวลา 6.00 น. หยุดบันทึกข้อมูลเวลา 18.00 น.

3.6.3 วัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านแผงทั้ง 4 แผงรวมถึงน้ำออกจากระบบและน้ำเข้าระบบ หลังจากการบันทึกข้อมูลระบบแล้วจึงปรับเกจวาล์วเพื่อวัดอัตราการไหล และก่อนวัดอัตราการไหลได้ตั้งค่าเครื่องวัดอัตราการไหล โดยใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่วัดค่าอุณหภูมิของน้ำที่จะวัดอัตราการไหล บันทึกข้อมูล

3.6.4 การบันทึกข้อมูลจากชุดควบคุมข้อมูลลงในแฟลชไดรฟ์

3.6.5 การติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยการออกแบบฐานติดตั้งเครื่องและติดตั้งเครื่องวัดให้อยู่ในระนาบเดียวกับตัวรับรังสีอาทิตย์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การหาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ผู้ศึกษาได้แบ่งการทดลองเป็นสอง การทดลอง คือ การปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์ 10 ระดับ คือ 1/10, 2/10, 3/10, 4/10, 5/10, 6/10, 7/10, 8/10, 9/10 และหมุนวาล์วจนสุดเพื่อหาประสิทธิภาพ และการปรับ อุณหภูมิน้ำรวมของตัวรับรังสีให้มีอุณหภูมิสูงสุดเพื่อหาประสิทธิภาพ โดยศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้ อุณหภูมิน้ำร้อนรวมที่สามารถผลิตได้ต่อวัน และอุณหภูมิที่ทางออกของตัวรับรังสี ปริมาณรังสีอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์จำนวน 4 แบบ โดยแต่ละแบบมีลักษณะแตกต่างกัน ดังนี้ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของการปรับอัตราการไหลน้ำเข้าของตัวรับรังสีอาทิตย์ 10 ระดับ

โดยทำการทดลองปรับค่าที่เกจวาล์วของน้ำทางเข้าตัวรับรังสีทั้ง 4 แบบ ในอัตราส่วนการปรับ วาล์วเท่ากัน อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าถังเก็บน้ำร้อนก่อนการทดลอง 34 °C ปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำร้อน เท่ากับ 1000 L ทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 6.00 น. - 18.00 น. ได้ผลการทดลองดังนี้

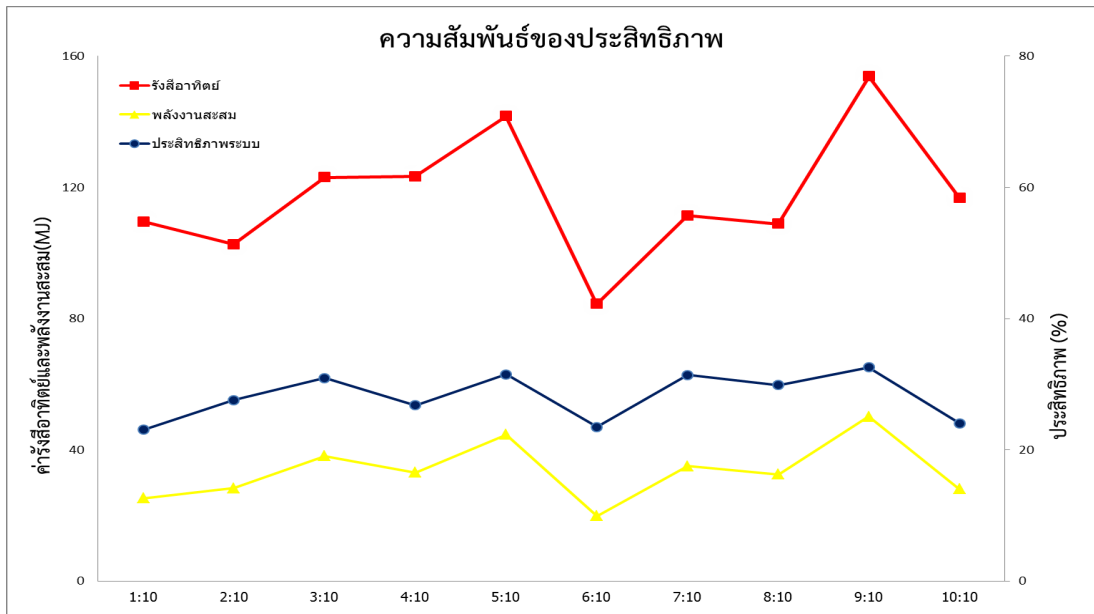
4.1.1 ประสิทธิภาพของระบบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ พบว่าการปรับเกจ วาล์วที่ 9/10 รอบ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 32.56% จากตารางที่ 4.1 สังเกตเห็นว่า การศึกษาประสิทธิภาพระบบไม่ได้ขึ้นกับค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวรับรังสี และขึ้นกับการปรับ อัตราการไหลด้วยสังเกตได้จากค่ารังสีอาทิตย์ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ทำให้ค่าพลังงานสะสมมากขึ้นจะ ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการศึกษาประสิทธิภาพในการทดลองที่มีค่ารังสีอาทิตย์น้อยแต่ให้ พลังงานสะสมมากจะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อธิบายได้จากสมการที่ 2.4

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในช่วงการปรับวาล์วแต่ละรอบ

อัตรารอบปรับ เกจวาล์ว (รอบ)	พลังงานสะสม ในถังเก็บน้ำร้อน (MJ)	พลังงาน รังสีอาทิตย์ (MJ)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (%)	อุณหภูมิน้ำร้อน สูงสุด (°C)
1:10	25.26	109.5681	23.06	40.9
2:10	28.33	102.7315	27.58	41.9
3:10	38.10	123.0874	30.95	43.6
4:10	33.08	123.4114	26.80	42.8
5:10	44.66	141.7463	31.51	45.9
6:10	19.82	84.4812	23.46	39.2
7:10	35.03	111.4791	31.42	45.3
8:10	32.52	108.9379	29.85	40.8
9:10	50.10	153.8986	32.56	40.5
10:10	28.05	116.7570	24.03	43.2
ประสิทธิภาพสูงสุด			32.56	45.9

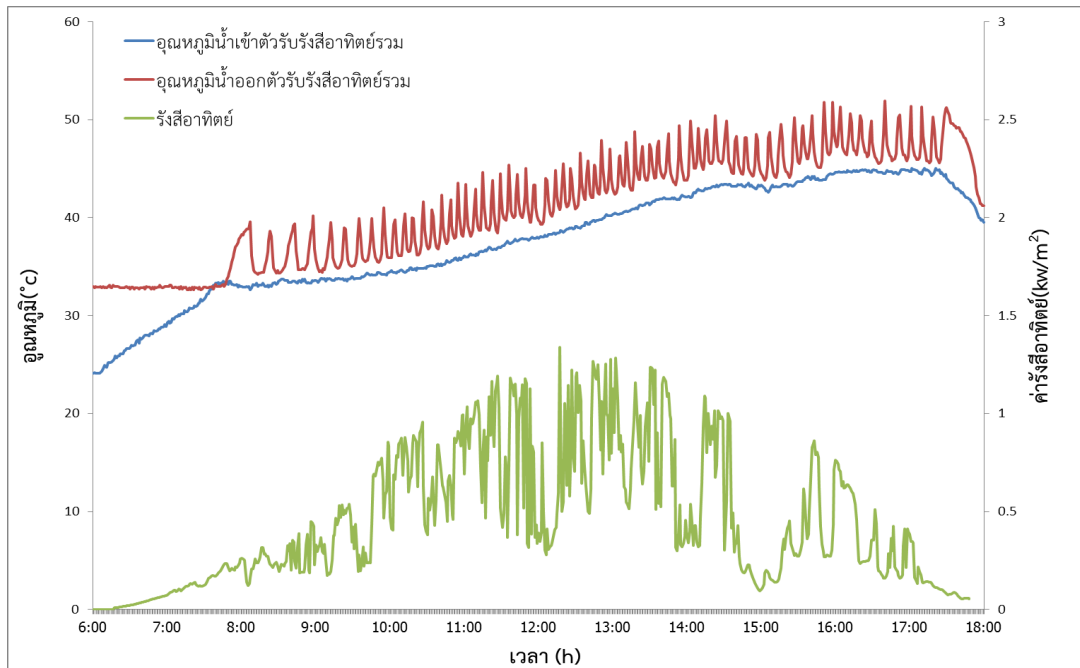
จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์กับพลังงานความร้อนสะสมและประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เป็นการทดลองประสิทธิภาพโดยการปรับเกจวาล์วที่ระดับต่าง ๆ จากการทดลองสรุปได้ว่าการปรับเกจวาล์วเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบไม่เป็นไปในเชิงเส้นตรง ดังนั้นการปรับเกจวาล์วเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจึงควรทำการปรับเกจวาล์วแต่ละจุดให้มีอุณหภูมิทางออกรวมสูงสุดเนื่องจากการตกกระทบของค่ารังสีอาทิตย์มีอิทธิพลพลังงานความร้อนสะสม ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ

4.1.2 อุณหภูมิน้ำร้อนรวมในระบบ

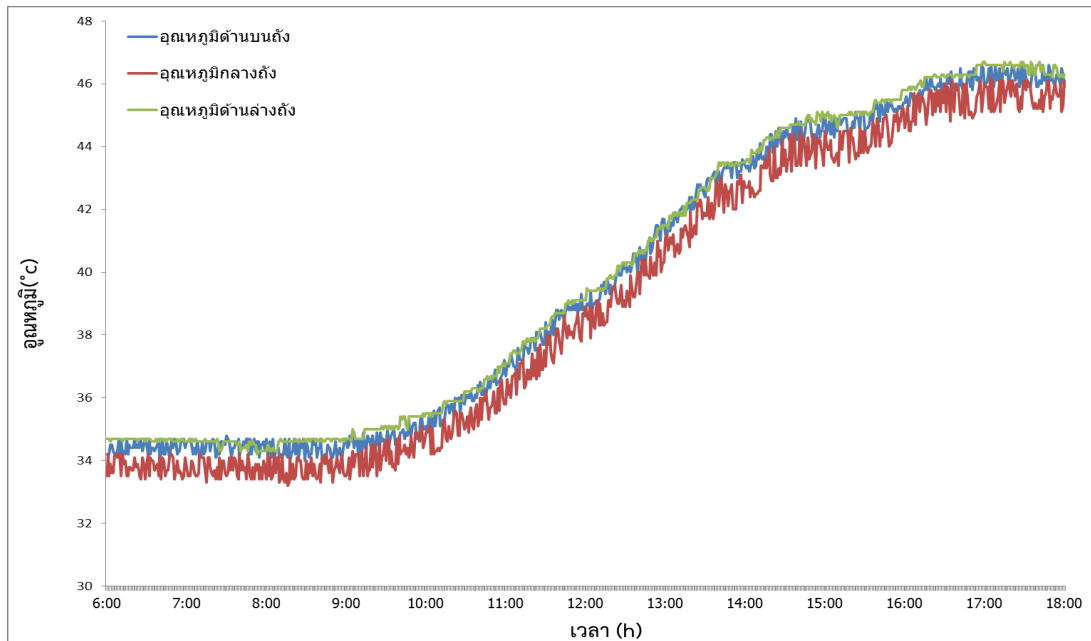
จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำร้อนรวมของระบบ เป็นข้อมูลที่แสดงเพียง 1 วัน คือ วันที่ 17 สิงหาคม 2559 พบว่า เมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นปั๊มหมุนเวียนน้ำจะเริ่มทำงานที่เวลาประมาณ 8.00 น. เนื่องจากอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทางออกรวมของตัวรับรังสีและอุณหภูมิน้ำด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อนแตกต่างกัน 5°C และปั๊มน้ำหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิต่างกันน้อยกว่า 2°C โดยทำงานได้ประมาณ 10 นาที เหตุผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำเข้าตัวรับรังสีมากเกินไป ทำให้ตัวรับรังสีถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำไม่เพียงพอ ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำที่ทางออกตัวรับรังสีลดลง และลดลงเรื่อย ๆ อย่างรวดเร็ว ดังอธิบายได้จากสมการที่ 2.2 ส่งผลให้ปั๊มหมุนเวียนน้ำทำงานไม่ต่อเนื่อง และสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในช่วงสตาร์ทปั๊ม โดยการสตาร์ทและหยุดทำงานของปั๊ม สังเกตเห็นได้จากรอยหยักฟันปลาที่แสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำ

4.1.3 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน

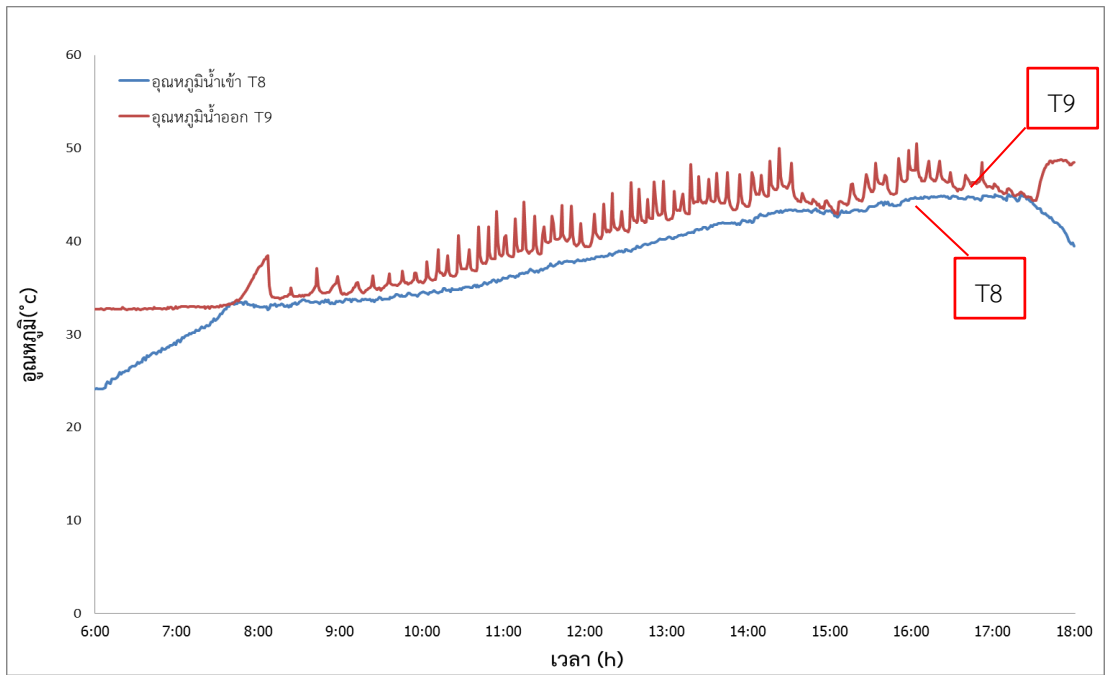
เมื่อเริ่มทำการทดลองเวลา 6.00 น. อุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนตำแหน่งด้านบน กลาง และด้านล่าง คือ T2, T3 และ T5 มีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 34.7, 34.6 และ 34.2 °C ตามลำดับ โดยเวลาประมาณ 9.30 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 17.00 น. มีอุณหภูมิสูงสุด และรักษาระดับอุณหภูมิต่อไปจนจบการทดลองที่อุณหภูมิ T2, T3 และ T5 มีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 46.3, 46.1 และ 46.5 °C ตามลำดับ จากข้อมูลในช่วงต้นพบว่า อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง มีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันตลอดทั้งวัน เนื่องจากถังเก็บน้ำร้อนมีขนาดเล็กและมี อัตราการไหลมากทำให้การแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำไม่แตกต่างกันมากและอุณหภูมิที่ตัวรับรังสีผลิต ได้มีอุณหภูมิไม่สูงมากจึงทำให้อุณหภูมิน้ำใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน คือ ค่ารังสีอาทิตย์ โดยสังเกตเห็นได้ว่า ค่ารังสีอาทิตย์ตั้งแต่เริ่มทำ การทดลองค่อย ๆ ปรับสูงขึ้น และมีความแปรปรวนตามสภาพอากาศเนื่องจากมีเมฆมากและฝนตก ทำให้ค่ารังสีอาทิตย์มีความแปรปรวนมีผลต่ออุณหภูมิน้ำเข้ารวมและน้ำออกรวม



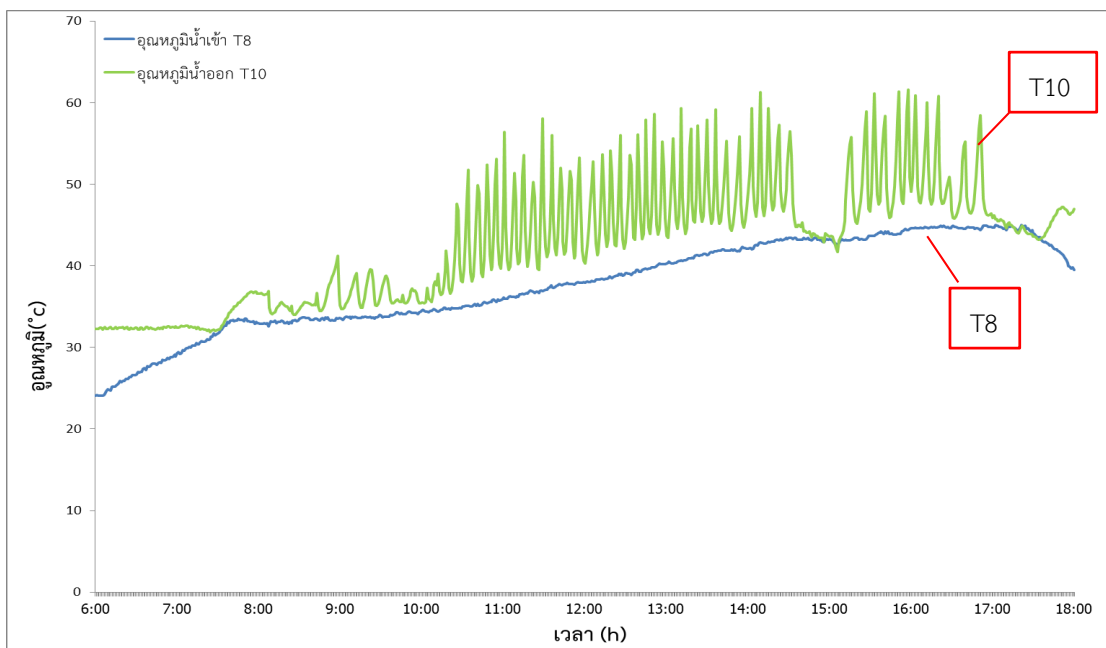
ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง

4.1.4 อุณหภูมิน้ำทางออกตัวรับรังสี

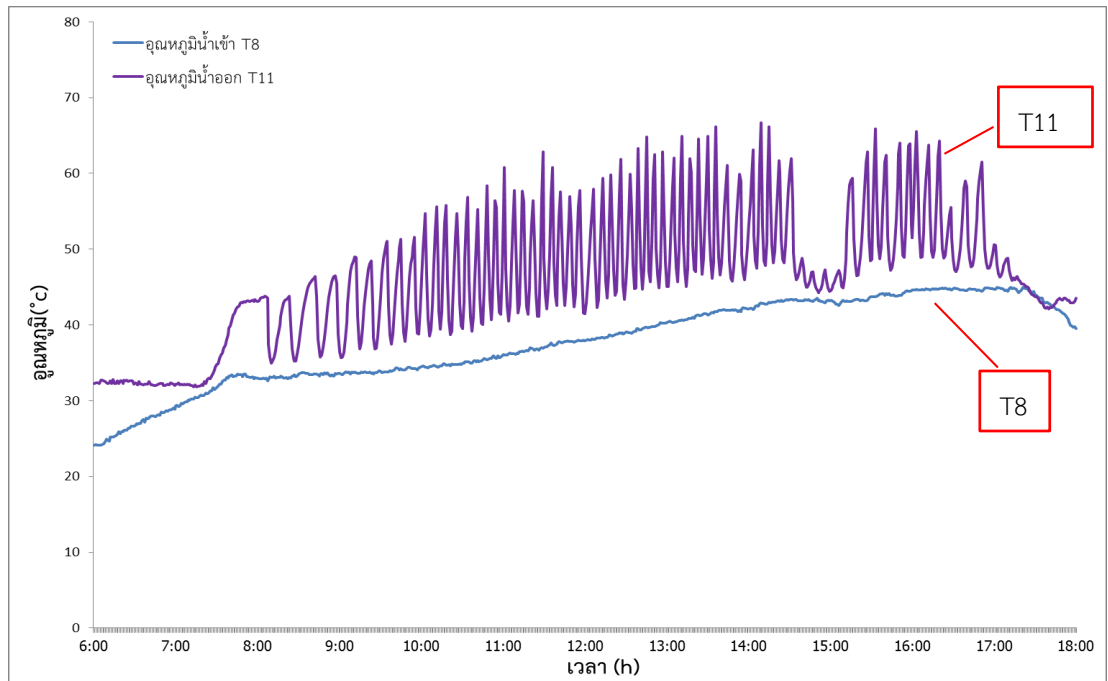
เริ่มต้นการทดลองเวลา 6.00 น. อุณหภูมิน้ำเข้าตัวรับรังสีมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทางออกของตัวรับรังสี T9, T10, T11 และ T12 เท่ากับ 8.6, 8.2, 8.3 และ 10.9 °C ตามลำดับ เวลาผ่านไป อุณหภูมิน้ำเข้ามีแนวโน้มสูงขึ้นขณะที่อุณหภูมิทางออกตัวรับรังสีมีอุณหภูมิก่อนข้างคงที่ ยกเว้นตัวรับรังสี T12 มีแนวโน้มต่ำลง และอุณหภูมิน้ำออกตัวรับรังสีเริ่มสูงขึ้นและลดลงสลับกันไป และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆยกเว้นตัวรับรังสี T12 ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำเข้ารวมเนื่องจากเป็นเวลาที่มีการบดบังรังสีอาทิตย์จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม จนอุณหภูมิสูงกว่าน้ำเข้ารวมเวลาประมาณ 12.35 น. ซึ่งตัวรับรังสี T12 มีอุณหภูมิสูงสุดเวลา 16.51 น. ที่อุณหภูมิ 76.3 °C จากนั้นอุณหภูมิลดต่ำลงและสูงขึ้นสลับกันไปแต่ไม่เท่าอุณหภูมิสูงสุดและมีแนวโน้มลดต่ำลง อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของตัวรับรังสี T9, T10, T11 และ T12 ดังแสดงในภาพที่ 4.4 - 4.7 อุณหภูมิน้ำทางออกตัวรับรังสี T9, T10, T11 และ T12 เฉลี่ยเท่ากับ 40.3, 42.8, 46.1 และ 46.3 °C ตามลำดับ



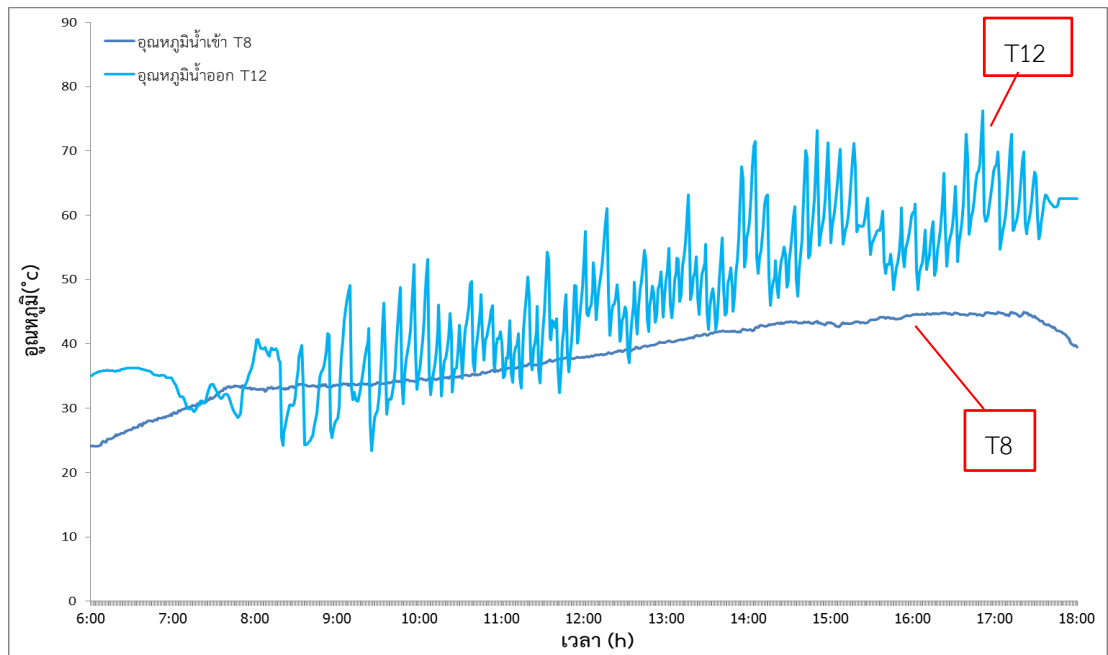
ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T9



ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T10



ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T11

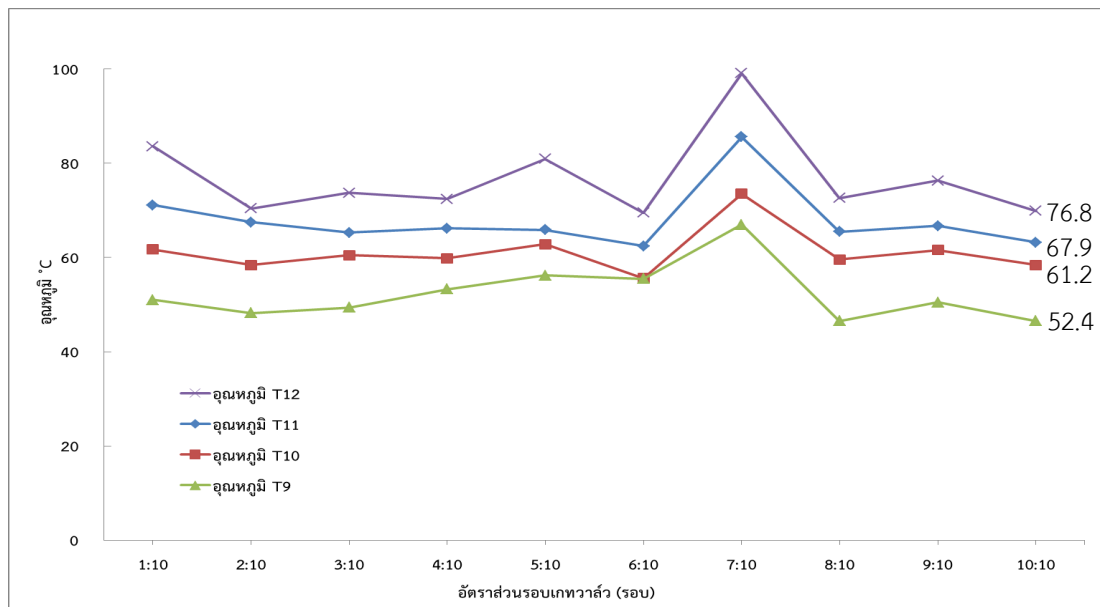


ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิน้ำทางเข้า และทางออกของตัวรับรังสี T12

4.1.5 อุณหภูมิน้ำที่ตัวรับรังสีผลิตได้

จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนการปรับเกจวาล์ว 7/10 รอบ ทำให้ได้อุณหภูมิน้ำทางออกตัวรับรังสี สูงสุดเท่ากับ 99.1 °C ดังแสดงในภาพที่ 4.7 อุณหภูมิน้ำทางออกตัวรับรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 52.4, 61.2, 67.9 และ 76.8 °C ของตัวรับรังสี T9, T10, T11 และ T12 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ตัวรับรังสี T12 มีอุณหภูมิน้ำทางออกเฉลี่ยสูงสุด แต่ปริมาณน้ำไหลผ่านน้อยทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูง โดยความจุของตัวรับรังสี T9, T10, T11 และ T12 เท่ากับ 1.67, 1.67, 1.53 และ 0.26 L ตามลำดับ สังเกตเห็นได้ว่าตัวรับรังสี T9, T10 และ T11 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำร้อนต่ำกว่า แต่สามารถผลิตน้ำร้อนได้มากกว่า

การเลือกใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานเพราะตัวรับรังสี มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ในเรื่องของอุณหภูมิตัวรับรังสีอาทิตย์แบบสุญญากาศ T12 สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับรังสีแบบอื่นแต่จะมีราคาแพงกว่า และมีความจุน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ โดยสามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ย 76.8 °C ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตุดิบรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า T11 สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำกว่า T12 แต่มีความจุมากกว่า T12 แต่มีราคาสูงเช่นเดียวกันซึ่ง T11 ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ย 67.9 °C ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตุดิบรับรังสีภายในเป็นสีดำ T10 และตัวรับรังสีแบบแผ่นราบมีวัตุดิบรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง T9 เป็นตัวรับรังสีแบบแผ่นราบที่มีความจุเท่ากัน แต่ตัวรับรังสี T10 สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูงกว่าตัวรับรังสี T9 แต่มีราคาสูงกว่าเนื่องจากเป็นสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ

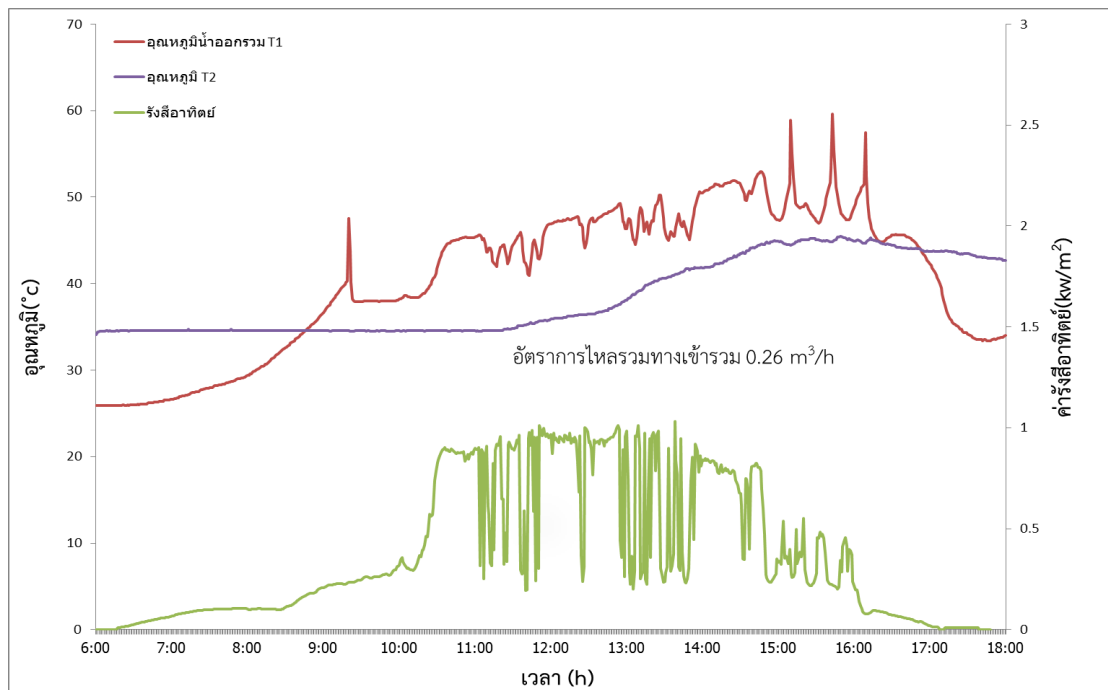


ภาพที่ 4.8 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุดของตัวรับรังสีแต่ละแบบ

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองของการปรับอุณหภูมิน้ำรวมตัวรับรังสี

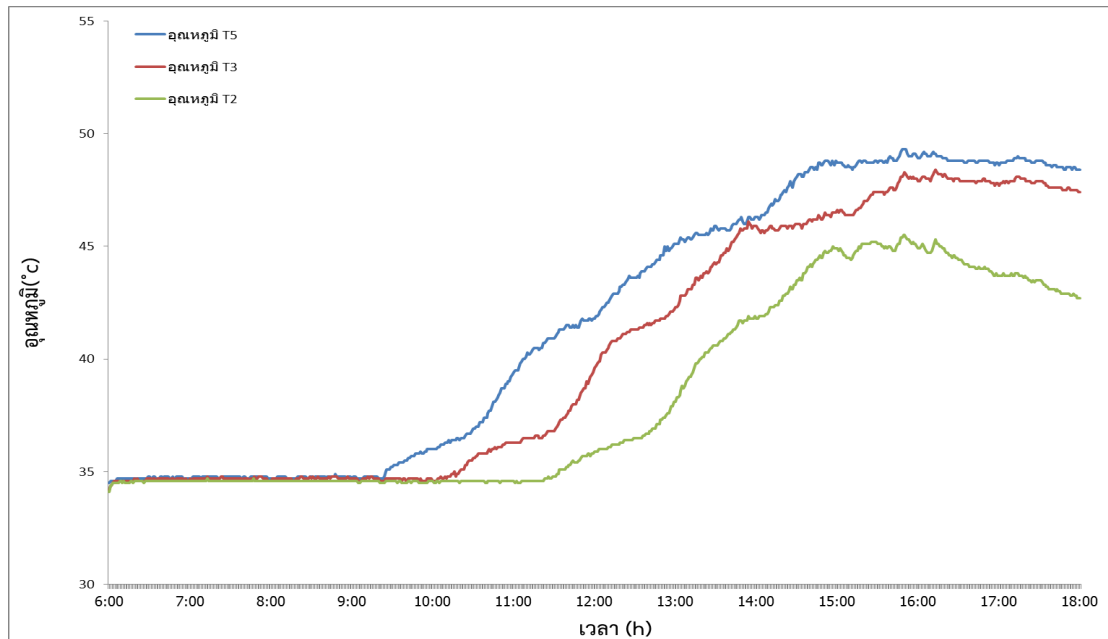
จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ทำให้ทราบว่าการปรับเกจวาล์วที่อัตรารอบการปรับเท่ากัน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบไม่เป็นไปในเชิงเส้นตรงหรือไม่มีผลต่อการทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โครงการศึกษาวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบโดยการปรับอุณหภูมิน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ให้มีอุณหภูมิสูงสุดและใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำทางออกรวมสูงสุด และลดการสูญเสียอุณหภูมิรวมถึงลดการหยุดทำงานของปั้มน้ำด้วย เพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด และทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิน้ำร้อนที่ทางออกรวม T1 กับอุณหภูมิน้ำด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อน T2 มีค่าเท่ากับ 5 °C ปั้มน้ำจะเริ่มทำงาน และเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ทางออกรวม T1 กับอุณหภูมิน้ำด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อน T2 มีค่าเท่ากับ 2 °C ปั้มน้ำจะหยุดทำงาน



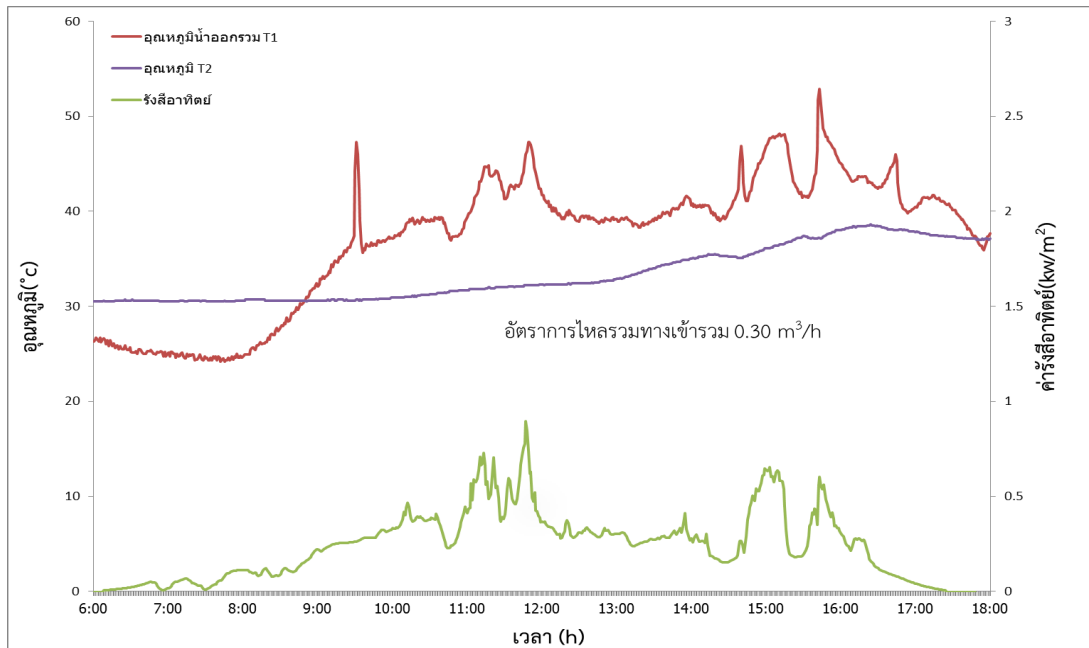
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.26

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำร้อนรวมของระบบ เป็นข้อมูลที่แสดงเพียง 1 วัน ซึ่งได้ทดลองที่อัตราการไหล $0.26 \text{ m}^3/\text{h}$ โดยปรับให้มีอุณหภูมิสูงสุดทดลองเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2559 ดังแสดงในภาพที่ 4.9 จากกราฟจะเห็นได้ว่าปั๊มเริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 9.20 น. เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์มีอิทธิพลต่อค่าอุณหภูมิน้ำที่ทางออกรวม ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีให้กับน้ำทางออกรวม T1 ซึ่งมีการไหลเวียนน้ำร้อนเข้าถังเก็บน้ำร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น และทำงานอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ โดยตลอดการทดลองปั๊มทำงาน 1 ครั้ง เวลา 9.20 น. - 16.12 น. เวลาต่อมาไม่มีการสตาร์ทปั๊มจนจบการทดลองเวลา 18.00 น. โดยมีอุณหภูมิน้ำทางออกรวม T1 และอุณหภูมิล่างถัง T2 เท่ากับ 33.8 และ 42.8 °C ตามลำดับ



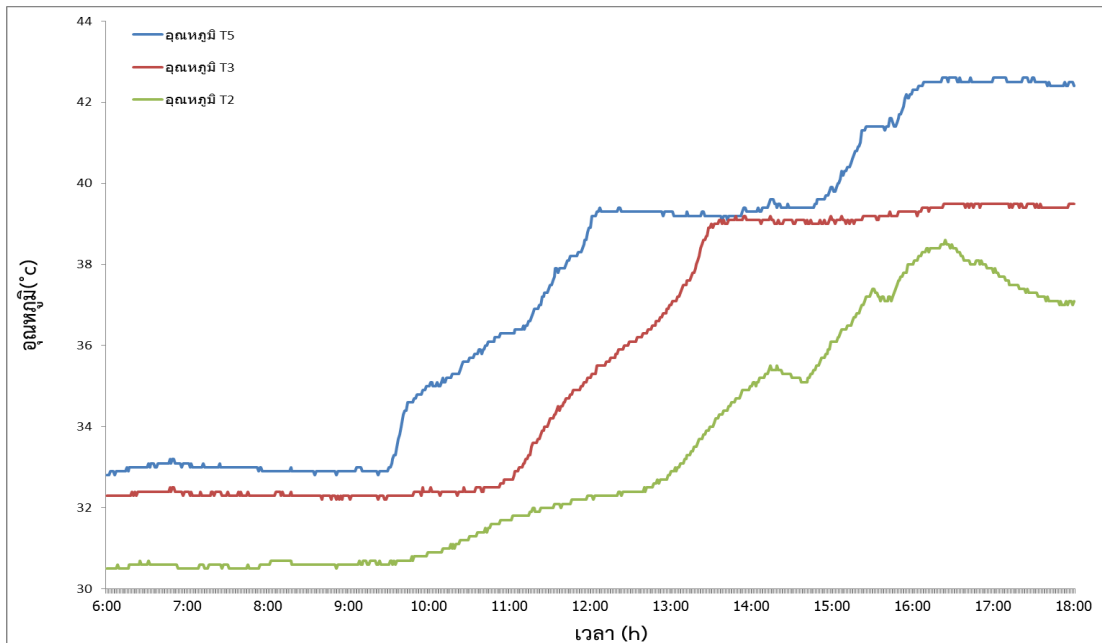
ภาพที่ 4.10 อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.26

จากกราฟแสดงอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน เริ่มการทดลองเวลา 6.00 น. อุณหภูมิด้านบน กลาง ล่าง T2, T3 และ T5 ไม่แตกต่างกันมากนักเฉลี่ย เท่ากับ 34 °C และรักษาระดับจนปั้มน้ำเริ่มทำงานทำให้เกิดการไหลเวียนน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไหลเข้าถังเก็บน้ำร้อนทำให้อุณหภูมิในถังปรับสูงขึ้นเวลา 9.20 น. ซึ่งจะเห็นการแบ่งชั้นอุณหภูมิถังเก็บน้ำร้อนบน กลาง และล่างได้ชัดเจน และมีแนวโน้มสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลาประมาณ 16.00 น. และมีแนวโน้มต่ำลงจนจบการทดลองเวลา 18.00 น. ซึ่งอุณหภูมิน้ำร้อนด้านบน กลาง ล่าง เท่ากับ 48.4, 47.4 และ 42.7 °C ตามลำดับ



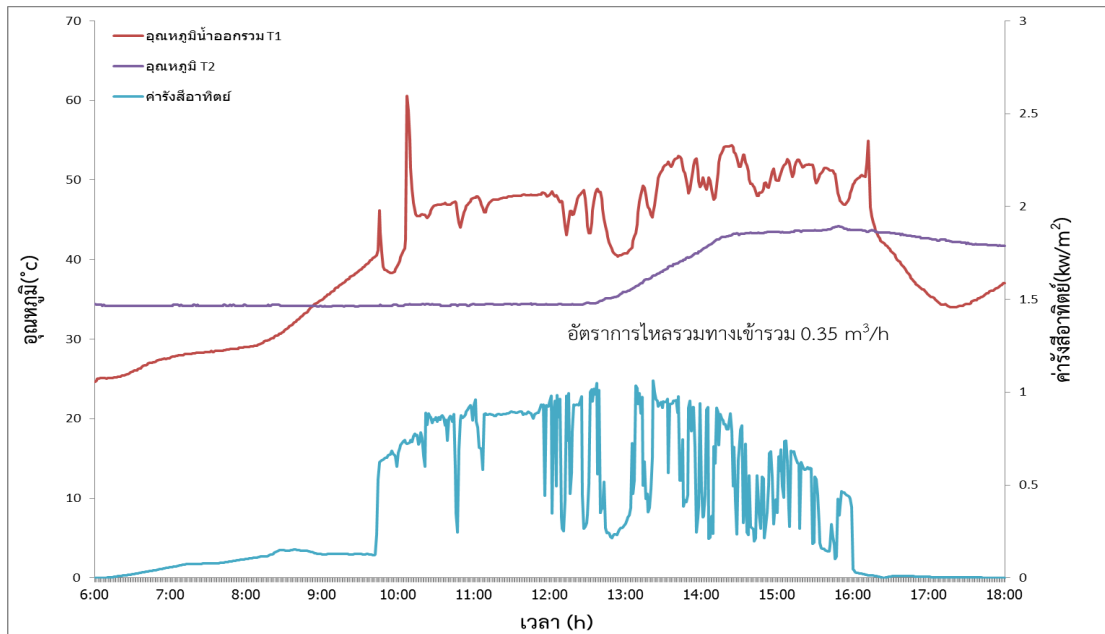
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.30

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำร้อนรวมของระบบ เป็นข้อมูลที่แสดงเพียง 1 วัน ซึ่งได้ทดลองที่อัตราการไหล $0.30 \text{ m}^3 / \text{h}$ โดยปรับให้มีอุณหภูมิสูงสุด ทดลองเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2559 ดังแสดงในภาพที่ 4.11 จากกราฟจะเห็นได้ว่าปั๊มเริ่มทำงานตั้งแต่ เวลา 9.20 น. เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์มีอิทธิพลต่อค่าอุณหภูมิ น้ำที่ทางออกกรม ทำให้มีการถ่ายเท ความร้อนจากตัวรับรังสีให้กับน้ำทางออกกรม T1 ทำให้น้ำร้อนมีการไหลเวียนในถังเก็บน้ำร้อนมี อุณหภูมิสูงขึ้น และทำงานอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ โดยตลอดการทดลองปั๊มทำงาน 1 ครั้ง เวลา 9.50 น. – 16.54 น. เวลาต่อมาไม่มีการสตาร์ทปั๊มจนจบการทดลองเวลา 18.00 น. โดยมีอุณหภูมิ น้ำ ทางออกกรม T1 และอุณหภูมิถังเก็บ T2 เท่ากับ 37.7 และ 37.1 °C ตามลำดับ



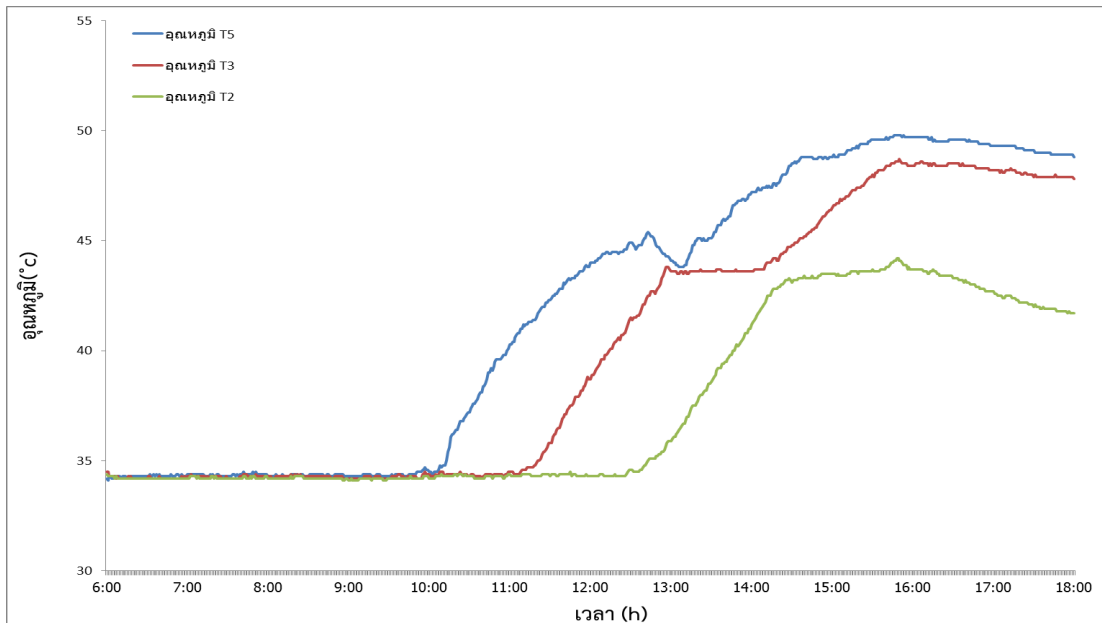
ภาพที่ 4.12 อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.30

จากกราฟแสดงอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน เริ่มการทดลองเวลา 6.00 น. อุณหภูมิด้านบน กลาง ล่าง T2, T3 และ T5 เท่ากับ 30.5, 32.3 และ 32.8 °C ตามลำดับ ป้อนน้ำเริ่มทำงานทำให้เกิดการไหลเวียนน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไหลเข้าถังเก็บน้ำร้อนทำให้อุณหภูมิในถังปรับสูงขึ้นเวลา 9.30 น. ซึ่งจะเห็นการแบ่งชั้นอุณหภูมิถังเก็บน้ำร้อนบน กลาง ล่าง ได้อย่างชัดเจน และมีแนวโน้มสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลาประมาณ 16.20 น. และมีแนวโน้มต่ำลง จนจบการทดลองเวลา 18.00 น. อุณหภูมิด้านบน กลาง ล่าง เท่ากับ 42.5, 39.5 และ 37.0 °C ตามลำดับ



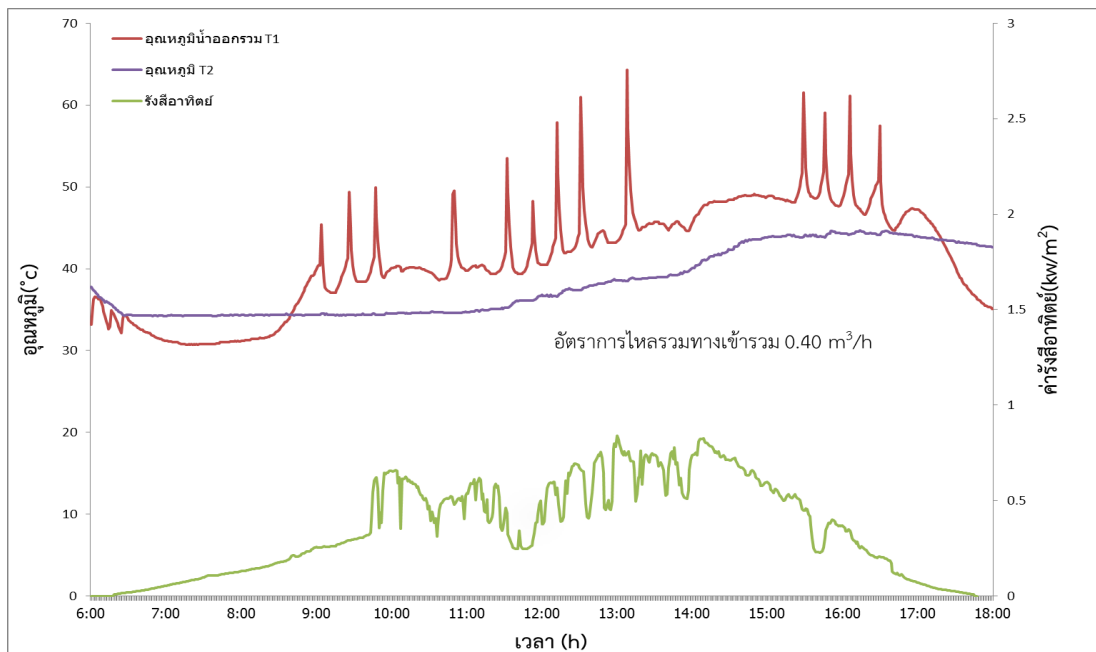
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.35

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำร้อนรวมของระบบ เป็นข้อมูลที่แสดงเพียง 1 วัน ซึ่งได้ทดลองที่อัตราการไหล $0.35 \text{ m}^3 / \text{h}$ โดยปรับให้มีอุณหภูมิสูงสุดทดลองเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2559 ดังแสดงในภาพที่ 4.13 จากกราฟจะเห็นได้ว่าปั๊มเริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 9.20 น. เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์มีอิทธิพลต่อค่าอุณหภูมิ น้ำที่ทางออกรวม ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีให้กับน้ำทางออกรวม T1 ทำให้น้ำร้อนมีการไหลเวียนในถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และทำงานอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ โดยตลอดการทดลองปั๊มทำงาน 1 ครั้ง เวลา 9.50 น. – 16.14 น. เวลาต่อมาไม่มีการสตาร์ทปั๊มจนจบการทดลองเวลา 18.00 น. โดยมีอุณหภูมิ น้ำทางออกรวม T1 และอุณหภูมิล่างถัง T2 เท่ากับ 36.5 และ 41.8 °C ตามลำดับ



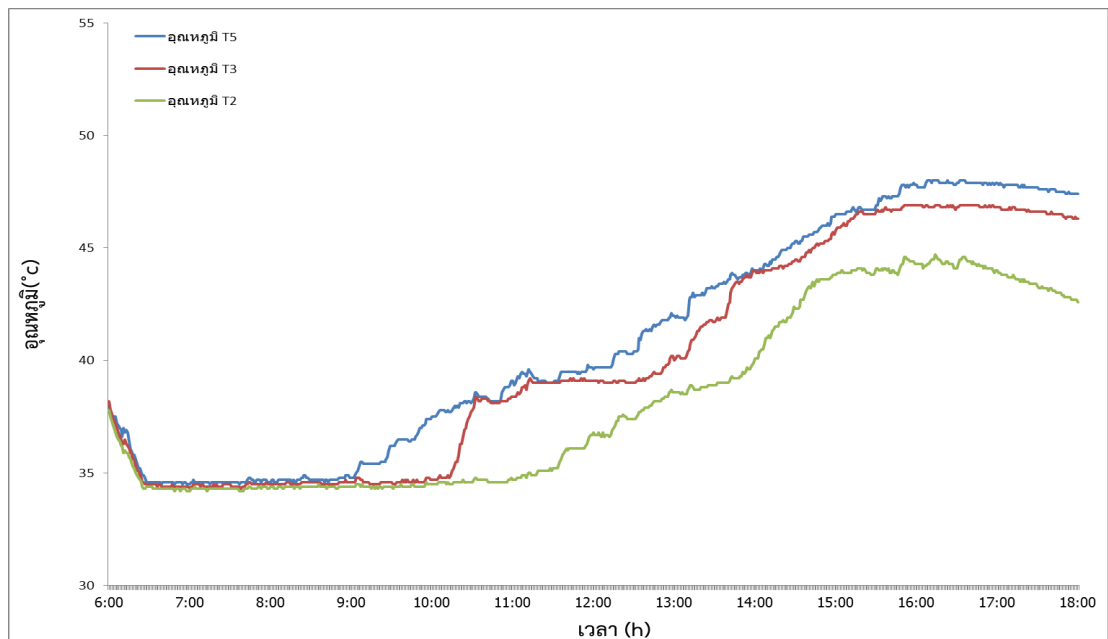
ภาพที่ 4.14 อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.35

จากกราฟแสดงอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน เริ่มการทดลองเวลา 6.00 น. อุณหภูมิด้านบน กลาง ล่าง T2, T3 และ T5 ไม่แตกต่างกันมากเฉลี่ย เท่ากับ 34 °C และรักษาระดับจนปั้มน้ำเริ่มทำงานทำให้เกิดการไหลเวียนน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไหลเข้าถังเก็บน้ำร้อนทำให้อุณหภูมิในถังปรับสูงขึ้นเวลา 10.00 น. ซึ่งจะเห็นการแบ่งชั้นอุณหภูมิถังเก็บน้ำร้อนบน กลาง ล่าง ได้อย่างชัดเจน และมีแนวโน้มสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลาประมาณ 15.50 น. และมีแนวโน้มต่ำลงจนจบการทดลองเวลา 18.00 น. ซึ่งอุณหภูมิน้ำร้อนด้านบน กลาง ล่าง เท่ากับ 48.9, 47.9 และ 41.7 °C ตามลำดับ



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่อัตราการไหล 0.40

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำร้อนรวมของระบบ เป็นข้อมูลที่แสดงเพียง 1 วัน ซึ่งได้ทดลองที่อัตราการไหล $0.40 \text{ m}^3/\text{h}$ โดยปรับให้มีอุณหภูมิสูงสุด ทดลองเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2559 ดังแสดงในภาพที่ 4.15 จากกราฟจะเห็นได้ว่าปั๊มเริ่มทำงานตั้งแต่ เวลา 9.04 น. เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์มีอิทธิพลต่อค่าอุณหภูมิ น้ำที่ทางออกรวม ทำให้มีการถ่ายเท ความร้อนจากตัวรับรังสีให้กับน้ำทางออกรวม T1 ทำให้น้ำร้อนมีการไหลเวียนในถังเก็บน้ำร้อนมี อุณหภูมิสูงขึ้น และทำงานอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ โดยตลอดการทดลองปั๊มทำงาน 2 ครั้ง เวลา 9.04 น. ปั๊มเริ่มทำงาน และหยุดการทำงานเวลาประมาณ 13.00 น. ปั๊มเริ่มทำงานอีกครั้งเวลา ประมาณ 15.15 น. และหยุดการทำงานเวลาประมาณ 16.20 น. เวลาต่อมาไม่มีการสตาร์ทปั๊มจนจบ การทดลองเวลา 18.00 น. โดยมีอุณหภูมิ น้ำทางออกรวม T1 และอุณหภูมิ ด้านล่างถัง T2 เท่ากับ 35.1 และ 42.8°C ตามลำดับ



ภาพที่ 4.16 อุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนด้านบน กลาง และด้านล่าง ที่อัตราการไหล 0.40

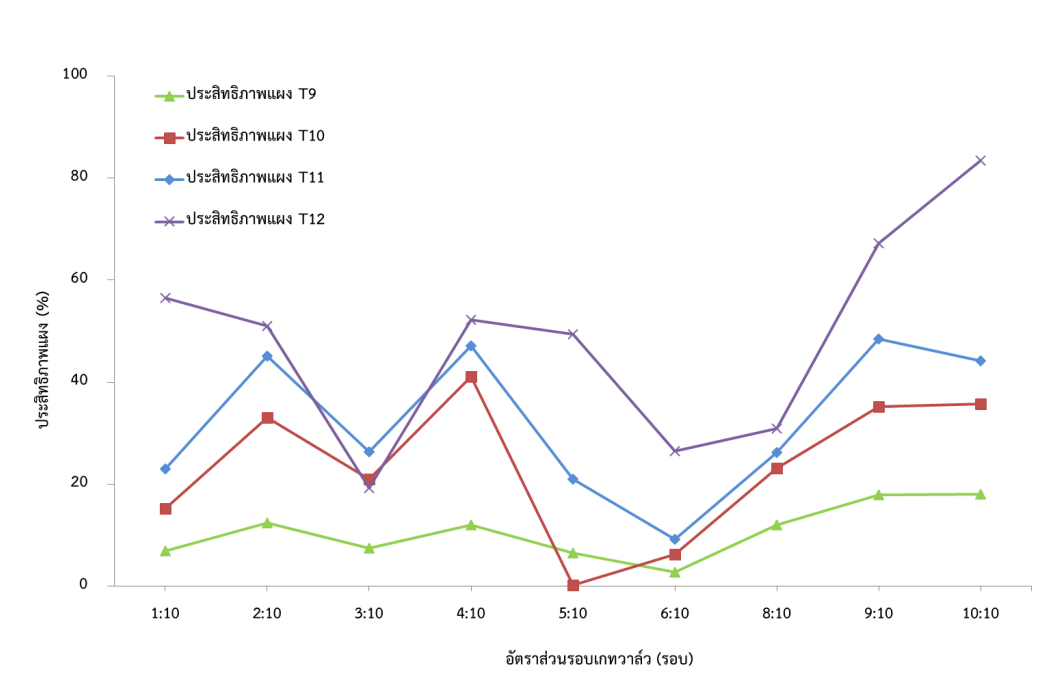
จากกราฟแสดงอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน เริ่มการทดลองเวลา 6.00 น. อุณหภูมิด้านบน กลาง ล่าง T2, T3 และ T5 ไม่แตกต่างกันมากเฉลี่ย เท่ากับ 37.5°C เวลาต่อมา น้ำมีอุณหภูมิลดลงเฉลี่ย เท่ากับ 34.5°C จากการถ่ายเทความร้อนและรักษาระดับจนปั๊มน้ำเริ่มทำงานทำให้เกิดการไหลเวียนน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไหลเข้าถังเก็บน้ำร้อนทำให้อุณหภูมิในถังปรับสูงขึ้นเวลา 9.00 น. ซึ่งจะเห็นการแบ่งชั้นอุณหภูมิถังเก็บน้ำร้อนบน กลาง ล่าง ได้ชัดเจน และมีแนวโน้มสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงสุดที่เวลาประมาณ 16.20 น. และมีแนวโน้มต่ำลงจนจบการทดลองเวลา 18.00 น. ซึ่งอุณหภูมิน้ำร้อนด้านบน กลาง ล่าง เท่ากับ 47.5, 46.4 และ 42.7°C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยการปรับอุณหภูมิน้ำทางออก

วันที่ทดลอง	พลังงานสะสม ในถังเก็บน้ำร้อน (MJ)	พลังงานรังสี อาทิตย์ (MJ)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (%)	อุณหภูมิน้ำร้อน สูงสุด (°C)
7/10/2559	27.22	97.5029	27.91	42.4
8/10/2559	21.21	105.2618	20.15	41.3
10/10/2559	42.29	120.2226	35.18	43.0
14/10/2559	49.83	126.5676	39.37	46.2
15/10/2559	53.73	140.1174	38.35	47.3
19/10/2559	31.12	121.2032	25.68	45.4
20/10/2559	50.52	144.4841	34.97	48.5
23/10/2559	49.13	128.9606	38.09	46.1
26/10/2559	3.91	37.1210	10.53	36.7
30/10/2559	32.66	82.0452	39.81	39.7
ประสิทธิภาพสูงสุด			39.81	48.5

4.3 ประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของตัวรับรังสี T9 T10 T11 และ T12 มีค่าเท่ากับ 10.7% 23.4% 32.3% และ 48.5% ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่าตัวรับรังสี T12 มีประสิทธิภาพสูงสุด และตัวรับรังสี T9 มีประสิทธิภาพต่ำสุด เนื่องจากตัวรับรังสี T9 เป็นตัวรับรังสีแบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำซึ่งผลิตขึ้นเอง จึงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ แต่ข้อดีคือมีราคาถูกกว่าตัวรับรังสี T9 โดยประสิทธิภาพตัวรับรังสีแต่ละอัตราส่วนการปรับเงจวาล์วแสดงในภาพที่ 4.8 โดยสังเกตเห็นได้ว่า ตัวรับรังสีแบบ T11 เป็นตัวรับรังสีแบบแผ่นราบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และที่อัตราส่วนการปรับเงจวาล์ว 6/10 รอบ พบว่า ค่าเฉลี่ยตัวรับรังสีทั้ง 4 แบบ มีประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 11.2% และอัตราส่วนการปรับรอบเท่ากับ 10/10 รอบ มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 45.4% เหตุผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำไหลผ่านตัวรังสีมีปริมาณมากดังอธิบายได้จากสมการที่ 2.4 และ 2.5



ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแต่ละแบบ

ตัวรับรังสีแต่ละแบบ มีอัตราการไหลโดยมวลแตกต่างกันเมื่อทำการปรับรอบเกวาล์ว ทำให้ประสิทธิภาพตัวรับรังสีเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยประสิทธิภาพสูงสุดของตัวรับรังสี T9 T10 T11 และ T12 มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.183 kg/s 0.147 kg/s 0.144 kg/s และ 0.167 kg/s ตามลำดับ จากการทดลองสรุปได้ว่าการปรับเกวาล์วเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบไม่เป็นไปในเชิงเส้นตรง ดังนั้นการปรับเกวาล์วเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจึงควรทำการปรับเกวาล์วแต่ละจุดให้มีอุณหภูมิทางออกรวมสูงสุด ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แบบใช้ตัวรับรังสีหลายชนิดมีวัตถุประสงค์คือ สร้างชุดสาธิตระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 แบบได้แก่ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้า ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศซึ่งได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ ปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์ 10 ระดับ โดยการปรับวาล์วตั้งแต่ 1/10 ถึง 10/10 รอบ ปรับอุณหภูมิความร้อนของตัวรับรังสีให้มีอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การปรับเกจวาล์วเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ผลการทดลองพบว่าการปรับเกจวาล์วที่ 1/10 ถึง 10/10 รอบ ได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 23.06 27.58 30.95 26.80 31.51 23.46 31.42 29.85 32.56 และ 24.03 % และปริมาณรังสีอาทิตย์เท่ากับ 109.56 102.73 123.08 123.41 141.74 84.48 111.47 108.93 153.89 และ 116.75 MJ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการหาประสิทธิภาพแบบการปรับเกจวาล์วไม่เป็นไปตามสมการเชิงเส้น จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าการปรับเกจวาล์วที่ 9/10 รอบ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 32.56 % โดยมีค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบระบบเท่ากับ 153.8986 MJ ซึ่งทำให้ได้พลังงานสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 50.10 MJ และระบบทำอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดเท่ากับ 40.5 °C โดยมีอัตราการไหลของน้ำเข้าตัวรับรังสีดังนี้ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.1833 kg/s ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีฟ้ามีอัตราการไหลเท่ากับ 0.1417 kg/s ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตถุรับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเองมี

อัตราการไหลเท่ากับ 0.1333 kg/s ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ 0.1667 kg/s ซึ่งในการทดลองมีการป้อนน้ำเข้าระบบที่อุณหภูมิเท่ากับ 34°C จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าการหาประสิทธิภาพโดยการปรับเกจวาล์วไม่เป็นไปตามสมการเชิงเส้น โดยปริมาณรังสีอาทิตย์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของประสิทธิภาพระบบมากกว่าการปรับเกจวาล์ว

2. การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบโดยการปรับอุณหภูมิน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ให้มีอุณหภูมิสูงสุดและใกล้เคียงกัน ผลการทดลองพบว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด เท่ากับ 39.81% โดยมีค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบระบบเท่ากับ 82.0452 MJ ซึ่งทำให้ได้พลังงานสะสมภายในถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 32.66 MJ และระบบทำอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดเท่ากับ 39.7°C ซึ่งในวันทำงาน การทดลองอัตราการไหลของตัวรับรังสีแตกต่างกันดังนี้ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.0333 kg/s ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีฟ้ามีอัตราการไหลเท่ากับ 0.0306 kg/s ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเองมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.0250 kg/s ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ 0.0278 kg/s ซึ่งในการทดลองมีการป้อนน้ำเข้าระบบที่อุณหภูมิเท่ากับ 34°C ซึ่งการทดลองแบบการปรับอุณหภูมิน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเพิ่มขึ้น 7.25% สรุปได้ว่า การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยการปรับอุณหภูมิน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ให้สูงสุดและมีความใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ปั้มน้ำของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ทำงานได้นานขึ้นเป็นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองแบบการปรับเกจวาล์ว

3. จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิน้ำทางออกตัวรับรังสีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 52.4°C 61.2°C 67.9°C และ 76.8°C ของ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีฟ้า และ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ตามลำดับอย่างไรก็ตาม ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศ มีอุณหภูมิน้ำทางออกเฉลี่ยสูงสุด แต่ปริมาณน้ำไหลผ่านน้อยทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูง โดยความจุของตัวรับรังสีเท่ากับ 1.67 , 1.67 , 1.53 และ 0.26 L ตามลำดับ

สังเกตเห็นได้ว่า ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีฟ้า ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิความร้อนต่ำกว่า แต่สามารถผลิตความร้อนได้มากกว่า สรุปได้ว่า ตัวรับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการอุณหภูมิสูงแต่ปริมาณการใช้น้ำร้อนน้อย โดยอุณหภูมิความร้อนที่สามารถผลิตได้อยู่ที่ประมาณ $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตัวรับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ มีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำที่ผลิตขึ้นเอง เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการอุณหภูมิความร้อนประมาณ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และต้องการปริมาณน้ำมาก มีราคาถูก ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีดำและตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีวัตต์รับรังสีภายในเป็นสีฟ้า เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการอุณหภูมิความร้อนประมาณ $60\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่มีราคาแพงกว่าเนื่องจากนำเข้าจากต่างประเทศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การปรับตั้งชุดควบคุมระบบการทำงานปั๊ม โดยการปรับอุณหภูมิระหว่างน้ำในถังเก็บน้ำร้อนด้านล่างกับอุณหภูมิน้ำทางออกตัวรับรังสีอาทิตย์รวม มีค่าต่างกันน้อยกว่า $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้การทำงานของปั๊มนานขึ้น ลดการใช้ไฟฟ้าจากการสตาร์ทปั๊มลงได้

2. การใช้ระบบ PLC (Programmable Logic Controller) ควบคุมการทำงาน อาจมีความซับซ้อนในการปรับเปลี่ยนการทำงานและมีราคาแพง การใช้ระบบควบคุมโดย แมกเนติกสวิตช์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

3. ควรมีการออกแบบปั๊มให้เหมาะสมกับการทำงาน เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

4. ควรทำการทดลองโดยการใช้ความร้อนจริง เพื่อให้ได้ผลการทดลองใกล้เคียงการใช้งานจริงมากขึ้น

5. ควรมีการจัดการฝึกอบรมให้กับเกษตรกรหรือสถานประกอบการที่สนใจระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการเชิญมาเข้ารับการสาธิตการใช้งานจริง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

บรรณานุกรม

- จิรวัดน์ วุฒยากร. (2556). การพัฒนาปรับปรุงถึงสะสมความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนด้วย
พลังงานรังสีอาทิตย์. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ชัยชนะ ยอดนิล. (2556). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการศึกษาสมรรถนะระบบผลิตน้ำ
ร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดในภูมิประเทศที่เป็นเกาะ. สาขาวิชาเทคโนโลยี
พลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- เนตร ภูประสม. (2556). การออกแบบระบบน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดสำหรับรีสอร์ทในเขต
ปริมณฑล. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ฤทธิชัย บุญทาศรี. (2556). การพัฒนาระบบอุ่นน้ำด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้หลอดแก้ว
สุญญากาศกับท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ศศิชา เรียมสุวรรณ. (2554). การเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบใช้ปั๊มความร้อนกับใช้แผงรับ
แสงอาทิตย์แผ่นราบเรียบสำหรับอาคารพักอาศัย. สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัด
การพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศิริวรรณ กล้าหาญ และคณะ. (2549). การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบตามมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 899 – 2532) ภายใต้ระบบแสงอาทิตย์เทียม. กลุ่มวิจัย
ระบบพลังงานสะอาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- เสริม จันทรฉาย และจรัสแสง ลักษณะบุญส่ง. (2542). แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูล
ดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับภาค
วิชาชีพสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร

เสริม จันทร์ฉาย. (2556). **รังสีอาทิตย์**. นครปฐม: เพชรเกษมการพิมพ์

เอกลักษณ์ สุวรรณสถิตย์ (2556). การศึกษาสภาพการใช้งานที่เหมาะสมและแบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดสำหรับ
โรงพยาบาล. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Solar Hot water. (2015). **Energy without carbon**, Retrieved

October 1, 2016, from <http://www.energy-without-carbon.org/>

Solar Panels Plus. (2015). **Solar panels plus**, Retrieved

October 1, 2016, from <http://www.solarpanelsplus.com/residential/>