อภินันทนาการ

สัญญาเลขที่ R2556B010

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา

The Development of Flat Plate Solar Collector Integrated with Compound Parabolic Concentrator (CPC)

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน - 2 มิ.ย. 2558
เลขทะเบียน 1 5760793
เลขเรียกหนังสือ ว โร
ธ๓๖
จนร1
2556

คณะผู้วิจัย สังกัดวิทยาลัยพลังงานทดแทน

1. ดร.สุขฤดี สุขใจ
2. ดร.ธวัช สุริวงษ์
3. นายวิสุทธิ์ แช่มสะอาด
4. นายสรวิศ สอนสารี
5. นายไพฑูรย์ เหล่าดี

สนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร

กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวรประจำปีงบประมาณ 2556 คณะผู้ดำเนินงานวิจัยใคร่ขอขอบคุณอย่างยิ่งที่มหาวิทยาลัยนเรศวรได้มีนโยบายในการสนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจัง และสนับสนุนอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด และขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนา ออกแบบ และสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้วัสดุภายในประเทศ 100% ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูงได้ และเพื่อประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบใหม่ที่ได้ผลิตขึ้น ซึ่งต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาได้ถูกพัฒนาขึ้นมา 2 แบบ ที่มีขนาดค่าครึ่งมุมรับรังสี (Half acceptance angle) ที่แตกต่างกันคือ แบบที่(1) 11.5^{O} และ แบบที่ (2) 41.8^{O} และใช้ท่อ Stainless ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 33 มิลลิเมตรเป็นท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และเมื่อทำการทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHARE STANDARD (93-77) พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่(1)มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเป็น 72.5% และมีค่าสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 12.6 W/m^{2} ในขณะที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่(2)มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเป็น 62.7% และมีค่าสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 21.3 W/m^{2} และเมื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้พบว่า ตัวเก็บรังสีแบบที่(1) จะสามารถผลิตค่าพลังงานตลอดทั้งปีได้เท่ากับ 2,194.2 kWh โดยมีค่าพลังงานสูงสุดเท่ากับ 248.1 kWh ในเดือนมีนาคม และต่ำสุดเท่ากับ 145.9 ในเดือนตุลาคม ในขณะที่ตัวเก็บรังสีแบบที่(2) จะสามารถผลิตค่าพลังงานตลอดทั้งปีได้เท่ากับ 1,649.8 kWh โดยมีค่าพลังงานสูงสุดเท่ากับ 208.7 kWh ในเดือนมีนาคม และต่ำสุดเท่ากับ 98.8 ในเดือนตุลาคม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่(1) สมควรได้รับการเผยแพร่ให้นำไปใช้งานกับระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

คำสำคัญ : ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ, แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์, รูปประกอบพาราโบลา

Abstract

The objectives of this research is to develop, design and build new type of efficient solar collector using 100% local material which can be used for high temperature hot water producing, and also to evaluate its thermal performance. Two types of flat plate solar collector integrated with compound parabolic concentrator (CPC) with different acceptance angle were design to be the prototype. The half acceptance angle of Type(1) and Type(2) are 11.5^{O} and 41.8^{O}. The stainless pipe with diameter of 33 mm was used for absorber in the collector. ASHARE STANDARD (93-77) test showed that Type(1) has maximum thermal efficiency of 72.5% and thermal loss coefficient of 12.6 W/m^2 while Type(2) has maximum thermal efficiency of 62.7% and thermal loss coefficient of 21.3 W/m^2. The results from annual energy analysis illustrated that Type(1) can produce annual energy of 2,194.2 kWh, maximum energy of 248.1 kWh in March and minimum energy of 145.9 in October while Type(2) can produce annual energy of 1,649.8 kWh, maximum energy of 208.7 kWh in March and minimum energy of 98.8 in October. The research results indicated obviously that Type(1) should be considered to promote for using with the solar water heater system.

Key world : Flat Plate Solar Collector, Solar Reflector, Compound Parabolic Concentrator

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ
บทคัดย่อภาษาไทย
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ
สารบัญ
สารบัญตาราง
สารบัญรูป

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย 3
2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) 3
2.3 ตัวรวมรังสีแบบรูปประกอบพาราโบลา 4
2.4 ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 11
2.5 มาตรฐานตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 13
2.6 ความแตกต่างของผลทดสอบประสิทธิภาพ 16
2.7 ค่าลักษณะเฉพาะ(Characteristic Value) และการคำนวณพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ 16
2.8 การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASHARE STANDARD 93-77 17
2.9 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 20

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและอุปกรณ์การวิจัย 23
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย 23
3.2 สถานที่ทำการทดลอง 23
3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 25

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล 30
4.1 ผลการออกแบบและผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 30
4.2 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา 31

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 ผลวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 36

4.4 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 และแบบที่ 2 41

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 43

5.1 ผลการพัฒนาต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 43

5.2 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา 43

5.3 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 43

5.4 ข้อเสนอแนะ 44

บรรณานุกรม 45

ภาคผนวก 47

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ภาพตัดขวางตัวรวมรังสีแบบ CPC แบบส่วนโค้งพาราโบลาเต็มรูปแบบ	5
2	ชนิดและส่วนประกอบของ CPC แต่ละแบบ	7
3	อัตราส่วนความสูงต่อหน้าตัดรับรังสี(H/A) ของ CPC แบบเต็มและแบบที่ถูกตัดบางส่วน	9
4	อัตราส่วนของผิวสะท้อนต่อพื้นที่หน้าตัดตัวเก็บรังสี CPC แบบเต็มและแบบที่ถูกตัดบางส่วน	10
5	ระบบทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์	17
6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ $(T_i-T_a)/G_T$	20
7	การติดตั้งเครื่องมือวัดสำหรับแท่นทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบกลางแจ้ง	25
8	หุ้มฉนวนท่อของตัวเก็บรังสี	26
9	หุ้มฉนวนท่อของตัวเก็บรังสี	26
10	ประกอบตัวสะท้อนรังสีสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์	26
11	ประกอบตัวสะท้อนรังสีสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์	27
12	การติดตั้งเครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์	27
13	การติดตั้งเครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์	28
14	การปรับลดความดันในระบบ	28
15	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่พร้อมสำหรับการทดสอบ	29
16	ภาพตัดของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีครึ่งมุมรับรังสี 11.5^{O}	30
17	ภาพตัดของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีครึ่งมุมรับรังสี 41.8^{O}	31
18	ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1	33
19	ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2	35
20	ปริมาณรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือนของจังหวัดพิษณุโลก	38
21	ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	38
22	ขั้นตอนการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อน	38
23	ค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลิตได้ในแต่ละเดือน	39
24	ค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2 ผลิตได้ในแต่ละเดือน	40
25	เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 และ 2 ผลิตได้ในแต่ละเดือนตลอดของ จ.พิษณุโลก	42
ก1	แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา	48
ก2	แบบขยายแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา	48
ก3	Absorber Tube	49
ก4	Header Tube	49
ก5	การเชื่อมท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์	49

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	4
2 ความสัมพันธ์ของความสูง (H) ความยาวโฟกัส (f) ครึ่งมุมรับรังสี (θ_c) และเส้นรอบรูปของตัวดูดกลืนรังสี (เฉพาะด้านที่รับรังสี (a)) ของ CPC	8
3 เครื่องหมายและสัญลักษณ์ในสมการประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	12
4 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1	32
5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1	33
6 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2	34
7 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2	36
8 ปริมาณรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม จ.พิษณุโลก	38
9 ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1	39
10 ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2	40
11 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปความร้อนนิยมใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ทั้งนี้สามารถแบ่งชนิดของตัวรับรังสีอาทิตย์ออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-Plate Solar Collector) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้จะมีราคาไม่แพงมากนัก และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 60% นิยมนำมาใช้ผลิตน้ำร้อนที่มีค่าอุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง (40 – 60 °C)
2) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดฮีตไปป์ (Heat Pipe Evacuated Tube Solar Collector) ตัวเก็บรังสีชนิดนี้ จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ นิยมนำมาใช้ผลิตน้ำร้อนที่มีค่าอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 80 °C) [2]

แต่อย่างไรก็ตามตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดที่สองมักมีราคาค่อนข้างสูงจึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก ทั้งนี้สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดฮีตไปป์มีราคาแพง ก็คือราคาวัสดุหรืออุปกรณ์ เช่น ท่อสุญญากาศ (Evacuate Tube) ท่อความร้อน (Heat Pipe) เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถลดค่าใช้จ่ายจากวัสดุหรืออุปกรณ์ ในส่วนนี้ลงได้ก็จะช่วยให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่จะถูกนำมาใช้ในระบบผลิตน้ำร้อนในที่มีค่าอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 80 °C) เป็นที่นิยมมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงมีวัสดุหรืออุปกรณ์ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดฮีตไปป์ได้ คือ แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (Compound Parabolic Concentrator, CPC) ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูงตลอดช่วงระยะเวลาระหว่างวันได้ โดยไม่ต้องปรับทิศทางหมุนตามดวงอาทิตย์ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มสูงมากขึ้น

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เทคโนโลยี วัสดุหรืออุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของความร้อนอุณหภูมิสูง ยังมีราคาค่อนข้างแพง งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดใหม่ ที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้วัสดุภายในประเทศ โดยมีรายละเอียดดังนี้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งด้านในจะประกอบไปด้วย ท่อความร้อนหรือท่อทองแดง ที่รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ และความร้อนจากรังสีสะท้อนจากแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพสูง ราคาไม่แพง และสามารถผลิตน้ำร้อนในช่วงอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 80 °C) ได้ ดังนั้นจะส่งผลให้การประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของความร้อนอุณหภูมิสูงเป็นที่นิยมมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนา ออกแบบ และสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้วัสดุภายในประเทศ 100% ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูงได้

1.2.2 เพื่อประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบใหม่ที่ได้ผลิตขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบ และสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรักสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 1.5 ตารางเมตร

1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้ทำการออกแบบตามมาตรฐานการทดสอบ ASHRAE STANDARD 93 – 77

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาที่มีประสิทธิภาพสูง

1.4.2 ได้ผลงานวิจัยสำหรับการนำเสนอในงานประชุมวิชาการในระดับประเทศ หรือต่างประเทศอย่างน้อย 1 ฉบับ

1.4.3 ได้ผลงานวิจัยสำหรับการจดอนุสิทธิบัตร อย่างน้อย 1 ผลงาน

1.4.4 ได้แนวทางในการนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลามาใช้งานที่สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 10 ปี ของประเทศไทย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ประเทศไทยอยู่ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับรังสีอาทิตย์ในปริมาณมากและมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งด้านการผลิตไฟฟ้าและความร้อน โดยเฉพาะระบบงานประยุกต์ใช้ด้านความร้อนที่สำคัญในวงการอุตสาหกรรมต่างๆคือระบบผลิตน้ำร้อน ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร[1] พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m^2 –day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m^2-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m^2 -day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m^2 –day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการเปลี่ยนรังสีอาทิตย์มาเป็นความร้อนในระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้แก่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์จะถ่ายเทให้กับของไหลในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ของไหลในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะเป็นตัวพาความร้อนไปกักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) และน้ำร้อนจากถังเก็บนี้จะถูกจ่ายไปเพื่อใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนั้นตัวเก็บรังสีอาทิตย์จึงเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในระบบผลิตน้ำร้อน ซึ่งหากระบบมีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงแล้ว ก็จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย ตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์นั้นมีหลายชนิดด้วยกัน ดังนั้นการเลือกออกแบบชนิดของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง

ตารางที่ 1 ชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat-plate collector (FPC)	Flat	1	30–80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50–200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1–5	60–240
Single-axis tracking			5–15	60–300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10–40	60–250
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	15–50	60–300
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	10–85	60–400
Two-axis tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	600–2000	100–1500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	300–1500	150–2000

Note: Concentration ratio is defined as the aperture area divided by the receiver/absorber area of the collector.

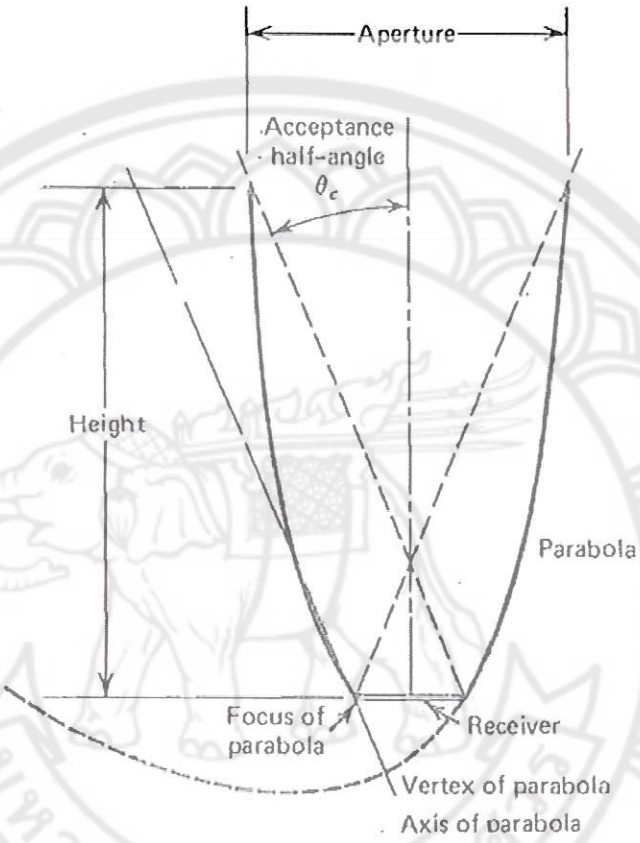
(ที่มา: Solar Energy Engineering Processes and Systems, Soteris A. Kalogirou)

2.3 ตัวรวมรังสีแบบรูปประกอบพาราโบลา (Compound Parabolic Concentrator, CPC)

ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา, CPC เป็นตัวเพิ่มความเข้มรังสีอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Concentrator) ที่มีอุณหภูมิใช้งานปานกลาง (100 – 300 °C) โดยมีรางสะท้อนรังสีให้มีความเข้มเพิ่มขึ้นไปประมาณ 1.1 – 10 เท่า โดยไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์อย่างเที่ยงตรงตลอดเวลา ต้องการการปรับตำแหน่งเป็นบางครั้งบางคราว เช่น เดือนละครั้ง หรือฤดูกาลละครั้งเท่านั้น นอกจากนี้ CPC ยังมีพื้นที่ผิวสะท้อนรังสีมากกว่าแบบเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ (Focusing Concentrator) จึงสามารถยอมให้มีการผิดพลาดของรูปแบบผิวสะท้อนรังสีได้มากขึ้น จึงไม่ต้องการความพิถีพิถันในการสร้างมากเท่าแบบเคลื่อนตามดวงอาทิตย์

ลักษณะสมบัติเชิงแสงของตัวรวมรังสีแบบไม่มีภาพ

ตัวรวมรังสีชนิดนี้สามารถถูกออกแบบให้ทำงานขึ้นกับฤดูกาลต่างๆได้โดยใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์น้อยที่สุด ตัวรวมรังสีในรูปเป็นตัวรวมรังสีอาทิตย์ในอุดมคติ มีอัตราส่วนพื้นที่การรวมรังสีขึ้นอยู่กับครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance Half-Angle, θ_c) ซึ่งมุมรับรังสี (Acceptance Angle) คือ ช่วงกว้างของมุมที่จำกัดบนช่องรับแสง (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 2 ภาพตัดขวางตัวรวมรังสีแบบ CPC แบบส่วนโค้งพาราโบลาเต็มรูปแบบ
(ที่มา : Solar Engineering of Thermal Processes, John A. Duffie)

CPC มีอัตราส่วนการรวมรังสีตามทฤษฎี (CR) ขึ้นอยู่กับตัวกลาง (Medium) ระหว่างตัวดูดรังสี ผิวสะท้อนรังสี และมุมรับรังสี โดย CPC แบบ 2 มิติ จะมีอัตราส่วนรวมรังสีตามทฤษฎี ดังนี้

$$CR_{2-Diamention} = \frac{n}{\sin\theta_c} \qquad (1)$$

เมื่อ n คือ สัมประสิทธิ์การหักเหแสง (Index of Refraction) ของตัวกลางที่อยู่ระหว่างตัวเก็บรังสีกับรางสะท้อนรังสี

θ_c คือ ครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance Half Angle)

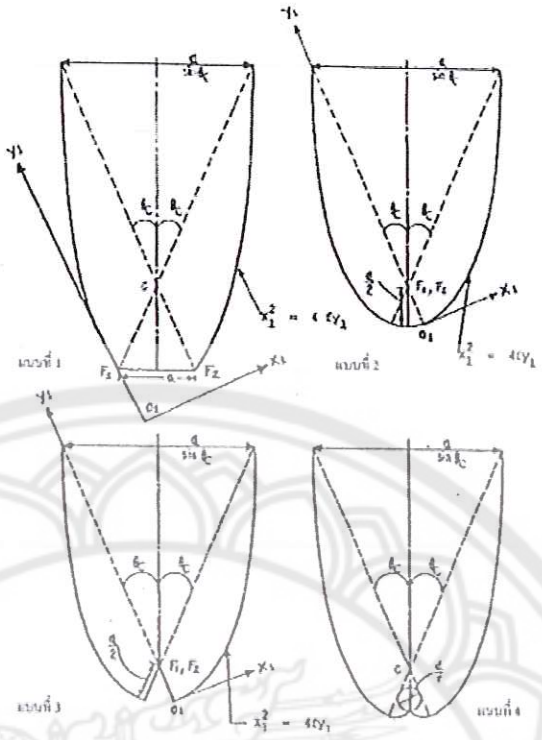
สำหรับ CPC ในอุดมคติ สัดส่วนนี้มีค่าเป็น 1 ในช่วง 0-θ_cถ้าตัดส่วนปลายของ CPC ความสูงจากค่า h ไปยัง h' จะลดต่ำลง ทำให้ประหยัดพื้นที่ของแผ่นสะท้อน ลดต้นทุนการผลิต ซึ่งค่าสมรรถนะของ CPC ลดลงเล็กน้อย

CPC แบบ 2 มิติ สามารถแบ่งตามลักษณะของตัวดูดกลืนรังสีได้ 4 แบบ ดังนี้

- แบบ 1 ตัวดูดกลืนรังสีแบบแผ่นราบ (Flat Type)
- แบบ 2 ตัวดูดกลืนรังสีแบบครีบ (Fin Type)
- แบบ 3 ตัวดูดกลืนรังสีแบบรูปวีคว่ำ (Inverted Vee Type)
- แบบ 4 ตัวดูดกลืนรับรังสีแบบท่อ (Tubular Type) *(ซึ่งเป็นแบบที่ทำการศึกษา)*

ความสัมพันธ์ของความสูงทั้งหมดของรางสะท้อนรังสี (H) ความยาวโฟกัส (f) กับครึ่งมุมรังสี (θ_c) และเส้นรอบรูปของตัวดูดกลืนรังสี (เฉพาะด้านที่รับรังสี) (a) ของตัวดูดกลืนรังสีทั้ง 4 แบบ แสดงไว้ในตารางที่ 2

รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบ และลักษณะตัวดูดกลืนรังสีของ CPC แต่ละแบบจะเห็นว่าตัวดูดกลืนรังสีแบบ 2 และแบบ 4 นั้น ตัวดูดกลืนรังสีอยู่ภายในรางสะท้อนรังสีทั้งหมด จึงไม่ต้องมีฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านหลังของตัวดูดกลืนรังสี และยังสามารถรับรังสีได้รอบตัวอีกด้วย ทำให้พื้นที่ของตัวดูดกลืนรังสีมีพื้นที่น้อยลง จึงสามารถตอบสนองต่อพลังงานที่ได้รับเร็วขึ้น ในการพิจารณานำ CPC มาใช้เป็นตัวรับรังสีของระบบน้ำร้อนนั้น เลือกใช้ CPC ที่มีครีบและท่อเป็นตัวดูดกลืนรังสี โดยให้น้ำซึ่งเป็นของไหลใช้งานไหลผ่านท่อดูดกลืนรังสี เพื่อถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีไปใช้งาน



รูปที่ 2 ชนิดและส่วนประกอบของ CPC แต่ละแบบ

รูปแบบรางสะท้อนรังสีของตัวดูดกลืนรังสีทั้ง 4 แบบ ที่ได้แสดงในรูปที่ 2 นั้น มีพื้นผิวสะท้อนรังสีมาก และลักษณะโครงรางสะท้อนรังสีชันมาก ทำให้สามารถตัดรางสะท้อนรังสีส่วนเกินออกได้มากถึงร้อยละห้าสิบ โดยทำให้อัตราเพิ่มความเข้ม (Concentration Ratio, CR) ลดลงเพียงร้อยละสิบเท่านั้น โดยในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเพิ่มความเข้มกับอัตราส่วนของความสูงต่อหน้าตัดรับรังสี (High / Aperture) และอัตราส่วนของผิวสะท้อนรังสีต่อหน้าตัดรับรังสี (Reflector / Aperture) ตามลำดับ นอกจากนี้การตัดรางสะท้อนรังสีออกบ้างยังช่วยลดความสูญเสียในการสะท้อนกลับมา และทำให้เหมาะสมในเชิงปฏิบัติมากขึ้น

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของความสูง (H) ความยาวโฟกัส (f) ครึ่งมุมรับรังสี (θ_c) และ

เส้นรอบรูปของตัวดูดกลืนรังสี (เฉพาะด้านที่รับรังสี, a) ของ CPC [2]

ตัวดูดกลืนรับรังสี	ความสูงทั้งหมด (H)	ความยาวโฟกัส (f)	สมการส่วนโค้งรูปพาราโบลา
1. แบบแผ่นราบ (Flat Type)	$H=\frac{a}{2}\left(\frac{1}{\tan\theta_c}+\frac{1}{\tan\theta_c\sin\theta_c}\right)$	$f=\frac{a}{2}(1+\sin\theta_c)$	$x^2=4fy$
2. แบบครีบ (Fin Type)	$H=\frac{a}{2}\left(1+\frac{1}{\tan\theta_c\sin\theta_c}\right)$	$f=\frac{a}{2}$	$x^2=4fy$
3. แบบรูปวีคว่ำ (Inverted Vee Type)	$H=\frac{a}{2}\left(\cos\theta_c+\frac{1}{\tan\theta_c\sin\theta_c}\right)$	$f=\frac{a}{2}$	$x^2=4fy$
4. แบบท่อ (Tubular Type)	$H=\frac{a}{2}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi\sin\theta_c}+\frac{1}{\tan\theta_c\sin\theta}\right.$	$f=\frac{a}{r}$	$BC=\beta\left(\frac{d}{2}\right)$ สำหรับ $\beta\le\theta_c+\frac{\pi}{2}$ $BC=\frac{\left(\frac{d}{2}\right)\left[\left(\beta+\theta_c+\frac{\pi}{2}\right)-\cos(\beta-\theta_c)\right]}{1+\sin(\beta-\theta_c)}$ สำหรับ $\theta_c+\frac{\pi}{2}\le\beta\le3\frac{\pi}{2}-\theta_c$

โดยที่ BC คือ ส่วนโค้งรูปพาราโบลา
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
r คือ รัศมีของท่อ (m)

รางสะท้อนรังสีที่มีมุมรับรังสีต่างกัน (อัตราเพิ่มความเข้มตามทฤษฎีต่างกัน) สามารถมีค่าอัตราเพิ่มความเข้มทางปฏิบัติเท่ากันโดยการตัด (Truncation) โดยที่

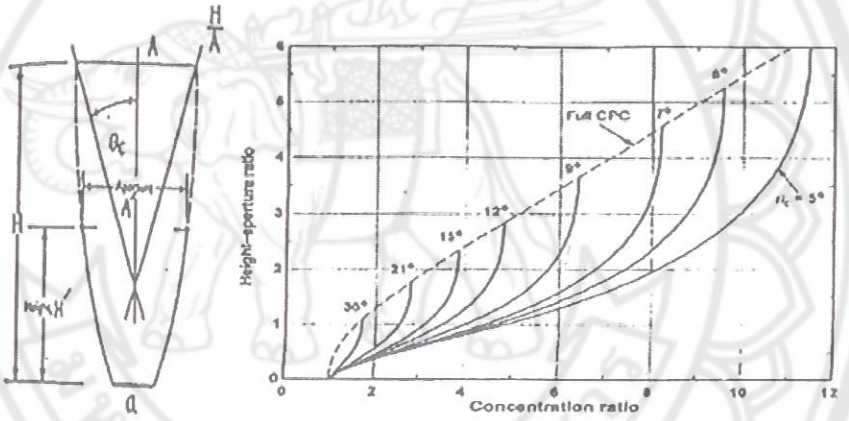
$$CR_{2-Diamention} = \text{พื้นที่หน้าตัดแผงรับรังสี } (A_c) \text{ / พื้นผิวเป้ารับรังสี } (A_r) \quad (2)$$

ข้อจำกัดของ CPC ในการรับรังสี

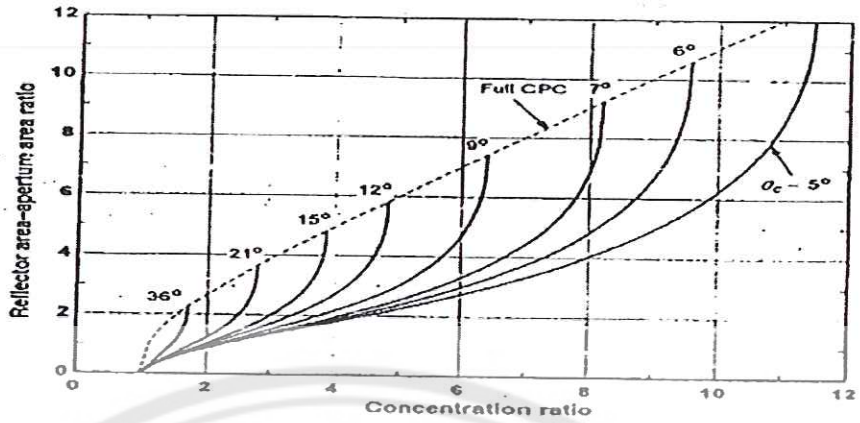
1. สำหรับ CPC ที่มีพื้นที่เป้าดูดรังสีเท่ากันแล้ว แบบที่มีครึ่งมุมรับรังสีน้อยกว่าจะมีความสูง (H) มากกว่า และมีพื้นที่รับรังสี (A_c) และอัตราส่วนรวมรังสีมากกว่าแบบที่มีครึ่งมุมรับรังสีที่โตกว่า แต่ถ้ามีการตัดความสูงของ CPC ลงให้มีหน้ากว้างพื้นที่รับรังสีเท่ากัน หรือให้มีอัตราส่วนรวมรังสีที่เท่ากันแล้ว แบบที่มีครึ่งมุมรับรังสีที่น้อยกว่าจะมีความสูงน้อยกว่า

2. CPC ที่มีครึ่งมุมรับรังสีน้อยกว่าจะมีอัตราส่วนเพิ่มความเข้มที่มากกว่า แต่จะมีระยะเวลาในการรับรังสีต่อวัน หรือต่อฤดูกาลได้น้อยกว่า CPC ที่มีครึ่งมุมรับรังสีที่โตกว่า ดังนั้นจึงต้องมีการปรับมุมรับรังสีบ่อยครั้งกว่า

หมายเหตุ: การตัดความสูงของ CPC จะช่วยลดค่าใช้จ่ายและน้ำหนักลง



รูปที่ 3 อัตราส่วนความสูงต่อหน้าตัดรับรังสี (H/A) ของ CPC แบบเต็มและแบบที่ถูกตัดบางส่วน



รูปที่ 4 อัตราส่วนของผิวสะท้อนรังสีต่อพื้นที่หน้าตัดแผงรับรังสีของ CPC แบบเต็มและแบบที่ถูกตัดบางส่วน

ความร้อนนำไปใช้ประโยชน์จากตัวรวมรังสี

พิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน โดยถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_u = A_c FR\left[s - \frac{U_L}{CR}\left(T_{f,i} - T_a\right)\right] = ICR \times \rho\gamma\left(\tau\alpha\right)_e - U_L\left(T_s - T_a\right) \tag{3}$$

จะได้

$$\frac{U_L}{\rho\gamma\left(\tau\alpha\right)_e} = \frac{ICR}{\left(T_s - T_a\right)} \tag{4}$$

$$Q_u = \dot{m}C_p\left(T_{f,o} - T_{f,i}\right) \tag{5}$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่รับรังสี (Aperture Area, m^2)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg - K)

CR คือ อัตราส่วนรวมรังสี

FR คือ ตัวประกอบการนำความร้อนมาใช้ (Heat Removal Factor)

I คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม (W/m^2)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (W)

Q_u คือ พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (W)

s คือ อัตราการรับความร้อนต่อพื้นที่ของแผงรับรังสี (W/m^2) ($s = \tau\alpha\rho G_T$)

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (K)

T_s คือ อุณหภูมิสมดุล (K)

$T_{f,i}$ คือ อุณหภูมิของน้ำขณะไหลเข้าแผงรับรังสี (K)

$T_{f,o}$ คือ อุณหภูมิของน้ำขณะไหลออกจากแผงรับรังสี (K)

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ ($W/m^2 - K$)

ρ คือ สภาพสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวสะท้อนรังสี

$(\tau\alpha)_e$ คือ ค่าผลคูณประสิทธิผลของสภาพส่งผ่านรังสีอาทิตย์ (τ) และสภาพดูดกลืนรังสีของตัวรับรังสี (α)

γ คือ อัตราส่วนการตกกระทบเป้ารับรังสี

ประสิทธิภาพของตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา

ในการวิเคราะห์ตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา โดยทั่วไปถือว่าประสิทธิภาพแปรเปลี่ยนไปตามการสูญเสียเชิงทัศนศาสตร์ (Optical Losses) และการสูญเสียเชิงความร้อน (Thermal Losses) ตามสมการของ Hottel – Whillier – Bliss กล่าวคือ

$$\eta_c = \frac{Q_u}{G_T A_C} \tag{6}$$

หรือ

$$\eta_c = \frac{\dot{m}C_p\left(T_{f,o} - T_{f,i}\right)}{G_T A_C} \tag{7}$$

หรือ

$$\eta_c = \frac{A_C FR\left[s - \frac{U_L}{CR}\left(T_{f,i} - T_a\right)\right]}{\left(G_T A_C\right)} \tag{8}$$

หรือ

$$\eta_c = FR\left[\eta_{opt} - \frac{U_L}{CR}\frac{\left(T_{f,o} - T_{f,i}\right)}{G_T}\right] \tag{9}$$

2.4 ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (η) แสดงความสัมพันธ์ของความร้อนที่ผลิตได้โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบที่แผ่นในช่วงเวลาเดียวกัน ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่มีหน่วยและไม่มีมิติ อยู่ในรูปร้อยละ (%) สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพได้ดังสมการ

$$\eta = \eta_0 - \frac{a_1\left(\nu_m - \nu_L\right)}{E_e} - \frac{a_2\left(\nu_m - \nu_L\right)^2}{E_e} \tag{10}$$

เมื่อ $\eta_0 = \alpha\tau F'$

ตารางที่ 3 เครื่องหมายและสัญลักษณ์ในสมการประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ [2]

สัญลักษณ์	หน่วย	ความหมาย	ค่า
η	(-), (%)	ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์	
η_0	(-), (%)	ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์กรณีไม่มีความร้อนสูญเสียเมื่อ $\Phi = {}^{\circ}0$ และประสิทธิภาพเชิงแสง $\alpha\tau F'$	
a_1	W/(m^2.K)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้น	1.2-4
a_2	W/(m^2.K^2)	สัมประสิทธิ์กสนถ่ายเทความร้อนกำลังสอง	0.005-0.015
ν_e	$^{\circ}C$	อุณหภูมิของของไหลถ่ายเทความร้อนที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์	
ν_a	$^{\circ}C$	อุณหภูมิของของไหลถ่ายเทความร้อนที่ออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์	
ν_m หรือ T_{col}	$^{\circ}C$	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลถ่ายเทความร้อนในตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์	
E_e (หรือ E_g)	W/m^2	ความเข้มรังสีอาทิตย์	1,000
F'	(-), (%)	ตัวประกอบประสิทธิภาพของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์	0.92-0.97
τ	(-), (%)	ตัวประกอบการส่งผ่านแสงของแผ่นกระจก	0.88-0.91
α	(-), (%)	ตัวประกอบการดูดซับรังสีของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์	0.90-0.96
ค่าเพิ่มเติม : K (ϕ)	(-), (%)	ค่าปรับแก้มุมตกกระทบโดยขึ้นกับมุมตกกระทบ	
$a_{eff} = a_1 + a_2.\Delta\nu$	-	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนประสิทธิผลซึ่งไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ	
c	kJ/(m^2.K)	ความจุความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	

พารามิเตอร์ η_0 แสดงประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เมื่อค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเท่ากับศูนย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะไม่มีการสูญเสียความร้อน ทำให้สองพจน์หลังในสมการข้างต้นเท่ากับศูนย์ ในกรณีนี้จะมีการสูญเสียเชิงแสง (Optical losses) เกิดขึ้นเท่านั้น โดยนิยาม η_0 ว่าประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical efficiency) หรือ "ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อน (Zero loss efficiency)"

โดยทั่วไป ประสิทธิภาพเชิงแสง $\eta_0 = \alpha\tau F'$ (ผลคูณระหว่างค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงของกระจก และค่าตัวประกอบประสิทธิภาพ) คือ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

พารามิเตอร์ a_1 และ a_2 แสดงความร้อนสูญเสียของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ กรณีนี้ค่า a_1 ใช้สำหรับเชิงเส้น และ a_2 เป็นค่าความร้อนสูญเสียกำลังสองที่เพิ่มขึ้นตามผลต่างอุณหภูมิระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์และสิ่งแวดล้อมเป็นการประเมินเชิงคณิตศาสตร์ของโมเดลทางกายภาพ หากอุณหภูมิตัวเก็บรังสีอาทิตย์ยิ่งสูงขึ้นค่าประสิทธิภาพก็ยิ่งต่ำลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้

ค่า a_1 และ a_2 ไม่ได้เป็นปริมาณเชิงกายภาพแต่เป็นเพียงค่าที่กำหนดขึ้นให้เป็นค่าปัจจัย (แฟคเตอร์) ที่เป็นตำแหน่งตรวจวัดภายในเส้นโค้งสมรรถนะ (Performance curve) ซึ่งหากนำค่านี้มาใช้การเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ต่างชนิดกัน จะได้ผลที่ไม่ถูกต้อง ที่ผ่านมาค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองค่านี้ได้ถูกรวมกันเป็นค่า a_{eff} อย่างไรก็ตามนิยามเช่นนี้ก็ยังไม่เพียงพอ

ค่าลักษณะเฉพาะ (η_0 a_1 และ a_2) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และกราฟลักษณะเฉพาะ (Characteristic curves) สามารถกำหนดโดยกระบวนการทดสอบมาตรฐานของสถาบันทดสอบที่ได้รับการยอมรับ มาตรฐานทดสอบ (ดังรูปที่ 2.1) ทำให้สามารถใช้เขียนการเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ต่างกันได้ มีการใช้มาตรฐานทดสอบอยู่หลายมาตรฐานทั้งในระดับประเทศและนานาชาติ จึงต้องระบุมาตรฐานการทดสอบที่ใช้ เมื่อให้ค่า

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เนื่องจากค่าเหล่านั้นถูกระบุด้วยมาตรฐานที่มีเกณฑ์ทดสอบและข้อกำหนดที่แตกต่างกันและไม่จำเป็นว่าจะต้องใช้ร่วมกันได้ ในแผ่นพับโฆษณา ของบริษัทไม่ได้ให้ความสำคัญในการระบุมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่มีการเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยใช้ค่าลักษณะเฉพาะหรือค่าความร้อนที่ผลิตได้จากรังสีอาทิตย์ซึ่งมาจากโปรแกรมจำลองการทำงาน แม้ว่าค่าลักษณะเฉพาะนั้นจะไม่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้

2.5 มาตรฐานตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ระหว่างปี 1994-2000 คณะกรรมการด้านเทคนิค (CEN TC 312) สถาบันมาตรฐานยุโรป (CEN) ได้ปรับปรุงมาตรฐานตัวเก็บรังสีอาทิตย์และการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ขึ้นใหม่โดยอิงตามมาตรฐาน ISO และมาตรฐานในประเทศต่างๆ บ่อยครั้งที่มาตรฐานยุโรป EN มักอิงตามมาตรฐาน ISO (และในทางกลับกัน) ทั้งนี้เป็นไปตามความเห็นชอบร่วมกันของทั้งสองสถาบันมาตรฐาน

กลุ่มประเทศสมาชิกยุโรปได้รับมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นนี้ไปบังคับใช้ โดยยกเลิกมาตรฐานที่ใช้อยู่เดิมมาตรฐาน EN 12975-1 /26/ และมาตรฐาน EN 12975-2 /23/ เริ่มบังคับใช้ในกลางปี 2001 และในปี 2002 ตามลำดับ มาตรฐานทั้งสองนี้ไม่ครอบคลุมถังสะสมน้ำร้อนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

กล่าวโดยรวม มาตรฐาน EN 12975-1 จะระบุถึงเกณฑ์และข้อกำหนดของการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เกณฑ์ความปลอดภัย การประเมินผลจากการทดสอบ และการจัดทำเอกสารแสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์

สำหรับมาตรฐาน EN 12975-2 กล่าวถึงกระบวนการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีกระจกปิด และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบเปลือย (ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ใช้ทำความร้อนให้สระว่ายน้ำ) ภาคที่ 5 ของมาตรฐานอธิบายวิธีทดสอบความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability test) การวัดประสิทธิภาพ (Thermal efficiency) การสูญเสียความดัน (Loss of pressure) และความสามารถในการผลิตน้ำร้อน (Capacity determination)

2.5.1 การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ประกอบด้วย การทดสอบความน่าเชื่อถือ และการทดสอบประสิทธิภาพ ปกติแล้ว ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผ่านเกณฑ์ทดสอบประสิทธิภาพได้ไม่ยาก ดังนั้น ประเด็นจึงอยู่ที่การทดสอบความน่าเชื่อถือ

มาตรฐาน ISO 9806-2 (ตีพิมพ์ในปี 1995) ได้อธิบายกระบวนการทดสอบคุณภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไว้ มาตรฐานนี้ถูกอ้างอิงในภาคที่ 5 ของมาตรฐาน EN 12975-2 การทดสอบความดัน (Loading test) เป็นเกณฑ์ทดสอบหนึ่งตามมาตรฐาน EN 12975-2

การทดสอบความน่าเชื่อถือของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ประกอบด้วยการทดสอบต่างๆ ดังนี้

-การตรวจสอบความเรียบร้อย (และข้อบกพร่อง) ของผลิตภัณฑ์

-การพิจารณาความเรียบร้อยของเอกสารผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย แบบเขียนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วิธีติดตั้งและข้อแนะนำการใช้งาน

-การทดสอบความดันของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ 1.5 เท่าของความดันใช้งาน

-การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพแวดล้อมภายนอก (Exposure phase) ของวันที่

มีแดดจัดอย่างน้อย 30 วัน (รังสีอาทิตย์สูงกว่า 4 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน) และชั่วโมงที่แดดจัดอย่างน้อย 30 ชั่วโมง (รังสีอาทิตย์สูงกว่า 850 วัตต์ต่อตารางเมตร) และการทดสอบอุณหภูมิที่ภาวะชะงักไหล

-การทดสอบช็อคโหลดดิ่ง (Shock loading) โดยนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงมาทำให้เย็นลงทันทีด้วยน้ำเย็นทั้งจากภายในและจากภายนอก ก่อนและหลังการทดสอบ Exposure phase การทดสอบการรั่วของฝน (Rain-proofing)

-การทดสอบการป้องกันการแข็งตัว (Frost-proofing) การทดสอบนี้ไม่จำเป็นสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการเติมสารป้องกันการแข็งตัวในสารถ่ายโอนความร้อน

-การทดสอบทางกลศาสตร์ ประกอบด้วย การทดสอบความแข็งแรงของการติดตั้งกระจกและของโครงสร้างรองรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ด้วยแรงดึงและแรงกดอย่างน้อย 1,000 นิวตันต่อตารางเมตร) การทดสอบความต้านทานการกระแทกโดยใช้ตุ้มโลหะชนเข้ากับตัวเก็บรังสีอาทิตย์

-การทดสอบจะครบถ้วนสมบูรณ์ เมื่อผ่านการตรวจสอบจากภายนอก การถอดประกอบชิ้นส่วนตามแบบ และการตรวจวิเคราะห์ความเสียหายของอุปกรณ์จากการทดสอบต่างๆ

ในแต่ละการทดสอบ เราจะทราบสมบัติทั้งด้านบวกหรือลบของชิ้นส่วนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม การทดสอบอุณหภูมิที่ภาวะชะงักไหลจะทำให้ทราบค่าอุณหภูมิสูงสุดของน้ำในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศ 30 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมต่ำ ค่าอุณหภูมินี้ที่ใช้ในการออกแบบวัสดุ เทคโนโลยีการเชื่อมต่อ และสารถ่ายโอนความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วัสดุที่ใช้ต้องทนต่ออุณหภูมิที่คาดว่าจะเกิดนี้ได้

มาตรฐานยุโรป (EN) กำหนดเกณฑ์ทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สภาวะแวดล้อมเดียว (ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศ 30 องศาเซลเซียส) ขณะที่มาตรฐาน ISO 9806-2 มีเกณฑ์ทดสอบเพิ่มอีก 2 สภาวะ คือ ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์สูง 1,100 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศ 40 องศาเซลเซียส และที่ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงมาก 1,200 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศ 40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิชะงักไหลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าอุณหภูมินี้อาจเท่ากับ 223 องศาเซลเซียส และ 236 องศาเซลเซียส ที่สภาวะแวดล้อมที่ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงและสูงมากตามลำดับ

2.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การตรวจวัดประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เกิดขึ้นในช่วงยุค 1970 พร้อมเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในประเทศต่างๆ มาตรฐาน ASHRAE 93-77 ซึ่งพัฒนาในสหรัฐอเมริกาเป็นมาตรฐานทดสอบที่ใช้อย่างแพร่หลาย และยังคงถูกใช้เป็นต้นแบบสำหรับมาตรฐานอื่นๆ ที่พัฒนาขึ้นในภายหลัง ตามมาตรฐาน ASHRAE ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะกำหนดได้แน่ชัดภายใต้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ แต่ในอีกทางหนึ่งซึ่งใช้กันมากในยุโรป คือ การระบุประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยการวัดการสูญเสียความร้อน วิธีนี้ถูกใช้กระทั่งยุค 1990

ในปี 1994 มาตรฐาน ISO 9806-1 ซึ่งกำหนดกระบวนการตรวจวัดประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดมีกระจกหรือแผ่นอะครีลิกครอบเริ่มถูกนำมาใช้ มาตรฐานนี้มีวิธีและสภาวะของการทดสอบแตกต่างจากมาตรฐานของยุโรป (ซึ่งเริ่มใช้ในปี 2002) เล็กน้อย

กระบวนการทดสอบประสิทธิภาพตามมาตรฐาน EN 12975-2 (ภาคที่ 6) ประกอบด้วย

-การวิเคราะห์กราฟลักษณะ (หรือค่าลักษณะประกอบด้วย η_0 a_1 และ a_2)

-ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เมื่อไม่มีการสูญเสีย

-ขนาดการผลิตน้ำร้อน และการสูญเสียความดันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ค่าลักษณะเฉพาะที่ได้จากการคำนวณสามารถใช้อธิบายประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

-สัมประสิทธิ์ η_0 (Zero loss coefficient) คือ ค่าประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่ากับอุณหภูมิอากาศ

-สัมประสิทธิ์ a_1 และ a_2 (Heat loss coefficient) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่อธิบายการสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าทั้งสองจะใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียประสิทธิผล (Effective loss coefficient: a_{eff}) ซึ่งเท่ากับ $a_1 + a_2\Delta T$

-ตัวปรับแก้มุมตกกระทบ (Incident angle modifier) ค่านี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพกับมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์

-ขนาดการผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (C) ค่านี้อธิบายปริมาณความร้อนที่ต้องป้อนให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 1 เคลวิน

-พื้นที่อ้างอิงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (A) ค่าลักษณะเฉพาะชุดหนึ่งๆ เกี่ยวข้องกับพื้นที่อ้างอิงซึ่งต้องระบุให้ชัดเจน

ตามมาตรฐานยุโรป (EN) ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สัมพันธ์กับอุณหภูมิแตกต่างระหว่างของไหลในตัวเก็บรังสีอาทิตย์และอากาศแวดล้อม (ΔT) อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน ISO 9806 กำหนดประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยอุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำป้อนและอากาศแวดล้อม หมายความว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ประเมินจากทั้งสองมาตรฐานไม่สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรง

นอกจากนี้ มาตรฐานทั้งสองใช้พื้นที่อ้างอิงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่างกัน มาตรฐาน ISO อ้างอิงจากพื้นที่รวมของตัวรับรังสีอาทิตย์ ขณะที่มาตรฐาน EN อ้างอิงพื้นที่ช่องเปิดของตัวรับรังสีอาทิตย์ การเปรียบเทียบค่าลักษณะเฉพาะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต้องตรวจสอบก่อนว่าพื้นที่อ้างอิงและอุณหภูมิอ้างอิงตรงกันหรือสอดคล้องกันหรือไม่ ถ้าไม่ค่าลักษณะเฉพาะต้องปรับแก้ให้สอดคล้องกันก่อน

มาตรฐาน EN ยอมรับการทดสอบประสิทธิภาพทั้งแบบ Stationary test procedure และ Non-stationary (quasi-dynamic) test procedure สำหรับการทดสอบแบบ Stationary test procedure สามารถทำได้ทั้งแบบ (ก) ทดสอบในห้องทดสอบโดยเครื่อง Solar simulator และ (ข) ทดสอบนอกอาคารเช่นบนหลังคาหรือด้วยเครื่องติดตามด้วยอาทิตย์

การทดสอบนอกอาคารที่สภาวะแตกต่างกัน (มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ตรงและสัดส่วนของรังสีอาทิตย์กระจาย) มีผลต่อผลการทดสอบ นอกจากนี้ยังต้องทราบว่าสารถ่ายโอนความร้อนที่ใช้เป็นน้ำหรือของไหลผสมระหว่างน้ำและไกลคอล

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่อุณหภูมิทำงานต่างๆ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะถูกติดตั้งบนชุดทดสอบและตั้งค่าอัตราการไหลของน้ำตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ระหว่างการทดสอบจะมีการบันทึกข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิเข้า/ออกและอัตราการไหลของของไหล ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ขณะทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าค่อยๆ สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบจะสามารถสร้างเป็นกราฟประสิทธิภาพซึ่งมีรูปสมการเป็นพาราโบลิก (Parabolic curve) ที่ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์ η_0 a_1 และ a_2 อย่างไรก็ตาม สำหรับมาตรฐาน ISO 9806-1 สมการประสิทธิภาพเป็นสมการเชิงเส้น (Linear curve) ของสัมประสิทธิ์ η_0 และ a

การคำนวณค่าตัวปรับแก้มุมตกกระทบจะใช้วิธีการเดียวกับการวัดประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม ในขณะทดสอบจะควบคุมอุณหภูมิน้ำป้อนให้คงที่และปรับค่ามุมตกกระทบแทน จากนั้นจึงคำนวณค่าอัตราส่วนของประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยเทียบกับกรณีที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉาก

2.6 ความแตกต่างของผลทดสอบประสิทธิภาพ

นอกจากสภาวะของการทดสอบ (Test condition) ที่แตกต่างกัน การวัด (Measurement) และความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement uncertainty) มีผลต่อค่าลักษณะเฉพาะเช่นกัน ดังนั้น จึงคาดได้ว่าผลทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากทั้งสองมาตรฐานย่อมต่างกัน ซึ่งปกติจะอยู่ในระดับร้อยละ ± 2

การตีความผลทดสอบประสิทธิภาพต้องพึงระลึกเสมอว่าการทดสอบจากแต่ละสถาบันนั้นมีความแตกต่างกัน โดยหลักการเป็นไปได้ที่จะจำกัดขอบเขตของสภาวะทดสอบ ลดความไม่แน่นอนจากการวัดและความแตกต่างที่ได้กล่าวข้างต้นให้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดด้านเครื่องมืออุปกรณ์ เวลาและค่าใช้จ่ายในการทดสอบย่อมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2.7 ค่าลักษณะเฉพาะ (Characteristic Values) และการคำนวณพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ (Yield Calculation)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์อาจง่ายขึ้น หากค่าลักษณะเฉพาะต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถลดให้เหลือเพียงค่าเดียว เช่น การใช้ค่าความร้อนที่ผลิตจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในเชิงทฤษฎี (Theoretical collector yield) ซึ่งทำได้โดยการป้อนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการติดตั้งและการทดสอบ (Installation parameters) ค่าลักษณะเฉพาะ (Characteristic values) พื้นที่อ้างอิง (Reference area) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ลงในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation program)

ในบางประเทศ การคำนวณความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หรือการรับรองประสิทธิภาพขั้นต่ำ (จากการคำนวณ) ถูกกำหนดให้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารผลิตภัณฑ์หรือเป็นเงื่อนไขขั้นต้นในการขอรับการสนับสนุนจากภาครัฐ อย่างไรก็ตาม ในอดีตที่ผ่านมาวิธีคำนวณนี้ก่อให้เกิดความสับสน

-ค่าความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Yield) แตกต่างกันไปตามลักษณะการติดตั้ง การจัดวางพื้นที่อ้างอิงตัวเก็บรับสีอาทิตย์ ฯลฯ

-โปรแกรมจำลองมีเป็นจำนวนมากซึ่งแต่ละโปรแกรมให้ผลคำนวณต่างกัน โปรแกรมจะให้คำตอบที่ถูกต้องก็ต่อเมื่อข้อมูลป้อนถูกต้อง โปรแกรมยิ่งซับซ้อนมากเท่าไร ผู้ป้อนต้องมีประสบการณ์สูงมากเท่านั้น แม้จะใช้โปรแกรมชุดเดียวกัน ผลลัพธ์อาจต่างกันอย่างมากจากผู้ป้อนข้อมูลคนละคน

-ในสวิทเซอร์แลนด์ การคำนวณประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ใช้วิธีที่เรียกว่า Gross heat yield วิธีนี้ แบบจำลองของตัวเก็บรังสีอาทิตย์กำหนดให้ทำงานที่อุณหภูมิน้ำเข้า 40 องศาเซลเซียสตลอดทั้งปี ซึ่งไม่สอดคล้องกับสภาพแท้จริง

-โดยทั่วไป ค่าเหล่านี้เป็นค่าอุดมคติ (Ideal value) ซึ่งสัมพันธ์เชื่อมโยงกับสภาพการทำงานจริงไม่มากนัก ผู้ทำหน้าที่ติดตั้งระบบไม่สามารถรับรองหรือแสดงผลของความร้อนที่ผลิตได้จากระบบที่ติดตั้งโดยอ้างอิงค่าเหล่านี้ในเอกสารการติดตั้งระบบ (Installation data sheet)

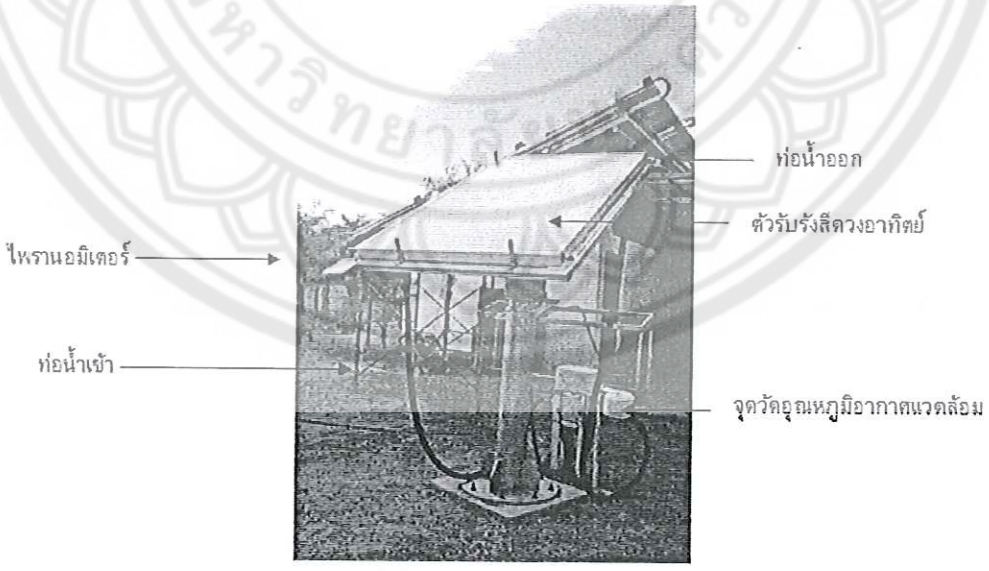
เนื่องจากความหลากหลายของรูปแบบการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์ การเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ต้องอาศัยโปรแกรมจำลองเดียวกันและกำหนดค่าแวดล้อมให้ตรงกัน

2.8 การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASHARE STANDARD 93-77

การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถทำการทดสอบภาคสนามได้ซึ่งเป็นการทดสอบแบบกลางแจ้ง (ดูรูปที่ 5) เพื่อหาประสิทธิภาพของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยให้รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแนวตั้งฉากตลอดเวลาการทดสอบ โดยทำการทดสอบแบบ Close Loop ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

1. อัตราการไหลของของไหลมีค่าคงที่เท่ากับ 0.02 kg/s ต่อ 1 ตารางเมตรของพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (สำหรับการทดสอบนี้ใช้อัตราการไหลที่ 0.047 kg/s)
2. ทดสอบที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 790.0 W/m^2
3. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไม่เกิน 30.0 ^{O}C (เนื่องจากประเทศไทยมีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมค่อนข้างสูง ดังนั้นในการทดสอบนี้อุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ระหว่าง 28.0 ^{O}C – 33.0 ^{O}C)
4. อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าตัวรับรังสีสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (สำหรับการทดสอบนี้ อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้ามีค่าอยู่ระหว่าง 30.0 ^{O}C – 49.0 ^{O}C)

และจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ก่อนการทดสอบทุกครั้ง แล้วเริ่มดำเนินการทดสอบ บันทึกผลและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_a), อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (T_i), อุณหภูมิน้ำออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์ (T_o), ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (G_t) และอัตราการไหลของน้ำ ($\dot{m}$) โดยเก็บข้อมูลช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. – 14.00 น. ซึ่งเป็นการทดสอบแบบระยะสั้น (Short Term) เพื่อนำผลข้อมูลที่ได้มาประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 5 ระบบทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ทฤษฎีสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

ในทางทฤษฎีการทดสอบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์นั้น สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งต้องทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ และทำการแปรค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นตามมาตรฐานที่เลือกใช้ในการทดสอบ นอกจากนี้แล้วยังต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จำนวนชั้นและชนิดของแผ่นปิดใสด้านบน ขนาดของฉนวนด้านข้างและด้านหลังของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เมื่อให้ FR เป็นแฟคเตอร์ในการดึงความร้อนมาใช้งาน พลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คือ

$$Q_u = A_C F_R[S - U_L(T_i - T_a)] \tag{11}$$

โดยที่

A_C คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์, m^2

S คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนด้วยแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์, W/m^2 ซึ่ง S อาจเขียนได้เป็น $G_T(\tau\alpha)_{av}$ เมื่อ $(\tau\alpha)_{av}$ คือ angular-dependent

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม, $W/m^2\,^{\circ}C$

T_i คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $^{\circ}C$

T_a คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $^{\circ}C$

ดังนั้นสมรรถนะทางความร้อนขณะใดขณะหนึ่ง จึงสามารถหาได้จาก

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_C G_T} = F_R(\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L(T_i - T_a)}{G_T} \tag{12}$$

$$\eta_i = F_R(\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L(T_i - T_a)}{G_T} \tag{13}$$

และ $$\eta_i = \frac{\dot{m}C_p(T_O - T_i)}{A_C G_T} \quad (14)$$

เมื่อ G_T คือ ค่ารังสีอาทิตย์, W/m^2

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไหล, kg/s

C_P คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล, J/kg $^\circ$C

T_i คือ อุณหภูมิของไหลขาเข้า, $^\circ$C

T_0 คือ อุณหภูมิของไหลขาออก, $^\circ$C

A_C คือ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, m^2

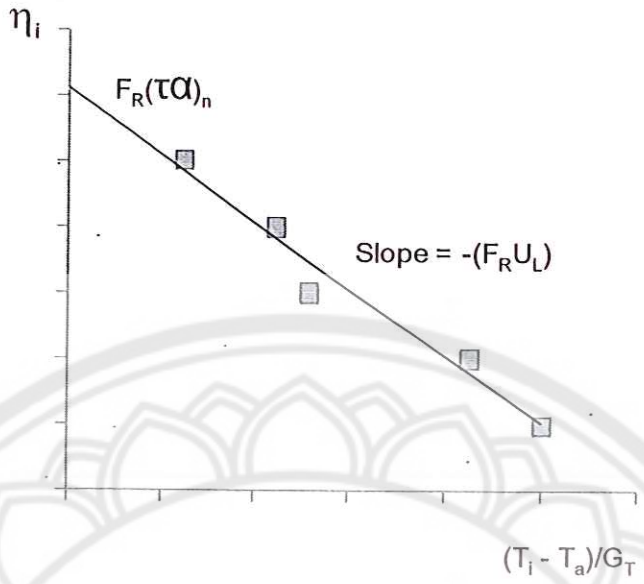
T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, $^\circ$C

F_R คือ แฟคเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$(\tau\alpha)_e$ คือ สัมประสิทธิ์ส่งผ่านและดูดกลืนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, W/m^2 $^\circ$C

ถ้า F_R และ U_L มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากในช่วงของการใช้งาน $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายว่าตัวเก็บรังสีนั้นทำงานอย่างไร $F_R(\tau\alpha)_e$ จะเป็นตัวชี้ถึงพลังงานที่ถูกดูดกลืน และ $F_R U_L$ จะเป็นเทอมที่บอกถึงพลังงานที่สูญเสีย ถ้า U_L, F_R และ $(\tau\alpha)_e$ คงที่การเขียนกราฟของ η_i กับ $(T_i - T_a)/G_T$ จะเป็นเส้นตรงตัดแกน y ที่ $F_R(\tau\alpha)_e$ และมีความชันเท่ากับ $-F_R U_L$ สำหรับ U_L เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความเร็วลม และจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนแผ่นปิดใสเพิ่มขึ้น F_R จะขึ้นกับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้แล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของรังสีตรง รังสีกระจายและรังสีจากการสะท้อนจากพื้นดิน ข้อมูลจะมีการกระจายเนื่องจากอุณหภูมิ ความเร็วลม และมุมตกกระทบที่เปลี่ยนไป แม้ว่าจะค่อนข้างยุ่งยากแต่การทำนายสมรรถนะในระยะยาวสามารถกำหนดได้จากจุดตัดแกนและความชัน



รูปที่ 6กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ $(T_i-T_a)/G_T$

2.9 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ประทีป ศรีสุข และคณะ [3] ได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ทำจาก ฟินคอยล์ โดยการศึกษาได้ดำเนินการเปรียบเทียบระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ผลิตขึ้นจากท่อฟินคอยล์ทองแดงแบบฟินเกลียวต่อเนื่อง (ชนิด A) และแบบฟินแผ่น (ชนิด B) และเปรียบเทียบระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้นกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขายตามท้องตลาด โดยผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า เมื่อกำหนดอัตราการไหลของน้ำ 3 L/min ตัวเก็บรังสีอาทิตย์วางทำมุมเอียงกับแนวระดับ 10° และพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2.18 m^2 ค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฟินเกลียวต่อเนื่อง (ชนิด A) มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_RU_L เท่ากับ 0.6751 และ 7.2033 $W/(m^2-^\circ C)$ ตามลำดับ และแบบฟินแผ่น (ชนิด B) มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_RU_L เท่ากับ 0.6922 และ 7.467 $W/(m^2-^\circ C)$ ตามลำดับ ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีขายตามท้องตลาดแบบกระจกโปร่งใสมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_RU_L เท่ากับ 0.6906 และ 6.2457 $W/(m^2-^\circ C)$ ตามลำดับ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบกระจกโปร่งแสงมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_RU_L เท่ากับ 0.6329 และ 6.4607 $W/(m^2-^\circ C)$ ตามลำดับ

สำรวย ภูบาล [4] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นดูดกลืนรังสีเพื่อทำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ โดยลักษณะของชุดทดลองประกอบด้วยตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทาสีดำด้านทำจากวัสดุ 3 ชนิด คือ แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด แผ่นสังกะสี และแผ่นกระเบื้องยิปซัม โดยผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า แผ่นสังกะสีมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด รองลงมาเป็นแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด และแผ่นกระเบื้องยิปซัม โดยมีค่าเท่ากับ 27%, 20% และ 12% ตามลำดับ จากการทดสอบยังพบว่า เปอร์เซ็นต์การลดลงของประสิทธิภาพทางความร้อนของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดมีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 42% แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่มีสมบัติการนำความร้อนที่ดีแต่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำจะสะสมความร้อนเอาไว้ได้ไม่นาน ดังนั้นหาก

ประเมินในแง่ของราคาวัสดุและน้ำหนักของแผ่นดูดรังสีเพื่อใช้ทำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบแล้วฟิวเจอร์บอร์ดก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

A. Fasulo et al [5] ทำการศึกษาสมดุลพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CPC ขนาดพื้นที่ 0.5 ตารางเมตร ซึ่งตัวสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลาทำจากกระจก โดย the Solar Energy Laboratory of Universidad Nacional de San Luis. การวิจัยเริ่มจากการทดลองหาค่าการสูญเสียความร้อนจากการนำ การพา และการแผ่รังสีของตัวเก็บรังสี ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 ถึง150 °C แล้วนำผลที่ได้มาทดลองสร้าง receivers ต่างชนิดกัน ทำการทดลองหาสมรรถนะและสมดุลพลังงานของตัวเก็บรังสีภายใต้สภาวะเดียวกัน จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น นำไปสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการสูญเสียความร้อนต่ำ โดยเปลี่ยนจากการทำสีดำด้านเป็นการทำ selective surface ลงบน receiver แทน ซึ่งมีค่าการดูดกลืนรังสี 0.9

Ari Rabl [6] ทำการศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CPC ซึ่งมีความสำคัญในการกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากได้รับพลังงานความเข้มสูงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ตลอดเวลา การพาและการแผ่ความร้อนของตัวเก็บรังสีถูกนำมาใช้ในการคำนวณสมรรถนะของตัวเก็บรังสีโดยพื้นฐานการวิเคราะห์ตัวเก็บรังสีแบบ CPC เทคนิคการวิเคราะห์อย่างง่ายถูกนำมาใช้สำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวน reflector สำหรับรังสีอาทิตย์ที่ผ่าน CPC ซึ่งจะมีประโยชน์สำหรับการคำนวณการสูญเสียเชิงแสง โดยส่วนมากแล้วตัวเก็บรังสีแบบ CPC จะเป็นแบบหัวตัด เนื่องจากสัดส่วนของพื้นที่สะท้อนแสงที่มีจำนวนมาก เมื่อถูกตัดบางส่วนออกไปก็ไม่ได้มีผลกับการลดลงของการรวมแสง งานวิจัยนี้ได้รวบรวมตัวอย่างแสดงไว้ในรูปแบบตารางและกราฟ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการช่วยออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CPC

A.M. Abu-Zour et al. [7] ได้ทำการศึกษาออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับนำมาเป็นจั่วหน้าต่างเพื่อป้องกันแสงแดดที่จะส่องผ่านกระจกเข้ามาในตัวอาคาร โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะผลิตพลังงานความร้อนสำหรับนำมาใช้ในตัวอาคารภายใต้สภาวะอากาศของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งก็จะเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่บรรยากาศของโลก สำหรับการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อนำมาเป็นจั่วหน้าต่างนั้น ได้นำเอาเทคโนโลยีของท่อความร้อน (Heat Pipe) มาประยุกต์ใช้ร่วมด้วย โดยผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนท่อความร้อนเข้าไปในหน้าจั่วนั้นๆ และเมื่อเลือกใช้ผิวรับรังสีชนิดสีดำ หรือวัสดุที่สามารถดูดกลืนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้ดีจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบได้อีกด้วย

A. Rabl et al. [8] ทำการศึกษา วิจัย เก็บข้อมูล และออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบซีพีซี ชนิดที่เป็น non-evacuated absorbers ตลอดระยะเวลาการวิจัย 3 ปี ได้ผลการวิจัยคือ ที่อัตราการรวมแสงประมาณ 6X จะให้ประสิทธิภาพประมาณ 40 – 50 % ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 100 – 160 °C ซึ่งสัมพันธ์กับการปรับมุมประมาณ 12 – 20 ครั้งต่อปี ส่วนที่อัตราการรวมแสงต่ำประมาณ 3X สมรรถนะของตัวเก็บรังสีแบบซีพีซีก็ยังสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่เป็นแบบกระจกสองชั้น การออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบซีพีซีชนิดที่เป็น non-evacuated absorbers จะแตกต่างจาก CPC โดยทั่วไป เนื่องจากการสูญเสียความร้อน จึงได้มีการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CPC ชนิดที่เป็น double-glazed non-evacuated CPC ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงแสง 0.71 และมีค่าการสูญเสียความร้อน 2.2 $W/m^2°C$

Jose A. Manrique [9] ได้ทำการศึกษาและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบซีพีซีต้นแบบและทำการทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีโดย ให้ตัวเก็บรังสีทำงานที่อุณหภูมิ 150 °C ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้เป็นที่น่าพอใจสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบซีพีซี ชนิดที่เป็น fixed CPC

M. Adsten et al. [10] ทำการศึกษาและประเมินสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบซีพีซี โดยได้ทำการศึกษาและทดสอบกลางแจ้งระบบต้นแบบจำนวน 6 แบบ จากผลการทดสอบพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ซีพีซี แบบ Roof mounted ให้พลังงานตลอดทั้งปีสูงถึง 925 MJ/m^2 และแผงรับรังสีอาทิตย์ซีพีซีโดยใช้ Teflon ให้ค่าพลังงานตลอดทั้งปีเท่ากับ 781 MJ/m^2 สำหรับระบบที่ออกแบบพิเศษสำหรับหลังคาที่หันไปทางทิศตะวันออกและตกให้ค่าพลังงานตลอดทั้งปีเท่ากับ 349 MJ/m^2 และ 436 MJ/m^2 ตามลำดับ และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผนเรียบมีค่าพลังงานตลอดทั้งปีเท่ากับ 490 MJ/m^2 และสุดท้ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซีพีซีสำหรับติดกับผนังมีค่าพลังงานตลอดทั้งปีเท่ากับ 194 MJ/m^2 ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 75 ^{o}C

M.J. Carvalho [11] ทำการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบซีพีซีชนิดใหม่และทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical Efficiency) และสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ non-evacuated CPC จากผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเชิงแสงมีค่าเท่ากับ 0.72 และมีค่าลดลงที่อุณหภูมิทำงานสูงขึ้นสำหรับทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เมื่อทำการประมาณค่าประสิทธิภาพเชิงแสงโดยใช้สมการเชิงเส้นพบว่าประสิทธิภาพเชิงแสงมีค่าเท่ากับ 0.74 และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีมีค่าเท่ากับ 4.0 และ 4.3 W/cm^2 สำหรับทิศตะวันออก-ตะวันตก และทิศเหนือ-ใต้ ตามลำดับ และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศพบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบซีพีซีที่พัฒนาขึ้นมีพฤติกรรมที่ดีกว่าตัวเก็บรังสีทั้งสองชนิด

N.K. Vejen et al. [12] ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ HT ขนาด 12.5 m^2 ได้ถูกออกแบบเพื่อใช้สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีเพื่อหาต้นแบบสำหรับพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ HT ที่จะถูกนำมาสร้าง และทดสอบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ HT ได้ถูกเปลี่ยนวัสดุที่ใช้สำหรับฉนวนกันความร้อน และตัวดูดกลืนได้ถูกพัฒนาในส่วนของ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorptance) และสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน (Emittance) อีกทั้งยังได้เปลี่ยนตัวป้องกันการสะท้อนกลับของกระจกที่นำมาใช้เป็นแผ่นปิดด้านบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ผลที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนพื้นฐานการตรวจวัดประสิทธิภาพ คือ ประสิทธิภาพรายปีเพิ่มขึ้น 23 – 27 % โดยทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 40 – 80 ^{o}C

Yong Kim et al. [13] ทำการประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CPC โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษา และพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CPC ร่วมกับท่อดูดกลืนความร้อนแบบทรงกระบอก ในการทดสอบจะเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ระบบทำได้ ค่าความร้อนที่ถ่ายเทลงบนตัวดูดกลืนรังสี และค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่วางอยู่กับที่ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่หมุนตามดวงอาทิตย์ โมเดลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ใช้ค่าของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการตรวจวัด โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะแสดงผลของประสิทธิภาพเชิงความร้อน และทำการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณและผลที่ได้จากการตรวจวัด โดยค่าที่ได้จากโมเดลแสดงให้เห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CPC ที่หมุนตามดวงอาทิตย์จะมีค่ามากกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบอยู่กับที่ 14.9% โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่วางอยู่กับที่ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่หมุนตามดวงอาทิตย์จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 39.68% และ 54.62% ตามลำดับ

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดที่มีแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลานั้นให้สมรรถนะที่สูงในการใช้งานกับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แต่สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการพัฒนาใช้งานตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบตัวเก็บรังสีดังกล่าวและทำการทดสอบเพื่อนำผลไปขยายให้เกิดการใช้งานต่อไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานและอุปกรณ์การวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ และสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา โดยในการศึกษาได้ออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา 2 แบบ รวมถึงศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ผลิตขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาให้มีประสิทธิภาพสูง จำนวน 2 แบบ รวมถึงศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ผลิตขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทั้งที่เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อนชนิดหลอดสุญญากาศ และแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา (CPC) ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ เพื่อให้ทราบถึงวิธีการออกแบบ วิธีการประเมินสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ ทั้งนี้การศึกษายังรวมถึงข้อดี และข้อเสียในเชิงวิศวกรรมอีกด้วย

3.1.2 ออกแบบและผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

ดำเนินการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา และสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ ต้นแบบ จำนวน 2 แบบ โดยมุ่งเน้นให้มีประสิทธิภาพสูง และผลิตจากวัสดุภายในประเทศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.2.1 ดำเนินการออกแบบตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (CPC) ทั้งนี้จะต้องทราบถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่จะนำมาใช้งาน (ท่อดูดกลืนความร้อนจากแสงอาทิตย์) โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ท่อแสตนเลส (Stainless) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร

3.1.2.2 ทำการออกแบบตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (CPC) โดยกำหนดค่าครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance angle, θ_c) และมุมที่จุดศูนย์กลางท่อดูดแสง (β) ดังนี้

(ก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ <u>แบบที่ 1</u>

- ครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance angle, θ_c) เท่ากับ 11.5 องศา
- มุมที่จุดศูนย์กลางท่อดูดแสง (β) เท่ากับ 120 องศา

(ข) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ <u>แบบที่ 2</u>

- ครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance angle, θ_c) เท่ากับ 41.8 องศา
- มุมที่จุดศูนย์กลางท่อดูดแสง (β) เท่ากับ 120 องศา

3.1.2.3 กำหนดความสูงของรางสะท้อนรังสี (H) โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีความสูงของรางสะท้อนรังสี (H)

3.1.2.4 ส่งแบบตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (CPC) ที่ได้ดำเนินการออกแบบแล้วเสร็จให้ผู้รับจ้างที่มีความเชี่ยวชาญทำการผลิตเพื่อสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาต่อไป

3.1.3 ทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา

การทดสอบจะเป็นการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาเปรียบเทียบกัน 2 แบบ คือ (1) แบบที่ 1 และ (2) แบบที่ 2 เพื่อหาตัวแปรที่มีความสำคัญ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{cool}), สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน $\left(F_R(\tau\alpha)\right)$ และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน $\left(F_R U_L\right)$ ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

โดยการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร (รูปที่ 7) ซึ่งทำการทดสอบแบบกลางแจ้ง เพื่อหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93 – 77 โดยให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบลงบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแนวตั้งฉากตลอดเวลาการทดสอบ โดยทำการทดสอบแบบระบบปิด (Close Loop) ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

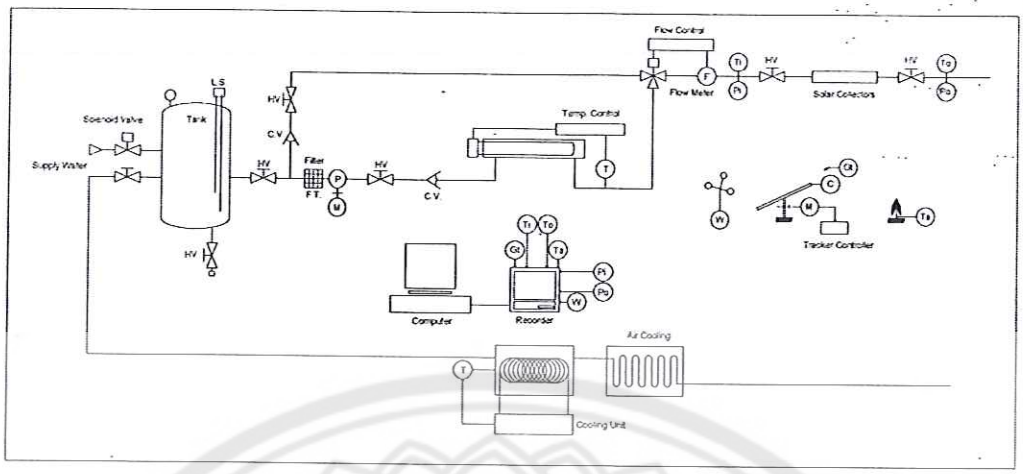
1. อัตราการไหลของของไหลมีค่าคงที่เท่ากับ 0.02 kg/s ต่อ 1 ตารางเมตรของพื้นที่เก็บรังสีอาทิตย์
2. ทดสอบที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 790.0 W/m^2
3. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไม่เกิน 30.0 ^{o}C
4. อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าทดสอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

ทำความสะอาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ก่อนการทดสอบทุกครั้ง แล้วเริ่มดำเนินการทดสอบ บันทึกผลและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม $\left(T_a\right)$, อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $\left(T_i\right)$, อุณหภูมิน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $\left(T_o\right)$, ค่ารังสีอาทิตย์ $\left(G_T\right)$ และอัตราการไหลของน้ำ ($\dot{m}$) โดยเก็บข้อมูลช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. – 14.00 น. ซึ่งเป็นการทดสอบแบบระยะสั้น (Short Term) เพื่อนำผลข้อมูลที่ได้ มาประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ว วิ
ฐท
ร้นร1
2556

1 ใ9ใ6ใ93
- 2 มิ.ย. 2558

สำนักหอสมุด



C: Solar Collector, C.V.: Check Valve, F: Flow Transducer, F.T.: Water Filter, G_T: Solar radiation on collector plane, HV: Hand Valve, L.S.: Level switch control, M: AC motor drive pump, P: Water pump, Pi: Pressure transducer inlet, Po: Pressure transducer outlet, T: Temperature heating control, Ta: Ambient temperature, Ti: Inlet temperature, To: Outlet temperature, W: Wind speed

รูปที่ 7 การติดตั้งเครื่องมือวัดสำหรับแท่นทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบกลางแจ้ง

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

พื้นโครงการสวนพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

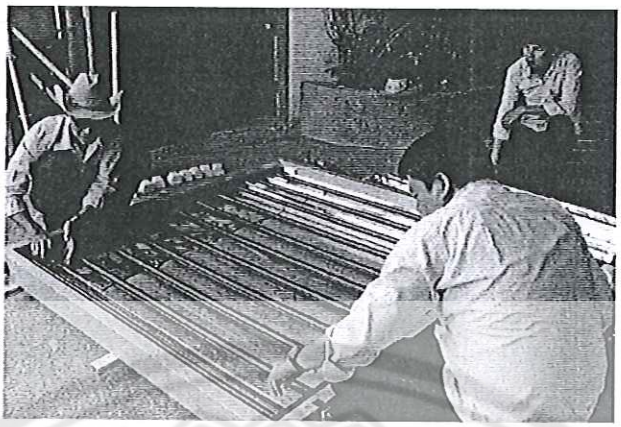
3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

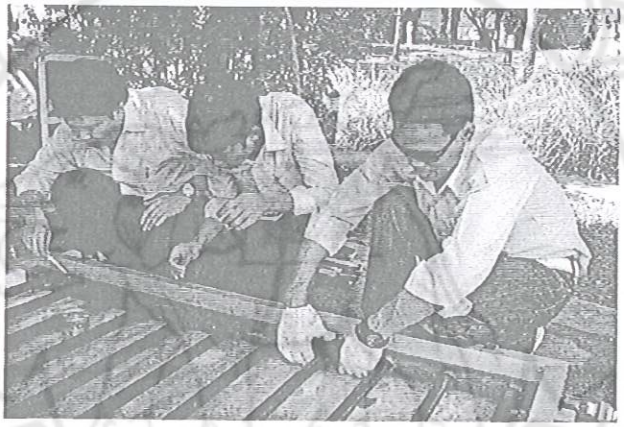
1. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (ที่ได้จากการออกแบบและประกอบขึ้น)
2. เครื่องบันทึกข้อมูล
3. เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. ไพรานอร์มิเตอร์
6. แท่นทดสอบแบบติดตามดวงอาทิตย์
7. เครื่องคอมพิวเตอร์

3.4 การเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือก่อนทำการทดสอบ

สำหรับการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ที่ประกอบขึ้นได้ทำการหุ้มฉนวนของท่อและตรวจสอบความเรียบร้อยเพื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 8



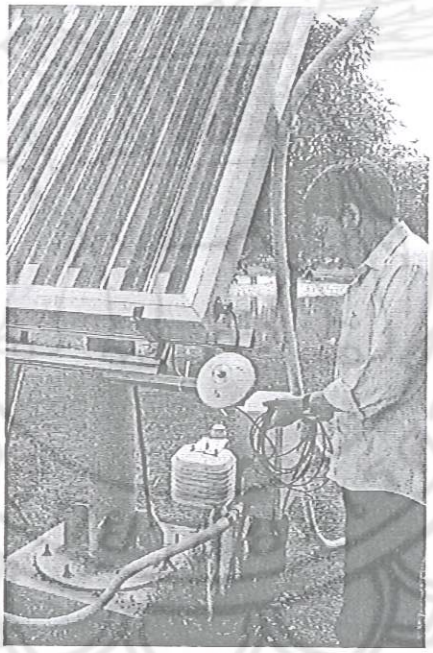
รูปที่ 8 หุ้มฉนวนท่อของตัวเก็บรังสีอาทิตย์



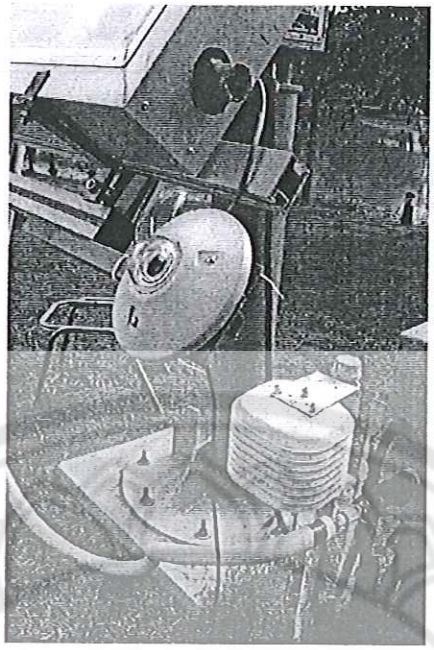
รูปที่ 9 หุ้มฉนวนท่อของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

รูปที่ 10 ประกอบตัวสะท้อนรังสีสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์

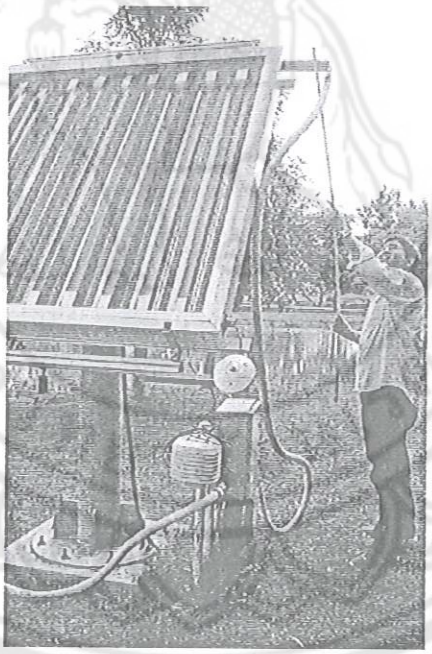
รูปที่ 11 ประกอบตัวสะท้อนรังสีสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์



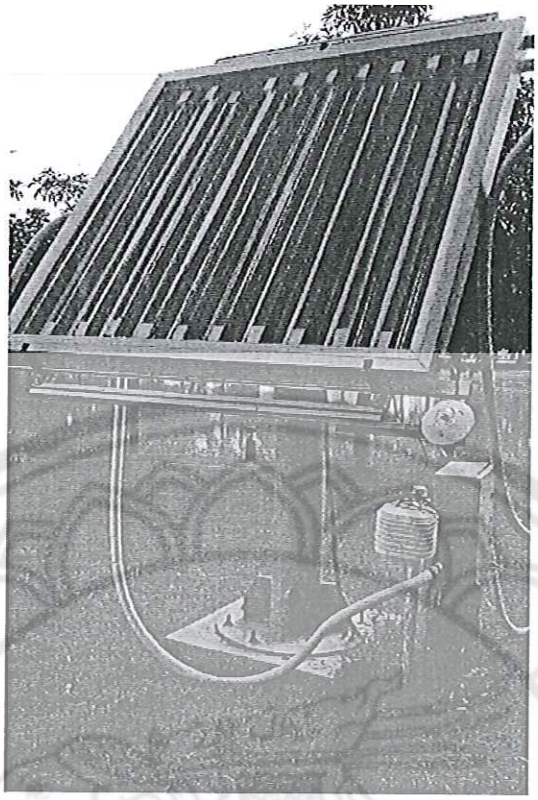
รูปที่ 12 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์



รูปที่ 13 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์



รูปที่ 14 การปรับลดความดันในระบบ



รูปที่ 15 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่พร้อมสำหรับการทดสอบ

บทที่ 4

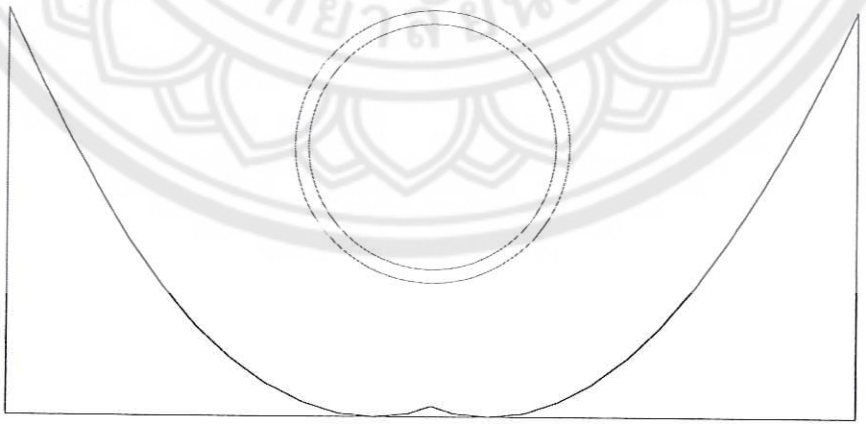
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการออกแบบและผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาเพื่อหาตัวแปรที่มีความสำคัญ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{coll}), สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน ($F_R(\tau\alpha)$) และสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อน ($F_R U_L$) การทดสอบได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93 - 77 โดยในการดำเนินงานจะเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา 2 แบบ ทั้งนี้ผลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพลังงานรายปี (Q_{coll}, kWh) ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ ทั้งนี้ในการดำเนินการวิจัยเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพลังงานรายปีที่ผลิตได้ โดยใช้วันที่ที่เป็นตัวแทนในแต่ละเดือนหาค่าพลังงาน ซึ่งใช้ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมของ จ.พิษณุโลก มีรายละเอียดดังนี้

(ก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 (รูปที่ 4.1)

- ครึ่งมุมรับรังสี (Half acceptance angle, θ_c)	11.5	องศา
- มุมที่จุดศูนย์กลางท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (β)	120	องศา
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเหล็ก	33	มิลลิเมตร
- จำนวนท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์	10	ท่อ
- ความยาวท่อ	1.45	เมตร

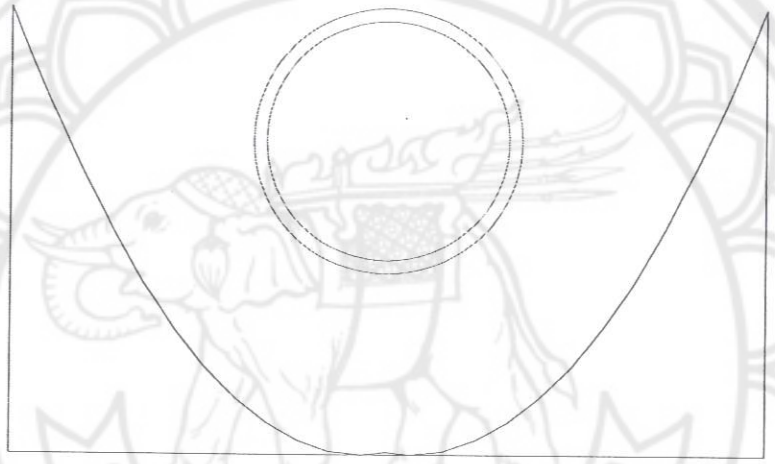


รูปที่ 4.1 ภาพตัดของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา
ที่มีครึ่งมุมรับรังสี (Half Acceptance angle, θ_c) 11.5 องศา

ผลของการออกแบบ ความสูงของรางสะท้อนรังสี (H) 4.98 เซนติเมตร และพื้นที่ครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance area) 10.52 เซนติเมตร

(ข) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ <u>แบบที่ 2 (รูปที่ 4.2)</u>

- ครึ่งมุมรับรังสี (Half Acceptance angle, θ_c)	41.8	องศา
- มุมที่จุดศูนย์กลางท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (β)	120	องศา
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเหล็ก	33	มิลลิเมตร
- จำนวนดูดกลืนรังสีอาทิตย์	11	ท่อ
- ความยาวท่อ	1.45	เมตร



รูปที่ 17 ภาพตัดของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ที่มีครึ่งมุมรับรังสี (Half Acceptance angle, θ_c) 41.8 องศา

ผลของการออกแบบ ความสูงของรางสะท้อนรังสี (H) 5.62 เซนติเมตร และพื้นที่ครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance area) 9.61 เซนติเมตร

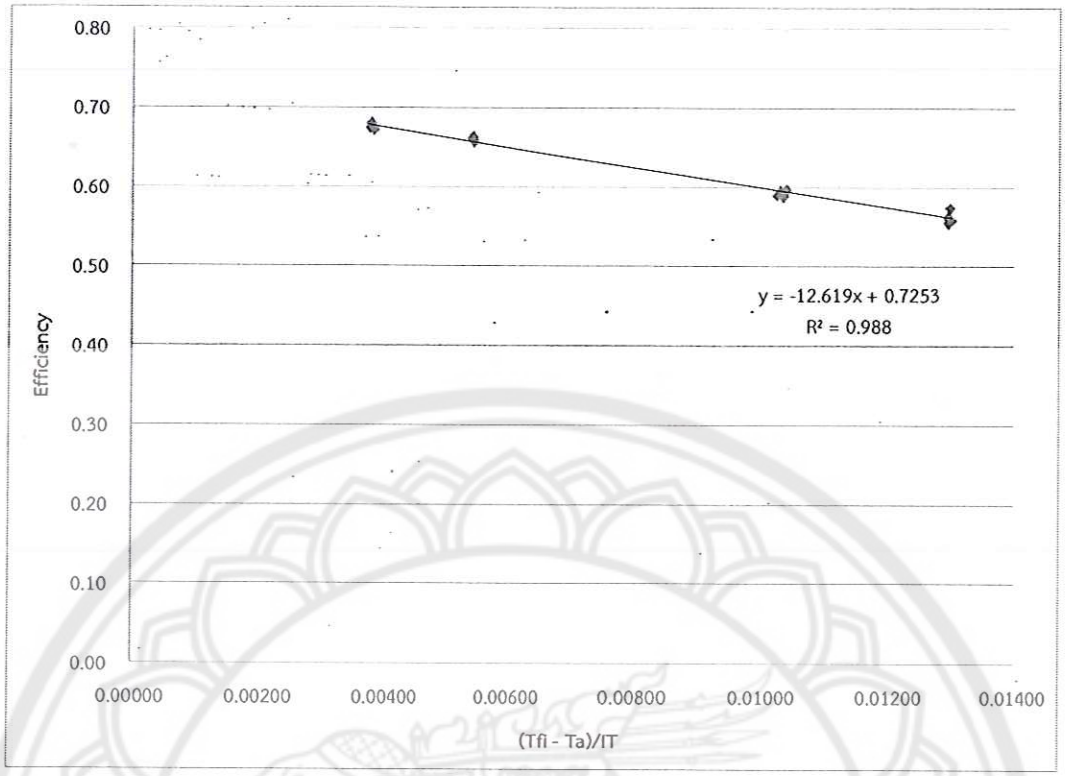
4.2 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา

4.2.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลที่ได้จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพเชิงการทดลองตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93 - 77 แสดงดังตารางที่ 4 - 5 และรูปที่ 18 พบว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน $(F_R(\tau\alpha))$ และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน $(F_R U_L)$ มีค่าเท่ากับ 0.725 และ 12.619 W/m^2 ^{o}C โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 72.5%

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1

T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	IT (W/m^2)	Folw Rate (Kg/s)	T_{amb} (°C)	$(T_{fi} - T_a)/IT$	Eff
32.960	39.42	1052.47	0.04	29.04	0.00372	0.67
32.960	39.43	1051.71	0.04	29.03	0.00374	0.68
32.962	39.46	1051.91	0.04	29.01	0.00376	0.68
32.963	39.47	1052.14	0.04	28.98	0.00378	0.67
35.554	41.71	1034.23	0.04	29.95	0.00542	0.66
35.562	41.71	1032.83	0.04	29.95	0.00543	0.66
35.581	41.79	1033.85	0.04	29.98	0.00541	0.66
35.586	41.80	1034.07	0.04	30.00	0.00540	0.66
42.426	48.32	1064.29	0.04	31.40	0.01036	0.60
42.424	48.32	1068.50	0.04	31.40	0.01031	0.59
42.426	48.34	1071.23	0.04	31.42	0.01027	0.60
42.421	48.35	1074.28	0.04	31.44	0.01022	0.59
45.646	51.19	1093.43	0.04	31.47	0.01296	0.57
45.646	51.17	1094.14	0.04	31.50	0.01293	0.56
45.682	51.12	1091.41	0.04	31.57	0.01293	0.56
45.759	51.11	1095.57	0.04	31.53	0.01299	0.56



รูปที่ 18 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1

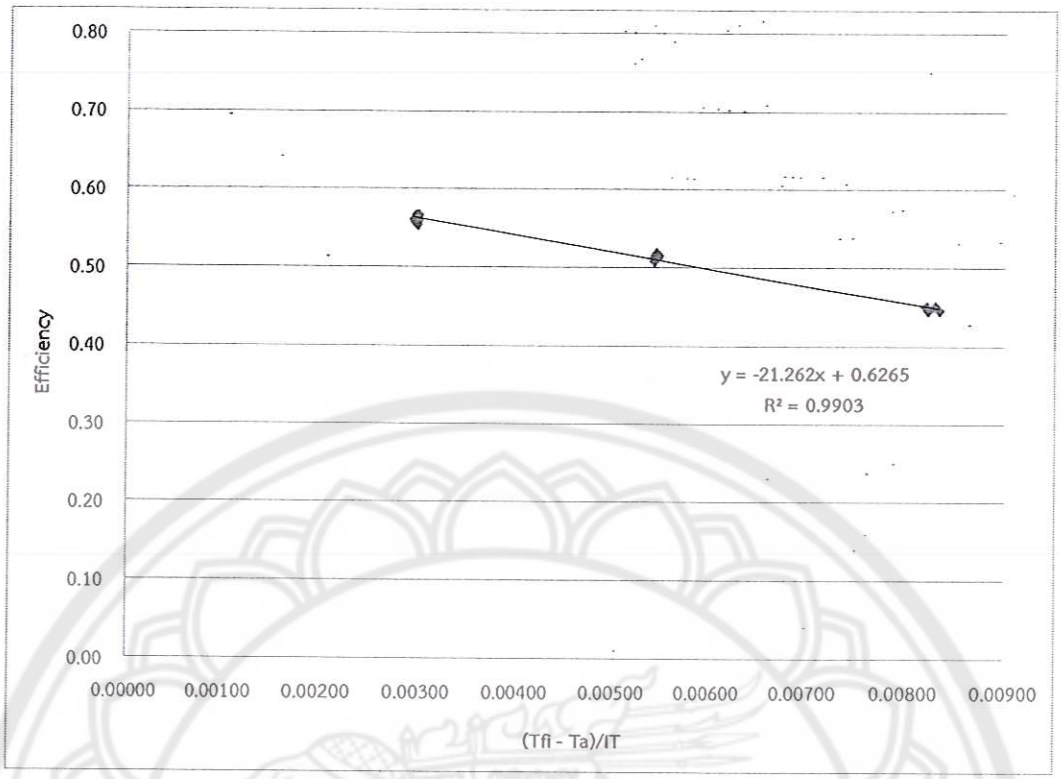
ตัวแปรแสดงคุณสมบัติเฉพาะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	ผลการทดสอบ
η_c (Collector Thermal Efficiency)	72.5%
$F_R(\tau\alpha)$	0.725
$F_R U_L$(W/m^2 °C)	12.619

4.2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลที่ได้จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพเชิงการทดลองตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93 - 77 แสดงดังตารางที่ 6 - 7 และรูปที่ 19 พบว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน $(F_R(\tau\alpha))$ และสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อน $(F_R U_L)$ มีค่าเท่ากับ 0.626 และ 21.262 W/m^2 °C โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 62.7%

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

T_{in} (^{o}C)	T_{out} (^{o}C)	IT (W/m^2)	Flow Rate (Kg/s)	T_{amb} (^{o}C)	$(T_{fi} - T_a)/IT$	Eff
31.84	36.66	938.81	0.04	29.07	0.00295	0.56
31.85	36.68	939.32	0.04	29.06	0.00296	0.56
31.85	36.69	940.56	0.04	29.05	0.00298	0.55
31.86	36.69	940.88	0.04	29.05	0.00299	0.56
31.86	36.70	939.28	0.04	29.05	0.00300	0.57
31.96	36.83	946.64	0.04	29.14	0.00297	0.57
35.40	39.74	919.87	0.04	30.39	0.00545	0.52
35.40	39.74	921.44	0.04	30.39	0.00544	0.52
35.42	39.75	923.82	0.04	30.36	0.00547	0.52
35.42	39.76	927.69	0.04	30.35	0.00546	0.51
35.43	39.79	936.27	0.04	30.36	0.00542	0.51
35.43	39.80	934.89	0.04	30.36	0.00543	0.51
39.19	42.97	930.37	0.04	31.43	0.00834	0.45
39.19	43.02	941.75	0.04	31.44	0.00823	0.45
40.16	44.31	1012.86	0.04	31.75	0.00830	0.45
40.16	44.31	1019.63	0.04	31.77	0.00823	0.45



รูปที่ 19 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

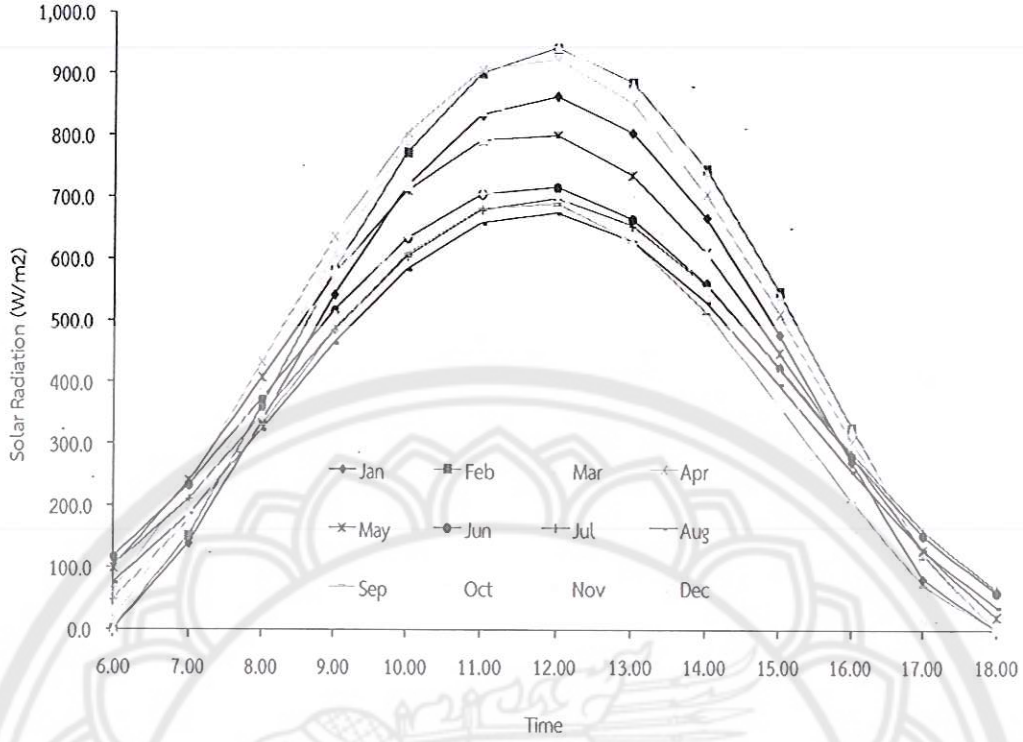
ตัวแปรแสดงคุณสมบัติเฉพาะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	ผลการทดสอบ
η_c (Collector Thermal Efficiency)	62.7%
$F_R(\tau\alpha)$	0.626
$F_R U_L$(W/m^2 °C)	21.262

4.3 ผลวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

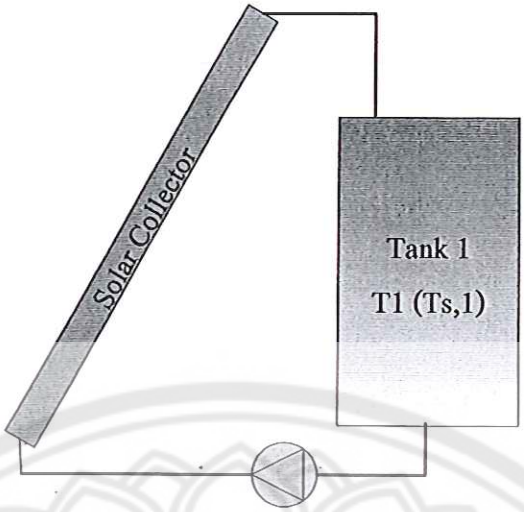
ผลที่ได้จากการทดสอบได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพลังงานรายปี (Q_{coll}, kWh) ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ ทั้งนี้ในการดำเนินการวิจัยจะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (รูปที่ 4.6) โดยในการดำเนินการจะใช้ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมของ จ.พิษณุโลก ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 โดยขั้นตอนการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแสดงดังรูปที่ 4.7

ตารางที่ 8 ปริมาณรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อม จ.พิษณุโลก (ที่มา: NASA Surface meteorology and Solar Energy – Choices.)

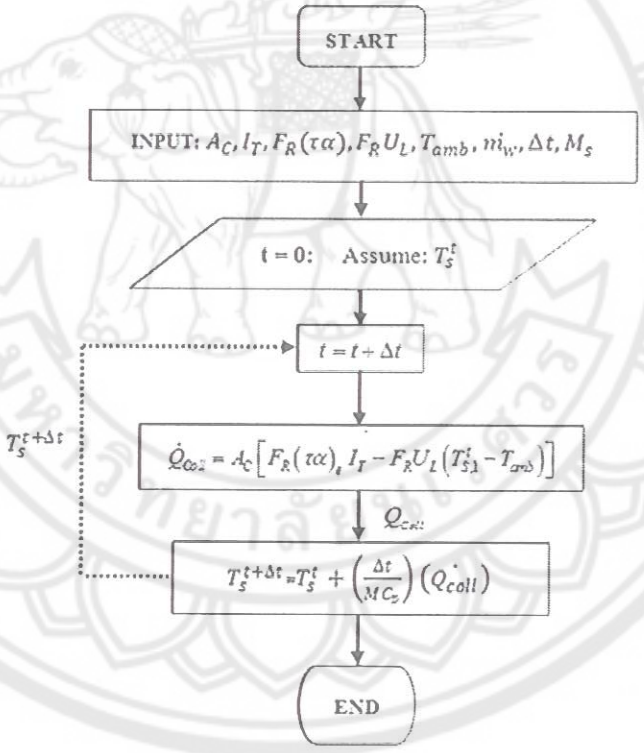
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Solar Radiation (kWh/m^2/day)	4.95	5.66	6.04	6.3	5.67	5.05	4.87	4.66	4.71	4.63	4.74	4.81
Air temperature (°C)	25.2	28.3	30.3	30.1	28.8	27.2	26.8	26.4	26.1	24.7	23.2	22.7



รูปที่ 20 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีของ จ.พิษณุโลก (Watt/m^2)
(ที่มา: NASA Surface meteorology and Solar Energy – Choices.)



รูปที่ 21 ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 22 ขั้นตอนการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

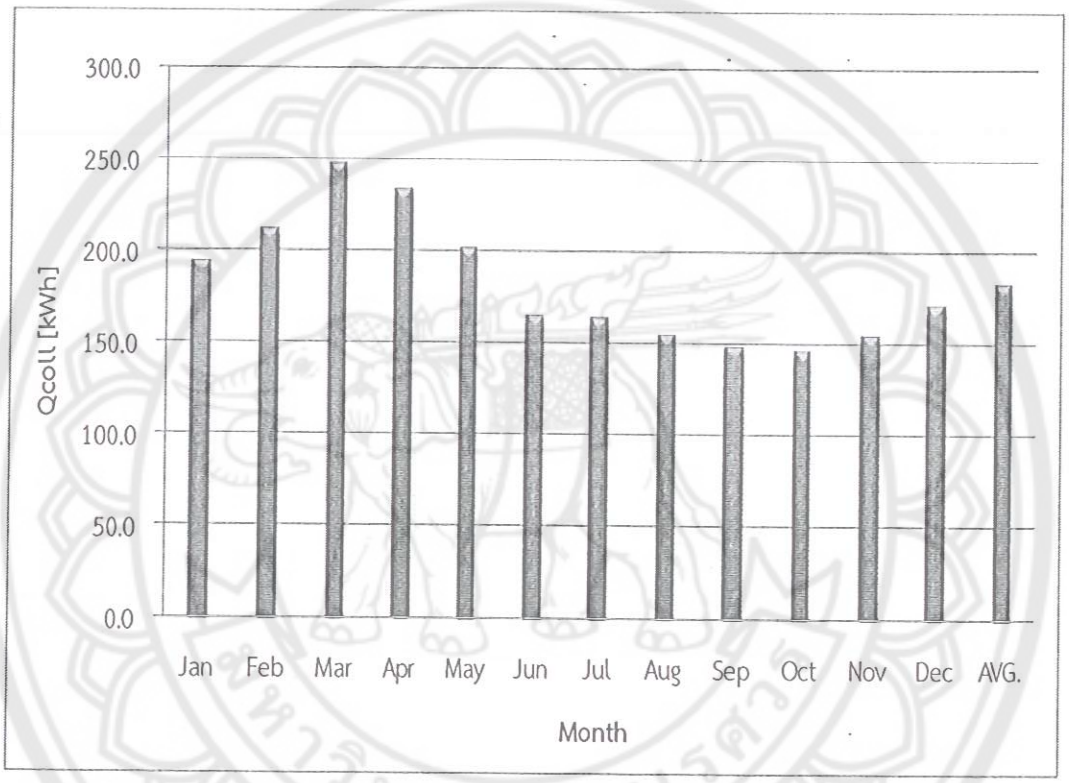
4.3.1 ผลวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1

ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพลังงานที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 พบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลิตได้ในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากับ

182.85 kWh หรือเท่ากับ 2,194.24 kWh ต่อปี โดยมีค่าพลังงานสูงสุด และต่ำสุดในเดือน มีนาคม และตุลาคม ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 248.12 และ 145.99 kWh ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลิตได้ในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จ.พิษณุโลก

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	AVG.
Qcoll [kWh]	193.82	211.90	248.12	233.95	201.81	165.43	164.47	154.46	148.25	145.99	154.28	171.75	182.85



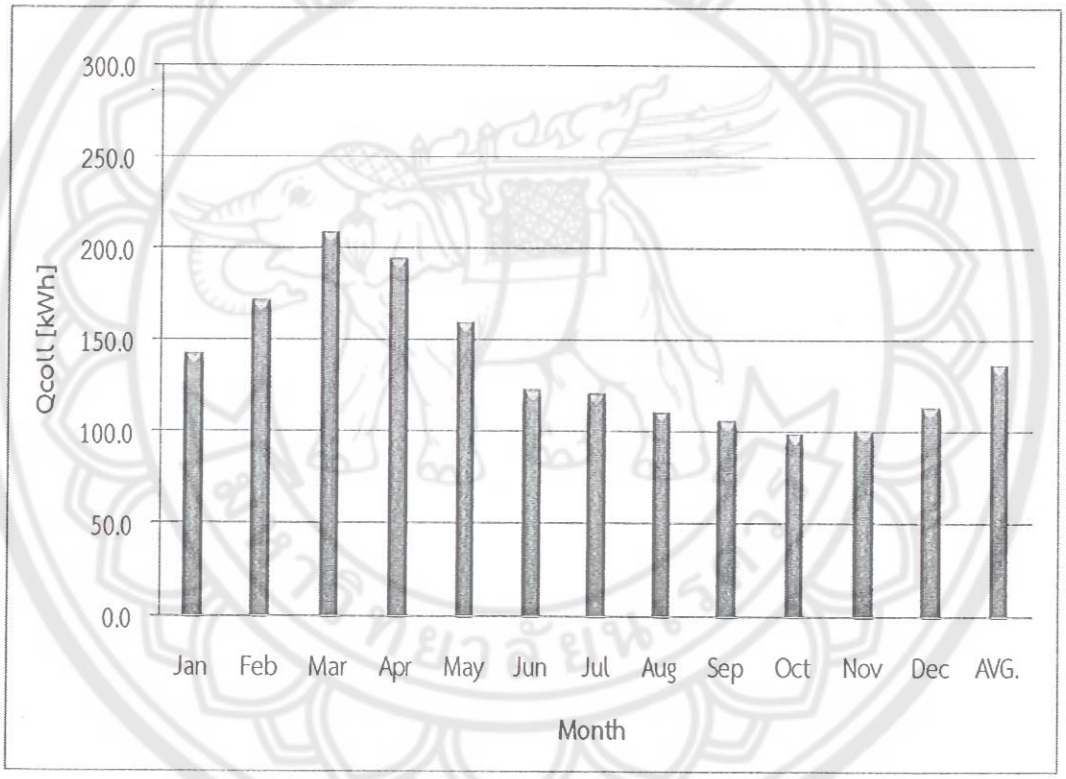
รูปที่ 22 ค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลิตได้ในแต่ละเดือน

4.3.2 ผลวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพลังงานที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 9 และรูปที่ 23 พบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลิตได้ในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากับ 137.49 kWh หรือเท่ากับ 1,649.84 kWh ต่อปี โดยมีค่าพลังงานสูงสุด และต่ำสุดในเดือน มีนาคม และตุลาคม ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 208.72 และ 98.81 kWh ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2 ผลิตได้ในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จ.พิษณุโลก

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	AVG.
Qcoll [kWh]	142.65	171.02	208.72	194.61	160.20	122.57	120.44	111.02	106.29	98.81	100.46	113.04	137.49



รูปที่ 23 ค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2 ผลิตได้ในแต่ละเดือน

4.4 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 และแบบที่ 2

ผลที่ได้จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ ทั้ง 2 แบบ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ซึ่งมีครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance angle, θ_c) เท่ากับ 11.5 องศาและอัตราส่วนการรวมรังสี (Concentration Ratio, CR) เท่ากับ 5 จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า และการสูญเสียความร้อนต่ำกว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2 ซึ่งมีครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance angle, θ_c) เท่ากับ 41.8 องศา แสดงอัตราส่วนการรวมรังสี (Concentration Ratio, CR) เท่ากับ 1.5 แสดงดังตารางที่ 10

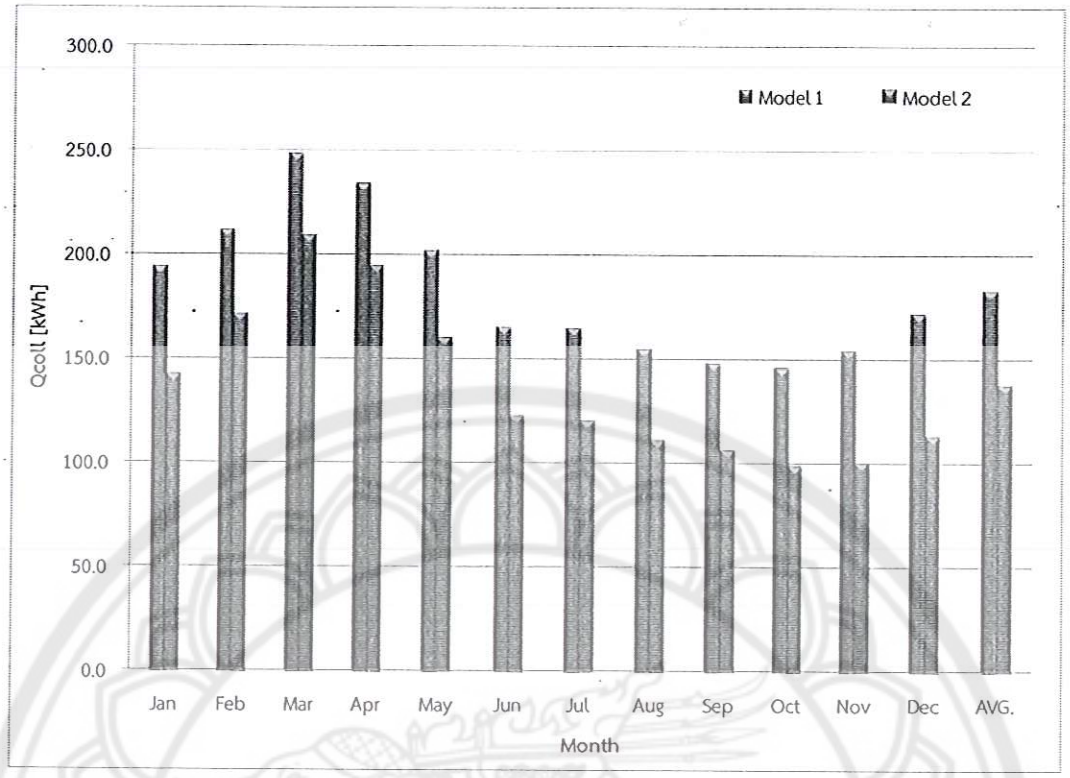
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ

ตัวแปรแสดงคุณสมบัติเฉพาะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	ผลการทดสอบ	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2
η_c (Collector Thermal Efficiency)	72.5%	62.7%
$F_R(\tau\alpha)$	0.725	0.626
$F_R U_L$(W/m^2 ^{o}C)	12.619	21.262

ทั้งนี้ผลที่ได้จากการทดสอบได้ถูกนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ ผลิตได้ โดยใช้ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมของ จ.พิษณุโลก ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 จะสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 11 และรูปที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพลังงานรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ ผลิตได้

Qcoll [kWh]	Month												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	AVG.
แบบที่ 1	193.82	211.90	248.12	233.95	201.81	165.43	164.47	154.46	148.25	145.99	154.28	171.75	182.85
แบบที่ 2	142.65	171.02	208.72	194.61	160.20	122.57	120.44	111.02	106.29	98.81	100.46	113.04	137.49



รูปที่ 24 การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 และ 2 ผลิตได้ในแต่ละเดือนตลอดทั้งปีของ จ.พิษณุโลก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการพัฒนาต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบพัฒนาต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาที่มีขาดค่าครึ่งมุมรับรังสีแตกต่างกัน 2 แบบคือ แบบที่ 1 ครึ่งมุมรับรังสีมีค่า 11.5^{O} และแบบที่ 2 ครึ่งมุมรับรังสีมีค่า 41.8^{O} โดยแบบที่ 1 มีความสูงของรางสะท้อนรังสีเป็น 4.98 cm และพื้นที่ครึ่งมุมรับรังสีมีค่า 10.52 cm และแบบที่ 2 มีความสูงของรางสะท้อนรังสีเป็น 5.62 cm พื้นที่ครึ่งมุมรับรังสีมีค่า 9.61 cm.

5.2 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา

5.2.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลที่ได้จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93 - 77 พบว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน ($F_R(\tau\alpha)$) ที่ค่าเท่ากับ 0.725 และสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อน ($F_R U_L$) มีค่าเท่ากับ 12.619 W/m^2 °C โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 72.5%

5.2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลที่ได้จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93 - 77 พบว่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน ($F_R(\tau\alpha)$) มีค่าเท่ากับ 0.626 และสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อน ($F_R U_L$) มีค่าเท่ากับ 21.262 W/m^2 °C โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 62.7%

5.3 ผลวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลที่ได้จากการทดสอบได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพลังงาน (Q_{coll}, kWh) ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ โดยใช้ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมของ จ.พิษณุโลก

5.3.1 ผลวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1

ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพลังงานที่ผลิตได้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลิตได้ในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากับ 182.85 kWh หรือเท่ากับ 2,194.24 kWh ต่อปี โดยมีค่าพลังงานสูงสุดเท่ากับ 248.12 kWh ในเดือนมีนาคม และต่ำสุดเท่ากับ 145.99 kWh ในเดือนตุลาคม

5.3.2 ผลวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าพลังงานที่ผลิตได้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ผลิตได้ในแต่ละเดือนมีค่าเท่ากับ 137.49 kWh หรือเท่ากับ 1,649.84 kWh ต่อปีโดยมีค่าพลังงานสูงสุด 208.72 kWh ในเดือนมีนาคม และต่ำสุดเท่ากับ 98.81 kWhในเดือนตุลาคม

5.3.3 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 และแบบที่ 2

ผลที่ได้จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ ทั้ง 2 แบบ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 ซึ่งมีครึ่งมุมรับรังสี (Half Acceptance angle, θ_c) เท่ากับ 11.5 องศาและอัตราส่วนการรวมรังสี (Concentration Ratio, CR) เท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า และการสูญเสียความร้อนต่ำกว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2 ซึ่งมีครึ่งมุมรับรังสี (Half Acceptance angle, θ_c) เท่ากับ 41.8 องศาและอัตราส่วนการรวมรังสี (Concentration Ratio, CR) เท่ากับ 1.5

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ

ตัวแปรแสดงคุณสมบัติเฉพาะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	ผลการทดสอบ	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2
η_c (Collector Thermal Efficiency)	72.5%	62.7%
$F_R(\tau\alpha)$	0.735	0.626
$F_R U_L$(W/m^2 ^{o}C)	12.619	21.262

ทั้งนี้ผลที่ได้จากการทดสอบได้ถูกนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ ผลิตได้ โดยใช้ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมของ จ.พิษณุโลก ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 1 จะสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ฯ แบบที่ 2

5.4 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการสนับสนุนให้นำผลการวิจัยไปขยายผลนำไปใช้งานจริงกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้า
- ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมในด้านต่างๆเช่น ฉนวนความร้อน และวิจัยเพื่อเพิ่มสมรรถนะของตัวเก็บรังสีชนิดนี้