การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ

นายภาสกร ชุ่มทิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ

นายภาสกร ชุ่มทิ วศ.บ. (ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.รังสิต ศรจิตติ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ. ดร.นริส ประทินทอง)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รศ. ดร.ศิริชัย เทพา)

..... กรรมการ
(ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายภาสกร ชุ่มทิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.นริส ประทินทอง
	รศ. ดร.ศิริชัย เทพา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
สายวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2555

บทคัดย่อ

การศึกษางานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์แผ่นโลหะหรือเมทัลชีทเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ต้นทุนต่ำโดยสร้างจากวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ซึ่งใช้หลังคาเมทัลชีทเป็นแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ใช้ท่ออะลูมิเนียมเป็นท่อภายในแผงซึ่งอยู่ใต้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และใช้ฉนวนพอลิยูรีเทนและพอลิเอทิลีนเป็นฉนวนกันความร้อนด้านหลังแผง โดยสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 ชนิดซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งรูปร่างและสันลอน ซึ่งมีพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่ากับ 2 m^2 ใช้ชื่อแทนคือ CL-750D และ CL-825 จากนั้นทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 และทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 โดยทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานครฯ ประเทศไทย จากผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 และแบบ CL-750D มีประสิทธิภาพเท่ากับ 55.51% และ 49.09% ตามลำดับ และในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ CL-825 โดยมีความสามารถในการผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เท่ากับ 61.88 Liters/m^2 สำหรับแบบ CL-750D และ 51.41 Liters/m^2 สำหรับแบบ CL-825 ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D และแบบ CL-825 มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.68 ปี และ 5.14 ปี ตามลำดับ ในขณะที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาดมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 6 ปี

คำสำคัญ : ตัวเก็บรังสีอาทิตย์/ ต้นทุนต่ำ/ ระบบทำน้ำร้อน/แผ่นโลหะ

Thesis Title	Performance Study of Metal Sheet Solar Collector
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Phatsakron Choomti
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Naris Pratinthong
	Assoc. Prof. Dr. Sirichai Thepa
Program	Master of Engineering
Department	Energy Technology
Field of Study	Energy Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
B.E.	2555

Abstract

The objective of this research is to design a low cost solar collector fabricated with local material parts in Thailand. The simple collector was made of a roof metal sheet served as an absorber. The aluminum tubes were located underneath the metal sheet. The back heat loss was protected using PU foam and the PE insulation. Two types of collector having the area of 2 m^2 were built according to the roof curls and shapes, namely, CL-750D and CL-825. The thermal performance of solar collector was performed by following the standard test ISO 9806-1. The test method for system performance was performed in accordance with the ISO 9459-2 standard, at KMUTT, Bangkok, Thailand. The experimental results showed that, the thermal performance of solar collector CL-825 and CL-750D were 55.51% and 49.09 %, respectively. The system performance testing with CL-750 D was higher than that with CL-825. The ability of producing hot water at 60 C was 61.88 Liters/m^2 for CL-750D and 51.41 Liters/m^2 for CL-825. Economical analysis revealed that the payback periods for CL-750D and CL-825 were 3.68 yrs and 5.14 yr, respectively, while the commercial solar domestic hot water system was about 6 yrs.

Keywords : Domestic Hot Water/Low Cost/Metal Sheet/Solar Collector

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.นริส ประทินทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำเสนอแนวคิดต่างๆ ตลอดจนคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์และช่วยตรวจสอบการจัดทำรูปเล่นวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.ศิริชัย เทพา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำแนะนำในการทดสอบของงานวิจัยครั้งนี้ตลอดจน ช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ และช่วยตรวจสอบรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ และ ดร.รังสิต ศรจิตติ ที่สละเวลามาร่วมเป็นกรรมการการสิบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อผู้วิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนช่วยตรวจสอบรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น

ข้าพเจ้าของขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนและให้โอกาสในการเรียนตั้งแต่เด็กจนถึงระดับมหาบัณฑิตของข้าพเจ้ามาโดยตลอด รวมไปถึงเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนใน Solar Lab ที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนข้อมูลต่างๆ ที่มีความสำคัญยิ่ง

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ล้วนเกิดมาจากทุกท่านที่กล่าวมาแล้วนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้สำนึกในบุญคุณ จักขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฎ
ราการรูปประกอบ	ฑ
รายการสัญลักษณ์	ถ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	บ

บทที่

1. บทนำ		**1**
1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์งานวิจัย	3
1.3	ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		**4**
2.1	พลังงานแสงอาทิตย์	4
2.1.1	ดวงอาทิตย์	4
2.1.2	ค่าคงที่แสงอาทิตย์	4
2.1.3	รังสีอาทิตย์	5
2.1.3.1	ทิศทางของรังสีตรง	6
2.1.3.2	ค่ารังสีตรงบนพื้นเอียง	10
2.1.4	ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	14
2.1.5	การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์	16

หน้า

2.1.5.1	การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	17
2.1.5.2	การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน	17
2.2	หลังคาเมทัลชีท	19
2.3	ฉนวนกันความร้อน	21
2.3.1	ฉนวนเยื่อกระดาษ	22
2.3.2	ฉนวนใยแก้ว	23
2.3.3	ฉนวนโฟมพอลิเอทิลีน	23
2.3.4	ฉนวนโฟมพอลิยูริเทน	24
2.4	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ	26
2.4.1	ส่วนประกอบของระบบทำน้ำร้อนด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ	26
2.4.1.1	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	26
2.4.1.2	ท่อน้ำของระบบ	28
2.4.1.3	ถังเก็บน้ำร้อน	28
2.4.2	การคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	29
2.4.2.1	สมดุลพลังงานบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ	29
2.4.2.2	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	30
2.4.2.3	การกระจายอุณหภูมิระหว่างท่อและประสิทธิภาพมาตรฐานของครีบ	33
2.4.2.4	แฟคเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	34
2.4.2.5	แฟคเตอร์การดึงความร้อนและแฟคเตอร์การไหล	35
2.4.2.6	ผลของการส่องผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์	36
2.4.3	ประโยชน์และระดับอุณหภูมิการใช้งานน้ำร้อน	37
2.5	การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	38
2.5.1	ต้นทุนเริ่มแรก	38
2.5.2	ค่าใช้จ่ายระหว่างอายุการใช้งาน	39
2.5.2.1	ต้นทุนการลงทุนทั้งหมด	39
2.5.2.2	การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน	39
2.6	มาตรฐานการทดสอบ	40

หน้า

2.6.1 การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO 6806-1 40
2.6.1.1 สภาวะการทดสอบ 40
2.6.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ 40
2.6.1.3 การคำนวณ 42
2.6.2 การทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 43
2.6.2.1 อุปกรณ์การทดสอบ 43
2.6.2.2 สภาวะการทดสอบ 44
2.6.2.3 การเตรียมการทดสอบ 44
2.6.2.4 วิธีการทดสอบ 45
2.6.2.5 การคำนวณสมรรถนะของระบบ 46
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 47

3. อุปกรณ์และการเตรียมงานวิจัย 53
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 53
3.2 การออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ 55
3.2.1 แผ่นรับรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 55
3.2.2 แผ่นรับรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D 57
3.3 การสร้างตัวต้นแบบของแผ่นรับรังสีแบบแผ่นโลหะ 59
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 64
3.4.1 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 64
3.4.2 ถังสะสมความร้อน 66
3.4.3 ถังพักน้ำ 67
3.4.4 ปั๊มน้ำ 67
3.4.5 เครื่องวัดแรงดันน้ำ 68
3.4.6 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ 68
3.4.7 สายเทอร์โมคัปเปิล 69
3.4.8 เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ 69

หน้า

3.4.9 เครื่องระบายความร้อนจากน้ำร้อน 70
3.4.10 ถังน้ำร้อน 70
3.4.11 ถังพักน้ำสำหรับไหล 71
3.5 วิธีการทดสอบ 71
3.5.1 วิธีการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 71
3.5.1.1 สภาวะการทดสอบ 71
3.5.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ 71
3.5.1.3 การวัดและตำแหน่งในการติดตั้งจุดวัด 72
3.5.1.4 พารามิเตอร์ในการทดสอบ 73
3.5.2 วิธีการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 74
3.5.2.1 สภาวะการทดสอบ 74
3.5.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ 74
3.5.2.3 การวัดและตำแหน่งในการติดตั้งจุดวัด 75
3.5.2.4 พารามิเตอร์ในการทดสอบ 75
3.6 สถานที่เก็บขอมูล 77

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ 78
4.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 78
4.1.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D 78
4.1.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 79
4.1.3 วิเคราะห์ค่าความร้อนในบริเวณครีบและท่อที่ได้จากการทดสอบ 81
4.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 84
4.2.1 ค่ารังสีอาทิตย์ของวันที่ทดสอบ 84
4.2.1.1 ค่ารังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ไม่มีกระจกปิด 84
4.2.1.2 ค่ารังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีกระจกปิด 87
4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบ 90

หน้า

4.2.2.1 ผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ไม่มีกระจกปิด 90
4.2.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีกระจกปิด 93
4.2.3 ผลของค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบ 96
4.2.3.1 ค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ไม่มีกระจกปิด 97
4.2.3.2 ค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีกระจกปิด 100
4.2.4 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ได้จากการทดสอบ 103
4.2.4.1 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ไม่มีกระจกปิด 103
4.2.4.2 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีกระจกปิด 105
4.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ 108

5. สรุปและข้อเสนอแนะ 114
5.1 สรุป 114
5.2 ข้อเสนอแนะ 115

เอกสารอ้างอิง 116

ภาคผนวก

ก ข้อมูลประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย 120
ข ข้อมูลต้นทุนระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 122
ค ตัวอย่างการคำนวณปริมาณความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ 125
ง ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO-9806-1 และประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ISO-9459-2 130
จ ตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ 133
ฉ ข้อมูลประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 136
ช ข้อมูลประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 161

หน้า

ซ ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ 164

ประวัติผู้วิจัย **173**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรังสีรายวันต่อรังสีนอกบรรยากาศ 12
2.2 ชั่วโมงที่มีแดดเฉลี่ยของแต่ละเดือน โดยใช้ข้อมูลทางสถิติของกรุงเทพฯ (1991-1998) 12
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ $a1$, $a2$, $b1$ และ $b2$ ที่สถานีวัดต่างๆของประเทศไทย 13
2.4 เป้าหมายของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทยในปี ค.ศ. 2011 18
2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลังคาเหล็กเมทัลชีทกับกระเบื้องคอนกรีต 21
2.6 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ 22
2.7 ตารางการเปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวนเยื่อกระดาษ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนโฟมพอลิเอทิลีน และ ฉนวนโฟมพอลิยูรีเทน 25
2.8 ระดับอุณหภูมิการใช้งานน้ำร้อน 37
2.9 รายการที่บันทึกข้อมูลจากการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 9806-1 41
2.10 รายการที่จดบันทึกข้อมูลจากการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 9459-2 45
3.1 แสดงสิ่งที่วัดและตำแหน่งที่ทำการวัดค่าต่างๆในระบบดังรูปที่ 3.28 73
3.2 แสดงสิ่งที่วัดและตำแหน่งที่ทำการวัดค่าต่างๆในระบบดังรูปที่ 3.29 75
4.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D 78
4.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 80
4.3 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ 103
4.4 ปริมาณความร้อนที่ได้รับในแต่ละวัน ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ และความสามารถในการผลิตน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 60 °C ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด 108
4.5 ราคาต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ 109
4.6 ผลการประเมินเงินลงทุนเทียบเท่ารายปี 110
4.7 การเปรียบเทียบอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 °C 110
4.8 การเปรียบเทียบอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 °C 111

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

4.9 การเปรียบเทียบอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาด ที่อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 °C 111
ก.1 ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบที่มีจำหน่ายในประเทศไทย 121
ข.1 ข้อมูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบและถังสะสมความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุน 123
ข.2 ต้นทุนวัสดุของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นรายและถังสะสมความร้อน 124
ฉ.1 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 18 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 137
ฉ.2 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 19 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 138
ฉ.3 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 22 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 139
ฉ.4 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 23 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 140
ฉ.5 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 24 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 141
ฉ.6 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 25 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 142
ฉ.7 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 20 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 143
ฉ.8 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 21 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 144
ฉ.9 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 18 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 145
ฉ.10 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 19 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 146
ฉ.11 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 20 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 147

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

ฉ.12 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 21 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 148
ฉ.13 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 19 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มีกระจกปิด 149
ฉ.14 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 20 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มีกระจกปิด 150
ฉ.15 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 21 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มีกระจกปิด 151
ฉ.16 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 22 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มีกระจกปิด 152
ฉ.17 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 23 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มีกระจกปิด 153
ฉ.18 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 24 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มีกระจกปิด 154
ฉ.19 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 6 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจกปิด 155
ฉ.20 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 7 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจกปิด 156
ฉ.21 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 12 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจกปิด 157
ฉ.22 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 13 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจกปิด 158
ฉ.23 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 14 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจกปิด 159
ฉ.24 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 15 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจกปิด 160
ช.1 ข้อมูลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด 162
ช.2 ข้อมูลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด 163

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 พื้นผิวรับแสงและมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวเอียง 10
2.2 มุมตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นราบและพื้นเอียง 10
2.3 พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยเมื่อเทียบกับประเทศต่างๆ 15
2.4 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) 16
2.5 ชั้นเคลือบโลหะผสมอลูซิงค์ของหลังคาเหล็กเมทัลชีท 20
2.6 ชั้นเคลือบเหล็กเคลือบสี Clean Colorband® Steel Layer 20
2.7 ฉนวนเยื่อกระดาษ 23
2.8 ฉนวนใยแก้ว 23
2.9 ฉนวนโฟมพอลิเอทิลีน 24
2.10 ฉนวนโฟมพอลิยูรีเทน 24
2.11 ลักษณะการหมุนเวียนน้ำภายในแผงท่อบนแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 27
2.12 ส่วนประกอบของระบบทำน้ำร้อนด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ 28
2.13 วงจรความร้อนของตัวเก็บรังสีที่มีแผ่นปิดใส 2 ชั้น 30
2.14 วงจรความร้อนสมมูลย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ 31
2.15 แผ่นรับรังสีอาทิตย์และท่อ 33
2.16 ระบบการส่องผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของแผ่นปิดโปร่งแสง 36
2.17 แผนผังการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์และเครื่องมือวัด ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 44
3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 54
3.2 ภาพจำลองในมุมมองไอโซเมตริกของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะรุ่น CL-825 55
3.3 แบบแปลนแสดงขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะรุ่น LL-825 56
3.4 ภาพจำลองในมุมมองไอโซเมตริกของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะรุ่น CL-750D 57
3.5 แบบแปลนแสดงขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะรุ่น CL-750D 58
3.6 ตัวยึดติดที่ทำการยึดติดท่ออะลูมิเนียมเข้ากับแผ่นดูดกลืนความร้อน ของแผ่นดูดกลืนความร้อนในแต่ละรุ่น 59

รูป (ต่อ) **หน้า**

3.7 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์รุ่นต่างๆ ที่ผ่านการประกอบกับท่ออะลูมิเนียมโดยใช้แผ่นยึดติดเป็นตัวยึดติด ด้านหน้า 60
3.8 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์รุ่นต่างๆ ที่ผ่านการประกอบกับท่ออะลูมิเนียมโดยใช้แผ่นยึดติดเป็นตัวยึดติด ด้านหลัง 61
3.9 แผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ผ่านการพ่นสีด้วยสีรองพื้น 62
3.10 แผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ผ่านการพ่นสีด้วยสีดำด้านทับสีรองพื้น 62
3.11 แผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ผ่านการพ่นสีด้วยสีดำด้านทับสีรองพื้นในระยะใกล้ 63
3.12 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ผ่านการพ่นฉนวนพอลียูรีเทนที่มีความหนา 25 mm 63
3.13 ความหนาของฉนวนพอลิยูรีเทนขนาดความหนาประมาณ 25 mm และลักษณะของฉนวนพอลิยูรีเทน 64
3.14 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ รุ่น CL-825 แบบไม่มีกระจกปิด 64
3.15 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ รุ่น CL-825 แบบมีกระจกปิด 65
3.16 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ รุ่น CL-750D แบบไม่มีกระจกปิด 65
3.17 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ รุ่น CL-750D แบบมีกระจกปิด 66
3.18 ถังสะสมความร้อน 66
3.19 ถังพักน้ำ 67
3.20 ปั๊มน้ำ 67
3.21 เครื่องวัดแรงดันน้ำ 68
3.22 เครื่องบันทึกข้อมูล 68
3.23 สายเทอร์โมคัปเปิลแบบ T 69
3.24 เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ 69
3.25 เครื่องระบายความร้อนจากน้ำร้อน 70
3.26 ถังทำน้ำร้อน 70
3.27 ถังพักน้ำสำหรับไหล 71
3.28 หลักการทำงานการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์และตำแหน่งการวัดค่าต่างๆ 72
3.29 รูปการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน IS0 9806-1 74
3.30 หลักการทำงานระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และตำแหน่งการวัดค่าต่างๆ 75

รูป (ต่อ) **หน้า**

3.31 รูปการทดสอบระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 (ด้านหน้า) 76
3.32 รูปการทดสอบระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 (ด้านข้าง) 76
4.1 กราฟประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D 79
4.2 กราฟประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 81
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความร้อนของค่าความร้อนจากครีบ ค่าความร้อนที่สะสมเหนือบริเวณท่อ และค่าความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D 82
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความร้อนของค่าความร้อนจากครีบ ค่าความร้อนที่สะสมเหนือบริเวณท่อ และค่าความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 82
4.5 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-750D แบบไม่มีกระจกปิด ของวันที่ 19 ธันวาคม 2555 และ 25 มกราคม 2556 84
4.6 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-750D แบบไม่มีกระจกปิดทั้ง 6 วัน 85
4.7 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-825 ของวันที่ 18 มกราคม 2556 และวันที่ 21 มกราคม 2556 86
4.8 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-825 แบบไม่มีกระจกปิดทั้ง 6 วัน 86
4.9 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-825 แบบมีกระจกปิด ของวันที่ 21 มีนาคม 2556 และวันที่ 23 มีนาคม 2556 87
4.10 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-750D แบบครอบกรอบทั้ง 6 วัน 88
4.11 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-825 แบบมีกระจกปิด ของวันที่ 07 มีนาคม 2556 และวันที่ 14 มีนาคม 2556 89
4.12 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-825 แบบมีกระจกปิดทั้ง 6 วัน 89
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 91

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับ
อุณหภูมิน้ำป้อนและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 91
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำและเวลา
ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 92
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับ
อุณหภูมิน้ำป้อนและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 93
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำและเวลา
ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด 94
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับ
อุณหภูมิน้ำป้อนและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด 94
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำและเวลา
ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด 95
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับ
อุณหภูมิน้ำป้อนและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด 96
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 97
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 98
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 99
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 99
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด 100
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด 101
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด 102

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด 102
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด 104
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด 105
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด 106
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด 107
4.33 ราคาพลังงานที่นำไปใช้งาน ณ อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 C ที่ระยะเวลาการใช้งานของระบบที่อัตราดอกเบี้ย 7.5% 112
4.34 ระยะเวลาคุ้มทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ที่ราคาพลังงานไฟฟ้าค่าต่างๆ 113
ข.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบและถังสะสมความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุน 123
ง.1 ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบ 131

รายการสัญลักษณ์

a_1	คือ	สัมประสิทธิ์เชิงพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)
a_2	คือ	สัมประสิทธิ์เชิงความร้อนของการสะสมความร้อน (MJ/K)
a_3	คือ	สัมประสิทธิ์เชิงความร้อน ณ สภาวะเริ่มต้น (MJ)
A_c	คือ	พื้นที่ของตัวเก็บรังสี (m^2)
b	คือ	ปริมาตรของถังสะสมความร้อนต่อพื้นที่แผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (L)
c	คือ	อัตราเร็วของแสงในสภาวะสุญญากาศมีค่าประมาณ 3×10^8 m/s
C_b	คือ	ความต้านทานรอยต่อ
C_c	คือ	ค่าใช้จ่ายของแผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่ (฿)
C_n	คือ	จำนวนเงินต่อหน่วยเวลา (฿)
C_p	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg°C)
C_{pw}	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล ($kJ/kg \cdot K$)
C_t	คือ	ค่าใช้จ่ายของถังสะสมความร้อนต่อปริมาตร (฿)
C_w	คือ	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าติดตั้ง (฿)
CRF	คือ	ค่าการชดเชยต้นทุนในการลงทุน
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (mm)
D_i	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (mm)
E	คือ	พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (kW)
F	คือ	ประสิทธิภาพมาตรฐานของครีบ
F'	คือ	แฟคเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
G_b	คือ	รังสีตรงที่ตกกระทบบนพื้นราบ (W/m^2)
G_{bt}	คือ	รังสีตรงที่ตกกระทบบนพื้นเอียง (W/m^2)
G_{on}	คือ	พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลก (W/m^2)
G_{sc}	คือ	ค่าคงที่แสงอาทิตย์มีค่า 1,367 W/m^2

G_T คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลานั้น (W/m^2)

h_w คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลม ($W/m^2\,°C$)

h_{fi} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อ ($W/m^2\,°C$)

H คือ รังสีอาทิตย์รวมรายวัน (MJ/m^2day)

H_d คือ รังสีอาทิตย์กระจายรายวัน (MJ/m^2day)

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศรายวัน (MJ/m^2day)

$\overline{H}$ คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของรังสีรวมบนพื้นราบในแนวระดับ (MJ/m^2day)

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา

I คือ รังสีอาทิตย์รวมบนในแนวระดับ (W/m^2)

I_T คือ รังสีอาทิตย์รวมบนระนาบเอียง (W/m^2)

I_d คือ รังสีกระจายบนระนาบในแนวระดับ (W/m^2)

k คือ ค่าการนำความร้อน (W/m.K)

k_T คือ ดัชนีเมฆรายชั่วโมง

K_T คือ ดัชนีเมฆรายวัน

$\overline{K}_T$ คือ ดัชนีเมฆเฉลี่ยรายเดือน

L คือ ความหนาของฉนวน

L_{st} คือ เส้นแวงที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{loc} คือ เส้นแวงของตำแหน่งที่ตั้ง

m คือ มวลที่หายไป

m คือ ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ (Liter/day)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลแต่ละตัวของตัวเก็บรังสี (kg/s)

M คือ ค่าบำรุงรักษาต่อปี (฿)

n คือ วันที่ของปี (Julian date), $1 \leq n \leq 365$

n คือ จำนวนหน่วยเวลา (year)

N คือ จำนวนกระจก

$\overline{N}$ คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของความยาวนานของวัน

q'_{fin} คือ พลังงานที่นำเข้าสู่ท่อต่อหน่วยความยาวในทิศทางการไหล (kJ)

q'_{tube} คือ พลังงานที่สะสมเหนือบริเวณท่อ (kJ)

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)

Q คือ ความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ (kJ)

Q_i คือ ความร้อนของน้ำที่ปล่อยออกทุกๆ 1 ใน 10 ของปริมาตรถัง (MJ)

Q_u คือ พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (W)

R_b คือ รังสีตกกระทบพื้นราบ (W/m^2)

S คือ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน (W/m^2)

S' คือ มูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน (฿)

$\overline{S}$ คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของชั่วโมงที่มีแดด

SFF คือ ตัวประกอบทุนจม

t คือ เวลาที่วัดหลังจากเที่ยงสุริยะ (Hr)

t_{in} คือ อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)

t_o คือ อุณหภูมิของไหลที่ทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)

T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

T_b คือ อุณหภูมิของฉนวน (°C)

T_{c1} คือ อุณหภูมิของแผ่นปิดใสชั้นที่ 1 (°C)

T_{c2} คือ อุณหภูมิของแผ่นปิดใสชั้นที่ 2 (°C)

$t_{di}(Vi)$ คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำ ΔV_i, (°C)

T_{f0} คือ อุณหภูมิของไหลขาออก (°C)

T_{fi} คือ อุณหภูมิของไหลขาเข้า (°C)

T_p คือ อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี (°C)

T_{pm} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดกลืน (°C)

t_{main} คือ อุณหภูมิน้ำเย็นหรือน้ำร้อนที่ป้อนเพื่อดันน้ำร้อนในถัง (K)

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ($W/m^2\,°C$)

U_G คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($W/m^2\,°C$)

U_t คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านบน ($W/m^2 °C$)

U_b คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านหลัง ($W/m^2 °C$)

ΔV_i คือ ปริมาตรน้ำ 1 ใน 10 ของปริมาตรถัง (m^2)

W คือ ระยะห่างระหว่างท่อ (mm)

α คือ ค่าการดูดกลืนรังสี (°)

α_s คือ มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (°)

β คือ มุมเอียงจากแนวระดับ (°)

ε_g คือ ค่าการแผ่รังสีของแผ่นกระจก

ε_p คือ ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสี

η คือ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

η_G คือ ประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

η_m คือ ความสามารถในการผลิตน้ำร้อน

η_{OG} คือ ประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ω คือ มุมชั่วโมง (°)

ω_s คือ มุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตก (Sunset hour angle) (°)

ρ_c คือ ค่าการสะท้อนรังสี

ρ_g คือ ค่าการสะท้อนรังสีของพื้น

ρ_w คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยของน้ำร้อน (kg/m^3)

δ คือ มุมเดคลิเนชั่น (°)

δ_p คือ ความหนาแผ่นดูดกลืน (mm)

ϕ คือ มุมละติจูด (°)

θ คือ มุมตกกระทบรังสีตรงบนพื้นเอียง (°)

θ_z คือ มุมตกกระทบรังสีตรงบนพื้นราบ (°)

τ คือ ค่าการส่องผ่านรังสี

γ คือ มุมอะซิมุท (°)

ประมวลศัพท์และคำย่อ

°C	คือ	celsius degree
Hr	คือ	hour
K	คือ	kelvin degree
kJ	คือ	kilojuule
kJ/kg°C	คือ	kilojuule per kilogram celsius
kg/m^3	คือ	kilogram per cubic meter
kg/s	คือ	kilogram per second
L	คือ	liter
m	คือ	meter
mm	คือ	milimeter
m^2	คือ	square meter
MJ	คือ	megajoule
MJ/K	คือ	megajoule per kelvin
MJ/m^2day	คือ	megajoule per square meter day
MW	คือ	megawatt
Pa	คือ	pascal
W	คือ	watt
W/m^2	คือ	watt per square meter
W/m.K	คือ	watt per meter kelvin