

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555, รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2553 [Online], Available: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/6may54_circular/energy_53_2.pdf [23 มกราคม 2555].

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555, แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี [Online], Available: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/y51_y65.pdf [23 มกราคม 2555].

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กันยารัตน์ เรืองเดช, 2544, เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบเทอร์โมไซฟอน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 9-11.

กิตติ สถาพรประสาธน์, 2541, การพัฒนาการใช้ผนังทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-3, 26-45.

เกษม โพธิ์งาม, 2545, การพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นำหนักเบาที่ใช้ในบ้านพักอาศัย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-12.

กฤษณพงศ์ กิรติกร, 2547, รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-8.

จงจิตร หิรัญลาภ, 2541, กระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 5-12.

ชาญวิทย์ วุฒิวงสานนท์, 2545, การพัฒนาระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบประหยัด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-4, 34-54.

ธาดา วรณโชติกุล, ประภัสสร ว่องชิงชัย และ พงษ์พันธ์ สุขसार, สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สำนักนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ สำนักปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551, โครงการการจัดทำระบบฐานข้อมูลพลังงานเพื่อการวิเคราะห์และวางแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศไทย พลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Energy), [Online], Available: http://www.thaienergydata.in.th/econtent/upload_pic/1190198489.pdf [30 มกราคม 2555].

ธีระ นนทะภา, 2550, การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีที่ผลิตจากกระป๋องอะลูมิเนียมใช้แล้วที่มีและไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนร่วมกับชุดสารดูดความชื้น, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, หน้า 6-7.

นฤมล สมพลเดช, 2535, การประยุกต์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, หน้า 15-20.

บริษัท เจริญพรอินเตอร์กรุ๊ป จำกัด, หลังคามทัลชีท (Metal Sheet) [Online], Available: <http://charoenpornintergroup.com/หลังคามทัลชีทหรือกันสาดเมทัลชีท.html> [3 กุมภาพันธ์ 2555].

บริษัท เทคโนโลยี มีเดีย จำกัด, ฉนวนกันความร้อน เพื่อบ้านอยู่สบาย ประหยัดพลังงาน [Online], Available: http://www.totacademy.com/upload-elearning/STjnhY15txdubqDc/41/mainmedia/19_Heat_Protection.pdf [3 กุมภาพันธ์ 2555].

บริษัท บางกอกอินซูลาเท จำกัด, ฉนวนกันความร้อนได้อย่างไร? [Online], Available: <http://www.bangkok-insulate.com/download/howto.pdf>, [3 กุมภาพันธ์ 2555].

บริษัท แผ่นหลังคามทัลชีท.com, มารู้จักแผ่นหลังคาเหล็กเมทัลชีท [Online], Available: http://www.xn--42cfk5cbhu7b7ae4dzdel4c4ki1k.com/Steel_Metal_Sheet_Roof/Aluzinc_Metal_Sheet_Roofing.html, [3 กุมภาพันธ์ 2555].

บริษัท เลิศลอย เมทัลชีท จำกัด, **หลังคามทัลชีท (Brochures)** [Online], Available: <http://www.lertloy.com/pdf/roof.pdf>, [3 กุมภาพันธ์ 2555].

บริษัท สตีลอินเตอร์เทค จำกัด (มหาชน), **Metal Sheet Products Solutions Provider**, หน้า 15.

ปรีดา จันทวงษ์, 2542, การออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายเพื่อใช้ในบ้าน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 9-16.

พลทรัพย์ บุญวานิช, 2523, การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 2-8, 37-65.

ภัทริน จินดาวัฒนานนท์, 2551, การศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคาของบ้านพักอาศัยในกรุงเทพฯ และเชียงใหม่, วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, หน้า 17-20.

สำราญ ภูบาล, 2550, “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นดูดรังสีเพื่อทำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ”, วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 52-62.

อโศก ศรีทองธรรม, 2551, การปรับปรุงสมรรถนะของแผงรับแสงอาทิตย์ในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, หน้า 1-5.

Churasia, P.B.L., 2000, “Solar Water Heaters Based on Concrete Collectors”, **Energy**, Vol. 25, No. 8, pp. 703-716.

Cristofari, C., Notton, G., Poggi, P. and Louche, A., 2001, “Modelling and Performance of a Copolymer Solar Water Heating Collector”, **Solar Energy**, Vol. 72, No. 2, pp. 99-112.

Dagdougui, H., Ouammi, A., Robba, M. and Sacile, R., 2010, "Thermal analysis and Performance Optimization of Solar Water Heater Flat plate Collector: Application to Tétouan (Morocco)", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 15, No. 1, pp. 630-638.

Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991, **Solar Engineering and Thermal Process**, New York, John Willey and Sons, pp. 11-97, 229-322.

Ho, C.D., Chen, T.C. and Tsai, C.J., 2010, "Experimental and Theoretical Studies of Recycle Flat-plate Solar Water Heaters Equipped with Rectangle Cunduits", **Renewable Energy**, Vol. 35, No. 10, pp. 2297-2787.

Khalifa, A.D.J. and Jabbar, R.A.A., 2009, "Conventional Versus Storage Domestic Solar Hot Water System: A Comparative Performance Study", **Energy Conversion and Management**, Vol. 51, No. 2, pp. 265-270.

Lima, J.B.A., Prado, R.T.A. and Taborianski, V.M., 2005, "Optimization of Tank and Flat-plate Collector of Solar Water Heating System for Single-family Households to Assure Economic Efficiency Through the TRNSYS Program", **Renewable Energy**, Vol. 31, No. 10, pp. 1581-1595.

Marina S. de Oliveira Ilha and Marilia Ferraz Ribeiro, 2012, "Adoption of Technology by the Low-income Population Segment: The Low-cost Hot Water Heater case", **Habitat International**, Vol. 36, No. 1, pp. 185-191.

Naris Pratinthong, 1996, **Long Term Simulation of Concrete Solar Collector**, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, pp. 18-22.

Narupat Amornkosit, 2007, "Renewable Energy Policy: Recent Policies on SPP/VSP", **Renewable Energy Asia 2007 Conference**, Bangkok BITEC

Siqueira, D.A., Vieira, L.G.M. and Damasceno, J.J.R., 2011, "Analysis and Performance of Low-cost Solar Heater", **Renewable Energy**, Vol. 36, No. 9, pp. 2538-2546.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

ตารางที่ ก.1 ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบที่มีจำหน่ายในประเทศไทย

บริษัท	พื้นที่รับแสง (m ²)	ประสิทธิภาพสูงสุด (%)	FR($\tau\alpha$)	FR(U _L)
บริษัท GS	1.77	54.97	0.55	6.59
บริษัท A	1.81	80.18	0.80	8.95
บริษัท SS	1.83	73.59	0.74	9.80
บริษัท I	1.85	50.30	0.50	4.23
บริษัท S_1	1.86	73.68	0.74	5.03
บริษัท R_1	1.87	66.16	0.66	5.76
บริษัท S_2	1.88	71.37	0.71	7.74
บริษัท P_1	1.89	76.15	0.76	6.84
บริษัท O	1.90	59.73	0.60	6.06
บริษัท C_1	1.90	62.32	0.62	6.15
บริษัท V_1	1.90	82.82	0.83	7.22
บริษัท LEK	1.90	72.68	0.73	8.22
บริษัท V_2	1.90	67.25	0.67	7.31
บริษัท Q	1.91	71.24	0.71	6.38
บริษัท U	1.91	62.88	0.63	8.97
บริษัท C_2	1.91	63.95	0.64	6.17
บริษัท W_1	2.07	67.69	0.68	6.41
บริษัท W_2	2.07	75.32	0.75	8.20
บริษัท P_2	2.14	66.73	0.67	5.47
บริษัท R_2	2.14	73.34	0.73	7.55
บริษัท L	2.36	62.67	0.63	6.29
บริษัท P_3	2.50	78.68	0.79	6.03
บริษัท R_3	2.59	67.39	0.67	5.21
ค่าเฉลี่ย		68.74	0.69	6.81
Max		82.82	0.83	9.80
Min		50.30	0.50	4.23

ภาคผนวก ข

ข้อมูลต้นทุนระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบและถังสะสมความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์
ต้นทุน

Components	Materials and Dimension	Unit
Overall Collector Dimensions	1806×1090×80	mm
Weight of Collector	30	kg
Aperture Area	2	m ²
Number of Risers	8	
Fluid Capacity	2.25	liters
Riser Tube	Φ10×δ0.45 mm copper tube	
Header Tube	Φ25 or Φ22×δ0.6 mm copper tube	
Insulation Material	Micro fiber and Aluminum foil	
Insulation Thickness-Base	50	mm
Insulation Thickness-Sides	50	mm
Absorber Material	Black Coated Aluminum	
Effective Absorber Surface Area	2	m ²
Absorber Plate Thickness	0.15	mm
Absorber Plate Dimensions	1806×1090	mm
Glazing Type	Tempered Low Iron	
Glazing Thickness	4	mm
Glazing Transmittance	0.87 min	
Glazing Iron Oxide Content	< 0.03	%
Stainless Steel Storage Tank	(304 grade A) 2.5	mm
dia.	480	mm
length	1250	mm



รูปที่ ข.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบและถังสะสมความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุน

ตารางที่ ข.2 ต้นทุนวัสดุของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นรายและถังสะสมความร้อน

Item	Type of material	Specification	Quantity	Cu – Cu GS Tank	Al – Cu GS Tank	Al – Cu SS Tank
1	Collector (Dimension 1806 mm × 1090 mm × 80 mm)					
1.1	Plain Window Glass (clear)	4 mm	2.00 m ²	1650	1650	1650
1.2	Aluminum sheet	26 swg (0.46 mm)	2.00 m ²	-	420	420
1.3	Copper sheet	32 swg	2.00 m ²	11668	-	-
1.4	Glass wool insulation		25.0 kg	271	271	271
1.5	Copper tube 22 swg	12.5 mm dia.	15 m	1200	1200	1200
1.6	Copper tube 20 swg	25 mm dia.	3 m	700	700	700
1.7	Aluminum Hox	4” x 2”	1	800	800	800
1.8	Rubber sheet	1m x 2m (1 mm)	1	2800	2800	2800
1.9	Cap	25 mm dia.	2	100	100	100
1.10	Elbow	25 mm dia.	4	82	82	82
1.11	Union	25 mm dia.	2	770	770	770
1.12	Socket	25 mm dia.	1	136	136	136
1.13	Socket	12.5 mm dia.	1	20	20	20
1.14	Nuts, bolts, screws etc.			500	500	500
Materials cost for collector				20,697	9,449	9,449
2.	Storage Tank (200 Liters: 480 mm dia. 1250 mm length)					
2.1	Galvanized steel sheet	20 swg (0.9 mm)	5.75 m ²	1440	1440	-
2.2	Galvanized steel sheet	18 swg (1.2 mm)	3.60 m ²	870	870	-
2.3	G.S. tubes “B” class	25 mm dia.	3.00 m	494	494	-
2.4	Stainless steel 304 A 1mm	304 A 1 mm	5.75 m ²	-	-	1440
2.5	Stainless steel 304 A 2.5mm	304 A 2.5 mm	5.75 m ²	-	-	5427
2.6	Copper tube 20 swg	25 mm dia.	3.00 m	1400	1400	1400
2.7	Glass wool insulation		20.00 kg	208	208	208
2.8	Mild steel strip	31 x 31 x 4 mm ²	16.80 m	996	996	996
2.9	Mild steel strip	50 mm x 6 mm	2.0 m	50	50	50
2.10	Sealing Material		500 gm	100	100	100
Material Cost for Storage				5,558	5,558	9,621
Total Material Costs				26,255	15,007	19,070
Fabrication and Installation cost (30 % of cost)				3,168	7,877	4,502
Overhead expenses (15%)				3,938	2,251	2,861
Total cost				38,070	21,760	27,652
Rounded				38,000	22,000	28,000
Cost fraction (in %)			:Collector	79 %	63 %	50 %
			:Storage	21 %	37 %	50 %

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ได้จาก
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ

ตัวอย่างการคำนวณ ปริมาณความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ แบบ CL-750D ที่มี
กระจกปิด

วันที่ 14 พฤษภาคม 2556 ที่เวลา 13:30 น.

$$\text{อุณหภูมิแผ่นรับรังสีอาทิตย์ (T}_p\text{)} = 54.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิผิวกระจก (T}_g\text{)} = 71.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T}_a\text{)} = 35.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{av} = \frac{(54.8 + 71.7)}{2}$$

$$= 63.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\beta' = \frac{1}{T_{av} + 273.15}$$

$$= \frac{1}{63.25 + 273.15}$$

$$= 0.0029$$

$$\text{จากตารางสมบัติอากาศ } Pr = 0.7194$$

$$\text{จากตารางสมบัติอากาศ } k = 0.0283 \text{ W/m.K}$$

$$\text{จากตารางสมบัติอากาศ } \alpha = 2.680 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{จากตารางสมบัติอากาศ } \nu = 1.928 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } R_a &= G_r P_r = \frac{g\beta'\Delta TL^3}{\nu\alpha} \\ &= \\ &= \frac{9.81 \times 0.0029 \times (71.7 - 54.8) \times 0.025^3 \times (0.7194)}{(1.928 \times 10^{-5})(2.680 \times 10^{-5})} \\ &= 14984.40 \end{aligned}$$

จากสมการ

$$N_u = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[1 - \frac{\sin(1.8\beta)^{1.6} 1078}{Ra \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+$$

$$= 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{17870.883 \times \cos 14} \right]^+ \left(1 - \frac{\sin(1.8 \times 14)^{1.6} 1078}{17870.883 \times \cos 14} \right) + \left[\left(\frac{14984.40 \times \cos 14}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \\ = 2.8294$$

จากสมการ $h_{1c} = \frac{N_u k}{L}$

$$= \frac{2.8294 \times 0.0283}{0.025}$$

$$= 3.2 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}$$

จากสมการ $h_{2c} = 2.8 + 3V$

$$= 2.8 + (3 \times 1.48)$$

$$= 7.24 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}$$

จากสมการ $\varepsilon_{eff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right]^{-1}$

$$= \left[\frac{1}{0.94} + \frac{1}{0.88} - 1 \right]^{-1}$$

$$= 0.8332$$

จากสมการ $h_{1r} = \varepsilon_{eff} \sigma \frac{[(T_p + 273)^4 - (T_g + 273)^4]}{(T_p - T_g)}$

$$= 0.8332 \times 5.669 \times 10^{-8} \frac{[(54.8 + 273)^4 - (71.7 + 273)^4]}{(71.7 - 54.8)}$$

$$= 7.19 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}$$

จากสมการ $T_{sky} = 0.0552(Ta + 273)^{1.5} - 273$

$$= 0.0552(35.7 + 273)^{1.5} - 273$$

$$= 26.3 \text{ °C}$$

จากสมการ $h_{2r} = \varepsilon_{eff} \sigma \frac{[(T_g + 273)^4 - (T_{sky} + 273)^4]}{(T_g - T_{sky})}$

$$\begin{aligned}
 &= 0.88 \times 5.669 \times 10^{-8} \frac{[(71.7+273)^4 - (26.3+273)^4]}{(71.7-26.3)} \\
 &= 6.34 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}
 \end{aligned}$$

จากสมการ $h_1 = h_{1c} + h_{1r}$

$$\begin{aligned}
 &= 3.2 + 7.24 \\
 &= 10.44 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}
 \end{aligned}$$

จากสมการ $h_2 = h_{2c} + h_{2r}$

$$\begin{aligned}
 &= 7.19 + 6.34 \\
 &= 13.53 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.30 $U_t = \left[\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} \right]^{-1}$

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{1}{10.44} + \frac{1}{13.53} \right]^{-1} \\
 &= 5.894 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.33 $U_b = \left[\frac{k_{PU}}{L_{PU}} \right] \times \left[\frac{k_{PE}}{L_{PE}} \right]$

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{0.022}{0.025} \right] + \left[\frac{0.03}{0.01} \right] \\
 &= 3.88 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.34 $U_e = U_b \left[\frac{A_e}{A_c} \right]$

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{0.03}{0.01} \right] \times \left[\frac{0.012}{2} \right] \\
 &= 0.018 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.35 $U_L = U_t + U_b + U_e$

$$\begin{aligned}
 &= 5.894 + 3.88 + 0.018 \\
 &= 9.79 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ 2.38} \quad m &= \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \\
 &= \sqrt{\frac{9.79}{(80.2 \times 4 \times 10^{-4}) + (188.83 \times 1 \times 10^{-4})}} \\
 &= 17.47
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ 2.37} \quad F &= \frac{\tanh[m(W-D)/2]}{m(W-D)/2} \\
 &= \frac{\tanh[17.47(0.075-0.019)/2]}{17.47(0.075-0.019)/2} \\
 &= 0.927
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ 2.36} \quad q'_{fin} &= (W-D)F[S-U_L(T_b-T_a)] \\
 &= (0.075-0.019) \times 0.927 \times [759.08-9.79 \times (54.8-35.7)] \\
 &= 29.7 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ 2.39} \quad q'_{tube} &= D[S-U_L(T_b-T_a)] \\
 &= 0.019 \times [759.08-9.79(54.8-35.7)] \\
 &= 10.87 \text{ W}
 \end{aligned}$$

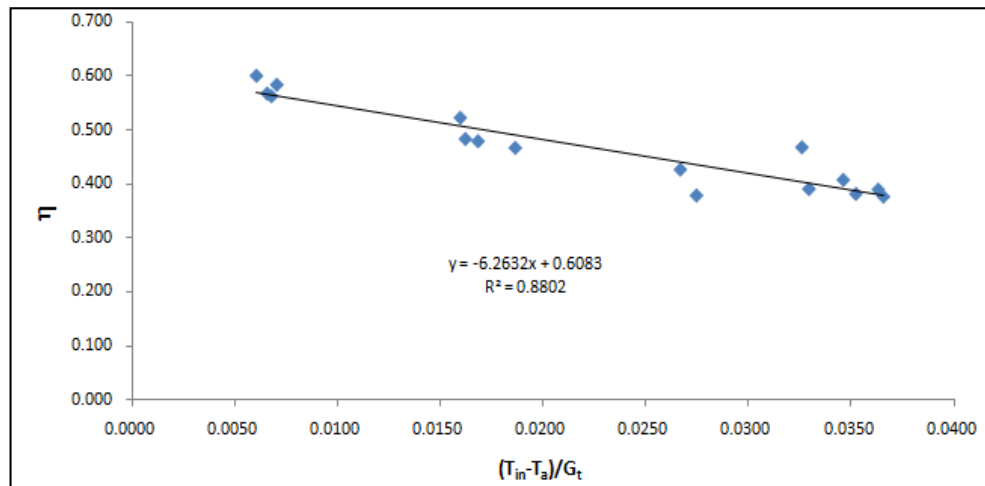
$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ 2.40} \quad q_u &= [(W-D)F+D][S-U_L(T_b-T_a)] \\
 &= [(0.075-0.019)0.927+0.019][759.08-9.79(54.8-35.7)] \\
 &= 40.57 \text{ W}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ง

**ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน
ISO-9806-1 และประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์
ตามมาตรฐาน ISO-9459-2**

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด ตามมาตรฐาน ISO 9806-1

พื้นที่รวมรับรังสีอาทิตย์	$A_c = 2 \text{ m}^2$
อัตราการไหลของน้ำป้อนในการทดสอบ	$m = 2 \text{ L/min}$
ช่วงความเข้มรังสีอาทิตย์ในขณะทดสอบ	$= 023.03 - 948.89 \text{ W / m}^2$
อุณหภูมิแวดล้อมขณะทดสอบ	$= 34.4 - 37.6 \text{ }^\circ\text{C}$
มุมเอียงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	$= 14^\circ$



รูปที่ ง.1 ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบ

จากสมการที่ 2.55 $\eta_G = \eta_{OG} - U_G(t_m - t_a)/G$

ซึ่งจากกราฟสามารถหาค่า $\eta_{OG} = 0.6083$

$$U_G = 6.26 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

หาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ $50 \text{ }^\circ\text{C}$

สภาวะความเข้มรังสีอาทิตย์ $G = 800 \text{ W / m}^2$

อุณหภูมิอากาศแวดล้อม $t_a = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

อุณหภูมิอากาศตัวเก็บรังสี $t_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\eta_G = 0.6083 - 6.26 \left(\frac{50 - 35}{800} \right)$$

$$= 49.087 \%$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด

$$\text{ความเข้มรังสีอาทิตย์} \quad H = 18 \text{ MJ}/m^2 \text{ day}$$

$$\text{อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย} \quad t_{a(\text{day})} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิน้ำป้อนระบบทดสอบ} \quad t_{\text{main}} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{พื้นที่รวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์} \quad A_G = 2 \text{ m}^2$$

$$\text{ปริมาตรถังสะสมน้ำร้อน} = 150 \text{ Liters}$$

$$\text{จากสมการที่ 2.58} \quad Q = a_1 H + a_2 (t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) + a_3$$

$$\text{เมื่อ} \quad a_1 = 0.8228 \text{ m}^2$$

$$a_2 = 0.4154 \text{ MJ} / \text{K}$$

$$a_3 = 0.0583 \text{ MJ}$$

แทนค่า a_1 , a_2 และ a_3 จะได้

$$Q = (0.8228 \times 18) + 0.4154(35 - 29) + 0.0583$$

$$= 17.36 \text{ MJ} / \text{day}$$

$$= 6336.708 \text{ MJ} / \text{year}$$

หาปริมาณน้ำร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ จากอุณหภูมิ 29 °C เป็น 60 °C

$$\text{จากสมการที่ 2.60} \quad m = \frac{Q}{C_p (T_{\text{out}} - T_{\text{main}})}$$

$$= \frac{17.36}{4.1829(60 - 29)}$$

$$= 133.75 \text{ kg}$$

หาความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C

$$\text{จากสมการที่ 2.61} \quad \eta_m = \frac{m}{A_G}$$

$$= \frac{133.75}{2}$$

$$= 66.88 \text{ kg} / \text{m}^2$$

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีหาต้นทุนรายปี

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีหาต้นทุนรายปี

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่ใส่กรอบ

$$\text{ต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์} \quad P_1 = 21735 \text{ ₪}$$

$$\begin{aligned} \text{ราคาซากวัสดุเมื่อครบอายุ 10 ปี} \quad S &= 10\% \\ &= 2173.5 \text{ ₪} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้รับทั้งปี} = 6336.708 \text{ MJ / year}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าบำรุงรักษาตลอดปี} \quad \alpha &= 3\% \\ &= 652.05 \text{ ₪} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราค่าดอกเบี้ยร้อยละ (เมษายน 2556)} = 7.5\%$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 2.50} \quad CRF &= \frac{i(1+i)^n}{((1+i)^n - 1)} \\ &= \frac{0.075(1+0.075)^{10}}{[(1+0.075)^{10} - 1]} \\ &= 0.15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เงินลงทุนครั้งแรกต่อปี} &= P_1 \times CRF \\ &= 21735 \times 0.15 \\ &= 3166.48 \text{ ₪} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 2.51} \quad SFF &= \frac{i}{[(1+i)^n - 1]} \\ &= \frac{0.075}{[(1+0.075)^{10} - 1]} \\ &= 0.07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เงินสะสมปลายเวลาต่อปี} &= S(SFF) \\ &= 2173.5 \times 0.07 \\ &= 153.64 \text{ ₪} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เงินค่าใช้จ่ายต่อปี} \quad Ca &= \text{เงินลงทุนครั้งแรกต่อปี} - \text{เงินสะสมปลายเวลาต่อปี} \\ &\quad + \text{ค่าบำรุงรักษา} \\ &= 3166.48 - 153.64 + 650.05 \end{aligned}$$

$$= 3970.17 \text{ B}$$

การวิเคราะห์ราคาพลังงานเมื่ออายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ครบ 10 ปี

$$\begin{aligned} \text{ราคาต่อหน่วยพลังงานที่ผลิตได้} &= (3.6 \times Ca) / 365 \times \text{ปริมาณความร้อนที่ได้ในแต่ละวัน} \\ &= \frac{(3.6 \times 3970.17)}{(365 \times 17.36)} \\ &= 2.08 \text{ B/kW.hr} \end{aligned}$$

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีหาจุดคุ้มทุน

$$\text{จากสมการที่ 2.52} \quad P_1(CRF) - S(SFF) + \alpha = C \left[\frac{365 \times Q}{3.6 \times \eta_E} \right]$$

$$\left[21735 \times \frac{(0.075 \times (1 + 0.075))^n}{(1 + 0.075)^n - 1} \right] - \left[2173.5 \frac{0.075}{((1 + 0.075)^n - 1)} \right] + 652.05 = 3.6246 \left[\frac{365 \times 17.36}{3.6 \times 0.9} \right]$$

∴ จำนวนปีที่คุ้มทุนของระบบ = 3.68 ปี

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ

CL-750D และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825

ตารางที่ ๓.1 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 18 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.6444	4.182178	50.88889	30.3	20.61058	1276.981
2	0.015	989.6221	4.181263	46.31333	30.3	16.03502	995.2625
3	0.015	991.2472	4.180003	42.50667	30.3	12.22835	760.0074
4	0.015	992.076	4.179213	40.53333	30.3	10.25502	637.7747
5	0.015	992.5744	4.178848	39.23778	30.3	8.959465	557.4334
6	0.015	992.9344	4.178648	38.23778	30.3	7.959465	495.372
7	0.015	993.2976	4.178446	37.22889	30.3	6.950577	432.7193
8	0.015	993.5568	4.178302	36.50889	30.3	6.230577	387.9824
9	0.015	993.8512	4.178138	35.69111	30.3	5.412799	337.1455
10	0.015	994.0496	4.178028	35.14	30.3	4.861688	302.871
11	0.015	994.2294	4.178081	34.59556	30.3	4.317243	269.0055
12	0.015	994.3816	4.178176	34.12	30.3	3.841688	239.416
13	0.015	994.5068	4.178254	33.72889	30.3	3.450577	215.0728
14	0.015	994.6262	4.178329	33.35556	30.3	3.077243	191.8296
15	0.015	994.7087	4.17838	33.09778	30.3	2.819465	175.777
16	0.015	994.8054	4.178441	32.79556	30.3	2.517243	156.9527
17	0.015	994.8737	4.178484	32.58222	30.3	2.30391	143.6625
18	0.015	994.9363	4.178523	32.38667	30.3	2.108354	131.4779
19	0.015	995.0074	4.178567	32.16444	30.3	1.886132	117.6297
20	0.015	995.0515	4.178595	32.02667	30.3	1.748354	109.0427
21	0.015	995.0941	4.178621	31.89333	30.3	1.615021	100.7318
22	0.015	995.124	4.17864	31.8	30.3	1.521688	94.91371
23	0.015	995.1667	4.178667	31.66667	30.3	1.388354	86.60144
24	0.015	995.2008	4.178688	31.56	30.3	1.281688	79.95104
25	0.015	995.22	4.1787	31.5	30.3	1.221688	76.20996
26	0.015	995.2385	4.178712	31.44222	30.3	1.16391	72.60728
27	0.015	995.2698	4.178731	31.34444	30.3	1.066132	66.51009
28	0.015	995.2833	4.17874	31.30222	30.3	1.02391	63.87707
29	0.015	995.2833	4.17874	31.3	30.3	1.02391	63.87707
30	0.015	995.298	4.178749	31.3	30.3	0.977785	61.0006
				η	0.254306	ΣQ (kJ)	8699.696
				η (%)	25.43063	ΣQ (MJ)	8.699696

ตารางที่ ๓.2 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 19 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.6471	4.182176	50.88222	29.8	21.03957	1303.563
2	0.015	989.6759	4.181238	46.19111	29.8	16.34845	1014.766
3	0.015	991.4497	4.17981	42.02444	29.8	12.18179	757.2329
4	0.015	992.1871	4.179108	40.26889	29.8	10.42623	648.4788
5	0.015	992.6792	4.178789	38.94667	29.8	9.10401	566.4784
6	0.015	993.1424	4.178532	37.66	29.8	7.817343	486.6152
7	0.015	993.4136	4.178381	36.90667	29.8	7.06401	439.8258
8	0.015	993.6912	4.178227	36.13556	29.8	6.292899	391.9092
9	0.015	993.9352	4.178092	35.45778	29.8	5.615121	349.7731
10	0.015	994.1334	4.178021	34.89556	29.8	5.052899	314.809
11	0.015	994.3311	4.178144	34.27778	29.8	4.435121	276.3829
12	0.015	994.4854	4.178241	33.79556	29.8	3.952899	246.3763
13	0.015	994.6163	4.178323	33.38667	29.8	3.54401	220.9244
14	0.015	994.7251	4.178391	33.04667	29.8	3.20401	199.7548
15	0.015	994.8296	4.178456	32.72	29.8	2.877343	179.4103
16	0.015	994.9064	4.178504	32.48	29.8	2.637343	164.4603
17	0.015	994.9882	4.178555	32.22444	29.8	2.381788	148.5383
18	0.015	995.06	4.1786	32	29.8	2.157343	134.5521
19	0.015	995.1261	4.178641	31.79333	29.8	1.950677	121.6717
20	0.015	995.1752	4.178672	31.64	29.8	1.797343	112.1141
21	0.015	995.2122	4.178695	31.52444	29.8	1.681788	104.9105
22	0.015	995.2605	4.178725	31.37333	29.8	1.530677	95.48943
23	0.015	995.289	4.178743	31.28444	29.8	1.441788	89.94715
24	0.015	995.3231	4.178764	31.17778	29.8	1.335121	83.29594
25	0.015	995.3466	4.178779	31.10444	29.8	1.261788	78.72293
26	0.015	995.3622	4.178789	31.05556	29.8	1.212899	75.67412
27	0.015	995.3878	4.178805	30.97556	29.8	1.132899	70.68492
28	0.015	995.3914	4.178807	30.96444	29.8	1.121788	69.99195
29	0.015	995.4177	4.178824	30.9	29.8	1.039565	64.86381
30	0.015	995.435	4.178834	30.8	29.8	0.985604	61.49811
				η	0.239957	ΣQ (kJ)	8872.716
				η (%)	23.99571	ΣQ (MJ)	8.872716

ตารางที่ ๓.3 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 22 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.5324	4.182234	51.16889	29.4	21.76623	1348.448
2	0.015	989.6427	4.181253	46.26667	29.4	16.86401	1046.736
3	0.015	991.1921	4.180055	42.63778	29.4	13.23512	822.5438
4	0.015	992.1591	4.179134	40.33556	29.4	10.9329	679.977
5	0.015	992.668	4.178796	38.97778	29.4	9.575121	595.7865
6	0.015	993.0792	4.178567	37.83556	29.4	8.432899	524.9034
7	0.015	993.476	4.178347	36.73333	29.4	7.330677	456.4542
8	0.015	993.7616	4.178188	35.94	29.4	6.537343	407.1578
9	0.015	994.0528	4.178026	35.13111	29.4	5.728454	356.8694
10	0.015	994.2806	4.178113	34.43556	29.4	5.032899	313.6163
11	0.015	994.4676	4.17823	33.85111	29.4	4.448454	277.2575
12	0.015	994.6106	4.178319	33.40444	29.4	4.001788	249.4595
13	0.015	994.7528	4.178408	32.96	29.4	3.557343	221.7905
14	0.015	994.8772	4.178486	32.57111	29.4	3.168454	197.5728
15	0.015	994.9868	4.178554	32.22889	29.4	2.826232	176.2554
16	0.015	995.0785	4.178612	31.94222	29.4	2.539565	158.3945
17	0.015	995.1617	4.178664	31.68222	29.4	2.279565	142.1917
18	0.015	995.2328	4.178708	31.46	29.4	2.057343	128.3408
19	0.015	995.2918	4.178745	31.27556	29.4	1.872899	116.8428
20	0.015	995.3494	4.178781	31.09556	29.4	1.692899	105.6203
21	0.015	995.4134	4.178821	30.89556	29.4	1.492899	93.14914
22	0.015	995.4582	4.178849	30.75556	29.4	1.352899	84.41823
23	0.015	995.4945	4.178872	30.64222	29.4	1.239565	77.34969
24	0.015	995.5315	4.178895	30.52667	29.4	1.12401	70.14194
25	0.015	995.562	4.178914	30.43111	29.4	1.028454	64.18122
26	0.015	995.594	4.178934	30.33111	29.4	0.928454	57.94281
27	0.015	995.6147	4.178947	30.26667	29.4	0.86401	53.92226
28	0.015	995.636	4.17896	30.2	29.4	0.797343	49.76286
29	0.015	995.6566	4.178973	30.1	29.4	0.732899	45.74192
30	0.015	995.6743	4.178984	30.1	29.4	0.677778	42.30256
				η	0.264277	ΣQ (kJ)	8965.13
				η (%)	26.42773	ΣQ (MJ)	8.96513

ตารางที่ ๓.4 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 23 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	988.6424	4.181708	48.54	29.2	19.3195	1198.064
2	0.015	990.5351	4.180681	44.20222	29.2	14.98172	930.6144
3	0.015	991.8268	4.179451	41.12667	29.2	11.90616	740.3177
4	0.015	992.5544	4.178859	39.29333	29.2	10.07283	626.6929
5	0.015	993.0392	4.178589	37.94667	29.2	8.726163	543.1386
6	0.015	993.4256	4.178375	36.87333	29.2	7.65283	476.4925
7	0.015	993.7632	4.178187	35.93556	29.2	6.715052	418.2264
8	0.015	994.0328	4.178037	35.18667	29.2	5.966163	371.6716
9	0.015	994.2465	4.178092	34.54222	29.2	5.321719	331.6005
10	0.015	994.4399	4.178212	33.93778	29.2	4.717274	294.0028
11	0.015	994.59	4.178306	33.46889	29.2	4.248386	264.8253
12	0.015	994.7471	4.178404	32.97778	29.2	3.757274	234.2542
13	0.015	994.8815	4.178488	32.55778	29.2	3.337274	208.1008
14	0.015	994.9839	4.178552	32.23778	29.2	3.017274	188.169
15	0.015	995.087	4.178617	31.91556	29.2	2.695052	168.0939
16	0.015	995.1823	4.178676	31.61778	29.2	2.397274	149.5376
17	0.015	995.2627	4.178727	31.36667	29.2	2.146163	133.8862
18	0.015	995.3288	4.178768	31.16	29.2	1.939497	121.0027
19	0.015	995.39	4.178806	30.96889	29.2	1.748386	109.0872
20	0.015	995.4433	4.17884	30.80222	29.2	1.581719	98.69446
21	0.015	995.4895	4.178868	30.65778	29.2	1.437274	89.68635
22	0.015	995.5251	4.178891	30.54667	29.2	1.326163	82.75638
23	0.015	995.562	4.178914	30.43111	29.2	1.210608	75.54861
24	0.015	995.604	4.17894	30.3	29.2	1.079497	67.36981
25	0.015	995.6132	4.178946	30.27111	29.2	1.050608	65.5676
26	0.015	995.6367	4.17896	30.19778	29.2	0.977274	60.99257
27	0.015	995.6588	4.178974	30.12889	29.2	0.908386	56.6946
28	0.015	995.6765	4.178985	30.07333	29.2	0.85283	53.22833
29	0.015	995.7	4.179	30.0	29.2	0.779497	48.65264
30	0.015	995.7028	4.179002	30.0	29.2	0.770801	48.11005
				η	0.251056	ΣQ (kJ)	8255.08
				η (%)	25.10559	ΣQ (MJ)	8.25508

ตารางที่ ๓.5 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 24 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	988.4204	4.181809	49.04444	29.2	19.84785	1230.582
2	0.015	990.2523	4.18095	44.87556	29.2	15.67896	973.7094
3	0.015	991.8147	4.179462	41.15556	29.2	11.95896	743.5936
4	0.015	992.448	4.178918	39.58889	29.2	10.39229	646.5085
5	0.015	992.9032	4.178665	38.32444	29.2	9.127849	568.073
6	0.015	993.248	4.178473	37.36667	29.2	8.170072	508.6189
7	0.015	993.6088	4.178273	36.36444	29.2	7.167849	446.3673
8	0.015	993.9296	4.178095	35.47333	29.2	6.276738	390.9842
9	0.015	994.1647	4.17804	34.79778	29.2	5.601183	348.9812
10	0.015	994.3731	4.178171	34.14667	29.2	4.950072	308.488
11	0.015	994.5636	4.17829	33.55111	29.2	4.354516	271.4328
12	0.015	994.7165	4.178385	33.07333	29.2	3.876738	241.6938
13	0.015	994.8495	4.178468	32.65778	29.2	3.461183	215.8193
14	0.015	994.9597	4.178537	32.31333	29.2	3.116738	194.3665
15	0.015	995.0707	4.178607	31.96667	29.2	2.770072	172.7697
16	0.015	995.1567	4.17866	31.69778	29.2	2.501183	156.0146
17	0.015	995.2541	4.178721	31.39333	29.2	2.196738	137.0399
18	0.015	995.3146	4.178759	31.20444	29.2	2.007849	125.2651
19	0.015	995.3871	4.178804	30.97778	29.2	1.781183	111.1332
20	0.015	995.4376	4.178836	30.82	29.2	1.623405	101.2949
21	0.015	995.4838	4.178865	30.67556	29.2	1.47896	92.28696
22	0.015	995.5201	4.178888	30.56222	29.2	1.365627	85.21854
23	0.015	995.5528	4.178908	30.46	29.2	1.263405	78.8426
24	0.015	995.599	4.178937	30.31556	29.2	1.11896	69.83229
25	0.015	995.6154	4.178947	30.26444	29.2	1.067849	66.64379
26	0.015	995.6431	4.178964	30.17778	29.2	0.981183	61.23694
27	0.015	995.6765	4.178985	30.07333	29.2	0.876738	54.72053
28	0.015	995.7028	4.179004	29.99111	29.2	0.794516	49.59026
29	0.015	995.7284	4.179036	29.9	29.2	0.714516	44.59849
30	0.015	995.732	4.17904	29.9	29.2	0.703405	43.90517
				η	0.232602	ΣQ (kJ)	8539.611
				η (%)	23.26017	ΣQ (MJ)	8.539611

ตารางที่ ๓.6 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 25 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	989.3249	4.181398	46.98889	29.0	17.98134	1115.767
2	0.015	991.0708	4.180171	42.92667	29.0	13.91912	864.9712
3	0.015	992.286	4.179013	40.03333	29.0	11.02578	685.8219
4	0.015	992.7776	4.178735	38.67333	29.0	9.665783	601.4854
5	0.015	993.2152	4.178492	37.45778	29.0	8.450228	526.0446
6	0.015	993.592	4.178282	36.41111	29.0	7.403561	461.0391
7	0.015	993.9152	4.178103	35.51333	29.0	6.505783	405.2465
8	0.015	994.169	4.178043	34.78444	29.0	5.776894	359.9306
9	0.015	994.388	4.17818	34.1	29.0	5.09245	317.3665
10	0.015	994.57	4.178294	33.53111	29.0	4.523561	281.9721
11	0.015	994.7372	4.178398	33.00889	29.0	4.001339	249.468
12	0.015	994.8844	4.17849	32.54889	29.0	3.541339	220.8263
13	0.015	995.0159	4.178572	32.13778	29.0	3.130228	195.2204
14	0.015	995.1311	4.178644	31.77778	29.0	2.770228	172.7915
15	0.015	995.2349	4.178709	31.45333	29.0	2.445783	152.5728
16	0.015	995.3132	4.178758	31.20889	29.0	2.201339	137.3362
17	0.015	995.3999	4.178812	30.93778	29.0	1.930228	120.4343
18	0.015	995.466	4.178854	30.73111	29.0	1.723561	107.5478
19	0.015	995.5187	4.178887	30.56667	29.0	1.559117	97.29262
20	0.015	995.5727	4.17892	30.39778	29.0	1.390228	86.75896
21	0.015	995.6168	4.178948	30.26	29.0	1.25245	78.16473
22	0.015	995.6559	4.178972	30.13778	29.0	1.130228	70.54009
23	0.015	995.6815	4.178988	30.05778	29.0	1.050228	65.54905
24	0.015	995.7106	4.179015	29.96222	29.0	0.954672	59.58715
25	0.015	995.7417	4.17906	29.85111	29.0	0.843561	52.65421
26	0.015	995.756	4.17908	29.8	29.0	0.79245	49.46486
27	0.015	995.7821	4.179117	29.70667	29.0	0.699117	43.64051
28	0.015	995.7921	4.179132	29.67111	29.0	0.663561	41.42161
29	0.015	995.8108	4.179158	29.6	29.0	0.596894	37.261
30	0.015	995.812	4.17916	29.6	29.0	0.59245	36.98361
				η	0.234465	ΣQ (kJ)	7695.161
				η (%)	23.44654	ΣQ (MJ)	7.695161

ตารางที่ ๗.7 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 20 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.9653	4.182017	50.08667	30.1	20.00255	1239.665
2	0.015	989.8588	4.181155	45.77556	30.1	15.69144	974.1451
3	0.015	991.3396	4.179915	42.28667	30.1	12.20255	758.4586
4	0.015	992.2216	4.179075	40.18667	30.1	10.10255	628.3639
5	0.015	992.7232	4.178765	38.82444	30.1	8.740332	543.8702
6	0.015	993.0696	4.178572	37.86222	30.1	7.778109	484.1422
7	0.015	993.3952	4.178392	36.95778	30.1	6.873665	427.9675
8	0.015	993.7168	4.178213	36.06444	30.1	5.980332	372.4515
9	0.015	993.9072	4.178107	35.53556	30.1	5.451443	339.5691
10	0.015	994.1384	4.178024	34.88	30.1	4.795887	298.7982
11	0.015	994.3062	4.178129	34.35556	30.1	4.271443	266.1754
12	0.015	994.4356	4.17821	33.95111	30.1	3.866998	241.0084
13	0.015	994.5715	4.178295	33.52667	30.1	3.442554	214.5888
14	0.015	994.676	4.17836	33.2	30.1	3.115887	194.2498
15	0.015	994.7706	4.178419	32.90444	30.1	2.820332	175.8435
16	0.015	994.8516	4.17847	32.65111	30.1	2.566998	160.0635
17	0.015	994.9071	4.178504	32.47778	30.1	2.393665	149.265
18	0.015	994.9761	4.178548	32.26222	30.1	2.178109	135.8341
19	0.015	995.0387	4.178587	32.06667	30.1	1.982554	123.6476
20	0.015	995.0877	4.178617	31.91333	30.1	1.82922	114.091
21	0.015	995.1247	4.17864	31.79778	30.1	1.713665	106.8882
22	0.015	995.1674	4.178667	31.66444	30.1	1.580332	98.5765
23	0.015	995.2079	4.178692	31.53778	30.1	1.453665	90.67964
24	0.015	995.2207	4.1787	31.49778	30.1	1.413665	88.18575
25	0.015	995.2499	4.178719	31.40667	30.1	1.322554	82.50493
26	0.015	995.2712	4.178732	31.34	30.1	1.255887	78.34799
27	0.015	995.2868	4.178742	31.29111	30.1	1.206998	75.29943
28	0.015	995.3053	4.178753	31.23333	30.1	1.14922	71.69646
29	0.015	995.3466	4.178779	31.1	30.1	1.020332	63.65849
30	0.015	995.3465	4.178779	31.1	30.1	1.020649	63.67829
				η	0.229733	ΣQ (kJ)	8661.714
				η (%)	22.97333	ΣQ (MJ)	8.661714

ตารางที่ ๘.8 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 21 ธันวาคม 2555 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.1707	4.182415	52.07333	29.0	23.07141	1428.844
2	0.015	989.0413	4.181527	47.63333	29.0	18.63141	1155.81
3	0.015	990.8328	4.180397	43.49333	29.0	14.49141	900.3675
4	0.015	992.006	4.17928	40.7	29.0	11.69808	727.4807
5	0.015	992.7152	4.178769	38.84667	29.0	9.844742	612.5883
6	0.015	993.1496	4.178528	37.64	29.0	8.638075	537.7077
7	0.015	993.5152	4.178325	36.62444	29.0	7.62252	474.6424
8	0.015	993.844	4.178142	35.71111	29.0	6.709187	417.8906
9	0.015	994.1192	4.178012	34.94	29.0	5.938075	369.9518
10	0.015	994.334	4.178146	34.26889	29.0	5.266964	328.2219
11	0.015	994.4961	4.178248	33.76222	29.0	4.760298	296.7035
12	0.015	994.6525	4.178345	33.27333	29.0	4.271409	266.2797
13	0.015	994.7997	4.178437	32.81333	29.0	3.811409	237.6437
14	0.015	994.9228	4.178514	32.42889	29.0	3.426964	213.7037
15	0.015	995.0401	4.178588	32.06222	29.0	3.060298	190.8644
16	0.015	995.129	4.178643	31.78444	29.0	2.78252	173.5578
17	0.015	995.2186	4.178699	31.50444	29.0	2.50252	156.1092
18	0.015	995.2925	4.178745	31.27333	29.0	2.271409	141.7044
19	0.015	995.3729	4.178796	31.02222	29.0	2.020298	126.0502
20	0.015	995.4298	4.178831	30.84444	29.0	1.84252	114.9659
21	0.015	995.4916	4.17887	30.65111	29.0	1.649187	102.91
22	0.015	995.5265	4.178892	30.54222	29.0	1.540298	96.11913
23	0.015	995.5663	4.178916	30.41778	29.0	1.415853	88.35749
24	0.015	995.6026	4.178939	30.30444	29.0	1.30252	81.28824
25	0.015	995.6431	4.178964	30.17778	29.0	1.175853	73.3866
26	0.015	995.6723	4.178983	30.08667	29.0	1.084742	67.70251
27	0.015	995.6922	4.178995	30.02444	29.0	1.02252	63.82047
28	0.015	995.7	4.179	30	29.0	0.998075	62.29534
29	0.015	995.7373	4.179053	29.9	29.0	0.864742	53.97599
30	0.015	995.7537	4.179077	29.8	29.0	0.806409	50.33601
				η	0.240108	ΣQ (kJ)	9611.278
				η (%)	24.01076	ΣQ (MJ)	9.611278

ตารางที่ ๙.9 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 18 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	986.7324	4.182634	53.16889	28.1	25.02322	1549.115
2	0.015	988.4165	4.181811	49.05333	28.1	20.90766	1296.287
3	0.015	990.7385	4.180487	43.71778	28.1	15.57211	967.4413
4	0.015	991.9257	4.179356	40.89111	28.1	12.74544	792.5647
5	0.015	992.6376	4.178812	39.06222	28.1	10.91655	679.2355
6	0.015	993.1264	4.178541	37.70444	28.1	9.558775	595.0078
7	0.015	993.5232	4.17832	36.60222	28.1	8.456552	526.58
8	0.015	993.8824	4.178121	35.60444	28.1	7.458775	464.5952
9	0.015	994.196	4.17806	34.7	28.1	6.55433	408.3817
10	0.015	994.425	4.178203	33.98444	28.1	5.838775	363.8937
11	0.015	994.6632	4.178352	33.24	28.1	5.09433	317.5846
12	0.015	994.8452	4.178466	32.67111	28.1	4.525441	282.1789
13	0.015	995.0145	4.178572	32.14222	28.1	3.996552	249.2493
14	0.015	995.1482	4.178655	31.72444	28.1	3.578775	223.2286
15	0.015	995.2563	4.178723	31.38667	28.1	3.240997	202.1847
16	0.015	995.3665	4.178792	31.04222	28.1	2.896552	180.7201
17	0.015	995.4788	4.178862	30.69111	28.1	2.545441	158.8343
18	0.015	995.5507	4.178907	30.46667	28.1	2.320997	144.8411
19	0.015	995.6118	4.178945	30.27556	28.1	2.129886	132.9243
20	0.015	995.6908	4.178994	30.02889	28.1	1.883219	117.5407
21	0.015	995.7442	4.179063	29.84222	28.1	1.696552	105.8974
22	0.015	995.7765	4.179109	29.72667	28.1	1.580997	98.6888
23	0.015	995.8027	4.179147	29.63333	28.1	1.487663	92.86602
24	0.015	995.8269	4.179181	29.54667	28.1	1.400997	87.45879
25	0.015	995.8593	4.179228	29.43111	28.1	1.285441	80.2486
26	0.015	995.8692	4.179242	29.39556	28.1	1.249886	78.02996
27	0.015	995.8954	4.179279	29.30222	28.1	1.156552	72.20573
28	0.015	995.9091	4.179299	29.25333	28.1	1.107663	69.15478
29	0.015	995.9427	4.179347	29.1	28.1	0.987663	61.6656
30	0.015	995.952	4.17936	29.1	28.1	0.95433	59.58516
				η	0.231492	ΣQ (kJ)	10458.19
				η (%)	23.14916	ΣQ (MJ)	10.45819

ตารางที่ ฉ.10 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 19 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.568	4.182216	51.08	28.7	22.42523	1389.318
2	0.015	989.1284	4.181487	47.43556	28.7	18.78078	1165.167
3	0.015	991.3844	4.179872	42.18	28.7	13.52523	840.6996
4	0.015	992.5072	4.178885	39.42444	28.7	10.76967	670.02
5	0.015	992.9888	4.178617	38.08667	28.7	9.431892	587.0391
6	0.015	993.392	4.178393	36.96667	28.7	8.311892	517.5129
7	0.015	993.704	4.17822	36.1	28.7	7.445226	463.679
8	0.015	994.0296	4.178039	35.19556	28.7	6.540781	407.4672
9	0.015	994.2465	4.178092	34.54222	28.7	5.887448	366.8516
10	0.015	994.4506	4.178219	33.90444	28.7	5.24967	327.1882
11	0.015	994.6454	4.178341	33.29556	28.7	4.640781	289.3041
12	0.015	994.8118	4.178445	32.77556	28.7	4.120781	256.9369
13	0.015	994.9583	4.178536	32.31778	28.7	3.663004	228.4324
14	0.015	995.065	4.178603	31.98444	28.7	3.32967	207.6706
15	0.015	995.1788	4.178674	31.62889	28.7	2.974115	185.5191
16	0.015	995.274	4.178734	31.33111	28.7	2.676337	166.9627
17	0.015	995.3402	4.178775	31.12444	28.7	2.46967	154.0816
18	0.015	995.4298	4.178831	30.84444	28.7	2.18967	136.6266
19	0.015	995.4973	4.178873	30.63333	28.7	1.978559	123.4638
20	0.015	995.5535	4.178908	30.45778	28.7	1.803004	112.5163
21	0.015	995.6054	4.178941	30.29556	28.7	1.640781	102.3989
22	0.015	995.6516	4.17897	30.15111	28.7	1.496337	93.38933
23	0.015	995.7019	4.179003	29.99333	28.7	1.338559	83.54698
24	0.015	995.7473	4.179068	29.83111	28.7	1.176337	73.42627
25	0.015	995.7852	4.179122	29.69556	28.7	1.040781	64.96829
26	0.015	995.812	4.17916	29.6	28.7	0.945226	59.00559
27	0.015	995.8437	4.179205	29.48667	28.7	0.831892	51.93299
28	0.015	995.868	4.17924	29.4	28.7	0.745226	46.52412
29	0.015	995.8705	4.179244	29.4	28.7	0.736337	45.96935
30	0.015	995.8917	4.179274	29.3	28.7	0.660443	41.2325
				η	0.224649	ΣQ (kJ)	9258.851
				η (%)	22.46495	ΣQ (MJ)	9.258851

ตารางที่ ๑.11 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 20 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.4044	4.182298	51.48889	28.7	22.75454	1409.514
2	0.015	989.2467	4.181433	47.16667	28.7	18.43232	1143.671
3	0.015	991.3863	4.17987	42.17556	28.7	13.44121	835.4786
4	0.015	992.2207	4.179076	40.18889	28.7	11.45454	712.4552
5	0.015	992.768	4.17874	38.7	28.7	9.965655	620.1407
6	0.015	993.2072	4.178496	37.48	28.7	8.745655	544.4318
7	0.015	993.5936	4.178281	36.40667	28.7	7.672322	477.7762
8	0.015	993.8816	4.178121	35.60667	28.7	6.872322	428.0657
9	0.015	994.2209	4.178076	34.62222	28.7	5.887877	366.8675
10	0.015	994.4292	4.178206	33.97111	28.7	5.236766	326.376
11	0.015	994.5999	4.178312	33.43778	28.7	4.703433	293.1943
12	0.015	994.7869	4.178429	32.85333	28.7	4.118988	256.8177
13	0.015	994.9356	4.178522	32.38889	28.7	3.654544	227.8988
14	0.015	995.0572	4.178598	32.00889	28.7	3.274544	204.2306
15	0.015	995.1745	4.178672	31.64222	28.7	2.907877	181.3864
16	0.015	995.2577	4.178724	31.38222	28.7	2.647877	165.1841
17	0.015	995.3558	4.178785	31.07556	28.7	2.341211	146.0697
18	0.015	995.422	4.178826	30.86889	28.7	2.134544	133.1858
19	0.015	995.4916	4.17887	30.65111	28.7	1.916766	119.6071
20	0.015	995.5492	4.178906	30.47111	28.7	1.736766	108.3822
21	0.015	995.6054	4.178941	30.29556	28.7	1.561211	97.43304
22	0.015	995.6474	4.178967	30.16444	28.7	1.4301	89.25489
23	0.015	995.6808	4.178988	30.06	28.7	1.325655	82.73953
24	0.015	995.7187	4.179027	29.93333	28.7	1.198988	74.83729
25	0.015	995.7454	4.179065	29.83778	28.7	1.103433	68.87547
26	0.015	995.7709	4.179101	29.74667	28.7	1.012322	63.19055
27	0.015	995.7946	4.179135	29.66222	28.7	0.927877	57.92126
28	0.015	995.812	4.17916	29.6	28.7	0.865655	54.0384
29	0.015	995.822	4.179174	29.6	28.7	0.8301	51.81954
30	0.015	995.8394	4.179199	29.5	28.7	0.767829	47.93339
				η	0.23875	ΣQ (kJ)	9388.777
				η (%)	23.87504	ΣQ (MJ)	9.388777

ตารางที่ ๑.12 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 21 มกราคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่ไม่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	987.8196	4.18209	50.45111	28.7	21.74415	1347.426
2	0.015	990.0572	4.181065	45.32444	28.7	16.61749	1031.82
3	0.015	991.5291	4.179734	41.83556	28.7	13.1286	816.1382
4	0.015	992.448	4.178918	39.58889	28.7	10.88193	676.9691
5	0.015	992.9648	4.178631	38.15333	28.7	9.446376	587.9282
6	0.015	993.388	4.178396	36.97778	28.7	8.27082	514.9538
7	0.015	993.752	4.178193	35.96667	28.7	7.259709	452.1442
8	0.015	994.0696	4.178017	35.08444	28.7	6.377487	397.3084
9	0.015	994.2877	4.178117	34.41333	28.7	5.706376	355.5857
10	0.015	994.4876	4.178242	33.78889	28.7	5.081931	316.7474
11	0.015	994.6895	4.178368	33.15778	28.7	4.45082	277.4761
12	0.015	994.8388	4.178462	32.69111	28.7	3.984153	248.4257
13	0.015	994.9917	4.178557	32.21333	28.7	3.506376	218.6732
14	0.015	995.1041	4.178628	31.86222	28.7	3.155264	196.8019
15	0.015	995.2172	4.178698	31.50889	28.7	2.801931	174.7864
16	0.015	995.3132	4.178758	31.20889	28.7	2.501931	156.0895
17	0.015	995.4077	4.178817	30.91333	28.7	2.206376	137.6655
18	0.015	995.4732	4.178858	30.70889	28.7	2.001931	124.9187
19	0.015	995.5329	4.178896	30.52222	28.7	1.815264	113.2787
20	0.015	995.5876	4.17893	30.35111	28.7	1.644153	102.6073
21	0.015	995.6403	4.178963	30.18667	28.7	1.479709	92.35034
22	0.015	995.6858	4.178991	30.04444	28.7	1.337487	83.47847
23	0.015	995.7218	4.179031	29.92222	28.7	1.215264	75.8535
24	0.015	995.7554	4.179079	29.80222	28.7	1.095264	68.36652
25	0.015	995.7815	4.179116	29.70889	28.7	1.001931	62.54285
26	0.015	995.8101	4.179157	29.60667	28.7	0.899709	56.16406
27	0.015	995.8176	4.179168	29.58	28.7	0.873042	54.49995
28	0.015	995.84	4.1792	29.5	28.7	0.793042	49.50742
29	0.015	995.8556	4.179222	29.4	28.7	0.737487	46.0402
30	0.015	995.868	4.17924	29.4	28.7	0.693042	43.26633
				η	0.257941	ΣQ (kJ)	8879.813
				η (%)	25.79409	ΣQ (MJ)	8.879813

ตารางที่ ๑๓.13 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 19 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	978.9893	4.189516	67.52667	30.6	36.96382	2274.102
2	0.015	979.0249	4.189463	67.43778	30.6	36.87494	2268.687
3	0.015	979.7307	4.188404	65.67333	30.6	35.11049	2161.143
4	0.015	983.956	4.184363	58.40667	30.6	27.84382	1719.591
5	0.015	987.2649	4.182368	51.83778	30.6	21.27494	1317.697
6	0.015	988.9748	4.181557	47.78444	30.6	17.2216	1068.287
7	0.015	990.2429	4.180959	44.89778	30.6	14.33494	890.235
8	0.015	991.2901	4.179962	42.40444	30.6	11.8416	735.9949
9	0.015	991.9295	4.179353	40.88222	30.6	10.31938	641.7039
10	0.015	992.3448	4.178975	39.87556	30.6	9.312713	579.2951
11	0.015	992.6648	4.178797	38.98667	30.6	8.423824	524.1487
12	0.015	992.8656	4.178686	38.42889	30.6	7.866047	489.5285
13	0.015	993.092	4.17856	37.8	30.6	7.237158	450.4799
14	0.015	993.2816	4.178455	37.27333	30.6	6.710491	417.7665
15	0.015	993.4296	4.178372	36.86222	30.6	6.29938	392.2232
16	0.015	993.612	4.178271	36.35556	30.6	5.792713	360.7337
17	0.015	993.7808	4.178177	35.88667	30.6	5.323824	331.5831
18	0.015	993.9552	4.17808	35.40222	30.6	4.83938	301.4565
19	0.015	994.0752	4.178014	35.06889	30.6	4.506047	280.7217
20	0.015	994.191	4.178057	34.71556	30.6	4.152713	258.7423
21	0.015	994.2941	4.178121	34.39333	30.6	3.830491	238.6941
22	0.015	994.3923	4.178183	34.08667	30.6	3.523824	219.6093
23	0.015	994.4648	4.178228	33.86	30.6	3.297158	205.5003
24	0.015	994.5523	4.178283	33.58667	30.6	3.023824	188.4835
25	0.015	994.6163	4.178323	33.38667	30.6	2.823824	176.0299
26	0.015	994.6945	4.178372	33.14222	30.6	2.57938	160.8064
27	0.015	994.7364	4.178398	33.01111	30.6	2.448269	152.6399
28	0.015	994.8026	4.178439	32.80444	30.6	2.241602	139.7658
29	0.015	994.8559	4.178472	32.6	30.6	2.074935	129.3819
30	0.015	994.9049	4.178503	32.5	30.6	1.92194	119.8487
				η	0.432003	ΣQ (kJ)	19194.88
				η (%)	43.20032	ΣQ (MJ)	19.19488

ตารางที่ ๑๑.14 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 20 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	980.9733	4.187027	63.37778	30.6	32.75424	2018.003
2	0.015	981.124	4.186876	63.12667	30.6	32.50313	2002.767
3	0.015	982.928	4.185072	60.12	30.6	29.49646	1820.061
4	0.015	986.3076	4.182846	54.23111	30.6	23.60757	1460.921
5	0.015	988.4028	4.181817	49.08444	30.6	18.46091	1144.572
6	0.015	990.1863	4.181006	45.03111	30.6	14.40757	894.7049
7	0.015	990.9551	4.180281	43.20222	30.6	12.57868	781.6024
8	0.015	991.824	4.179453	41.13333	30.6	10.5098	653.491
9	0.015	992.3048	4.178997	39.98667	30.6	9.363129	582.4108
10	0.015	992.6888	4.178784	38.92	30.6	8.296462	516.2347
11	0.015	992.8984	4.178668	38.33778	30.6	7.71424	480.0948
12	0.015	993.1232	4.178543	37.71333	30.6	7.089795	441.3193
13	0.015	993.308	4.17844	37.2	30.6	6.576462	409.4319
14	0.015	993.4992	4.178334	36.66889	30.6	6.045351	376.4293
15	0.015	993.672	4.178238	36.18889	30.6	5.565351	346.5932
16	0.015	993.8536	4.178137	35.68444	30.6	5.060906	315.2279
17	0.015	993.9728	4.178071	35.35333	30.6	4.729795	294.6347
18	0.015	994.1206	4.178013	34.93556	30.6	4.312017	268.6462
19	0.015	994.2415	4.178088	34.55778	30.6	3.93424	245.1442
20	0.015	994.3532	4.178158	34.20889	30.6	3.585351	223.4336
21	0.015	994.4349	4.178209	33.95333	30.6	3.329795	207.5274
22	0.015	994.5331	4.178271	33.64667	30.6	3.023129	188.4359
23	0.015	994.6141	4.178321	33.39333	30.6	2.769795	172.6614
24	0.015	994.6803	4.178363	33.18667	30.6	2.563129	159.7906
25	0.015	994.7521	4.178408	32.96222	30.6	2.338684	145.8104
26	0.015	994.8004	4.178438	32.81111	30.6	2.187573	136.3967
27	0.015	994.8488	4.178468	32.66	30.6	2.036462	126.9819
28	0.015	994.9	4.1785	32.5	30.6	1.876462	117.0121
29	0.015	994.9405	4.178525	32.4	30.6	1.749795	109.1186
30	0.015	994.9772	4.178548	32.3	30.6	1.635158	101.974
				η	0.41228	ΣQ (kJ)	16741.43
				η (%)	41.228	ΣQ (MJ)	16.74143

ตารางที่ ๑๕.15 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 21 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	981.6173	4.186383	62.30444	30.8	31.55352	1945.003
2	0.015	984.4747	4.184017	57.54222	30.8	26.7913	1655.324
3	0.015	986.5813	4.182709	53.54667	30.8	22.79574	1411.028
4	0.015	987.6204	4.18219	50.94889	30.8	20.19796	1251.39
5	0.015	989.1059	4.181497	47.48667	30.8	16.73574	1038.271
6	0.015	990.4847	4.180729	44.32222	30.8	13.5713	842.9705
7	0.015	991.2015	4.180046	42.61556	30.8	11.86463	737.3751
8	0.015	991.5599	4.179705	41.76222	30.8	11.0113	684.5329
9	0.015	991.8669	4.179412	41.03111	30.8	10.28019	639.2355
10	0.015	992.2487	4.179049	40.12222	30.8	9.371297	582.8931
11	0.015	992.532	4.178871	39.35556	30.8	8.60463	535.3366
12	0.015	992.8152	4.178714	38.56889	30.8	7.817964	486.5147
13	0.015	993.0872	4.178563	37.81333	30.8	7.062408	439.6007
14	0.015	993.2976	4.178446	37.22889	30.8	6.477964	403.296
15	0.015	993.5496	4.178306	36.52889	30.8	5.777964	359.7956
16	0.015	993.7608	4.178188	35.94222	30.8	5.191297	323.3233
17	0.015	993.9136	4.178104	35.51778	30.8	4.766853	296.9278
18	0.015	994.0624	4.178021	35.10444	30.8	4.353519	271.2164
19	0.015	994.1889	4.178056	34.72222	30.8	3.971297	247.4382
20	0.015	994.2934	4.178121	34.39556	30.8	3.64463	227.1121
21	0.015	994.3965	4.178185	34.07333	30.8	3.322408	207.0578
22	0.015	994.4797	4.178237	33.81333	30.8	3.062408	190.8725
23	0.015	994.5651	4.178291	33.54667	30.8	2.795741	174.269
24	0.015	994.6497	4.178344	33.28222	30.8	2.531297	157.8006
25	0.015	994.7236	4.17839	33.05111	30.8	2.300186	143.4054
26	0.015	994.7748	4.178422	32.89111	30.8	2.140186	133.4381
27	0.015	994.8239	4.178452	32.73778	30.8	1.986853	123.885
28	0.015	994.8836	4.17849	32.55111	30.8	1.800186	112.2536
29	0.015	994.9405	4.178525	32.4	30.8	1.622408	101.1746
30	0.015	994.9807	4.17855	32.2	30.8	1.496901	93.35221
				η	0.402781	ΣQ (kJ)	15816.09
				η (%)	40.27807	ΣQ (MJ)	15.81609

ตารางที่ ฉ.16 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 22 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	978.5138	4.190229	68.71556	30.5	38.21008	2350.033
2	0.015	978.5884	4.190117	68.52889	30.5	38.02341	2338.668
3	0.015	979.32	4.18902	66.7	30.5	36.19452	2227.261
4	0.015	983.8533	4.184431	58.57778	30.5	28.0723	1733.549
5	0.015	986.8151	4.182592	52.96222	30.5	22.45674	1390.335
6	0.015	988.5759	4.181738	48.69111	30.5	18.18563	1127.682
7	0.015	989.9438	4.181116	45.58222	30.5	15.07674	936.0556
8	0.015	991.0783	4.180164	42.90889	30.5	12.40341	770.7857
9	0.015	991.6681	4.179602	41.50444	30.5	10.99897	683.8241
10	0.015	992.1759	4.179118	40.29556	30.5	9.790078	608.9067
11	0.015	992.4784	4.178901	39.50444	30.5	8.998967	559.844
12	0.015	992.7064	4.178774	38.87111	30.5	8.365634	520.5469
13	0.015	992.9272	4.178652	38.25778	30.5	7.7523	482.4757
14	0.015	993.18	4.178511	37.55556	30.5	7.050078	438.8688
15	0.015	993.3992	4.178389	36.94667	30.5	6.441189	401.0422
16	0.015	993.5856	4.178286	36.42889	30.5	5.923411	368.8643
17	0.015	993.768	4.178184	35.92222	30.5	5.416745	337.3667
18	0.015	993.9344	4.178092	35.46	30.5	4.954523	308.6234
19	0.015	994.0904	4.178005	35.02667	30.5	4.521189	281.6688
20	0.015	994.2102	4.178069	34.65556	30.5	4.150078	258.5838
21	0.015	994.3297	4.178144	34.28222	30.5	3.776745	235.3546
22	0.015	994.4243	4.178203	33.98667	30.5	3.481189	216.9602
23	0.015	994.5053	4.178253	33.73333	30.5	3.227856	201.1904
24	0.015	994.5885	4.178305	33.47333	30.5	2.967856	185.0025
25	0.015	994.6596	4.17835	33.25111	30.5	2.745634	171.1643
26	0.015	994.735	4.178397	33.01556	30.5	2.510078	156.4932
27	0.015	994.7912	4.178432	32.84	30.5	2.334523	145.5575
28	0.015	994.8474	4.178467	32.66444	30.5	2.158967	134.6203
29	0.015	994.9007	4.1785	32.5	30.5	1.9923	124.2357
30	0.015	994.9466	4.178529	32.4	30.5	1.84887	115.2978
				η	0.431519	ΣQ (kJ)	19810.86
				η (%)	43.15191	ΣQ (MJ)	19.81086

ตารางที่ ฉ.17 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 23 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	977.9	4.1911	70.16667	30.9	39.27918	2414.772
2	0.015	978.0871	4.190869	69.78222	30.9	38.89473	2391.463
3	0.015	978.6364	4.190045	68.40889	30.9	37.5214	2307.865
4	0.015	981.756	4.186244	62.07333	30.9	31.18584	1922.546
5	0.015	985.6173	4.183255	55.63778	30.9	24.75029	1530.714
6	0.015	987.7831	4.182108	50.54222	30.9	19.65473	1217.91
7	0.015	989.2907	4.181413	47.06667	30.9	16.17918	1003.91
8	0.015	990.2476	4.180955	44.88667	30.9	13.99918	869.3867
9	0.015	991.1501	4.180095	42.73778	30.9	11.85029	736.4542
10	0.015	991.6905	4.17958	41.45111	30.9	10.56362	656.7694
11	0.015	992.1544	4.179139	40.34667	30.9	9.459176	588.3159
12	0.015	992.4896	4.178895	39.47333	30.9	8.585843	534.148
13	0.015	992.7232	4.178765	38.82444	30.9	7.936954	493.8797
14	0.015	992.892	4.178671	38.35556	30.9	7.468065	464.7716
15	0.015	993.1432	4.178532	37.65778	30.9	6.770287	421.4382
16	0.015	993.264	4.178464	37.32222	30.9	6.434731	400.5928
17	0.015	993.3944	4.178392	36.96	30.9	6.072509	378.0858
18	0.015	993.5616	4.178299	36.49556	30.9	5.608065	349.2196
19	0.015	993.7072	4.178218	36.09111	30.9	5.20362	324.0757
20	0.015	993.836	4.178147	35.73333	30.9	4.845843	301.8276
21	0.015	993.9752	4.178069	35.34667	30.9	4.459176	277.7775
22	0.015	994.0888	4.178006	35.03111	30.9	4.14362	258.146
23	0.015	994.196	4.17806	34.7	30.9	3.812509	237.5466
24	0.015	994.2877	4.178117	34.41333	30.9	3.525843	219.7085
25	0.015	994.3475	4.178155	34.22667	30.9	3.339176	208.091
26	0.015	994.4435	4.178215	33.92667	30.9	3.039176	189.4166
27	0.015	994.5174	4.178261	33.69556	30.9	2.808065	175.0275
28	0.015	994.5779	4.178299	33.50667	30.9	2.619176	163.2654
29	0.015	994.6362	4.178335	33.3	30.9	2.436954	151.9169
30	0.015	994.6843	4.178365	33.2	30.9	2.286422	142.5409
				η	0.430814	ΣQ (kJ)	21331.58
				η (%)	43.08139	ΣQ (MJ)	21.33158

ตารางที่ จ.18 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 24 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-750D ที่มี
กระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	979.1173	4.189324	67.20667	31.0	36.17854	2225.979
2	0.015	979.2347	4.189148	66.91333	31.0	35.88521	2208.102
3	0.015	980.3173	4.187683	64.47111	31.0	33.44298	2059.381
4	0.015	984.0987	4.184268	58.16889	31.0	27.14076	1676.376
5	0.015	986.9787	4.182511	52.55333	31.0	21.52521	1332.857
6	0.015	988.5661	4.181743	48.71333	31.0	17.68521	1096.641
7	0.015	989.9683	4.181105	45.52667	31.0	14.49854	900.177
8	0.015	990.942	4.180293	43.23333	31.0	12.20521	758.3879
9	0.015	991.5823	4.179684	41.70889	31.0	10.68076	663.9963
10	0.015	992.0219	4.179265	40.66222	31.0	9.634095	599.1331
11	0.015	992.4448	4.17892	39.59778	31.0	8.56965	533.1197
12	0.015	992.6816	4.178788	38.94	31.0	7.911873	492.3012
13	0.015	992.9336	4.178648	38.24	31.0	7.211873	448.8439
14	0.015	993.0144	4.178603	38.01556	31.0	6.987428	434.9059
15	0.015	993.224	4.178487	37.43333	31.0	6.405206	398.7407
16	0.015	993.364	4.178409	37.04444	31.0	6.016317	374.5772
17	0.015	993.5176	4.178324	36.61778	31.0	5.58965	348.0595
18	0.015	993.6664	4.178241	36.20444	31.0	5.176317	322.3638
19	0.015	993.8328	4.178148	35.74222	31.0	4.714095	293.6208
20	0.015	993.9336	4.178092	35.46222	31.0	4.434095	276.2051
21	0.015	994.0696	4.178017	35.08444	31.0	4.056317	252.7029
22	0.015	994.1398	4.178025	34.87556	31.0	3.847428	239.7068
23	0.015	994.238	4.178086	34.56889	31.0	3.540762	220.6255
24	0.015	994.3155	4.178135	34.32667	31.0	3.298539	205.551
25	0.015	994.3859	4.178179	34.10667	31.0	3.078539	191.8571
26	0.015	994.4492	4.178218	33.90889	31.0	2.880762	179.5446
27	0.015	994.5188	4.178262	33.69111	31.0	2.662984	165.9848
28	0.015	994.5679	4.178292	33.53778	31.0	2.50965	156.4364
29	0.015	994.6241	4.178328	33.4	31.0	2.334095	145.5028
30	0.015	994.6788	4.178362	33.2	31.0	2.163177	134.8566
				η	0.42955	ΣQ (kJ)	19336.54
				η (%)	42.95503	ΣQ (MJ)	19.33654

ตารางที่ ฉ.19 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 6 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจก
ปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	980.064	4.187936	64.89333	29.1	35.75566	2201.357
2	0.015	980.4053	4.187595	64.32444	29.1	35.18677	2166.91
3	0.015	982.8693	4.185131	60.21778	29.1	31.0801	1917.69
4	0.015	986.9013	4.182549	52.74667	29.1	23.60899	1461.785
5	0.015	989.1733	4.181467	47.33333	29.1	18.19566	1128.912
6	0.015	990.5612	4.180656	44.14	29.1	15.00232	931.9134
7	0.015	991.5729	4.179692	41.73111	29.1	12.59344	782.8967
8	0.015	992.1936	4.179101	40.25333	29.1	11.11566	691.3624
9	0.015	992.6936	4.178781	38.90667	29.1	9.768991	607.8632
10	0.015	993.0104	4.178605	38.02667	29.1	8.888991	553.2595
11	0.015	993.3744	4.178403	37.01556	29.1	7.87788	490.4829
12	0.015	993.5936	4.178281	36.40667	29.1	7.268991	452.6597
13	0.015	993.8344	4.178148	35.73778	29.1	6.600102	411.0926
14	0.015	994.0768	4.178013	35.06444	29.1	5.926769	369.2317
15	0.015	994.2429	4.178089	34.55333	29.1	5.415658	337.4525
16	0.015	994.3695	4.178168	34.15778	29.1	5.020102	312.851
17	0.015	994.4876	4.178242	33.78889	29.1	4.651213	289.9015
18	0.015	994.654	4.178346	33.26889	29.1	4.131213	257.5404
19	0.015	994.767	4.178417	32.91556	29.1	3.77788	235.5443
20	0.015	994.8595	4.178475	32.62667	29.1	3.488991	217.5558
21	0.015	994.9619	4.178539	32.30667	29.1	3.168991	197.6256
22	0.015	995.0308	4.178582	32.09111	29.1	2.953435	184.1977
23	0.015	995.1055	4.178628	31.85778	29.1	2.720102	169.6599
24	0.015	995.1773	4.178673	31.63333	29.1	2.495658	155.6737
25	0.015	995.2456	4.178716	31.42	29.1	2.282324	142.3776
26	0.015	995.279	4.178737	31.31556	29.1	2.17788	135.8673
27	0.015	995.3338	4.178771	31.14444	29.1	2.006769	125.2005
28	0.015	995.3722	4.178795	31.02444	29.1	1.886769	117.719
29	0.015	995.4049	4.178816	30.9	29.1	1.784546	111.3453
30	0.015	995.4468	4.178842	30.8	29.1	1.653629	103.1818
				η	0.416028	ΣQ (kJ)	17261.11
				η (%)	41.60284	ΣQ (MJ)	17.26111

ตารางที่ จ.20 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 7 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจก
ปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	981.3027	4.186697	62.82889	30.5	32.31409	1991.396
2	0.015	981.68	4.18632	62.2	30.5	31.6852	1953.215
3	0.015	984.5907	4.18394	57.34889	30.5	26.83409	1658.132
4	0.015	987.6098	4.182195	50.97556	30.5	20.46075	1267.659
5	0.015	989.3796	4.181373	46.86444	30.5	16.34964	1014.568
6	0.015	990.6676	4.180555	43.88667	30.5	13.37186	830.7016
7	0.015	991.5524	4.179712	41.78	30.5	11.2652	700.3128
8	0.015	992.1665	4.179127	40.31778	30.5	9.802974	609.7043
9	0.015	992.5432	4.178865	39.32444	30.5	8.809641	548.0967
10	0.015	992.7912	4.178727	38.63556	30.5	8.120752	505.3467
11	0.015	993.0352	4.178592	37.95778	30.5	7.442974	463.268
12	0.015	993.272	4.17846	37.3	30.5	6.785196	422.4138
13	0.015	993.5016	4.178332	36.66222	30.5	6.147418	382.7856
14	0.015	993.7088	4.178217	36.08667	30.5	5.571863	347.0099
15	0.015	993.8808	4.178122	35.60889	30.5	5.094085	317.302
16	0.015	994.0256	4.178041	35.20667	30.5	4.691863	292.2852
17	0.015	994.1647	4.17804	34.79778	30.5	4.282974	266.8503
18	0.015	994.2792	4.178112	34.44	30.5	3.925196	244.5913
19	0.015	994.3951	4.178184	34.07778	30.5	3.562974	222.0499
20	0.015	994.506	4.178254	33.73111	30.5	3.216307	200.4708
21	0.015	994.59	4.178306	33.46889	30.5	2.954085	184.1444
22	0.015	994.6732	4.178358	33.20889	30.5	2.694085	167.9533
23	0.015	994.73	4.178394	33.03111	30.5	2.516307	156.8807
24	0.015	994.7976	4.178436	32.82	30.5	2.305196	143.7301
25	0.015	994.8474	4.178467	32.66444	30.5	2.149641	134.0388
26	0.015	994.9142	4.178509	32.45556	30.5	1.940752	121.0231
27	0.015	994.9583	4.178536	32.31778	30.5	1.802974	112.4371
28	0.015	994.9939	4.178559	32.20667	30.5	1.691863	105.5124
29	0.015	995.023	4.178577	32.1	30.5	1.600752	99.83361
30	0.015	995.0635	4.178602	32.0	30.5	1.474327	91.95318
				η	0.388985	ΣQ (kJ)	15555.67
				η (%)	38.89845	ΣQ (MJ)	15.55567

ตารางที่ จ.21 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 12 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจก
ปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	980.6213	4.187379	63.96444	30.1	33.8563	2085.328
2	0.015	981.0147	4.186985	63.30889	30.1	33.20075	2045.578
3	0.015	984.388	4.184075	57.68667	30.1	27.57852	1703.837
4	0.015	987.5129	4.182244	51.21778	30.1	21.10964	1307.748
5	0.015	989.6397	4.181255	46.27333	30.1	16.16519	1003.358
6	0.015	990.8188	4.180411	43.52667	30.1	13.41852	833.6989
7	0.015	991.7493	4.179524	41.31111	30.1	11.20297	696.5514
8	0.015	992.348	4.178973	39.86667	30.1	9.758525	607.0284
9	0.015	992.6824	4.178788	38.93778	30.1	8.829636	549.4076
10	0.015	992.9616	4.178632	38.16222	30.1	8.05408	501.2724
11	0.015	993.2208	4.178488	37.44222	30.1	7.33408	456.5643
12	0.015	993.4472	4.178363	36.81333	30.1	6.705191	417.497
13	0.015	993.6952	4.178225	36.12444	30.1	6.016302	374.6847
14	0.015	993.9168	4.178102	35.50889	30.1	5.400747	336.414
15	0.015	994.0744	4.178014	35.07111	30.1	4.962969	309.1873
16	0.015	994.2259	4.178079	34.60667	30.1	4.498525	280.3
17	0.015	994.3724	4.17817	34.14889	30.1	4.040747	251.8188
18	0.015	994.5018	4.178251	33.74444	30.1	3.636302	226.6477
19	0.015	994.6092	4.178318	33.40889	30.1	3.300747	205.7583
20	0.015	994.7016	4.178376	33.12	30.1	3.011858	187.7699
21	0.015	994.7713	4.17842	32.90222	30.1	2.79408	174.2069
22	0.015	994.868	4.17848	32.6	30.1	2.491858	155.3811
23	0.015	994.9277	4.178517	32.41333	30.1	2.305191	143.7514
24	0.015	994.9932	4.178558	32.20889	30.1	2.100747	131.0121
25	0.015	995.0337	4.178584	32.08222	30.1	1.97408	123.1184
26	0.015	995.0877	4.178617	31.91333	30.1	1.805191	112.5922
27	0.015	995.1411	4.178651	31.74667	30.1	1.638525	102.2033
28	0.015	995.1788	4.178674	31.62889	30.1	1.520747	94.86102
29	0.015	995.2179	4.178699	31.5	30.1	1.398525	87.24099
30	0.015	995.2513	4.17872	31.4	30.1	1.294032	80.72577
				η	0.351238	ΣQ (kJ)	15585.54
				η (%)	35.12383	ΣQ (MJ)	15.58554

ตารางที่ จ.22 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 13 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจกปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	979.6613	4.188508	65.84667	30.5	35.35518	2176.104
2	0.015	979.7316	4.188403	65.67111	30.5	35.17962	2165.399
3	0.015	980.5587	4.187441	64.06889	30.5	33.5774	2068.048
4	0.015	984.7573	4.183828	57.07111	30.5	26.57962	1642.643
5	0.015	987.328	4.182336	51.68	30.5	21.18851	1312.418
6	0.015	989.2085	4.181451	47.25333	30.5	16.76185	1039.987
7	0.015	990.4595	4.180753	44.38222	30.5	13.89073	862.7951
8	0.015	991.3321	4.179922	42.30444	30.5	11.81296	734.2386
9	0.015	991.9519	4.179332	40.82889	30.5	10.3374	642.8358
10	0.015	992.4128	4.178937	39.68667	30.5	9.195179	572.0179
11	0.015	992.8128	4.178715	38.57556	30.5	8.084068	503.0734
12	0.015	992.9968	4.178613	38.06444	30.5	7.572957	471.3426
13	0.015	993.188	4.178507	37.53333	30.5	7.041846	438.3594
14	0.015	993.3992	4.178389	36.94667	30.5	6.455179	401.9132
15	0.015	993.5744	4.178292	36.46	30.5	5.968512	371.6692
16	0.015	993.72	4.178211	36.05556	30.5	5.564068	346.5278
17	0.015	993.8784	4.178123	35.61556	30.5	5.124068	319.1689
18	0.015	994.044	4.178031	35.15556	30.5	4.664068	290.5584
19	0.015	994.1711	4.178044	34.77778	30.5	4.28629	267.0589
20	0.015	994.2458	4.178091	34.54444	30.5	4.052957	252.5427
21	0.015	994.3524	4.178158	34.21111	30.5	3.719623	231.8011
22	0.015	994.4406	4.178213	33.93556	30.5	3.444068	214.6507
23	0.015	994.5487	4.17828	33.59778	30.5	3.10629	193.623
24	0.015	994.612	4.17832	33.4	30.5	2.908512	181.3082
25	0.015	994.6689	4.178356	33.22222	30.5	2.730734	170.2373
26	0.015	994.7428	4.178402	32.99111	30.5	2.499623	155.8428
27	0.015	994.7955	4.178435	32.82667	30.5	2.335179	145.5991
28	0.015	994.8531	4.178471	32.64667	30.5	2.155179	134.385
29	0.015	994.8993	4.1785	32.5	30.5	2.010734	125.385
30	0.015	994.9417	4.178526	32.4	30.5	1.878077	117.1185
				η	0.415448	ΣQ (kJ)	18548.65
				η (%)	41.5448	ΣQ (MJ)	18.54865

ตารางที่ จ.23 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 14 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจก
ปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	979.1964	4.189205	67.00889	30.5	36.50896	2246.427
2	0.015	979.2916	4.189063	66.77111	30.5	36.27119	2231.937
3	0.015	980.3307	4.187669	64.44889	30.5	33.94896	2090.561
4	0.015	985.0627	4.183625	56.56222	30.5	26.0623	1611.093
5	0.015	988.001	4.182	49.99778	30.5	19.49785	1208.424
6	0.015	989.8333	4.181167	45.83333	30.5	15.33341	951.896
7	0.015	990.8599	4.180372	43.42889	30.5	12.92896	803.308
8	0.015	991.7055	4.179566	41.41556	30.5	10.91563	678.6627
9	0.015	992.0779	4.179212	40.52889	30.5	10.02896	623.7167
10	0.015	992.4744	4.178903	39.51556	30.5	9.01563	560.8787
11	0.015	992.8088	4.178717	38.58667	30.5	8.086741	503.238
12	0.015	993.0864	4.178563	37.81556	30.5	7.31563	455.3622
13	0.015	993.3368	4.178424	37.12	30.5	6.620074	412.1574
14	0.015	993.528	4.178318	36.58889	30.5	6.088963	379.1545
15	0.015	993.7136	4.178215	36.07333	30.5	5.573407	347.1075
16	0.015	993.9168	4.178102	35.50889	30.5	5.008963	312.0097
17	0.015	994.0632	4.17802	35.10222	30.5	4.602296	286.715
18	0.015	994.1967	4.17806	34.69778	30.5	4.197852	261.5564
19	0.015	994.3233	4.17814	34.30222	30.5	3.802296	236.9451
20	0.015	994.4065	4.178192	34.04222	30.5	3.542296	220.7641
21	0.015	994.5196	4.178262	33.68889	30.5	3.188963	198.7695
22	0.015	994.5999	4.178312	33.43778	30.5	2.937852	183.1346
23	0.015	994.6653	4.178353	33.23333	30.5	2.733407	170.4032
24	0.015	994.7514	4.178407	32.96444	30.5	2.464518	153.6557
25	0.015	994.799	4.178437	32.81556	30.5	2.31563	144.3808
26	0.015	994.8588	4.178474	32.62889	30.5	2.128963	132.7512
27	0.015	994.9142	4.178509	32.45556	30.5	1.95563	121.9508
28	0.015	994.9676	4.178542	32.28889	30.5	1.788963	111.5646
29	0.015	995.0003	4.178563	32.2	30.5	1.686741	105.1937
30	0.015	995.0405	4.178588	32.1	30.5	1.560944	97.35287
				η	0.382773	ΣQ (kJ)	17841.07
				η (%)	38.27733	ΣQ (MJ)	17.84107

ตารางที่ จ.24 ข้อมูลจากการทดลองวันที่ 15 มีนาคม 2556 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ CL-825 ที่มีกระจก
ปิด

Time	Δv_i	ρ_w	C_{pw}	$t_{di}(Vi)$	t_{main}	$(t_{di}(Vi)-t_{main})$	Q
1	0.015	980.6013	4.187399	63.99778	30.5	33.47195	2061.622
2	0.015	980.88	4.18712	63.53333	30.5	33.0075	2033.458
3	0.015	983.6227	4.184585	58.96222	30.5	28.43639	1755.685
4	0.015	987.1084	4.182446	52.22889	30.5	21.70306	1344.025
5	0.015	989.055	4.18152	47.60222	30.5	17.07639	1059.356
6	0.015	990.4427	4.180769	44.42222	30.5	13.89639	863.135
7	0.015	991.376	4.17988	42.2	30.5	11.67417	725.6369
8	0.015	991.8903	4.17939	40.97556	30.5	10.44972	649.7893
9	0.015	992.4792	4.1789	39.50222	30.5	8.97639	558.4398
10	0.015	992.6968	4.17878	38.89778	30.5	8.371945	520.9352
11	0.015	992.98	4.178622	38.11111	30.5	7.585278	472.1026
12	0.015	993.172	4.178516	37.57778	30.5	7.051945	438.982
13	0.015	993.3888	4.178395	36.97556	30.5	6.449723	401.5698
14	0.015	993.5984	4.178279	36.39333	30.5	5.867501	365.3867
15	0.015	993.7832	4.178176	35.88	30.5	5.354167	333.4737
16	0.015	993.9568	4.17808	35.39778	30.5	4.871945	303.4854
17	0.015	994.1057	4.178004	34.98222	30.5	4.45639	277.636
18	0.015	994.2294	4.178081	34.59556	30.5	4.069723	253.5827
19	0.015	994.3389	4.178149	34.25333	30.5	3.727501	232.2883
20	0.015	994.4499	4.178219	33.90667	30.5	3.380834	210.7119
21	0.015	994.5551	4.178284	33.57778	30.5	3.051945	190.2369
22	0.015	994.6269	4.178329	33.35333	30.5	2.827501	176.2613
23	0.015	994.7059	4.178379	33.10667	30.5	2.580834	160.8992
24	0.015	994.7748	4.178422	32.89111	30.5	2.365278	147.4723
25	0.015	994.8246	4.178453	32.73556	30.5	2.209723	137.7816
26	0.015	994.8836	4.17849	32.55111	30.5	2.025278	126.2896
27	0.015	994.9427	4.178527	32.36667	30.5	1.840834	114.7961
28	0.015	994.9875	4.178555	32.22667	30.5	1.700834	106.0711
29	0.015	995.0259	4.178579	32.1	30.5	1.580834	98.59173
30	0.015	995.069	4.178606	32.0	30.5	1.445906	90.18121
				η	0.395607	ΣQ (kJ)	16209.88
				η (%)	39.56072	ΣQ (MJ)	16.20988

ภาคผนวก ช

**ข้อมูลประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D และตัวเก็บรังสี
อาทิตย์แบบ CL-825**

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด

Temp	DDMMYY	Local Time	Radiation (G) (J/min.m ²)	T _a (°C)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _p (°C)	T _g (°C)	U _L (W/m ² °C)	F	q' _{fin} (kJ)	Q (kJ)	η (%)
40°C	14/5/2556	10:59:31	847.24	35.5	40.6	47.9	54.3	65.8	8.5461	0.9357	30.7812	61.0	57.6
40°C	14/5/2556	11:16:31	877.16	34.8	40.7	48.0	53.2	65.8	9.0145	0.9577	32.6651	61.04	57.69
40°C	14/5/2556	11:39:31	904.13	34.7	40.6	47.8	51.7	65.9	9.6099	0.9845	35.0085	61.87	56.17
40°C	14/5/2556	11:57:31	903.97	34.6	40.4	47.6	50.9	66.1	9.5384	0.9814	35.3538	58.53	54.86
50°C	14/5/2556	13:15:33	890.52	35.5	49.7	56.2	60.6	75.1	9.7857	0.9922	30.0844	54.37	51.51
50°C	14/5/2556	13:30:33	859.47	35.7	50.3	56.2	54.8	71.7	9.7923	0.9925	31.7958	49.36	48.23
50°C	14/5/2556	13:45:33	823.03	36.3	50.6	56.1	52.9	70.8	9.8149	0.9935	31.3807	46.01	46.97
50°C	14/5/2556	14:00:33	785.11	36.2	50.4	55.6	51.5	69.6	9.4341	0.9767	30.0441	43.50	46.32
60°C	15/5/2556	10:27:26	848.46	33.1	60.5	65.2	57.3	77.2	9.4294	0.9765	28.5204	39.36	38.13
60°C	15/5/2556	10:44:26	759.13	33.5	59.1	64.1	57.7	74.9	8.6013	0.9384	24.3137	41.86	46.87
60°C	15/5/2556	11:30:26	908.14	35.4	59.8	65.3	58.4	78.5	9.3305	0.9721	32.0042	46.05	44.37
60°C	15/5/2556	11:46:26	911.96	35.5	60.6	65.5	58.5	78.1	9.9311	0.9985	32.2707	41.03	37.70
70°C	16/5/2556	12:39:28	948.89	36.8	69.9	75.1	66.6	88.3	10.1939	1.0097	30.2093	43.60	42.50
70°C	16/5/2556	12:54:08	948.89	33.5	70.5	75.4	57.7	74.9	10.1319	1.0070	33.4590	41.09	40.05
70°C	16/5/2556	13:09:28	899.54	37.4	70.3	75.5	62.2	86.7	10.3841	1.0176	30.5931	43.60	39.25
70°C	16/5/2556	13:24:28	901.27	37.6	70.1	74.8	62.4	86.5	9.9406	0.9989	30.7728	39.41	35.61

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด

Temp	DDMMYY	Local Time	Radiation (G) (J/min.m2)	T _a (°C)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _p (°C)	T _g (°C)	U _L (W/m ² °C)	F	q' _{fin} (kJ)	Q (kJ)	η (%)
40°C	14/5/2556	11:07:31	879.76	35.0	40.7	48.6	54.3	65.8	8.5436	0.8539	46.6552	66.06	62.30
40°C	14/5/2556	11:24:31	901.66	34.2	40.7	48.2	53.2	65.8	9.0109	0.8703	48.6113	62.71	59.27
40°C	14/5/2556	11:39:31	904.13	34.8	40.7	48.3	51.7	65.9	9.6101	0.8901	50.4919	66.06	59.97
40°C	14/5/2556	11:59:31	902.84	34.2	40.4	48.6	50.9	66.1	9.5353	0.8877	50.6034	66.89	62.70
50°C	14/5/2556	13:15:33	888.43	35.4	49.6	56.8	60.6	75.1	9.7847	0.8956	43.0566	60.25	57.08
50°C	14/5/2556	13:30:33	856.53	36.1	50.2	57.5	54.8	71.7	9.7960	0.8959	45.9309	61.09	59.70
50°C	14/5/2556	13:45:33	821.81	36.9	50.4	57.3	52.9	70.8	9.8191	0.8967	45.4809	57.75	58.96
50°C	14/5/2556	14:00:33	782.64	35.7	50.3	56.7	51.5	69.6	9.4299	0.8842	42.7674	53.56	57.04
60°C	15/5/2556	10:27:26	848.46	32.8	60.0	65.7	57.3	77.2	9.4272	0.8842	40.9212	47.74	46.26
60°C	15/5/2556	10:43:26	753.16	34.8	59.0	64.9	57.7	74.9	8.6075	0.8562	35.8247	49.42	55.34
60°C	15/5/2556	11:25:26	898.06	35.7	59.8	66.0	58.4	78.5	9.3322	0.8810	45.7583	51.93	50.03
60°C	15/5/2556	11:41:26	856.55	35.4	60.5	65.8	58.5	78.1	9.9307	0.9001	42.4167	44.40	40.79
70°C	16/5/2556	12:41:38	891.38	37.6	69.6	75.2	66.6	88.3	10.2001	0.9084	39.8861	46.95	45.76
70°C	16/5/2556	12:57:38	932.03	37.0	70.3	75.8	57.7	74.9	10.1612	0.9072	49.6757	46.11	41.51
70°C	16/5/2556	13:12:38	917.61	37.5	70.1	75.7	62.2	86.7	10.3851	0.9139	45.2117	46.95	42.43
70°C	16/5/2556	13:27:38	896.26	37.6	69.9	75.2	62.4	86.5	9.9403	0.9004	43.8489	44.44	41.41

ภาคผนวก ข

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

การประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะสำหรับกระบวนการผลิตน้ำร้อน

A Simple of Metal Sheet Solar Collector for Producing Hot Water

ภาสกร ชุ่มทิ*¹, นริส ประทินทอง¹ และศิริชัย เทพา¹
Phatsakron Choomti*¹, Naris Pratinthong¹ and Sirichai Thepha¹

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

¹ Division of Energy Technology, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Thonburi.

126. ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

126. Pracha Uthit Road, Bang mod, Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand.

*ผู้ติดต่อ: phatsakron.big@gmail.com เบอร์โทร: 086-9229128

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์แผ่นโลหะหรือเมทัลชีทเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ต้นทุนต่ำ โดยสร้างจากวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ใช้หลังคาเมทัลชีทเป็นแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และใช้ท่ออะลูมิเนียมเป็นท่อภายในแผงซึ่งอยู่ใต้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เพื่อลำเลียงตัวกลางรับความร้อนและใช้ฉนวนโฟมพอลิยูรีเทนเป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ยังไม่ได้ใส่กรอบกระจก ทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ชนิด ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งรูปร่างและสันลอน โดยใช้ชื่อแทนคือ CL-825 CL-750D และ CL-720 มีพื้นที่ของแผงเท่ากับ 2 m² งานวิจัยนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 มีระบบการไหลเวียนของน้ำร้อนเป็นแบบเทอร์โมไซฟอน ทำการทดลองในสภาวะอากาศที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้พบว่า ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตัวรับรังสีแบบ CL-825 และ CL-750D มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 25.38 % และ 23.8 ตามลำดับ และตัวรับรังสีแบบ CL-720 มีประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 17.38 %.

คำหลัก: แผ่นโลหะ (เมทัลชีท), ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ, กระบวนการผลิตน้ำร้อน, ต้นทุนต่ำ.

Abstract

The objective of this research is to design a low cost solar collector fabricated with local material parts in Thailand. The simple collector without glazing was made of a roof metal sheet served as an absorber. The aluminum tubes were located underneath the metal sheet and insulated with PU foam. Three types of collector having the area of 2 m² were built according to the roof curls and shapes, namely, CL-825, CL-750D and CL-720. The performance test was performed in accordance with the ISO 9459-2 standard, at KMUTT, Bangkok, Thailand. The experimental results showed that, the efficiency of the metal sheet solar collectors CL-825 for producing the hot water is close to CL-750D type which is 25.38 % and 23.8 % respectively, while CL-720 type is less than the others that is 17.38 %.

Keywords: Metal Sheet, Flat Plate Solar Collector, Hot Water Process, Low Cost.

1. บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยมีความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภาคเศรษฐกิจที่เติบโตมากขึ้น จากรายงานพลังงานประจำปีของกระทรวง

พลังงาน พบว่า ปี 2553 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นปีที่ 12 และเพิ่มขึ้นจากปี 2552 ร้อยละ 5.3 มีปริมาณรวมทั้งสิ้น 70,247 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [1] พลังงานหลักที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่

มาจากพลังงานสิ้นเปลืองที่เป็นพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ซึ่งมีราคาแพงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโลก และประเทศไทยยังต้องมีการนำเข้าพลังงานจากภายนอกประเทศเข้ามาทดแทน ส่งผลให้สูญเสียเงินตราออกนอกประเทศและความมั่นคงทางพลังงานภายในประเทศลดต่ำลง ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานทดแทน ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (2555-2564) ซึ่งสำหรับพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีเป้าหมายในปี 2564 คือ 2,000 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 75.48 MW [2]

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุปสรรคของพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันนั้นคือเรื่อง ราคา และต้นทุนการผลิตพลังงานที่สูง ทำให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบยังไม่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้งานในประเทศไทย ดังนั้นการพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย ควรคำนึงถึงราคาและศักยภาพที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบอย่างง่าย (Low cost flat plate solar collector) ซึ่งเป็นการใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์มาผลิตน้ำร้อน เป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำร้อนอย่างหนึ่ง โดยทำการลดราคาต้นทุนการผลิตตัวเก็บรังสี แต่ยังคงอุณหภูมิความร้อนที่ผลิตได้สูงพอกับการใช้งานตามวัตถุประสงค์นั้นๆ

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบอย่างง่ายได้ถูกพัฒนามามาก จากทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากภายในประเทศไทย ในยุคแรกได้มีการพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต้นทุนถูกและสามารถสร้างได้ด้วยตนเอง ซึ่งประยุกต์ทำน้ำพลาสติก (PVC) เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และใช้เป็นถังสะสมความร้อน [3] ต่อมาได้มีการใช้แผ่นพลาสติกพอลิโพรพิลีนทำหน้าที่เป็นท่อให้น้ำไหลภายในและเป็นแผ่นดูดกลืนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ซึ่งส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีน้ำหนักเบาว่าตัวเก็บรังสีทั่วไปครึ่งหนึ่ง [4] จากนั้นได้มีการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุ 3 ชนิด คือ แผ่นพีวีเจอร์บอร์ค แผ่นสังกะสี และแผ่นกระเบื้องยิปซัม ซึ่งใช้เป็นแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ [5] และมีการทำการศึกษเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำอากาศร้อน โดยใช้กระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้แล้วเป็นแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยทำงานร่วมกับชุดสารดูดความชื้นเพื่อดูดซับความชื้นของอากาศก่อนเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ส่วนในต่างประเทศนั้นก็ได้มีการคิดค้นและ

พัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์อย่างง่าย ต้นทุนต่ำเรื่อยมา โดยมีการใช้แผ่นซีเมนต์คอนกรีตเป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยท่ออลูมิเนียมที่ถูกหล่อด้วยซีเมนต์ จะอยู่ด้านบนผิวของแผ่นซีเมนต์ [6] ต่อมามีการศึกษาเปรียบเทียบแผงรังสีที่สร้างขึ้นจากวัสดุพอลิเมอร์และแผงรังสีที่ทำจากโลหะที่ขายตามท้องตลาด [7] และมีการใช้วัสดุพอลิเมอร์เป็นอุปกรณ์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแผ่นพอลิเมอร์ PVC เป็นแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยไม่ใช้กระจกครอบไว้ และถึงเก็บน้ำร้อนจะเป็นถังที่สร้างจากพอลิเอทิลีนเคลือบด้วยพอลิสไตรีน [8]

ในงานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แผ่นโลหะ (Metal sheet) มาเป็นส่วนประกอบในการสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบอย่างง่าย (Low cost flat plate solar collector) โดยใช้วัสดุหลักคือแผ่นโลหะหรือเมทัลชีทมาทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งมีข้อดีคือ ราคาถูก ไม่เป็นสนิม มีความแข็งแรง เหนียว ทนทาน อายุการใช้งานที่สูง มาเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์โดยแผ่นโลหะมีแผ่นเหล็กเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งมีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่สูง และเหมาะที่จะเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ อีกทั้งยังเคลือบสังกะสีเพื่อกันสนิม และสังกะสีนี้เองที่จะมีหน้าที่ถ่ายโอนความร้อนไปยังท่อท่ออลูมิเนียมที่ใช้ลำเลียงตัวกลางในการรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ซึ่งตัวกลางที่ใช้ก็คือ น้ำ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การคำนวณหาความร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [9]

$$\dot{Q} = a_1 H + a_2 (t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) + a_3 \quad (1)$$

เมื่อ \dot{Q} คือ ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อน (MJ/day)

$$Q = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_i \quad (2)$$

เมื่อ $t_{a(\text{day})}$ คือ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมเฉลี่ยตลอดวัน (K)

t_{main} คือ อุณหภูมิน้ำเย็นหรือน้ำร้อนที่ป้อนเพื่อคืนน้ำร้อนในถัง (K)

H คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (MJ/day)

a_1 คือ สัมประสิทธิ์เชิงพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

a_2 คือ สัมประสิทธิ์เชิงความร้อนของการ
สะสมความร้อน (MJ/K)

a_3 คือ สัมประสิทธิ์เชิงความร้อน ณ สภาวะ
เริ่มต้น (MJ)

การหาค่า a_1 , a_2 และ a_3 หาได้จากผลการทดลอง
และใช้วิธี Least Squares Fitting

หลังจากคำนวณปริมาณความร้อนตามสมการที่ 1
แล้วทำการคำนวณหาปริมาณน้ำร้อนจากสมการ

$$m = \frac{Q}{C_p (T_{out} - T_{main})} \quad (3)$$

เมื่อ m คือ ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ (Liter/day)

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำ
ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวนจาก
สมการ (1) (kJ)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K)

T_{out} คือ อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ (°C)

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่อง
ทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้สูตรการคำนวณ
ดังนี้

$$\eta_m = \frac{m}{A_G} \quad (4)$$

เมื่อ η_m คือ ความสามารถในการผลิตน้ำร้อน

A_G คือ พื้นที่รวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m²)

m คือ ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ (Liter/day)

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน
ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากปริมาณความร้อนที่ได้รับจาก
ระบบทำน้ำร้อน จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$\eta = \frac{Q}{A_G H} \quad (5)$$

3. เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1 ตัวรับรังสีอาทิตย์

ตัวรับรังสีอาทิตย์จะมีหน้าที่รับความร้อนจากรังสี
อาทิตย์ แล้วนำความร้อนที่ได้ถ่ายเทไปยังท่อภายใน
ตัวรับรังสีอาทิตย์ และท่อภายในตัวรับรังสีอาทิตย์ก็จะนำ
ความร้อนที่ได้ส่งผ่านไปยังน้ำที่อยู่ภายในท่ออีกต่อหนึ่ง
โดยพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของตัวรับรังสีอาทิตย์มีขนาด
ประมาณ 2 m² โดยมี 3 แบบดังต่อไปนี้

- ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ CL-825

CL-825 มีสันลอนรูปสี่เหลี่ยมกว้าง 20 mm ความ
สูงของสันลอนสูง 10 mm ระยะห่างระหว่างสันลอน

102 mm โดย 1 แผ่นมีหน้ากว้าง 825 mm มีจำนวน
สันลอน 8 ลอน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ CL-825

- ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ CL-750D

CL-750D มีสันลอนโค้งคล้ายหลังคาสังกะสี ความ
สูงของสันลอนสูง 18 mm ระยะห่างระหว่างสันลอน 75
mm โดย 1 แผ่นมีหน้ากว้าง 750 mm มีจำนวนลอน
11 ลอน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ CL-750D

- ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ CL-720

CL-720 มีสันลอนเป็นลอนรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ใน
ส่วนฐานกว้าง 60 mm ความสูงของลอนสูง 29 mm
ระยะห่างระหว่างลอน 180 mm โดย 1 แผ่นมีหน้ากว้าง
720 mm มีจำนวนลอน 8 ลอน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะ CL-720

การสร้างตัวต้นแบบตัวรับรังสีอาทิตย์มีต้นทุนการสร้าง
ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าต้นทุนตัวต้นแบบของตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดต่างๆ

ราคา อุปกรณ์ (฿)	ชนิดตัวรับรังสี		
	CL-720	CL-750D	CL-825
แผ่นโลหะ	460	400	390
ท่อหลัก (อลูมิเนียม)	200	200	200
ท่อร่วม(อลูมิเนียม)	140	320	250
ฉนวนพียูโฟม	540	540	540
ค่างานประกอบ			
- ค่าริเวท	114	247	190
-ค่าเชื่อมท่อหลัก และท่อร่วม	360	780	600
สีดำด้านพ่น	300	300	300
รวม	2114	2787	2470

3.2 ถังสะสมความร้อน (Storage Tank)

ถังสะสมความร้อนทำหน้าที่สะสมความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แล้วส่งต่อไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นระบบปิด ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการเทอร์โมไซฟอน โดยทำมาจากสแตนเลสและมีฉนวนอยู่ด้านนอกถึงมีขนาด 150 L

3.3 ถังพักน้ำ (Reservoir Tank)

ทำหน้าที่พักน้ำเอาไว้เพื่อทำการไล่น้ำที่ค้างอยู่ในแผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยใช้ถังขนาด 800 L

3.4 ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำยี่ห้อ Fujika ทำหน้าที่ปั๊มน้ำจากถังพักน้ำเข้าสู่ระบบทำน้ำร้อน ในช่วงที่ทำการทดสอบ โดยจะทำการขับน้ำร้อนที่ค้างอยู่ในแผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์และถังพักน้ำร้อนให้หมดไปจนกว่าอุณหภูมิ น้ำเข้าและน้ำออกจะเท่ากัน และเท่ากับอุณหภูมิ น้ำในถังพัก เพื่อที่จะทำให้พร้อมสำหรับการทดสอบในรอบต่อไป

3.5 เครื่องวัดแรงดันน้ำ (Flow Meter)

เครื่องวัดแรงดันน้ำจะทำการวัดแรงดันน้ำจากปั๊มน้ำเข้าสู่ถังสะสมความร้อน โดยจะใช้ในระหว่างการขับน้ำร้อนที่ค้างอยู่ในระบบ

4. วิธีการทดลอง

การทดลองครั้งนี้จะเป็นการทดสอบระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ISO 9459-2 โดยมีวิธีการต่อระบบดังรูปที่ 4 มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 ก่อนเริ่มทดสอบในแต่ละวัน ควรนำสิ่งก้างไปปิดไว้ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อให้ไมโครรังสีอาทิตย์ และปรับสถานะเริ่มต้นของระบบ โดยการหมุนเวียนน้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 10-35 °C โดยมีอัตราการไหลอย่างน้อย 600 L/Hr เพื่อให้ทำให้อุณหภูมิภายในระบบสม่ำเสมอทั้งหมดและไม่มีการแยกชั้นของอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน พร้อมบันทึกอุณหภูมิ น้ำนี้ให้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของการทดสอบ

4.2 หลังจากได้อุณหภูมิเริ่มต้นให้นำสิ่งก้างออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อทำการทดสอบระบบ

4.3 ทดสอบระบบโดยให้ระบบทำงานต่อเนื่องตลอดทั้งวันเป็นเวลา 12 Hr โดยเป็น 6 Hr ก่อนและหลังเวลาเที่ยงสุริยะ

4.4 ในระหว่างทำการทดสอบระบบค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ
- อุณหภูมิสถานะแวดล้อม

4.5 ในตอนท้ายของวัน (หลังจาก 6 Hr ชั่วโมงหลังเวลาเที่ยงสุริยะ) ใช้น้ำที่อุณหภูมิ t_{main} ดันน้ำออกจากระบบโดยให้อัตราการไหลคงที่ที่ 600 L/Hr และในเวลาเดียวกันควรป้อนน้ำเย็นเข้าไปในระบบซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นของการทดสอบในตอนเช้า โดยปริมาณน้ำที่นั่นจะต้องมีค่าน้อยกว่า 3 เท่าของปริมาตรถังที่ทำการทดสอบ

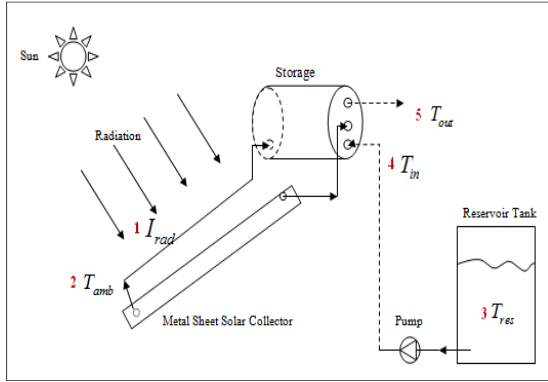
4.6 อุณหภูมิของน้ำที่เริ่มถูกระบายออก ทำการวัดอย่างน้อยทุกๆ 15 s และควรบันทึกค่าเฉลี่ยอย่างน้อยทุก 10 ส่วนของปริมาตรน้ำในถังที่ถูกระบายทิ้งและจะทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ไปจนกว่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากถังมีค่าเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมแต่ต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของปริมาตรถังที่ทำการทดสอบ

4.7 ทำการทดสอบซ้ำตามวิธีการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้น ไม่น้อยกว่า 6 วัน

4.8 เลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละกรณีฯ ละ 3 ค่ามาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 4 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะที่พร้อมทดสอบ



รูปที่ 5 หลักการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงาน

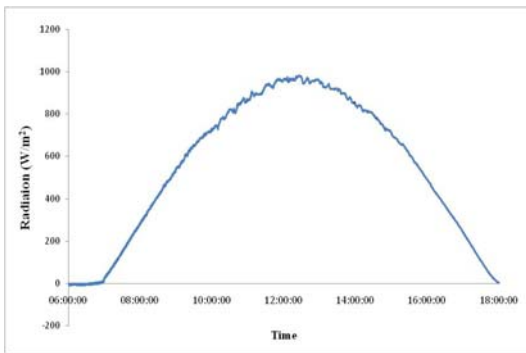
แสงอาทิตย์และตำแหน่งการวัดค่าต่างๆ ตารางที่ 2 แสดงสิ่งที่วัดและตำแหน่งที่ทำการวัดค่าต่างๆ ในระบบดังรูปที่ 5

ตำแหน่งที่	สิ่งที่วัด	สัญลักษณ์	หน่วย
1	ค่ารังสีอาทิตย์	I_{rad}	MJ
2	อุณหภูมิบรรยากาศ	T_{amb}	$^{\circ}C$
3	อุณหภูมิถังพักน้ำ	T_{res}	$^{\circ}C$
4	อุณหภูมิน้ำเข้าถังสะสมความร้อน	T_{in}	$^{\circ}C$
5	อุณหภูมิน้ำเข้าถังสะสมความร้อน	T_{out}	$^{\circ}C$

5. ผลการทดลอง

5.1 ค่ารังสีอาทิตย์

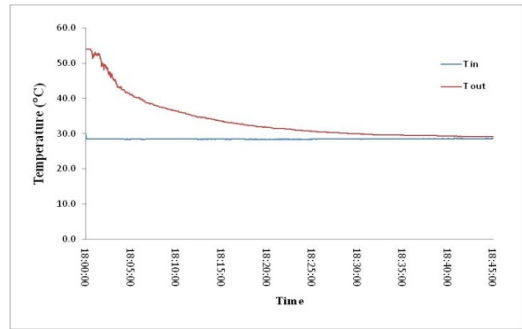
ค่ารังสีอาทิตย์ที่ใช้ได้สำหรับวันทดสอบต้องมีค่ารังสีอาทิตย์รวมกันตลอดทั้งวันอยู่ในช่วง 8 - 25 MJ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 จากรูปที่ 6 เป็นกราฟแสดงค่ารังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันของวันที่ 14 มกราคม 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดทั้งวันเท่ากับ 24 MJ ซึ่งสูงที่สุดในวันที่ทำการทดลองทั้งหมด



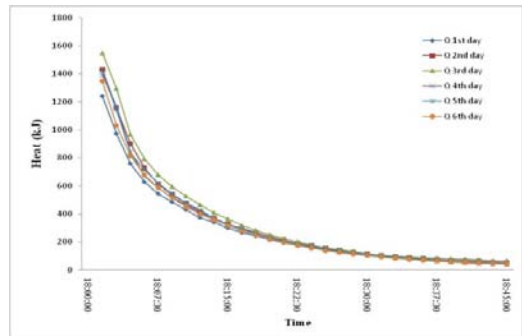
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา

5.2 ประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 สามารถทำอุณหภูมิน้ำได้ร้อนสูงสุดอยู่ที่ 53.9 $^{\circ}C$ ในวันที่ 18 มกราคม 2556 และอุณหภูมิน้ำที่ใช้คืนน้ำอยู่ที่ 28.1 $^{\circ}C$ จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอุณหภูมิร้อนและน้ำเย็นที่ใช้คืนน้ำ ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิจะนำมาหาค่าความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 สะสมได้ตลอดทั้งวัน จากรูปที่ 8 แสดงค่าความร้อนของตัวเก็บรังสีชนิดนี้ ซึ่งสอดคล้องกับความแตกต่างของอุณหภูมิตลอด โดยการทดลองในวันที่ 3 ของการทดลอง หรือวันที่ 18 มกราคม 2556 มีค่าความร้อนสูงสุด ใน 15 Liter แรก มีค่าความร้อนเท่ากับ 1549.115 kJ และมีค่าความร้อนสะสมตลอดทั้งวันเท่ากับ 10.458 MJ

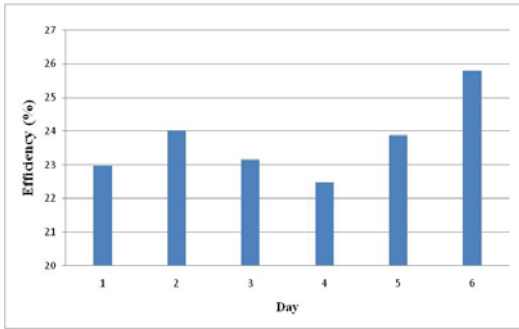


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนได้จากการสะสมความร้อนตลอดทั้งวันและเวลา ของแผงแบบ CL-825

ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ได้แสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพของการทดลองทั้ง 6 วัน โดยวันที่มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือวันที่ทำการทดสอบวันที่ 6 หรือวันที่ 21 มกราคม 2556 ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 25.79 % และวันที่มีค่าประสิทธิภาพของระบบต่ำที่สุดคือวันที่ทำการทดสอบวันที่ 4 หรือวันที่ 19 มกราคม 2556 โดยมีค่าประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 22.46 %



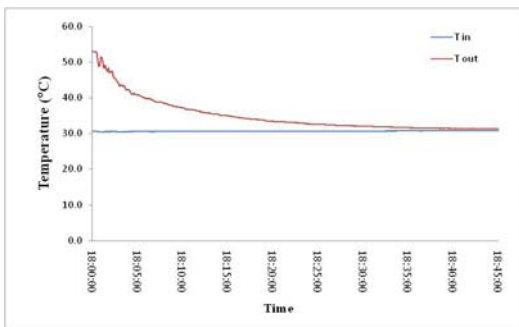
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนที่ได้ในแต่ละวัน ของแผงแบบ CL-825

จากผลการทดลองทั้ง 6 วัน สามารถนำมาหาค่า a_1 , a_2 และ a_3 ได้โดยใช้วิธี Least Squares Fitting ซึ่งจะได้สมการค่าปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ดังนี้

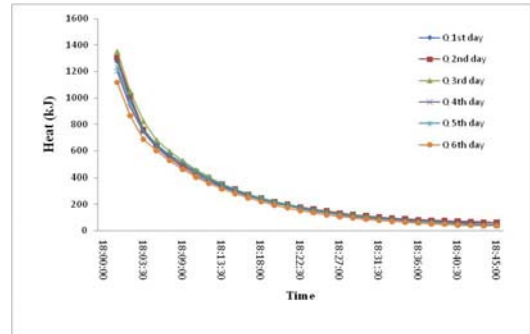
$$Q = 0.461624H + 0.144756(t_{a(day)} - t_{main}) + (-0.03331) \quad (6)$$

5.3 ประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิด CL-750D

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D สามารถทำอุณหภูมิน้ำร้อนได้สูงสุดเท่ากับ 53 °C โดยมีอุณหภูมิน้ำเย็นเท่ากับ 30.3 °C ซึ่งเป็นวันที่ทำการทดลองที่ 1 หรือวันที่ 18 ธันวาคม 2555 ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมินำมาหาค่าความร้อนได้ดังรูปที่ 11 ซึ่งมีค่าความร้อนสูงสุดที่ได้คือวันที่ 3 ของการทดลองหรือวันที่ 22 มกราคม 2556 มีค่าความร้อนใน 15 Liter แรกเท่ากับ 1348.45 kJ และมีค่าความร้อนสะสมตลอดทั้งวันเท่ากับ 8.97 MJ

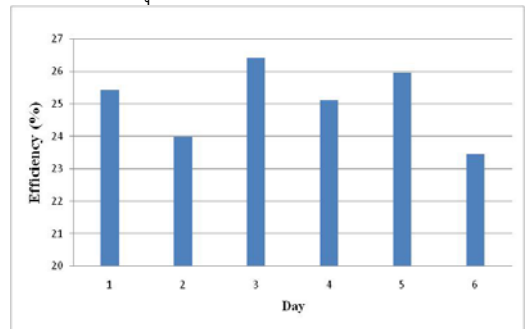


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนได้จากการสะสมความร้อนตลอดทั้งวันและเวลา ของแผงแบบ CL-750D

จากรูปที่ 12 ได้แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D พบว่าวันที่ทำการทดลองที่ 3 หรือวันที่ 22 มกราคม 2556 มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 26.42 % ซึ่งมีค่ามากที่สุด และวันที่ทำการทดลองวันที่ 2 หรือวันที่ 19 ธันวาคม 2555 มีค่าประสิทธิภาพต่ำสุด เท่ากับ 23.99 %



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนที่ได้ในแต่ละวัน ของแผงแบบ CL-750D

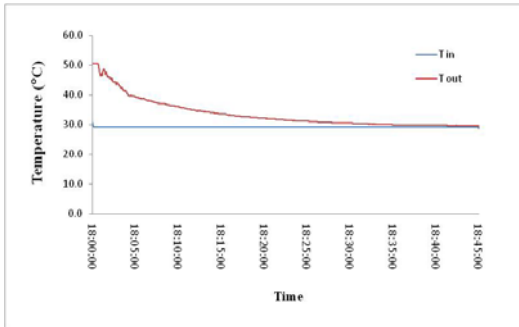
จากผลการทดลองทั้ง 6 วัน สามารถนำมาหาค่า a_1 , a_2 และ a_3 ได้โดยใช้วิธี Least Squares Fitting ซึ่งจะได้สมการค่าปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ดังนี้

$$Q = 0.483036H + 0.231836(t_{a(day)} - t_{main}) + (-0.01556) \quad (7)$$

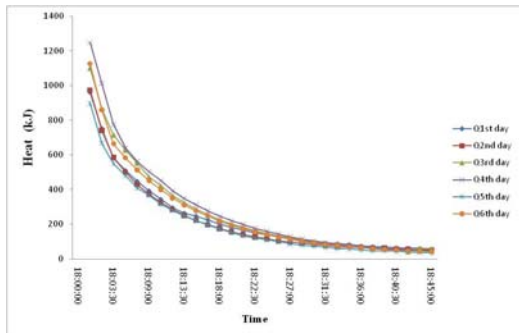
5.4 ประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิด CL-720

จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-720 พบว่าสามารถทำอุณหภูมิน้ำร้อนได้สูงสุดเท่ากับ 50.5 °C โดยมีอุณหภูมิน้ำป้อนเพื่อต้นน้ำเท่ากับ 28.82 °C ซึ่งเป็นผลการทดลองในวันที่ 14 มกราคม 2556 ดังแสดงในรูปที่ 12 แล้วนำค่าความแตกต่างของอุณหภูมินำไปหาค่าความร้อนที่ได้จากการสะสมความร้อนตลอดทั้งวันแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองทั้ง 6 วัน พบว่า การทดลองในวันที่ 4 นั้น

ได้ค่าความร้อนใน 15 L แรกสูงที่สุด เท่ากับ 1246.52 kJ และความร้อนสะสมทั้งระบบมีค่าเท่ากับ 8.66 MJ

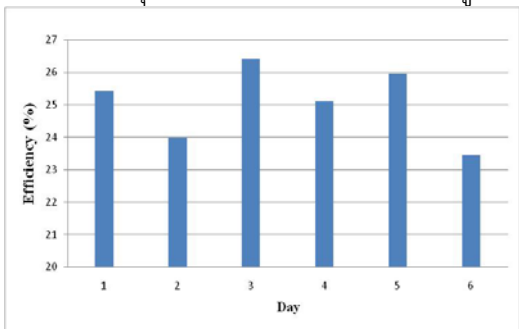


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-720



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนได้จากการสะสมความร้อนตลอดทั้งวันและเวลา ของแผงแบบ CL-720

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-720 พบว่า มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้ง 6 วัน โดยวันที่ทำการทดลองวันที่ 3 หรือวันที่ 10 มกราคม 2556 มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 20.1 % และวันที่ทำการทดลองวันที่ 2 หรือวันที่ 25 ธันวาคม 2555 มีค่าประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 16.15 % ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนที่ได้ในแต่ละวัน ของแผงแบบ CL-720

จากผลการทดลองทั้ง 6 วัน สามารถนำมาหาค่า a_1 , a_2 และ a_3 ได้โดยใช้วิธี Least Squares Fitting ซึ่งจะได้สมการค่าปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-720 ดังนี้

$$Q = 0.371356H + (-0.09623)(t_{a(day)} - t_{main}) + (-0.04999) \quad (8)$$

5.5เปรียบเทียบผลจากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด

จากตารางที่ 3 พบว่า ถึงแม้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีค่าความร้อนสะสมที่ได้จากการทดลองสูงที่สุด คือเท่ากับ 10.46 MJ แต่ก็ยังเป็นค่าความร้อนที่ดีเพียงวันเดียว เมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่สูงที่สุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีค่าความร้อนที่สูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนด้วยการคำนวณสมการ (6), (7) และ (8) โดยแทนค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} H &= 18 \text{ MJ} \\ T_{main} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ t_{a(day)} &= 32 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 9.14 MJ และยังมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ โดยค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีค่าเท่ากับ 26.42% ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-720 จะมีค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองต่ำที่สุด รวมทั้งมีค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนต่ำที่สุดอีกด้วย เนื่องจาก ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีท่อร่วมจำนวน 13 ท่อซึ่งมีจำนวนท่อมากที่สุด จึงสามารถรับพลังงานความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ได้มากที่สุด แล้วรองลงมาด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีท่อร่วม 10 ท่อ และสุดท้ายตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-720 ที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด มีจำนวนท่อร่วมแค่ 6 ท่อซึ่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆที่ได้จากการทดลองระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ

ตัวแปร	CL-825	CL-750D	CL-720
ΔT_{max} (°C)	25.5	22.5	21.4
Q_{max} (MJ)	10.46	8.97	8.66
η_{max} (%)	25.79	26.42	20.1
Q_{cal}^* (MJ)	8.57	9.14	6.26
η_{cal}^* (%)	23.80	25.38	17.38

หมายเหตุ: Q_{cal} และ η_{cal} คือ ค่าความร้อนและค่าประสิทธิภาพที่ได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ มาจากการคำนวณสมการที่ (6), (7) และ (8)

6. สรุปผลการทดลอง

จากการประยุกต์แผนโลหะเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ ต้นทุนต่ำ โดยใช้หลังคาเมทัลชีทเป็นแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และใช้ท่ออะลูมิเนียมเป็นท่อภายในแผงซึ่งอยู่ใต้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมีฉนวนโฟมพอลิยูรีเทนเป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ยังไม่ได้ใส่กรอบกระจก ทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ชนิด ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-750D มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุด เท่ากับ 25.38 % รองลงมาคือ CL-825 มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 23.8 % และรุ่น CL-720 มีค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุด เท่ากับ 17.38 % ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อน พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่น CL-750D มีค่าความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 9.14 MJ รองลงมาคือ รุ่น CL- 825 และต่ำที่สุดคือ CL-720 โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 8.57 MJ และ 6.26 MJ ตามลำดับ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัทเลิศลอยเมทัลชีท จำกัด และ บริษัท พี.ยู. โฟม อินซูเลชั่น แอนด์เทรตติ้ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แผ่นหลังคาเมทัลชีทและฉนวนโฟมพอลิยูรีเทน ตามลำดับ ในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, “รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2553,” [บทความออนไลน์]. สืบค้นได้จาก: < http://www.dede.go.th/dede/images/stories/6may54_circular/energy_53_2.pdf>. January 23, 2555.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (2555-2564),” [บทความออนไลน์]. สืบค้นได้จาก: <www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>. March 19, 2556.
- [3] ปรีดา จันทวงษ์, “การออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายเพื่อใช้ในบ้าน,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2542: 9-16.

- [4] เกษม โพธิ์งาม, “การพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์น้ำหนักเบาที่ใช้ในบ้านพักอาศัย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545: 1-12.
- [5] สำรวัย ภูบาล, การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นดูดรังสีเพื่อทำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ, วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550: 52-62.
- [6] Churasia, P.B.L Solar Water Heaters Based on Concrete Collectors. Energy 2000; 25(8): 703-716.
- [7] Cristofari, C., Notton, G., Poggi, P. and Louche, A., Modelling and Performance of a Copolymer Solar Water Heating Collector. Solar Energy 2001; 72(2): 99-112.
- [8] Siqueira, D.A., Vieira, L.G.M. and Damasceno, J.J.R., Analysis and Performance of Low-cost Solar Heater. Renewable Energy 2011; 36(9): 2538-2546.
- [9] International Standard ISO 9459-2 (1995E) Solar Heating – Domestic Water Heating Systems, Part 2: Outdoor Test Methods for System Performance Characterization and Yearly Performance Prediction of Solar only System. Geneve: International Organization for Standardization.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นาย ภาสกร ชุ่มทิ
วัน เดือน ปีเกิด	23 กรกฎาคม 2530
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย พ.ศ. 2549
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2553
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2555
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	ภาสกร ชุ่มทิ, นริส ประทินทอง และ ศิริชัย เทพา, 2556, “การประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่น โลหะสำหรับกระบวนการผลิตน้ำร้อน” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, วันที่ 8-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2556, จ. นครนายก