

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

### 4.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO-9806-1

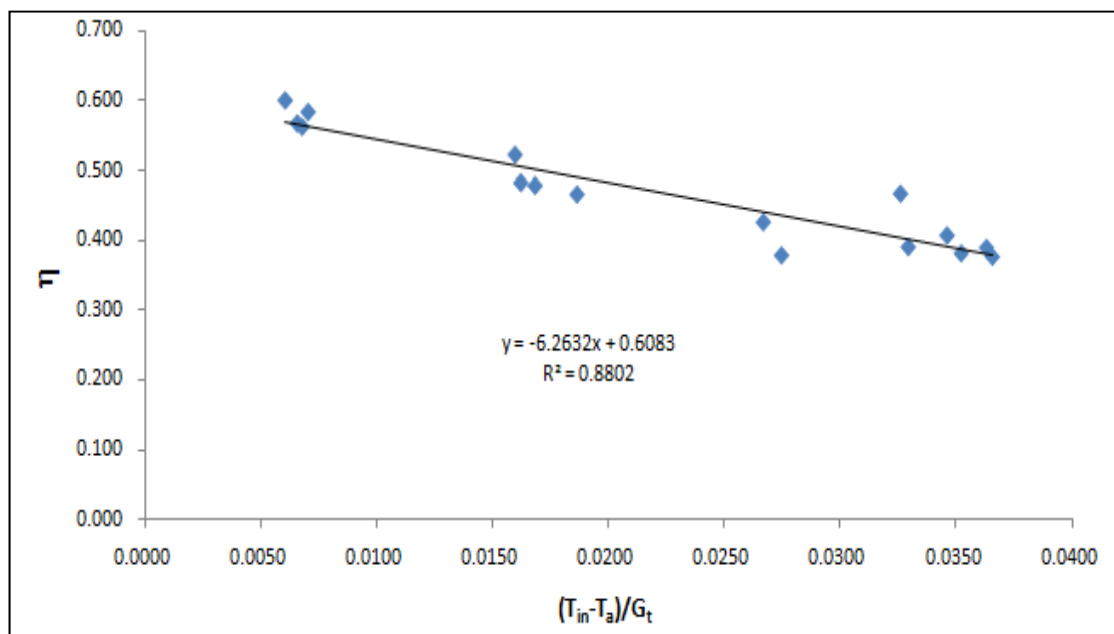
#### 4.1.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 โดยทำการทดสอบในวันที่ 14 – 16 มีนาคม พ.ศ. 2556 ช่วงเวลาตั้งแต่ 10:00 – 14.00 น. ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D

Temp. (°C)	Date (DD/MM/YY)	Time (h:min:ss)	Radiation (G) (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	Q (kJ/min)	η (%)
40°C	14/5/2556	10:59:31	847.24	35.5	40.6	47.9	61.00	60.0
40°C	14/5/2556	11:16:31	877.16	34.4	40.6	47.9	61.46	58.39
40°C	14/5/2556	11:39:31	904.13	34.8	40.7	47.9	61.60	56.77
40°C	14/5/2556	11:57:31	903.97	34.4	40.5	47.9	61.04	56.27
50°C	14/5/2556	13:15:33	890.52	35.4	49.7	56.3	55.91	52.32
50°C	14/5/2556	13:30:33	859.47	36.4	50.3	56.3	49.91	48.40
50°C	14/5/2556	13:45:33	823.03	36.6	50.5	56.2	47.40	48.00
50°C	14/5/2556	14:00:33	785.11	35.8	50.4	55.7	44.06	46.76
60°C	15/5/2556	10:27:26	848.46	32.8	60.7	65.5	39.91	39.20
60°C	15/5/2556	10:44:26	759.13	34.5	59.2	64.3	42.70	46.87
60°C	15/5/2556	11:30:26	908.14	35.6	59.8	65.4	46.61	42.77
60°C	15/5/2556	11:46:26	911.96	35.4	60.5	65.5	41.59	38.00
70°C	16/5/2556	12:39:28	948.89	36.9	69.8	75.3	46.54	40.87
70°C	16/5/2556	12:54:08	948.89	36.9	70.3	75.5	43.60	38.29
70°C	16/5/2556	13:09:28	899.54	37.6	70.5	75.6	42.63	37.79
70°C	16/5/2556	13:24:28	901.27	37.3	70.1	75.1	42.21	39.10

เมื่อนำผลที่ได้จากตารางที่ 4.1 นำมาพล็อตกราฟหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D โดยเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของแต่ละค่าอุณหภูมิกับอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ โดยเมื่อได้กราฟตามรูปที่ 4.1 แล้ว สามารถหาค่าประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $FR(\tau\alpha)$ ) ได้จากจุดตัดบนแกน y โดยจากผลการทดสอบมีค่าประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดเท่ากับ 0.6083 และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $U_L$ ) หาได้จากความชันของกราฟ โดยจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ  $6.2632 \text{ W/m}^2\text{K}$  และเมื่อนำค่าทั้งสองมาคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ตามสมการที่ 2.55 ในบทที่ 2 จะได้เท่ากับ 49.09 %



รูปที่ 4.1 กราฟประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D

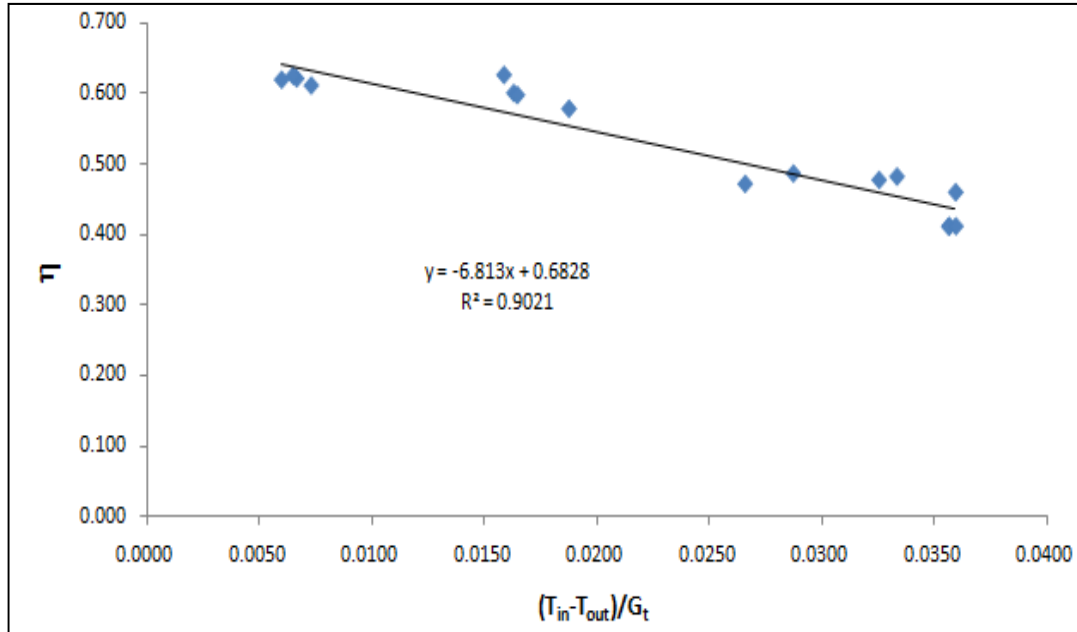
#### 4.1.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 โดยทำการทดสอบในวันที่ 14 – 16 มีนาคม พ.ศ. 2556 ช่วงเวลาตั้งแต่ 10:00 – 14:00 น. ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825

Temp. (°C)	Date (DD/MM/YY)	Time (h:min:ss)	Radiation (G) (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	Q (kJ/min)	η (%)
40°C	14/5/2556	11:07:31	879.76	35.0	40.8	48.6	65.50	62.04
40°C	14/5/2556	11:24:31	901.66	34.2	40.8	48.7	66.06	61.05
40°C	14/5/2556	11:39:31	904.13	34.8	40.8	48.7	67.73	62.43
40°C	14/5/2556	11:59:31	902.84	34.2	40.6	48.6	67.03	61.87
50°C	14/5/2556	13:15:33	888.43	35.4	49.5	57.5	66.67	62.54
50°C	14/5/2556	13:30:33	856.53	36.1	50.1	57.5	61.65	59.98
50°C	14/5/2556	13:45:33	821.81	36.9	50.4	57.4	58.86	59.69
50°C	14/5/2556	14:00:33	782.64	35.7	50.3	56.8	54.26	57.77
60°C	15/5/2556	10:27:26	848.46	32.8	60.4	66.2	48.58	47.72
60°C	15/5/2556	10:43:26	753.16	34.8	59.9	65.1	43.56	48.19
60°C	15/5/2556	11:25:26	898.06	35.7	59.6	65.6	50.81	47.15
60°C	15/5/2556	11:41:26	856.55	35.4	60.0	66.0	49.98	48.62
70°C	16/5/2556	12:41:38	891.38	37.6	69.7	75.5	49.19	45.98
70°C	16/5/2556	12:57:38	932.03	37.0	70.2	75.7	46.11	41.23
70°C	16/5/2556	13:12:38	917.61	37.5	70.2	75.6	45.28	41.12
70°C	16/5/2556	13:27:38	896.26	37.6	69.8	75.1	44.30	41.19

เมื่อนำผลที่ได้จากตารางที่ 4.2 นำมาพล็อตกราฟหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 โดยเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของแต่ละค่าอุณหภูมิกับอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ โดยเมื่อได้กราฟตามรูปที่ 4.2 แล้วสามารถหาค่าประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (FR(T<sub>0</sub>)) ได้จากจุดตัดบนแกน y โดยจากผลการทดสอบมีค่าประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดเท่ากับ 0.6828 และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (U<sub>L</sub>) หาได้จากความชันของกราฟ โดยจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 6.813 W/m<sup>2</sup>K และเมื่อนำค่าทั้งสองมาคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ตามสมการที่ 2.54 ในบทที่ 2 จะได้เท่ากับ 55.51 %

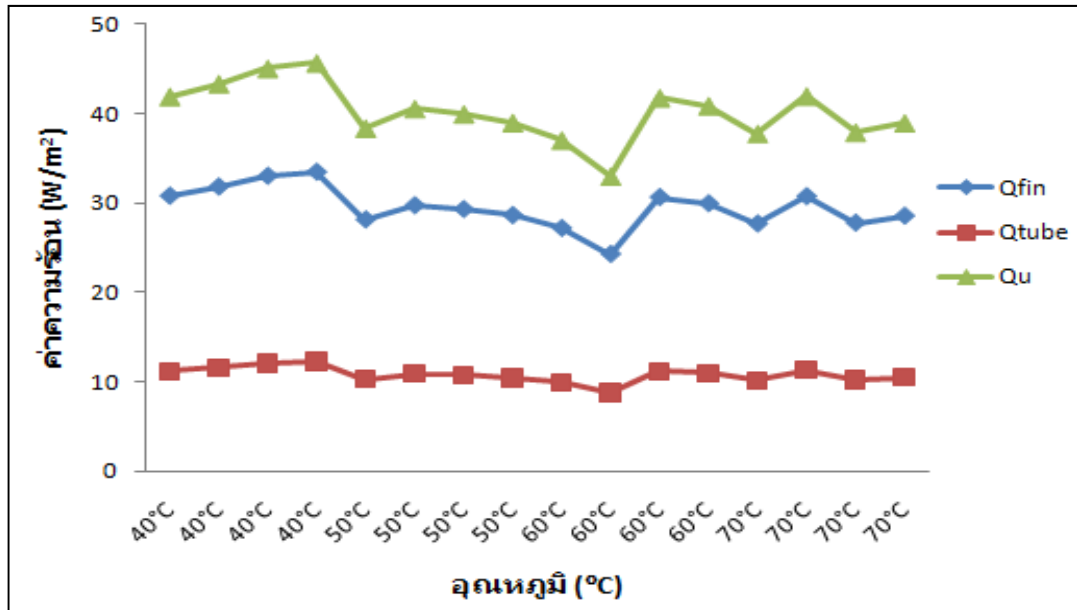


รูปที่ 4.2 กราฟประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825

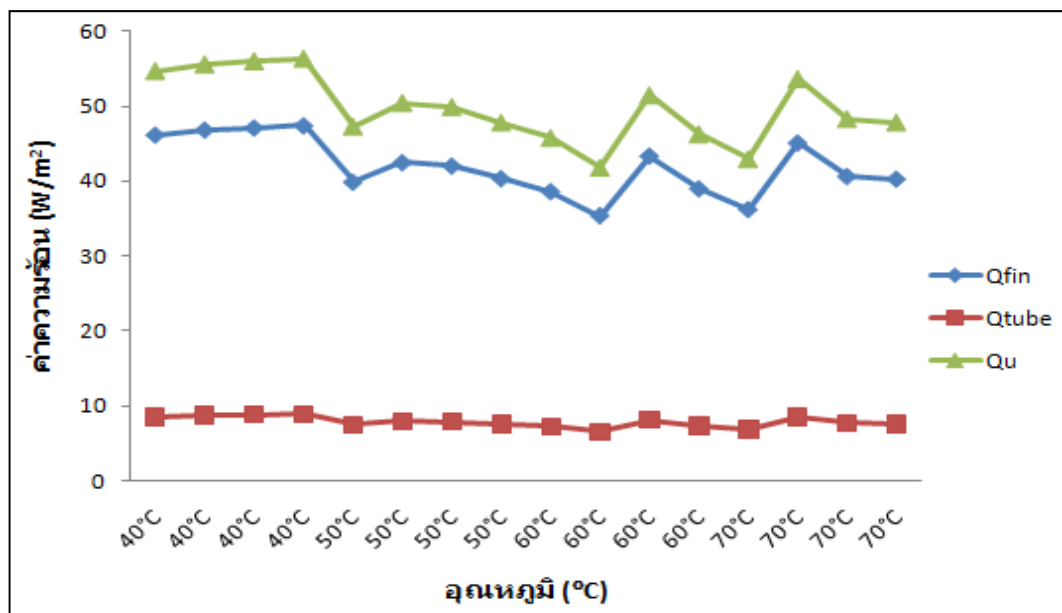
จากตารางของภาคผนวก ก.1 ที่แสดงประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขายตามท้องตลาดในประเทศไทย พบว่า ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงสุด เท่ากับ 82.82 % ส่วนต่ำที่สุดเท่ากับ 50.30 % และค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 68.27 % ดังจะเห็นได้ว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 นั้นมีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขายตามท้องตลาด และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของงานวิจัยชิ้นนี้ใช้ต้นทุนที่ต่ำและสร้างง่าย แต่ค่าประสิทธิภาพที่ได้ใกล้เคียงกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขายตามท้องตลาด

#### 4.1.3 วิเคราะห์ค่าความร้อนในบริเวณครีบและท่อที่ได้จากการทดสอบ

จากการคำนวณหาค่าความร้อนที่เข้าสู่ท่อต่อหน่วยความยาวในทิศทางกรไหล ( $q'_{in}$ ) ตามสมการที่ 2.36, ค่าความร้อนที่สะสมเหนือบริเวณท่อ ( $q'_{tube}$ ) ตามสมการที่ 2.39 และพลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $q'_u$ ) ตามสมการที่ 2.40 ในบทที่ 2 ซึ่งเป็นการคำนวณหาจากท่อนำของไหลต่อหน่วยความยาวในทิศทางกรไหล โดยนำค่าที่ได้มาเขียนรูปกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งเป็นของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D และ CL-825 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความร้อนของค่าความร้อนจากครีป ค่าความร้อนที่สะสมเหนือบริเวณท่อ และค่าความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความร้อนของค่าความร้อนจากครีป ค่าความร้อนที่สะสมเหนือบริเวณท่อ และค่าความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 ที่ได้จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 มีค่าความร้อนที่ทางเข้าสู่ท่อต่อหน่วยความยาวในทิศทางการไหล ( $q'_{fin}$ ) ที่สูงกว่า CL-750D เพราะว่า CL-825 นั้นมีความยาวของครีบบัวยาวกว่า คือ 102 mm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อร่วมที่เล็กกว่า นั่นคือ 14 mm ทำให้มีความแตกต่างระหว่างความยาวครีบบัวยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่มากกว่า และส่งผลให้ค่าความร้อนที่เข้าสู่ท่อต่อหน่วยความยาวในทิศทางการไหล ( $q'_{fin}$ ) ที่สูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีความยาวของครีบบัวยาวเท่ากับ 75 mm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 19 mm เมื่อมาพิจารณาถึงค่าความร้อนที่สะสมเหนือบริเวณท่อ ( $q'_{tube}$ ) ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่คิดใน ส่วนที่ท่อจะรับความร้อนจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน โดยแผ่นรับรังสีอาทิตย์จะพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อใหญ่กว่าก็จะมีค่าความร้อนสะสมเหนือบริเวณท่อ ( $q'_{tube}$ ) ที่สูงกว่า แบบ CL-825 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่เล็กกว่า และเมื่อมาพิจารณาค่าความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ( $q'_u$ ) ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่ได้จากการรวมกันของค่าความร้อนที่เข้าสู่ท่อต่อหน่วยความยาวในทิศทางการไหล ( $q'_{fin}$ ) และค่าความร้อนที่สะสมเหนือบริเวณท่อ ( $q'_{tube}$ ) จะพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ค่าความร้อนที่เข้าสู่ท่อต่อหน่วยความยาวในทิศทางการไหล ( $q'_{fin}$ ) ที่สูงกว่า แบบ CL-750D มาก จึงทำให้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 มีค่าความร้อนที่ใช้ประโยชน์ ( $q'_u$ ) สูงกว่า แบบ CL-750D ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 และสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่แบบ CL-825 ที่มีค่าสูงกว่าแบบ CL-750D

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุด พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 มีค่าสูงกว่า แบบ CL-750D และสอดคล้องกับค่าความร้อนที่เข้าสู่ท่อต่อหน่วยความยาวในทิศทางการไหล ( $q'_{fin}$ ) เนื่องมาจากความแตกต่างของความกว้างของครีบบัวยาว และค่าประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดที่มีค่ามากกว่า นั้น ส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 มีประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงกว่าแบบ CL-750D และเมื่อมาพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่ต่ำกว่า แบบ CL-825 โดยคาดการณ์ว่ายิ่งครีบบัวยาวมากยิ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนได้ง่ายกว่า เพราะมีพื้นที่ในการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศที่มากกว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมเย็นลงดังเช่นในช่วงเช้าหรือช่วงเย็นของวัน

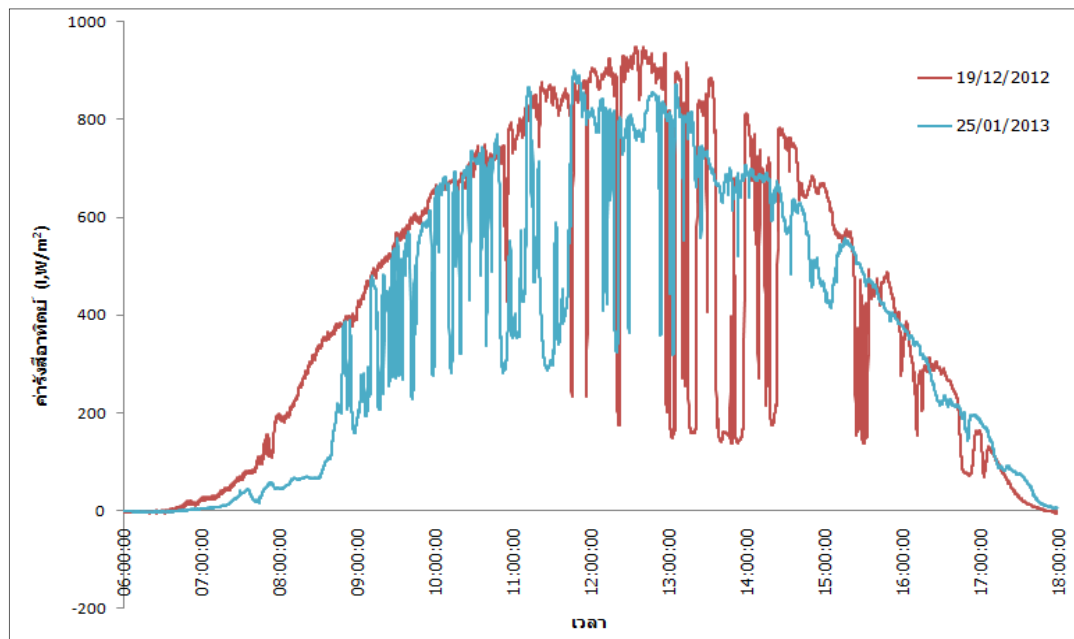
## 4.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2

### 4.2.1 ค่ารังสีอาทิตย์ของวันที่ทดสอบ

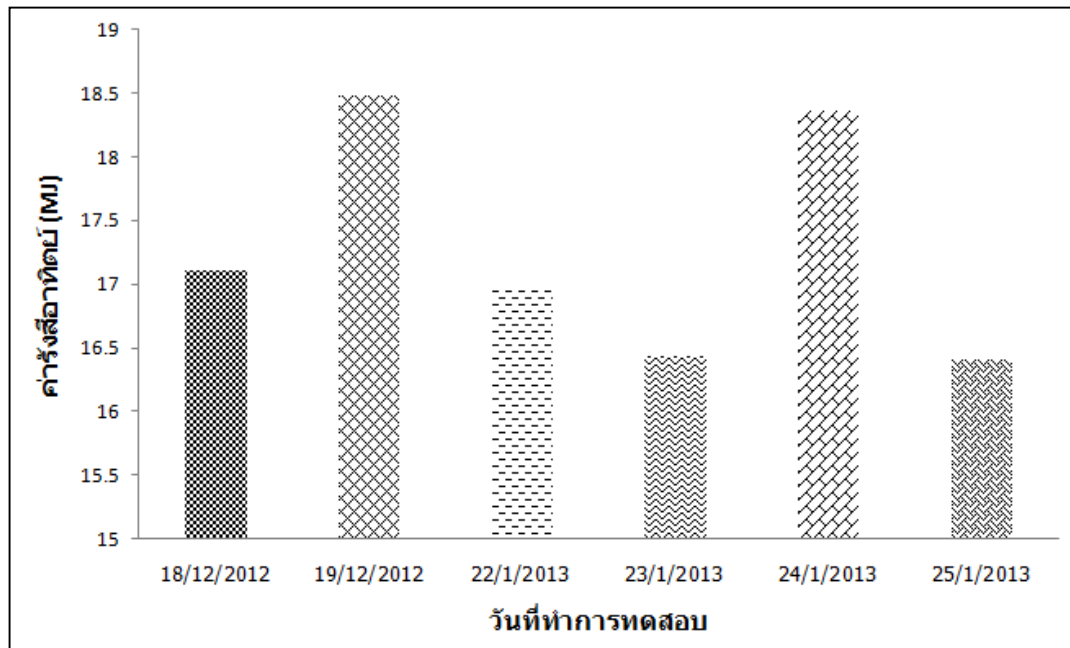
ค่ารังสีอาทิตย์ที่ใช้สำหรับการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 ต้องมีค่ารังสีอาทิตย์รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 8 – 25 MJ/m<sup>2</sup> day โดยคิดเวลาในการทดสอบ คือตั้งแต่เวลา 06.00 – 18.00 น.

#### 4.2.1.1 ค่ารังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ไม่มีกระจกปิด

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน ด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-750D ที่ยังไม่มีกระจกปิด ซึ่งจากการทดสอบพบว่า วันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมมากที่สุด คือวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2555 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดทั้งวันเท่ากับ 18.48 MJ/m<sup>2</sup> day และวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมน้อยที่สุดคือวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดทั้งวันเท่ากับ 16.41 MJ/m<sup>2</sup> day ซึ่งค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดทั้งวันเป็นค่าที่ได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟจากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และเวลา และค่ารังสีอาทิตย์ในวันที่ทำการทดสอบอื่นๆ นั้นสามารถดูได้จากรูปที่ 4.6

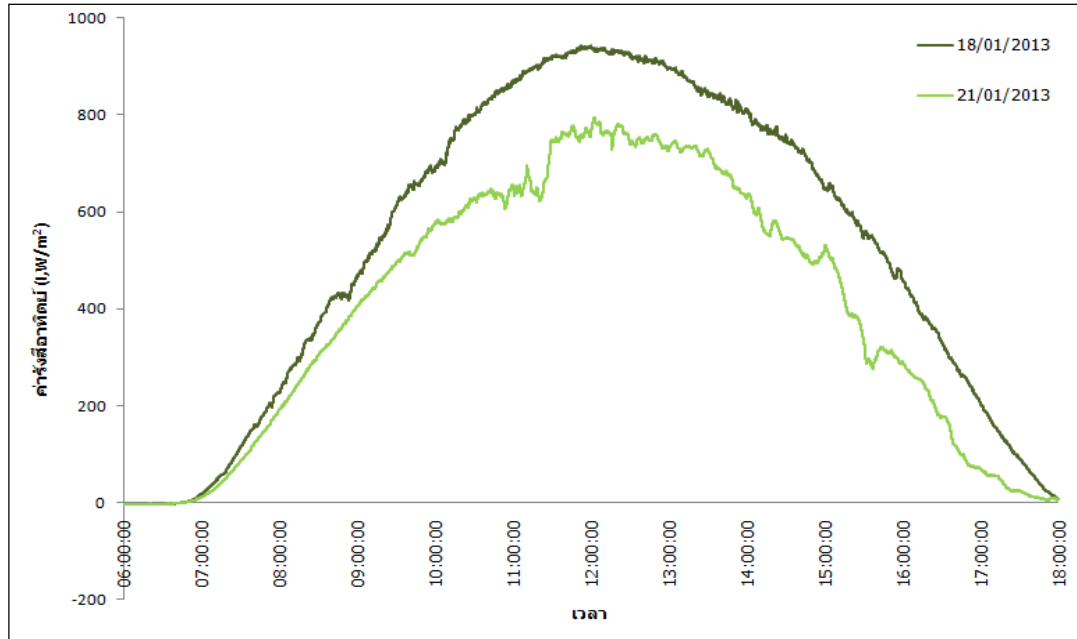


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D แบบไม่มีกระจกปิด ของวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2555 และ 25 มกราคม พ.ศ. 2556

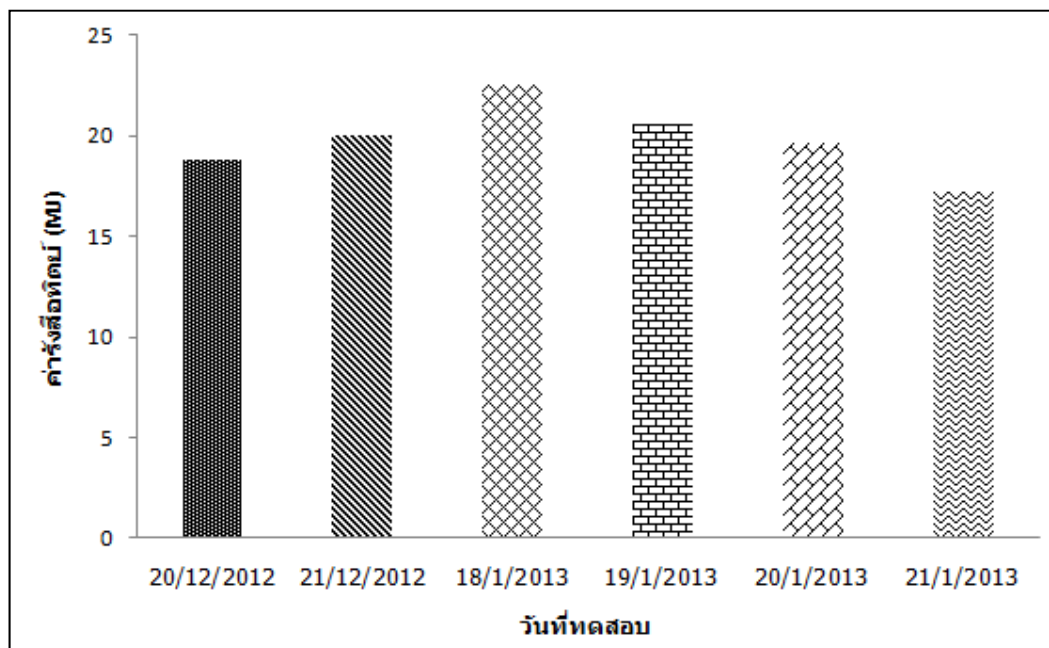


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์รวมและวันที่ทดสอบทั้ง 6 วัน จากการทดสอบ  
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D แบบ ไม่มีกระจกปิด

ต่อมา เป็นค่ารังสีอาทิตย์รวมที่ได้จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ยังไม่มีการปิด พบว่าวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมมากที่สุดคือวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดทั้งวันเท่ากับ  $22.58 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$  และวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมน้อยที่สุดคือวันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดทั้งวันเท่ากับ  $17.21 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยค่ารังสีอาทิตย์รวมในวันที่ทำการทดสอบอื่นๆ จะแสดงในรูปที่ 4.8 ต่อไป และจะสังเกตได้ว่าวันที่ทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมสูงกว่า แบบ CL-750D อยู่มาก ซึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ค่ารังสีอาทิตย์รวมสูงสุดยังมีค่าพอๆ กับค่ารังสีอาทิตย์รวมที่ต่ำที่สุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D



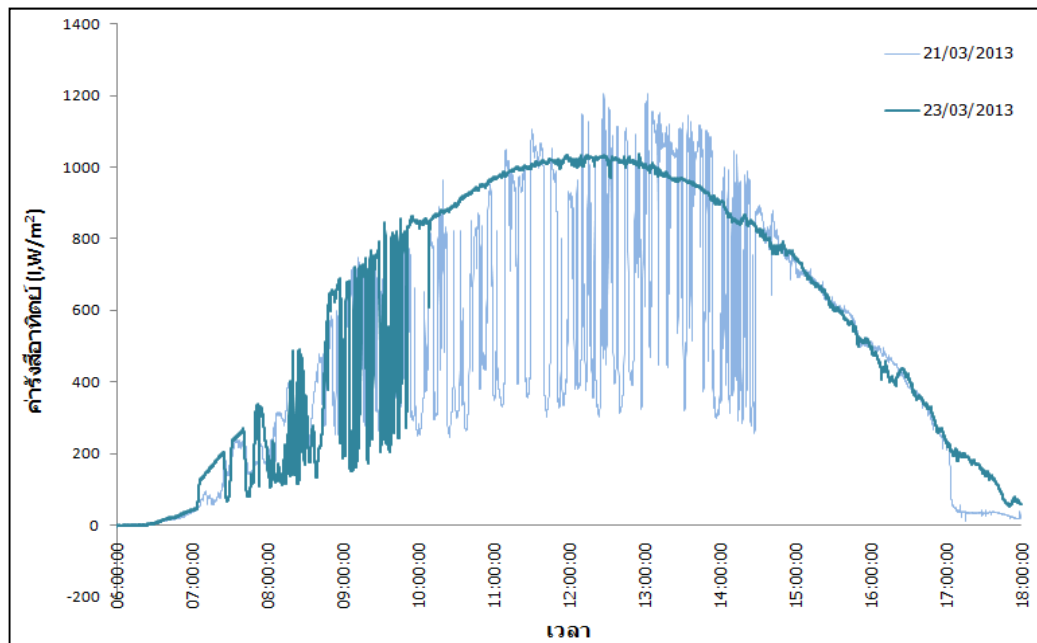
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่น CL-825 แบบไม่มีกระจกปิดของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2556 และวันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2556



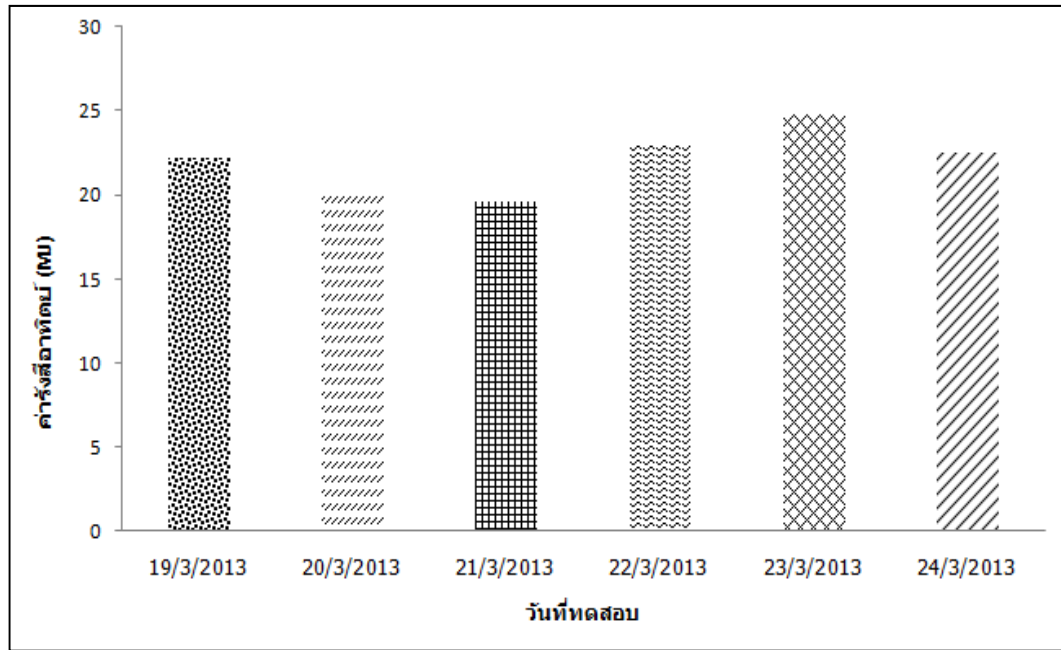
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์รวมและวันที่ทดสอบทั้ง 6 วัน จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่น CL-825 แบบไม่มีกระจกปิด

#### 4.2.1.2 ค่ารังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีกระจกปิด

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดวันซึ่งได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-750D ที่มีกระจกปิด พบว่าวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมมากที่สุดคือวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดวันเท่ากับ  $24.75 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$  และวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมน้อยที่สุดคือวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดวันเท่ากับ  $19.63 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$  โดยค่ารังสีอาทิตย์รวมในวันที่ทำการทดสอบวันอื่นสามารถดูได้จากรูปที่ 4.10

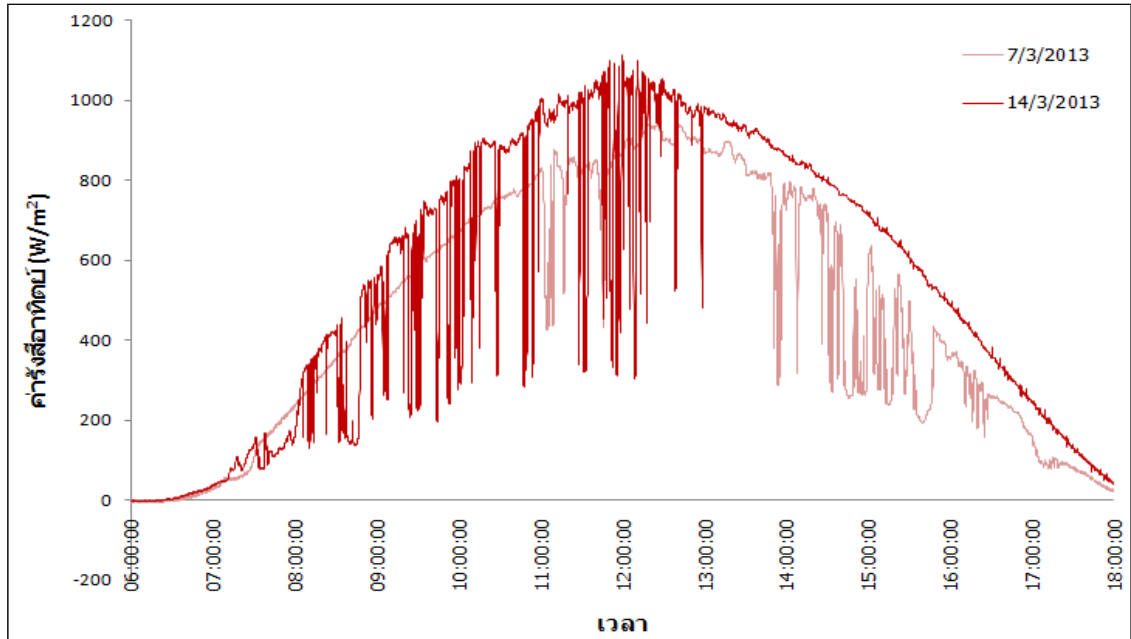


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่น CL-750D แบบมีกระจกปิด ของวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 และวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556

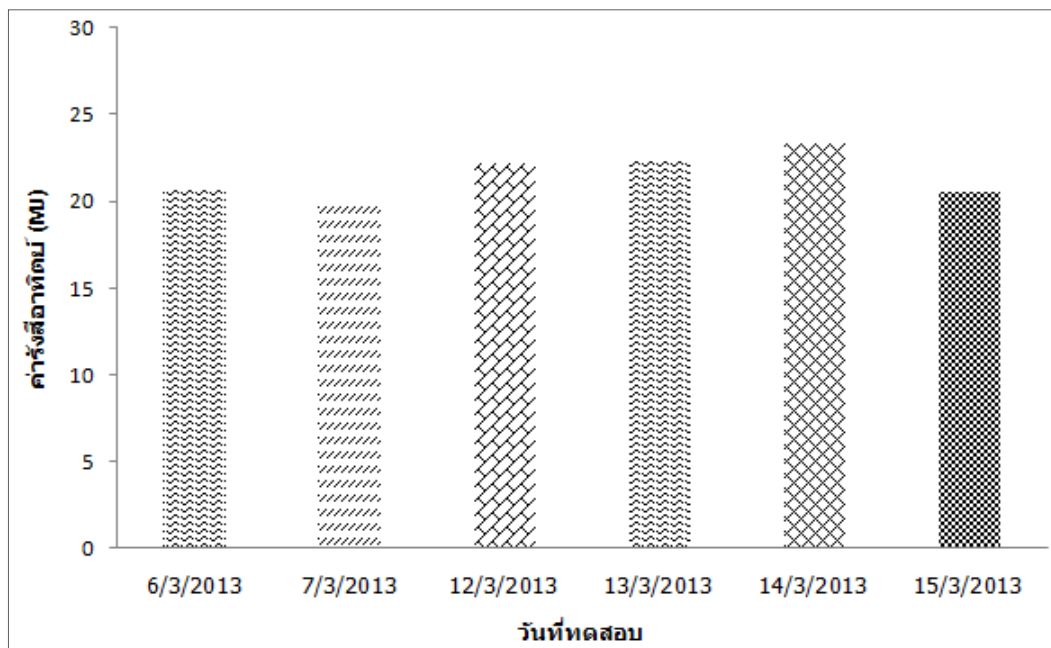


**รูปที่ 4.10** ความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์รวมและวันที่ทดสอบทั้ง 6 วัน จากการทดสอบ  
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่น CL-750D แบบมีกระจกปิด

ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รุ่น CL-825 ที่มีกระจกปิดแล้ว พบว่าวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมมากที่สุดคือวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดวันเท่ากับ  $23.35 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$  และวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมน้อยที่สุดคือวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2556 มีค่ารังสีอาทิตย์รวมตลอดวันเท่ากับ  $19.99 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และค่ารังสีอาทิตย์ในวันที่เหลือจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่นนี้ จะแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่มีกระจกปิดทั้งสองแบบพบว่าค่ารังสีอาทิตย์รวมส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่า  $20 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$  เกือบทั้งหมด และค่ารังสีอาทิตย์รวมที่สูงที่สุดและค่ารังสีอาทิตย์รวมที่ต่ำที่สุดนั้นก็มียค่าที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่น CL-825 แบบมีกระจกปิด ของวันที่ 07 มีนาคม 2556 และวันที่ 14 มีนาคม 2556



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณรังสีอาทิตย์และเวลา จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์รุ่น CL-825 แบบมีกระจกปิดทั้ง 6 วัน

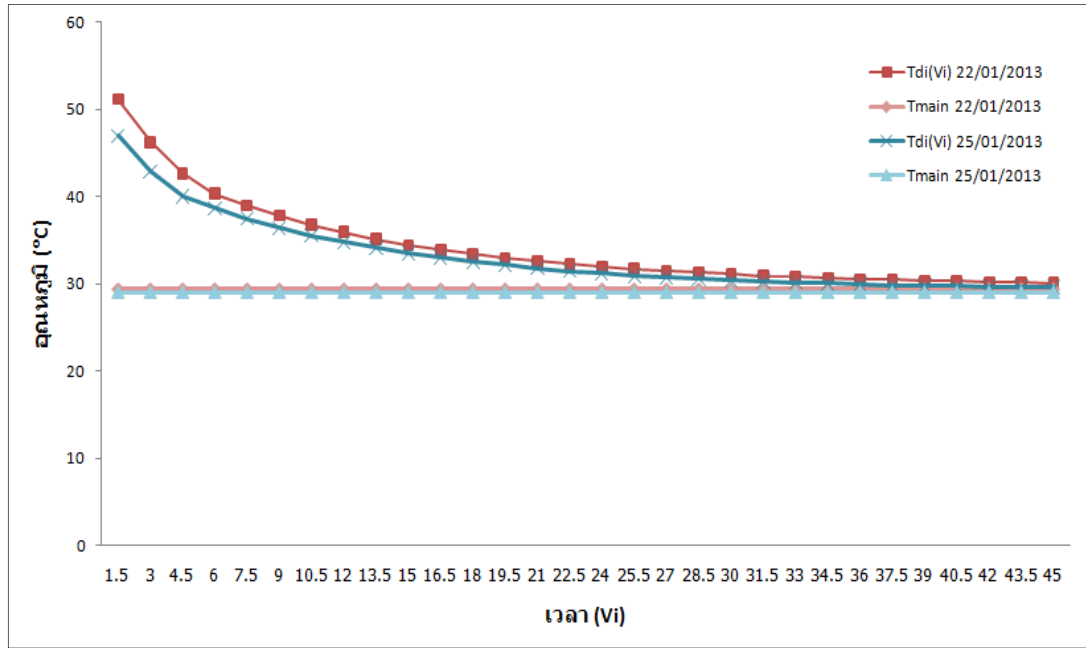
#### 4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบ

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ด้วยมาตรฐาน ISO 9459-2 โดยทำการปล่อยให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันและกำหนดระบบหมุนเวียนน้ำเป็นระบบเทอร์โมไซฟอน จนกระทั่งครบตามเวลาที่ทำการทดสอบคือ 12 ชั่วโมง ก็ทำการคั่นน้ำเพื่อหาค่าความร้อนสะสมตลอดทั้งวันเป็นเวลา 45 นาทีหรือสามเท่าของปริมาณถึงสะสมความร้อน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 1 แบบ จะทำการทดสอบอย่างน้อย 6 วัน อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับในแต่ละวันจะเป็นอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของน้ำที่ปล่อยออกทุกๆ 1 ใน 10 ของปริมาณถึงสะสมความร้อน ( $t_{di}(Vi)$ ) หรือทุกๆ 15 ลิตรที่ทำการคั่นน้ำ และหาความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำโดยเอามาเทียบกับอุณหภูมิน้ำป้อน ( $t_{main}$ )

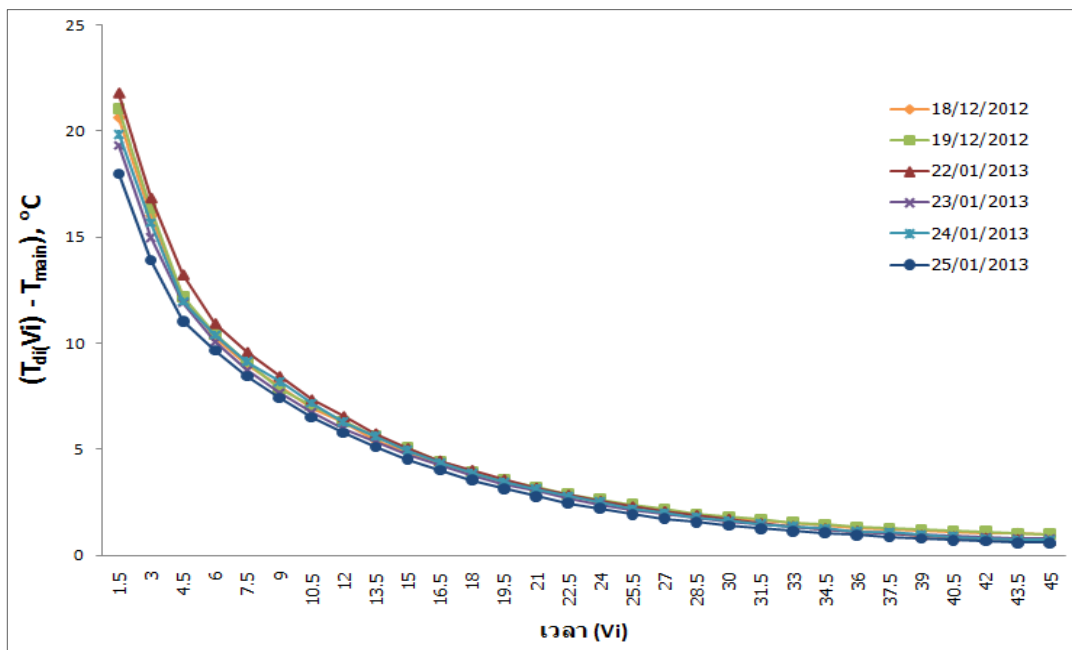
##### 4.2.2.1 ผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่มีกระจกปิด

จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด พบว่า วันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2555 เป็นวันที่ทำอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำสูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิน้ำร้อนเท่ากับ 51.16 °C และมีอุณหภูมิน้ำในถังพักน้ำเท่ากับ 29.4 °C และวันที่มีค่าอุณหภูมิน้ำร้อนต่ำที่สุดเป็นวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2556 โดยมีอุณหภูมิน้ำร้อนเพียง 46.98 °C และมีอุณหภูมิน้ำในถังพักน้ำเท่ากับ 29.0 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และจะเห็นแนวโน้มในการลดลงของอุณหภูมิที่สะสมได้ตลอดทั้งวัน โดยสังเกตจากความชันของกราฟ และสังเกตได้ว่า เมื่อผ่านไปประมาณ 10 นาที หรือน้ำถูกขับออกไป 100 Liters อุณหภูมิของน้ำร้อนจะลดลงต่ำกว่า 35 °C ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำและอุณหภูมิน้ำป้อน จะให้ผลการทดสอบสอดคล้องกัน โดยวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงที่สุดยังคงเป็นวันที่ 22 ธันวาคม 2555 และวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยที่สุดก็คือวันที่ 25 มกราคม 2556

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ทำได้ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด ทำน้ำร้อนสูงที่สุดในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2556 แต่ค่ารังสีอาทิตย์รวมของวันนี้ มีค่าเท่ากับ 16.99 MJ/m<sup>2</sup> day ซึ่งไม่ได้สูงที่สุด โดยวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงที่สุดคือวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำป้อนเป็นอันดับสองรองจากวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2556 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากวันที่ทำการทดสอบมีความเร็วลมในการพัดที่ไม่เท่ากันซึ่งอาจส่งผลต่อการสูญเสียความร้อนได้ เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ยังไม่มีกระจกปิด



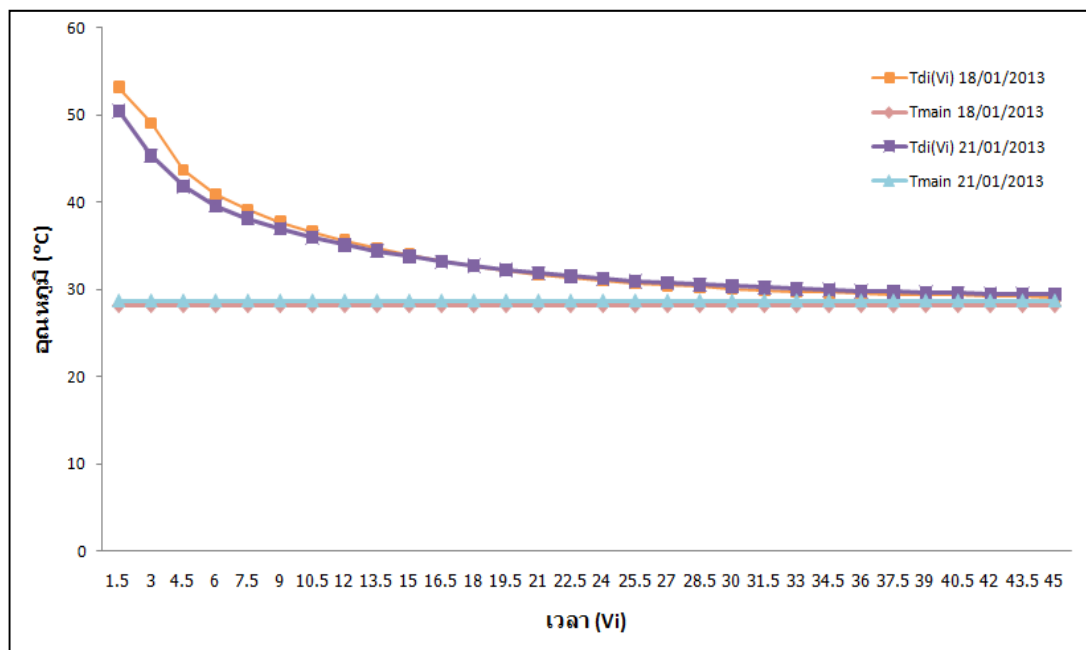
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำและเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด



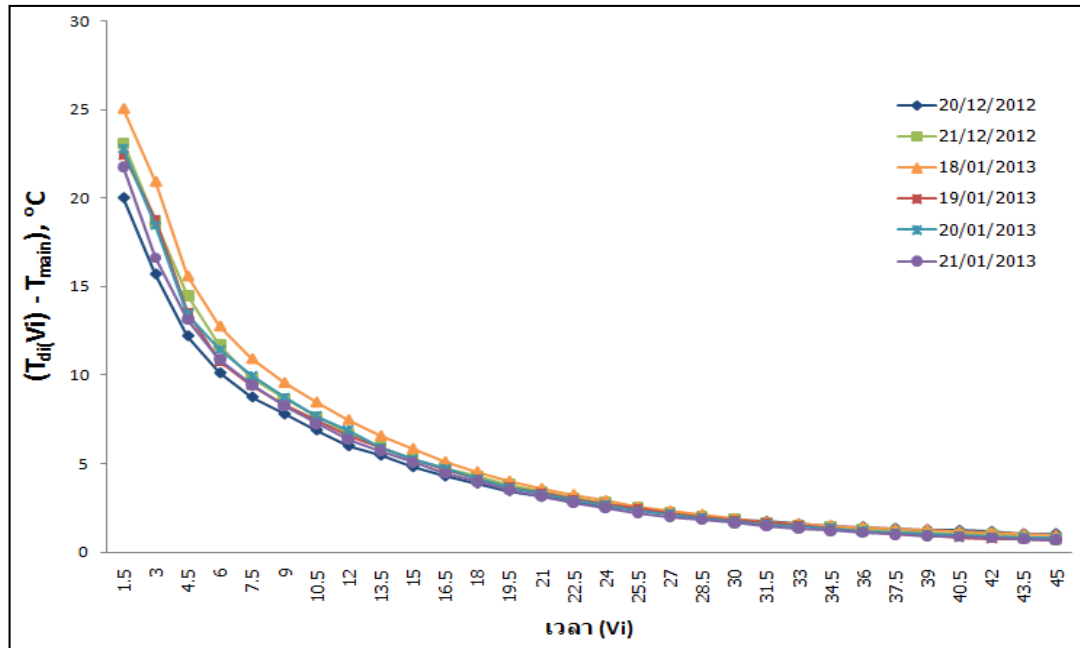
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนและเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นผลของการทดสอบการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด พบว่า วันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2556 เป็นวันที่ทำอุณหภูมิความร้อนได้สูงที่สุด โดยมีอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่สูงที่สุดเท่ากับ 53.16 °C และมีอุณหภูมิน้ำป้อนเท่ากับ 28.1 °C ในขณะที่วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2556 มีอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 50.45 °C โดยผลจากกราฟนี้สอดคล้องกับความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำป้อนดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งวันที่ 18 มกราคม 2556 เป็นวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงที่สุด และวันที่ 21 มกราคม 2556 เป็นวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์รวมและอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณพบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด ทำน้ำร้อนสูงที่สุดได้ในวันเดียวกับวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมสูงที่สุด นั่นก็คือวันที่ 18 มกราคม 2556



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำและเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด

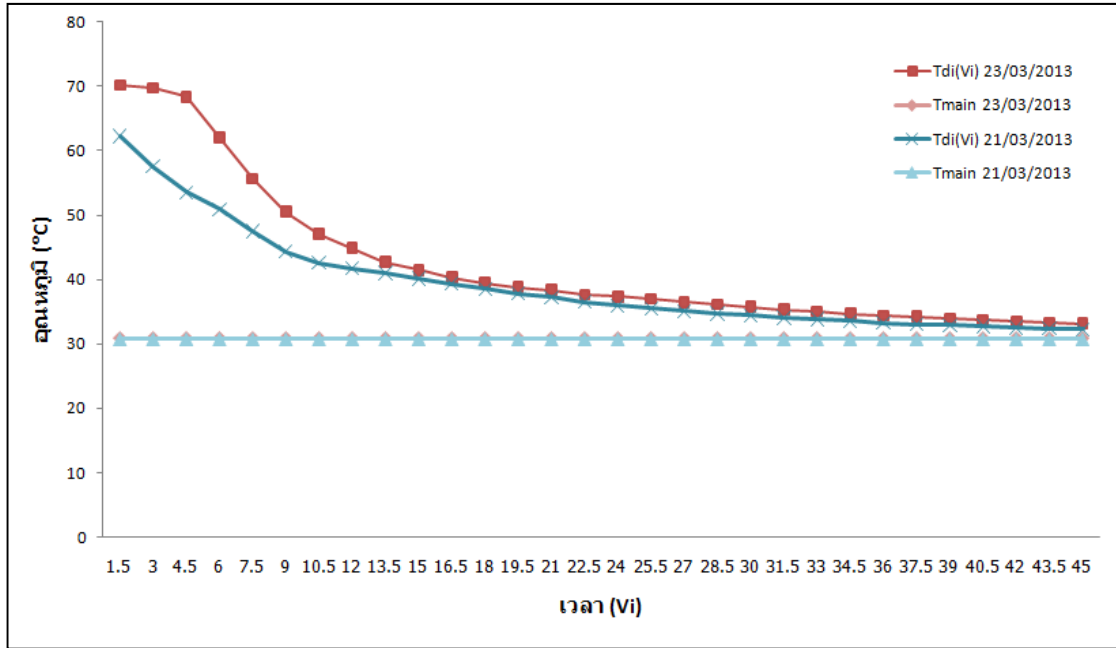


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำกับอุณหภูมิ น้ำป้อนและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด

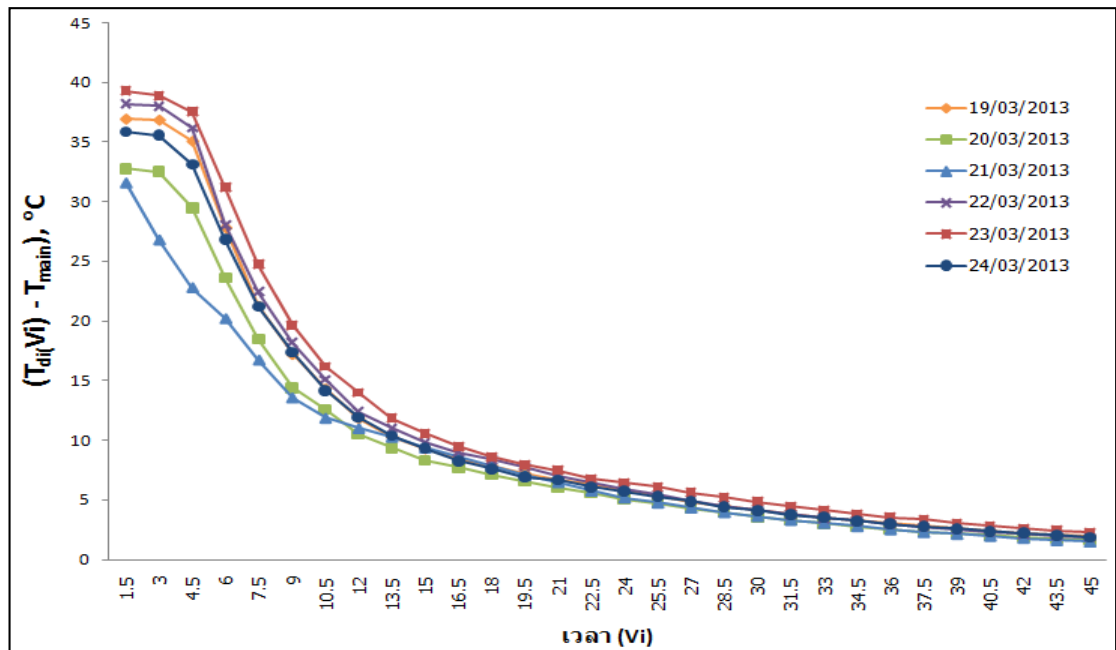
#### 4.2.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีกระจกปิด

จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D พบว่า วันที่ 23 มีนาคม 2556 เป็นวันที่สามารถทำ อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำได้สูงที่สุด เท่ากับ 70 °C สอดคล้องกับความแตกต่างของ อุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำป้อน ที่เป็นวันเดียวกัน และวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 เป็นวันที่มีค่าอุณหภูมิ น้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำต่ำที่สุด โดยมีค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำเท่ากับ 62.3 °C และยังเป็นวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18

โดยวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 เป็นวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงที่สุดของการทดสอบส่งผลให้วันนี้ตัวเก็บ รังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด สามารถทำน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำสูงที่สุดของการ ทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้ และในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 เป็นวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมและ อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำต่ำที่สุดอีกด้วย

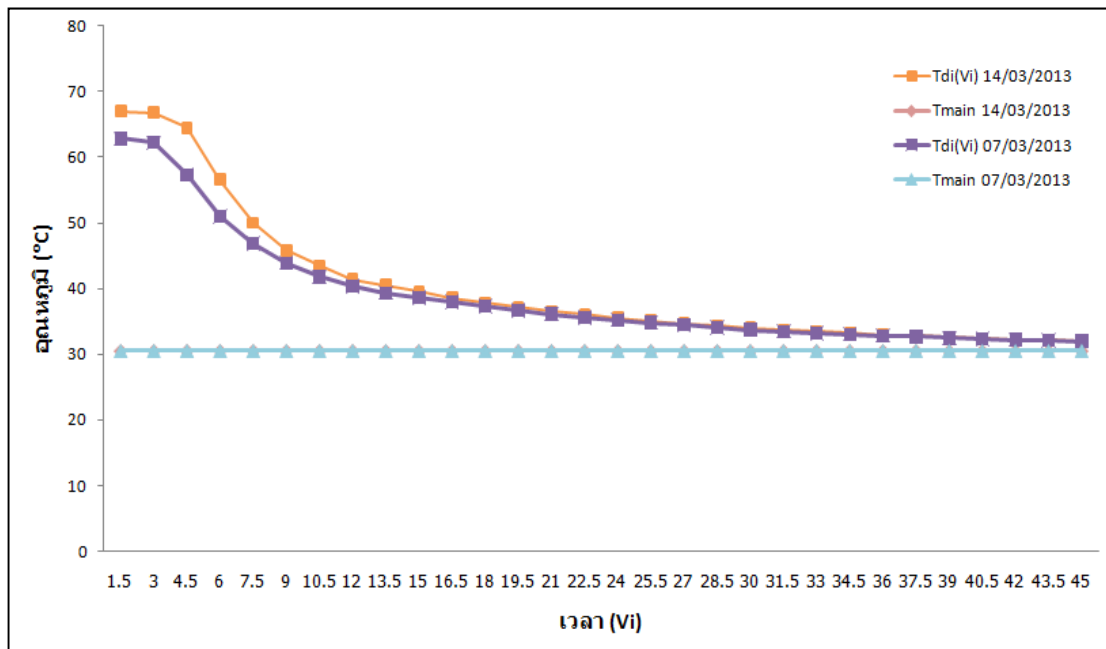


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำและเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด

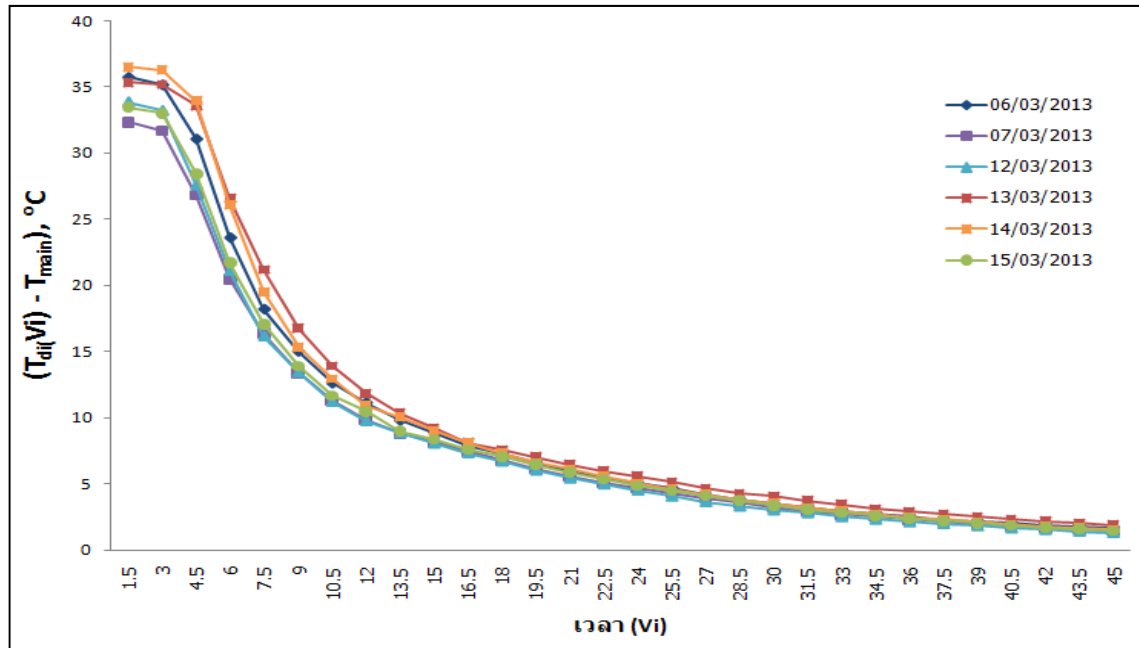


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนและเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด

และจากรูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงถึงการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด พบว่า วันที่ 14 มีนาคม 2556 เป็นวันที่มีค่าอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำสูงที่สุด คือเท่ากับ 67.0 °C และยังมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำป้อนสูงที่สุดอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับวันที่มีค่ารังสีอาทิตย์รวมสูงที่สุด และในวันที่ 7 มีนาคม 2556 เป็นวันที่มีค่าอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยของปริมาณต่ำที่สุด คือเท่ากับ 62.82 °C ซึ่งเป็นวันเดียวกับวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์รวมต่ำที่สุด



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำและเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำกับอุณหภูมิ น้ำป้อนและเวลา ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด

การทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ จากการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีกระจกปิด พบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่มีกระจกปิดถึง 20 °C ซึ่งเป็นผลจากการลดอัตราการสูญเสียความร้อนด้านบน และเพิ่มความสามารถในการสะสมความร้อนได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำและ ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-750D มีความสามารถในการทำน้ำร้อนได้สูงกว่า ทั้งมีกระจกปิดและไม่มีกระจกปิด จากที่กล่าวข้างต้นแล้วว่าค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบ CL-825 จะมีค่าสูงกว่า แบบ CL-750D ทำให้ในช่วงที่ค่ารังสีอาทิตย์ไม่สูง โดยเฉพาะช่วงเย็นที่อุณหภูมิบรรยากาศลดลง ทำให้การสูญเสียความร้อนยิ่งเกิดได้ดีขึ้น ทำให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 จึงมีความสามารถในการสะสมความร้อนของน้ำร้อนได้ต่ำกว่าแบบ CL-750D

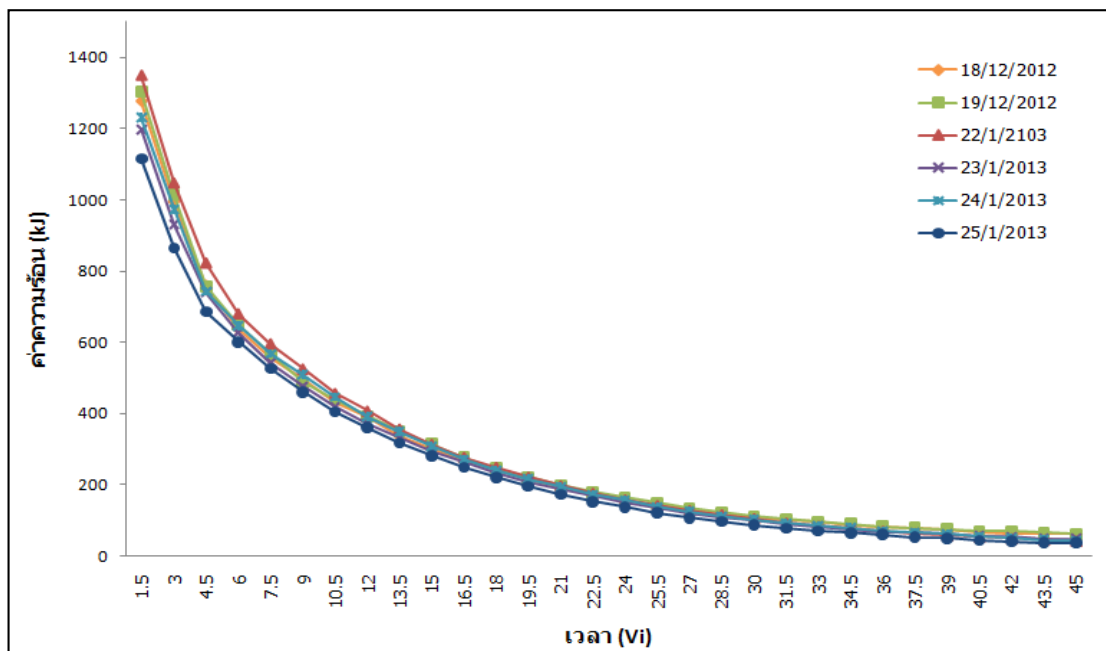
#### 4.2.3 ผลของค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบ

ค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 จะใช้การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ได้รับในแต่ละวันจากสมการ 2.54 โดยจะใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาณน้ำและอุณหภูมิน้ำป้อน

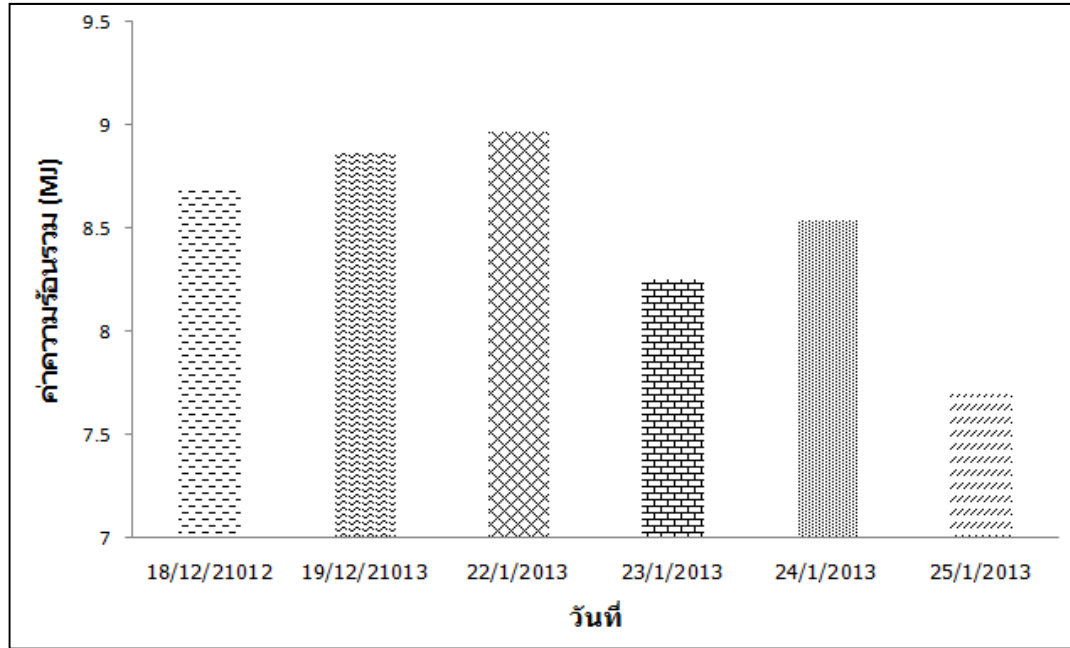
**4.2.3.1 ค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ไม่มีกระจกปิด**

ค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการป้อนน้ำเป็นเวลา 45 นาที และนำข้อมูลมาคิดทุกๆ 15 Liters หรือทุกๆ 1.5 นาทีในอัตราการไหล 10 L/min ซึ่งจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด จากรูปที่ 4.21 พบว่าวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2556 มีค่าความร้อนใน 1.5 นาทีแรกสูงที่สุด และมีค่าความร้อนรวม 45 นาที เท่ากับ 8.96 MJ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดจากการทดสอบทั้ง 6 วัน และวันที่มีค่าความร้อนรวมต่ำที่สุดคือวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2556 ซึ่งมีค่าความร้อนรวมเพียงแค่ 7.69 MJ โดยค่าความร้อนรวมของวันอื่นๆ จะแสดงในรูปที่ 4.22

โดยวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2556 ยังเป็นวันที่มีค่าความร้อนรวมสูงที่สุดเป็นผลจากมีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนที่สูงที่สุดดังรูปที่ 4.14 และอีกด้านหนึ่ง วันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2556 ก็เป็นวันที่มีค่าทั้งสองต่ำที่สุด



**รูปที่ 4.21** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด

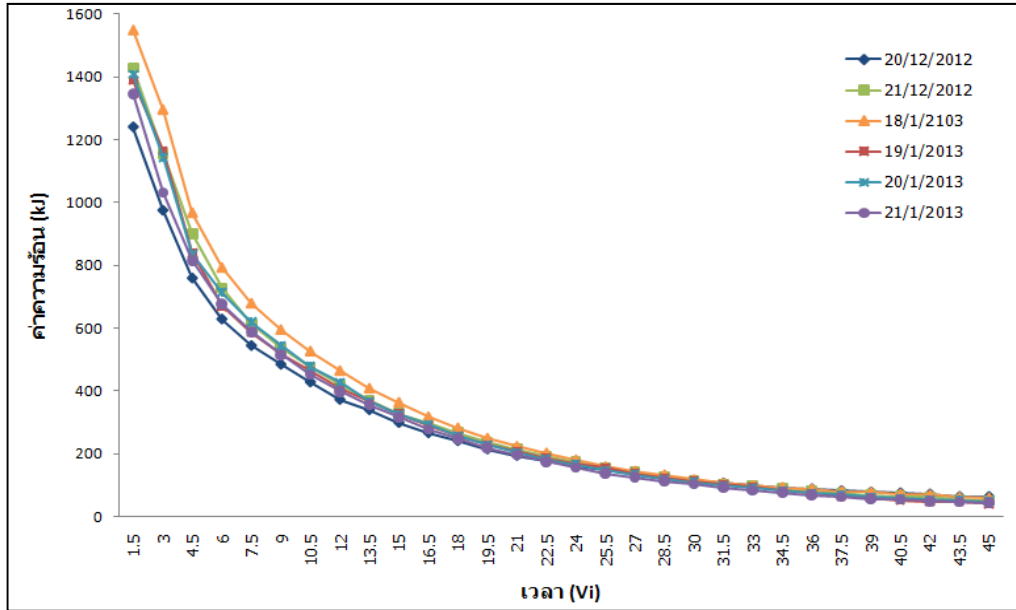


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด

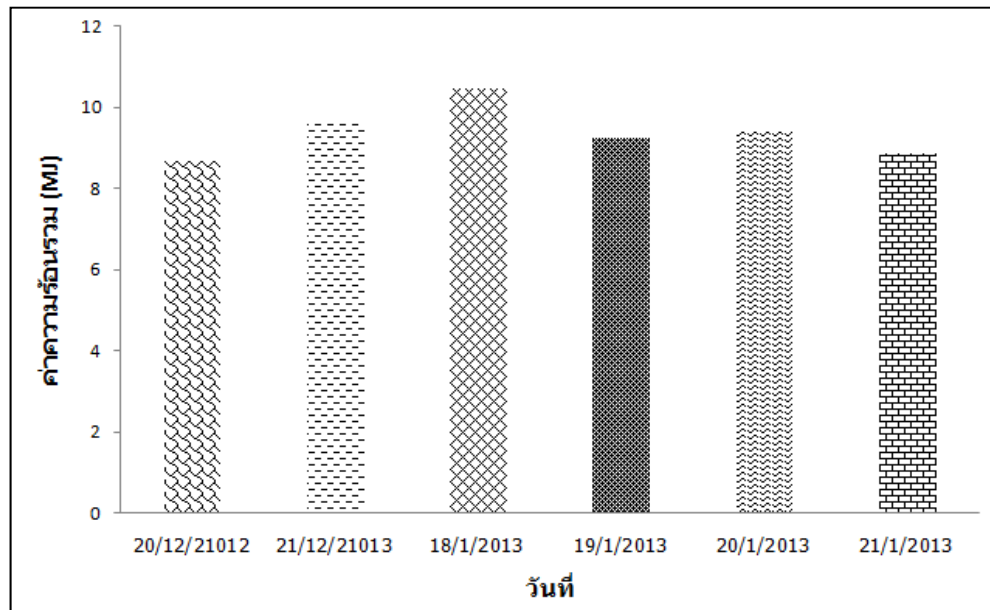
เมื่อนำผลการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิดทั้ง 6 วันมาหาสมการปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนตามสมการ 2.57 ในบทที่ 2 ทำให้ได้สมการปริมาณความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด ดังนี้

$$Q = 0.483036H + 0.231836(t_{a(day)} - t_{min}) + (-0.01556) \quad (4.1)$$

จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจก จากรูปที่ 4.19 พบว่าวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2556 มีค่าความร้อนใน 1.5 นาทีแรกสูงที่สุด และมีค่าความร้อนรวมสูงที่สุด เท่ากับ 10.45 MJ และวันที่มีค่าความร้อนรวมต่ำที่สุดคือวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าความร้อนรวมเท่ากับ 8.66 MJ เช่นเดียวกันกับ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจก พบว่าวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2556 เป็นวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อน และค่าความร้อนรวมสูงที่สุด และวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2555 เป็นวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนและค่าความร้อนรวมต่ำที่สุด



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด



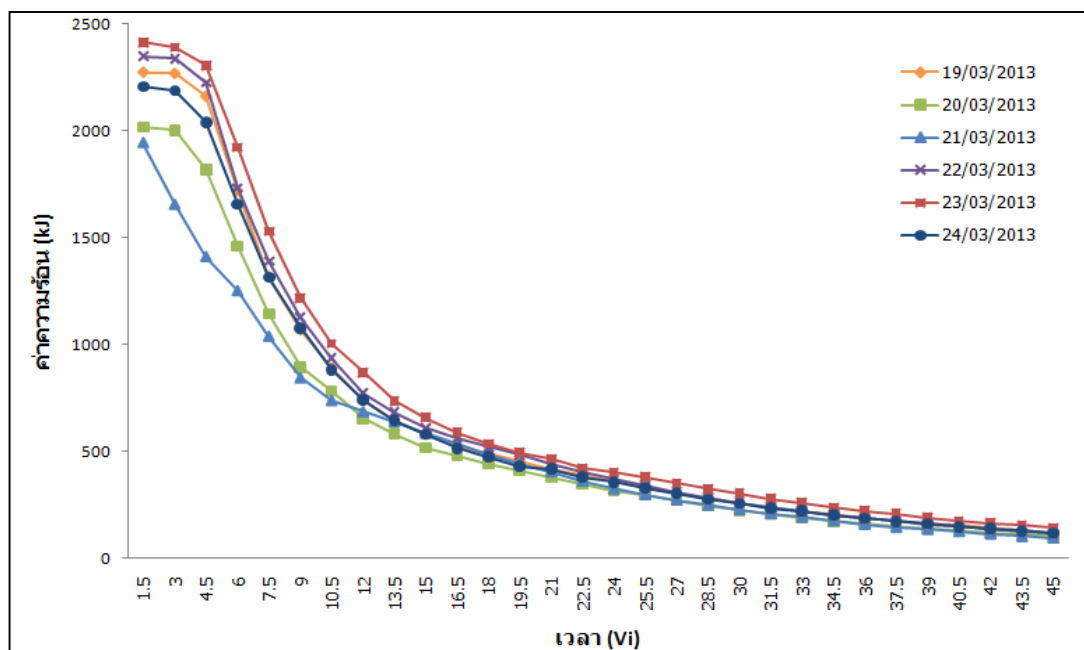
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด

เมื่อนำผลการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิดทั้ง 6 วันมาหาสมการ ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนตามสมการ 2.57 ในบทที่ 2 จะได้สมการปริมาณความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด ดังนี้

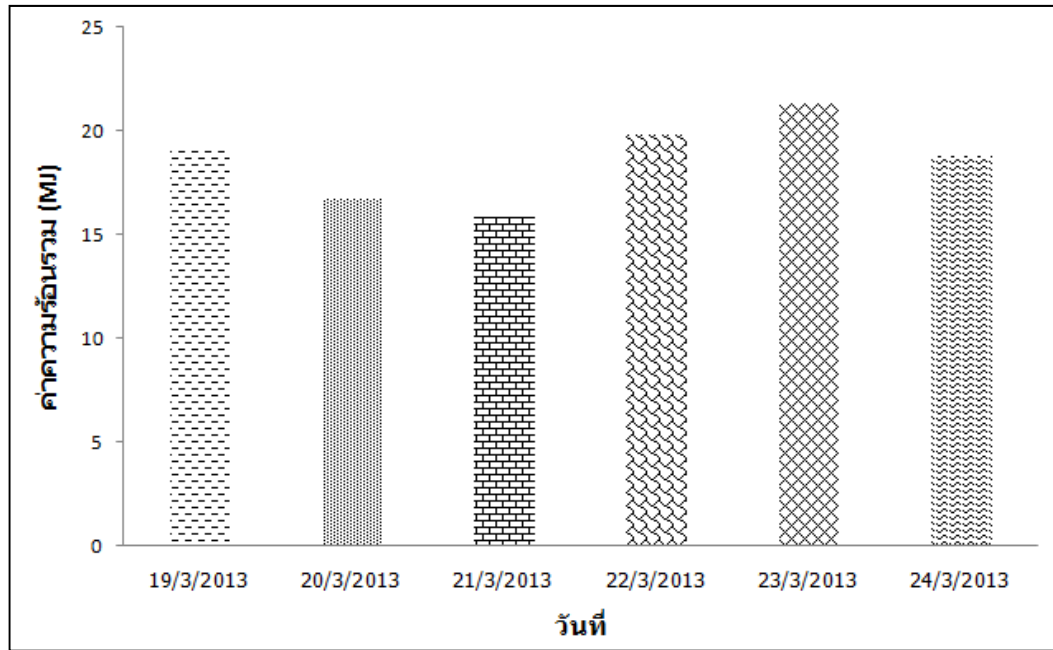
$$Q = 0.461624H + 0.144756(t_{a(day)} - t_{main}) + (-0.03331) \quad (4.2)$$

#### 4.2.3.2 ค่าความร้อนที่ได้จากทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีกระจกปิด

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด พบว่า วันทดสอบในวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 ค่าความร้อนใน 1.5 นาทีแรกและค่าความร้อนรวมสูงสุดที่สุด ซึ่งมีค่าสูงที่สุด โดยค่าความร้อนรวมมีค่าเท่ากับ 21.33 MJ และวันที่มีค่าความร้อนรวมต่ำสุดเป็นวันทดสอบในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 มีค่าความร้อนรวมเท่ากับ 15.81 MJ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และ 4.26 สอดคล้องกับวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ น้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนที่สูงที่สุดและต่ำที่สุด คือวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 และ วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด

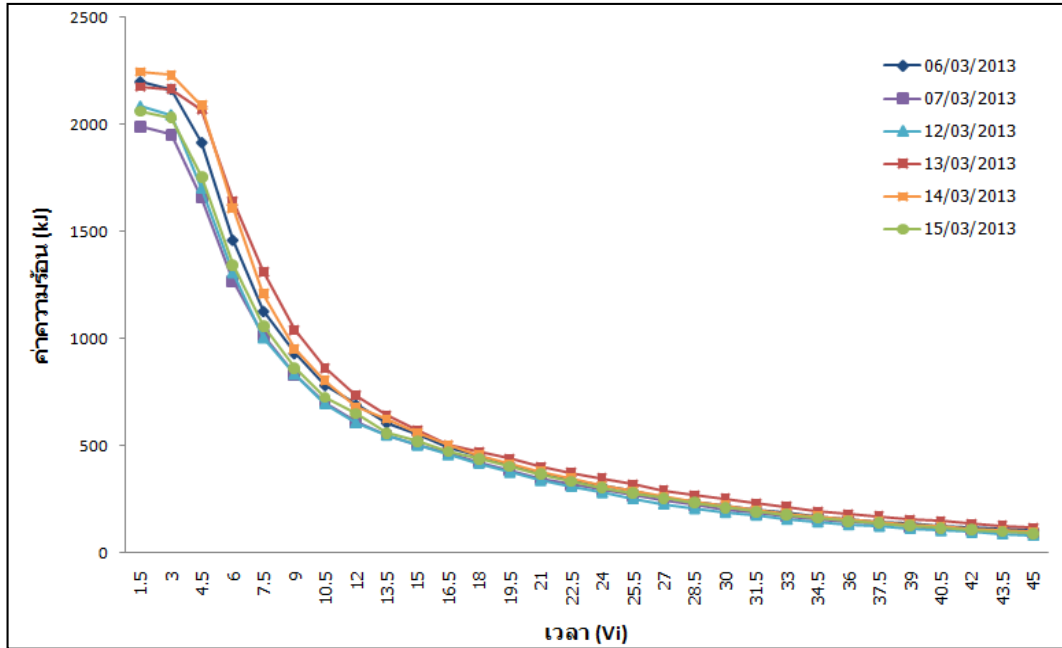


รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด

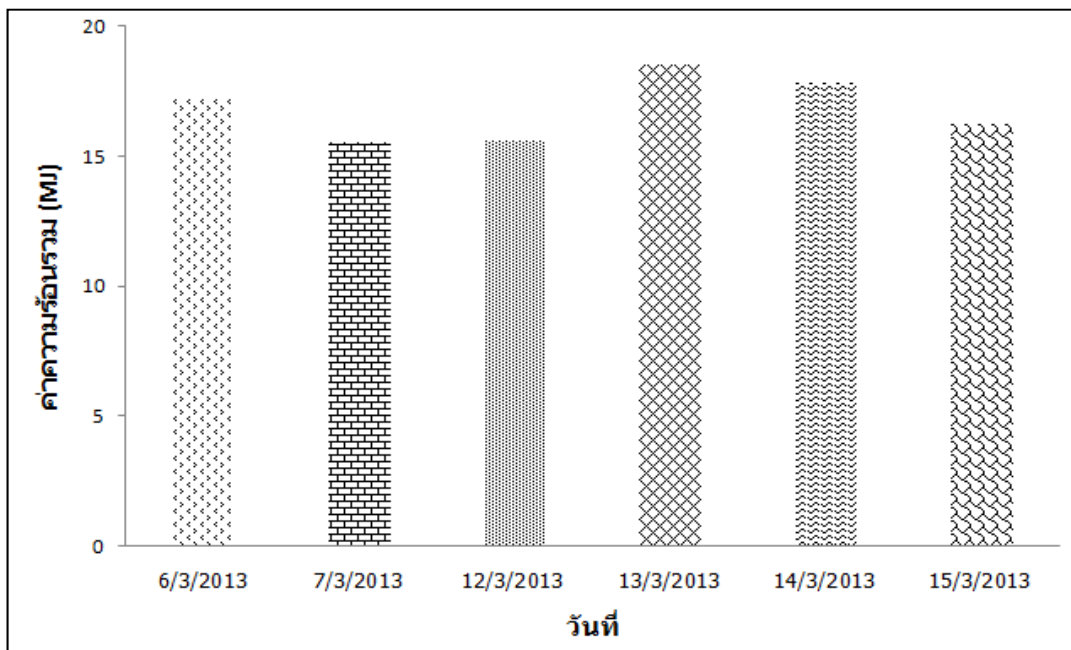
เมื่อนำผลการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิดทั้ง 6 วันมาหาสมการปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนตามสมการ 2.57 ในบทที่ 2 และได้สมการปริมาณความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ดังต่อไปนี้

$$Q = 0.794069H + 0.86986(t_{a(day)} - t_{main}) + (0.042679) \quad (4.3)$$

ในส่วนของการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิดพบว่า วันที่มีค่าความร้อนสูงสุดคือวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งมีค่าความร้อนรวม 18.54 MJ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 และตรงกับวันที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนที่สูงที่สุดและวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2556 ก็คือวันที่มีค่าความร้อนรวมวันและมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยของปริมาตรน้ำกับอุณหภูมิน้ำป้อนที่ต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าความร้อนรวมเท่ากับ 15.55 MJ ในส่วนค่าความร้อนรวมในวันอื่นๆ จะแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของน้ำทุกๆ 15 ลิตรกับเวลาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนรวมที่ได้รับในแต่ละวันกับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด

เมื่อนำผลการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิดทั้ง 6 วันมาหาสมการประมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนตามสมการ 2.57 ในบทที่ 2 และได้สมการประมาณความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด ดังต่อไปนี้

$$Q = 0.790801H + [(-0.14644)(t_{a(day)} - t_{main})] + (-0.03683) \quad (4.4)$$

หาค่าปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ ทั้งมีและไม่มีกระจกปิด โดยกำหนดค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่ารังสีอาทิตย์ } (H) = 18 \text{ MJ}$$

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

$$\text{อุณหภูมิน้ำป้อน } (t_{main}) = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

แล้วนำไปแทนค่าในสมการ 4.1 – 4.4 ได้ค่าปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนตามตารางที่ 4.3

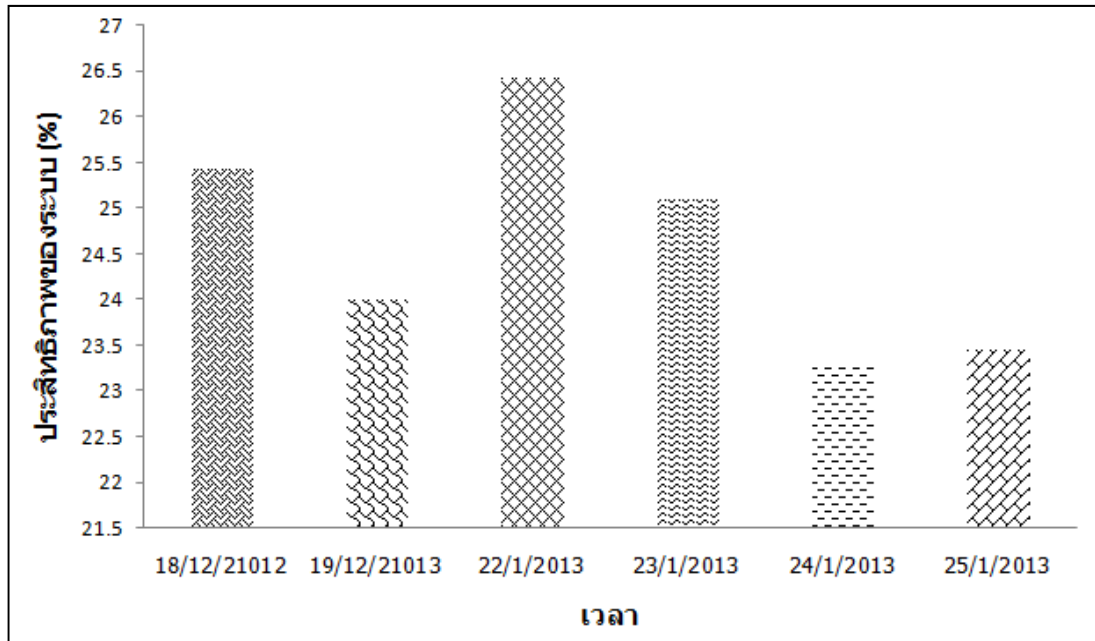
ตารางที่ 4.3 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

ตัวแปร	CL-750D ไม่มีกระจกปิด	CL-825 ไม่มีกระจกปิด	CL-750D มีกระจกปิด	CL-825 มีกระจกปิด
$Q$ (MJ/day)	9.14	8.57	30.76	13.32

#### 4.2.4 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ได้จากการทดสอบ

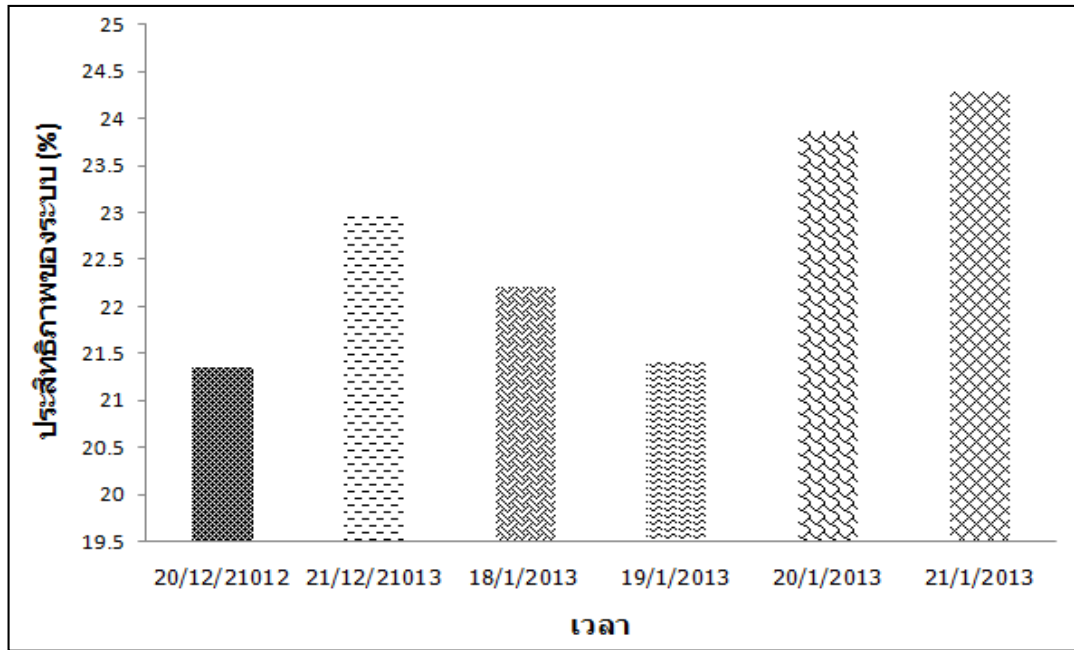
##### 4.2.4.1 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ไม่มีกระจกปิด

การทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 9459-2 ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด เป็นเวลาในการทดสอบทั้งหมด 6 วัน พบว่าวันที่มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2556 โดยมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 26.42 % ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนรวมที่สูงที่สุดที่เป็นวันเดียวกัน และวันที่มีค่าประสิทธิภาพของระบบต่ำที่สุด คือวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2556 มีค่าเท่ากับ 23.26 %



**รูปที่ 4.29** ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่ไม่มีกระจกปิด

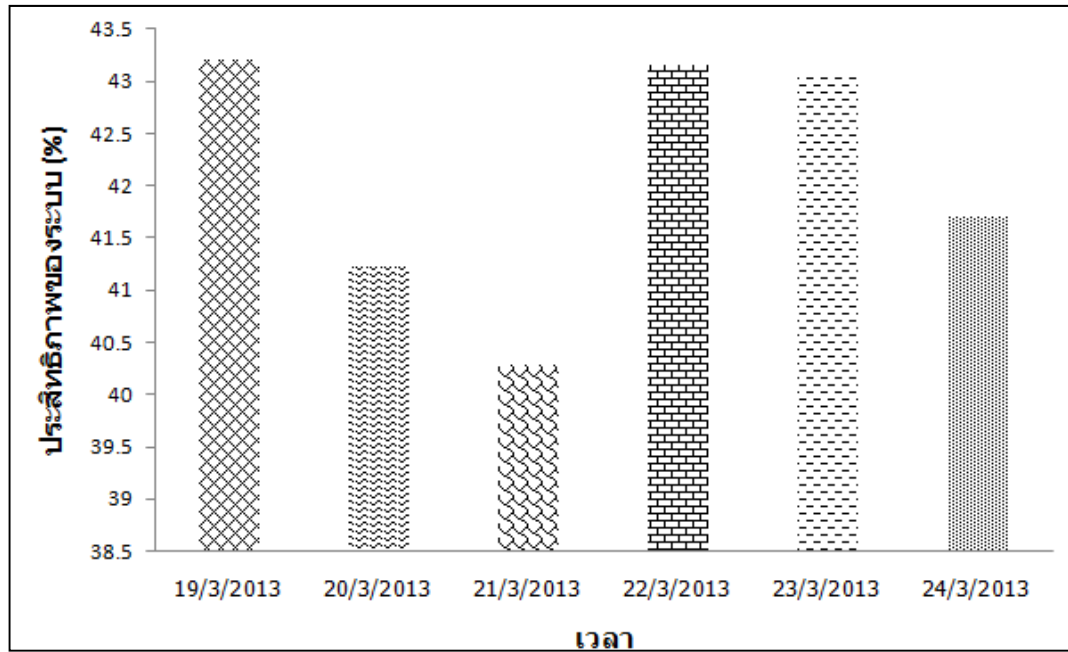
ในส่วนค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 วันที่มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด คือวันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2556 โดยมีค่าเท่ากับ 24.28 % ซึ่งจากผลของค่าความร้อนรวม พบว่า วันที่ไม่ได้เป็นวันที่มีค่าความร้อนรวมสูงสุด แต่กลับมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเป็นผลจาก ค่ารังสีอาทิตย์ที่ต่ำแต่ยังสามารถสะสมความร้อนและทำอุณหภูมิน้ำร้อนได้ดี จึงมีค่าประสิทธิภาพที่สูงขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกัน วันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2556 ที่มีค่าความร้อนสูงสุด แต่ก็มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดด้วย เมื่อพิจารณาถึงสมการการหาค่าประสิทธิภาพ ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนที่สะสมได้ตลอดวันกับพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์คูณกับค่ารังสีอาทิตย์ ซึ่งถ้าค่ารังสีอาทิตย์สูงแต่กลับมีความสามารถในการสะสมความร้อนที่ต่ำจึงทำให้ได้ค่าความร้อนที่ต่ำ และค่าประสิทธิภาพของระบบก็จะต่ำลงไปด้วย



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่ไม่มีกระจกปิด

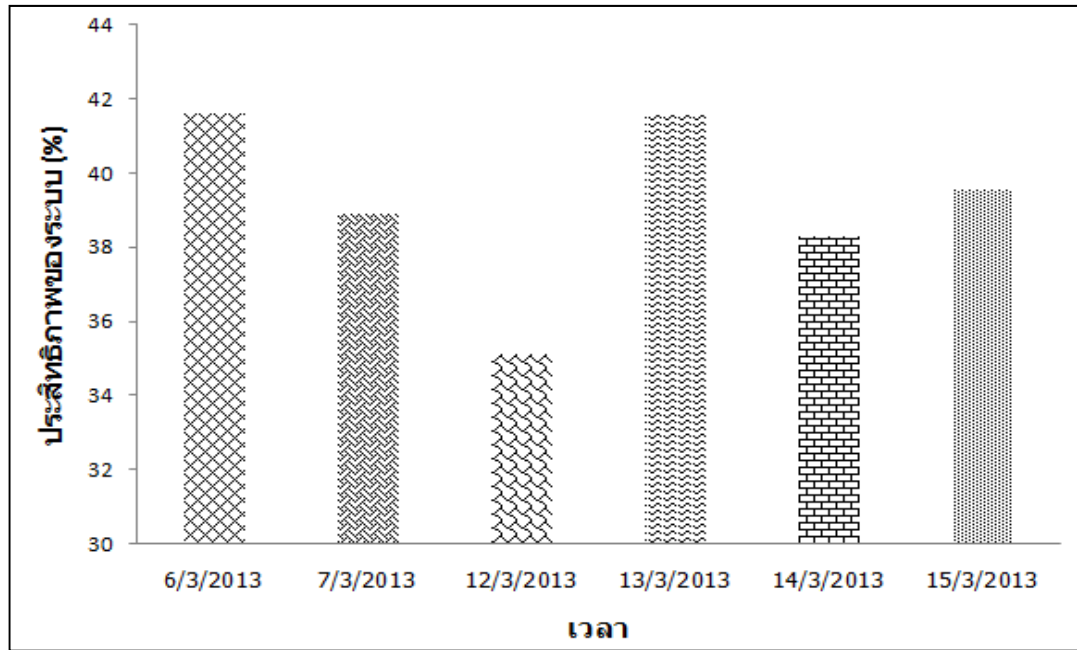
#### 4.2.4.2 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีกระจกปิด

จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด พบว่าค่าประสิทธิภาพสูงกว่าตอนที่ไม่มีกระจกปิดอย่างเห็นได้ชัด โดยวันที่มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดคือวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยมีค่าเท่ากับ 43.20 % ซึ่งใกล้เคียงกับวันที่ 22 และ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งทั้งสามวันมีค่าความร้อนรวมและค่ารังสีอาทิตย์ที่ใกล้เคียงกันจึงได้ผลตามรูปที่ 4.31 และวันที่มีค่าประสิทธิภาพของระบบต่ำที่สุดคือวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยมีค่าเท่ากับ 40.27 %



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิด

จากรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นถึงค่าประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด โดยวันที่มีค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดคือวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยมีค่าเท่ากับ 41.6 % และ 41.54 % ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองวันเป็นวันที่มีค่าความร้อนที่สูงใกล้เคียงกัน และสูงกว่าวันอื่นๆ และค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดคือวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยมีค่าเท่ากับ 35.12 % ซึ่งเป็นวันที่มีค่าความร้อนรวมต่ำที่สุดอีกด้วย



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์กับวันที่ทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด

เมื่อได้ค่าความร้อนจากการคำนวณสมการ 4.1 – 4.4 เราสามารถนำมาหาค่าปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ (m) จากสมการที่ 2.59 และ หาความสามารถในการผลิตน้ำร้อน ( $\eta_m$ ) จากสมการที่ 2.60 ในบทที่ 2 โดยคิดอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้เท่ากับ 60 °C โดยทั้งสองค่าแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ที่มีกระจกปิดสามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ได้เท่ากับ 133.75 Liters ซึ่งยังต่ำกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาดที่ผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ได้เท่ากับ 151.54 Liters โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D ผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ได้เท่ากับ 102.83 Liters ความสามารถในการผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาดมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ แบบ CL-750D และสุดท้ายคือแบบ CL-825 โดยมีค่าเท่ากับ 75.77, 66.88 และ 51.41 Liters/m<sup>2</sup>

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความร้อนที่ได้รับในแต่ละวัน ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ (m) และความสามารถในการผลิตน้ำร้อน ( $\eta_m$ ) ที่อุณหภูมิ 60 °C ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด

ตัวแปร	CL-750D ไม่มีกระจกปิด	CL-825 ไม่มีกระจกปิด	CL-750D มีกระจกปิด	CL-825 มีกระจกปิด	ทั่วไป
$Q$ (MJ/day)	9.11	8.57	17.36	13.35	19.68
m (Liters)	75.47	70.84	133.75	102.83	151.54
$\eta_m$ (Liters/m <sup>2</sup> )	36.39	35.42	66.88	51.41	75.77

หมายเหตุ: ทั่วไปหมายถึงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั่วไปโดยอ้างอิงราคาจากรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด

### 4.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลเกี่ยวกับทางเศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D และ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีกระจกปิด โดยใช้วิธีเปรียบเทียบเงินลงทุนเทียบรายปีเป็นหลัก และเปรียบเทียบค่าทางเศรษฐศาสตร์แบบระยะเวลาคืนทุน ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับเงินลงทุนดำเนินการขั้นแรกของระบบ พิจารณาจากราคาวัสดุ ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน ค่าซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายอื่นๆ มีดังนี้

1. เงินทุนดำเนินการขั้นแรกของระบบ (P) พิจารณาจากราคาวัสดุ และค่าใช้จ่ายในการประกอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 4.5
2. มูลค่าซากของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้ว (S) คิดเป็น 10% ของเงินลงทุนเบื้องต้น
3. อัตราดอกเบี้ยปีต่อปี (i) กำหนดให้เป็น 7.5% ต่อปี
4. อายุการใช้งานระบบ (n) กำหนดให้เป็น 10 ปี
5. ปริมาณความร้อนที่ระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ผลิตได้ต่อวันเมื่อ

$$\text{ค่ารังสีอาทิตย์ (H)} = 18 \text{ MJ}$$

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

$$\text{อุณหภูมิน้ำป้อน (} t_{\text{main}} \text{)} = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6. ค่าใช้สอยและค่าซ่อมบำรุง ( $\alpha$ ) เป็นค่าซ่อมบำรุงประจำปีประมาณ 3% ต่อระบบต่อปี

ตารางที่ 4.5 ราคาต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ

ราคา อุปกรณ์ (฿)	ชนิดตัวรับรังสี CL-750D	CL-825	ทั่วไป
แผ่นดูดกลืนรังสี (แผ่นโลหะ)	400	390	2088
ท่อหลัก (อลูมิเนียม)	200	200	2800
ท่อร่วม (อลูมิเนียม)	320	250	1500
ฉนวน (พียูโฟม)	540	540	-
ค่างานประกอบ			
- ค่าริเวท	300	200	-
- ค่าเชื่อมท่อหลักและท่อร่วม	780	600	-
สี (สีพ่นดำด้าน)	300	300	-
ระบบท่อน้ำ วาล์ว และข้อต่อ	150	150	600
กาวอุดรอยรั่ว	70	70	100
ฉนวนแอโรเทป	75	75	-
วัสดุปลูกย่อย	-	-	1092
<b>รวม</b>	<b>3135</b>	<b>2775</b>	<b>8180</b>
กรอบ	800	800	3000
กระจก	600	600	760
ฉนวนกันความร้อนด้านล่าง	200	200	271
<b>รวม</b>	<b>4735</b>	<b>4375</b>	<b>12211</b>
ถังเก็บน้ำร้อน	15000	15000	18500
ค่าแรงในการสร้างถัง	2000	2000	5000
<b>รวมระบบทั้งหมด</b>	<b>21730</b>	<b>21375</b>	<b>35711</b>

หมายเหตุ: ข้อความในวงเล็บแสดงถึงวัสดุที่ใช้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D และ CL-825 และทั่วไปหมายถึงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั่วไปโดยอ้างอิงราคาจากรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด โดยเปลี่ยนรายละเอียดบางส่วนตามเห็นสมควร

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินเงินลงทุนเทียบเท่ารายปี

รายการ	CL-750D	CL-825	ทั่วไป
1. เงินลงทุนเบื้องต้น (฿)	21735	21375	35711
2. อัตราดอกเบี้ย <sup>(1)</sup> (%)	7.5	7.5	7.5
3. มูลค่าซากวัสดุเมื่อครบอายุ 10 ปี คิดเป็น 10% <sup>(2)</sup> ของเงินลงทุนเบื้องต้น, s (฿)	2173.5	2137.5	3571.1
4. ค่าใช้สอยและซ่อมบำรุง คิดเป็น 3% <sup>(3)</sup> ของเงินลงทุนเบื้องต้น, $\alpha$ (฿/year)	652.05	641.25	1071.33
5. เงินลงทุนเทียบเท่ารายปี, $C_u$ (฿/year)	3664.89	3604.19	6021.49
6. อุณหภูมิน้ำใช้งาน (°C)	60	60	60
7. ประสิทธิภาพของระบบ (%)	54.31	38.6	76.61
8. ความร้อนที่ผลิตได้ (MJ/year)	6336.708	4871.483	7183.2
9. พลังงานที่ผลิตได้ (kW.hr/year)	1760.20	1353.19	1995.3

หมายเหตุ: ทั่วไปหมายถึงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั่วไป โดยอ้างอิงราคาจากรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด  
ที่มา: <sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup> และ <sup>(3)</sup> (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D  
ที่อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 °C

อายุการใช้งาน	CRF	P(CRF)	SFF	S(SFF)	รายจ่ายต่อปี (฿/year)	ต้นทุนการผลิต ความร้อนต่อหน่วย (฿/kW.hr)
5	0.25	5372.13	0.17	374.20	5649.98	3.21
10	0.15	3166.48	0.07	153.64	3664.90	2.08
15	0.11	2462.30	0.04	83.22	3031.13	1.72
20	0.10	2132.03	0.02	50.19	2733.89	1.55
25	0.09	1949.86	0.01	31.97	2569.94	1.46

**ตารางที่ 4.8** การเปรียบเทียบอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825  
ที่อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 °C

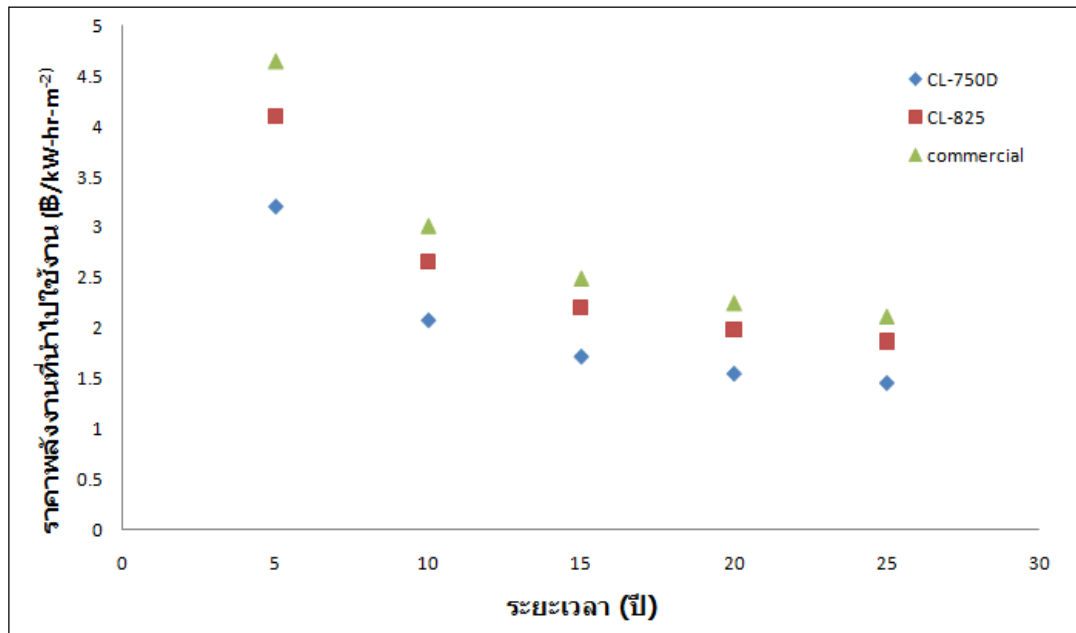
อายุการใช้งาน	CRF	P(CRF)	SFF	S(SFF)	รายจ่ายต่อปี (฿/year)	ต้นทุนการผลิต ความร้อนต่อหน่วย (฿/kW.hr)
5	0.25	5283.15	0.17	368.00	5556.39	4.11
10	0.15	3114.04	0.07	151.09	3604.20	2.66
15	0.11	2421.51	0.04	81.84	2980.93	2.20
20	0.10	2096.72	0.02	49.36	2688.61	1.99
25	0.09	1917.57	0.01	31.44	2527.37	1.87

**ตารางที่ 4.9** การเปรียบเทียบอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาด  
ที่อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 °C

อายุการใช้งาน	CRF	P(CRF)	SFF	S(SFF)	รายจ่ายต่อปี (฿/year)	ต้นทุนการผลิต ความร้อนต่อหน่วย (฿/kW.hr)
5	0.25	8826.50	0.17	614.82	9283.01	4.65
10	0.15	5202.59	0.07	252.43	6021.49	3.02
15	0.11	4045.60	0.04	136.73	4980.20	2.50
20	0.10	3502.97	0.02	82.46	4491.84	2.25
25	0.09	3203.66	0.01	52.53	4222.45	2.12

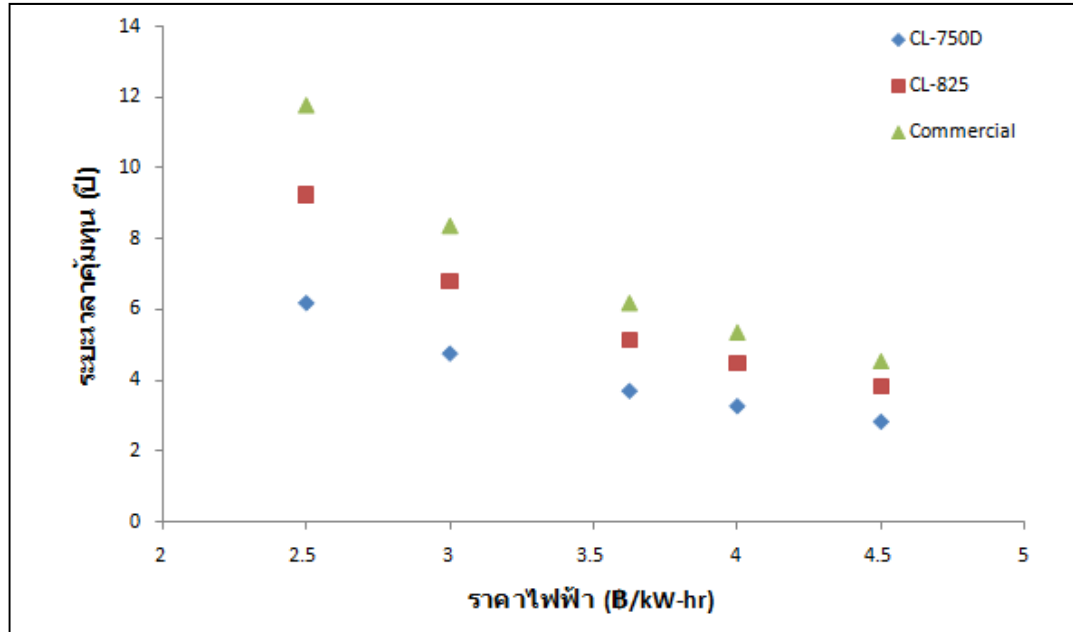
จากตารางที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D, แบบ CL-825 และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาดตามลำดับ โดยคิดที่อุณหภูมิน้ำใช้งานเท่ากับ 60 °C พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาดมีราคาค่าใช้จ่ายต่อปีที่สูงที่สุด คือเท่ากับ 6021.49 ฿/year เมื่อเปรียบเทียบกับอายุการใช้งาน 10 ปี รองลงมาเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีราคาค่าใช้จ่ายต่อปีเท่ากับ 3664.90 ฿/year และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 มีราคาค่าใช้จ่ายต่อปีถูกที่สุด เท่ากับ 3604.20 ฿/year และจากราคาต้นทุนการผลิตความร้อนพบว่า ที่อายุการใช้งาน 5 ปี ราคาต้นทุนการผลิตความร้อนนั้นมีราคาที่แพงกว่าราคาไฟฟ้าในประเทศไทย ซึ่งหากเป็นเช่นนี้จะ

พบว่า ยังไม่มีความคุ้มทุนพอในการนำไปใช้งาน แต่ถ้าหากมาพิจารณาที่อายุการใช้งาน 10 ปี พบว่ามีราคาต้นทุนการผลิตความร้อนที่ต่ำกว่าราคาไฟฟ้าในประเทศไทย ซึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีต้นทุนการผลิตความร้อนถูกที่สุด สอดคล้องกับค่าพลังงานที่ผลิตได้สูงที่สุด รองลงคือแบบ CL-825 และสุดท้ายเป็นแบบที่ขายตามท้องตลาด โดยมีค่าเท่ากับ 2.08, 2.66 และ 3.02  $\text{฿/kW-hr}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาพลังงานที่นำไปใช้งาน ณ อุณหภูมิน้ำใช้งาน 60 °C กับระยะเวลาการใช้งานของระบบที่อัตราดอกเบี้ย 7.5%

และจากรูปที่ 4.34 จากการคำนวณหาระยะเวลาคูณพบพบว่า เมื่อคิดที่ราคาไฟฟ้า 3.6246  $\text{฿/kW-hr}$  ซึ่งเป็นราคาไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง และเปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 90% พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-750D มีระยะเวลาคูณเป็น 3 ปี 8 เดือน 4 วัน ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ CL-825 ที่มีระยะเวลาคูณเป็น 5 ปี 1 เดือน 20 วัน และเมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ขายตามท้องตลาดพบว่า มีระยะเวลาคูณเท่ากับ 6 ปี 2 เดือน 12 วันและเมื่อคิดที่ราคาไฟฟ้าต่างๆ จะได้ผลการคำนวณตามรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาคู่มือทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ กับ ราคาพลังงานไฟฟ้าค่าต่างๆ