

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า ได้แก่ จำนวนแผ่นกระจกรับแสง (Glazing) และขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange) โดยทดลองเครื่องต้นแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าตั้งแต่วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2552 – 11 มีนาคม 2552 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 – 4.13 โดยใช้ปริมาณ 100 ลิตร ทำน้ำร้อนตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น.

ตารางที่ 4.1

ผลการทดลองที่ 1 ของวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2552

Factor	Heat exchanger Glazing	0.16 m ² Single
เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิบรรยากาศ
8:00	32.0	28.0
9:00	33.0	28.0
10:00	34.0	30.0
11:00	35.0	34.0
12:00	37.0	34.0
13:00	40.0	35.0
14:00	42.0	37.0
15:00	43.0	36.0
16:00	44.0	36.0
17:00	44.0	36.0

ตารางที่ 4.2

ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2552

Factor	Heat exchanger Glazing	0.16 m ² Single		
เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	32.0	28.0	31	30
9:00	33.0	30.0	33	31
10:00	34.0	32.0	36	33
11:00	36.0	34.0	38	35
12:00	38.0	36.0	42	36
13:00	40.0	38.0	43	37
14:00	42.0	37.0	48	39
15:00	44.0	37.0	48	41
16:00	44.0	36.0	43	39
17:00	44.0	35.0	39	35

วันที่ 26 และ 27 กุมภาพันธ์ 2552 เปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 0.54 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.3

ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2552

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	32.0	32.0	28.0	31	32
9:00	32.0	32.0	30.0	44	33
10:00	34.0	34.0	32.0	55	34
11:00	36.0	36.0	34.0	60	37
12:00	38.0	38.0	36.0	60	39
13:00	40.0	40.0	36.0	60	40
14:00	41.0	41.0	36.0	62	42
15:00	42.4	42.6	36.0	60	43
16:00	43.3	43.5	35.0	58	43
17:00	43.5	43.6	35.0	53	43

วันที่ 1 มีนาคม 2552 ทดลองไม่ได้เนื่องจากฝนตก

ตารางที่ 4.4

ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 2 มีนาคม 2552

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	31.1	31.1	27.9	28	30
9:00	31.7	31.9	29.0	45	32
10:00	32.7	32.9	29.8	51	33
11:00	34.6	35.0	33.0	60	36
12:00	37.1	37.5	33.5	63	39
13:00	39.6	40.0	33.0	66	41
14:00	42.2	42.6	35.2	66	43
15:00	43.7	44.0	35.0	62	44
16:00	44.8	45.0	32.0	61	45
17:00	45.5	45.5	31.0	55	46

ตารางที่ 4.5
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 3 มีนาคม 2552

Factor Heat exchanger 0.54 m²
Glazing Single

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	32.1	32.1	29.0	28	30
9:00	32.3	32.4	27.3	45	32
10:00	33.8	34.1	31.2	56	35
11:00	35.4	35.4	31.2	53	36
12:00	36.4	36.6	30.1	53	36
13:00	36.6	36.8	32.0	53	37
14:00	37.5	37.8	30.0	61	39
15:00	39.8	40.1	33.5	58	41
16:00	40.5	40.6	34.5	54	41
17:00	41.7	41.7	34.0	52	42

ตารางที่ 4.6
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 4 มีนาคม 2552

Factor Heat exchanger 0.54 m²
Glazing Double

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	31.0	31.0	27.9	28	30
9:00	31.3	31.5	29.6	45	32
10:00	33.1	33.5	28.8	57	34
11:00	35.3	35.8	32.8	62	37
12:00	37.8	38.3	35.0	64	40
13:00	40.0	40.5	33.0	65	42
14:00	42.7	43.2	35.6	67	44
15:00	45.0	45.3	36.5	67	46
16:00	46.5	46.7	36.8	65	47
17:00	47.6	47.6	29.0	55	48

ตารางที่ 4.7
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 5 มีนาคม 2552

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	31.0	31.0	27.8	28	29
9:00	31.5	31.5	27.6	41	32
10:00	32.2	32.4	30.6	47	33
11:00	33.2	33.5	32.3	56	34
12:00	35.7	36.2	34.0	64	38
13:00	38.2	38.6	33.2	61	40
14:00	40.0	40.2	33.5	59	40
15:00	41.3	41.6	34.3	59	42
16:00	41.9	42.0	33.5	53	42
17:00	42.3	42.3	33.3	49	42

ตารางที่ 4.8
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 6 มีนาคม 2552

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	31.0	31.0	27.5	28	29
9:00	31.3	31.5	30.2	46	32
10:00	32.6	32.9	31.6	53	34
11:00	34.2	34.6	32.0	58	36
12:00	35.5	35.9	34.4	58	37
13:00	37.8	38.1	33.8	63	39
14:00	39.6	39.9	34.5	60	41
15:00	41.4	41.6	34.5	59	42
16:00	42.5	42.7	35.0	60	43
17:00	43.6	43.7	34.2	55	44

วันที่ 7 มีนาคม 2552 เปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 0.16 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.9
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 8 มีนาคม 2552

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	30.0	30.0	29.0	36	36
9:00	30.7	30.9	31.0	45	35
10:00	31.8	32.0	32.4	54	40
11:00	33.5	33.9	31.0	65	45
12:00	35.0	35.4	34.3	68	55
13:00	37.5	38.0	34.2	74	60
14:00	38.9	39.3	36.6	75	64
15:00	41.7	42.0	37.3	74	63
16:00	43.2	43.5	37.2	70	60
17:00	43.7	43.8	35.2	60	50

ตารางที่ 4.10
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 9 มีนาคม 2552

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	31.8	31.8	27.9	28	30
9:00	31.9	32.1	27.9	45	34
10:00	32.9	33.1	32.0	57	42
11:00	34.6	34.9	33.6	67	55
12:00	36.1	36.4	34.9	65	55
13:00	37.6	38.0	35.0	70	61
14:00	39.2	39.5	34.5	71	62
15:00	40.6	40.8	36.1	67	57
16:00	41.4	41.6	36.3	65	55
17:00	42.9	42.9	35.5	62	50

ตารางที่ 4.11
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 10 มีนาคม 2552

Factor Heat exchanger 0.16 m²
Glazing Single

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	31.9	31.9	29.9	28	29
9:00	32.5	32.6	31.5	49	41
10:00	33.8	34.0	29.8	55	47
11:00	34.3	34.5	32.2	55	48
12:00	35.7	35.9	32.5	63	55
13:00	37.2	37.4	33.6	62	56
14:00	38.3	38.5	34.2	59	51
15:00	39.2	39.4	32.4	60	52
16:00	39.9	40.0	34.0	57	50
17:00	40.3	40.3	32.8	48	42

ตารางที่ 4.12
ผลการทดลองที่ 1 วันที่ 11 มีนาคม 2552

Factor Heat exchanger 0.16 m²
Glazing Double

เวลา	อุณหภูมิน้ำขาเข้า	อุณหภูมิน้ำขาออก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า	อุณหภูมิน้ำมันขาออก
8:00	30.6	30.6	27.9	28	29
9:00	30.7	30.8	29.6	39	32
10:00	32.4	32.6	28.4	55	45
11:00	33.6	33.9	32.8	63	53
12:00	35.4	35.7	34.0	70	63
13:00	37.2	37.5	34.0	70	63
14:00	38.7	39.0	33.5	69	64
15:00	39.6	39.8	31.5	66	58
16:00	40.9	41.0	34.5	63	55
17:00	41.7	41.7	30.1	55	42

ตารางที่ 4.13

สรุปผลการทดลองที่ 1

วันที่	จำนวนชั้นของ กระฉก	ขนาดของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน(ม. ²)	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)	พลังงาน(กก.จูล)
24 ก.พ.52	1 ชั้น	0.16	32.0	44.0	12.0	5.04	5.04
25 ก.พ.52	1 ชั้น	0.16	32.0	44.0	12.0	5.04	5.04
28 ก.พ.52	1 ชั้น	0.54	32.0	43.5	11.5	4.83	4.83
2 มี.ค.52	2 ชั้น	0.54	31.1	45.5	14.4	6.05	6.05
3 มี.ค.52	1 ชั้น	0.54	32.1	41.7	9.6	4.03	4.03
4 มี.ค.52	2 ชั้น	0.54	31.0	47.6	16.6	6.97	6.97
5 มี.ค.52	2 ชั้น	0.54	31.0	42.3	11.3	4.75	4.75
6 มี.ค.52	1 ชั้น	0.54	31.0	43.6	12.6	5.29	5.29
8 มี.ค.52	2 ชั้น	0.16	30.0	43.7	13.7	5.75	5.75
9 มี.ค.52	2 ชั้น	0.16	31.8	42.9	11.1	4.66	4.66
10 มี.ค.52	1 ชั้น	0.16	31.9	40.3	8.4	3.53	3.53
11 มี.ค.52	2 ชั้น	0.16	30.6	41.7	11.1	4.66	4.66

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง 2^2 แฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบโดยใช้โปรแกรมมินิแทบ (Minitab) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.1 – 4.5

โดยกำหนดให้

ค่านัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.15

ปัจจัย A คือ จำนวนชั้นของกระจกรับแสง 2 ระดับ

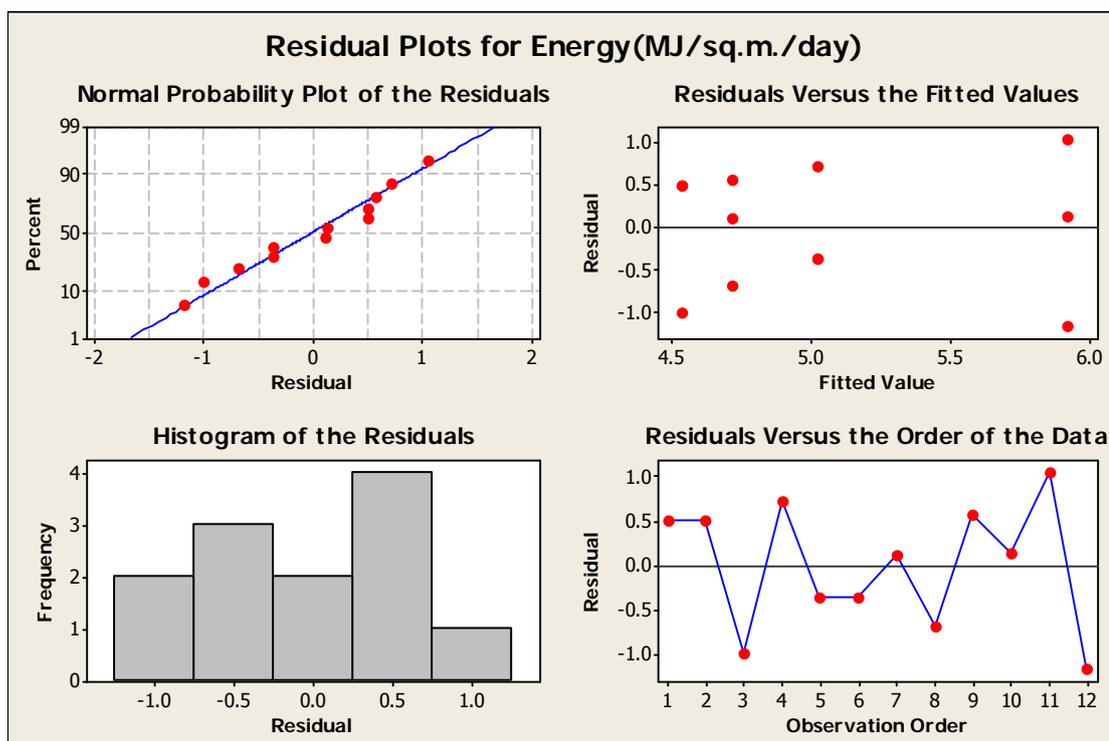
ระดับที่ 1 คือ จำนวนกระจกรับแสง 1 ชั้น และ

ระดับที่ 2 คือ จำนวนกระจกรับแสง 2 ชั้น

ปัจจัย B คือ ขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 ระดับ

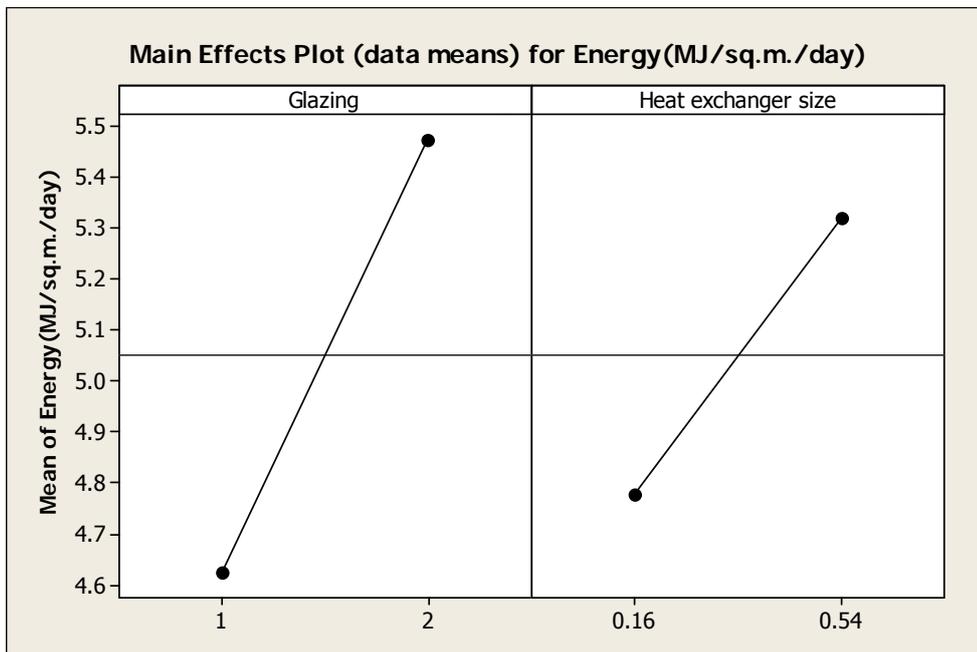
ระดับที่ 1 คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาดพื้นที่ 0.16 ตารางเมตร และ

ระดับที่ 2 คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาดพื้นที่ 0.54 ตารางเมตร



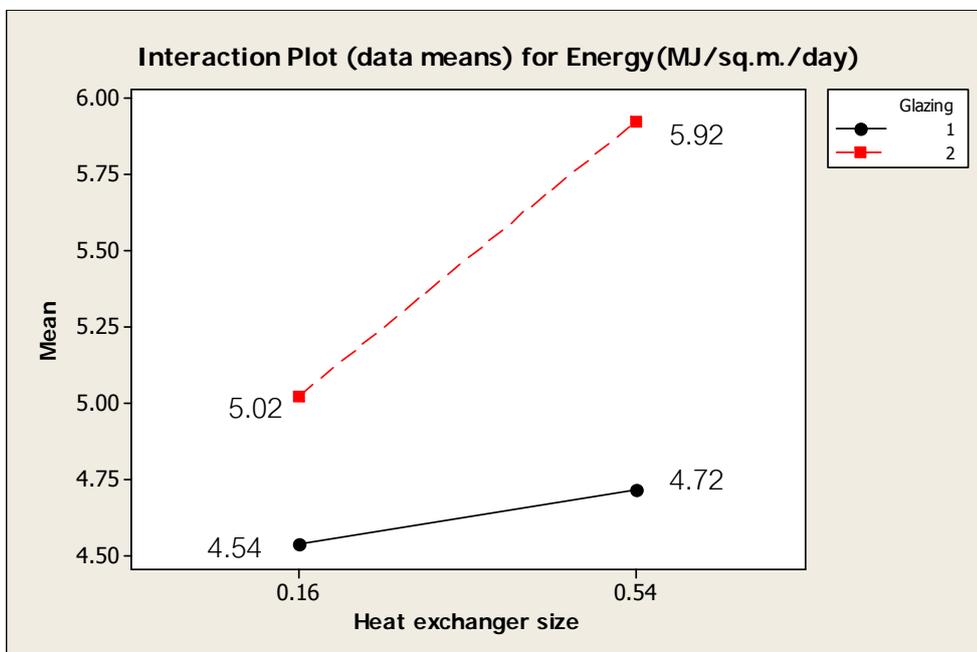
ภาพที่ 4.1

Residual Plots for Energy



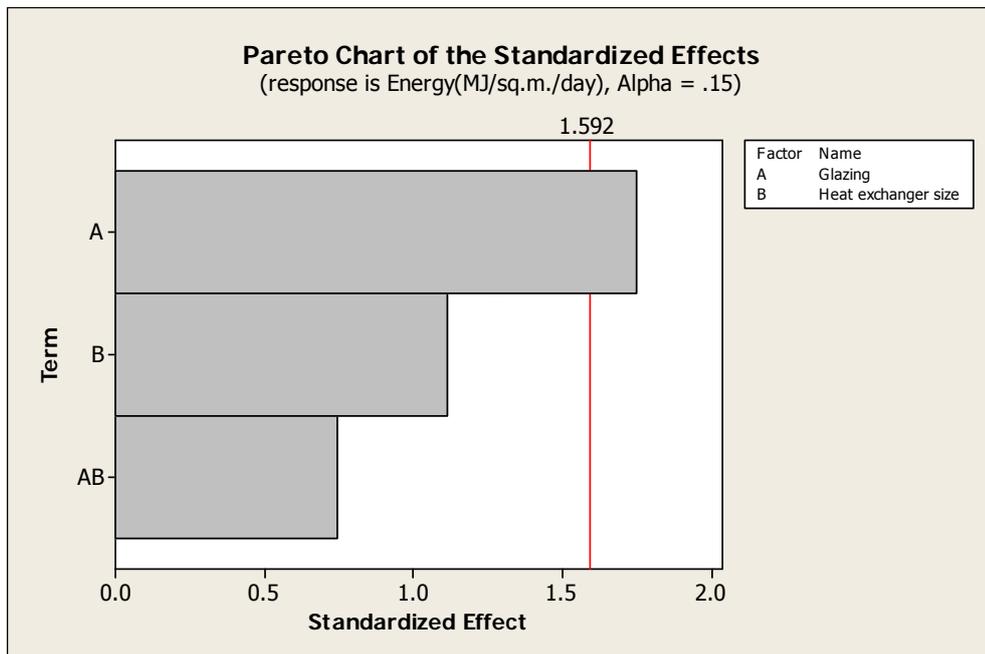
ภาพที่ 4.2

Main Effects Plot (data means) for Energy



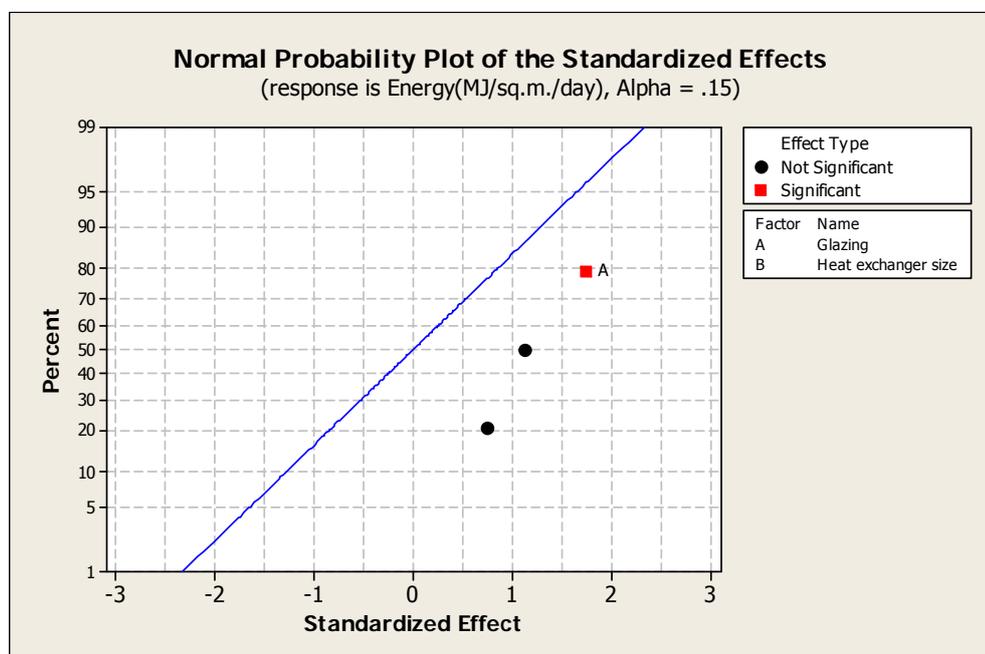
ภาพที่ 4.3

Interaction Plot (data means) for Energy



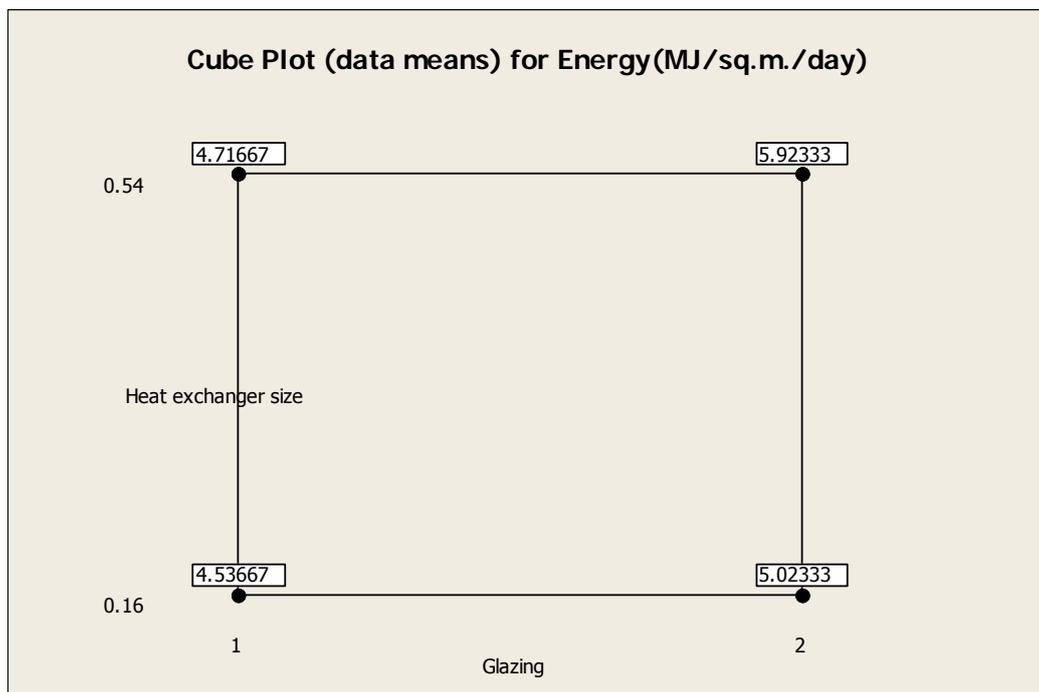
ภาพที่ 4.4

Pareto Chart of the Standardized Effects



ภาพที่ 4.5

Normal Probability Plot of the Standardized Effects



ภาพที่ 4.6

Cube Plot (data means) for Energy

จากภาพที่ 4.2 Main Effects Plot (data means) for Energy กราฟผลกระทบหลัก แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยตัวแปรตอบสนองซึ่งก็คือค่าพลังงาน จะเห็นว่าปัจจัย A (จำนวนชั้นของกระจก) นั่นคือจำนวนกระจกรับแสง 2 ชั้น ให้ผลทางพลังงานความร้อนดีกว่า จำนวนกระจกรับแสง 1 ชั้น ปัจจัย B (ขนาดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) อุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนขนาดพื้นที่ 0.54 ตารางเมตร ให้ผลทางพลังงานความร้อนดีกว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนขนาดพื้นที่ 0.16 ตารางเมตร แต่ผลต่างของปัจจัย A ให้ผลแตกต่างมากกว่า จากภาพที่ 4.3 Interaction Plot (data means) for Energy แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย พิจารณาโดยการ คำนวณผลต่างในแนวตั้ง การเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองภายใต้ระดับที่ 1 และ 2 ของปัจจัย A คือ 5.02 – 4.54 เท่ากับ 0.48 เมกะจูล เมื่อเปลี่ยนค่าสภาวะของปัจจัย B จากระดับที่ 1 ไปสู่ระดับ ที่ 2 คือ 5.92 – 4.72 เท่ากับ 1.20 เมกะจูล มีค่าไม่เท่ากัน จะเห็นว่าเมื่อระดับปัจจัย A สูงขึ้น ค่า ความแตกต่าง ณ ระดับของปัจจัย B มีค่ามากขึ้น ซึ่งเรียกผลกระทบนี้ว่า “Positive Interactions” (ประไพศรีและพงศ์ชนัน ,2551, หน้า 175) นั้นหมายความว่าเกิดผลกระทบร่วม แต่เมื่อพิจารณา ภาพที่ 4.4 Pareto Chart of the Standardized Effects จะเห็นได้ว่าผลกระทบร่วมมีค่าน้อย โดย

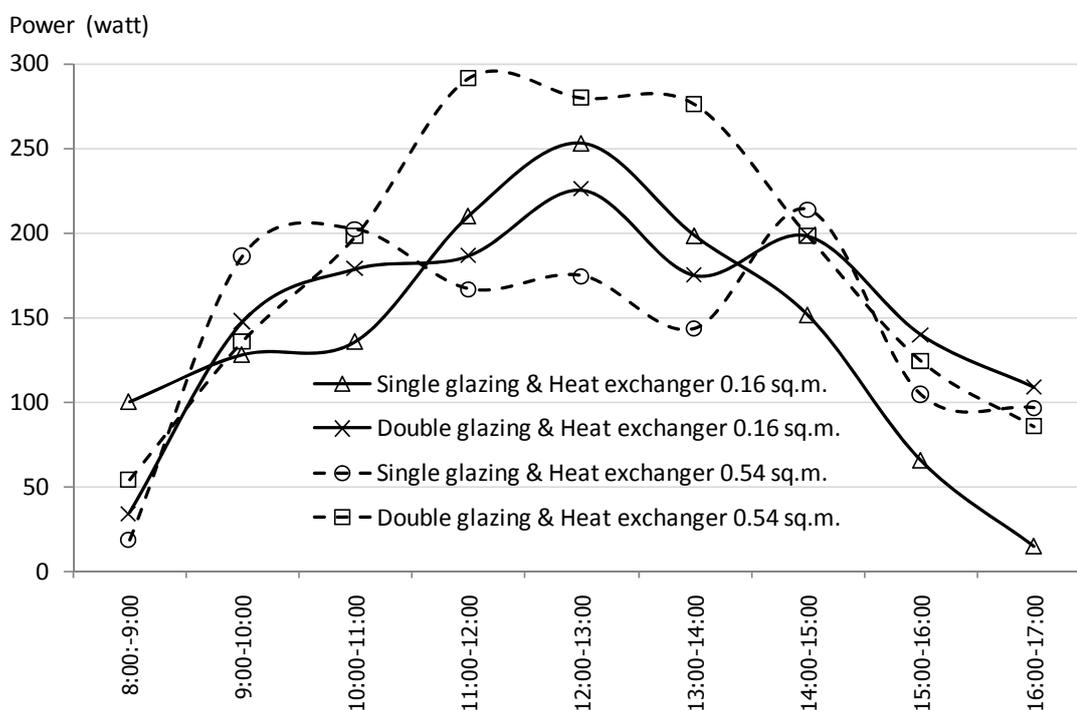
ผลกระทบจากปัจจัย A มีค่ามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 4.5 Normal Probability Plot of the Standardized Effects แสดงให้เห็นว่าปัจจัย A มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ และภาพที่ 4.2 ที่แสดงให้เห็นว่า ปัจจัย A มีผลมากที่สุด นั่นคือปัจจัยเรื่องจำนวนชั้นของ Glazing มีผลกระทบมากที่สุดอย่างนัยสำคัญ

ดังนั้นจากผลการทดลองนี้ จึงสรุปว่าการออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนนี้จึงใช้จำนวนชั้นของ Glazing เป็นกระจก 2 แผ่น เนื่องจากเมื่อเทียบต้นทุนในการสร้างต้นแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้านี้แล้ว นับว่าค่าใช้จ่ายของกระจกมีค่าน้อยมาก คือ 380 บาทต่อแผ่น และอายุการใช้งานยาวนานถ้าไม่เกิดการกระแทกจากของแข็ง ในขณะที่ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 0.16 ตารางเมตร เนื่องจากผลกระทบของปัจจัยนี้น้อย ประกอบกับค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้นมากถ้าเพิ่มขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้

ตารางที่ 4.14

ค่ากำลังความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากการทดลองที่ 1

	3 day Average Hourly Power (Watt)									Average Power (Watt)
	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	
Single glazing & Heat exchanger 0.16 sq.m.	101	128	136	210	253	198	152	66	16	140
Double glazing & Heat exchanger 0.16 sq.m.	35	148	179	187	226	175	198	140	109	155
Single glazing & Heat exchanger 0.54 sq.m.	19	187	202	167	175	144	214	105	97	146
Double glazing & Heat exchanger 0.54 sq.m.	54	136	198	292	280	276	198	124	86	183



ภาพที่ 4.7

กราฟแสดงค่ากำลังความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.14 กรณีกระจกสองชั้นและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 0.16 ตารางเมตร ค่ากำลังพลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 5.02 เมกะจูล 155 วัตต์ หรือถ้าคิดการสะสมพลังงานตั้งแต่ 8:00 – 17:00 น. ชั่วโมงจะลดการใช้พลังงานต่อวันเท่ากับ 1.4 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน

จากภาพที่ 4.7 เมื่อพิจารณากรณีใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 0.16 ตารางเมตร กระจกรับแสง 1 ชั้น มีแนวโน้มของกราฟที่มีอัตราการเพิ่มพลังงานความร้อนที่เร็วกว่าแต่ลดลงเร็วเช่นกัน ในขณะที่กระจกรับแสง 2 ชั้น มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนน้อยกว่าแต่มีแนวโน้มรักษาพลังงานความร้อนยาวนานกว่า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 0.54 ตารางเมตร กรณีกระจกรับแสง 2 ชั้น ได้กำลังความร้อนสูงสุด 292 วัตต์

4.3 ผลการทดลองที่ 2 ทดสอบเครื่องต้นแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าโดยการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยทำน้ำร้อน 45 – 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 15 ลิตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 28 มีนาคม 2552(ใช้แสงอาทิตย์) และ 2 เมษายน 2552(ไม่ใช้แสงอาทิตย์) ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.15-4.16

ตารางที่ 4.15

ผลการทดลองที่ 2 วันที่ 28 มีนาคม 2552(ใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า)

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Watt-hour meter (No. of KW-H)	Meter น้ำ(m ³)
8:00	45.0	30	27	10.10	0.480
9:00	47.2	40	30	10.75	0.493
10:00	45.2	55	29	11.13	0.507
11:00	48.2	68	33	11.77	0.520
12:00	48.9	71	34	12.21	0.540
13:00	49.0	69	35	12.70	0.554
14:00	49.3	68	35	13.05	0.569
15:00	47.0	68	33	13.21	0.584
16:00	45.0	45	29	13.61	0.600

ตารางที่ 4.16

ผลการทดลองที่ 2 วันที่ 2 เมษายน 2552(ใช้เฉพาะพลังงานไฟฟ้า)

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Watt-hour meter (No. of KW-H)	Meter น้ำ(m ³)
9:30	46.2	30	30	18.61	0.640
10:30	46.0	33	33	19.09	0.654
11:30	50.0	34	34	20.06	0.673
12:30	46.8	35	35	20.43	0.686
13:30	48.2	35	35	21.05	0.697

จากตารางที่ 4.15 ผลการทดลองของวันที่ 28 มีนาคม 2552 ซึ่งให้เครื่องทำน้ำร้อนต้นแบบทำงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าในการทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 45 – 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 15 ลิตรต่อชั่วโมง ตลอดเวลา 8 ชั่วโมง มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 3.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นโดยเฉลี่ยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.439 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อชั่วโมง ในขณะที่ผลการทดลองของวันที่ 2 เมษายน 2552 ตามตารางที่ 4.16 ทดลองโดยไม่ให้มีการรับแสงอาทิตย์ ในการทำน้ำร้อนในช่วงอุณหภูมิและอัตราการไหลใกล้เคียงกัน ได้ใช้

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการอ่านมิเตอร์ 2.44 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง ดังนั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 0.61 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อชั่วโมง ดังนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมในการทำน้ำร้อน ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 0.17 กิโลวัตต์

4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยใช้ข้อสมมุติ (Assumption) ดังนี้

1. อายุการใช้งาน 30 ปี
2. การใช้งาน 330 วันต่อปี
3. กำหนดอัตราดอกเบี้ย 0%
4. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโดยมีการเปลี่ยนกระจกทุกๆ 5 ปี และเปลี่ยนถ่ายน้ำมันถ่ายเทความร้อนทุกๆ 10 ปี
5. ประมาณต้นทุนจากวัสดุอุปกรณ์ตามเครื่องต้นแบบโดยต้นทุนที่ผันแปรตามขนาดพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ได้แก่ วัสดุที่ใช้ประกอบเป็นแผงรับแสงอาทิตย์, และระบบหมุนเวียนน้ำมันในระบบเทอร์โมไฮฟอน และต้นทุนคงที่ตามขนาดพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ ได้แก่ ระบบหมุนเวียนและถังพักน้ำ และระบบควบคุมและไฟฟ้า
6. ใช้ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 3 บาทต่อหน่วย ในการเปรียบเทียบ

ตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าขนาด 1 ม.²

ค่าพลังงานไฟฟ้า 3 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง 1.4 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันต่อตารางเมตร
330 วันทำงานต่อปี

1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ลดค่าพลังงานไฟฟ้า

$$1.4 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน/ ม.}^2 \times 3 \text{ บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง} \times 330 \text{ วัน/ปี} \times 1 \text{ ม.}^2 = 1,386 \text{ บาทต่อปี}$$

ค่าบำรุงรักษา

(1) เปลี่ยนกระจกรับแสงทุกๆ 5 ปี ราคากระจกแผ่นละ 380 บาท จำนวน 2 แผ่น
เท่ากับ 760 บาทต่อ 5 ปี

(2) เปลี่ยนถ่ายน้ำมันถ่ายเทความร้อนทุกๆ 10 ปี ราคาน้ำมันลิตรละ 60 บาท
จำนวน 5 ลิตร เท่ากับ 300 บาทต่อ 10 ปี

จากสมการ 2.33

$$0 = -P + \sum NCF_t(P/F, i\%, t)$$

สามารถแสดงรายการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

ปีที่	รายการ	กระแสเงินสด(บาท)	ยอดสะสม(บาท)
0	ลงทุนเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า	-30,366	-30,366
1	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-28,980
2	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-27,594
3	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-26,208
4	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-24,822
5	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท - กระจกรับแสง 760 บาท	626	-24,196
6	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-22,810
7	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-21,424
8	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-20,038
9	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-18,652
10	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท - กระจกรับแสง 760 บาท - น้ำมันถ่ายเทความร้อน 300 บาท	326	-18,326
11	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-16,940
12	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-15,554
13	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-14,168
14	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-12,782
15	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท - กระจกรับแสง 760 บาท	626	-12,156
16	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-10,770
17	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-9,384
18	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-7,998
19	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-6,612
20	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท - กระจกรับแสง 760 บาท - น้ำมันถ่ายเทความร้อน 300 บาท	326	-6,286
21	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-4,900
22	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-3,514
23	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-2,128
24	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	-742
25	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท - กระจกรับแสง 760 บาท	626	-116
26	ลดค่าไฟฟ้า 1,386 บาท	1,386	1,270

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 25.1 ปี

2. อัตราผลตอบแทน (Rate of Return)

อายุการใช้งาน 30 ปี (n)

ต้นทุนเครื่อง 30,366 บาท (P)

มูลค่ารายปี 1,386 บาท (A)

มูลค่าซาก 1,000 บาท (F)

จากฟังก์ชันของไมโครซอฟท์เอกเซล

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราผลตอบแทน} &= \text{RATE}(n, A, P, F) \\
 &= \text{RATE}(30, 1386, 30366, 1000) \\
 &= 2.29\%
 \end{aligned}$$

ผลการคำนวณสำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าตั้งแต่ขนาด 1 – 10 ตารางเมตร ได้แสดงไว้ในตาราง 4.17

ต้นแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าขนาด 1 ตารางเมตรนั้น ได้ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 25 ปี และอัตราผลตอบแทน (Rate of Return: ROR) เท่ากับร้อยละ 2.3 แต่มีแนวโน้มของระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนที่ดีขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า เช่น ถ้าเพิ่มขนาดเป็น 10 ตารางเมตร ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ประมาณ 9 ปี และอัตราผลตอบแทน (Rate of Return: ROR) เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 11.7

ตารางที่ 4.17

การประเมินต้นทุนการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนจyพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า

รายการวัสดุอุปกรณ์	ประมาณการต้นทุนเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์(บาท)									
	ขนาด 1 ม. ²	ขนาด 2 ม. ²	ขนาด 3 ม. ²	ขนาด 4 ม. ²	ขนาด 5 ม. ²	ขนาด 6 ม. ²	ขนาด 7 ม. ²	ขนาด 8 ม. ²	ขนาด 9 ม. ²	ขนาด 10 ม. ²
1.Solar Collector	7,775	15,550	23,325	31,100	38,875	46,650	54,425	62,200	69,975	77,750
2.ระบบหมุนเวียนน้ำในระบบ Solar Collector	6,394	8,764	11,838	12,498	14,722	15,382	17,256	17,916	18,640	20,300
3.ระบบหมุนเวียนน้ำและถังพักน้ำ	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
3.ระบบควบคุมและอุปกรณ์ไฟฟ้า	8,197	8,197	8,197	8,197	8,197	8,197	8,197	8,197	8,197	8,197
4.อื่นๆ	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
รวมต้นทุนทั้งสิ้น	30,366	40,511	51,360	59,795	69,794	78,229	87,878	96,313	104,812	114,247
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	1386	2772	4158	5544	6930	8316	9702	11088	12474	13860
อัตราผลตอบแทน (ROR)	2.3%	5.5%	7.1%	8.5%	9.2%	10.0%	10.5%	11.0%	11.4%	11.7%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	25.1	16.5	13.7	12.1	11.4	10.7	10.4	10.0	9.0	8.8

จากผลการศึกษานี้ ทำให้ทราบว่า การใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าแผ่นราบแบบใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนในระบบเทอร์โมไซฟอนซึ่งน้ำได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ทางอ้อมนั้น ได้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ 5.02 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งต่ำกว่าการใช้น้ำร้อนให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงจากแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) เนื่องจากเกิดความสูญเสียทางพลังงานมากกว่าเนื่องจากการใช้น้ำมัน เพราะน้ำมันเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจะเพิ่มอุณหภูมิสูงมากกว่าน้ำทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำมันกับอากาศมากกว่า ถ้าพิจารณาฉนวนทางความร้อนที่ใช้ไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้อัตราการสูญเสียไปสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่าถ้าพิจารณาฉนวนทางความร้อนที่ใช้ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกัน เครื่องทำน้ำร้อนแผ่นราบแบบเทอร์โมไซฟอนโดยตรงได้พลังงานความร้อน 6.075 - 7.33 เมกะจูล (A.A.Karaghoulis and W.E.Alnaser,2001) ถึงแม้จะด้อยกว่าในเรื่องประสิทธิภาพแต่ข้อดีของระบบนี้ที่ไม่สามารถคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ก็คือ ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิน้ำได้ง่ายกว่า นั่นคือน้ำมันจะเป็นแหล่งสะสมพลังงานไว้ในเวลาที่น้ำร้อนมีอุณหภูมิเพียงพอ และมีความยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้ เนื่องจากถังเก็บน้ำร้อนที่จะนำไปใช้ ไม่จำเป็นต้องติดตั้งใกล้แผงรับแสงอาทิตย์ หรือติดตั้งในระดับที่สูงกว่า ถ้าหากมีการส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมใช้งานมากขึ้น ก็จะมีส่วนทำให้ลดการใช้แหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดได้เป็นอย่างดี

