

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน

ผลการทดลองของระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนมีผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนและผลการทดสอบคุณสมบัติเฉลี่ยรายวันรวมมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า

เนื่องจากคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของมอดูลเซลล์สุริยะแต่ละมอดูลมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถนำค่าไฟฟ้าที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกันในสภาวะต่างๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของมอดูลเซลล์สุริยะทั้งหมดทำได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทุกมอดูลมีสมการเชิงคณิตศาสตร์เหมือนกันทำให้เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของมอดูลได้

จากผลการทดสอบในภาคสนามนำค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (G_T) และอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะ (T_{cell}) คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) จากสมการ

$$I_{sc} = I_{sco} (G_T / 1000) [1 + \beta_I (T_{cell} - 25)] \quad (4.1)$$

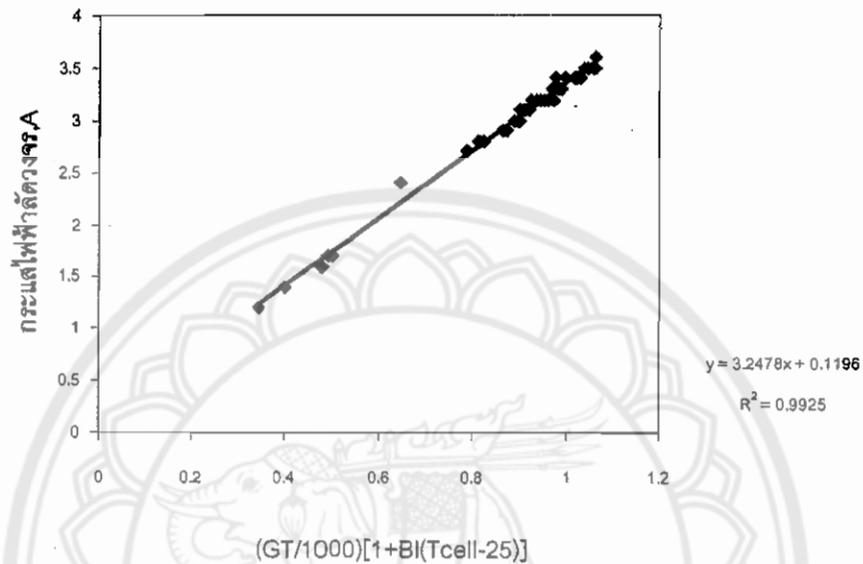
$$V_{oc} = V_{oco} - \beta_V (T_{cell} - 25) - \beta_{Vg} \log(1000 / G_T) \quad (4.2)$$

สมการข้างบนมีพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ β_I β_V β_{Vg} I_{sco} V_{oco} และ P_{STC} ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงโดยกำหนดดังนี้

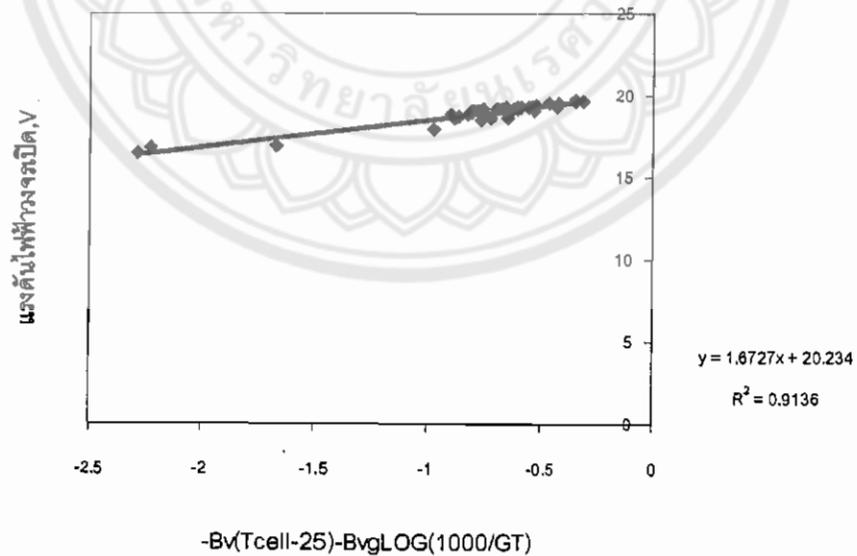
กรณีที่ 1 : $(G_T / 1000) [1 + \beta_I (T_{cell} - 25)]$ อยู่บนแกน x และ I_{sc} อยู่บนแกน y

กรณีที่ 2 : $-\beta_V (T_{cell} - 25) - \beta_{Vg} \log(1000 / G_T)$ อยู่บนแกน x และ V_{oc} อยู่บนแกน y

ค่า β_1 β_V β_{V_g} ของมอดูลเซลล์สุริยะมีค่าดังนี้ $\beta_1 = 0.000446$, $\beta_V = 0.051$ และ $\beta_{V_g} = 0.6$ [7] แทนลงในสมการทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้นและวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ซึ่งได้ผลดังภาพ



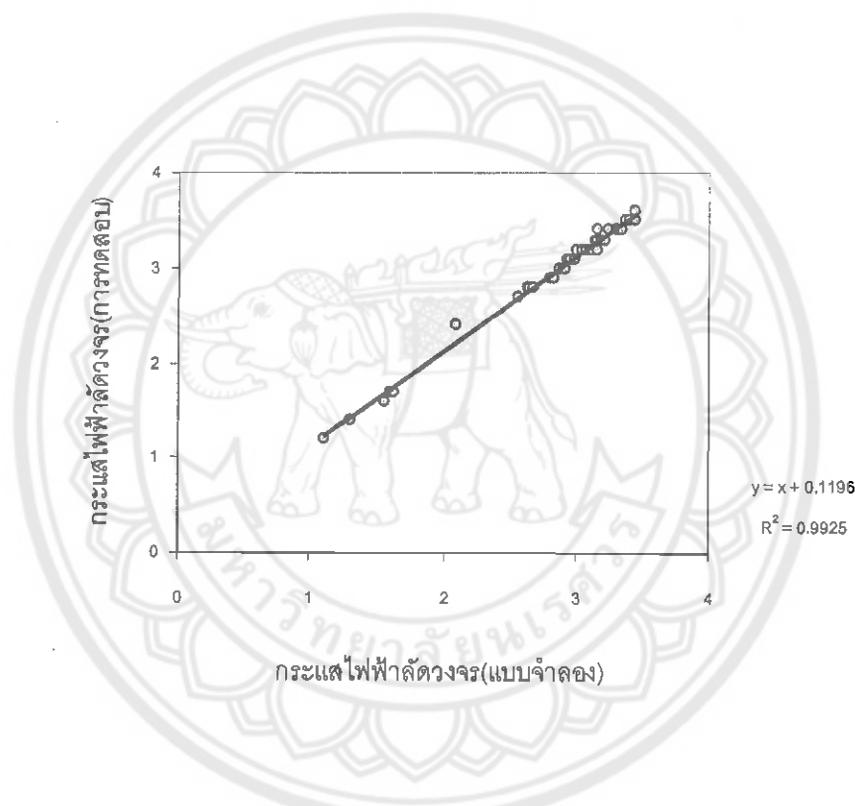
ภาพ 21 กราฟแสดงการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร



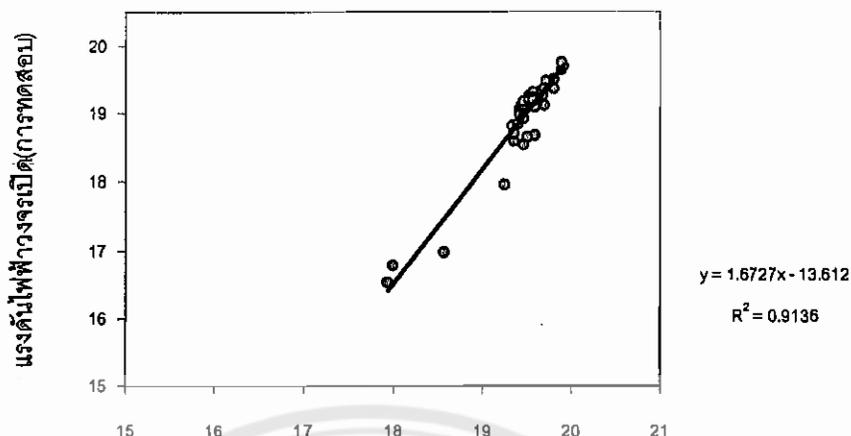
ภาพ 22 กราฟแสดงการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

สามารถหาค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่สภาวะมาตรฐาน (I_{∞}) จากค่าความชันของกราฟในภาพ 21 มีค่าเท่ากับ 3.2478 และค่าของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่สภาวะมาตรฐาน (V_{∞}) ได้จากค่าจุดตัดแกนตั้งของกราฟในภาพ 22 มีค่าเท่ากับ 20.234 เมื่อทราบค่าทั้งสองสามารถคำนวณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

เมื่อนำกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ได้จากผลการทดสอบในตาราง 10 (ภาคผนวก ก) สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าในรูปของกราฟได้ดังต่อไปนี้



ภาพ 23 การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ได้จากการสร้างแบบจำลองและที่ได้การทดสอบในภาคสนาม



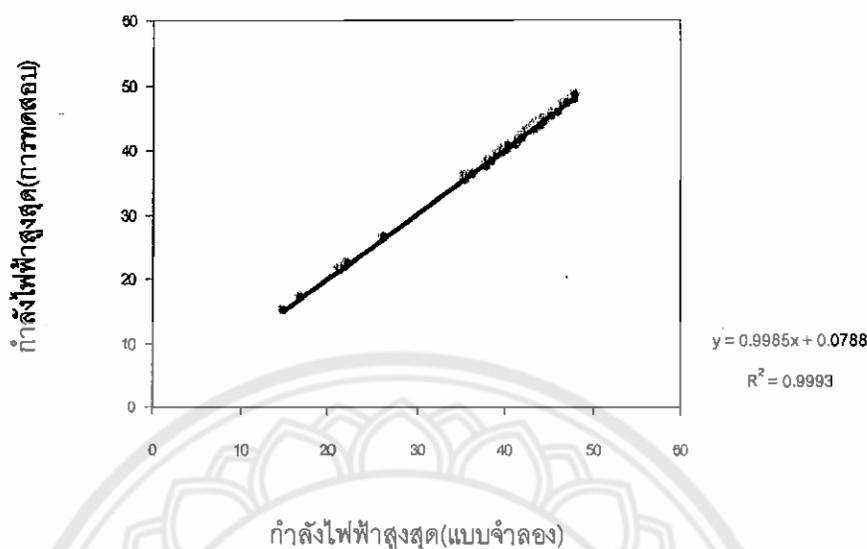
แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด(แบบจำลอง)

ภาพ 24 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ได้จากการสร้างแบบจำลองและที่ได้จากการทดสอบในภาคสนาม

จากภาพ 23 และ 24 จะได้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของผลการทดสอบ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สภาวะมาตรฐาน (P_{STC}) มีค่าเท่ากับ 46 วัตต์ คำนวณหา กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) ของมอดูลเซลล์สุริยะจากสมการต่อไปนี้

$$P_m = P_{STC} \left(\frac{I_{sc} V_{oc}}{I_{sc0} V_{oc0}} \right) \quad (4.3)$$

เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด(P_m) จากการคำนวณเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการทดสอบในตาราง 10 (ภาคผนวก ก) สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าในรูปของกราฟได้ดังต่อไปนี้



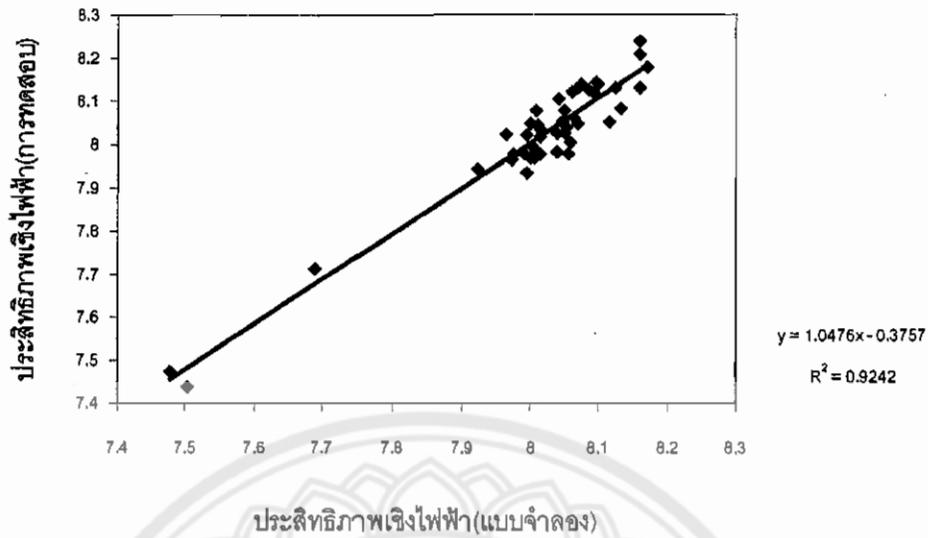
ภาพ 25 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการสร้างแบบจำลองและที่ได้จากการทดสอบในภาคสนาม

จากภาพ 25 กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากผลการทดสอบ

คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานรวมเซลล์สุริยะ/ความร้อน (η_{PV}) จากสมการ

$$\eta_{PV} = \frac{V_m I_m}{A_{PV} G_T} \times 100\% \quad (4.4)$$

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าจากการทดสอบในตาราง 10 (ภาคผนวก ก) สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าในรูปของกราฟได้ดังต่อไปนี้



ภาพ 26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าที่ได้จากการสร้างแบบจำลองและที่ได้จากการทดสอบในภาคสนาม

จากภาพ 26 ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าจากการทดสอบในภาคสนาม

จากผลการทดสอบภาคสนามในภาคผนวก ข สามารถสรุปคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า มอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนกับมอดูลเซลล์สุริยะที่ไม่ได้ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน มีค่าเฉลี่ยรายวันของค่าต่าง ๆ ดังนี้

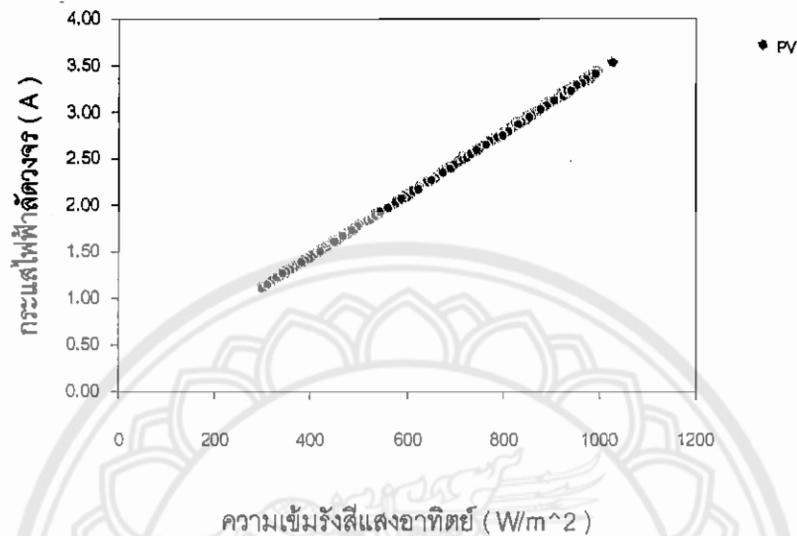
ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยรายวันของคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้ง
ระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

วันที่	G_T (W/m^2)	T_a ($^{\circ}C$)	T_{PV} ($^{\circ}C$)	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	P_m (W)	η_{PV} (%)
1/8/2549	754.55	35.38	39.48	2.59	18.85	33.53	8.00
2/8/2549	709.32	35.06	39.50	2.44	18.83	31.50	8.00
3/8/2549	713.39	34.83	39.62	2.45	18.81	31.67	7.99
4/8/2549	714.39	34.88	39.77	2.46	18.80	31.70	7.99
5/8/2549	705.99	34.80	39.87	2.43	18.79	31.33	7.99
6/8/2549	706.88	35.55	39.80	2.43	18.80	31.38	7.99
7/8/2549	686.78	34.89	39.80	2.37	18.78	30.49	7.99
8/8/2549	668.32	34.13	39.80	2.31	18.77	29.65	7.98
9/8/2549	690.18	34.18	39.78	2.38	18.79	30.62	7.99
10/8/2549	694.71	34.43	39.67	2.39	18.80	30.85	7.99
11/8/2549	726.55	35.01	39.77	2.50	18.81	32.25	7.99
12/8/2549	725.80	34.16	39.58	2.49	18.83	32.23	8.00
13/8/2549	706.57	34.89	39.29	2.43	18.84	31.39	8.00
14/8/2549	725.19	35.12	40.00	2.49	18.79	32.17	7.99
15/8/2549	703.43	35.17	39.31	2.42	18.83	31.25	8.00
16/8/2549	711.37	34.87	40.08	2.45	18.78	31.56	7.99
17/8/2549	710.94	35.08	39.33	2.44	18.84	31.58	8.00
18/8/2549	703.86	34.70	39.44	2.42	18.83	31.26	8.00
19/8/2549	691.92	34.58	39.38	2.38	18.83	30.74	8.00
20/8/2549	709.35	35.23	39.19	2.44	18.85	31.52	8.00
21/8/2549	711.66	34.85	39.55	2.45	18.82	31.62	8.00
22/8/2549	718.86	34.97	39.28	2.47	18.85	31.94	8.00
23/8/2549	683.85	34.13	38.87	2.35	18.86	30.41	8.00
24/8/2549	683.25	34.61	39.48	2.35	18.81	30.34	7.99
เฉลี่ยรวม	706.55	34.81	39.57	2.43	18.82	31.37	7.99

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยรายวันของค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของมอดูลเซลล์สุริยะที่ไม่ทำการติดตั้ง
ระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

วันที่	G_T (W/m^2)	T_a ($^{\circ}C$)	T_{PV} ($^{\circ}C$)	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	P_m (W)	η_{PV} (%)
1/8/2549	754.55	35.38	54.65	2.61	17.56	32.29	7.71
2/8/2549	709.32	35.06	56.12	2.46	17.41	30.21	7.68
3/8/2549	713.39	34.83	55.66	2.47	17.45	30.40	7.69
4/8/2549	714.39	34.88	56.23	2.48	17.40	30.40	7.68
5/8/2549	705.99	34.80	56.17	2.45	17.40	30.05	7.68
6/8/2549	706.88	35.55	56.33	2.45	17.39	30.08	7.67
7/8/2549	686.78	34.89	54.26	2.38	17.55	29.38	7.71
8/8/2549	668.32	34.13	55.34	2.32	17.44	28.48	7.68
9/8/2549	690.18	34.18	56.81	2.40	17.33	29.32	7.66
10/8/2549	694.71	34.43	55.63	2.41	17.44	29.61	7.69
11/8/2549	726.55	35.01	55.78	2.51	17.44	30.97	7.69
12/8/2549	725.80	34.16	55.60	2.51	17.46	30.94	7.69
13/8/2549	706.57	34.89	56.11	2.45	17.40	30.07	7.68
14/8/2549	725.19	35.12	56.12	2.51	17.41	30.87	7.68
15/8/2549	703.43	35.17	55.00	2.44	17.50	30.03	7.70
16/8/2549	711.37	34.87	56.51	2.47	17.38	30.27	7.67
17/8/2549	710.94	35.08	57.64	2.47	17.27	30.13	7.65
18/8/2549	703.86	34.70	55.75	2.44	17.44	30.00	7.68
19/8/2549	691.92	34.58	55.71	2.40	17.43	29.48	7.68
20/8/2549	709.35	35.23	55.16	2.46	17.49	30.27	7.70
21/8/2549	711.66	34.85	54.11	2.46	17.58	30.47	7.72
22/8/2549	718.86	34.97	55.98	2.49	17.42	30.60	7.68
23/8/2549	683.85	34.13	54.82	2.37	17.50	29.18	7.70
24/8/2549	683.25	34.61	55.81	2.37	17.42	29.10	7.68
เฉลี่ยรวม	706.55	34.81	55.72	2.45	17.44	30.11	7.68

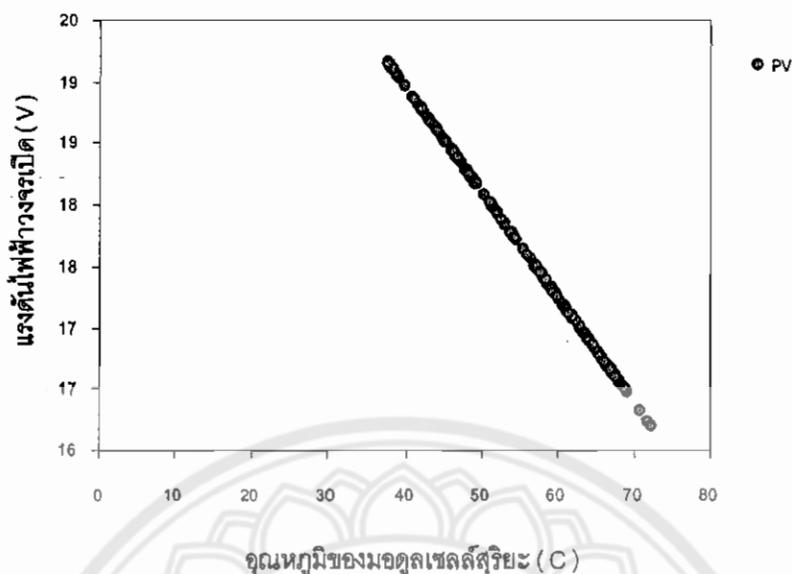
เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจากสมการทางคณิตศาสตร์ของมอดูลเซลล์สุริยะ เปรียบเทียบกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในภาคผนวก ข



ภาพ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีแสงอาทิตย์กับกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

จากภาพ 27 จะเห็นได้ว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะไม่แปรตามอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะ เนื่องจากขณะทำงานเซลล์สุริยะจำเป็นต้องมีพลังงานมากระตุ้น ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ดังนั้นถ้าหากแสงที่มาตกกระทบบนแผงมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงมากจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล สูงมากขึ้นด้วย กล่าวได้ว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

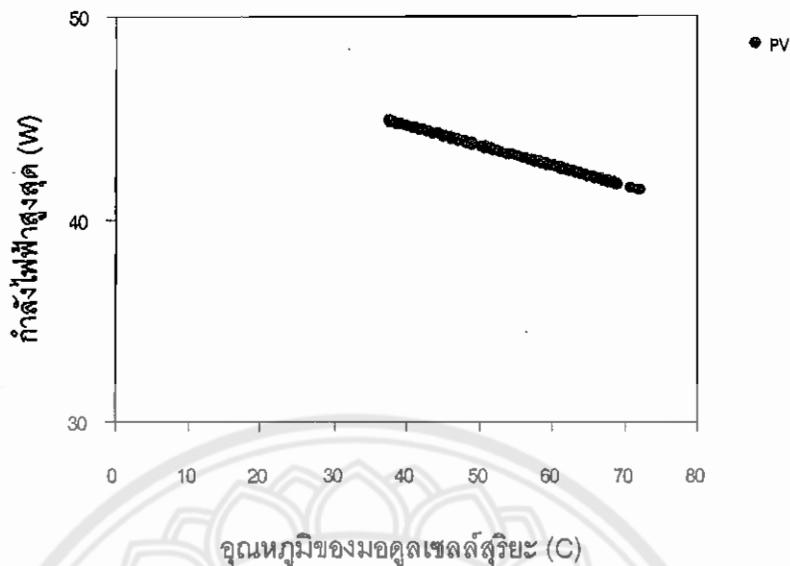
เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจากสมการทางคณิตศาสตร์ของมอดูลเซลล์สุริยะ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะ ในภาคผนวก ข (กำหนดให้ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่เท่ากับ $1000 W/m^2$) ได้ผลดังต่อไปนี้



ภาพ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะกับแรงดันไฟฟ้าวงจเปิดที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่

จากภาพ 28 จะได้ว่าแรงดันไฟฟ้าวงจเปิดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์คงที่ กล่าวได้ว่าอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะที่ต่ำลงมีผลต่อการเพิ่มช่องว่างแถบพลังงาน และการลดจำนวนคู่อิเล็กตรอน-โฮล ทำให้แรงดันไฟฟ้าวงจเปิดเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนช่องว่างพลังงานเพียงเล็กน้อยที่อุณหภูมิต่ำลง ด้วยเหตุนี้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิลดลง

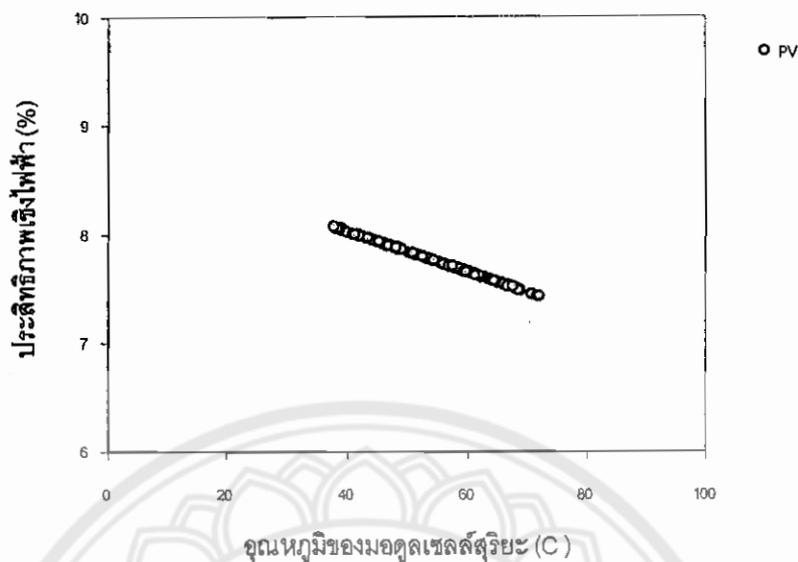
เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากสมการทางคณิตศาสตร์ของมอดูลเซลล์สุริยะ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะ ในภาคผนวก ข (กำหนดให้ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่เท่ากับ 1000 W/m^2)



ภาพ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังไฟสูงสุดของมอดูลเซลล์สุริยะที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่

จากกราฟดังกล่าวจะเห็นว่ากำลังไฟสูงสุดของมอดูลเซลล์สุริยะจะมีค่าลดลงขณะที่อุณหภูมิของมอดูลเพิ่มขึ้น

เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าจากสมการทางคณิตศาสตร์ของมอดูลเซลล์สุริยะ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของมอดูลเซลล์สุริยะ ในภาคผนวก ข (กำหนดให้ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่เท่ากับ 1000 W/m^2)



ภาพ 30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าของมอดูลเซลล์สุริยะ ที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่

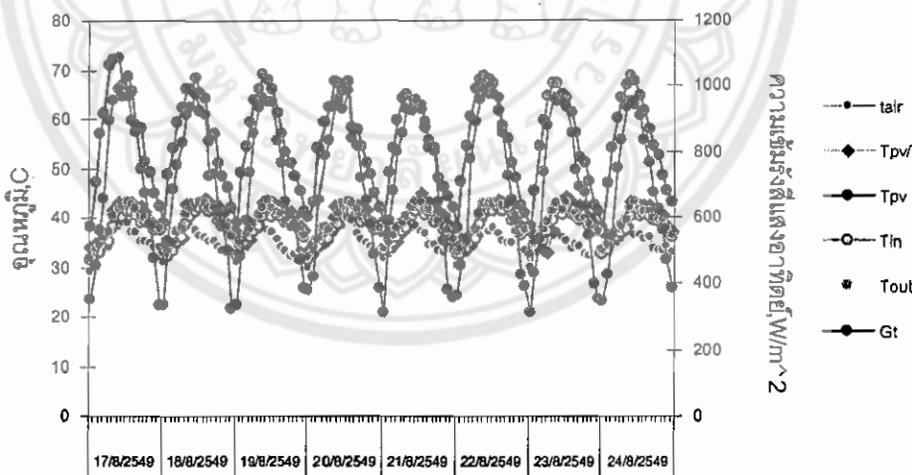
จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าของมอดูลเซลล์สุริยะลดลงเมื่ออุณหภูมิ มอดูลเพิ่มขึ้น

1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อน

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนของมอดูลเซลล์สุริยะที่มีการติดตั้งระบบ ผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนอัตรากาโรไลของน้ำคงที่ 3 ค่าคือ 33×10^{-6} , 50×10^{-6} และ 100×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมอดูลเซลล์สุริยะที่ไม่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม เซลล์สุริยะ/ความร้อน และสภาวะต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ข จะได้รายละเอียดผลการทดสอบ ดังนี้

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยรายวันคุณสมบัติเชิงความร้อนของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 33×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

วันที่	T _a (°C)	T _{PV/T} (°C)	T _{PV} (°C)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	G _T (W/m ²)	η _{th3} (%)
17/8/2549	35.08	39.33	57.64	37.39	38.66	710.94	0.04
18/8/2549	34.70	39.44	55.75	37.87	38.93	703.86	0.04
19/8/2549	34.58	39.38	55.71	37.70	38.75	691.92	0.04
20/8/2549	35.23	39.19	55.16	37.53	38.75	709.35	0.04
21/8/2549	34.85	39.55	54.11	37.77	38.85	711.66	0.04
22/8/2549	34.97	39.28	55.98	37.96	39.06	718.86	0.04
23/8/2549	34.13	38.87	54.82	37.91	38.85	683.85	0.03
24/8/2549	34.61	39.48	55.81	37.64	38.65	683.25	0.04
เฉลี่ยรวม	34.77	39.31	55.62	37.72	38.81	701.71	0.04

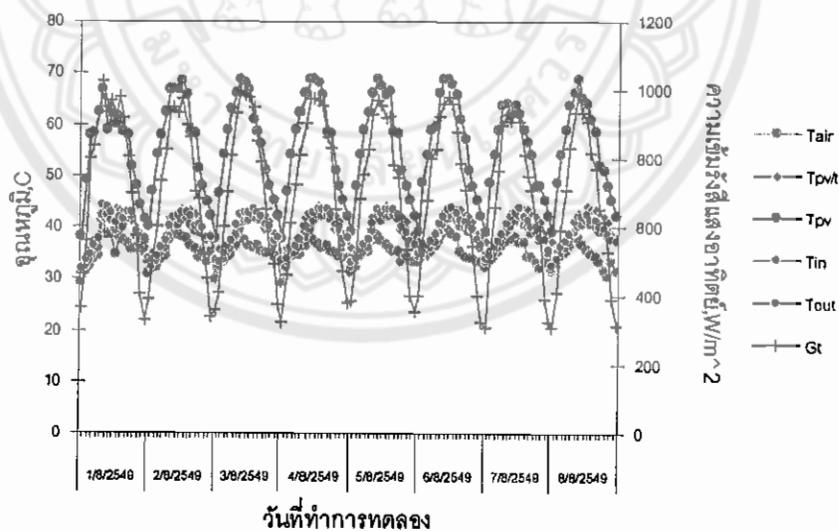


วันที่ทำการทดลอง

ภาพ 31 กราฟคุณสมบัติเชิงความร้อนของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 33×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยรายวันคุณสมบัติเชิงความร้อนของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 50×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

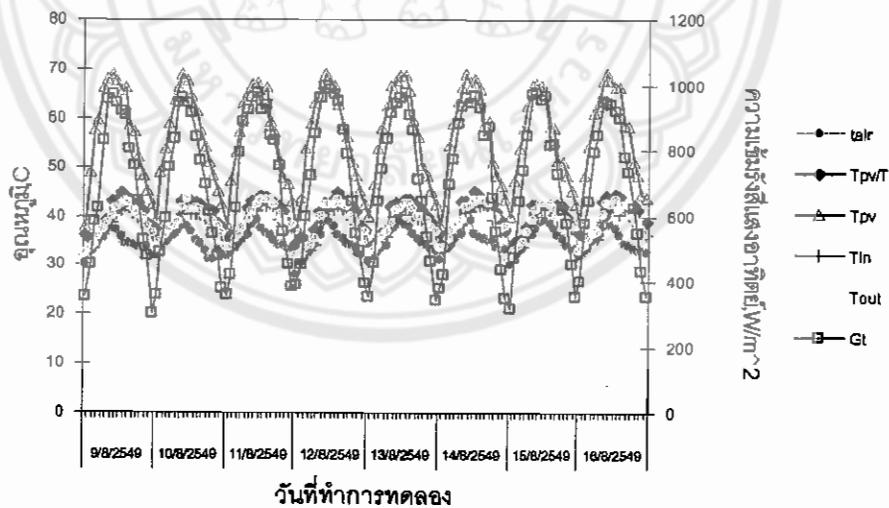
วันที่	T_a (°C)	$T_{PV/T}$ (°C)	T_{PV} (°C)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	G_T (W/m ²)	η_{th2} (%)
1/8/2549	35.38	39.48	54.65	37.84	39.24	754.55	0.07
2/8/2549	35.06	39.50	56.12	37.55	38.84	709.32	0.07
3/8/2549	34.83	39.62	55.66	37.93	39.19	713.39	0.06
4/8/2549	34.88	39.77	56.23	38.19	39.42	714.39	0.06
5/8/2549	34.80	39.87	56.17	38.08	39.31	705.99	0.06
6/8/2549	35.55	39.80	56.33	38.25	39.52	706.88	0.07
7/8/2549	34.89	39.80	54.26	37.76	39.03	686.78	0.07
8/8/2549	34.13	39.80	55.34	37.72	38.84	668.32	0.06
เฉลี่ยรวม	34.94	39.70	55.59	37.92	39.17	707.45	0.06



ภาพ 32 กราฟคุณสมบัติเชิงความร้อนของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 50×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

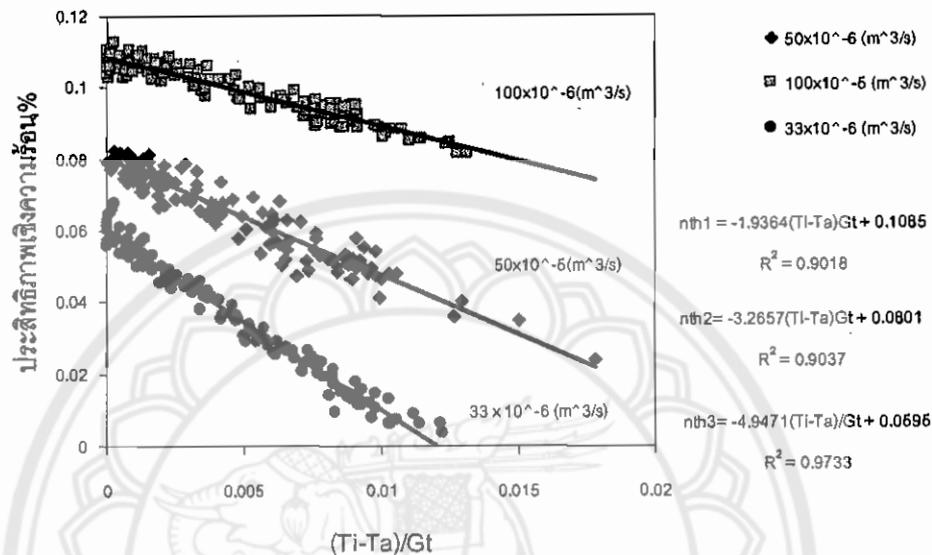
ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยรายวันคุณสมบัติเชิงความร้อนของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 100×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

วันที่	T_a (°C)	$T_{PV/T}$ (°C)	T_{PV} (°C)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	G_T (W/m ²)	η_{th1} (%)
9/8/2549	34.18	39.78	56.81	37.52	38.43	690.18	0.10
10/8/2549	34.43	39.67	55.63	37.73	38.65	694.71	0.10
11/8/2549	35.01	39.77	55.78	38.10	39.08	726.55	0.10
12/8/2549	34.16	39.58	55.60	37.35	38.33	725.80	0.10
13/8/2549	34.89	39.29	56.11	37.34	38.31	706.57	0.10
14/8/2549	35.12	40.00	56.12	38.31	39.28	725.19	0.10
15/8/2549	35.17	39.31	55.00	37.42	38.39	703.43	0.10
16/8/2549	34.87	40.08	56.51	37.88	38.85	711.37	0.10
เฉลี่ยรวม	34.73	39.69	55.94	37.71	38.66	710.47	0.10



ภาพ 33 กราฟคุณสมบัติเชิงความร้อนของมอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 100×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

กราฟแสดงคุณสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นรับรังสีแสงอาทิตย์เซลล์สุริยะ/ความร้อน ได้จากการนำข้อมูล ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ที่อัตราการไหลของน้ำค่าต่าง ๆ พล็อตกราฟ ให้อยู่ในแกนตั้งและ $(T_{in} - T_a)/G$ ให้อยู่ในแกนนอนได้กราฟดังนี้



ภาพ 34 กราฟคุณสมบัติเชิงความร้อนของระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน ที่ค่าอัตราการไหลของน้ำค่าต่างๆ

จากภาพ 34 พิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th3}) ของระบบที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 33×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีรูปสมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{th3} = 0.0595 - 4.9471 \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (4.5)$$

จากสมการข้างบนพบว่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทั้งหมด ($U_L F_R$) มีค่าเท่ากับ 4.9471 และสัมประสิทธิ์การส่องผ่านดูดกลืนแสง ($F_R (\tau\alpha)_c$) มีค่าเท่ากับ 0.0595

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th2}) ของระบบที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 50×10^6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีรูปสมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{th2} = 0.0801 - 3.2657 \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (4.6)$$

จากสมการข้างบนพบว่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทั้งหมด ($U_L F_R$) มีค่าเท่ากับ 3.2657 และสัมประสิทธิ์การส่องผ่านดูดกลืนแสง ($F_R (\tau\alpha)_e$) มีค่าเท่ากับ 0.0801

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th1}) ของระบบที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 100×10^6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีรูปสมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{th1} = 0.1085 - 1.9364 \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (4.7)$$

จากสมการข้างบนพบว่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทั้งหมด ($U_L F_R$) มีค่าเท่ากับ 1.9364 และสัมประสิทธิ์การส่องผ่านดูดกลืนแสง ($F_R (\tau\alpha)_e$) มีค่าเท่ากับ 0.1085

จากกราฟและสมการที่อัตราการไหลทั้ง 3 ค่าที่กล่าวข้างต้นจะได้ว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมกับการทำงานควรมีค่าเท่ากับ 100×10^6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เนื่องจากระบบจะมีประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างสูงและการสูญเสียความร้อนต่ำ ซึ่งมีสาเหตุจากที่อัตราการไหลค่าต่ำอุณหภูมิของน้ำในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงทำให้การถ่ายเทความร้อนจากแผ่นมอดูลเซลล์สุริยะมีค่าต่ำลงและความร้อนสูญเสียแก่อากาศแวดล้อมเพิ่มขึ้น

1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของระบบเจลลี่รายวัน

จากตารางในภาคผนวก ข สามารถแยกสมรรถนะเจลลี่รายวันออกจากกัน ตามค่าอัตราการไหลของน้ำ 3 ค่าคือ 33×10^{-6} , 50×10^{-6} และ 100×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 7 ค่าเจลลี่รายวันของประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำค่าต่าง ๆ

อัตราการไหล	$33 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$		$50 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$		$100 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$	
	PV/T	PV	PV/T	PV	PV/T	PV
$G_T (\text{W} / \text{m}^2)$	701.71	701.71	707.45	707.45	710.47	710.47
$T_a (\text{C}^\circ)$	34.77	34.77	34.94	34.94	34.73	34.73
$T_{\text{cell}} (\text{C}^\circ)$	39.31	55.62	39.70	55.59	39.69	55.94
$I_{\text{sc}} (\text{A})$	2.41	2.43	2.43	2.45	2.44	2.46
$V_{\text{oc}} (\text{V})$	18.83	17.44	18.80	17.45	18.81	17.42
$P_m (\text{W})$	31.18	29.90	31.41	30.16	31.54	30.26
$\eta_{\text{PV}} (\%)$	8.00	7.69	7.99	7.69	7.99	7.68
$\eta_{\text{th}} (\%)$	0.04	-	0.06	-	0.10	-

จากตาราง 7 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 33×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่ามอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิลดลง 16.31 องศาเซลเซียส กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลง 0.02 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิดเพิ่มขึ้น 1.39 โวลต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้น 1.28 วัตต์ ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นร้อยละ 0.31 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.04

ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 50×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่ามอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิลดลง 15.89 องศาเซลเซียส กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลง 0.02 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิดเพิ่มขึ้น 1.35 โวลต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้น 1.25 วัตต์ ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.06

และที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 100×10^6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่า มอดูลเซลล์สุริยะที่ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนมีค่าเฉลี่ยของ อุณหภูมิลดลง 16.26 องศาเซลเซียส กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลง 0.02 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าวงจร เปิดเพิ่มขึ้น 1.39 โวลต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้น 1.28 วัตต์ ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.31 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1

จากตาราง พิจารณาประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ ความร้อนตามอัตราการไหลของน้ำ 3 ช่วงคือ 33×10^6 , 50×10^6 และ 100×10^6 ลูกบาศก์เมตร ต่อวินาที มีค่าเป็นร้อยละ 8.04, 8.05 และ 8.09 ตามลำดับ



2. ผลการประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน

เมื่อทำการพิจารณาค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของต้นทุนค่าซ่อมบำรุง ค่าแรงงานในการดูแลระบบที่เพิ่มขึ้นสำหรับมอดูลเซลล์สุริยะที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อสร้างเป็นระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 8 รายละเอียดค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งระบบ

รายการ	ค่าใช้จ่ายของระบบ
1. เงินต้นทุนเริ่มต้น	
1.1 ค่าอุปกรณ์ต่างๆ	
- แผ่นปิดกันด้านหลังมอดูลเซลล์สุริยะ	270 บาท
- ซิลิโคนกันความร้อน	90 บาท
- ฉนวนกันความร้อน	85 บาท
- ข้อต่อท่อน้ำ	50 บาท
- สายไฟฟ้า	40 บาท
1.2 ค่าติดตั้งระบบในภาคสนาม	300 บาท
2. ค่าซ่อมบำรุง	50 บาทต่อปี
3. ค่าแรงงานในการดูแลระบบ	50 บาทต่อปี

การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนมี
เงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

1. ในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาเฉพาะเงินต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของมอดูลเซลล์สุริยะทำการ
ติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อนโดยทำการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใ้
งานของระบบ
2. กำหนดให้อัตราส่วนลด (discount rate) มีค่าเท่ากับ 5% ต่อปี อัตราเงินเฟ้อมีค่า
เท่ากับศูนย์ อายุการใช้งานของระบบเท่ากับ 20 ปี
3. ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ประจำปีในปี พ.ศ.2537 - พ.ศ.2538 มีค่าเท่ากับ
5.141 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน [8]



ตาราง 9 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่อหนึ่งระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์
สุริยะ/ความร้อน

ระบบผลิตพลังงานร่วมเซลล์สุริยะ/ความร้อน	
ค่าตัวแปร: ช่วงเวลาวิเคราะห์ = 20 ปี	อัตราเงินเฟ้อ $i = 0$ อัตราส่วนลด $d = 5\%$
เงินลงทุนเริ่มต้น: ค่าอุปกรณ์ทั้งหมด = 535.00 บาท ค่าติดตั้งระบบในภาคสนาม = 300.00 บาท รวมเงิน = 835.00 บาท	
ค่าซ่อมบำรุง = 50.00 บาท ตัวประกอบส่วนลด = 12.46 มูลค่าเทียบเท่าในปัจจุบัน = 623.00 บาท	
ค่าแรงงานในการดูแลระบบ = 50.00 บาท ตัวประกอบส่วนลด = 12.46 มูลค่าเทียบเท่าในปัจจุบัน = 623.00 บาท	
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน(LCC): ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน = 2081.00 บาท	
ค่าใช้จ่ายต่อปีตลอดอายุการใช้งาน(ALCC): ตัวประกอบส่วนลด = 0.38 ค่าใช้จ่ายต่อปีตลอดอายุการใช้งาน = 5476.32 บาท	
อัตราการไหลของน้ำที่ $33 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$: หน่วยพลังงานต่อปี = 358.72 กิโลวัตต์ชั่วโมง ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้น = 15.27 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	
อัตราการไหลของน้ำที่ $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$: หน่วยพลังงานต่อปี = 369.00 กิโลวัตต์ชั่วโมง ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้น = 14.84 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	
อัตราการไหลของน้ำที่ $100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$: หน่วยพลังงานต่อปี = 420.21 กิโลวัตต์ชั่วโมง ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้น = 13.03 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	

ผลการวิเคราะห์ตามตารางดังกล่าวสรุปได้ว่า พิจารณาตามอัตราการใช้ของน้ำ 3 ค่า คือ 33×10^6 , 50×10^6 และ 100×10^6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่ามีราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้น 15.27, 14.84 และ 13.03 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

