

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและคำนวณ

ผลการทดสอบหาสมรรถนะตัวรับรังสีของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผลการทดสอบการตัวรับรังสี ของระบบผลิตน้ำด้วยแสงอาทิตย์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

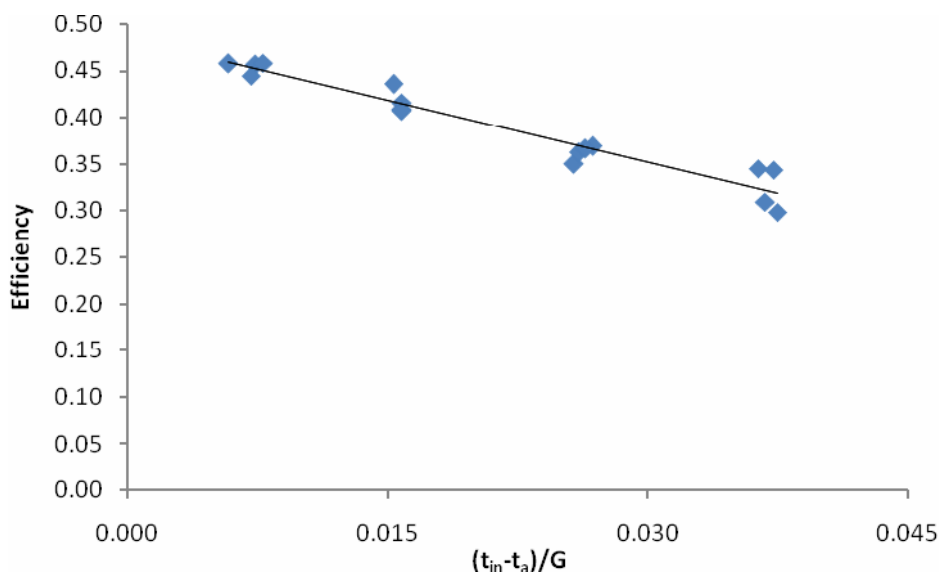
#### 4.1 สมรรถนะของตัวรับรังสี

สมรรถนะของตัวรับรังสี หาได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ร่วมกับการทำการทดสอบ ผลที่ได้จากการคำนวณแบ่งเป็นรายละเอียดดังนี้

##### 4.1.1 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากตัวรับรังสี

###### ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ระยะระหว่างกระจกกับแผ่นดูดรังสี	0.04 m
ค่าการแผ่รังสีของแผ่นกระจก Temper	0.88
ค่าการแผ่รังสีของแผ่นเหล็กดูดรังสี	0.82
ขนาดของตัวแผ่นดูดรังสี	1x2 m <sup>2</sup>
ฉนวนกันความร้อนด้านล่างหน้า	0.005 m
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนโฟม	0.026 W/m K
สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ	15.16 W/m <sup>2</sup> K
ความเร็วลมที่เฉลี่ยที่ใช้ในการทำการทดสอบ	2-4 m/s
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย	32.9 - 35.9 ° C
ค่าการแผ่รังสีจากด้านล่างของตัวรับรังสี	0.26
ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ	920.7– 1007.5 W/m <sup>2</sup>



ภาพ 25 กราฟแสดงประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 25 จากผลที่ได้จากการทำการทดลองพบว่าค่า ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด ( $\eta_{OG}$ ) อยู่ที่ 48.45% และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ( $U_{\Sigma}$ ) ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ  $-4.43 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### 4.1.2 ผลการคำนวณค่าแฟคเตอร์การนำความร้อนมาใช้ (Heat removal factor, $F_R$ ) ของตัวรับรังสีแบบเซอร์เพนไทน์

##### ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์	0.001 m
ขนาดของแผ่นดูดกลืนรังสี	1x2 m <sup>2</sup>
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นดูดกลืนรังสี	41 W/m K
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อทองแดง	0.0127 m
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อทองแดง	0.0107 m
สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากตัวรับรังสี	16.805 W/m <sup>2</sup> K
จำนวน Segment ของท่อ	11
ระยะห่างระหว่างท่อทองแดง(W)	0.1 m

ความยาวแต่ละ Segment (L)	0.7 m
อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวรับรังสี	0.04 kg/s

ในการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เราจะกำหนดค่าระยะห่างระหว่างท่อทองแดงเป็น (W) เท่ากับ 0.07 m, 0.08 m และ 0.1 m. ที่อุณหภูมิการทดสอบที่เวลาต่างๆ สมการที่ใช้คำนวณคือ

$$F_R = F_1 F_3 F_5 \left\{ \frac{2F_4}{F_6 \exp\left[-(1-F_2^2)^{1/2} / F_3\right] + F_5} \right\} \quad (4.1)$$

$$F_1 = \frac{K}{U_L W} \times \frac{KR(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}{[KR(1+\gamma) - 1]^2 - (KR)^2} \quad (4.2)$$

$$F_2 = \frac{1}{KR(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - KR} \quad (4.3)$$

$$F_3 = \frac{m}{F_1 U_L A_C} \quad (4.4)$$

$$F_4 = \left( \frac{1 - F_2^2}{F_2^2} \right)^{1/2} \quad (4.5)$$

$$K = \frac{(k_t \delta U_L)^{1/2}}{\sinh\left[(W - D_{ho})(U_L / k_t \delta)^{1/2}\right]}$$

$$F_5 = \frac{1}{F_2} + F_4 - 1 = \left( \frac{1}{0.292028} + (2.73227) - 1 \right) = 4.64179 \quad (4.6)$$

$$F_6 = 1 - \frac{1}{F_2} + F_4 = 1 - \frac{1}{0.292028} + 2.73227 = 0.822751$$

$$\gamma = -2 \cosh\left[(W - D_{ho})(U_L / k_t \delta)^{1/2}\right] - \frac{D_{ho} U_L}{K} \quad (4.7)$$

$$R = \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_{hi} h_{fi}} \quad (4.8)$$

$$h_{fi} = \frac{1.86 \text{Re}^{1/3} \text{Pr}^{1/3} \left(\frac{D_{hi}}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} k_f}{D_{hi}}, \text{Re} < 2300 \text{ และ } Gz > 10 \quad (4.9)$$

โดยการสมมติให้  $C_b$  มีค่ามากทำให้สมการ 4.8 ในส่วนของ  $(1/C_b = 0)$  ดังนั้นผลการคำนวณจะได้เป็น

$$R = \frac{1}{\pi D_{hi} h_{fi}} \tag{4.10}$$

เมื่อได้ค่า  $U_L$  และค่า  $F_R$  เรานำค่ามาคำนวณหาความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์จากสมการ

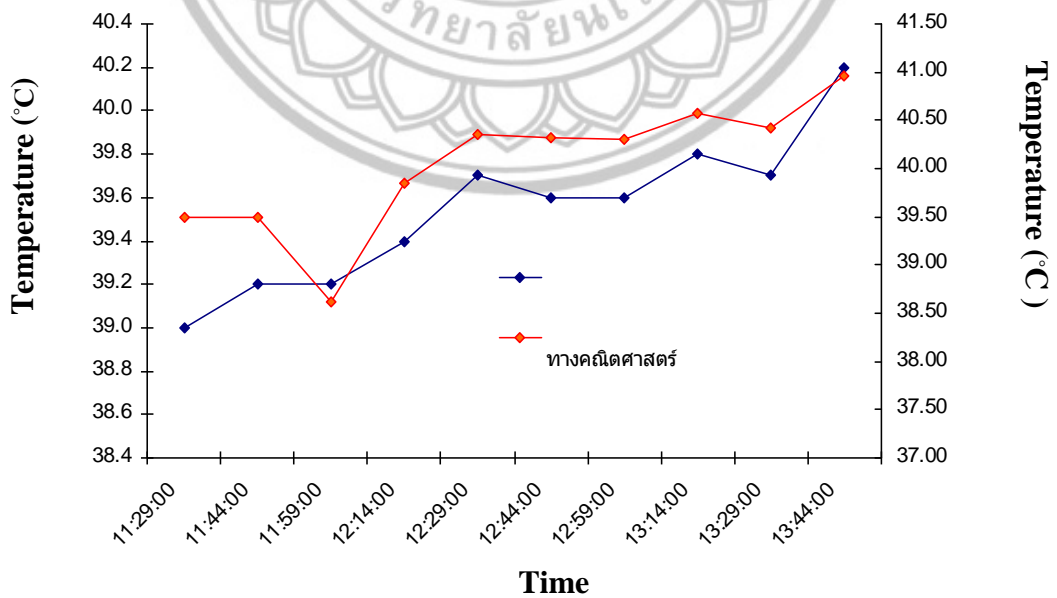
$$Q_u = A_a F_R \left[ I_t (\tau \alpha) - U_L \frac{A_a}{A_r} (T_{fi} - T_a) \right] \tag{4.11}$$

จากนั้นคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับความร้อน ด้วยสมการ

$$T_{fo} = \frac{Q_u}{m C_{pw}} + T_{fi} \tag{4.12}$$

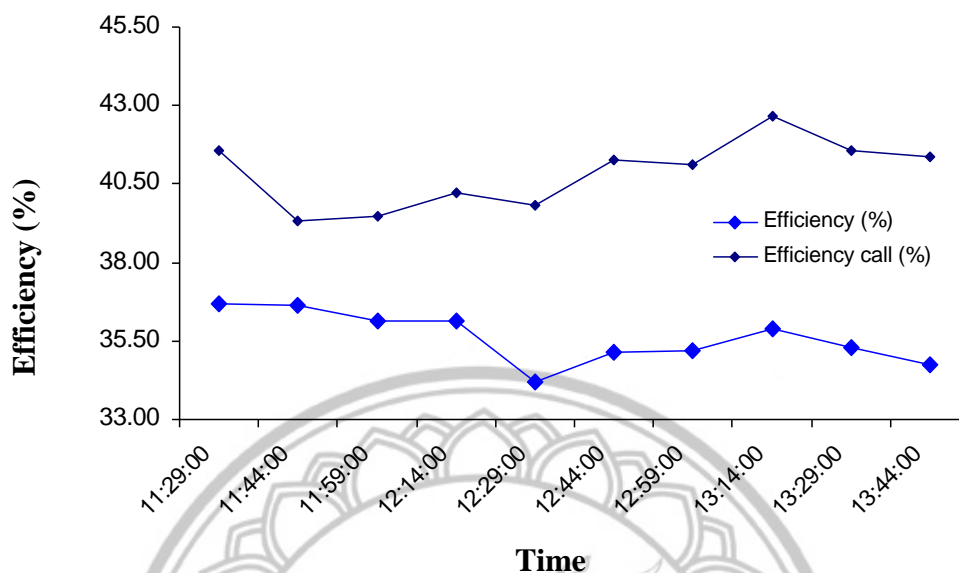
สุดท้ายจากค่าต่างๆที่ได้ทำการหาในสมการที่ 4.1 ถึง 4.12 จะนำมาหาค่าสมรรถนะของตัวรับรังสีได้ดังสมการ

$$\eta = \frac{Q_u}{I_t A_c} \times 100 \tag{4.13}$$



ภาพ 26 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ทางออกของแผงรับความร้อนที่ได้

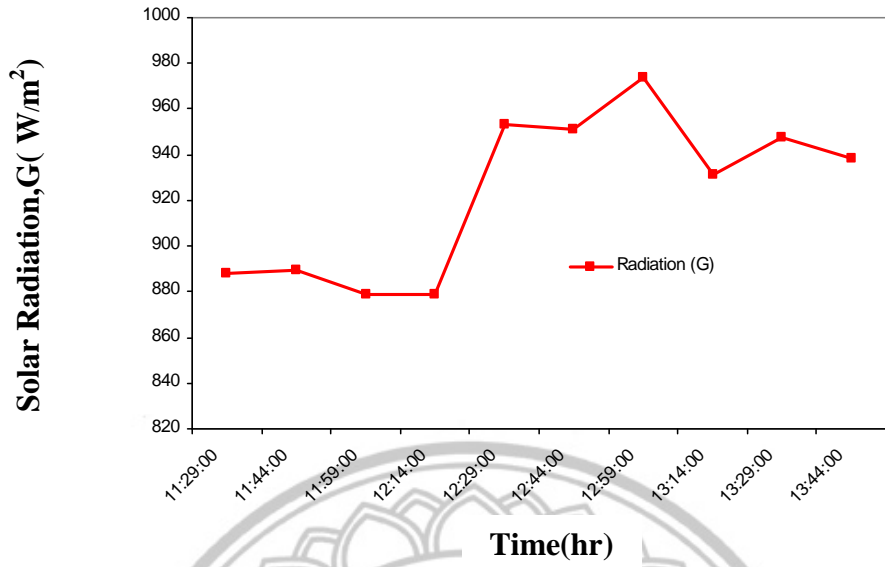
จากการทดลองกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เวลาเริ่มต้นที่ 11.29 น.



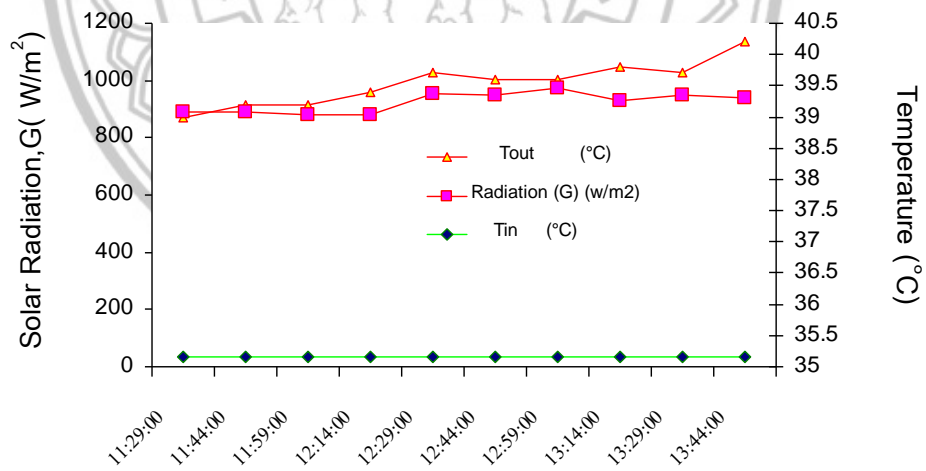
ภาพ 27 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะของตัวรับรังสีความร้อนที่ได้จากการทดลองกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เวลาเริ่มต้นที่ 11.29 น.

#### 4.2 ผลการทดสอบระบบทำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อทองแดงวางในแนวขวางหรือแบบเซอร์เพนไทน์

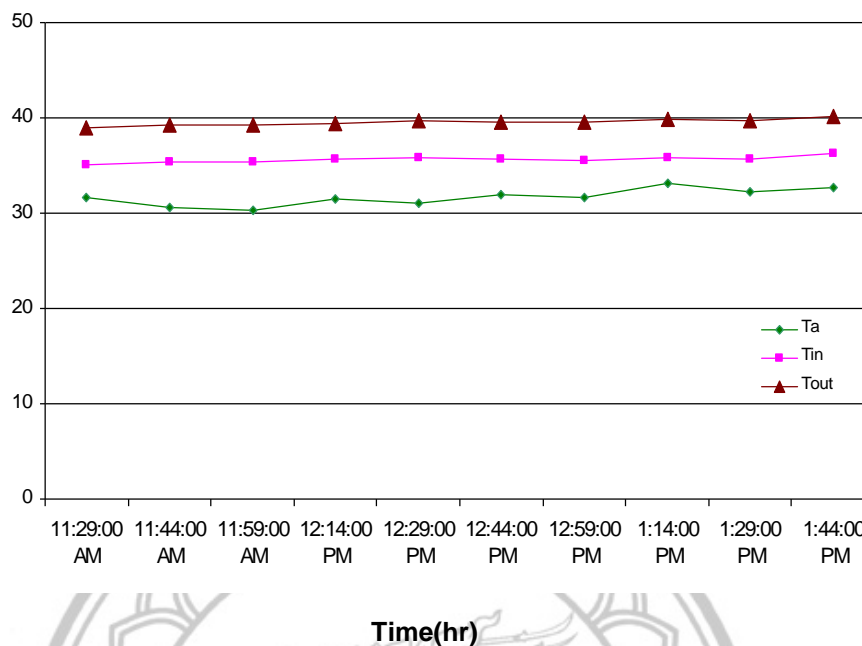
ในการทดสอบนี้มีการวางแผงเครื่องทำน้ำร้อนระบบแสงอาทิตย์ชนิดนี้ โดยทำมุม 13.8 องศา กับแนวระดับและหันไปทางทิศใต้แล้วได้ทำการวัดค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ในบริเวณด้านนอก ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังภาพ 21



ภาพ 28 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์บริเวณด้านนอกเทียบกับช่วงเวลาในการทดลอง



ภาพ 29 ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

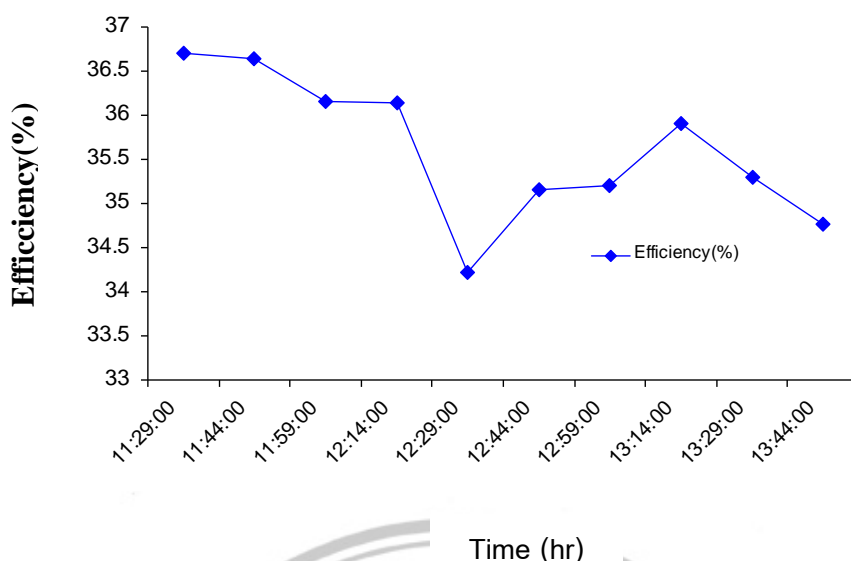


ภาพ 30 ค่าอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม เทียบกับเวลาในการทำการทดสอบ(11.29 - 13.44 น.)

ผลการทดสอบจากภาพ 20 และ 21 ที่ช่วงความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 888.31-947.6  $W/m^2$  (เฉลี่ย 923.07  $W/m^2$ ) พบว่า เมื่อน้ำจากถังบรรจุน้ำถูกปล่อยเข้าสู่ แผงรับรังสีอาทิตย์ น้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ในช่วง 3.9-4.6 °C ซึ่งอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก สูงสุด-ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรวมรังสีแสดงดังตาราง 2

ตาราง 3 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

แหล่งน้ำ	อุณหภูมิสูงสุด(°C)	อุณหภูมิต่ำสุด(°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย(°C)
น้ำเข้า	36.3	35.1	35.7
น้ำออก	41.6	39.0	40.3
ผลต่างน้ำเข้า-ออก	5.3	3.9	4.6



ภาพ 31 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเซอร์เพนไทน์

จากภาพ 24 เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกและความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้วัดในการทดสอบเดียวกับภาพ 20 ซึ่งในวันที่ทำการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเซอร์เพนไทน์ อยู่ในช่วง 34.21- 36.70% (เฉลี่ยประมาณ 35.62 )

ในการผลิตน้ำร้อนด้วยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเซอร์เพนไทน์ ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำร้อนขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างๆ เพียงอย่างเดียวใน ส่วนสภาพอากาศแวดล้อมโดยผลของความเร็วลม ไม่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการผลิตน้ำร้อน เนื่องจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีแผ่นปิดใส ซึ่งป้องกันการเกิดการสูญเสียความร้อน โดยการพาของลม และในส่วนด้านหลังของแผงรับรังสีอาทิตย์ได้ทำการบุฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยเช่นกัน

#### 4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากการทดสอบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

##### 4.4.1 สมบัติต่างๆ ของระบบที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- สมบัติของระบบ
- ความร้อนของระบบ



- ความเร็วลมภายนอกของระบบ
- อากาศภายนอกระบบมีคุณสมบัติเดียวกับอากาศแห้ง

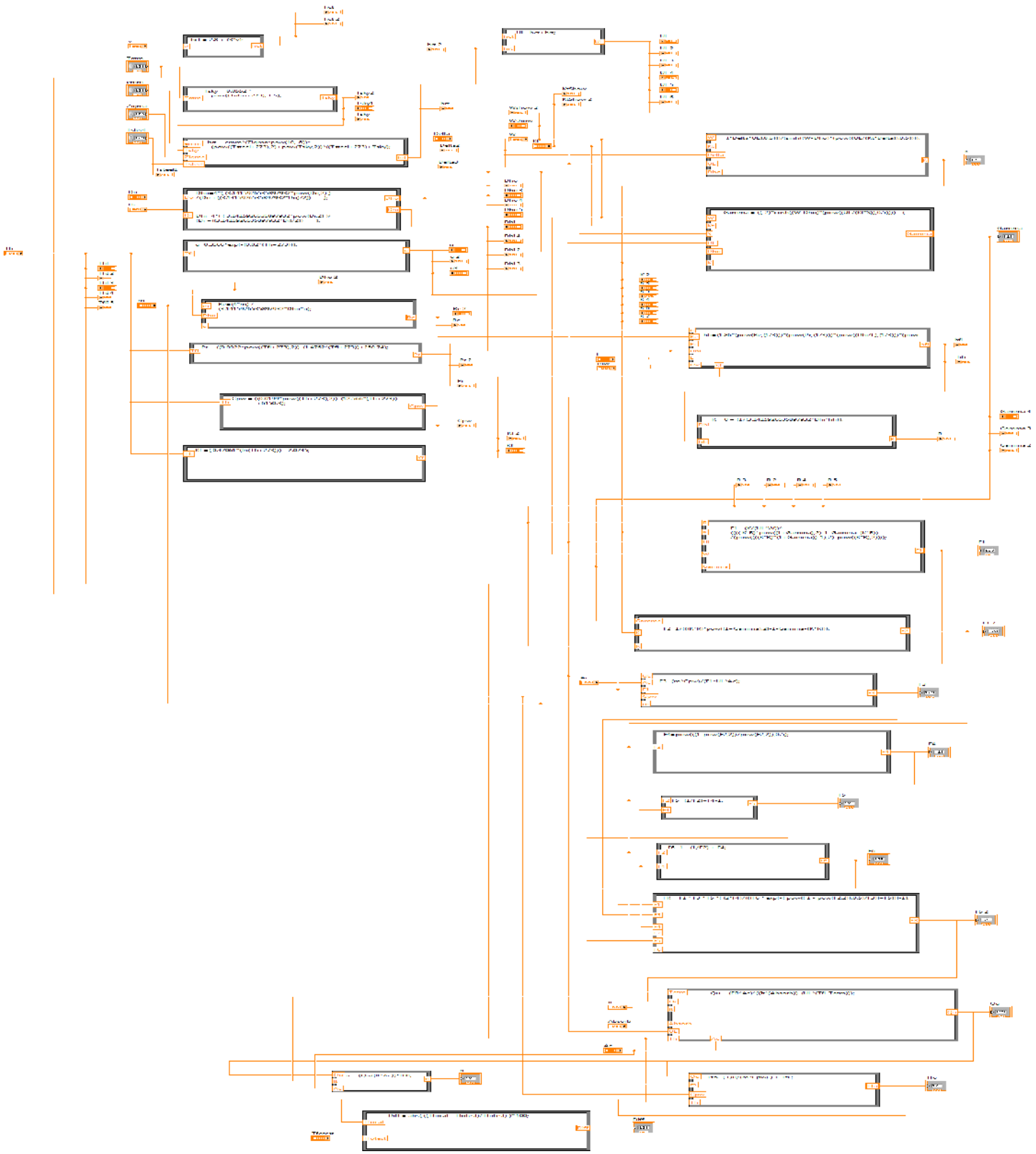
#### 4.4.2 สมมุติฐานในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

- น้ำร้อนที่เข้ามาในท่อสามารถดูดซับความร้อนในขณะที่กำลังถ่ายโอนความร้อนในท่อ
- ความดันและอุณหภูมิที่จะทางเข้าและทางออกของท่อมีค่าคงที่
- รอยเชื่อมต่อของท่อไม่มีผลต่อการถ่ายโอนความร้อนในระบบ
- ไม่คิดผลของฝุ่นและความสกปรกบนตัวรับรังสี
- ไม่มีการสูญเสียความร้อนทางด้านข้างและด้านหลังแผง
- ไม่มีการแผ่รังสีความร้อนทางด้านข้างแผง และไม่คิดค่าการแผ่รังสีความร้อนคลื่นยาว
- ค่าตัวแปรทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมมีค่าคงที่ และความเร็วลมมีค่าคงที่

#### 4.4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เป็นการใช้โปรแกรม โดยผู้วิจัยต้องป้อนข้อมูลในโปรแกรมให้น้อยที่สุด เพื่อคำนวณค่าตามลำดับขั้นดังนี้

- คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนแบบพลังงานแสงอาทิตย์
- คำนวณอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากท่อที่อัตราการไหล 0.04 kg/s
- คำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนแบบพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพ 32 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องทำน้ำร้อน  
พลังงานแสงอาทิตย์แบบเซอร์เพนไทน์

ตาราง 4 แสดงค่า (Tout), ค่าความร้อนที่นำไปใช้งาน (Qu) และค่าประสิทธิภาพที่ระยะห่างของท่อ 80 มิลลิเมตร

Time (h:min:ss)	Radiation (G) (W/m <sup>2</sup> )	Tatm (°C)	Tin (°C)	Toutcal (°C)	Qucal (kJ/min)	$\eta_{cal}$ (%)
11:29:00	888.31	31.6	35.1	39.614	45.155	42.360
11:44:00	889.77	30.6	35.3	39.620	43.161	40.434
11:59:00	878.71	30.3	35.4	39.583	41.845	39.684
12:14:00	879.12	31.5	35.6	39.957	43.586	41.316
12:29:00	953.03	31.1	35.8	40.480	46.812	40.932
12:44:00	951.15	31.9	35.6	40.442	48.430	42.428
12:59:00	973.70	31.6	35.5	40.437	49.384	42.264
1:14:00	931.32	33.1	35.8	40.700	49.003	43.847
1:29:00	947.60	32.2	35.7	40.555	48.565	42.708
1:44:00	938.00	32.7	36.3	41.100	47.837	42.500

จากตาราง 4 พบว่าค่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากแผงเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เฉลี่ยอยู่ที่ 40.24°C พลังงานร้อนความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อยู่ที่ 46.380 kJ/min และประสิทธิภาพของทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 41.85%

ตาราง 5 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง

แหล่งน้ำ	อุณหภูมิสูงสุด(°C)	อุณหภูมิต่ำสุด(°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย(°C)
น้ำเข้า	36.3	35.1	35.7
น้ำออก	40.700	39.583	40.14
ผลต่างน้ำเข้า-ออก	4.40	4.48	4.44

จากตาราง 5 พบว่าเมื่อนำเอาค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิน้ำแผงจากการทดลอง เปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่ามีความผิดพลาดอยู่ประมาณ 0.175 % ซึ่งถือได้ว่าค่าที่ได้จากการทำคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีความเชื่อถือได้

ตาราง 6 แสดงค่า (Tout), ค่าความร้อนที่นำไปใช้งาน (Qu) และค่าประสิทธิภาพที่ระยะห่างของท่อ 100 มิลลิเมตร

Time (h:min:ss)	Radiation (G) (W/m <sup>2</sup> )	Radiation		Toutcal (°C)	Qucal (kJ/min)	$\eta_{cal}$ (%)
		Tatm (°C)	Tin (°C)			
11:29:00	888.31	31.6	35.1	39.50	44.3039	41.558
11:44:00	889.77	30.6	35.3	39.50	42.015	39.349
11:59:00	878.71	30.3	35.4	38.621	40.724	39.471
12:14:00	879.12	31.5	35.6	39.841	42.417	40.208
12:29:00	953.03	31.1	35.8	40.355	45.556	39.835
12:44:00	951.15	31.9	35.6	40.312	47.127	41.290
12:59:00	973.70	31.6	35.5	40.305	48.060	41.131
1:14:00	931.32	33.1	35.8	40.570	47.687	42.670
1:29:00	947.60	32.2	35.7	40.425	47.262	41.563
1:44:00	938.00	32.7	36.3	40.954	46.554	41.360

จากตาราง 6 พบว่าค่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากแผงเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เฉลี่ยอยู่ที่ 40.04 °C พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อยู่ที่ 45.170kJ/min และประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 40.81%

ตาราง 7 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลอง

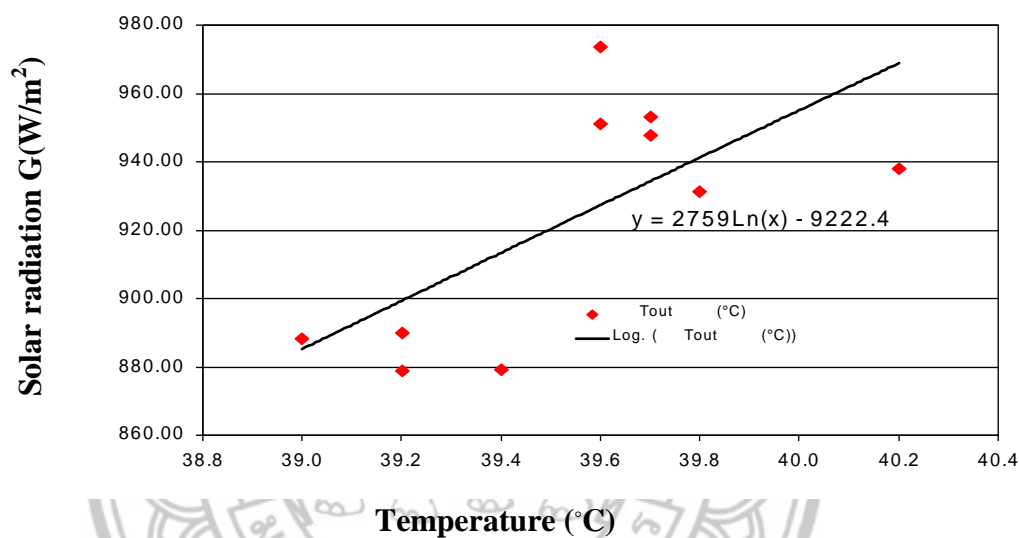
แหล่งน้ำ	อุณหภูมิสูงสุด(°C)	อุณหภูมิต่ำสุด(°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย(°C)
น้ำเข้า	36.3	35.1	35.7
น้ำ อ อ ก แ ผ ง ร ับ แสงอาทิตย์	40.954	38.621	40.04
ผลต่างน้ำเข้า-ออก แผงรับแสงอาทิตย์	4.654	3.521	4.34

จากตาราง 7 พบว่าเมื่อนำเอาค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิน้ำแผงจากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง น้ำเข้า-ออกแผงรับแสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 4.34 °C

ตาราง 8 แสดงค่า(Tout), ค่าความร้อนที่นำไปใช้งาน (Qu) และค่าประสิทธิภาพที่ระยะห่างของท่อ 70 มิลลิเมตร

Time (h:min:ss)	Radiation (G) (W/m <sup>2</sup> )	Tatm (°C)	Tin (°C)	Toutcal (°C)	Qucal (kJ/min)	ηcal (%)
11:29:00	888.31	31.6	35.1	39.650	45.510	42.692
11:44:00	889.77	30.6	35.3	39.65	43.510	40.750
11:59:00	878.71	30.3	35.4	38.620	42.173	40.000
12:14:00	879.12	31.5	35.6	40.00	43.930	41.640
12:29:00	953.03	31.1	35.8	40.520	47.180	41.254
12:44:00	951.15	31.9	35.6	40.480	48.806	42.761
12:59:00	973.70	31.6	35.5	40.476	49.771	42.600
1:14:00	931.32	33.1	35.8	40.740	49.388	44.200
1:29:00	947.60	32.2	35.7	40.600	48.950	43.044
1:44:00	938.00	32.7	36.3	41.120	48.212	43.000

จากตาราง 8 พบว่าค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถ้าระหว่างช่วงท่อทองแดงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 70 มม. เฉลี่ยเท่ากับ  $40.1856\text{ }^{\circ}\text{C}$  พลังงานร้อนความที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อยู่ที่  $46.743\text{ kJ/min}$  และประสิทธิภาพของทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่  $42.194\%$  ดังนั้นเมื่อระยะห่างระหว่างท่อทองแดงลดลงส่งผลให้ได้ค่าความร้อนที่นำไปใช้งาน และประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีแสงอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำที่ออกจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (Tout)

จากภาพ 33 เมื่อนำค่ารังสีแสงอาทิตย์ และค่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่าแปรผันมากหลังจากนำค่าของการกระจายของอุณหภูมิมาทำการพล็อตเป็นกราฟลอการิทึมจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการข้างต้น