



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

ก.1. ตัวอย่างการคำนวณ การหาค่า  $(UA)_{PV}$  ของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน

ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ

$m_w$ , อัตราการไหลของน้ำ	เท่ากับ	65	L/H
$C_{pw}$ , ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	เท่ากับ	4.180	kJ/kg-K
$T_{wh_o}$ , อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูล	เท่ากับ	40.8	°C
$T_{wh_i}$ , อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าจากโมดูล	เท่ากับ	37.2	°C
$T_{PV}$ , อุณหภูมิหน้าโมดูลตอนกลางวัน	เท่ากับ	54.0	°C

ในการคำนวณจะพิจารณาจากอัตราความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเมื่อผ่านโมดูล เมื่อกำหนดโมดูลเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลสองกระแส โดยที่กระแสที่หนึ่งคือโมดูลและของไหลกระแสที่สองคือน้ำร้อน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อผ่านโมดูล ถ้าสมมติให้โมดูลมีอุณหภูมิคงที่ ดังนั้น สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาและออกโมดูลได้ดังนี้

$$Q = m_w C_{pw} (T_{wh_o} - T_{wh_i}) \quad (2.9)$$

$$Q = (UA)_{PV} (LMTD) \quad (2.10)$$

โดยที่

$$LMTD = \frac{(T_{PV} - T_{wh_i}) - (T_{PV} - T_{wh_o})}{\ln \left[ \frac{(T_{PV} - T_{wh_i})}{(T_{PV} - T_{wh_o})} \right]}$$

จากสมการข้างต้นสามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$(UA)_{PV} = \frac{m_w C_{pw} (T_{wh_o} - T_{wh_i})}{LMTD}$$

แทนค่า

$$(UA)_{PV} = 65 \times 0.00028 \times 4.178 \times 1000 \times \ln \left[ \frac{(54 - 37.2)}{(54 - 40.8)} \right]$$

$$(UA)_{PV} = 18.3 \text{ W/K}$$

## ก.2. ตัวอย่างการคำนวณ การหาอุณหภูมิโมดูลและอุณหภูมิน้ำร้อนในถังน้ำร้อน ตอนกลางวัน

ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ (กรณี โมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ)

$m_w$ , อัตราการไหลของน้ำ	เท่ากับ	65	L/H
$M_w$ , มวลของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน	เท่ากับ	60	L
$C_{pw}$ , ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	เท่ากับ	4.18	kJ/kg-K
$UA_{PV}$ , สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของโมดูล	เท่ากับ	38.9	W/m <sup>2</sup> K
$(\tau\alpha)_c$ , ค่าการสะท้อนของแสง และค่าการดูดกลืนแสง	เท่ากับ	0.473	
$I_T$ , ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	เท่ากับ	609.5	W/m <sup>2</sup>
$U_L$ , สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมผิวคู่อากาศอาทิตย์	เท่ากับ	5.48	W/m <sup>2</sup> K
$T_{whi}$ , อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าจาก โมดูลเริ่มต้น	เท่ากับ	29.7	°C
$T_a$ , อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	เท่ากับ	31.1	°C
$\Delta t$ , ช่วงเวลาในการคำนวณ	เท่ากับ	5	minute

ในการคำนวณจะเริ่มจากการคำนวณหาอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูล และ อุณหภูมิโมดูล จากสมการสมดุลพลังงานที่โมดูลในตอนกลางวัน

$$m_w C_{pw} (T_{wh_o} - T_{wh_i}) = A_{PV} [(\tau\alpha)_c I_T - U_L (T_{PV_h} - T_a)]$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} & 65 \times 0.00028 \times 4.18 \times 1000 \times (T_{wh_o} - 29.7) \\ & = 1.43 [(0.473 \times 609.5) - (5.48 \times (T_{PV_h} - 31.1))] \\ & 76.07 (T_{wh_o} - 29.7) = 412.3 - 7.84 (T_{PV_h} - 31.1) \end{aligned} \quad (ก2.1)$$

และจากสมการแสดงความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาและออก โมดูล

$$T_{wh_o} = T_{wh_i} + (T_{PV_h} - T_{wh_i}) \left(1 - e^{\left(\frac{(-UA)_{PV}}{m_w C_{pw}}\right)}\right)$$

แทนค่า

$$T_{wh_o} = 29.7 + (T_{PV_h} - 26.2) \left(1 - e^{\left(\frac{(-38.9 \times 1.43) PV}{65 \times 0.00028 \times 4.18 \times 1000}\right)}\right)$$

$$T_{wh_o} = 29.7 + 0.519(T_{PV_h} - 26.2) \quad (ก2.2)$$

แก้สมการ ก2.1 และ ก2.2 เพื่อหาค่าอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูลและอุณหภูมิโมดูล จะได้ผลการคำนวณดังนี้

$$T_{wh_o} = 35.4 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ และ } T_{PV_h} = 43.65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

จากผลการคำนวณอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูลและอุณหภูมิโมดูลในตอนกลางวัน สามารถนำมาใช้คำนวณหาค่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนในเวลาต่อมาได้จากสมการสมดุลพลังงานของระบบในตอนกลางวัน ดังนี้

$$MC_{pw} \frac{T_{wh_i}^{t+\Delta t} - T_{wh_i}^t}{\Delta t} = A_{PV} [(\tau\alpha)_c I_T - U_L(T_{PV_h} - T_a)]$$

แทนค่า

$$60 \times 4.18 \times 1000 \frac{T_{wh_i}^{t+\Delta t} - 29.9}{5 \times 60} = 1.43 [(0.473 \times 609.5) - (5.48 \times (43.65 - 31.1))]$$

$$T_{wh_i}^{t+\Delta t} = 30.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

### ก.3. ตัวอย่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในตอนกลางวัน

ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ (กรณี โมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ)

$I_T$ , ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ  $609.5 \text{ W/m}^2$

$T_{PVh}$ , อุณหภูมิโมดูลที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อ ก.1. เท่ากับ  $43.65 \text{ } ^\circ\text{C}$

ค่าคงที่ความสัมพันธ์ของกราฟ

สัญลักษณ์	a	b	c	d	e	f
ค่าคงที่	72.96	0.327	$-1 \times 10^{-4}$	-4.32	$9.7 \times 10^{-3}$	$-6.17 \times 10^{-6}$

จากกราฟความสัมพันธ์ ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับอุณหภูมิของโมดูล ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างๆ ของ โมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ

$$P_e = a + bI_T + cI_T^2 + dT_{PVh} + eI_T T_{PVh} + fI_T^2 T_{PVh}$$

แทนด้วยค่าคงที่ความสัมพันธ์ของกราฟ ดังนั้นจะได้

$$P_e = 72.96 + 0.327I_T - (1 \times 10^{-4})I_T^2 - 4.32T_{PVh} + (9.7 \times 10^{-3})I_T T_{PVh} - (6.17 \times 10^{-6})I_T^2 T_{PVh}$$

แทนค่าจากข้อมูลข้างต้น

$$P_e = 72.96 + 0.327(609.5) - (1 \times 10^{-4})(609.5)^2 - 4.32(26.2) + (9.7 \times 10^{-3})(609.5 \times 26.2) - (6.17 \times 10^{-6})(609.5)^2(26.2)$$

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายเท่ากับ

$$P_e = 90.79 \text{ W}$$

#### ก.4. ตัวอย่างการคำนวณ การหาอุณหภูมิน้ำเย็นในถังน้ำเย็นสำหรับโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน

ทั้งนี้ จะเริ่มจากการคำนวณหาค่าคงที่ที่ใช้สำหรับการคำนวณ ดังนี้

##### ก.4.1 ค่าสภาพการเปล่งรังสี

พิจารณา ณ เวลาที่ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของโมดูล ( $T_a = T_{PVc}$ ) แล้ว จะทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดจากการพาความร้อนมีค่าเท่ากับ ศูนย์ จึงสามารถจัดสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon = \frac{m_w C_{pw} (T_{wci} - T_{wco})}{\sigma A_{PV} (T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)}$$

ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ (กรณี โมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ)

$m_w$	อัตราการไหลของน้ำ	เท่ากับ	20	L/H
$C_{pw}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	เท่ากับ	4.18	kJ/kg-K
$A_{PV}$	พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล	เท่ากับ	1.33	m <sup>2</sup>
$\sigma$	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann	เท่ากับ	5.67x10 <sup>-8</sup>	
$T_{wci}$	อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าจากโมดูลเริ่มต้น	เท่ากับ	30.9	°C
$T_{wco}$	อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากโมดูลเริ่มต้น	เท่ากับ	29.0	°C
$T_{PVc}$	อุณหภูมิโมดูลในตอนกลางวัน	เท่ากับ	25.8	°C
$T_a$	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	เท่ากับ	25.8	°C
$T_{sky}$	อุณหภูมิท้องฟ้า	เท่ากับ	17.99	°C

แทนค่าในสมการที่ 2.18 โดยใช้ข้อมูลข้างต้น

$$\varepsilon = \frac{20 \times 0.00028 \times 4.18 \times 1000 (30.9 - 29.0)}{(5.67 \times 10^{-8}) \times (1.33) \times ((25.8 + 273.15)^4 - (17.99 + 273.15)^4)}$$

ดังนั้นค่าสภาพการเปล่งรังสี โมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับเท่ากับ

$$\varepsilon = 0.923$$

โดยผลการคำนวณค่าสภาพการเปล่งรังสีตลอด 4 วัน เป็นไปดังตาราง ก.4.1

ตารางที่ ก.4.1 ผลการคำนวณค่าเปล่งรังสีของ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ (12-15 ต.ค. 2559)

Time	Ta	Dry	Wet	Dew Point	Tsky	Tpv	Tw in	Tw out	ε
	C	K	K	K	C	C	C	C	
20:15:18	25.8	76.5	74.5	76.8	17.99	25.8	30.9	29	0.923
05:55:32	26.4	77.0	71.1	78.4	18.87	26.4	28.8	27	0.900
19:15:51	23.9	71.8	69.6	73.3	15.51	23.9	24	22	0.925
21:00:07	22.1	71.1	70.2	71.9	13.52	22.1	22.7	20.7	0.923
								เฉลี่ย	0.918

ก.4.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ โมดูลPV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ โมดูลสามารถคำนวณได้จาก

$$h_{PV,a} = \frac{m_w C_{pw} (T_{wco} - T_{wci}) + \epsilon \sigma A_{PV} (T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)}{A_{PV} (T_a - T_{PVc})} \quad (2.19)$$

ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ (กรณี โมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ)

$m_w$	อัตราการไหลของน้ำ	เท่ากับ	20 L/H
$C_{pw}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	เท่ากับ	4.18 kJ/kg-K
$A_{PV}$	พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล	เท่ากับ	1.33 m <sup>2</sup>
$\sigma$	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann	เท่ากับ	5.67x10 <sup>-8</sup>
$\epsilon$	ค่าสภาพการเปล่งรังสี	เท่ากับ	0.918
$T_{wci}$	อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าจาก โมดูลเริ่มต้น	เท่ากับ	23.6 °C
$T_{wco}$	อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจาก โมดูลเริ่มต้น	เท่ากับ	23.45 °C
$T_{PVc}$	อุณหภูมิโมดูลในตอนกลางคืน	เท่ากับ	22.1 °C
$T_a$	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	เท่ากับ	23.1 °C
$T_{sky}$	อุณหภูมิท้องฟ้า	เท่ากับ	14.09 °C
$\Delta t$	ช่วงเวลาในการคำนวณ	เท่ากับ	15 minute



แทนค่าในสมการที่ 2.18 โดยใช้ข้อมูลข้างต้น

$$h_{PV,a} = \frac{20 \times 0.00028 \times 4.18 \times 1000 (23.6 - 23.45)}{1.33 (22.1 - 23.1)} + \frac{(5.67 \times 10^{-8}) \times (1.33) \times ((25.8 + 273.15)^4 - (17.99 + 273.15)^4)}{(22.1 - 23.1)}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับเท่ากับ

$$h_{PV,a} = 6.96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

โดยผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตลอด 4 วัน เป็นไปดังตาราง ก.4.2

ตารางที่ ก.4.2 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ โมดูล PV/T (12-15 ต.ค. 2559)

	12/10/2016	13/10/2016	14/10/2016	15/10/2016	$h_{PV,a}$ เฉลี่ย (W/K)
$h_{PV,a}$	6.62	8.82	7.74	7.20	7.60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

ก.4.3 การคำนวณหาอุณหภูมิน้ำเย็นตอนกลางคืน โมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับเท่ากับ

ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ (กรณีโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ)

$m_w$ , อัตราการไหลของน้ำ	เท่ากับ	20	L/H
$M_w$ , มวลของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน	เท่ากับ	60	L
$C_{pw}$ , ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	เท่ากับ	4.18	kJ/kg-K
$A_{PV}$ , พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล	เท่ากับ	1.33	m <sup>2</sup>
$h_{PV,a}$ , สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของโมดูลกับอากาศหน้าโมดูล	เท่ากับ	7.60	W/m <sup>2</sup> K
$h_{PV,w}$ , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่านโมดูล	เท่ากับ	5.20	W/m <sup>2</sup> K
$\epsilon$ , ค่าสภาพการเปล่งรังสี	เท่ากับ	0.918	
$T_{wci}$ , อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าจากโมดูลเริ่มต้น	เท่ากับ	31.6	°C
$T_a$ , อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	เท่ากับ	27.5	°C
$T_{sky}$ , อุณหภูมิท้องฟ้า	เท่ากับ	18.88	°C
$\Delta t$ , ช่วงเวลาในการคำนวณ	เท่ากับ	15	minute

ในการคำนวณจะเริ่มจากการคำนวณหาอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูล และ อุณหภูมิโมดูลจากสมการสมดุลพลังงานที่โมดูลในตอนกลางวัน

$$m_w C_{pw} (T_{wco} - T_{wci}) = A_{PV} [h_{PV,a} (T_a - T_{PVc}) - \epsilon \sigma (T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)]$$

แทนค่าจากข้อมูลข้างต้น

$$(65 \times 0.00028 \times 4.18 \times 1000) x (T_{who} - 31.6) = 1.33 x \{ 7.60 x (27.5 - T_{PV}) - [(0.917 \times 5.67 \times 10^{-8}) x (T_{PV}^4 - (18.88 + 273.15)^4)] \}$$

$$76.07 (T_{who} - 31.6)$$

$$= 10.11 (27.5 - T_{PV}) - 6.92 \times 10^{-8} (T_{PV} - 7.2 \times 10^9) \quad (ก4.1)$$

และจากสมการแสดงความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาและออกโมดูล

$$T_{wco} = T_{wci} + (T_{PVc} - T_{wci})(1 - e^{\left(\frac{(-hA)_{PV,w}}{m_w C_{pw}}\right)})$$

แทนค่าจากข้อมูลข้างต้น

$$T_{wh_o} = 31.6 + (T_{PVc} - 31.6)(1 - e^{\left(\frac{(-5.2 \times 1.33)_{PV}}{20 \times 0.00028 \times 4.18 \times 1000}\right)})$$

$$T_{wh_o} = 31.6 + 0.256(T_{PVc} - 31.6) \quad (ก4.2)$$

แก้สมการ ก4.1 และ ก4.2 เพื่อหาค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากโมดูลและอุณหภูมิโมดูล จะได้ผลการคำนวณดังนี้

$$T_{wh_o} = 31.1 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ และ } T_{PVc} = 26.74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

จากผลการคำนวณอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูลและอุณหภูมิโมดูลในตอนกลางวัน สามารถนำมาใช้คำนวณหาค่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนในเวลาต่อมาได้ จากสมการสมดุลพลังงานของระบบในตอนกลางวัน ดังนี้

$$MC_{pw}(T_{wci}^{t+\Delta t} - T_{wci}^t) = A_{PV}\Delta t[h_{PV,a}(T_a - T_{PVc}) - \varepsilon\sigma(T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)]$$

แทนค่าจากข้อมูลข้างต้น

$$(60 \times 4.18 \times 1000) \times (T_{wci}^{t+\Delta t} - 31.6) = 1.33 \times 15 \times 60 \times \{8.79(27.5 - 26.74) - [(0.917 \times 5.67 \times 10^{-8}) \times ((26.74 + 273.15)^4 - (18.88 + 273.15)^4)]\}$$

ดังนั้นค่าอุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำเย็น จะได้ผลการคำนวณดังนี้

$$T_{wci}^{t+\Delta t} = 31.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## ก.5. ตัวอย่างการคำนวณ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตและประหยัดได้ของระบบ PV/T

ก.5.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ กรณีที่ 1 ไม่มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็น วันตัวแทน 16 มีนาคม

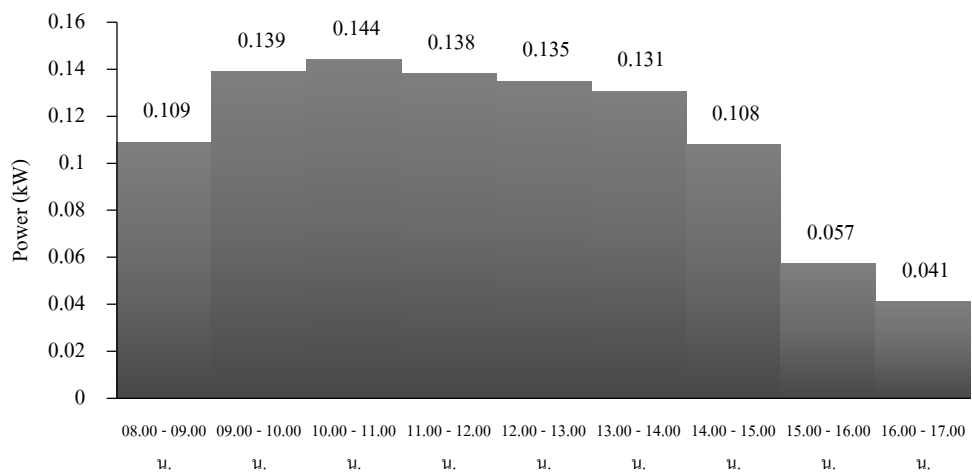
ตาราง ก.5.1 ข้อมูล เวลา 08.00-09.00 น.

Time	It	Ta	Power	
	W/m <sup>2</sup>	C	W	kWh
8.00	492.05	24.77	87.22	0.109
8.05	511.96	24.97	91.66	
8.10	531.83	25.17	95.97	
8.15	551.65	25.37	100.14	
8.20	571.37	25.57	104.16	
8.25	590.99	25.77	108.02	
8.30	610.47	25.97	111.71	
8.35	629.79	26.18	115.22	
8.40	648.93	26.38	118.54	
8.45	667.85	26.59	121.68	
8.50	686.54	26.79	124.62	
8.55	704.97	26.99	127.36	

คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00-09.00 น. ดังตารางที่ ก.5.1 จาก

$$(87.22+91.66+95.97+100.14+104.16+108.02+111.71+15.22+118.54+121.68+124.62+127.36) \times (5/60/1000) = 0.109 \text{ kWh}$$

ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณตลอดวันจะได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW) และเวลา ดังรูปที่ ก.5.1 ทั้งนี้เมื่อหาผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟจะได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดวัน โดยจะมีค่าเท่ากับ 0.965 kWh/day



พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW) กับ เวลา ดังรูปที่ ก.5.1

ก.5.2 จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ จากการผลิตน้ำร้อน กรณีที่ 1 ไม่มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็น วันตัวแทน 16 มีนาคม

ตาราง ก.5.2 ข้อมูล เวลา 08.00-09.00 น.

Time	T <sub>wh</sub>	Q <sub>store H</sub>	
	C	W	kWh
8.00	30.00	130.50	0.165
8.05	30.32	137.20	
8.10	30.65	143.81	
8.15	31.00	150.34	
8.20	31.36	156.76	
8.25	31.73	163.07	
8.30	32.11	169.27	
8.35	32.51	175.35	
8.40	32.92	181.29	
8.45	33.33	187.09	
8.50	33.76	192.75	
8.55	34.21	198.26	

อัตราการเปลี่ยนแปลงความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน จำนวนได้จาก

$$Q = MC_{pw} \frac{T_{wh_i}^{t+\Delta t} - T_{wh_i}^t}{\Delta t}$$

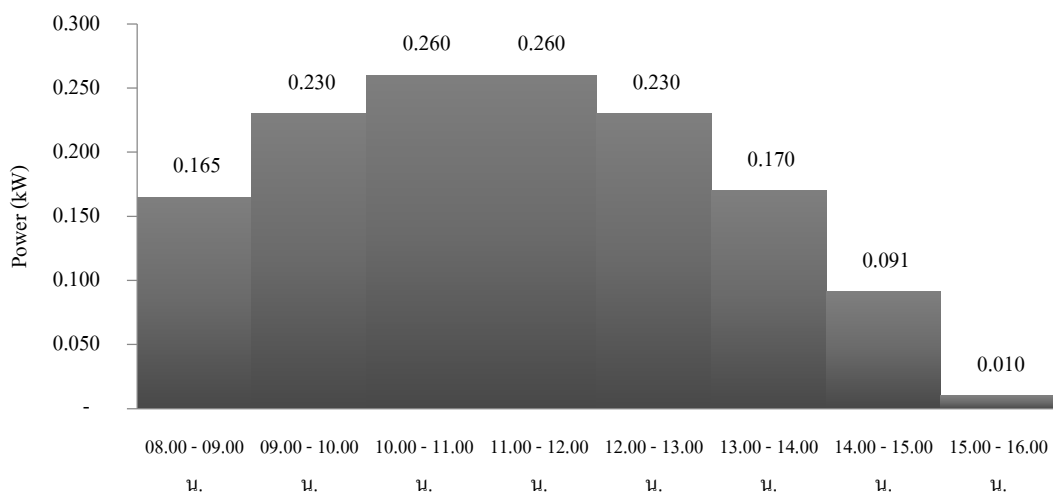
$$Q = 60 \times 4178 \frac{30.32 - 30.0}{5 \times 60}$$

$$Q = 130.5 \text{ W}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในแต่ละชั่วโมงจากการผลิตน้ำร้อน ตั้งแต่เวลา 08.00-09.00 น. ดังตารางที่ ก.5.2 หากจาก

$$(130.5+137.2+143.81+150.34+156.76+163.07+169.27+175.35+181.29+187.09+192.75+198.26) \times (5/60/1000) = 0.165 \text{ kWh}$$

ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณตลอดวันจะได้พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kW) และเวลา ดังรูปที่ ก.5.2 ทั้งนี้เมื่อหาผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟจะได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดวัน โดยจะมีค่าเท่ากับ 1.426 kWh/day



พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW) กับ เวลา ดังรูปที่ ก.5.2

ก.5.3 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน กรณีที่ 2 มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็น วันตัวแทน 16 มีนาคม โดย

จำนวนวันที่มีการระบายความร้อน

Su	M	Tu	We	Th	Fr	Sa
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

ดังนั้น สำหรับเดือน มีนาคม จะมีวันที่  
ไม่มีการระบายความร้อน 25 วันต่อเดือน ส่วน  
วันที่ระบายความร้อน 6 วัน ต่อเดือน

ทั้งนี้ ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนต่อวัน จะคำนวณเหมือนกับในหัวข้อ ก.5.1 และ ก.5.2 ซึ่งจะแสดงผลในตารางภาคผนวก ข.7 โดยผลการคำนวณได้สรุป ดังตาราง ก.5.3 ต่อไปนี้

ตาราง ก.5.3 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน เดือนมีนาคม(ทำนาย)

Time	กรณี 2 วันที่มีการระบายความร้อน		กรณี 1 วันที่ไม่มีการระบายความร้อน	
	Power (kWh)	Qstore H (kWh)	Power (kWh)	Qstore H (kWh)
08.00 - 09.00 น.	0.109	0.165	0.109	0.165
09.00 - 10.00 น.	0.139	0.229	0.139	0.229
10.00 - 11.00 น.	0.144	0.264	0.144	0.264
11.00 - 12.00 น.	0.138	0.264	0.138	0.264
12.00 - 13.00 น.	0.151	0.389	0.14	0.23
13.00 - 14.00 น.	0.141	0.310	0.13	0.17
14.00 - 15.00 น.	0.114	0.216	0.11	0.09
15.00 - 16.00 น.	0.064	0.126	0.06	0.01
Total (kWh/day)	1.000	1.963	0.965	1.426

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเดือนมีนาคม เท่ากับ

$$= (25 \text{ day} \times 0.965 \text{ kWh}) + (6 \text{ day} \times 1.0 \text{ kWh})$$

$$= 30.1 \text{ kWh/month}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนของเดือนมีนาคม เท่ากับ

$$= (25 \text{ day} \times 1.963 \text{ kWh}) + (6 \text{ day} \times 1.426 \text{ kWh})$$

$$= 47.4 \text{ kWh/month}$$

ดังนั้น สามารถคำนวณราคาพลังงานไฟฟ้าประหยัดได้สำหรับเดือนมีนาคม เท่ากับ

$$= (30.1 + 47.4) \text{ kWh/month} \times 4 \text{ Baht/kWh}$$

$$= 310 \text{ Baht/month}$$

ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนของเดือนอื่นๆ จะคำนวณเหมือนกับการคำนวณข้างต้น ซึ่งจะแสดงผลในตารางภาคผนวก ข.8



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบระบบ ในแต่ละกรณีศึกษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ตาราง ข.1 ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่ยังไม่มีภาระระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
	W/m <sup>2</sup>	°C	Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
			°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
09:15:00	609.56	31.10	26.20	31.10	43.86	44.30	43.86	44.00	28.40	28.12	28.40	28.31	87.98	13.51%
09:20:00	595.13	31.10	26.70	30.50	44.06	44.50	44.06	44.20	28.40	27.97	28.10	28.16	80.74	13.49%
09:25:00	655.54	30.60	27.00	31.50	44.95	45.40	44.95	45.10	29.90	29.55	29.80	29.75	97.52	13.54%
09:30:00	690.71	31.50	28.00	32.00	46.33	46.80	46.33	46.49	30.20	29.40	29.20	29.60	103.02	13.40%
09:35:00	694.32	31.20	28.40	32.30	45.94	46.40	45.94	46.09	30.60	30.10	30.20	30.30	110.07	13.41%
09:40:00	660.95	31.40	32.50	34.10	45.64	46.10	45.64	45.79	30.90	30.54	30.80	30.75	106.25	13.47%
09:45:00	761.95	32.00	33.60	34.70	46.33	46.80	46.33	46.49	31.20	30.29	30.00	30.50	117.74	13.06%
09:50:00	807.03	32.20	33.30	34.20	47.62	48.10	47.62	47.78	31.60	30.69	30.40	30.90	142.70	12.76%
09:55:00	780.88	32.60	33.70	35.50	48.02	48.50	48.02	48.18	31.90	30.94	30.60	31.15	143.00	12.90%
10:00:00	801.26	32.90	32.20	34.40	46.23	46.70	46.23	46.39	32.10	32.03	32.60	32.24	140.01	12.73%
10:05:00	814.24	33.00	33.00	34.50	47.42	47.90	47.42	47.58	32.60	32.13	32.30	32.34	142.91	12.63%
10:10:00	815.51	33.40	32.40	36.00	46.83	47.30	46.83	46.98	35.50	33.76	32.70	33.99	135.31	12.58%
10:15:00	780.79	32.80	34.70	35.30	43.07	43.50	43.07	43.21	34.80	33.02	31.90	33.24	143.46	12.87%
10:20:00	719.48	33.80	34.50	36.10	45.14	45.60	45.14	45.30	35.70	34.25	33.50	34.48	125.01	13.11%
10:25:00	816.50	34.70	34.20	35.50	48.41	48.90	48.41	48.57	36.60	34.60	33.30	34.83	147.50	12.45%
10:30:00	890.89	35.00	35.50	38.00	49.30	49.80	49.30	49.47	37.20	35.19	33.90	35.43	138.65	11.76%
10:35:00	916.14	34.70	35.50	37.70	50.29	50.80	50.29	50.46	37.80	36.04	35.00	36.28	145.29	11.52%
10:40:00	917.04	35.60	34.70	38.00	51.38	51.90	51.38	51.55	38.30	36.43	35.30	36.68	147.06	11.42%
10:45:00	815.15	35.70	36.80	38.70	52.47	53.00	52.47	52.65	38.90	36.98	35.80	37.23	149.76	12.36%
10:50:00	789.00	35.40	37.00	37.60	50.79	51.30	50.79	50.96	38.70	36.93	35.90	37.18	120.59	12.58%
10:55:00	917.04	36.10	38.00	38.40	51.18	51.70	51.18	51.36	39.20	37.52	36.60	37.77	149.99	11.36%
11:00:00	926.06	36.70	38.50	40.20	51.38	51.90	51.38	51.55	39.80	37.27	35.50	37.52	149.46	11.19%
11:05:00	949.50	37.30	39.70	40.30	52.87	53.40	52.87	53.04	40.10	38.26	37.20	38.52	148.38	10.85%
11:10:00	919.74	37.80	38.00	40.20	53.06	53.60	53.06	53.24	40.50	38.56	37.40	38.82	148.15	11.14%
11:15:00	935.98	38.00	41.00	41.20	53.46	54.00	53.46	53.64	40.90	38.56	37.00	38.82	146.64	10.93%
11:20:00	944.09	37.70	41.00	42.20	54.35	54.90	54.35	54.53	41.50	38.91	37.10	39.17	146.32	10.86%
11:25:00	955.81	37.70	41.00	42.90	55.14	55.70	55.14	55.33	41.90	39.75	38.40	40.02	154.25	10.71%

ตาราง ข.1 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ  
สำหรับวันที่ยังไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Twhi	Twlo	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
			Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
11:35:00	965.10	37.80	42.50	42.90	58.21	58.80	58.21	58.41	41.10	39.90	39.50	40.17	147.72	10.57%
11:40:00	973.85	37.80	38.50	42.80	55.04	55.60	55.04	55.23	41.70	39.60	38.30	39.87	158.86	10.46%
11:45:00	959.69	37.90	41.80	43.00	57.42	58.00	57.42	57.61	42.30	40.59	39.70	40.86	132.64	10.62%
11:50:00	1,027.95	37.50	42.00	44.90	53.56	54.10	53.56	53.74	41.80	40.29	39.60	40.56	154.65	9.75%
11:55:00	1,000.90	37.30	42.00	45.40	58.41	59.00	58.41	58.61	43.60	41.13	39.50	41.41	153.74	10.14%
12:00:00	1,045.27	37.10	40.60	43.40	59.40	60.00	59.40	59.60	43.40	41.78	41.00	42.06	136.28	9.54%
12:05:00	938.68	36.90	42.00	43.20	55.74	56.30	55.74	55.92	42.30	41.23	41.00	41.51	145.20	10.97%
12:10:00	939.58	36.90	41.50	44.30	56.73	57.30	56.73	56.92	43.30	41.63	40.80	41.91	153.13	10.95%
12:15:00	953.11	36.80	41.30	44.20	55.94	56.50	55.94	56.12	44.20	42.57	41.80	42.86	148.00	10.80%
12:20:00	952.21	36.80	42.80	43.60	57.22	57.80	57.22	57.41	44.40	42.87	42.20	43.16	142.02	10.81%
12:25:00	921.55	37.00	42.20	45.20	57.62	58.20	57.62	57.81	44.40	42.77	42.00	43.06	144.05	11.14%
12:30:00	947.70	37.00	41.90	46.00	57.92	58.50	57.92	58.11	44.90	42.92	41.80	43.21	134.30	10.83%
12:35:00	942.29	37.00	41.90	44.90	57.42	58.00	57.42	57.61	45.20	42.87	41.40	43.16	142.56	10.89%
12:40:00	933.27	37.00	44.60	45.30	56.83	57.40	56.83	57.02	45.40	43.07	41.60	43.36	138.30	11.00%
12:45:00	951.30	37.10	44.90	45.50	56.43	57.00	56.43	56.62	46.10	43.81	42.40	44.10	142.88	10.77%
12:50:00	933.27	37.40	44.00	46.20	57.42	58.00	57.42	57.61	46.30	44.70	44.00	45.00	141.08	10.95%
12:55:00	899.01	37.80	43.80	46.20	56.43	57.00	56.43	56.62	46.50	44.95	44.30	45.25	140.81	11.30%
13:00:00	914.33	37.80	43.80	45.90	55.54	56.10	55.54	55.73	46.40	44.90	44.30	45.20	143.33	11.12%
13:05:00	852.12	37.60	45.30	46.00	56.03	56.60	56.03	56.22	46.90	45.00	44.00	45.30	139.46	11.79%
13:10:00	908.92	37.50	45.80	47.70	54.45	55.00	54.45	54.63	47.20	45.44	44.60	45.75	139.29	11.21%
13:15:00	880.97	37.60	45.50	47.80	54.65	55.20	54.65	54.83	47.40	45.54	44.60	45.85	141.62	11.50%
13:20:00	873.76	37.50	46.70	47.60	54.55	55.10	54.55	54.73	47.40	45.24	44.00	45.55	140.00	11.58%
13:25:00	870.15	37.60	46.10	46.90	54.25	54.80	54.25	54.43	47.60	45.94	45.20	46.25	141.48	11.60%
13:30:00	801.08	37.60	44.80	47.30	55.64	56.20	55.64	55.83	47.70	46.38	46.00	46.69	141.53	12.22%
13:35:00	799.82	37.50	45.30	47.50	52.07	52.60	52.07	52.25	47.50	46.38	46.20	46.69	143.67	12.23%
13:40:00	857.53	37.30	47.40	48.50	52.77	53.30	52.77	52.94	48.00	45.94	44.80	46.25	142.86	11.75%
13:45:00	843.10	37.10	47.40	49.20	52.87	53.40	52.87	53.04	48.30	46.73	46.10	47.04	140.25	11.90%

ตาราง ข.1 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ  
 สำหรับวันที่ยังไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
	W/m <sup>2</sup>	°C	Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
			°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
14:00:00	792.60	37.60	46.50	49.80	54.05	54.60	54.05	54.24	48.90	46.88	45.80	47.19	134.38	12.27%
14:05:00	774.57	37.60	47.40	49.90	53.46	54.00	53.46	53.64	48.90	47.37	46.80	47.69	136.07	12.40%
14:10:00	764.65	37.50	47.90	48.20	53.96	54.50	53.96	54.14	49.10	47.47	46.80	47.79	135.04	12.47%
14:15:00	750.22	37.50	48.60	50.50	52.77	53.30	52.77	52.94	49.50	47.52	46.50	47.84	135.40	12.55%
14:20:00	736.70	37.60	47.90	50.50	52.57	53.10	52.57	52.75	49.90	47.77	46.60	48.09	131.31	12.62%
14:25:00	722.27	37.70	48.10	51.20	53.16	53.70	53.16	53.34	50.00	48.51	48.00	48.84	133.11	12.68%
14:30:00	703.33	38.10	48.60	51.10	51.78	52.30	51.78	51.95	49.80	48.11	47.40	48.44	130.59	12.73%
14:35:00	690.71	38.00	48.40	51.30	51.78	52.30	51.78	51.95	49.80	48.16	47.50	48.49	131.70	12.78%
14:40:00	673.58	38.00	50.60	50.80	51.38	51.90	51.38	51.55	50.00	48.26	47.50	48.59	129.31	12.83%
14:45:00	662.76	37.60	48.40	51.90	52.07	52.60	52.07	52.25	50.20	48.96	48.70	49.29	125.33	12.88%
14:50:00	651.94	37.40	49.80	52.40	52.87	53.40	52.87	53.04	50.00	49.01	49.00	49.34	118.58	12.91%
14:55:00	633.00	37.10	49.00	51.60	51.78	52.30	51.78	51.95	49.30	48.41	48.50	48.74	113.00	12.94%
15:00:00	614.07	37.30	50.20	48.70	51.28	51.80	51.28	51.45	49.60	49.01	49.40	49.34	107.25	12.92%
15:05:00	602.34	36.90	48.70	51.60	51.08	51.60	51.08	51.26	49.80	49.20	49.60	49.53	103.01	12.93%
15:10:00	587.01	37.00	49.70	51.40	50.09	50.60	50.09	50.26	49.50	49.05	49.60	49.38	94.60	12.89%
15:15:00	568.98	37.80	49.30	51.10	50.09	50.60	50.09	50.26	50.50	48.96	48.40	49.29	88.79	12.77%
15:20:00	551.85	38.50	48.60	52.00	49.80	50.30	49.80	49.96	48.60	48.66	49.70	48.99	82.34	12.64%
15:25:00	533.81	39.60	49.30	50.00	50.19	50.70	50.19	50.36	49.10	49.10	50.10	49.43	77.62	12.44%
15:30:00	514.88	40.30	48.30	52.10	49.10	49.60	49.10	49.27	48.50	48.46	49.40	48.79	71.89	12.23%
15:35:00	497.74	41.10	49.40	52.10	48.61	49.10	48.61	48.77	48.80	48.36	48.90	48.69	65.49	12.00%
15:40:00	476.10	41.30	49.40	48.30	48.11	48.60	48.11	48.28	48.70	48.56	49.40	48.89	64.26	11.72%
15:45:00	456.27	41.40	47.70	48.50	47.62	48.10	47.62	47.78	48.60	48.81	50.00	49.14	59.54	11.42%
15:50:00	436.43	41.80	49.10	48.10	47.52	48.00	47.52	47.68	48.60	48.66	49.70	48.99	53.52	11.03%
15:55:00	399.46	41.80	48.80	52.30	47.32	47.80	47.32	47.48	48.60	48.21	48.80	48.54	46.64	10.20%
16:00:00	344.45	41.80	49.90	51.80	46.83	47.30	46.83	46.98	48.90	49.01	50.10	49.34	41.01	8.44%
16:05:00	273.22	41.50	48.60	50.60	46.73	47.20	46.73	46.89	49.00	49.10	50.20	49.43	34.04	4.74%
16:10:00	275.02	41.40	49.30	52.40	46.63	47.10	46.63	46.79	48.70	48.36	49.00	48.69	30.64	4.88%

ตาราง ข.2 ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับวันที่  
 ยังไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	I T	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
			Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
09:15:00	609.56	31.10	29.90	37.00	45.16	45.50	45.31	45.32	29.00	28.71	30.00	29.24	75.17	9%
09:20:00	595.13	31.10	30.50	38.00	45.16	45.50	45.16	45.27	30.10	29.80	30.90	30.27	74.42	9%
09:25:00	655.54	30.60	31.00	39.20	45.66	46.00	45.66	45.77	30.90	30.59	31.90	31.13	76.49	8%
09:30:00	690.71	31.50	31.60	40.70	46.55	46.90	46.55	46.67	31.80	31.48	33.10	32.13	89.90	9%
09:35:00	694.32	31.20	32.20	42.10	47.44	47.80	47.44	47.56	32.90	32.57	34.40	33.29	106.26	11%
09:40:00	660.95	31.40	33.20	42.50	48.14	48.50	48.14	48.26	34.10	33.76	35.50	34.45	103.68	11%
09:45:00	761.95	32.00	34.90	42.70	49.03	49.40	49.03	49.15	35.40	35.05	36.50	35.65	133.63	12%
09:50:00	807.03	32.20	35.60	43.70	50.22	50.60	50.22	50.35	36.30	35.94	37.50	36.58	136.78	12%
09:55:00	780.88	32.60	37.10	44.70	51.01	51.40	51.01	51.14	37.20	36.83	38.50	37.51	133.94	12%
10:00:00	801.26	32.90	38.00	43.40	49.43	49.80	49.43	49.55	38.30	37.92	39.20	38.47	118.47	10%
10:05:00	814.24	33.00	39.10	45.60	50.72	51.10	50.72	50.84	39.10	38.71	39.70	39.17	133.38	11%
10:10:00	815.51	33.40	39.30	44.80	50.52	50.90	50.52	50.65	39.80	39.40	40.50	39.90	120.53	10%
10:15:00	780.79	32.80	40.40	42.70	47.64	48.00	47.64	47.76	40.20	39.80	40.90	40.30	113.90	10%
10:20:00	719.48	33.80	41.60	46.10	49.63	50.00	49.63	49.75	40.70	40.29	41.00	40.66	113.98	11%
10:25:00	816.50	34.70	41.00	49.50	53.10	53.50	53.10	53.23	41.20	40.79	42.20	41.40	134.56	12%
10:30:00	890.89	35.00	41.70	49.70	54.09	54.50	54.09	54.23	42.40	41.98	42.80	42.39	135.02	11%
10:35:00	916.14	34.70	42.30	51.10	55.58	56.00	55.58	55.72	43.10	42.67	44.30	43.36	136.10	10%
10:40:00	917.04	35.60	43.40	52.30	57.07	57.50	57.07	57.21	44.20	43.76	45.40	44.45	137.71	11%
10:45:00	815.15	35.70	43.80	53.30	58.26	58.70	58.26	58.41	45.10	44.65	46.40	45.38	141.37	12%
10:50:00	789.00	35.40	45.50	51.80	56.97	57.40	56.97	57.11	46.40	45.94	47.30	46.55	127.98	11%
10:55:00	917.04	36.10	47.30	53.00	57.86	58.30	57.86	58.01	47.40	46.93	47.90	47.41	140.38	11%
11:00:00	926.06	36.70	47.70	55.20	58.66	59.10	58.66	58.80	47.80	47.32	48.90	48.01	140.95	11%
11:05:00	949.50	37.30	47.50	57.60	60.74	61.20	60.74	60.89	48.30	47.82	49.80	48.64	139.40	10%
11:10:00	919.74	37.80	48.20	58.20	61.54	62.00	61.54	61.69	49.30	48.81	50.50	49.54	139.28	11%
11:15:00	935.98	38.00	48.80	58.40	62.33	62.80	62.33	62.49	50.50	50.00	51.60	50.70	136.05	10%
11:20:00	944.09	37.70	49.60	58.70	63.42	63.90	63.42	63.58	51.50	50.99	53.30	51.93	136.33	10%
11:25:00	955.81	37.70	50.90	60.20	64.12	64.60	64.12	64.28	52.80	52.27	53.60	52.89	135.46	10%

ตาราง ข.2 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่ยังไม่มีภาระระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	I T	Ta	Twhi	Two	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
			Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
11:40:00	973.85	37.80	54.10	55.50	62.73	63.20	62.73	62.88	54.30	53.76	55.20	54.42	146.60	11%
11:45:00	959.69	37.90	54.70	58.60	65.21	65.70	65.21	65.37	55.10	54.55	55.10	54.92	121.34	9%
11:50:00	1,027.95	37.50	54.90	56.40	61.93	62.40	61.93	62.09	55.40	54.85	55.30	55.18	143.88	10%
11:55:00	1,000.90	37.30	55.40	60.30	66.80	67.30	66.80	66.96	55.30	54.75	56.30	55.45	139.68	10%
12:00:00	1,045.27	37.10	55.10	61.00	67.99	68.50	67.99	68.16	55.70	55.14	56.80	55.88	129.27	9%
12:05:00	938.68	36.90	56.10	57.60	64.31	64.80	64.31	64.48	56.10	55.54	57.10	56.25	128.00	10%
12:10:00	939.58	36.90	56.20	60.20	66.00	66.50	66.00	66.17	56.80	56.23	56.80	56.61	139.97	10%
12:15:00	953.11	36.80	56.00	61.90	69.18	69.70	69.18	69.35	56.90	56.33	57.80	57.01	138.18	10%
12:20:00	952.21	36.80	57.40	62.50	68.58	69.10	68.58	68.75	58.00	57.42	58.70	58.04	133.12	10%
12:25:00	921.55	37.00	57.30	62.40	70.27	70.80	70.27	70.45	58.80	58.21	59.50	58.84	134.33	10%
12:30:00	947.70	37.00	58.70	63.20	69.48	70.00	69.48	69.65	59.40	58.81	60.00	59.40	141.53	10%
12:35:00	942.29	37.00	58.60	63.40	67.49	68.00	67.49	67.66	59.90	59.30	60.80	60.00	133.72	10%
12:40:00	933.27	37.00	60.80	64.10	68.58	69.10	68.58	68.75	60.80	60.19	61.30	60.76	130.38	10%
12:45:00	951.30	37.10	60.50	68.90	70.27	70.80	70.27	70.45	61.20	60.59	62.30	61.36	131.36	10%
12:50:00	933.27	37.40	60.60	71.50	72.15	72.70	72.15	72.34	61.40	60.79	63.30	61.83	130.65	10%
12:55:00	899.01	37.80	60.40	70.60	71.46	72.00	71.46	71.64	61.40	60.79	64.20	62.13	129.93	10%
13:00:00	914.33	37.80	60.30	70.20	71.46	72.00	71.46	71.64	61.50	60.89	65.10	62.50	130.93	10%
13:05:00	852.12	37.60	61.00	68.20	70.96	71.50	70.96	71.14	64.50	63.86	65.30	64.55	128.59	11%
13:10:00	908.92	37.50	63.50	68.20	69.87	70.40	69.87	70.05	65.10	64.45	65.60	65.05	128.29	10%
13:15:00	880.97	37.60	64.90	68.70	70.37	70.90	70.37	70.55	65.30	64.65	65.70	65.22	128.26	10%
13:20:00	873.76	37.50	65.10	70.60	70.77	71.30	70.77	70.94	65.90	65.24	66.50	65.88	127.15	10%
13:25:00	870.15	37.60	64.10	72.40	71.26	71.80	71.26	71.44	65.90	65.24	67.60	66.25	127.50	10%
13:30:00	801.08	37.60	64.00	74.10	72.85	73.40	72.85	73.03	65.90	65.24	68.20	66.45	128.18	11%
13:35:00	799.82	37.50	64.30	70.30	68.98	69.50	68.98	69.15	66.10	65.44	68.70	66.75	129.53	11%
13:40:00	857.53	37.30	66.30	68.50	69.08	69.60	69.08	69.25	67.90	67.22	68.70	67.94	130.72	11%
13:45:00	843.10	37.10	67.30	69.40	69.38	69.90	69.38	69.55	68.20	67.52	68.80	68.17	126.34	11%
13:50:00	829.57	37.40	67.50	70.00	70.47	71.00	70.47	70.65	68.50	67.82	68.80	68.37	126.14	11%

ตาราง ข.2 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่ยังไม่มีภาระระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	I T	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
	W/m <sup>2</sup>	°C	Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
			°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
14:05:00	774.57	37.60	68.00	70.80	70.67	71.20	70.67	70.84	69.20	68.51	69.60	69.10	122.22	11%
14:10:00	764.65	37.50	68.40	70.90	71.36	71.90	71.36	71.54	69.40	68.71	69.80	69.30	123.65	11%
14:15:00	750.22	37.50	69.30	70.50	70.17	70.70	70.17	70.35	69.60	68.90	70.00	69.50	122.96	11%
14:20:00	736.70	37.60	69.50	70.50	70.47	71.00	70.47	70.65	69.80	69.10	70.20	69.70	117.90	11%
14:25:00	722.27	37.70	69.40	70.70	70.86	71.40	70.86	71.04	69.70	69.00	70.60	69.77	119.76	12%
14:30:00	703.33	38.10	69.60	70.30	69.67	70.20	69.67	69.85	70.20	69.50	70.20	69.97	115.45	12%
14:35:00	690.71	38.00	69.40	69.50	69.08	69.60	69.08	69.25	69.90	69.20	70.90	70.00	113.38	12%
14:40:00	673.58	38.00	69.90	70.60	69.67	70.20	69.67	69.85	70.80	70.09	70.40	70.43	111.60	12%
14:45:00	662.76	37.60	69.40	70.80	69.97	70.50	69.97	70.15	69.90	69.20	70.80	69.97	109.94	12%
14:50:00	651.94	37.40	69.60	70.60	69.18	69.70	69.18	69.35	70.20	69.50	70.40	70.03	101.91	11%
14:55:00	633.00	37.10	69.40	70.30	69.77	70.30	69.77	69.95	70.00	69.30	71.00	70.10	94.92	11%
15:00:00	614.07	37.30	69.50	70.30	69.18	69.70	69.18	69.35	70.30	69.60	70.50	70.13	84.71	10%
15:05:00	602.34	36.90	69.40	70.00	68.98	69.50	68.98	69.15	70.20	69.50	70.80	70.17	73.80	9%
15:10:00	587.01	37.00	69.30	70.00	68.28	68.80	68.28	68.46	70.20	69.50	70.90	70.20	73.48	9%
15:15:00	568.98	37.80	69.10	68.50	68.18	68.70	68.18	68.36	71.00	70.29	70.80	70.70	64.62	8%
15:20:00	551.85	38.50	68.80	69.40	67.59	68.10	67.59	67.76	70.20	69.50	71.00	70.23	56.12	7%
15:25:00	533.81	39.60	68.50	70.20	67.79	68.30	67.79	67.96	70.50	69.80	70.50	70.27	50.32	7%
15:30:00	514.88	40.30	68.20	68.90	66.70	67.20	66.70	66.86	70.10	69.40	70.90	70.13	42.20	6%
15:35:00	497.74	41.10	67.80	67.90	66.30	66.80	66.30	66.47	70.20	69.50	70.80	70.17	35.42	5%
15:40:00	476.10	41.30	67.90	68.30	65.31	65.80	65.31	65.47	70.50	69.80	70.00	70.10	31.98	5%
15:45:00	456.27	41.40	67.20	68.10	64.91	65.40	64.91	65.07	70.00	69.30	70.00	69.77	24.99	4%
15:50:00	436.43	41.80	67.50	67.90	64.71	65.20	64.71	64.87	70.00	69.30	69.70	69.67	20.82	3%
15:55:00	399.46	41.80	67.30	66.70	64.02	64.50	64.02	64.18	69.60	68.90	70.20	69.57	17.13	3%
16:00:00	344.45	41.80	67.20	66.80	63.52	64.00	63.52	63.68	69.30	68.61	70.10	69.34	13.28	3%

ตาราง ข.3 ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
	W/m <sup>2</sup>	°C	Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
			°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
08:40:31	541.03	28.20	27.15	29.50	36.46	37.20	36.83	36.83	26.80	26.88	27.50	27.06	64.13	8.94%
08:45:31	550.95	28.20	27.55	29.70	37.14	37.90	37.52	37.52	27.20	27.27	27.90	27.46	67.70	9.27%
08:50:31	573.49	29.50	28.35	30.10	38.42	39.20	38.81	38.81	28.70	28.07	28.00	28.26	72.79	9.57%
08:55:31	698.79	29.30	29.10	30.40	39.10	39.90	39.50	39.50	29.70	28.81	28.50	29.00	106.52	11.50%
09:00:31	701.20	29.90	29.80	31.30	39.89	40.70	40.29	40.29	30.10	29.50	29.50	29.70	115.30	12.40%
09:05:31	601.44	29.50	30.20	31.30	41.06	41.90	41.48	41.48	30.70	29.90	29.70	30.10	90.00	11.29%
09:10:31	633.00	31.00	30.70	31.30	42.14	43.00	42.57	42.57	31.30	30.39	30.10	30.60	102.94	12.27%
09:15:31	760.95	32.40	31.05	32.00	43.41	44.30	43.86	43.86	31.70	30.74	30.40	30.95	126.60	12.55%
09:20:31	796.36	32.90	31.25	32.00	44.69	45.60	45.14	45.14	31.20	30.94	31.30	31.15	129.40	12.26%
09:25:31	781.69	32.80	31.65	32.50	45.47	46.40	45.94	45.94	32.00	31.33	31.30	31.54	129.28	12.48%
09:30:31	798.83	33.80	31.95	32.80	45.77	46.70	46.23	46.23	32.60	31.63	31.30	31.84	131.61	12.43%
09:35:31	816.86	33.00	32.10	33.00	47.14	48.10	47.62	47.62	32.20	31.78	32.00	31.99	130.77	12.08%
09:40:31	839.40	33.80	32.45	33.40	47.33	48.30	47.82	47.82	32.90	32.13	32.00	32.34	135.31	12.16%
09:45:31	852.93	33.70	32.85	33.70	47.53	48.50	48.02	48.02	33.20	32.52	32.50	32.74	135.43	11.98%
09:50:31	818.75	35.10	33.15	34.00	48.61	49.60	49.10	49.10	33.50	32.82	32.80	33.04	130.41	12.02%
09:55:31	724.98	34.00	33.25	34.20	47.43	48.40	47.92	47.92	33.50	32.92	33.00	33.14	114.37	11.90%
10:00:31	886.38	33.30	32.90	35.30	49.20	50.20	49.70	49.70	33.90	33.31	33.40	33.54	145.13	12.35%
10:05:31	892.60	35.30	34.10	36.10	49.59	50.60	50.09	50.09	34.40	33.71	33.70	33.94	141.48	11.96%
10:10:31	883.68	35.00	35.40	37.00	50.76	51.80	51.28	51.28	34.80	34.06	34.00	34.29	144.69	12.35%
10:15:31	831.38	35.40	35.70	37.80	51.16	52.20	51.68	51.68	35.30	34.40	34.20	34.63	140.14	12.72%
10:20:31	878.09	33.60	35.30	37.40	50.57	51.60	51.08	51.08	35.30	34.60	34.60	34.83	140.70	12.09%
10:25:31	836.70	34.00	35.80	37.80	50.96	52.00	51.48	51.48	35.60	34.95	35.00	35.18	139.86	12.61%
10:30:31	849.41	34.70	35.90	37.90	50.57	51.60	51.08	51.08	35.90	35.19	35.20	35.43	142.15	12.62%
10:35:31	862.04	34.10	36.80	38.40	50.27	51.30	50.79	50.79	36.20	35.49	35.50	35.73	140.96	12.34%
10:40:31	867.45	34.20	36.70	38.60	50.96	52.00	51.48	51.48	36.30	35.64	35.70	35.88	142.28	12.37%
10:45:31	873.76	35.10	37.40	39.00	51.65	52.70	52.17	52.17	36.90	36.09	36.00	36.33	141.39	12.21%
10:50:31	873.76	34.70	37.10	38.90	51.65	52.70	52.17	52.17	36.90	36.18	36.20	36.43	142.12	12.27%
10:55:31	880.07	35.60	37.20	39.00	52.04	53.10	52.57	52.57	37.30	36.58	36.60	36.83	140.74	12.06%
11:00:31	880.97	35.50	37.80	39.30	51.94	53.00	52.47	52.47	37.50	36.78	36.80	37.03	141.36	12.10%

ตาราง ข.3 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ  
สำหรับวันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
			Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
11:20:31	908.92	36.20	38.70	40.50	52.92	54.00	53.46	53.46	38.80	38.02	38.00	38.27	140.42	11.65%
11:25:31	915.24	36.90	38.90	40.70	53.21	54.30	53.76	53.76	39.10	38.31	38.30	38.57	138.74	11.44%
11:30:31	923.35	36.00	39.80	41.50	53.21	54.30	53.76	53.76	39.50	38.71	38.70	38.97	138.46	11.31%
11:35:31	925.16	37.30	40.00	42.10	54.00	55.10	54.55	54.55	39.70	38.86	38.80	39.12	140.83	11.48%
11:40:31	926.06	37.20	40.00	41.70	54.49	55.60	55.04	55.04	39.80	39.11	39.20	39.37	138.71	11.30%
11:45:31	925.16	36.90	40.10	41.90	54.10	55.20	54.65	54.65	40.10	39.30	39.30	39.57	139.27	11.36%
11:50:31	941.39	37.00	41.00	42.90	54.39	55.50	54.95	54.95	40.60	39.85	39.90	40.12	137.91	11.05%
11:55:31	940.48	37.10	40.60	42.90	54.39	55.50	54.95	54.95	41.00	40.10	40.00	40.37	137.32	11.01%
12:00:31	973.35	36.10	40.80	42.60	54.39	55.50	54.95	54.95	40.40	39.95	40.30	40.22	136.87	10.61%
12:05:32	926.96	36.90	22.40	28.00	50.57	51.60	51.08	51.08	22.00	20.89	20.20	21.03	140.57	11.44%
12:10:32	925.16	37.60	22.60	27.10	49.29	50.30	49.80	49.80	22.50	21.09	20.10	21.23	143.76	11.72%
12:15:32	922.45	36.20	23.20	27.10	49.59	50.60	50.09	50.09	22.80	22.18	22.00	22.33	146.05	11.94%
12:20:32	979.26	36.50	22.80	27.20	48.80	49.80	49.30	49.30	23.10	22.67	22.70	22.82	150.05	11.56%
12:25:32	979.26	36.60	23.20	27.60	48.90	49.90	49.40	49.40	23.70	23.17	23.10	23.32	149.34	11.50%
12:30:32	978.36	36.60	24.50	28.40	49.69	50.70	50.19	50.19	23.80	23.36	23.40	23.52	151.36	11.67%
12:35:32	972.95	36.10	24.80	28.80	49.49	50.50	50.00	50.00	24.20	23.76	23.80	23.92	149.32	11.58%
12:40:32	974.75	35.90	25.30	29.70	50.08	51.10	50.59	50.59	24.70	24.26	24.30	24.42	151.09	11.69%
12:45:32	914.33	35.90	25.90	29.70	49.59	50.60	50.09	50.09	24.90	24.50	24.60	24.67	149.92	12.37%
12:50:32	884.58	36.10	26.20	30.30	49.39	50.40	49.90	49.90	25.40	25.05	25.20	25.22	150.35	12.82%
12:55:32	996.39	36.00	27.10	30.00	48.51	49.50	49.01	49.01	25.50	25.25	25.50	25.42	153.95	11.66%
13:00:32	987.37	34.50	27.00	30.30	46.35	47.30	46.83	46.83	26.10	25.69	25.80	25.86	153.66	11.74%
13:05:32	995.49	36.00	27.50	32.00	46.94	47.90	47.42	47.42	26.60	26.14	26.20	26.31	153.95	11.67%
13:10:32	984.67	36.10	28.00	31.70	45.57	46.50	46.04	46.04	26.90	26.58	26.80	26.76	154.13	11.81%
13:15:32	970.24	36.60	28.50	33.00	47.53	48.50	48.02	48.02	27.30	26.93	27.10	27.11	153.21	11.91%
13:20:32	984.67	36.60	28.80	33.50	49.29	50.30	49.80	49.80	28.00	27.62	27.80	27.81	154.52	11.84%
13:25:32	944.09	36.40	30.00	33.90	50.37	51.40	50.89	50.89	28.30	27.97	28.20	28.16	149.13	11.92%
13:30:32	962.13	37.20	29.50	34.30	51.16	52.20	51.68	51.68	29.00	28.56	28.70	28.75	150.41	11.79%
13:35:32	932.37	37.70	30.50	34.40	49.20	50.20	49.70	49.70	29.40	29.06	29.30	29.25	152.21	12.31%
13:40:32	926.96	38.50	30.70	35.20	49.88	50.90	50.39	50.39	29.70	29.40	29.70	29.60	141.66	11.53%
13:45:32	918.84	38.60	31.60	35.10	51.16	52.20	51.68	51.68	29.90	29.80	30.30	30.00	140.64	11.55%



ตาราง ข.3 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ  
สำหรับวันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
			Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
14:05:32	851.21	33.60	33.00	36.70	51.55	52.60	52.07	52.07	29.20	28.71	28.80	28.90	135.96	12.05%
14:10:32	847.61	33.80	33.40	37.10	51.65	52.70	52.17	52.17	29.50	28.91	28.90	29.10	138.66	12.34%
14:15:32	842.20	35.90	32.70	37.50	51.25	52.30	51.78	51.78	30.50	29.95	30.00	30.15	136.70	12.24%
14:20:32	816.05	36.20	33.60	37.80	51.65	52.70	52.17	52.17	31.10	30.74	31.00	30.95	136.77	12.64%
14:25:32	798.01	36.30	33.10	38.00	51.74	52.80	52.27	52.27	31.80	31.48	31.80	31.69	133.33	12.60%
14:30:32	785.39	37.20	33.70	38.50	50.27	51.30	50.79	50.79	32.50	32.22	32.60	32.44	134.56	12.92%
14:35:32	779.08	37.00	34.60	39.10	49.59	50.60	50.09	50.09	33.10	32.82	33.20	33.04	132.57	12.84%
14:40:32	770.06	38.60	34.90	38.70	49.20	50.20	49.70	49.70	33.30	33.07	33.50	33.29	127.80	12.52%
14:45:32	753.83	37.90	35.80	39.50	49.29	50.30	49.80	49.80	33.70	33.36	33.70	33.59	126.03	12.61%
14:50:32	741.21	38.10	36.10	39.90	49.39	50.40	49.90	49.90	34.00	33.71	34.10	33.94	123.58	12.58%
14:55:32	730.39	37.80	36.20	40.20	49.49	50.50	50.00	50.00	34.40	34.11	34.50	34.34	124.14	12.82%
15:00:32	716.86	37.50	36.40	40.50	49.00	50.00	49.50	49.50	34.90	34.55	34.90	34.78	121.95	12.83%
15:05:32	701.53	37.50	36.90	41.00	48.41	49.40	48.91	48.91	35.10	34.80	35.20	35.03	120.63	12.97%
15:10:32	685.30	38.40	37.40	41.10	47.82	48.80	48.31	48.31	35.50	35.15	35.50	35.38	117.41	12.92%
15:15:32	680.79	37.30	37.50	40.60	47.43	48.40	47.92	47.92	36.00	35.54	35.80	35.78	116.11	12.87%
15:20:32	656.45	37.20	37.80	41.50	47.63	48.60	48.11	48.11	36.30	35.99	36.40	36.23	112.36	12.91%
15:25:32	645.62	37.20	37.20	41.10	47.82	48.80	48.31	48.31	36.50	36.18	36.60	36.43	108.57	12.69%
15:30:32	628.49	37.30	38.10	41.00	47.43	48.40	47.92	47.92	36.80	36.48	36.90	36.73	104.32	12.52%
15:35:32	609.56	37.80	38.50	41.20	47.04	48.00	47.52	47.52	37.00	36.63	37.00	36.88	103.57	12.81%
15:40:32	582.51	38.20	38.90	41.20	46.75	47.70	47.22	47.22	37.10	36.78	37.20	37.03	94.65	12.25%
15:45:32	558.16	37.40	38.10	41.80	46.35	47.30	46.83	46.83	37.40	37.08	37.50	37.33	84.41	11.40%
15:50:32	532.01	38.00	39.00	41.80	46.35	47.30	46.83	46.83	37.40	37.08	37.50	37.33	74.30	10.53%
15:55:32	508.56	37.60	38.70	42.00	45.77	46.70	46.23	46.23	37.60	37.27	37.70	37.52	65.65	9.73%
16:00:32	484.22	36.70	38.60	41.80	45.37	46.30	45.84	45.84	37.80	37.47	37.90	37.72	58.83	9.16%
16:05:32	462.58	37.30	39.20	41.90	44.98	45.90	45.44	45.44	37.80	37.42	37.80	37.67	49.98	8.15%
16:10:32	446.35	37.10	38.70	42.10	44.79	45.70	45.24	45.24	38.00	37.72	38.20	37.97	46.75	7.90%
16:15:32	423.80	38.50	39.60	41.50	44.49	45.40	44.95	44.95	38.20	37.77	38.10	38.02	40.18	7.15%
16:20:32	321.91	38.10	39.40	42.60	44.39	45.30	44.85	44.85	38.50	38.16	38.60	38.42	35.97	8.42%
16:25:32	346.26	38.60	39.50	42.00	43.41	44.30	43.86	43.86	38.60	38.26	38.70	38.52	34.56	7.52%
16:30:32	306.28	37.20	39.30	42.40	43.41	44.30	43.86	43.86	38.70	38.31	38.70	38.57	20.06	4.94%

ตาราง ข.4 ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของ โมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับวันที่มี  
การระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
	W/m <sup>2</sup>	°C	Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
			°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
08:40:31	541.03	28.20	31.00	31.10	37.13	37.50	36.75	37.13	28.70	29.20	28.37	28.76	44.18	5.72%
08:45:31	550.95	28.20	31.60	31.70	37.82	38.20	37.44	37.82	29.50	29.60	37.44	32.18	45.28	5.76%
08:50:31	573.49	29.50	32.70	33.00	39.50	39.90	39.10	39.50	30.00	30.30	39.10	33.13	68.41	8.36%
08:55:31	698.79	29.30	33.10	33.00	40.29	40.70	39.89	40.29	30.90	31.30	39.89	34.03	80.34	8.06%
09:00:31	701.20	29.90	32.30	33.40	41.78	42.20	41.36	41.78	31.70	32.10	41.36	35.05	91.16	9.11%
09:05:31	601.44	29.50	33.70	34.40	42.37	42.80	41.94	42.37	32.30	32.70	41.94	35.65	82.80	9.65%
09:10:31	633.00	31.00	34.00	35.50	43.86	44.30	43.41	43.86	32.60	33.20	43.41	36.40	83.75	9.27%
09:15:31	760.95	32.40	34.30	36.70	45.05	45.50	44.59	45.05	33.20	33.50	44.59	37.10	110.37	10.17%
09:20:31	796.36	32.90	33.00	37.50	46.33	46.80	45.86	46.33	33.70	33.90	45.86	37.82	112.58	9.91%
09:25:31	781.69	32.80	33.90	38.00	47.52	48.00	47.04	47.52	34.00	34.10	47.04	38.38	112.48	10.08%
09:30:31	798.83	33.80	35.10	38.50	47.82	48.30	47.33	47.82	34.20	34.60	47.33	38.71	115.65	10.15%
09:35:31	816.86	33.00	35.00	41.50	49.20	49.70	48.71	49.20	34.60	35.10	48.71	39.47	113.98	9.78%
09:40:31	839.40	33.80	35.50	42.30	49.70	50.20	49.20	49.70	35.10	36.10	49.20	40.13	118.48	9.89%
09:45:31	852.93	33.70	36.10	42.30	50.09	50.60	49.59	50.09	36.10	36.90	49.59	40.86	118.17	9.71%
09:50:31	818.75	35.10	36.60	43.00	51.28	51.80	50.76	51.28	37.00	37.60	50.76	41.79	114.05	9.76%
09:55:31	724.98	34.00	37.50	42.50	50.09	50.60	49.59	50.09	37.60	38.30	49.59	41.83	100.72	9.74%
10:00:31	886.38	33.30	37.60	48.50	50.29	50.80	49.78	50.29	38.20	39.70	49.78	42.56	130.77	10.34%
10:05:31	892.60	35.30	38.40	49.30	53.46	54.00	52.92	53.46	39.20	41.00	52.92	44.37	129.60	10.18%
10:10:31	883.68	35.00	39.80	49.60	54.65	55.20	54.10	54.65	40.90	42.40	54.10	45.80	132.11	10.48%
10:15:31	831.38	35.40	41.30	50.00	55.54	56.10	54.98	55.54	42.30	43.60	54.98	46.96	128.95	10.87%
10:20:31	878.09	33.60	42.10	50.10	55.64	56.20	55.08	55.64	43.60	44.60	55.08	47.76	130.53	10.42%
10:25:31	836.70	34.00	43.30	51.00	56.43	57.00	55.86	56.43	44.70	45.40	55.86	48.65	129.92	10.88%
10:30:31	849.41	34.70	44.50	51.60	56.93	57.50	56.35	56.93	45.60	46.60	56.35	49.52	129.92	10.72%
10:35:31	862.04	34.10	46.20	52.10	57.32	57.90	56.74	57.32	46.50	47.30	56.74	50.18	129.64	10.54%
10:40:31	867.45	34.20	46.30	53.10	58.31	58.90	57.72	58.31	47.40	48.10	57.72	51.07	129.68	10.48%
10:45:31	873.76	35.10	48.20	53.70	59.20	59.80	58.60	59.20	48.30	48.70	58.60	51.87	130.73	10.49%
10:50:31	873.76	34.70	48.70	54.30	59.70	60.30	59.09	59.70	49.00	49.70	59.09	52.60	130.61	10.48%
10:55:31	880.07	35.60	49.30	55.30	60.49	61.10	59.88	60.49	50.10	50.60	59.88	53.53	128.12	10.20%
11:00:31	880.97	35.50	50.80	55.70	60.79	61.40	60.17	60.79	50.80	51.40	60.17	54.12	128.56	10.23%

ตาราง ข.4 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
			Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
11:20:31	908.92	36.20	53.30	58.20	63.16	63.80	62.52	63.16	53.80	54.40	62.52	56.91	127.60	9.84%
11:25:31	915.24	36.90	54.00	59.00	63.86	64.50	63.21	63.86	54.70	55.30	63.21	57.74	125.22	9.59%
11:30:31	923.35	36.00	54.80	59.30	64.05	64.70	63.41	64.05	55.40	56.00	63.41	58.27	126.25	9.58%
11:35:31	925.16	37.30	55.80	60.60	65.24	65.90	64.58	65.24	55.90	56.50	64.58	58.99	125.34	9.50%
11:40:31	926.06	37.20	55.60	63.70	66.53	67.20	65.86	66.53	56.50	57.40	65.86	59.92	122.66	9.28%
11:45:31	925.16	36.90	55.80	64.20	66.73	67.40	66.05	66.73	56.70	58.50	66.05	60.42	125.87	9.54%
11:50:31	941.39	37.00	56.10	65.50	67.62	68.30	66.93	67.62	57.60	59.80	66.93	61.44	125.43	9.34%
11:55:31	940.48	37.10	56.70	65.90	68.01	68.70	67.33	68.01	58.50	60.70	67.33	62.18	122.88	9.16%
12:00:31	973.35	36.10	24.60	66.00	67.91	68.60	67.23	67.91	59.00	61.60	67.23	62.61	122.25	8.80%
12:05:32	926.96	36.90	28.85	56.80	63.46	64.10	62.82	63.46	34.40	23.30	62.82	40.17	125.37	9.48%
12:10:32	925.16	37.60	30.45	52.10	59.70	60.30	59.09	59.70	37.50	23.40	59.09	40.00	128.40	9.73%
12:15:32	922.45	36.20	31.40	50.30	58.71	59.30	58.11	58.71	39.50	23.30	58.11	40.30	127.08	9.66%
12:20:32	979.26	36.50	31.80	49.30	57.22	57.80	56.64	57.22	40.10	23.50	56.64	40.08	129.72	9.28%
12:25:32	979.26	36.60	32.20	49.10	56.53	57.10	55.96	56.53	41.00	23.40	55.96	40.12	127.00	9.09%
12:30:32	978.36	36.60	32.45	49.00	56.53	57.10	55.96	56.53	41.70	23.20	55.96	40.29	127.84	9.16%
12:35:32	972.95	36.10	32.75	48.70	55.94	56.50	55.37	55.94	42.10	23.40	55.37	40.29	126.64	9.12%
12:40:32	974.75	35.90	33.15	49.30	56.33	56.90	55.76	56.33	42.70	23.60	55.76	40.69	128.76	9.26%
12:45:32	914.33	35.90	33.25	49.20	55.84	56.40	55.27	55.84	43.20	23.30	55.27	40.59	126.64	9.71%
12:50:32	884.58	36.10	33.60	49.70	56.23	56.80	55.66	56.23	43.50	23.70	55.66	40.95	128.95	10.22%
12:55:32	996.39	36.00	33.85	48.50	54.75	55.30	54.19	54.75	44.10	23.60	54.19	40.63	133.82	9.41%
13:00:32	987.37	34.50	34.20	46.70	52.87	53.40	52.33	52.87	44.40	24.00	52.33	40.24	136.01	9.65%
13:05:32	995.49	36.00	34.50	49.80	54.85	55.40	54.29	54.85	44.70	24.30	54.29	41.10	130.37	9.18%
13:10:32	984.67	36.10	35.00	49.80	53.96	54.50	53.41	53.96	45.20	24.80	53.41	41.14	135.40	9.64%
13:15:32	970.24	36.60	35.80	52.60	56.73	57.30	56.15	56.73	46.20	25.40	56.15	42.58	133.00	9.61%
13:20:32	984.67	36.60	36.70	54.30	58.81	59.40	58.21	58.81	47.40	26.00	58.21	43.87	134.03	9.54%
13:25:32	944.09	36.40	37.55	55.60	60.29	60.90	59.68	60.29	48.70	26.40	59.68	44.93	130.09	9.66%
13:30:32	962.13	37.20	38.45	55.40	60.98	61.60	60.37	60.98	49.40	27.50	60.37	45.76	133.66	9.74%
13:35:32	932.37	37.70	39.10	54.30	59.20	59.80	58.60	59.20	50.20	28.00	58.60	45.60	132.93	9.99%
13:40:32	926.96	38.50	39.60	56.20	60.49	61.10	59.88	60.49	50.60	28.60	59.88	46.36	129.58	9.80%
13:45:32	918.84	38.60	40.25	57.80	62.07	62.70	61.45	62.07	51.30	29.20	61.45	47.32	127.76	9.74%

ตาราง ข.4 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 12.00 – 16.20 น. วันที่ 10/10/2559

TIME	IT	Ta	Tw <sub>hi</sub>	Tw <sub>ho</sub>	T PV				Twh - storage				Pelec	Eff
	W/m <sup>2</sup>	°C	Exp	Exp	Left	Mid	Right	Avg	Top	Mid	Bottom	Avg	Exp	Exp
			°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W	%
14:00:32	887.28	36.70	41.40	59.30	63.46	64.10	62.82	63.46	52.50	30.30	62.82	48.54	128.11	10.12%
14:05:32	851.21	33.60	39.70	59.90	64.05	64.70	63.41	64.05	51.40	28.00	63.41	47.60	124.47	10.25%
14:10:32	847.61	33.80	40.10	60.00	64.35	65.00	63.70	64.35	51.70	28.50	63.70	47.97	125.50	10.38%
14:15:32	842.20	35.90	41.95	61.00	64.45	65.10	63.80	64.45	52.90	31.00	63.80	49.23	124.07	10.33%
14:20:32	816.05	36.20	43.05	61.60	65.14	65.80	64.48	65.14	54.10	32.00	64.48	50.19	123.46	10.60%
14:25:32	798.01	36.30	44.45	62.00	65.44	66.10	64.78	65.44	55.20	33.70	64.78	51.23	121.27	10.65%
14:30:32	785.39	37.20	45.65	61.70	64.35	65.00	63.70	64.35	56.10	35.20	63.70	51.67	121.46	10.84%
14:35:32	779.08	37.00	46.80	61.40	63.86	64.50	63.21	63.86	57.20	36.40	63.21	52.27	120.44	10.84%
14:40:32	770.06	38.60	47.30	61.70	64.25	64.90	63.60	64.25	57.30	37.30	63.60	52.73	118.82	10.81%
14:45:32	753.83	37.90	47.65	61.80	64.15	64.80	63.50	64.15	58.00	37.30	63.50	52.93	101.16	9.41%
14:50:32	741.21	38.10	48.60	62.20	64.55	65.20	63.90	64.55	58.50	38.70	63.90	53.70	89.91	8.50%
14:55:32	730.39	37.80	49.75	63.00	65.04	65.70	64.39	65.04	58.80	40.70	64.39	54.63	79.61	7.64%
15:00:32	716.86	37.50	50.45	63.20	64.65	65.30	63.99	64.65	59.60	41.30	63.99	54.96	73.16	7.15%
15:05:32	701.53	37.50	50.75	62.50	64.05	64.70	63.41	64.05	59.80	41.70	63.41	54.97	74.77	7.47%
15:10:32	685.30	38.40	51.25	63.00	64.15	64.80	63.50	64.15	60.40	42.10	63.50	55.33	68.16	6.97%
15:15:32	680.79	37.30	51.80	63.50	63.66	64.30	63.01	63.66	60.80	42.80	63.01	55.54	67.04	6.90%
15:20:32	656.45	37.20	52.15	63.10	64.15	64.80	63.50	64.15	60.80	43.50	63.50	55.93	63.41	6.77%
15:25:32	645.62	37.20	52.30	63.00	64.25	64.90	63.60	64.25	61.00	43.60	63.60	56.07	62.06	6.74%
15:30:32	628.49	37.30	52.80	63.60	63.76	64.40	63.11	63.76	61.50	44.10	63.11	56.24	52.52	5.86%
15:35:32	609.56	37.80	53.10	63.40	63.16	63.80	62.52	63.16	61.50	44.70	62.52	56.24	44.76	5.15%
15:40:32	582.51	38.20	53.10	63.30	63.16	63.80	62.52	63.16	61.50	44.70	62.52	56.24	37.02	4.45%
15:45:32	558.16	37.40	53.50	62.50	62.87	63.50	62.23	62.87	61.50	45.50	62.23	56.41	33.61	4.22%
15:50:32	532.01	38.00	53.50	62.70	62.67	63.30	62.03	62.67	61.40	45.60	62.03	56.34	26.84	3.54%
15:55:32	508.56	37.60	54.10	62.20	62.07	62.70	61.45	62.07	61.40	46.80	61.45	56.55	21.18	2.92%
16:00:32	484.22	36.70	54.35	61.80	61.38	62.00	60.76	61.38	61.50	47.20	60.76	56.49	17.02	2.46%
16:05:32	462.58	37.30	54.80	62.00	61.08	61.70	60.47	61.08	61.10	48.50	60.47	56.69	12.12	1.84%

ตาราง ข.5 ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 19.00 – 6.00 น. วันที่ 12/10/2559

Time	Tair				PV/T							
					Tpv - PV/T		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
19:00:18	27.5	25.6	23.4	18.88	26	27.2	31.8	31.1	31.80	31.10	31.6	31.50
19:15:18	27.1	25.5	23.8	18.69	26.2	27.1	32	31	31.62	30.91	31.3	31.28
19:45:18	26.7	25.3	23.7	18.30	26.1	27	31.7	30.9	31.43	30.71	31	31.05
20:15:18	26	25	23.4	17.50	25.6	26.5	30.2	30.8	31.23	30.46	31	30.90
20:45:18	25.6	24.8	23.3	17.09	25.6	26.8	30.3	30.7	31.04	30.24	30.9	30.73
21:15:18	25.8	25.1	23.9	17.52	26.5	26.8	31.5	30.8	30.85	30.09	30.6	30.51
21:45:18	25.8	24.9	23.6	17.42	25.9	26.7	31.2	30.7	30.66	29.92	30.5	30.36
22:15:18	25.5	24.6	23.7	17.22	25.6	26.6	30.2	30.5	30.48	29.73	30.5	30.24
22:45:18	25.1	24.1	23.2	16.66	24.6	26.1	29.7	30.2	30.29	29.51	30.4	30.07
23:00:18	25.1	23.7	22.8	16.51	24.6	25.9	30.7	30.3	30.11	29.34	30.3	29.91
23:15:19	25	23.9	23.3	16.62	24	25.6	30.7	30.2	29.93	29.17	30	29.70
23:45:19	24.8	23.7	23.1	16.37	23.3	24.8	30	29.8	29.75	28.98	29.7	29.48
00:15:19	24.5	23.9	23.4	16.18	23.2	24.8	29.3	29.5	29.57	28.80	29.7	29.36
00:45:19	24.3	23.8	23.4	16.00	23.3	24.5	29.9	29.4	29.40	28.62	29.5	29.17
01:15:19	23.8	22.9	22.4	15.18	22.7	24.6	28.7	29.3	29.21	28.39	29.5	29.03
01:45:19	23.6	22.6	22	14.84	22.4	24.5	28.3	29.2	29.02	28.20	29.3	28.84
02:15:19	23.8	22.7	22.1	15.07	22.1	23.7	29	28.8	28.85	28.05	28.9	28.60
02:45:19	23.2	22.3	21.7	14.37	22	23.5	29.5	28.8	28.66	27.83	28.9	28.46
03:00:19	23.3	23.3	22.9	14.87	22	23.5	28.8	28.6	28.48	27.68	28.6	28.26
03:15:19	23.1	22.6	22.1	14.40	22.2	24.1	28.5	28.7	28.30	27.50	28.9	28.23
03:45:19	23.2	22.9	22.5	14.64	22	23.4	29.1	28.4	28.13	27.35	28.6	28.03
04:15:19	23.2	22.5	22	14.47	22	23.9	27.9	28.3	27.96	27.19	28.5	27.88
04:45:19	23.1	22	21	13.97	21.7	23.3	28.7	28.1	27.79	27.01	28.3	27.70
05:15:19	22.6	22	21.3	13.62	21.5	23.5	27.2	27.9	27.62	26.81	28	27.48
05:45:19	23.1	21.9	20.4	13.69	21.4	22.9	28.6	27.7	27.46	26.69	27.9	27.35
06:00:19	23.1	21.9	20	13.50	21.3	22.8	28.4	27.6	27.29	26.54	27.8	27.21

ตาราง ข.5 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ  
 สำหรับวันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 19.00 – 6.00 น. วันที่ 13/10/2559

Time	Tair				PV/T							
					Tpv - PV/T		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
19:00:32	27.3	25.2	22.6	18.37	24.7	24.8	28.3	28	28.50	27.68	28.5	28.23
19:15:32	26.3	25.3	22.3	17.23	24.5	24.1	29.1	28.1	28.39	27.32	28.3	28.00
19:45:32	25.4	25.1	22.3	16.38	23.9	24.6	29.2	28	28.27	26.97	28.05	27.76
20:15:32	25	24.8	22	15.90	23.9	25.4	29.2	27.8	28.14	26.87	27.9	27.64
20:45:32	25.2	24.5	21.6	15.95	23.6	25.4	27.7	27.6	28.02	26.82	27.85	27.56
21:15:32	24.9	24.5	21.7	15.71	23.3	25.3	27.8	27.5	27.90	26.62	27.7	27.40
21:45:32	24.2	23.8	21.1	14.83	23.1	24.9	27	27.2	27.76	26.35	27.55	27.22
22:15:32	24.3	24.1	20.9	14.77	22.8	23.6	28.4	27.1	27.62	26.33	27.35	27.10
22:45:32	24.1	23.6	20.7	14.57	22.6	24.1	26.8	26.9	27.49	26.23	27.25	26.99
23:00:32	23.6	23.5	20.7	14.10	22.5	23.1	26.4	26.8	27.35	26.00	27.2	26.85
23:15:32	24	23.6	20.8	14.50	22.4	24.7	26.9	26.8	27.23	26.03	27.05	26.77
23:45:32	23.7	23.4	20.7	14.21	22.4	23.4	26.1	26.7	27.10	25.86	27	26.65
00:15:32	23.6	23	20.4	14.01	22.3	23.5	26.7	26.5	26.97	25.76	26.75	26.49
00:45:32	23.5	23.7	20.7	13.97	22.1	23.6	27	26.4	26.84	25.69	26.5	26.34
01:15:32	23.3	23.5	20.5	13.66	22.6	24.5	27.5	26.4	26.72	25.54	26.35	26.20
01:45:33	23.4	22.8	20	13.65	22.3	24.4	26.2	26.1	26.59	25.49	26.4	26.16
02:15:33	23.4	23.1	20	13.60	21.8	23.4	27	25.9	26.47	25.41	26.2	26.03
02:45:33	23.1	22.8	20	13.35	21.7	24	25.9	25.9	26.35	25.25	26	25.87
03:00:33	22.9	22.9	20.1	13.21	21.6	22.4	26.8	25.8	26.23	25.13	25.9	25.75
03:15:33	23.1	22.8	19.8	13.25	21.7	23.9	26.1	25.7	26.11	25.11	25.8	25.67
03:45:33	23	22.7	19.6	13.08	21.5	22.8	26.6	25.6	25.99	24.99	25.8	25.59
04:15:33	22.4	22.5	19.7	12.59	21.5	23.7	25.6	25.5	25.87	24.73	25.6	25.40
04:45:33	22.6	22.6	19.3	12.54	21.3	22.1	26.5	25.3	25.74	24.69	25.35	25.26
05:15:33	22.6	22	19.2	12.61	21	22.2	25.1	25.2	25.63	24.67	25.35	25.21
05:45:33	22.2	22.1	19.4	12.29	20.9	23.3	24.7	25.1	25.51	24.48	25.3	25.09
06:00:33	22.3	22.6	19.5	12.36	20.9	23.4	25.1	26.3	25.39	24.46	25.1	24.98

ตาราง ข.5 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ  
 สำหรับวันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 19.00 – 6.00 น. วันที่ 14/10/2559

Time	Tair				PV/T							
					Tpv - PV/T		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
19:00:50	23.7	26.9	22.9	14.78	24.4	23.4	25.3	25.8	25.80	23.92	25.8	25.17
19:15:50	23.9	26.1	22.7	15.00	24.1	23.2	25	25.1	25.71	25.08	25.35	25.38
19:45:50	23.9	25	22.3	14.94	23.2	23.4	24.6	24.4	25.61	24.66	25.15	25.14
20:15:51	23.6	24.2	22.3	14.75	23	22.5	24.4	23.7	25.50	24.52	24.9	24.97
20:45:51	22.9	23.8	22.5	14.24	22.7	22.6	24.3	23.7	25.38	24.33	24.5	24.74
21:15:51	23	23.6	22.4	14.31	22.4	22.9	24.6	23.1	25.27	24.15	24.45	24.62
21:45:51	23.1	23.8	22.9	14.61	22.2	22.9	24.3	23	25.16	24.00	24.3	24.49
22:15:51	22.8	23.3	22.5	14.21	22	22.9	24.5	22.9	25.04	23.85	24.25	24.38
22:45:51	23	23.8	22.2	14.21	22	22.6	23.9	22.7	24.93	23.78	24.15	24.29
23:00:51	23.2	23.5	22	14.33	21.8	22.4	23.9	23	24.82	23.63	24.3	24.25
23:15:51	22.7	23.1	22	13.90	22.1	23.3	23.9	22.6	24.71	23.69	24.1	24.16
23:45:51	22.9	22.8	21.8	14.03	21.8	22.7	23.9	22.8	24.60	23.50	24.1	24.07
00:15:51	23	22.5	21.6	14.09	21.7	23.2	24.1	22.5	24.49	23.40	24	23.96
00:45:51	22.7	22.3	21.6	13.83	21.8	22.5	23.9	22.5	24.39	23.37	24	23.92
01:15:51	22.8	22.1	21.6	13.95	22.3	22.4	24.4	22.5	24.29	23.51	23.9	23.90
01:45:51	22.7	22.2	21.6	13.84	22	22.8	23.5	22.8	24.20	23.34	23.95	23.83
02:15:51	22.6	22.2	21.7	13.79	21.6	22.8	23.7	22.5	24.10	23.12	23.7	23.64
02:45:51	22.9	22.2	21.6	14.03	21.4	23.2	23	22.6	24.00	22.98	23.6	23.53
03:00:51	22.9	22	21.6	14.06	21.4	22.7	23.4	22.2	23.90	22.92	23.7	23.51
03:15:51	23.1	22.1	21.4	14.15	21.4	23.4	23.4	22.2	23.81	22.87	23.7	23.46
03:45:51	23	22	21.3	14.01	22	22.3	23.1	22.5	23.73	23.05	23.6	23.46
04:15:51	22.9	21.9	21.2	13.90	22.1	23	24.4	22.3	23.65	23.04	23.45	23.38
04:45:51	23	21.8	21	13.91	22.4	23	24	22.4	23.58	23.12	23.65	23.45
05:15:51	23.3	21.7	20.8	14.10	22.9	22.7	24.2	22.6	23.52	23.28	23.7	23.50
05:45:52	23.2	22.1	20.9	14.00	23	23.3	23.7	22.8	23.46	23.28	23.8	23.51
06:00:52	23	21.9	20.6	13.71	23	23.2	24	22.8	23.40	23.24	23.9	23.51

ตาราง ข.5 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ  
 สำหรับวันที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 20.56 – 6.00 น. วันที่ 15/10/2559

Time	Tair				PV/T							
					Tpv - PV/T		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
20:56:06	25.1	23.5	22.3	16.31	22.4	23.8	24.5	24.4	24.60	24.99	24.6	24.73
21:00:06	25.2	23.7	22.2	16.35	22.3	23.8	24.6	24.4	24.47	24.95	24.7	24.70
21:30:06	24.4	23.8	22.6	15.75	22.1	23.8	24.5	24	24.33	24.65	24.3	24.43
22:00:06	24	23.4	22.4	15.31	21.9	23.6	24.3	23.5	24.19	24.46	24.1	24.25
22:30:06	23.6	23	22.8	15.14	21.8	23.2	23.9	23.2	24.05	24.29	23.9	24.08
23:00:06	24	22.5	22.6	15.52	21.6	23.2	24	22.7	23.92	24.35	23.7	23.99
23:30:06	23.3	22.3	22.4	14.77	21.6	22.9	23.8	22.4	23.78	24.04	23.5	23.77
00:00:06	23.6	22	21.9	14.87	21.5	23.2	23.8	22.3	23.65	24.04	23.3	23.66
00:30:06	23.3	22.3	21.8	14.49	21.4	22.9	23.5	22	23.51	23.86	23.1	23.49
00:45:06	23	22.4	21.8	14.19	21.3	23	23.5	21.8	23.37	23.69	23.1	23.38
01:00:06	23	22	21.5	14.11	21.2	22.8	23.3	22	23.23	23.60	23.2	23.34
01:30:07	22.7	22.1	21.7	13.91	21.1	22.8	23.4	21.6	23.09	23.45	23	23.18
02:00:07	22.3	22	21.7	13.53	20.8	22.6	23.2	21.6	22.95	23.27	22.6	22.94
02:30:07	22.1	22.2	21.7	13.31	20.6	22.5	23.2	21.5	22.81	23.14	22.6	22.85
03:00:07	22.2	21.9	21.6	13.40	20.6	22.3	22.9	21.6	22.67	23.08	22.4	22.72
03:30:07	22.1	21.7	21.6	13.32	20.4	22.5	22.7	21.3	22.53	22.99	22.6	22.71
04:00:07	22.2	21.5	21.4	13.35	20.3	22.4	22.5	21.2	22.39	22.94	22.2	22.51
04:30:07	22.1	21.8	21.2	13.14	20	22.1	22.4	20.9	22.26	22.85	22	22.37
04:45:07	22.1	22.1	21.2	13.09	20.1	22	22.5	20.7	22.12	22.75	22	22.29
05:00:07	22.1	21.7	21.2	13.15	20	22.1	22.7	20.7	21.99	22.68	21.9	22.19
05:30:07	22	21.5	21	12.98	20.2	22.3	22.3	20.5	21.85	22.48	22	22.11
06:00:07	21.6	22	20.8	12.41	19.9	21.9	22.4	20.4	21.71	22.34	21.7	22.10



ตาราง ข.6 ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของ โมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับวันที่มี  
การระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 19.00 – 6.00 น. วันที่ 12/10/2559

Time	Tair				PV/T c							
					Tp <sub>v</sub> -PV/Tc		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
19:00:18	27.5	25.6	23.4	18.88	25.7	27.4	31.2	31.1	31	30.79	30.62	30.80
19:15:18	27.1	25.5	23.8	18.69	25.8	27.4	31.3	31	30.9	30.76	30.55	30.74
19:45:18	26.7	25.3	23.7	18.30	25.5	27.2	31.2	30.9	30.9	30.69	30.49	30.69
20:15:18	26	25	23.4	17.50	25.1	27	31.1	30.9	30.8	30.62	30.44	30.62
20:45:18	25.6	24.8	23.3	17.09	25	27.1	31	30.6	30.5	30.39	30.18	30.36
21:15:18	25.8	25.1	23.9	17.52	25.9	26.9	31	30.6	30.4	30.36	30.14	30.30
21:45:18	25.8	24.9	23.6	17.42	25.3	26.9	30.9	30.4	30.2	30.20	29.96	30.12
22:15:18	25.5	24.6	23.7	17.22	25	26.7	30.8	30.5	30.2	30.20	29.99	30.13
22:45:18	25.1	24.1	23.2	16.66	24.1	26.3	30.9	30.2	30.1	30.10	29.83	30.01
23:00:18	25.1	23.7	22.8	16.51	24	26.2	30.7	30	30	29.93	29.67	29.87
23:15:19	25	23.9	23.3	16.62	23.9	26.1	30.7	30	30.1	29.96	29.70	29.92
23:45:19	24.8	23.7	23.1	16.37	23.7	25.9	30.8	30	30.1	30.00	29.72	29.94
00:15:19	24.5	23.9	23.4	16.18	23.8	25.6	30.8	30	30.1	30.00	29.72	29.94
00:45:19	24.3	23.8	23.4	16.00	23.9	25.6	30.4	29.9	29.9	29.77	29.53	29.73
01:15:19	23.8	22.9	22.4	15.18	23.3	25.4	30.5	29.7	29.7	29.67	29.39	29.58
01:45:19	23.6	22.6	22	14.84	22.9	25.2	30.3	29.5	29.6	29.50	29.22	29.44
02:15:19	23.8	22.7	22.1	15.07	22.8	24.9	30.1	29.6	29.7	29.50	29.27	29.49
02:45:19	23.2	22.3	21.7	14.37	22.5	24.8	29.8	29.3	29.3	29.17	28.94	29.14
03:00:19	23.3	23.3	22.9	14.87	22.5	24.6	29.9	29.4	29.5	29.30	29.07	29.29
03:15:19	23.1	22.6	22.1	14.40	22.7	24.7	29.9	29.1	29.2	29.11	28.83	29.04
03:45:19	23.2	22.9	22.5	14.64	22.7	24.5	29.5	29	29	28.88	28.65	28.84
04:15:19	23.2	22.5	22	14.47	22.6	24.4	29.5	29	29	28.88	28.65	28.84
04:45:19	23.1	22	21	13.97	22.4	24.3	29.6	28.8	28.7	28.74	28.47	28.64
05:15:19	22.6	22	21.3	13.62	22.1	24	29.3	28.8	28.9	28.71	28.48	28.70
05:45:19	23.1	21.9	20.4	13.69	22	23.9	29.2	28.8	28.8	28.64	28.43	28.63
06:00:19	23.1	21.9	20	13.50	21.9	23.8	29	28.7	28.7	28.51	28.32	28.51

ตาราง ข.6 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่ที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 19.00 – 6.00 น. วันที่ 13/10/2559

Time	Tair				PV/T c							
					Tpv -PV/Tc		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
19:00:32	27.3	25.2	22.6	18.37	26	26.6	29	29.6	29.5	29.07	29.03	29.20
19:15:32	26.3	25.3	22.3	17.23	24.6	25.7	29.1	29	29.3	28.84	28.68	28.94
19:45:32	25.4	25.1	22.3	16.38	24	25.8	29.3	29.2	28.8	28.81	28.65	28.75
20:15:32	25	24.8	22	15.90	24	26.2	29.2	29.2	28.6	28.71	28.57	28.63
20:45:32	25.2	24.5	21.6	15.95	23.8	25.3	29.1	28.7	28.8	28.58	28.37	28.58
21:15:32	24.9	24.5	21.7	15.71	23.6	25.3	28.9	28.2	28.8	28.35	28.09	28.41
21:45:32	24.2	23.8	21.1	14.83	23.4	24.9	28.7	28.1	28.6	28.18	27.94	28.24
22:15:32	24.3	24.1	20.9	14.77	23.2	25.4	28.8	28.2	28.4	28.18	27.94	28.17
22:45:32	24.1	23.6	20.7	14.57	23	24.5	28.6	27.9	28.5	28.05	27.79	28.11
23:00:32	23.6	23.5	20.7	14.10	22.9	25	28.5	27.9	28.4	27.98	27.75	28.04
23:15:32	24	23.6	20.8	14.50	22.8	25.1	28.5	28	28.3	27.98	27.76	28.02
23:45:32	23.7	23.4	20.7	14.21	22.7	24.3	28.4	27.7	28.3	27.85	27.60	27.92
00:15:32	23.6	23	20.4	14.01	22.6	24.3	28.3	27.6	28.3	27.79	27.53	27.87
00:45:32	23.5	23.7	20.7	13.97	22.4	24.7	28.3	27.7	28.1	27.75	27.52	27.79
01:15:32	23.3	23.5	20.5	13.66	23.1	24.7	28.2	27.5	28	27.62	27.37	27.66
01:45:33	23.4	22.8	20	13.65	22.9	24.5	28.1	28	27.7	27.65	27.50	27.62
02:15:33	23.4	23.1	20	13.60	22.3	24.4	28	27.6	27.9	27.56	27.35	27.60
02:45:33	23.1	22.8	20	13.35	22.1	23.6	28	27	27.9	27.36	27.06	27.44
03:00:33	22.9	22.9	20.1	13.21	22.1	23.9	27.7	26.8	27.9	27.19	26.91	27.33
03:15:33	23.1	22.8	19.8	13.25	22.2	23.4	27.7	27.8	27.5	27.39	27.27	27.39
03:45:33	23	22.7	19.6	13.08	22	23.3	27.7	27.6	27.5	27.32	27.17	27.33
04:15:33	22.4	22.5	19.7	12.59	21.7	23.2	27.7	26.5	27.7	27.03	26.69	27.14
04:45:33	22.6	22.6	19.3	12.54	21.6	23	27.4	27.4	27.2	27.06	26.92	27.06
05:15:33	22.6	22	19.2	12.61	21.4	23.6	27.5	26.8	27.3	26.93	26.68	26.97
05:45:33	22.2	22.1	19.4	12.29	21.5	22.7	27.3	26.2	27.3	26.66	26.35	26.77
06:00:33	22.3	22.6	19.5	12.36	21.6	22.8	26.7	27.2	27	26.70	26.65	26.78

ตาราง ข.6 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่ที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 19.00 – 6.00 น. วันที่ 14/10/2559

Time	Tair				PV/T c							
					Tpv -PV/Tc		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
19:00:50	23.7	26.9	22.9	14.78	25.8	25	27.9	27.8	27.8	27.56	27.40	27.59
19:15:50	23.9	26.1	22.7	15.00	24.9	24.7	27.9	27.7	27.5	27.42	27.25	27.39
19:45:50	23.9	25	22.3	14.94	23.4	24.4	27.8	27.6	27.2	27.26	27.09	27.18
20:15:51	23.6	24.2	22.3	14.75	23.1	24.2	27.8	27.6	27.2	27.26	27.09	27.18
20:45:51	22.9	23.8	22.5	14.24	22.8	24.1	27.4	27.5	27.1	27.06	26.94	27.03
21:15:51	23	23.6	22.4	14.31	22.7	24	27.3	27.4	26.9	26.93	26.81	26.88
21:45:51	23.1	23.8	22.9	14.61	22.4	23.6	27.4	27.2	26.9	26.90	26.73	26.84
22:15:51	22.8	23.3	22.5	14.21	22.3	23.8	27.5	27.2	26.8	26.90	26.71	26.80
22:45:51	23	23.8	22.2	14.21	22.2	23.6	27.3	27.2	26.8	26.83	26.68	26.77
23:00:51	23.2	23.5	22	14.33	22.2	23.5	27.5	27.1	26.9	26.90	26.69	26.83
23:15:51	22.7	23.1	22	13.90	22.2	23.5	27.1	27	26.8	26.70	26.55	26.68
23:45:51	22.9	22.8	21.8	14.03	22.3	23.5	27.5	27	26.7	26.80	26.58	26.69
00:15:51	23	22.5	21.6	14.09	22.1	23.5	27.2	27	26.7	26.70	26.53	26.64
00:45:51	22.7	22.3	21.6	13.83	22	23.7	27	27	26.6	26.60	26.47	26.55
01:15:51	22.8	22.1	21.6	13.95	22.8	23.2	27	27	26.6	26.60	26.47	26.55
01:45:51	22.7	22.2	21.6	13.84	22.2	23.4	27.1	26.9	26.6	26.60	26.43	26.54
02:15:51	22.6	22.2	21.7	13.79	21.9	23.3	27.1	26.8	26.5	26.53	26.35	26.46
02:45:51	22.9	22.2	21.6	14.03	21.8	23.1	27.2	26.8	26.4	26.53	26.33	26.42
03:00:51	22.9	22	21.6	14.06	21.8	23	27.2	26.7	26.4	26.50	26.28	26.39
03:15:51	23.1	22.1	21.4	14.15	21.7	23.4	27.2	26.7	26.4	26.50	26.28	26.39
03:45:51	23	22	21.3	14.01	22.3	23	27	26.7	26.5	26.47	26.28	26.42
04:15:51	22.9	21.9	21.2	13.90	22.6	23	26.8	26.7	26.3	26.33	26.19	26.27
04:45:51	23	21.8	21	13.91	22.8	23.2	27	26.8	26.5	26.50	26.33	26.44
05:15:51	23.3	21.7	20.8	14.10	22.8	23.5	27.1	26.6	26.5	26.47	26.25	26.41
05:45:52	23.2	22.1	20.9	14.00	23.1	23.6	27	26.6	26.2	26.33	26.14	26.22
06:00:52	23	21.9	20.6	13.71	23	23.7	27.1	26.6	26.9	26.60	26.38	26.63

ตาราง ข.6 (ต่อ) ข้อมูลจากการทดลองแสดง พฤติกรรมของโมดูล PV/T ชนิดมีกระจกปิดทับ สำหรับ วันที่ที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น ในช่วงเวลา 20.56 – 6.00 น. วันที่ 15/10/2559

Time	Tair				PV/T c							
					Tpv -PV/Tc		Tw - module		Tw - Storage			
	Ta	Dry	Wet	Tsky	Glass Avg	Module Avg	Tw in	Tw out	Top	Mid	Bottom	Tw avg
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
20:56:06	25.1	23.5	22.3	16.31	22.9	24.9	27.1	27.4	26.9	26.86	26.78	26.85
21:00:06	25.2	23.7	22.2	16.35	22.9	24.9	27.1	27.5	26.4	26.73	26.66	26.60
21:30:06	24.4	23.8	22.6	15.75	22.7	24.6	27.8	27.1	27	27.03	26.78	26.93
22:00:06	24	23.4	22.4	15.31	22.5	24.3	27.6	26.9	27.1	26.93	26.68	26.90
22:30:06	23.6	23	22.8	15.14	22.3	24.2	26.8	26.5	26.9	26.47	26.28	26.55
23:00:06	24	22.5	22.6	15.52	22.2	23.9	27.6	26.3	26.6	26.57	26.22	26.46
23:30:06	23.3	22.3	22.4	14.77	22	23.8	26.6	26.1	26.7	26.20	25.99	26.30
00:00:06	23.6	22	21.9	14.87	21.8	23.6	26.8	25.9	26.1	26.00	25.73	25.94
00:30:06	23.3	22.3	21.8	14.49	21.8	23.4	27.2	25.7	26.5	26.20	25.82	26.18
00:45:06	23	22.4	21.8	14.19	21.8	23.4	27.1	25.6	26	25.97	25.59	25.85
01:00:06	23	22	21.5	14.11	21.6	23.3	26.5	25.5	25.9	25.71	25.41	25.67
01:30:07	22.7	22.1	21.7	13.91	21.6	23.2	27	25.4	25.5	25.71	25.31	25.51
02:00:07	22.3	22	21.7	13.53	21.5	23.1	27.2	25.2	25.5	25.71	25.25	25.49
02:30:07	22.1	22.2	21.7	13.31	21.3	22.9	27	25.1	26.1	25.81	25.36	25.76
03:00:07	22.2	21.9	21.6	13.40	21.1	22.8	27	24.9	25.9	25.67	25.20	25.59
03:30:07	22.1	21.7	21.6	13.32	20.9	22.5	26.6	24.8	26	25.54	25.12	25.55
04:00:07	22.2	21.5	21.4	13.35	20.8	22.3	26.6	24.5	25.9	25.41	24.94	25.42
04:30:07	22.1	21.8	21.2	13.14	20.7	22.1	26.2	24.5	25.8	25.25	24.84	25.29
04:45:07	22.1	22.1	21.2	13.09	20.7	22.2	26	24.4	25.6	25.08	24.69	25.12
05:00:07	22.1	21.7	21.2	13.15	20.6	22.1	26.1	24.3	25	24.88	24.46	24.78
05:30:07	22	21.5	21	12.98	20.7	21.5	26.5	24.1	25.5	25.11	24.59	25.07
06:00:07	21.6	22	20.8	12.41	20.4	22.1	25.6	24.1	25	25.65	24.90	25.18

ตาราง ข.7 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนต่อวัน จากการทำนาย  
ของวันตัวแทน วันที่ 16 เดือนมีนาคม ของชนิดไม่มีกระจกปิดทับ

Time	Ta	It	Without Cooling						With cooling							
			Twh		Tpv		Power		Qstore H		Twh		Tpv		Power	
	°C	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	W	kWh	W	kWh	°C	°C	W	kWh	W	kWh		
8.00	24.77	492.05	30.00	36.98	87.22		130.50		30.00	36.98	87.22		130.50			
8.05	24.97	511.96	30.16	37.54	91.66		137.20		30.16	37.54	91.66		137.20			
8.10	25.17	531.83	30.32	38.11	95.97		143.81		30.32	38.11	95.97		143.81			
8.15	25.37	551.65	30.49	38.68	100.14		150.34		30.49	38.68	100.14		150.34			
8.20	25.57	571.37	30.67	39.25	104.16		156.76		30.67	39.25	104.16		156.76			
8.25	25.77	590.99	30.86	39.83	108.02		163.07		30.86	39.83	108.02		163.07			
8.30	25.97	610.47	31.05	40.40	111.71	0.109	169.27	0.165	31.05	40.40	111.71	0.109	169.27	0.165		
8.35	26.18	629.79	31.25	40.98	115.22		175.35		31.25	40.98	115.22		175.35			
8.40	26.38	648.93	31.46	41.56	118.54		181.29		31.46	41.56	118.54		181.29			
8.45	26.59	667.85	31.68	42.14	121.68		187.09		31.68	42.14	121.68		187.09			
8.50	26.79	686.54	31.90	42.71	124.62		192.75		31.90	42.71	124.62		192.75			
8.55	26.99	704.97	32.13	43.29	127.36		198.26		32.13	43.29	127.36		198.26			
9.00	27.20	723.11	32.37	43.86	129.90		203.61		32.37	43.86	129.90		203.61			
9.05	27.41	740.95	32.61	44.43	132.23		208.79		32.61	44.43	132.23		208.79			
9.10	27.61	758.46	32.86	45.00	134.36		213.80		32.86	45.00	134.36		213.80			
9.15	27.81	775.61	33.12	45.56	136.29		218.63		33.12	45.56	136.29		218.63			
9.20	28.02	792.38	33.38	46.12	138.01		223.27		33.38	46.12	138.01		223.27			
9.25	28.22	808.76	33.64	46.67	139.53		227.72		33.64	46.67	139.53		227.72			
9.30	28.43	824.71	33.92	47.22	140.86	0.139	231.98	0.229	33.92	47.22	140.86	0.139	231.98	0.229		
9.35	28.63	840.22	34.19	47.76	142.00		236.03		34.19	47.76	142.00		236.03			
9.40	28.83	855.26	34.47	48.30	142.96		239.88		34.47	48.30	142.96		239.88			
9.45	29.03	869.82	34.76	48.82	143.73		243.51		34.76	48.82	143.73		243.51			
9.50	29.23	883.87	35.05	49.34	144.34		246.93		35.05	49.34	144.34		246.93			
9.55	29.43	897.40	35.35	49.85	144.79		250.13		35.35	49.85	144.79		250.13			
10.00	29.63	910.38	35.64	50.36	145.09		253.10		35.64	50.36	145.09		253.10			
10.05	29.83	922.81	35.95	50.85	145.24		255.84		35.95	50.85	145.24		255.84			
10.10	30.03	934.65	36.25	51.33	145.27		258.34		36.25	51.33	145.27		258.34			
10.15	30.22	945.90	36.56	51.80	145.18		260.61		36.56	51.80	145.18		260.61			
10.20	30.41	956.55	36.87	52.26	144.99	0.144	262.65	0.264	36.87	52.26	144.99	0.144	262.65	0.264		
10.25	30.61	966.56	37.18	52.71	144.70		264.44		37.18	52.71	144.70		264.44			
10.30	30.80	975.94	37.50	53.14	144.33		265.98		37.50	53.14	144.33		265.98			
10.35	30.99	984.67	37.82	53.57	143.88		267.28		37.82	53.57	143.88		267.28			

ตาราง ข.7 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนต่อวัน จากการทำนาย  
 ของวันตัวแทน วันที่ 16 เดือนมีนาคม ของชนิดไม่มีกระจกปิดทับ (ต่อ)

Time	Ta °C	It W/m <sup>2</sup>	Without Cooling						With cooling					
			Twh °C	Tpv °C	Power		Qstore H		Twh °C	Tpv °C	Power		Qstore H	
					W	kWh	W	kWh			W	kWh	W	kWh
10.00	29.63	910.38	35.64	50.36	145.09		253.10		35.64	50.36	145.09		253.10	
10.05	29.83	922.81	35.95	50.85	145.24		255.84		35.95	50.85	145.24		255.84	
10.10	30.03	934.65	36.25	51.33	145.27		258.34		36.25	51.33	145.27		258.34	
10.15	30.22	945.90	36.56	51.80	145.18		260.61		36.56	51.80	145.18		260.61	
10.20	30.41	956.55	36.87	52.26	144.99		262.65		36.87	52.26	144.99		262.65	
10.25	30.61	966.56	37.18	52.71	144.70		264.44		37.18	52.71	144.70		264.44	
10.30	30.80	975.94	37.50	53.14	144.33	0.144	265.98	0.264	37.50	53.14	144.33	0.144	265.98	0.264
10.35	30.99	984.67	37.82	53.57	143.88		267.28		37.82	53.57	143.88		267.28	
10.40	31.17	992.73	38.14	53.98	143.39		268.34		38.14	53.98	143.39		268.34	
10.45	31.36	1,000.11	38.46	54.37	142.84		269.14		38.46	54.37	142.84		269.14	
10.50	31.54	1,006.81	38.78	54.76	142.27		269.70		38.78	54.76	142.27		269.70	
10.55	31.72	1,012.82	39.10	55.13	141.67		270.00		39.10	55.13	141.67		270.00	
11.00	31.90	1,018.12	39.42	55.48	141.06		270.05		39.42	55.48	141.06		270.05	
11.05	32.08	1,022.72	39.74	55.82	140.45		269.85		39.74	55.82	140.45		269.85	
11.10	32.25	1,026.59	40.07	56.15	139.85		269.40		40.07	56.15	139.85		269.40	
11.15	32.42	1,029.74	40.39	56.45	139.26		268.70		40.39	56.45	139.26		268.70	
11.20	32.59	1,032.17	40.71	56.75	138.70		267.76		40.71	56.75	138.70		267.76	
11.25	32.76	1,033.86	41.03	57.03	138.17		266.56		41.03	57.03	138.17		266.56	
11.30	32.92	1,034.82	41.35	57.29	137.67	0.138	265.12	0.264	41.35	57.29	137.67	0.138	265.12	0.264
11.35	33.08	1,035.05	41.66	57.53	137.22		263.43		41.66	57.53	137.22		263.43	
11.40	33.24	1,034.54	41.98	57.76	136.81		261.50		41.98	57.76	136.81		261.50	
11.45	33.40	1,033.30	42.29	57.97	136.44		259.34		42.29	57.97	136.44		259.34	
11.50	33.55	1,031.33	42.60	58.16	136.13		256.93		42.60	58.16	136.13		256.93	
11.55	33.70	1,028.63	42.90	58.34	135.86		254.30		42.90	58.34	135.86		254.30	
12.00	33.85	1,025.20	43.21	58.50	135.63		251.43		22.50	47.96	154.54		418.80	
12.05	33.99	1,021.05	43.51	58.64	135.45		248.34		23.00	48.21	153.97		414.10	
12.10	34.13	1,016.18	43.80	58.77	135.30		245.03		23.49	48.43	153.41		409.18	
12.15	34.27	1,010.61	44.10	58.88	135.18		241.50		23.98	48.64	152.86		404.07	
12.20	34.40	1,004.34	44.39	58.97	135.10	0.135	237.76	0.231	24.46	48.83	152.31	0.151	398.76	0.389
12.25	34.53	997.38	44.67	59.04	135.03		233.81		24.94	49.00	151.77		393.26	
12.30	34.66	989.73	44.95	59.10	134.97		229.66		25.41	49.15	151.21		387.57	
12.35	34.78	981.41	45.22	59.14	134.91		225.31		25.87	49.29	150.64		381.70	

ตาราง ข.7 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนต่อวัน จากการทำนาย  
 ของวันตัวแทน วันที่ 16 เดือนมีนาคม ของชนิดไม่มีกระจกปิดทับ (ต่อ)

Time	Ta	It	Without Cooling						With cooling									
			Twh		Tpv		Power		Qstore H		Twh		Tpv		Power		Qstore H	
			°C	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	W	kWh	W	kWh	°C	°C	W	kWh	W	kWh		
12.40	34.90	972.44	45.49	59.16	134.84		220.77		26.33	49.40	150.05		375.66					
12.45	35.02	962.82	45.75	59.16	134.76		216.05		26.78	49.50	149.43		369.44					
12.50	35.13	952.56	46.01	59.15	134.64		211.15		27.22	49.58	148.77		363.06					
12.55	35.24	941.68	46.26	59.12	134.48		206.07		27.65	49.64	148.07		356.52					
13.00	35.34	930.20	46.51	59.07	134.26		200.83		28.08	49.69	147.30		349.83					
13.05	35.44	918.14	46.75	59.01	133.97		195.44		28.49	49.72	146.47		342.99					
13.10	35.54	905.50	46.98	58.93	133.61		189.88		28.90	49.73	145.56		336.02					
13.15	35.63	892.30	47.21	58.84	133.15		184.19		29.30	49.72	144.56		328.91					
13.20	35.72	878.57	47.43	58.73	132.59		178.35		29.70	49.70	143.46		321.68					
13.25	35.80	864.32	47.64	58.60	131.90	0.131	172.39	0.169	30.08	49.66	142.26	0.141	314.34	0.310				
13.30	35.88	849.58	47.85	58.46	131.09		166.31		30.45	49.60	140.94		306.88					
13.35	35.96	834.36	48.05	58.30	130.13		160.10		30.82	49.53	139.48		299.32					
13.40	36.03	818.68	48.24	58.13	129.02		153.80		31.18	49.44	137.89		291.67					
13.45	36.10	802.56	48.42	57.94	127.75		147.39		31.53	49.34	136.16		283.94					
13.50	36.16	786.03	48.60	57.74	126.30		140.89		31.86	49.23	134.27		276.12					
13.55	36.22	769.11	48.76	57.53	124.67		134.31		32.19	49.09	132.22		268.23					
14.00	36.28	751.82	48.92	57.30	122.86		127.65		32.51	48.95	130.01		260.29					
14.05	36.33	734.19	49.08	57.06	120.84		120.93		32.82	48.79	127.62		252.28					
14.10	36.38	716.23	49.22	56.81	118.62		114.15		33.13	48.62	125.05		244.23					
14.15	36.42	697.97	49.36	56.55	116.19		107.31		33.42	48.43	122.30		236.15					
14.20	36.46	679.44	49.49	56.27	113.56		100.44		33.70	48.24	119.37		228.03					
14.25	36.49	660.66	49.61	55.98	110.71	0.108	93.53	0.090	33.97	48.03	116.25	0.114	219.89	0.216				
14.30	36.52	641.65	49.72	55.69	107.64		86.60		34.23	47.80	112.95		211.74					
14.35	36.54	622.44	49.82	55.38	104.36		79.64		34.49	47.57	109.46		203.58					
14.40	36.56	603.06	49.92	55.06	100.87		72.68		34.73	47.33	105.78		195.42					
14.45	36.58	583.52	50.00	54.73	97.17		65.72		34.96	47.08	101.93		187.27					
14.50	36.59	563.86	50.08	54.40	93.26		58.76		35.19	46.82	97.89		179.14					
14.55	36.60	544.10	50.15	54.05	89.15		51.82		35.40	46.54	93.69		171.04					
15.00	36.60	524.26	50.21	53.70	84.85	0.059	44.90	0.014	35.60	46.26	89.31	0.064	162.97	0.126				
15.05	36.60	504.37	50.27	53.34	80.35		38.00		35.80	45.98	84.78		154.94					
15.10	36.59	484.45	50.31	52.97	75.68		31.15		35.98	45.68	80.10		146.95					
15.15	36.58	464.53	50.35	52.60	70.84		24.34		36.16	45.38	75.27		139.03					

ตาราง ข.7 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนต่อวัน จากการทำนาย  
 ของวันตัวแทน วันที่ 16 เดือนมีนาคม ของชนิดไม่มีกระจกปิดทับ (ต่อ)

Time	Ta	It	Without Cooling						With cooling					
			Twh	Tpv	Power		Qstore H		Twh	Tpv	Power		Qstore H	
	°C	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	W	kWh	W	kWh	°C	°C	W	kWh	W	kWh
15.00	36.60	524.26	50.21	53.70	84.85		44.90		35.60	46.26	89.31		162.97	
15.05	36.60	504.37	50.27	53.34	80.35		38.00		35.80	45.98	84.78		154.94	
15.10	36.59	484.45	50.31	52.97	75.68		31.15		35.98	45.68	80.10		146.95	
15.15	36.58	464.53	50.35	52.60	70.84		24.34		36.16	45.38	75.27		139.03	
15.20	36.56	444.63	50.38	52.22	65.84		17.58		36.32	45.07	70.31		131.16	
15.25	36.54	424.77	50.40	51.84	60.69		10.88		36.48	44.75	65.22		123.37	
15.30	36.52	404.99	50.41	51.45	55.41	0.059	4.25	0.014	36.63	44.43	60.02	0.064	115.65	0.126
15.35	36.49	385.30	50.42	51.05	50.00				36.77	44.11	54.72		108.01	
15.40	36.46	365.72	50.41	50.66	44.48				36.90	43.78	49.33		100.46	
15.45	36.42	346.28	50.40	50.26	38.86				37.02	43.44	43.87		93.01	
15.50	36.38	327.00	50.39	49.85	33.17				37.13	43.10	38.34		85.66	
15.55	36.33	307.91	50.36	49.45	27.40				37.23	42.76	32.76		78.42	
16.00	36.28	289.02	50.33	49.04	21.59				37.32	42.42	27.14		71.29	



ตาราง ข.8 ผลประหยัดราคาค่าไฟจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนจาก  
การทำนายตลอดทั้งปี ของชนิดไม่มีกระจกปิดทับ

Month	PV/T				PV/Tc				
	Power	Hot water	Total		Power	Hot water	Total		
	kWh/ month	kWh/ month	kWh/ month	Baht month	kWh/ month	kWh/ month	kWh/ month	Baht/ month	
Jan	29.19	36.73	65.91	263.65	23.61	76.63	100.24	400.95	
Feb	27.15	38.87	66.02	264.08	22.54	77.05	99.59	398.35	
Mar	30.13	47.44	77.57	310.29	25.31	89.54	114.85	459.41	
Apr	28.62	46.34	74.96	299.83	23.86	84.58	108.45	433.78	
May	27.11	39.24	66.35	265.41	20.92	73.02	93.94	375.77	
Jun	28.35	38.37	66.73	266.91	22.44	74.13	96.57	386.29	
Jul	27.24	36.09	63.33	253.31	20.87	70.34	91.21	364.85	
Aug	26.93	35.75	62.68	250.71	20.65	69.75	90.40	361.59	
Sep	27.34	36.02	63.36	253.43	21.49	70.96	92.45	369.79	
Oct	23.01	31.22	54.23	216.93	16.66	60.90	77.56	310.24	
Nov	24.18	30.55	54.73	218.92	18.42	62.43	80.85	323.39	
Dec	28.28	33.72	61.99	247.98	22.41	71.87	94.27	377.09	
Total	327.52	450.34	777.86	3,111.43	259.17	881.20	1,140.38	4,561.51	
ผลรวมหลังหักค่าไฟจากปั๊มน้ำ 717.7 บาท				2,393.73					3,843.81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

**การทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น**  
**จากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน**  
**Performance Test on Power, Hot and Cold Water Generation**  
**of a Hybrid Photovoltaic/Thermal module**

ชฎฤกษ์ณี ปัญศิริ<sup>1\*</sup> อรรถกร อาสนคำ<sup>2</sup> และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200  
<sup>2</sup>ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ. ห้วยแก้ว ต. สุเทพ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200  
\* E-mail: tp\_qr@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็นจากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ 2 รูปแบบ คือโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนกว้าง 0.87 m ยาว 1.64 mหนา 0.11 m และโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน ขนาด กว้าง 0.82 m ยาว 1.60 m หนา 0.09 m และ แต่ละโมดูลมีศักยภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 200 W การทดสอบดำเนินการในเขตอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โมดูลทั้งสองเอียง ทำมุม 18 องศา กับแนวระดับ หันหน้าไปทางทิศใต้ ด้านหลังของโมดูลจะมีท่อน้ำมีน้ำไหลเวียนระบายความร้อน ทำให้โมดูลผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น รวมถึงได้น้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ในเวลากลางวัน ในเวลากลางคืน โมดูลทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนสู่ท้องฟ้า ลดอุณหภูมิที่ไหลเวียน เพื่อลดน้ำเย็นในเวลากลางคืน จากผลการทดลองผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในตอนกลางวัน พบว่า ชนิดไม่มีกระจกปิดทับสามารถผลิตไฟฟ้าต่อวันได้ดีกว่า แต่ผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสุดท้ายต่ำกว่าแบบมีกระจกปิดทับ โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้และอุณหภูมิร้อนสูงสุดที่ได้ มีค่า 0.38 kWh และ 40.6°C ในขณะที่โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ จะให้ค่า 0.33 kWh และ 52.5°C ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืนเป็นระยะเวลา 4 วันติดต่อกัน พบว่า โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับสามารถลดอุณหภูมิในถังขนาด 60ลิตรได้ดีกว่า จากอุณหภูมิในถังเริ่มต้นที่ประมาณ 31.5°C ลดเหลือ 22.9°C แต่โมดูลอีกรูปแบบหนึ่งสามารถลดอุณหภูมิได้เหลือเพียง 26°C และเมื่อน้ำเย็นที่ผลิตได้มาลดอุณหภูมิโมดูลในตอนกลางวัน พบว่า น้ำเย็นที่ผลิตได้นั้นสามารถช่วยลดอุณหภูมิโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิด

**ABSTRACT**

Performance tests on power, hot water and cool water generation of two 200W<sub>p</sub> hybrid monocrystalline photovoltaic/thermal modules, with and without glass cover, were carried out. The module dimensions were 0.87 m width, 1.64 m length, 0.11 m thickness; and 0.82 m width, 1.60 m length and 0.09 thickness, respectively. The experimental tests were performed in Muang District, Chiang Mai and both modules were inclined 18 degree from horizontal plane with south facing. There was water circulation at the back of each module for module cooling to increase power generation and hot water obtained was secondary output in the daytime. In the nighttime, the module acted as a nocturnal heat radiator to the sky for reducing temperature of the circulating water. During the daytime, it was found that the module without glass cover could generate more power but the maximum water temperature was less compared with the other unit. The daily generated power

and the maximum water temperature were 0.38 kWh, 40.6°C and 0.33 kWh, 52.5°C, respectively. For cool water production, with 4 consecutive days testing, the module without glass cover could reduce more temperature of water in a 60 liter tank from the initial value at 31.5°C to be 22.9°C meanwhile the other one, the temperature dropped down to be 26°C only. After using the cool water for module cooling in the daytime, it was found that the maximum module temperature of the unit without glass cover could be reduced from 55.5°C to be 46.5°C and the efficiency could be up from 11% to be 12.9%. For the unit with glass cover, the maximum module temperature could be reduced from 68.7°C to be 53.4°C and the efficiency could be increased from 9.2% to be 10.8%.

คำหลัก: โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน, การร่วมผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น, การทดสอบ

Keywords: Hybrid Photovoltaic/Thermal module, Tri-Generation, Experimental test

ปัจจุบันแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานของประเทศได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงขึ้นเฉลี่ยปีละร้อยละ 3.86 (ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปี, 2015) [1] ทำให้มีการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ ตลอดจนการค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทน ให้มีประสิทธิภาพสูง เช่น โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน (Photovoltaic/Thermal Solar Collector, PV/T) โดยมีการใช้ระบายความร้อน จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ลอดอุณหภูมิโมดูล ช่วยเพิ่มความสามารถในการผลิตไฟฟ้า และน้ำที่ระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปน้ำร้อนในกระบวนการทางความร้อน [2] วิธีการดังกล่าวจะช่วยทำให้โมดูลยังคงมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่ดีและผลิตน้ำร้อนได้ในเวลาเดียวกัน

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ในเวลากลางคืน โมดูลสามารถทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้า ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้อุณหภูมิของโมดูลต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศรอบๆ สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนเช่นเดียวกับงานของ Chotivisarut and Kiatsiriroat, 2009 [3] ปรารถนาและทองเกียรติ, 2550 [4] ที่ใช้แผ่นโลหะร่วมกับท่อความร้อน ระบายความร้อนสู่ท้องฟ้าเพื่อผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืน และเมื่อได้น้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำและปริมาณมากพอจะถูกนำไปทำความเย็นภายในอาคารในตอนกลางวัน ช่วยลดภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้ จะนำโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน ซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาผลิตไฟฟ้า ความร้อน การนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาร่วมผลิตน้ำเย็นด้วยถือว่าเป็นแนวทางใหม่ที่ยังไม่มีรายงานการศึกษามาก่อน ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบ เพื่อผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น เพื่อทำความเย็นในอาคารสำนักงานที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ เช่น โรงแรมโรงพยาบาล และ หอพัก เป็นต้น

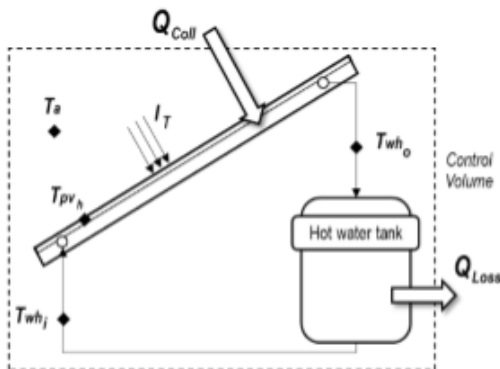
## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาศักยภาพของโมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน ในการผลิตไฟฟ้า และน้ำร้อนในเวลากลางวันและการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืน

## 3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมรรถนะของระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาภายใต้ 2 สภาวะ คือ ตอนกลางวัน ระบบทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลาเดียวกัน ส่วนกลางคืนระบบจะทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว

การทำงานของระบบใน ตอนกลางวัน ดังรูปที่ 1 โมดูลจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นไฟฟ้า และจะมีน้ำจากถังเก็บน้ำร้อนไหลผ่านท่อที่ถูกติดตั้งไว้ด้านหลัง โมดูลซึ่งจะช่วยระบายความร้อนและลดอุณหภูมิโมดูล น้ำที่ไหลเวียนจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและน้ำร้อนที่ได้จะถูกบรรจุอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน



รูปที่ 1 การผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในตอนกลางวัน

อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากโมดูล สามารถคำนวณจาก

$$T_{wh_o} = \frac{A_{pv}}{m_w C_{pw}} \left[ -F_R U_L (T_{wh_i} - T_a) \right] + T_{wh_i} \quad (1)$$

เมื่อ

- $m_w$  คือ อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่าน โมดูล, (kg/s)
- $C_{pw}$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, (kJ/kg-K)
- $T_{wh_i}$  คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าถังน้ำร้อน, (K)
- $T_{wh_o}$  คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกถังน้ำร้อน, (K)
- $(F_R \alpha)_c$  คือ คุณลักษณะในการส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์
- $F_R U_L$  คือ คุณลักษณะการสูญเสียความร้อนรวมจากโมดูล, (W/m<sup>2</sup>K)
- $I_T$  คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, (W/m<sup>2</sup>)
- $T_a$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)
- $A_{pv}$  คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m<sup>2</sup>)

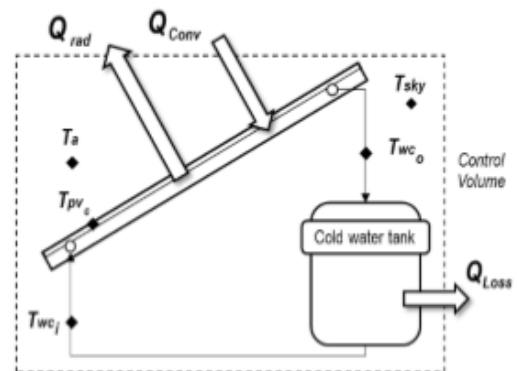
อัตราความร้อนที่สะสมในถังน้ำร้อน เมื่อสมมุติว่าไม่มีการแยกตัวของอุณหภูมิ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Q_{stored_H} = \frac{M_w C_{pw} (T_{wh_{i+1}} - T_{wh_i})}{\Delta t} \quad (2)$$

เมื่อ

- $M_w$  คือ มวลของน้ำในถังน้ำร้อน, (kg)
- $T_{wh_i}$  คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลาที t, (K)
- $T_{wh_{i+1}}$  คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลาที t + Δt, (K)

การทำงานของระบบใน ตอนกลางคืนดังรูปที่ 2 การหมุนเวียนน้ำจะเหมือนระบบทำน้ำร้อนตอนกลางวัน แต่ใช้โมดูลทำหน้าที่เป็นตัวระบายความร้อนจากน้ำในถังน้ำเย็นออกสู่บรรยากาศ โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้น โดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าและจะมีการรับความร้อนจากการพาความร้อนของอากาศแวดล้อม ถ้าอัตราการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าสูงกว่าอัตราการรับความร้อน โดยการพาความร้อนจากอากาศรอบๆ อุณหภูมิผิวโมดูลจะต่ำกว่าอากาศโดยรอบ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมาส่งผ่านโมดูล จะสามารถลดอุณหภูมิน้ำให้ต่ำกว่าอากาศโดยรอบได้ น้ำเย็นที่ได้จะนำไปเก็บในถังน้ำเย็น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิน้ำในถังลดลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2 การผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืน

อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากโมดูล สามารถคำนวณได้จาก

$$T_{wco} = \frac{A_{PV}}{m_w C_{pw}} \left[ \frac{h_{PV}(T_a - T_{PVc})}{-\varepsilon\sigma(T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)} \right] + T_{wci} \quad (3)$$

เมื่อ

$m_w$  คือ อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่าน โมดูล, (kg/s)

$C_{pw}$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, (J/kg-K)

$T_{wci}$  คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าถึงน้ำเย็น, (K)

$T_{wco}$  คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกถึงน้ำเย็น, (K)

$A_{PV}$  คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m<sup>2</sup>)

$h_{PV}$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของโมดูล จากอากาศสู่โมดูล, (W/m<sup>2</sup> - K)

$T_{PVc}$  คือ อุณหภูมิหน้าโมดูลตอนกลางคืน, (K)

$T_a$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)

$T_{sky}$  คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า, (K)

$\varepsilon$  คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสี

$\sigma$  คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 - \text{K}^4$

สำหรับอุณหภูมิท้องฟ้า ( $T_{sky}$ ) Bliss (1961) [5] ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องฟ้ากับอากาศที่บรรยากาศทั่วไป และความชื้นสัมพัทธ์ไว้ดังนี้

$$T_{sky} = T_a \left[ 0.8 + \frac{T_{dp} - 273.15}{250} \right]^{1/4} \quad (4)$$

เมื่อ

$T_a$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)

$T_{dp}$  คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง, (K)

อัตราการทำความเย็นที่ถึงน้ำเย็น สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Q_{storedc} = \frac{M_w C_{pw} (T_{wci+1} - T_{wci})}{\Delta t} \quad (5)$$

เมื่อ

$M_w$  คือ มวลของน้ำในถังน้ำร้อน, (kg)

$T_{wci}$  คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลา  $t$ , (K)

$T_{wci+1}$  คือ อุณหภูมิของน้ำในถังในเวลา  $t + \Delta t$ , (K)

สำหรับสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า หาได้จากประสิทธิภาพทางไฟฟ้า จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และความเข้มของรังสีอาทิตย์ ที่ตกกระทบหน้าโมดูล ดังนี้

$$\eta_e = \frac{P_e}{I_T A_{PV}} \quad (6)$$

เมื่อ

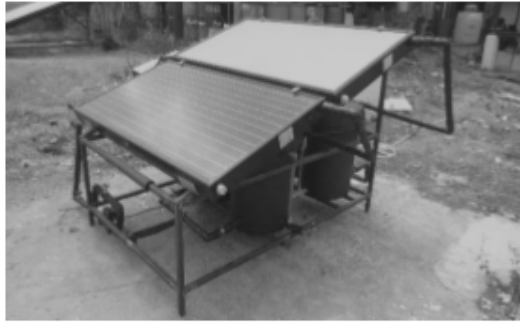
$P_e$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้, (W)

$A_{PV}$  คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m<sup>2</sup>)

$I_T$  คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, (W/m<sup>2</sup>)

#### 4. วิธีการวิจัย

ระบบทดสอบดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย โมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดโอบริคโฟโตโวลตาอิก/ความร้อนแบบโมโนคริสตัลไลน์ โดยใช้โมดูล 2 รูปแบบ ได้แก่ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน (PV/T) รุ่น Power-Volt 200 W<sub>p</sub> ขนาดกว้าง 0.82m ยาว 1.60 m หน้า 0.09 m และ โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน (PV/Tc) รุ่น Power-Therm 200 W<sub>p</sub> ขนาดกว้าง 0.87 m ยาว 1.64 m หน้า 0.11 m ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์[6] ทำการติดตั้งโมดูลบนโครงเหล็กทำมุม 18 องศา กับแนวระดับ หน้าทางทิศใต้ โดยแต่ละโมดูลจะเชื่อมต่อกับถังน้ำร้อนและน้ำเย็น ขนาด 60 ลิตร หุ้มด้วยฉนวน Aero-flex หน้า 3 นิ้ว มี Flow meter ใช้ยี่ห้อ Blue point รุ่น S-4-100 LH ชนิดลูกลอย (ความละเอียด ± 5%) ทำการวัดและควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเวียนในโมดูลในหน่วย ลิตรต่อชั่วโมง ภาระทางไฟฟ้าจะใช้หลอดไฟแสงสว่างขนาด 300 W



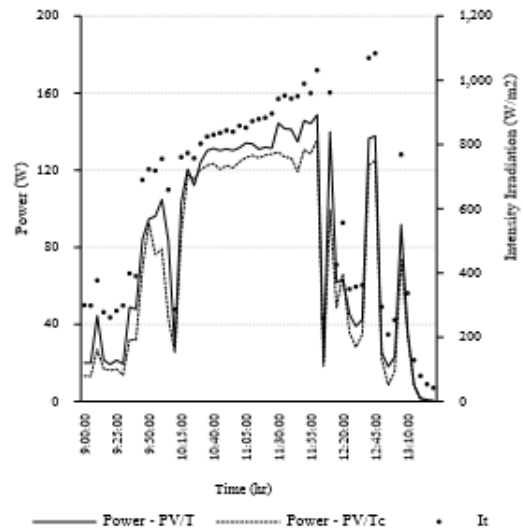
รูปที่ 3 การทดสอบโมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริด โฟโตโวลตาอิก/ความร้อนที่ติดตั้งบนโครงเหล็ก

การเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้ จะใช้ Multi-meter ใช้ยี่ห้อ Uni-Trend รุ่น PAC93 (ความแม่นยำ วัดแรงดัน ไฟฟ้า  $\pm 0.8\%$  และวัดกระแส  $\pm 2\%$ ) ค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็นและอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ Thermocouple Type T (ความแม่นยำ  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ) ซึ่งจะต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ Huato รุ่น S220-T8 และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะใช้ Pyranometer ยี่ห้อ Kipp&Zonen รุ่น CMP3 ที่ช่วงการวัดจะอยู่ที่ 0 ถึง  $1,500 \text{ W/m}^2$  (ความแม่นยำ  $\pm 5\%$ ) วางในระนาบเดียวกับโมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริด โฟโตโวลตาอิก/ความร้อน

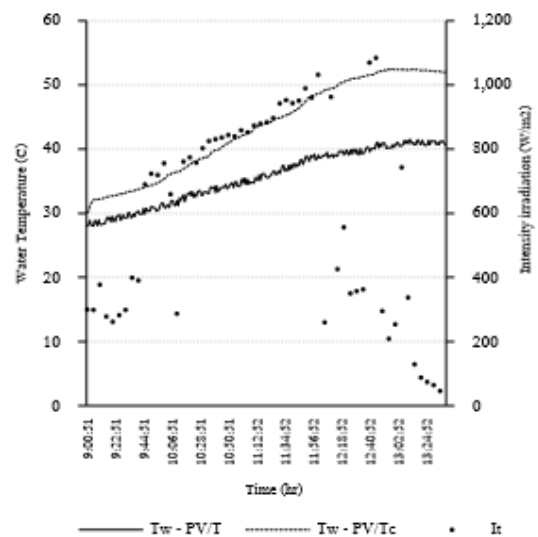
## 5. ผลการวิจัย

### 5.1 การผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน ตอนกลางวัน

ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในตอนกลางวัน พบว่า โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาได้ดีกว่า โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับประมาณ 21% แสดงดังรูปที่ 4 โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 148.7 W โดยโมดูลที่ไม่มีกระจกปิดทับสามารถทำได้สูงสุดเพียง 135.7 W แต่ในทางตรงกันข้าม โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับสามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่า ดังรูปที่ 5 สามารถผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิ  $30.2^{\circ}\text{C}$  ได้จนถึง  $52.5^{\circ}\text{C}$  แต่โมดูลชนิดที่ไม่มีกระจกปิดทับ สามารถผลิตน้ำร้อนจาก  $28^{\circ}\text{C}$  ถึงเพียง  $40.6^{\circ}\text{C}$  หรือเพิ่มขึ้นเพียงประมาณ  $12^{\circ}\text{C}$  เท่านั้น



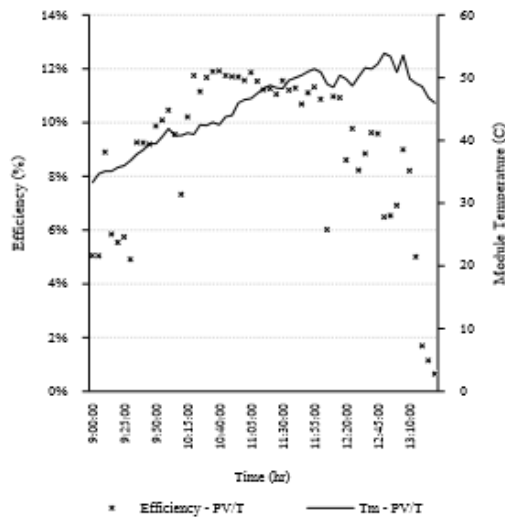
รูปที่ 4 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแต่ละระบบ ในช่วงเวลากลางวัน (23/9/2559)



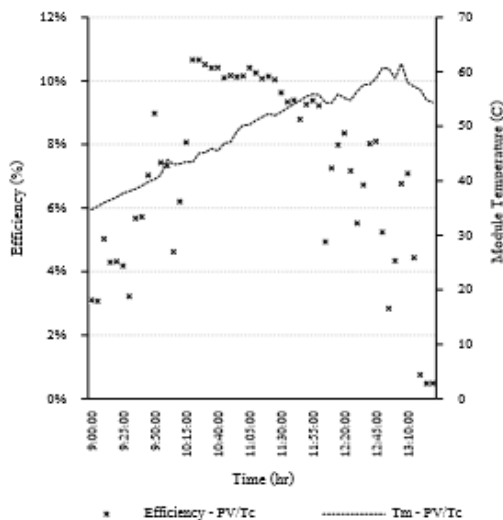
รูปที่ 5 อุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังน้ำร้อนของแต่ละระบบ ในช่วงเวลากลางวัน (23/9/2559)

จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่า การมีกระจกปิดทับของโมดูล ไม่เพียงแต่ช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากโมดูลสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับมีอุณหภูมิสูงกว่า สามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่า แบบไม่มีกระจกปิดทับ แต่ในทางตรงกันข้าม การมีกระจกปิดทับหน้าโมดูลจะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยลง และยังทำให้

โมดูลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โมดูลสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโมดูลด้วยดังรูปที่ 6 และ 7 พบว่าเมื่ออุณหภูมิโมดูลสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากโมดูลค่อยลง



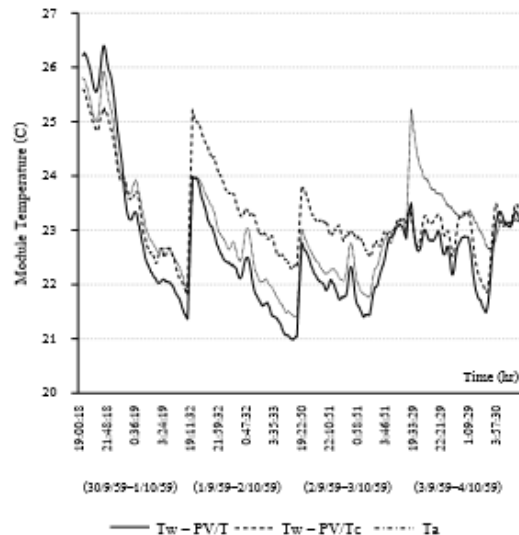
รูปที่ 6 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ในตอนกลางวัน (23/9/2559)



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ ในตอนกลางวัน (23/9/2559)

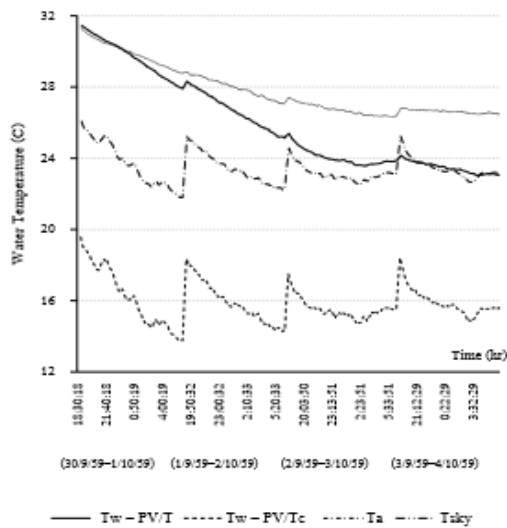
## 5.2 การผลิตน้ำเย็น ตอนกลางวัน

ผลการทดสอบการผลิตน้ำเย็นตอนกลางวัน (ช่วงวันที่ 30 กันยายน – 3 ตุลาคม 2559) พบว่าสามารถทำให้อุณหภูมิโมดูลมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะแบบที่ไม่มีกระจกปิดทับ แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า สูงกว่าการพาความร้อนจากอากาศรอบๆ ดังรูปที่ 8 และเมื่อนำน้ำจากถังเก็บน้ำเย็นส่งเข้าสู่โมดูลในตอนกลางวัน จะช่วยให้อุณหภูมิของน้ำในแต่ละช่วงเวลาเมื่อออกจากโมดูลมีอุณหภูมิลดลงส่งผลให้อุณหภูมิน้ำในถังสะสมลดลงไปเรื่อยๆ จากรูปที่ 9 พบว่า การผลิตน้ำเย็นของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สามารถลดอุณหภูมิน้ำได้เฉลี่ย  $2.68^{\circ}\text{C}$  ต่อคืน และเมื่อใช้ระยะเวลา 4 วันติดต่อกัน สามารถลดอุณหภูมิน้ำในถังขนาด 60 ลิตรได้ดีกว่า จากอุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นที่ประมาณ  $31.5^{\circ}\text{C}$  ลดเหลือ  $22.9^{\circ}\text{C}$  แต่แบบที่มีกระจกปิดทับ สามารถลดอุณหภูมิน้ำได้เหลือเพียง  $26^{\circ}\text{C}$  หรือ สามารถลดอุณหภูมิน้ำในอัตราเฉลี่ยประมาณ  $1.83^{\circ}\text{C}$  ต่อคืน แสดงให้เห็นว่า โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สามารถใช้ลดอุณหภูมิของน้ำเย็นในตอนกลางวันได้ดีกว่าโมดูลชนิด มีกระจกปิดทับ

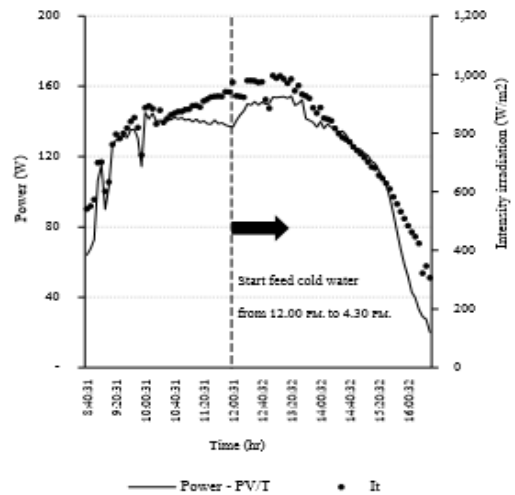


รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโมดูลของแต่ละระบบ ในเวลากลางวันช่วงวันที่ 30 กันยายน – 3 ตุลาคม 2559

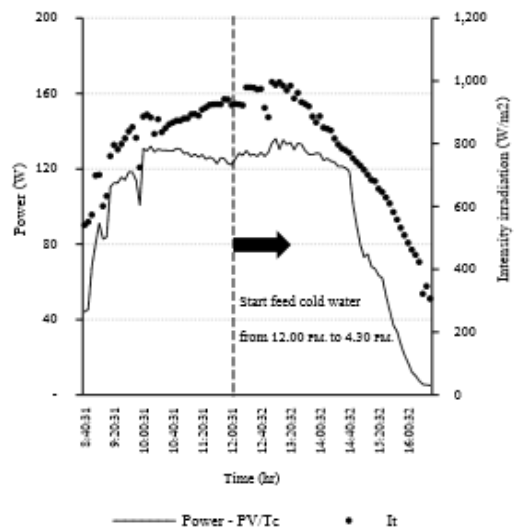




รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในถังของแต่ละระบบ กลางคืนช่วงวันที่ 30 กันยายน – 3 ตุลาคม 2559



รูปที่ 10 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)



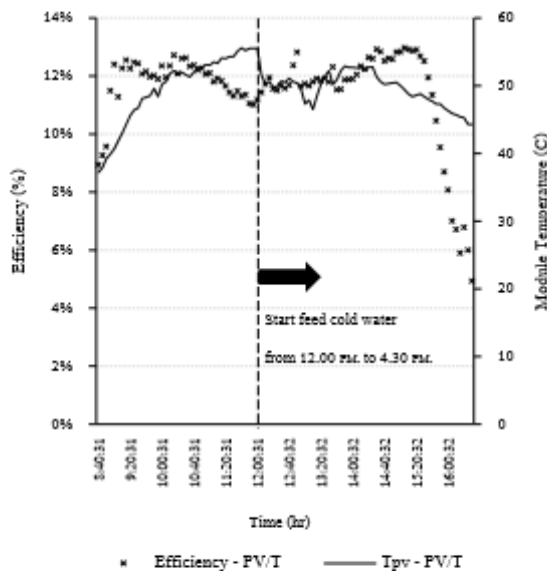
รูปที่ 11 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

### 5.3 การประยุกต์ใช้น้ำเย็น ในตอนกลางวัน

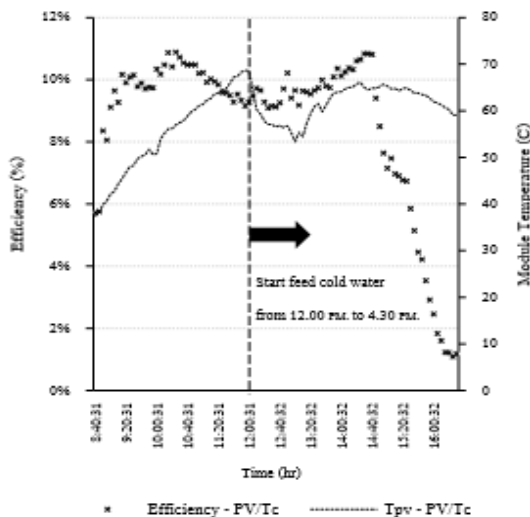
จากการทำงานของระบบที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนได้ในเวลาเดียว สำหรับตอนกลางวัน พบว่าช่วงเวลา 12.00 น. – 16.30 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิโมดูลมีค่าสูงสุด ทำให้ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลง จึงได้ทำการทดสอบใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนมาระบายความร้อนให้แก่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าว โดยเปลี่ยนน้ำป้อนเข้าโมดูล จากเดิมใช้น้ำจากถังน้ำร้อนที่ผลิตน้ำร้อนในตอนกลางวัน เป็นป้อนน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนจากถังน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลแทน โดยการป้อนน้ำเย็นจะเริ่มป้อนตั้งแต่วันที่ 12.00 น. จนกระทั่ง 16.30 น. ดังรูปที่ 10 พบว่า หลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับแล้ว จากเดิมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 136.9 W สามารถผลิตเพิ่มขึ้นได้ถึง 154.2 W และดังรูปที่ 11 โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับจากเดิมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 122.3 W สามารถผลิตเพิ่มขึ้นได้ถึง 136 W

ในทำนองเดียวกัน จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อป้อนน้ำเย็นส่งเข้าโมดูลในตอนกลางวัน ดังรูปที่ 12 สามารถลดอุณหภูมิของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ จากเดิม 55.5°C เหลือ 46.5°C ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นจากเดิม 11% ไปที่ 12.9% และ

ดังรูปที่ 13 สามารถลดอุณหภูมิของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับจากเดิม  $68.7^{\circ}\text{C}$  ลดลงเหลือ  $53.4^{\circ}\text{C}$  ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลสูงขึ้นจากเดิม 9.2% ไปที่ 10.8%



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพและอุณหภูมิของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าโมดูลในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)



รูปที่ 13 ประสิทธิภาพและอุณหภูมิของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าโมดูลในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

## 6. สรุป

ในการศึกษาสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อนและน้ำเย็นจากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน โดยใช้โมดูลชนิดที่มีกระจกปิดทับและไม่มีกระจกปิดทับ อาจสรุปผลได้ดังนี้

1. โมดูลแบบไม่มีกระจกปิดทับสามารถใช้ลดอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำเย็นในตอนกลางวันได้ดีกว่า
2. โมดูลที่มีกระจกปิดทับด้านหน้าโมดูลจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนได้ดี ทำให้สามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่าในตอนกลางวัน แต่ในทางตรงกันข้ามจะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยลงและทำให้อุณหภูมิโมดูลสูง ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลง
3. เมื่อมีการนำน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางวันนั้นมาช่วยระบายความร้อนให้แก่โมดูลในตอนกลางวัน จะช่วยลดอุณหภูมิของโมดูลลงได้ทำให้โมดูลมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการเอื้อเฟื้อการใช้สถานที่และอุปกรณ์ทดสอบ และค่าใช้จ่ายในโครงการวิจัยนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าประจำปี (2015).  
[Online]Retrieved: 3/1/2016. Available from [http://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83&Itemid=200](http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=200)
- [2] ประภาพิทย บุญหล้า (2556) การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัสปริยญาณีพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [3] Chotivisarut, N. and Kiatsiriroat, T. (2009), Cooling load reduction of building by seasonal nocturnal cooling water from thermosyphon heat pipe radiator,

**International Journal of Energy Research**, vol.33,  
issue 12, pp.1089-1098.

[4] บรรณานุกรม วารสาร, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, (2550)  
การศึกษาเชิงการทดลองของการทำน้ำเย็นภาค  
กลางคืนเพื่อลดภาระความเย็นในห้องปรับอากาศ,  
การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและ  
มวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 6, โรงแรมโม  
ริ่า ท่าแพ เชียงใหม่

[5] Bliss, R. W. (1961). Atmospheric Radiation near the  
Surface of the Ground, *Solar Energy*, 5: 103-120.

[6] Solimpek PV/T Catalog. (2016). [Online]  
Retrieved: 25/1/2016. Available from  
[http://www.solimpeks.com/information-manuals-  
utilities](http://www.solimpeks.com/information-manuals-utilities)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายฐกฤตธรรม์ ปัญศิริ
วัน เดือน ปีเกิด	13 พฤศจิกายน 2532
ประวัติการศึกษา	2555 วศ.บ. วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	2555 วิศวกรวางแผนและควบคุมงานก่อสร้าง บริษัท ซีอีเอส จำกัด 2557 วิศวกรวางแผนและควบคุมงานก่อสร้าง บมจ. แลนด์ แอนด์ เฮ้าส์ จำกัด มหาชน
การเสนอผลงานวิจัย	ฐกฤตธรรม์ ปัญศิริ อรรถกร อาสนคำ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็นจากโมดูลไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน. งานประชุมสัมมนาวิชาการเรื่อง “วิกฤติปัญหาดิน น้ำ ป่า เพื่อการพัฒนาพลังงานสู่วิถีชุมชนอย่างยั่งยืน ” ครั้งที่ 9



รับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ight © by Chiang Mai University  
rights reserved