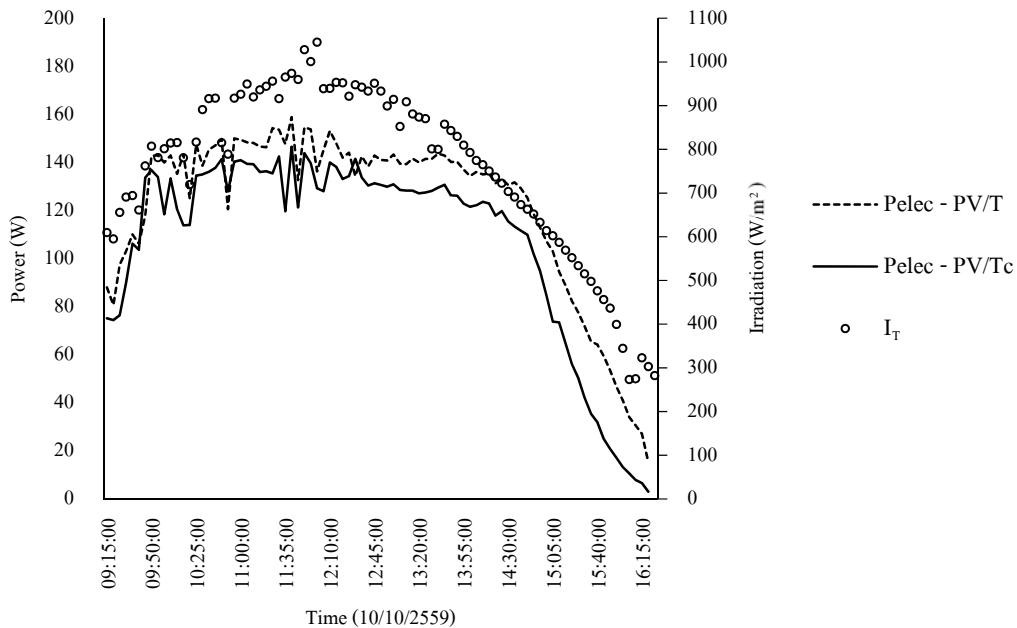


บทที่ 4

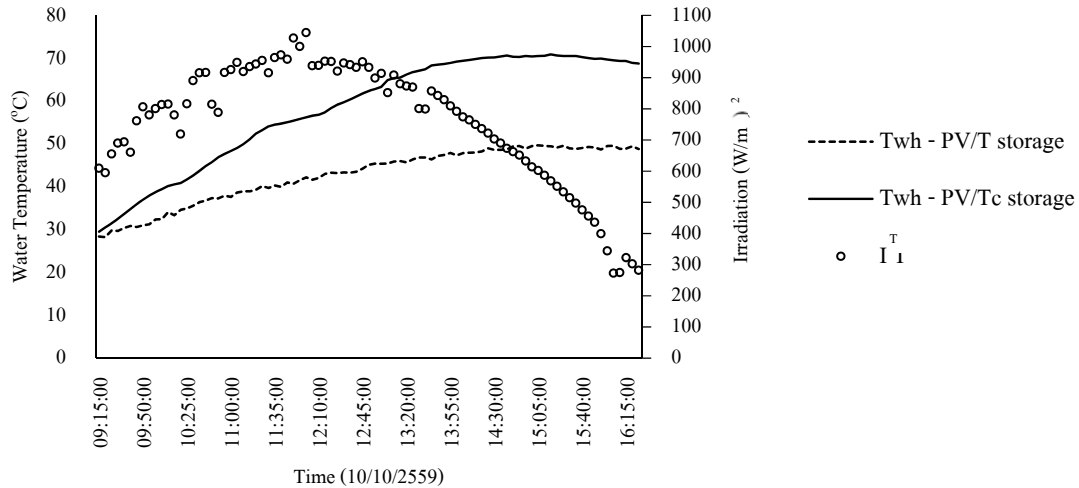
วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การผลิตน้ำร้อน และ ไฟฟ้าตอนกลางวัน

ผลการทดสอบการผลิตกำลังไฟฟ้า เมื่อใช้ภาระทางไฟฟ้าคือหลอดไฟแสงสว่าง ขนาด 200 W และ พบว่า โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ(PV/T) สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาได้ดีกว่า โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ(PV/Tc) ประมาณ 17% โดยแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 158.9 W โดยโมดูลที่มีกระจกปิดทับสามารถทำได้สูงสุดเพียง 146.6 W แต่ในทางตรงกันข้าม การผลิตน้ำร้อนน้ำร้อนในตอนกลางวัน ดังรูปที่ 4.2 พบว่า โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับสามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่า สามารถผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 30.5°C ได้จนถึง 70.5°C แต่โมดูลชนิดที่ไม่มีกระจกปิดทับ สามารถผลิตน้ำร้อนจาก 28.5°C ถึงเพียง 49.5°C หรือเพิ่มขึ้นเพียงประมาณ 21°C เท่านั้น

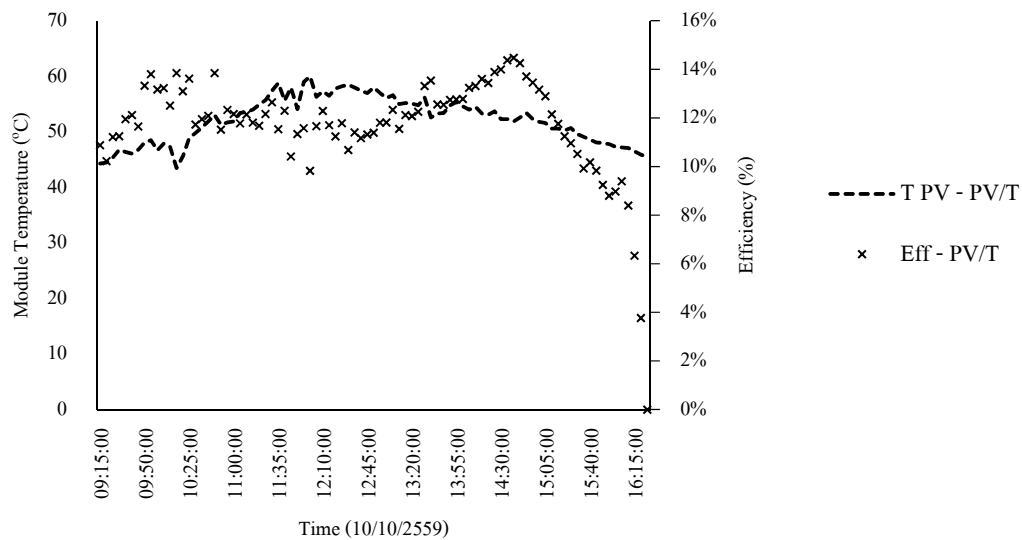


รูปที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแต่ละระบบในช่วงเวลากลางวัน (10/10/2559)

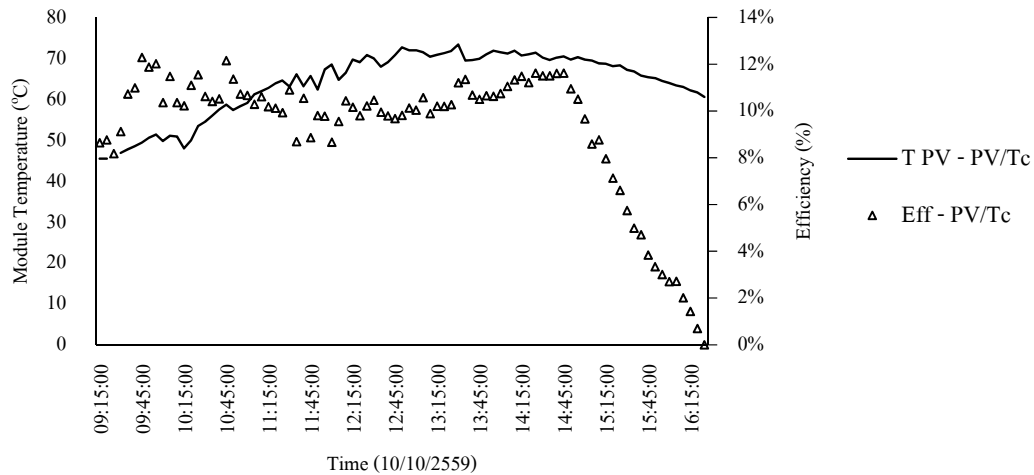


รูปที่ 4.2 อุณหภูมิน้ำร้อนภายในถังน้ำร้อนของแต่ละระบบในช่วงเวลากลางวัน (10/10/2559)

จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่า การมีกระจกปิดทับของโมดูล ไม่เพียงแต่ช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากโมดูลสู่สิ่งแวดล้อม แต่ยังส่งผลให้โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับมีอุณหภูมิสูงกว่าสามารถผลิตน้ำร้อนได้ดีกว่า แบบไม่มีกระจกปิดทับ แต่ในทางตรงกันข้าม การมีกระจกปิดทับหน้าโมดูลจะทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยลง และยังทำให้โมดูลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าและมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโมดูลด้วยดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าเมื่ออุณหภูมิโมดูลสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากโมดูลด้อยลง



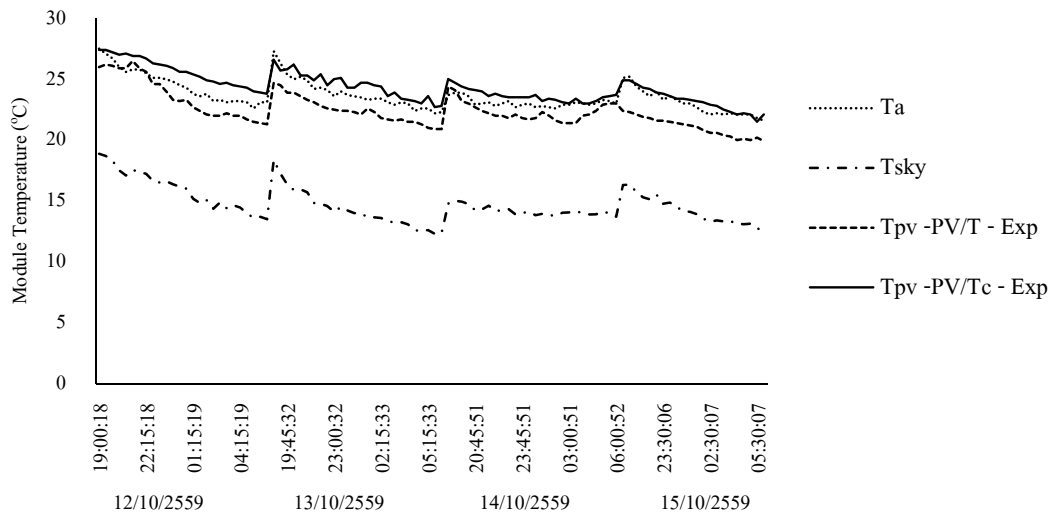
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับตอนกลางวัน (10/10/2559)



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของ โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับตอนกลางวัน (10/10/2559)

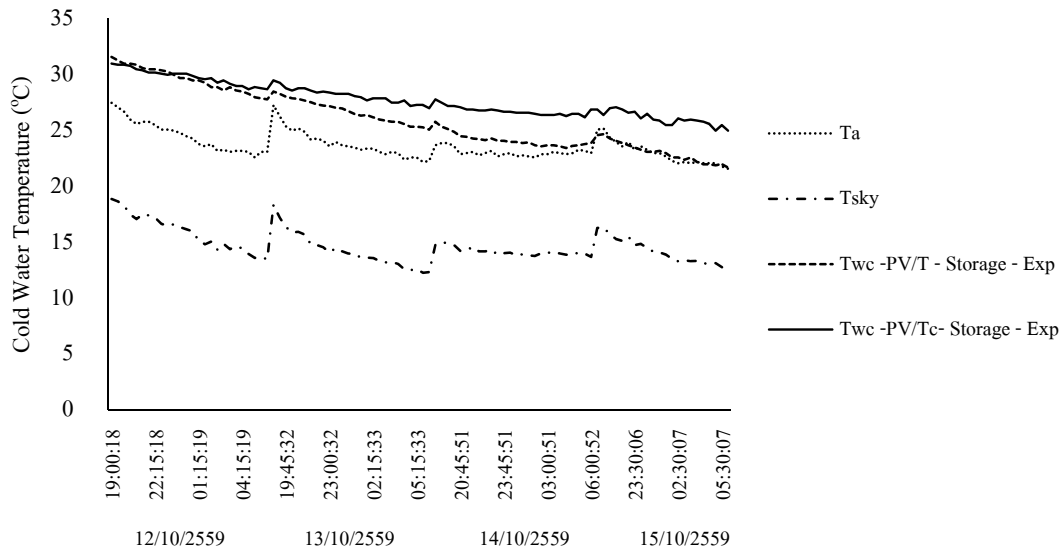
4.2 การผลิตน้ำเย็น ตอนกลางคืน

ผลการทดสอบการผลิตน้ำเย็นตอนกลางคืน(ช่วงวันที่ 12 – 15 ตุลาคม 2559) พบว่าสามารถทำให้อุณหภูมิโมดูลมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะแบบที่ไม่มีกระจกปิดทับ แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า สูงกว่าการพาความร้อนจากอากาศรอบๆ ดังรูปที่ 4.5 และเมื่อนำน้ำจากถังเก็บน้ำเย็นส่งเข้าสู่โมดูลในตอนกลางคืน จะช่วยให้อุณหภูมิของน้ำในแต่ละช่วงเวลาเมื่อออกจากโมดูลมีอุณหภูมิลดลงส่งผลให้อุณหภูมิน้ำในถังสะสมลดลงไปเรื่อยๆ ดังรูป 4.6



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิโมดูล ตอนกลางคืนระหว่าง โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนและ โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน ระหว่างคืนวันที่ 12 – 15 ตุลาคม 2559

จากรูปที่ 4.6 พบว่า การผลิตน้ำเย็นของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สามารถลดอุณหภูมิน้ำได้เฉลี่ย 2.35°C ต่อคืน และเมื่อใช้ระยะเวลา 4 วันติดต่อกัน สามารถลดอุณหภูมิน้ำในถังขนาด 60 ลิตรได้ดีกว่า จากอุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นที่ประมาณ 31.5°C ลดเหลือ 22.1°C แต่แบบที่มีกระจกปิดทับสามารถลดอุณหภูมิน้ำได้เหลือเพียง 25.5°C หรือ สามารถลดอุณหภูมิของน้ำในอัตราเฉลี่ยประมาณ 1.50°C ต่อคืน แสดงให้เห็นว่าโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สามารถใช้ลดอุณหภูมิของน้ำเย็นในตอนกลางคืนได้ดีกว่าโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน ระหว่างโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน และ โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน ระหว่างคืนวันที่ 12 – 15 ตุลาคม 2559

4.3 การทำนายพฤติกรรมของระบบ

จากการทำงานของระบบที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนได้ในเวลาเดียวกัน สำหรับตอนกลางวัน พบว่าช่วงเวลา 12.00 น. – 16.30 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิโมดูลมีค่าสูงสุด ทำให้ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยลง จึงได้ทำการทดสอบใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนมาระบายความร้อนให้แก่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าว โดยเปลี่ยนน้ำป้อนเข้าโมดูลจากเดิมใช้น้ำจากถังน้ำร้อนที่ใช้ผลิตน้ำร้อนในตอนกลางวัน เป็นป้อนน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืน จากถังน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลแทน ดังนั้นการป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลนั้น จะเริ่มจากการทำนายพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนที่ผลิตได้ในตอนกลางวัน และน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืน เพื่อนำสมการดังกล่าวมาใช้ทำนายช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิโมดูลมีค่าสูงสุด ให้เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับป้อนน้ำเย็น

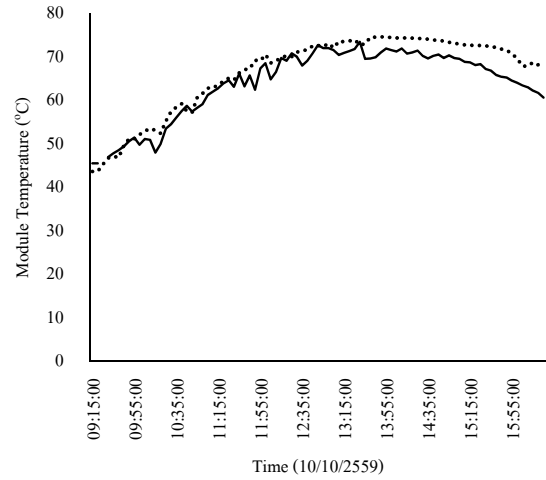
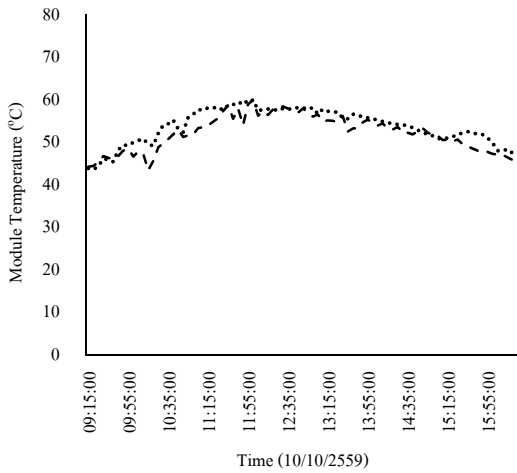
จากถังเก็บน้ำเย็นที่ผลิตได้ในเวลากลางคืน และใช้คำนวณอัตราการไหล กับอุณหภูมิน้ำเย็นเริ่มต้นจากถังเก็บน้ำเย็นที่เหมาะสมแก่การระบายความร้อนแก่โมดูลในช่วงเวลาดังกล่าวได้

4.3.1 การทำนายอุณหภูมิของโมดูลและอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนในเวลากลางวัน

การทำนายอุณหภูมิของโมดูลและอุณหภูมิของน้ำร้อนตอนกลางวันนั้น จะเริ่มจากการหาค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 มาแทนลงในสมการคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมของแต่ละระบบในตอนกลางวัน โดยการกำหนดตัวแปรจะอิงตามปริมาณจริงที่ใช้ในการทดลองจากหัวข้อ 4.1 ค่า $(\tau\alpha)_c$ และ U_L อ้างอิงข้อมูลจากทางบริษัทผู้ผลิต ส่วนค่า $(UA)_{PV}$ ของแต่ละระบบสามารถหาได้จากการคำนวณ ดังแสดงในภาคผนวก ก. ทั้งนี้เมื่อนำผลการคำนวณเทียบกับผลการทดลองของอุณหภูมิของ โมดูลและอุณหภูมิของน้ำร้อนตอนกลางวันของแต่ละระบบ แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ จะเห็นว่า อุณหภูมิของโมดูลและอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ได้จากการทดสอบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของโมดูลและอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทำนายอุณหภูมิของโมดูลและอุณหภูมิของน้ำร้อนตอนกลางวัน

ตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย	PV/T	PV/Tc
M_w , มวลของน้ำในถังน้ำร้อน (L/H)	60	
m_w , อัตราการไหลของน้ำร้อน (kg)	65	
C_{pw} ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg-K)	4.180	
A_{PV} , พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล (m ²)	1.33	1.43
$(\tau\alpha)_c$, ค่าการสะท้อนของแสง และค่าการดูดกลืนแสง	0.478	0.493
U_L , สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมผิวคู่อากาศ (W/m ² K)	8.43	4.086
$(UA)_{PV}$, สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของโมดูล (W/K)	18.54	38.96
T_{whi}^t , อุณหภูมิของน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	28.4	



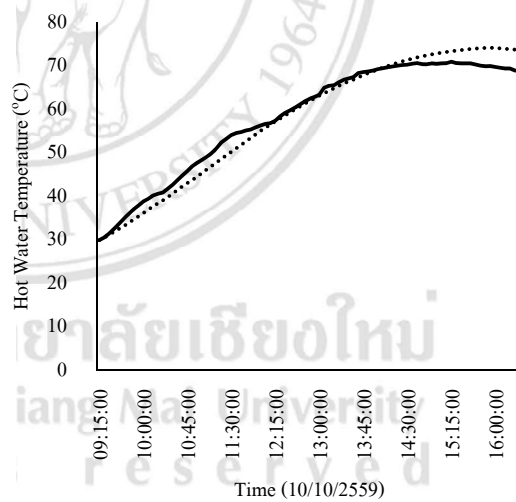
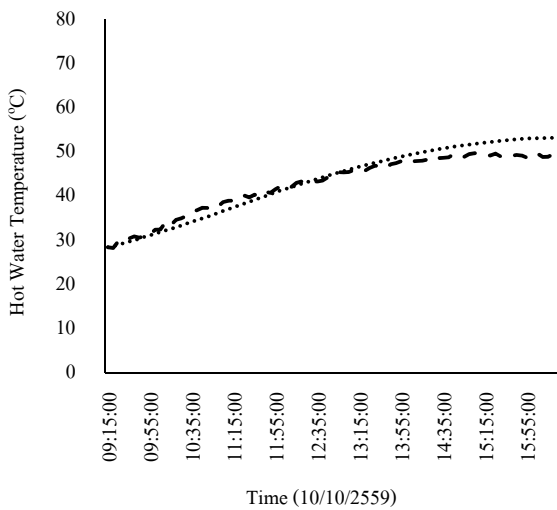
--- Tpv - PV/T - Exp Tpv - PV/T - SIM ——— Tpv - PV/Tc - Exp Tpv - PV/Tc - SIM

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน

(ก) ชุดทดสอบสำหรับโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน และ (ข) โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน



--- Twh - PV/T - Exp Twh - PV/T - SIM

——— Twhi - Exp Twhi - SIM

(ก)

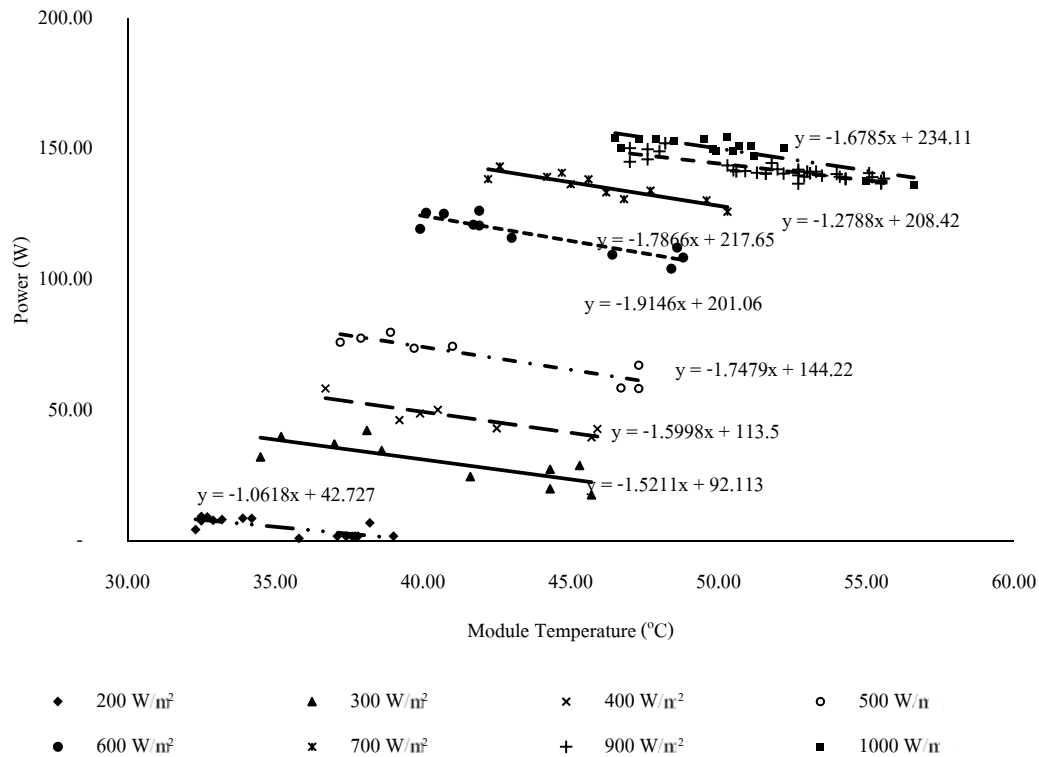
(ข)

รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน

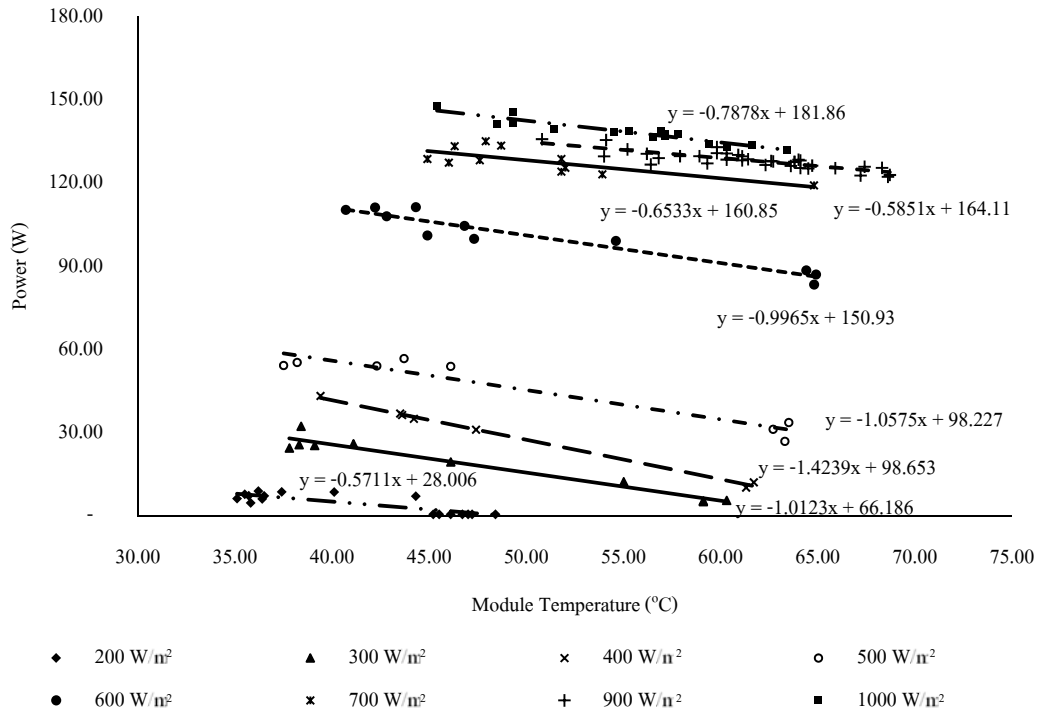
(ก) ชุดทดสอบสำหรับ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน และ (ข) โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน

4.3.2 การทำนายพลังงานไฟฟ้า ในเวลากลางวัน

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้น ได้ใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบตลอดทั้งวัน ของหลายๆ วันที่ทำการทดสอบมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการการทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับอุณหภูมิของโมดูล ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างๆ ของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับและ โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับตามลำดับ ดังนี้



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และอุณหภูมิโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างๆ ในวันที่ทำการทดสอบ



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และอุณหภูมิโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนที่
ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างๆในวันที่ทำการทดสอบ

จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถนำมาสร้างสมการในรูปแบบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ใน
รูปแบบของสมการที่ 2.52 ดังนี้

$$P_e = a + bI_T + cI_T^2 + dT_m + eI_T T_m + fI_T^2 T_m$$

โดยโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน ค่าคงที่ในสมการดังกล่าวจะมีค่าดังนี้

$$a = -0.984, b = 0.214, c = 2.07 \times 10^{-5}, d = -1.83, e = 4.7 \times 10^{-3} \text{ และ } f = -4.61 \times 10^{-6}$$

ดังนั้นจะได้

$$P_e = -0.984 + 0.214I_T + (2.07 \times 10^{-5})I_T^2 - 1.83T_m + (4.7 \times 10^{-3})I_T T_m - (4.61 \times 10^{-6})I_T^2 T_m$$

(4.1)

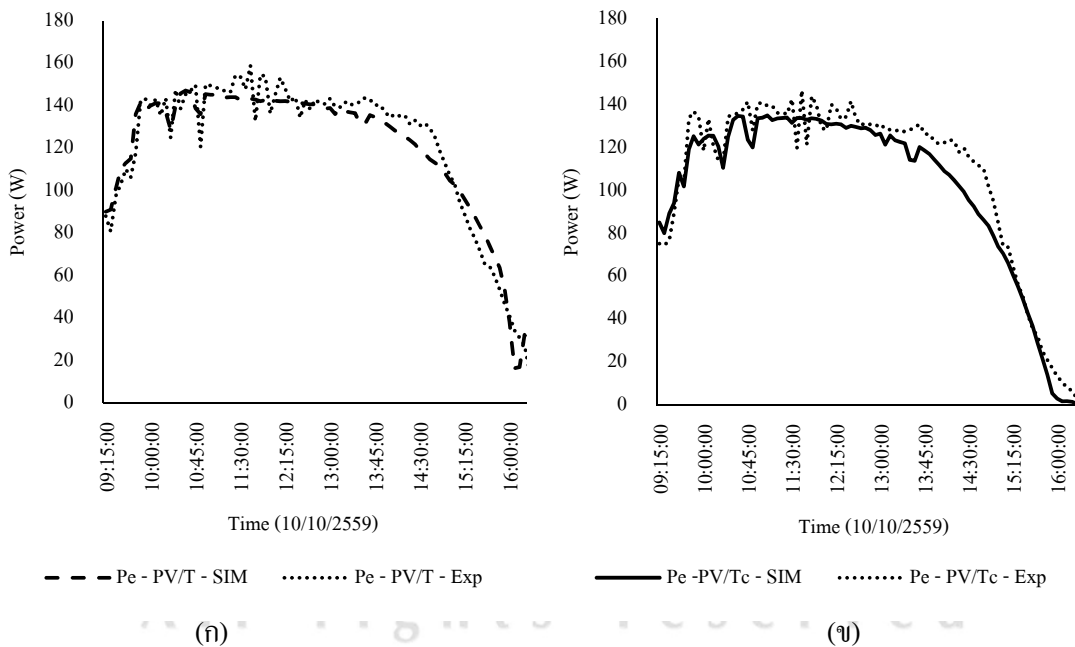
และโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน ค่าคงที่ในสมการดังกล่าวจะมีค่าดังนี้

$$a = 72.96, b = 0.327, c = -1 \times 10^{-4}, d = -4.32, e = 9.7 \times 10^{-3} \text{ และ } f = -6.17 \times 10^{-6}$$

ดังนั้นจะได้

$$P_e = 72.96 + 0.327I_T - (1 \times 10^{-4})I_T^2 - 4.32T_m + (9.7 \times 10^{-3})I_T T_m - (6.17 \times 10^{-6})I_T^2 T_m \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อกำหนดอุณหภูมิโมดูล และความเข้มรังสีอาทิตย์ จะสามารถประเมินกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน และชนิดมีกระจกปิดทับบนได้ดังภาพที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการมีความสอดคล้องเป็นอย่างดี



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน

(ก) ชุดทดสอบระบบโมดูล ชนิดไม่มีกระจกปิดทับ และ(ข)ระบบ โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ

4.3.3 การทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นในถังน้ำเย็นตอนกลางคืน

การทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นในถังน้ำเย็นตอนกลางคืนนั้น จะเริ่มจากการหาค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.2 ข้างต้น มาแทนลงในสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งจะได้ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำนายดังต่อไปนี้

4.3.3.1 ค่าสภาพการเปล่งรังสี, (ε) สำหรับโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ

จากข้อมูลที่ได้ในแต่ละคืน นำมาใช้คำนวณหาค่าสภาพการเปล่งรังสีของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับได้จากสมการที่ 2.20 โดยพิจารณา ณ เวลาที่ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของโมดูล ($T_a = T_{PVc}$) ดังผลการคำนวณในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณค่าสภาพการเปล่งรังสีสำหรับ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ระหว่างวันที่ 12 ตุลาคม ถึง 15 ตุลาคม 2559

ε	12/10/2016 (20:15 น.)	13/10/2016 (05:55 น.)	14/10/2016 (19:15 น.)	15/10/2016 (21:00 น.)	ε เฉลี่ย
PV/T	0.923	0.900	0.925	0.923	0.918

4.3.3.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของโมดูลกับอากาศหน้าโมดูล, ($h_{PV,a}$) สำหรับโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ

เมื่อทราบค่าสภาพการเปล่งรังสีของโมดูลและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของโมดูลกับอากาศหน้าโมดูล ในตอนกลางคืนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19 โดยผลการคำนวณเป็นไปดังตารางที่ 4.3 นี้

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของโมดูลกับอากาศหน้าโมดูล ชนิดไม่มีกระจกปิดทับในตอนกลางคืน ระหว่างวันที่ 12 ตุลาคม ถึง 15 ตุลาคม 2559

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

4.3.3.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่าน โมดูลของโมดูล ($h_{PV,w}$) ชนิดมีและไม่มีกระจกปิดทับ ในตอนกลางคืน

จากสมการที่ 2.21 และ 2.31 เมื่อทราบค่าอุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและออกโมดูล จากการทดลอง ก็จะสามารถใช้หาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่าง โมดูลกับน้ำที่ผ่าน โมดูลของโมดูลชนิดมีและไม่มีกระจกปิดทับ ในตอนกลางคืนได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่าน โมดูลชนิดมีและไม่มี กระจกปิดทับ ในตอนกลางคืน จากการทดลองระหว่างวันที่ 12-15 ตุลาคม 2559

ชนิดโมดูล	วัน/เดือน/ปี				$h_{PV,w}$ เฉลี่ย (W/K)
	12/10/2016	13/10/2016	14/10/2016	15/10/2016	
PV/T	3.37	5.23	5.56	6.62	5.20
PV/Tc	2.80	3.26	2.10	3.80	2.99

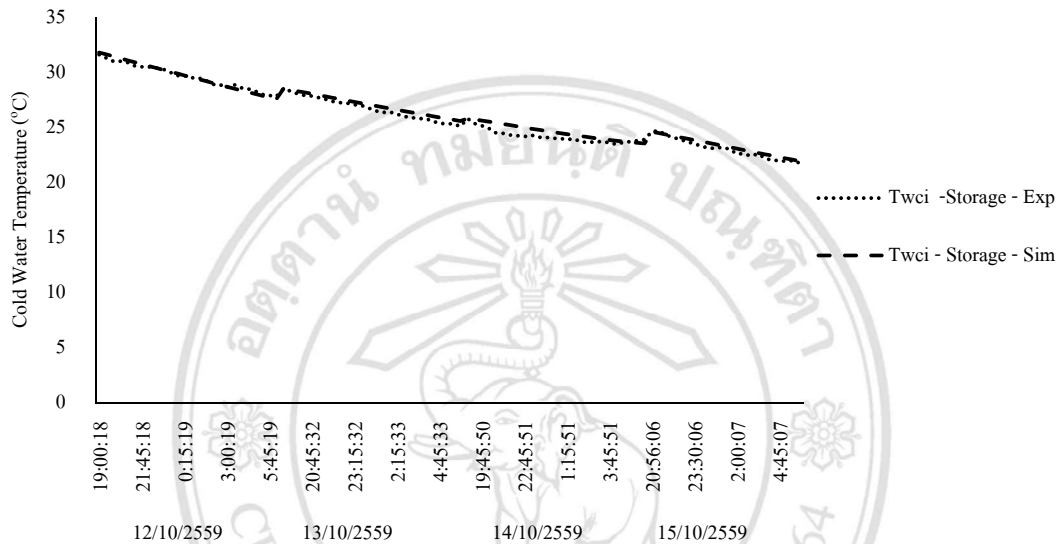
4.3.3.4 ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อม (R_{total}) ของโมดูล ชนิดมีกระจกปิดทับ

สำหรับโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน การถ่ายเทความร้อนรวมเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิกระจกปิดทับหน้าโมดูลและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ซึ่งจะใช้ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อม (R_{total}) มาพิจารณา ซึ่งจากผลการทดลองจะได้ค่า R_{total} เป็นไปดังตารางที่ 4.4 นี้

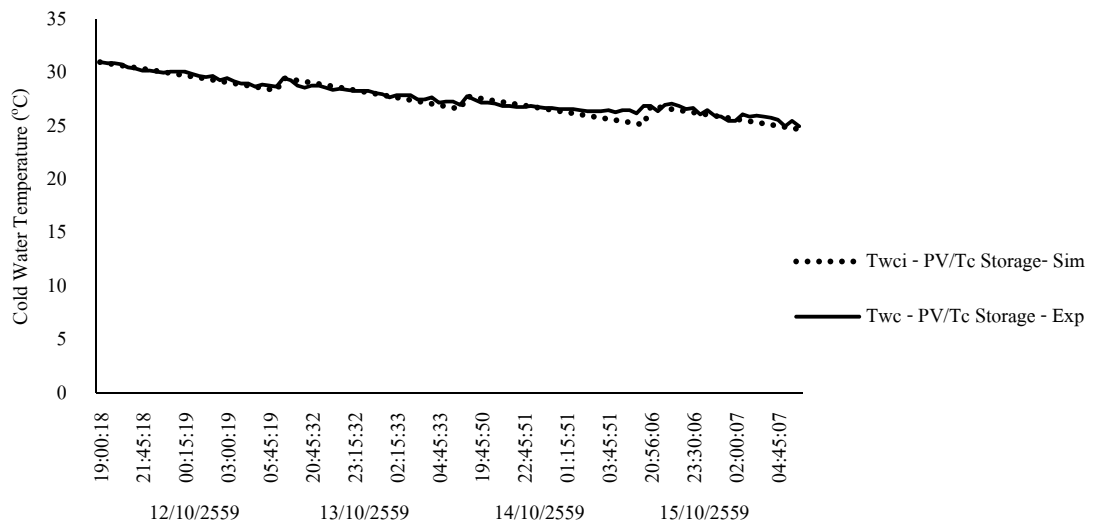
ตารางที่ 4.5 ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อม, (R_{total}) สำหรับ โมดูลชนิดมี กระจกปิดทับ จากการทดลองระหว่างวันที่ 12 ตุลาคม ถึง 15 ตุลาคม 2559

R total (W/K)	วัน/เดือน/ปี				R total (W/K) เฉลี่ย
	12/10/2016	12/10/2016	12/10/2016	12/10/2016	
PV/Tc	0.45	0.46	0.44	0.47	0.46

จากการคำนวณค่าคงที่ข้างต้น เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำในถังเริ่มต้นเท่ากับ 31.9°C เหมือนกับการทดลองแล้ว พบว่าผลการคำนวณเทียบกับการทดลองของอุณหภูมิโมดูลและอุณหภูมิน้ำเย็นตอนกลางคืนของระบบชนิดไม่มีและมีการจกปิดทับ แสดงดัง รูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ จะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็นที่ได้จากการทดสอบ ตลอด 4 คืน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำเย็นในถังน้ำเย็นที่ได้จากการคำนวณของแต่ละระบบมีค่าที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดี



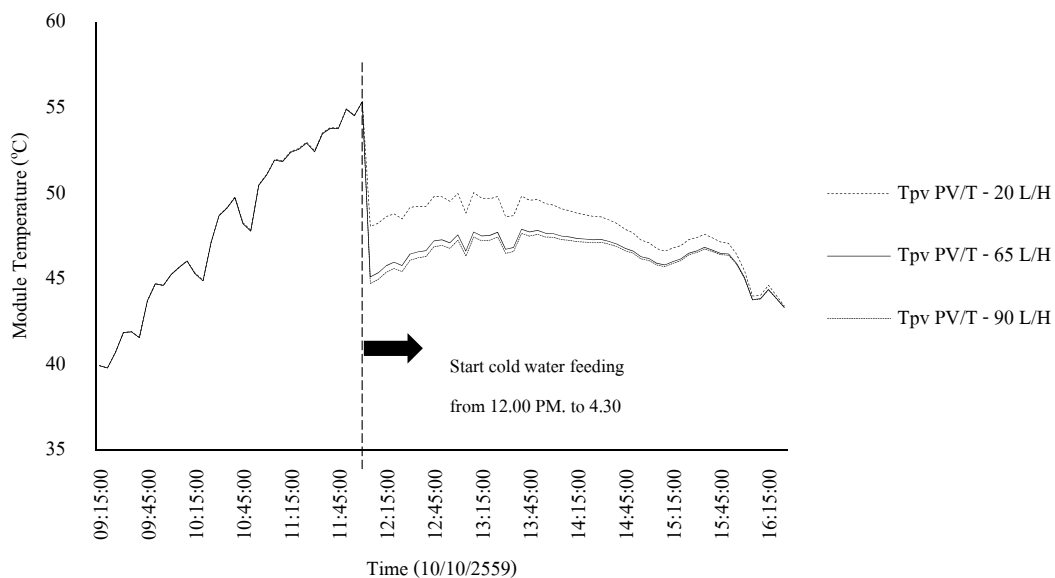
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางคืน ของระบบชนิดไม่มีกระจกปิดทับ ระหว่างคืนวันที่ 12 – 15 ตุลาคม 2559



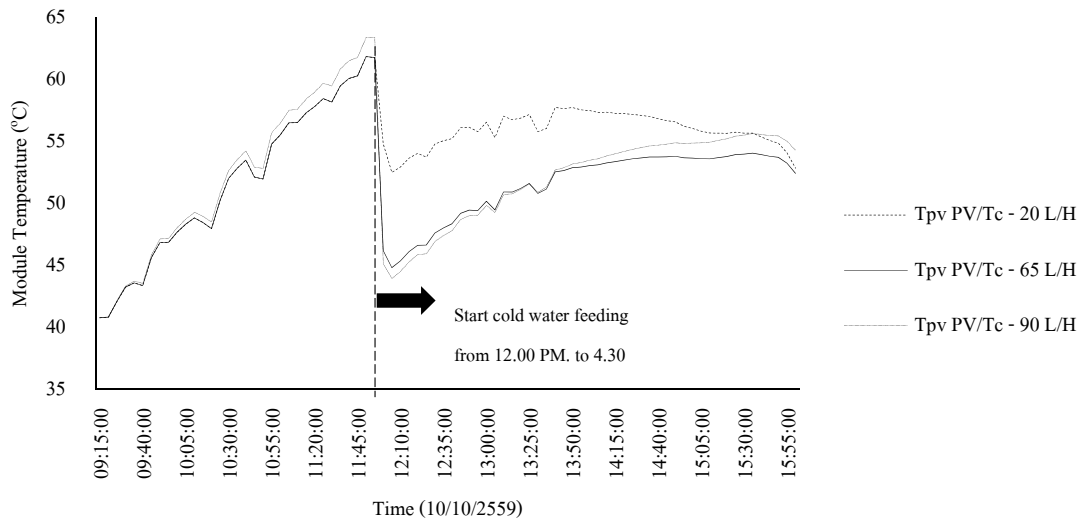
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางคืน ของระบบชนิดมีกระจกปิดทับ ระหว่างคืนวันที่ 12 – 15 ตุลาคม 2559

4.4 การประยุกต์ใช้น้ำเย็น ในตอนกลางวัน

จากการทำงานของระบบที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าและน้ำร้อนได้ในเวลาเดียว สำหรับตอนกลางวัน จากการทดลองและการทำนาย พบว่าช่วงเวลา 12.00 น. – 16.30 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิโมดูลมีค่าสูงสุด ทำให้ระบบสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อยลง จึงได้ทำการทำนายโดยเปลี่ยนน้ำป้อนเข้าโมดูล จากเดิมใช้น้ำจากถังน้ำร้อนที่โซ่ผลิตน้ำร้อนในตอนกลางวัน เป็นป้อนน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนจากถังน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลแทน จากการคำนวณเปลี่ยนมาใช้ น้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนมาใช้ระบายความร้อนให้แก่โมดูลในช่วงเวลาดังกล่าว ที่อัตราการไหลต่างๆ ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าที่อัตราการไหลที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 65 – 90 ลิตรต่อชั่วโมง แต่ทั้งนี้ปริมาณน้ำในถังนั้นมีเพียง 60 ลิตร บวกกับผลการคำนวณพบว่า อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ใช้ระบายความร้อนให้แก่โมดูลนี้ที่อัตราการไหล 65 ลิตรต่อชั่วโมง และ 90 ลิตรต่อชั่วโมงนั้น ช่วยลดอุณหภูมิโมดูลได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราการไหลที่ 65 ลิตรต่อชั่วโมงในการระบายความร้อนแก่โมดูล ทั้งนี้ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเย็นที่ป้อนนั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืนของตัวโมดูลแต่ละชนิดเอง โดยโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ จะเริ่มต้นที่ 25.5°C และชนิดไม่มีกระจกปิดทับ จะเริ่มต้นที่ 22.1°C

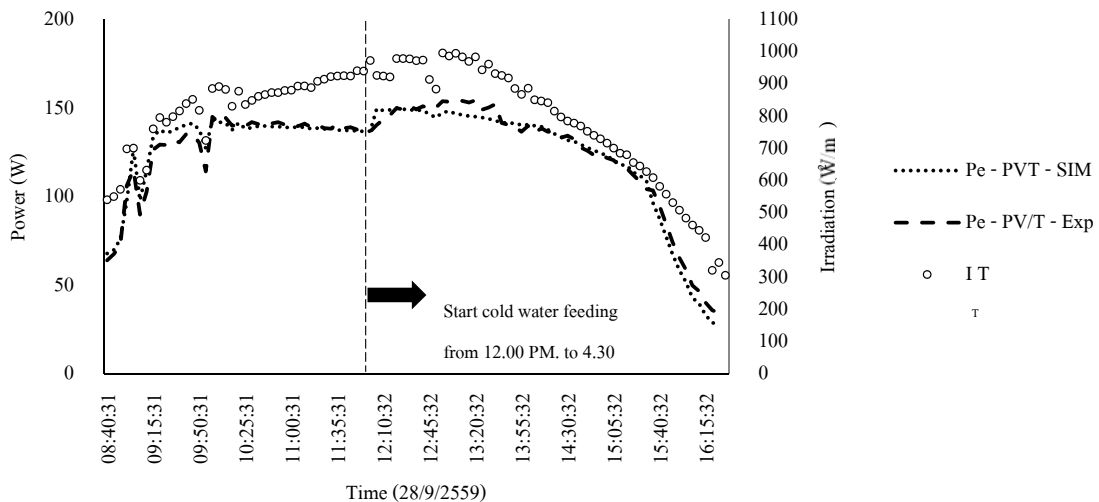


รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลของระบบชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนหลังป้อนน้ำเย็นที่อัตราการไหลต่างๆจากการทำนาย

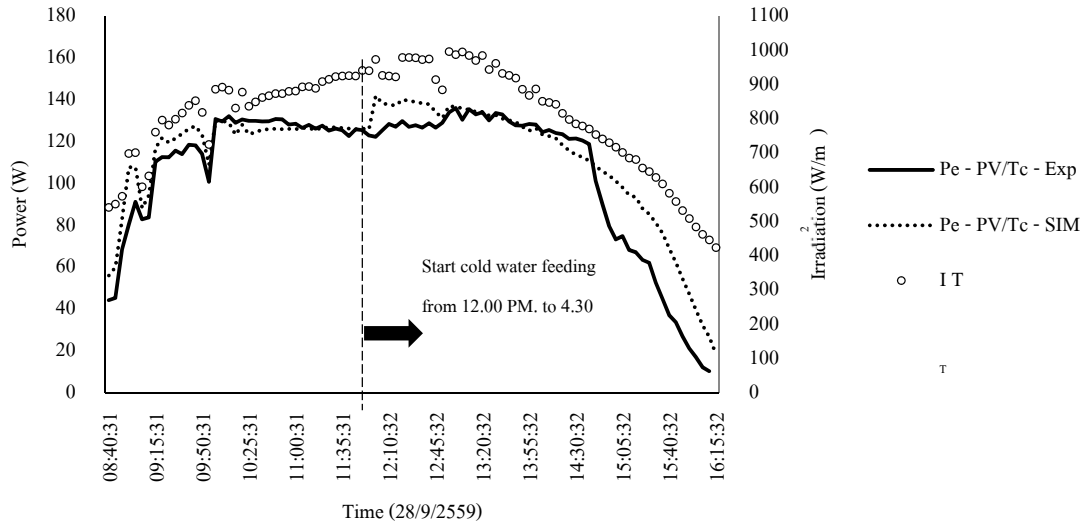


รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลของระบบชนิดมีกระจกปิดทับบนหลังป้อนน้ำเย็นที่อัตราการไหลต่างๆจากการทำนาย

จากการทดลองป้อนน้ำเย็น ได้เริ่มป้อนตั้งแต่ เวลา 12.00 น. จนกระทั่ง 16.30 น.ตามผลการทำนาย ดังรูปที่ 4.16 พบว่า หลังจากป้อนน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 22.1°C เข้าสู่โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับแล้ว จากเดิมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 136.9 W สามารถผลิตเพิ่มขึ้นได้ถึง 154.2 W และดังรูปที่ 4.17 โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับหลังจากป้อนน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 25.5°C จากเดิมสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 122.3 W สามารถผลิตเพิ่มขึ้นได้ถึง 136 W

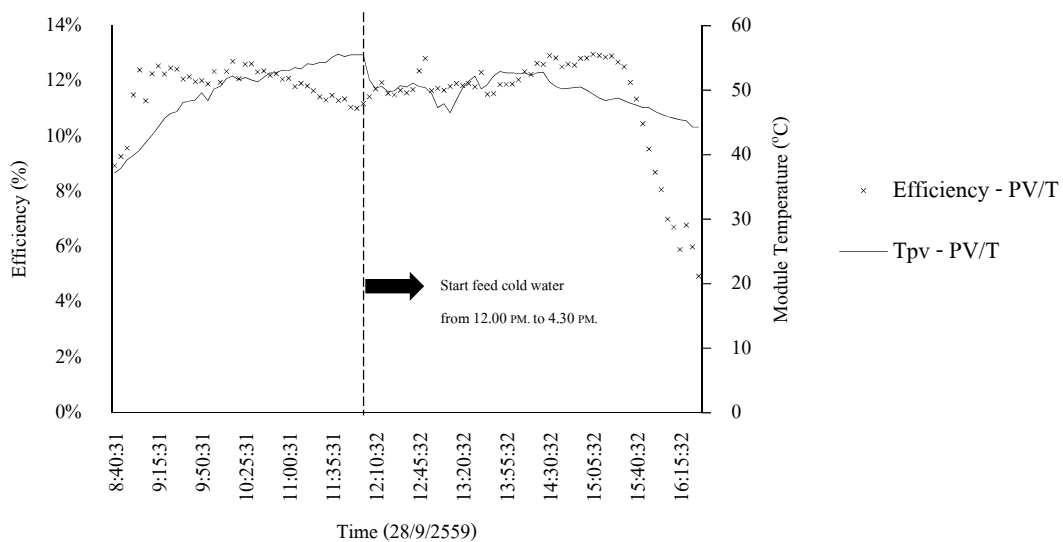


รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

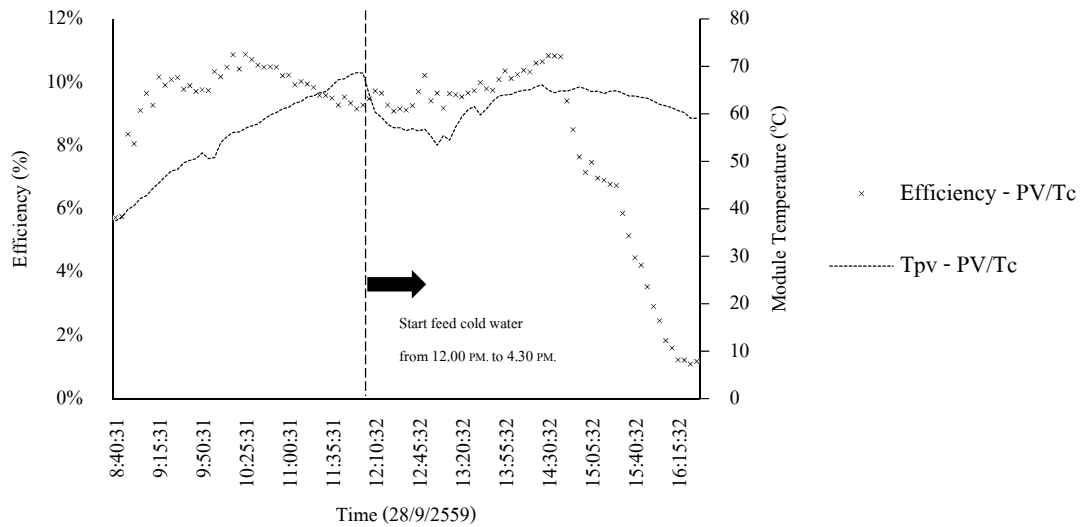


รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

ในทำนองเดียวกัน จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อป้อนน้ำเย็นส่งเข้าโมดูลในตอนกลางวัน ดังรูปที่ 4.18 สามารถลดอุณหภูมิของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับจากเดิม 55.5°C เหลือ 46.5°C ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นจากเดิม 11% ไปที่ 12.9% และดังรูปที่ 4.19 สามารถลดอุณหภูมิของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับจากเดิม 68.7°C ลดลงเหลือ 53.4°C ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าของโมดูลสูงขึ้นจากเดิม 9.2% ไปที่ 10.8%



รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน ทั้งก่อนและหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าโมดูล ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

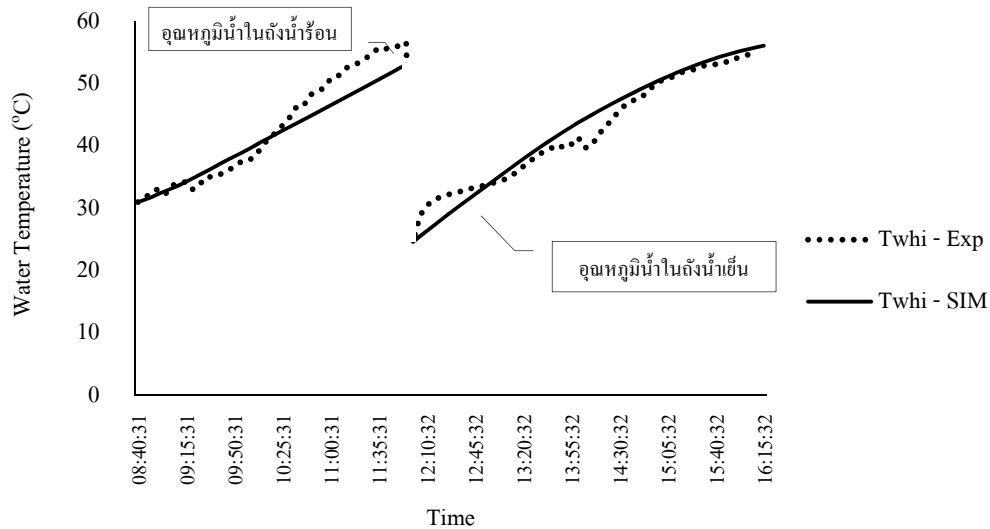


รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน ทั้งก่อน และหลังจากป้อนน้ำเย็นเข้าโมดูล ในช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน (28/9/2559)

การป้อนน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลในตอนกลางวันนั้น นอกจากจะช่วยให้โมดูลมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นแล้ว ผลพลอยได้ที่ตามมาคือ น้ำเย็นที่ใช้ระบายนั้น เมื่อใช้ระบายความร้อนแก่โมดูลจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนเพิ่มขึ้นอีกถึงหนึ่ง ดังรูปที่ 4.20 ระบบโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ สามารถผลิตน้ำร้อนในช่วงบ่ายได้ จาก 22.5°C ไปที่ 40°C และดังรูปที่ 4.21 ระบบ โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ สามารถผลิตน้ำร้อนในช่วงบ่ายได้ จาก 25.6°C ไปที่ 56°C



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนและน้ำเย็น ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน ชุดทดสอบโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน วันที่ 28/9/2559



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนและน้ำเย็น ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน ชุดทดสอบโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน

4.5 ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็นของโมดูล

จากการผลิตน้ำเย็นตอนกลางวัน พบว่าโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนสามารถใช้ลดอุณหภูมิของน้ำเย็นในตอนกลางวันได้ดีกว่าโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ ดังตารางที่ 4.5 ทำให้โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนมีสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นดีกว่า เนื่องจากการมีกระจกปิดทับด้านหน้าโมดูล จะทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อน ทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อมไม่มากเท่าที่ควร แต่ในทางตรงกันข้าม การมีกระจกปิดทับของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนไม่เพียงแต่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนแต่ยังช่วยลดซับพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้ดี ดังตารางที่ 4.6 ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อนสูงกว่า แต่จะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าด้อยกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตพลังงานกำลังไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของโมดูลด้วย ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิของโมดูลสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพและการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้อยลง แต่เมื่อนำน้ำเย็นส่งเข้าโมดูลเพื่อลดอุณหภูมิโมดูลแล้ว จะช่วยให้มีมีประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของโมดูลสูงขึ้นตาม

ตารางที่ 4.6 สมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นของโมดูลสำหรับระบบชนิดมีกระจกปิดทับบน และชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน ระหว่างวันที่ 12 ตุลาคม ถึง 15 ตุลาคม 2559

ชนิดโมดูล	วัน/เดือน/ปี				COP เฉลี่ย
	12/10/2016	13/10/2016	14/10/2016	15/10/2016	
PV/T ไม่มีกระจกปิดทับบน	1.29	1.38	1.10	1.08	1.21
PV/T มีกระจกปิดทับบน	1.08	1.17	1.08	1.05	1.09

ตารางที่ 4.7 สมรรถนะในการผลิตกำลังไฟฟ้า และ น้ำร้อน ของโมดูลสำหรับระบบชนิดมีกระจกปิดทับ บน และ ชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน ระหว่างวันที่ 28 กันยายน 2559

ชนิดโมดูล	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า		ประสิทธิภาพ การผลิตน้ำร้อน
	ก่อนป้อนน้ำเย็น	หลังป้อนน้ำเย็น	
PV/T ไม่มีกระจกปิดทับบน	11.0%	12.9%	17.1%
PV/T มีกระจกปิดทับบน	9.2%	10.8%	41.9%

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพของการผลิตกำลังไฟฟ้าและน้ำร้อนโดยรวมของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนนั้นสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การพิจารณาตัดสินใจเลือกใช้ระบบนี้ ยังต้องอาศัยการวิเคราะห์หาค่าคุ้มค่าในการลงทุนเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.6 การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

จากผลการทำนายพลังงานกำลังไฟฟ้าและน้ำร้อนในหัวข้อข้างต้น พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการทดลอง ดังนั้นสามารถนำสมการดังกล่าวมาใช้ทำนายผลตลอดทั้งปีได้ ทั้งนี้จะเริ่มจากการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอดทั้งเดือน ของกรณีที่มีและไม่มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นในการระบายความร้อนแก่โมดูลตอนกลางวัน โดยมีรายละเอียดของแต่ละกรณีดังต่อไปนี้

- กรณีที่ 1 ไม่มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็น โมดูลทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 09.00-16.00 น. น้ำร้อนที่ผลิตได้ในแต่ละวันจะกำหนดว่านำไปใช้งานจนหมดสิ้นในแต่ละวัน
- กรณีที่ 2 มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็น โมดูลจะทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นตอนกลางคืน โดยใช้เวลา 4 วันติดต่อกันตามผลการทดลอง ในแต่ละวันผลิตน้ำเย็นในช่วงเวลา 19.00-7.00 น. ส่วนในตอนกลางวัน โมดูลทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 09.00-16.00 น. โดยจะมีการป้อนน้ำเย็นจากถังน้ำเย็นในช่วงเวลา 12.00-16.00 น. มาระบายความร้อนแก่โมดูล ทำให้ได้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นน้ำร้อนในถังน้ำเย็น ดังนั้นจึงได้น้ำร้อนเพิ่มอีกหนึ่งถัง โดยการระบายความร้อนนี้จะระบายความร้อนทุกวันที่ 5 หลังจากผลิตน้ำเย็นได้ในคืนที่ 4 โดยน้ำร้อนที่ผลิตได้ทั้งน้ำร้อนในถังน้ำร้อนและถังน้ำเย็น กำหนดให้มีการนำไปใช้งานจนหมดในแต่ละวัน แล้วเติมน้ำเข้าถังน้ำร้อนและถังน้ำเย็นเข้าไปใหม่ เพื่อเริ่มต้นผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นใหม่ในวันถัดไป

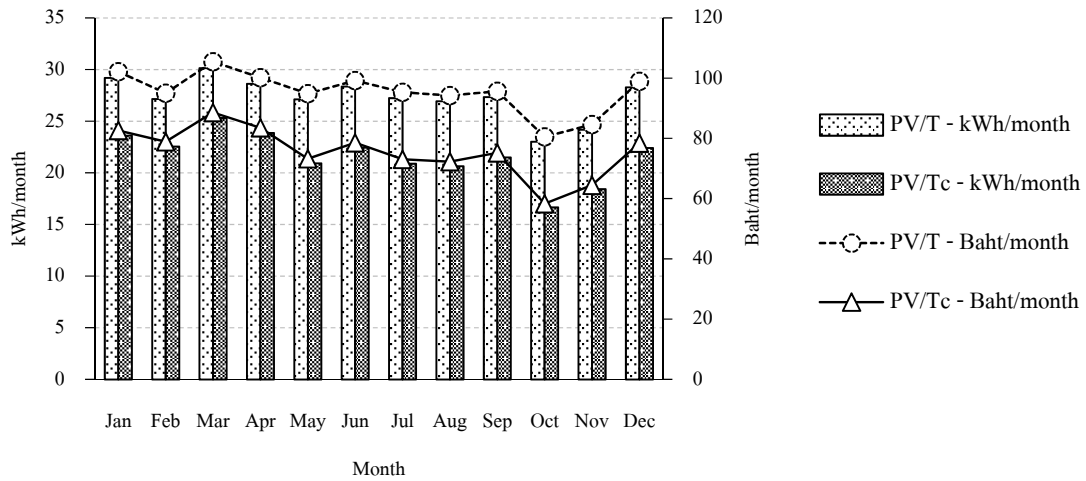
ในที่นี้ได้ยกตัวอย่างพลังงานไฟฟ้าที่หยัดได้ของแต่ละกรณีจากการทำนายโดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศของเดือนมีนาคม มาแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า กรณีที่ 2 ที่มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นจะช่วยทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าทั้งจากการผลิตไฟฟ้าและผลิตน้ำร้อนโดยโมดูลเอง เพิ่มขึ้นจากกรณีแรก ดังนั้นในการทำนายตลอดทั้งปี จะนำกรณีดังกล่าวไปใช้กำหนดการลักษณะการทำงานของระบบต่อไป

ตารางที่ 4.8 พลังงานไฟฟ้าที่หยัดได้ของแต่ละกรณี จากการทำนายโดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศของเดือนมีนาคม

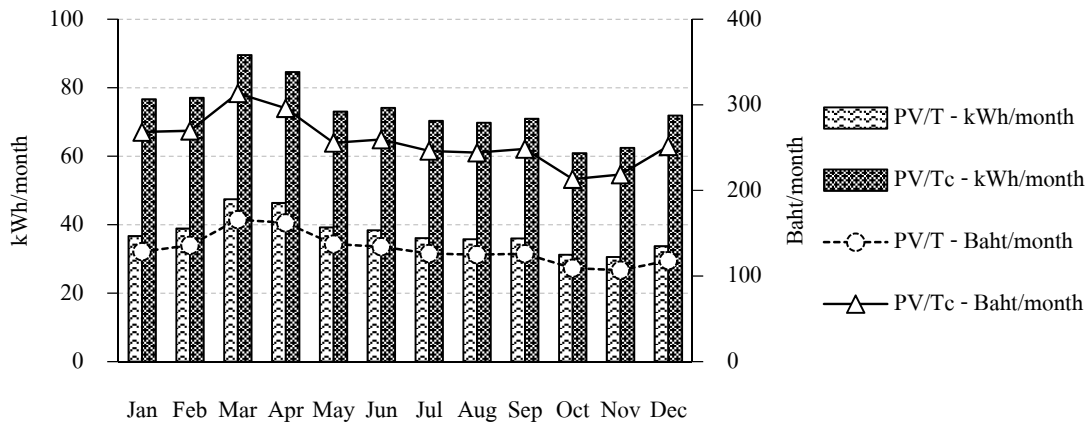
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	ชนิดโมดูล	กรณีที่ 1 ไม่มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็น	กรณีที่ 2 มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็น
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month)	PV/T	29.2	30.1
	PV/Tc	24.4	25.3
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการผลิตน้ำร้อน (kWh/month)	PV/T	44.2	47.4
	PV/Tc	86.7	89.5

ทั้งนี้เมื่อนำ ลักษณะการทำงานของระบบของจากกรณีที่ 2 มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นมาทำน่ายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดทั้งปี ดังรูปที่ 4.22 พบว่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดปี เมื่อใช้ร่วมกับการใช้น้ำเย็นระบายความร้อนแก้มอดูลในตอนกลางวันแล้ว สำหรับระบบโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนจากเดิมผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 325 kWh/yr ไปที่ 329 kWh/yr และ ชนิดมีกระจกปิดทับบน จากเดิมผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 255 kWh/yr ไปที่ 259.2 kWh/yr จากผลดังกล่าว ทำให้ประหยัดราคาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้น้อยกว่า เมื่อกำหนดให้อัตราค่าไฟ เท่ากับ 4 บาทต่อหน่วยโดยประหยัดค่าไฟฟ้าได้เพียง 1,036 บาทต่อปีเท่านั้น ต่างจากอีกชนิดที่ประหยัดได้ถึง 1,316 บาทต่อปี

แต่ในทางกลับกัน ดังรูปที่ 4.23 จากเดิมที่ทั้งสองระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้อยู่แล้ว แต่จากผลพลอยได้ เมื่อนำน้ำเย็นมาระบายความร้อน ทำให้ได้ปริมาณน้ำร้อนเพิ่มมาอีกถึง ทำให้ระบบโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการผลิตน้ำร้อนได้สูงกว่า โดยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้น จากเดิม 852.6 kWh/yr ไปที่ 881.2 kWh/yr ทำให้สามารถประหยัดราคาค่าไฟฟ้าได้ เท่ากับ 3,524.8 บาทต่อปี ซึ่งสูงกว่าอีกชนิดเกินครึ่ง ที่จากเดิมโดยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เพียง 416.7 kWh/yr ไปที่ 450.3 kWh/yr หรือประหยัดราคาไฟฟ้าได้เพียง 1,801.2 บาทต่อปี เท่านั้น

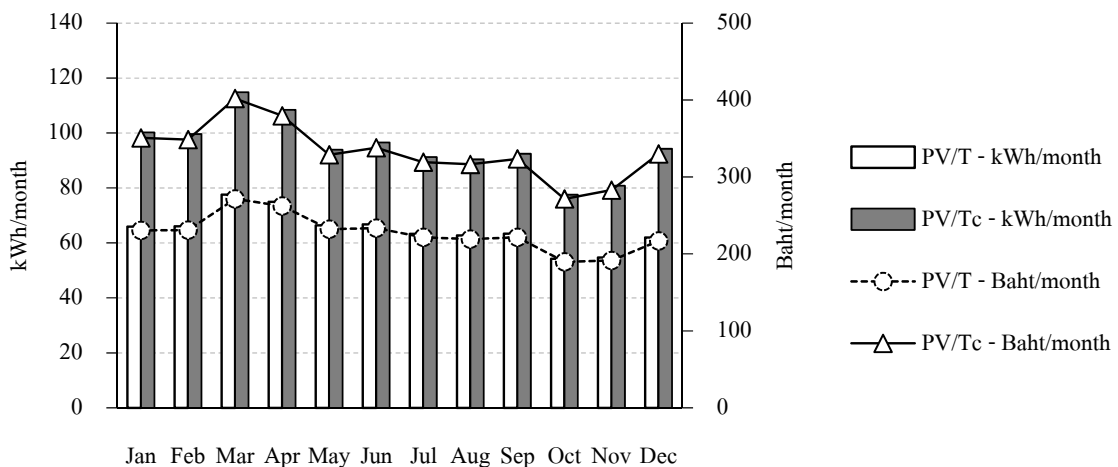


รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือน ระหว่างโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนและชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและราคาไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือน จากการผลิตน้ำร้อนระหว่างโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนและโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน

ทั้งนี้ เมื่อนำผลประหยัดจากพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนที่ผลิตได้ ร่วมกับใช้น้ำเย็นระบายความร้อนแก่โมดูลในตอนกลางวัน หลังหักค่าไฟจากปั้มน้ำ 28W ที่เปิดใช้งานในแต่ละวันอยู่ 2 ช่วงเวลาคือตั้งแต่ 09.00-16.00 น. และ 19.00-7.00 น. ที่อัตราค่าไฟเท่ากับ 4 บาทต่อหน่วย คิดเป็นค่าไฟจากปั้มน้ำประมาณ 717.7 บาทต่อปีแล้ว พบว่า การผลิตน้ำร้อนได้ของโมดูลนั้น ไม่เพียงแต่จะช่วยทำให้โมดูลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่จะทำให้มีผลประหยัดมากขึ้น ทำให้โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าตาม ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งประหยัดได้ถึง 3,843.1 บาทต่อปี สูงกว่าอีกชนิดที่ประหยัดเพียง 2,393.7 บาทต่อปี



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและราคาไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อเดือน จากการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมกัน ระหว่างโมดูลระบบชนิดมีกระจกปิดทับบน และชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน

4.6.1 ระยะเวลาคืนทุน

การวิเคราะห์หาจำนวนปีที่คุ้มทุนของระบบหาได้จากเงินลงทุนของระบบรวมกับค่าไฟฟ้าจากบิ๊มน้ำที่ใช้ส่งน้ำเข้าโมดูล ส่วนด้วยผลประโยชน์ได้ต่อปี เมื่อติดตั้งระบบ โดยตัวอย่างการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ก. จากตารางที่ 4.8 พบว่า โมดูลสำหรับระบบชนิดมีกระจกปิดทับบนจะมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่า เนื่องจากมีศักยภาพในการผลิตน้ำร้อนได้สูงกว่า ถึงแม้จะผลิตไฟฟ้าได้ออกว่าก็ตาม ซึ่งตรงกันข้ามกับชนิดไม่มีกระจกปิดทับ

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนระหว่างโมดูลชนิดมีและไม่มีกระจกปิดทับบน

รายการ	หน่วย	โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน	โมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน
เงินลงทุน			
ราคาโมดูล (ยังไม่รวมค่าขนส่ง)	บาท	22,000	24,300
ราคาอุปกรณ์อื่น (ท่อน้ำร้อน, วาล์วน้ำ, และบิ๊มน้ำ)	บาท	1,830	1,830
ดังนั้นจะได้เงินลงทุนเบื้องต้น	บาท	23,830	26,130
ผลประโยชน์			
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของระบบทำน้ำร้อนด้วยโมดูล	บาท ต่อปี	1,801.2	3,524.8
ค่าไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยโมดูล	บาท ต่อปี	1,316	1,036
หักค่าไฟฟ้าจากบิ๊มน้ำ (รวมทั้งกลางวันและกลางคืน)	บาท ต่อปี	717.7	717.7
ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้สุทธิต่อปี	บาท ต่อปี	2,393.7	3,843.1
ระยะเวลาคืนทุน	ปี	9.9	6.8

จากผลการคำนวณดังกล่าว พบว่าโมเดลทั้งสองชนิดสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอาคาร บ้านพักอาศัย โรงแรมหรือโรงพยาบาลที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนควบคู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่ระบบสามารถผลิตได้ในปริมาณเพียงพอ เช่น โมเดล ชนิดมีกระจกปิดทับเหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการใช้น้ำร้อนสูง แต่โมเดลชนิดไม่มีกระจกปิดทับ บนจะเหมาะสมกับงานที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก ทั้งนี้ น้ำเย็นที่ผลิตได้ นอกจากนำไปลด อุณหภูมิโมเดลตอนกลางวันแล้ว อาจนำไปลดภาระความเย็นในอาคารปรับอากาศ ทำให้เกิดผล ประหยัดเนื่องจากลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ทำให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าสูงขึ้น โดยที่เงินลงทุนทั้งหมด ของระบบเท่าเดิม ทำให้ระบบมีความเหมาะสมไปใช้งาน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved