

การเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
ด้วยระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

การเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
ด้วยระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน



ณรงค์ชัย คงวุฒิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
ด้วยระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน

ณรงค์ชัย คงวุฒิ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร อาสนคำ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน
ชื่อผู้เขียน	นายณรงค์ชัย คงวุฒิ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน ในการทดสอบใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 W_p พื้นที่ 1.627 m² จำนวน 2 แผง ติดตั้งกล่องน้ำระบายความร้อนที่บริเวณใต้แผงและใช้แผ่นกันเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของน้ำที่ต่อเข้ากับถังน้ำขนาด 150 L จำนวน 2 ถัง เพื่อเปรียบเทียบกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนสำหรับระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนได้ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ขนาดพื้นที่ 2.34 m² ต่อเข้ากับกล่องน้ำระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกล่องน้ำระบายความร้อนตามมาตรฐาน ASHREA STANDARD 93-2003 พบว่ามีค่า F_{RUL} เท่ากับ 9.5698 W/m²·K และ $F_R(\alpha\tau)_e$ มีค่าเท่ากับ 0.438 จากนั้นเมื่อต่อแผงโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับถังเก็บน้ำร้อนเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำระบายความร้อนและปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ให้สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด พบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำระบายความร้อนมีค่าเท่ากับ 2 L/min และปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 140 L ส่งผลให้สามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 16.85 °C และผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 46.70 °C คิดเป็นค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 35.18% สามารถผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 10.20 W ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย 13.56% และให้พลังงานสุทธิของระบบสูงสุด 14.15 MJ/day ตามลำดับ สำหรับการศึกษาค่าสมรรถนะของระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน โดยปรับอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ 1 2 และ 3 L/min และปริมาณน้ำในถัง 100 120 และ 140 L เพื่อผลิตน้ำเย็นในช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 19:00 – 06:00 น. ผลการทดสอบพบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ 1 L/min และปริมาณน้ำในถัง 140 L ผลิตน้ำเย็นได้ 16.50 °C อุณหภูมิน้ำสามารถลดได้ต่ำสุด 10 °C ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 14.80

สำหรับการศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมของการใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ในภาคกลางคืนมาระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน พบว่า ณ เวลา 9:00 น. เป็นเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยสามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย $19.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ และผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิ $41.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 49.98% สามารถผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.30 W ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 7.50% เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน และพลังงานสุทธิของระบบสูงสุด 15.51 MJ/day อีกทั้งจากการศึกษาสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะของระบบได้ เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าใช้เงินลงทุน $18,800$ บาท สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนคิดเป็นเงิน $3,887.02$ บาท/ปี ดังนั้นมีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 4.84 ปี และอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 20.35%

คำสำคัญ : สมรรถนะทางความร้อน, แผลงผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน, สัมประสิทธิ์สมรรถนะ, ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า



Title	Performance Enhancement of Photovoltaic/Thermal Hybrid System with Nocturnal Water Cooling System
Author	Mr. Narongchai Khongwut
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Sarawut Polvongsri

ABSTRACT

This research proposes to study the performance of photovoltaic/thermal hybrid system with the nocturnal water cooling system. The testing solar cell module made from 250 W_p poly-crystalline with each panel area 1.627 m² and 2 modules for the experiment were used under the solar cell module. The cooling water box was installed, which had baffles for controlling the direction of water together with two water storage tanks of 150 L each for comparing the non-cooling solar cell module. For the nocturnal water cooling system, a copper tube of 10 mm diameter with a total area of 2.34 m² was attached to the cooling water box under the solar cell module.

The thermal performance testing of solar cell module installed with the cooling water box was done according to ASHRAE Standard 93-2003. The results showed that $F_R U_L$ was equal to 9.5698 W/m²·K and $F_R(\alpha\tau)_e$ was equal to 0.438. After which the solar cell module was connected with water storage tanks in order to find the mass flow rate of the cooling water and the amount of water that provided the best performance of photovoltaic/thermal hybrid system. The results demonstrated the suitable mass flow rate of cooling water was equal to 2 L/min and the suitable amount of water was equal to 140 L which could decrease the average temperature of the solar cell module by about 16.85 °C and produce a hot water temperature of 46.70 °C. The average thermal efficiency of the solar cell module was equal to 35.35%, the average additional electric power was 10.20 W, the average electricity efficiency was 13.56% and the maximum net power of the system was 14.15 MJ/day,

respectively. For the performance study of nocturnal water cooling system, the mass flow rate was adjusted at 1, 2, and 3 L/min and, varied the amount of water 100 120 and 140 L to produce cool water during the night from 19:00 P.M. to 06:00 A.M. The results found that the most suitable mass flow rate of water was 1 L/min and the most suitable amount of water was 140 L. The cool water could produce a temperature of 16.50 °C or could decrease the water temperature by 10 °C and the coefficient of performance (COP) of cooling water production was 14.80.

For using cold water from nocturnal cooling for solar module cooling during daytime showed that 9:00 A.M. was a suitable period for solar cell module cooling. Its temperature could decrease average at 19.21 °C and produce a hot water temperature of 41.40 °C. The average thermal efficiency of the solar cell module was 49.98%, the average electric power was equal to 11.30 W and the average electricity efficiency increased to 7.50%, when compared without cooling. The maximum net power of the system was equal to 15.51 MJ/day. In addition, this study could simulate the correlation equation for use in system performance prediction. For economic consideration, the system investment was equal to 18,800.00 Baht while the electricity and hot water that could be produced was the equivalent of 3,887.02 Baht/year, therefore the payback period was 4.84 years and the internal rate of return was equal to 20.35%.

Keywords : thermal performance, solar PVT, nocturnal cooling, COP, electricity efficiency

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี ที่ได้รับเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนให้ความดูแลเอาใจใส่จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรธกร อาสนคำ ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุลักษณ์ มงคล ซึ่งให้ความกรุณาสำหรับคำแนะนำ การให้ความรู้ คำปรึกษา ในส่วนของปัญหาต่างๆ ของงานวิจัยเพื่อให้เกิดความสำเร็จ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการให้ความสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง สถานที่สำหรับทำวิจัย รวมทั้งทุนสนับสนุนจาก “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” ประจำปีการศึกษา 2559

ขอขอบพระคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2560 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.)

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นายกันธเนตร และนางชนิษฐา คงวุฒิ ที่คอยอบรมเลี้ยงดูให้กำลังใจ สนับสนุนทุกด้านเป็นอย่างดีสำหรับการต่อสู้กับอุปสรรคต่างๆ ที่มีอยู่เสมอมาตลอดการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งครอบครัวและเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน พร้อมทั้งคำแนะนำ และเป็นกำลังใจจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ณรงค์ชัย คงวุฒิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ท
สัญลักษณ์และตัวห้อย.....	ธ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ที่มาและความสำคัญ.....	1
2. วัตถุประสงค์.....	3
3. ขอบเขตของการวิจัย.....	3
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
1. พลังงานแสงอาทิตย์.....	4
2. โซลาร์เซลล์ (Solar cell).....	5
2.1 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์.....	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.3 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
3. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์.....	9
3.1 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heating System).....	11
4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	15

4.1 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPP)	16
4.2 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)	16
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ.....	25
1. วัสดุและอุปกรณ์	25
1.1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	25
1.2 ถังเก็บน้ำ	26
1.3 ถังน้ำระบายความร้อน	27
1.4 ปั๊มน้ำ.....	27
1.5 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล	28
1.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ.....	29
1.7 ฉนวนยางดำ	29
1.8 หม้อแปลงไฟฟ้า.....	30
1.9 PWM DC Motor Speed Controller.....	30
2. เครื่องมือตรวจวัด.....	31
2.1 เครื่องมือตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์.....	31
2.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (EZ Data Logger).....	31
2.3 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger 4 Channels)	32
2.4 เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า	33
2.5 เครื่องตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ	33
2.6 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	34
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.1 การทำงานของระบบ	34
4. แผนการดำเนินงาน	36

4.1	ศึกษางานที่เกี่ยวข้อง.....	36
4.2	ออกแบบชุดทดสอบ.....	36
4.3	การทดสอบและการบันทึกผลการทดสอบ.....	38
4.4	ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	40
4.5	การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน.....	46
บทที่ 4	ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	48
1.	สมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	48
1.1	สมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	48
1.2	อัตราการไหลที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	50
1.3	ผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม.....	76
2.	สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ.....	102
2.1	ผลการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสม.....	102
2.2	ผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม.....	106
3.	สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ.....	110
3.1	ผลของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้และสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็น.....	110
4.	ผลการทดสอบเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	111
4.1	ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น.....	112
4.2	ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น.....	120
4.3	ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น.....	127
4.4	ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น.....	134
5.	การทำนายพฤติกรรมระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลากลางวัน และผลิตในเย็นในเวลากลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	142
5.1	การทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ในเวลากลางคืนโดยใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ.....	142

5.2 การทำนายอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิน้ำร้อนในเวลากลางวัน.....	145
5.3 การทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในเวลากลางวัน.....	147
6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	149
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	153
ข้อเสนอแนะ.....	155
บรรณานุกรม.....	156
ภาคผนวก.....	158
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ	159
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบ.....	170
ภาคผนวก ค. ผลงาน และการเผยแพร่งานวิจัย.....	229
ประวัติผู้วิจัย.....	254



สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	แสดงลักษณะของการสะท้อนรังสีจากผิววัตถุแบบต่าง ๆ.....	4
ภาพที่ 2	หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์.....	5
ภาพที่ 3	ลักษณะของ n-type และ p-type.....	6
ภาพที่ 4	การเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนและโฮล.....	6
ภาพที่ 5	ลักษณะการเกิดกระแสไฟฟ้า.....	7
ภาพที่ 6	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าในโซลาร์เซลล์ (I-V characteristic).....	8
ภาพที่ 7	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ.....	9
ภาพที่ 8	พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ.....	10
ภาพที่ 9	ความสัมพันธ์ระหว่าง T_{fi} และ $(T_{fi} - T_a) / I_T$	11
ภาพที่ 10	สมดุลพลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	12
ภาพที่ 11	ระบบผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ.....	13
ภาพที่ 12	ระบบหล่อเย็น.....	17
ภาพที่ 13	แสดงลักษณะการไหลเวียนอากาศรอบแผง 7 รูปแบบ.....	19
ภาพที่ 14	ชุดทดสอบการระบายความร้อนบนผิวหน้าแผงโซลาร์เซลล์.....	20
ภาพที่ 15	การต่อขนาน อนุกรม และผสม ของระบบโซลาร์เซลล์ผสมกับระบบผลิตน้ำร้อน.....	21
ภาพที่ 16	พลังงานของโซลาร์เซลล์ที่ทำการลดอุณหภูมิกับแบบติดตั้งแบบปกติในแต่ละช่วงเวลา... ..	21
ภาพที่ 17	ระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืนเพื่อลดภาระความเย็นเครื่องปรับอากาศ.....	23
ภาพที่ 18	โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline.....	25
ภาพที่ 19	ถังเก็บน้ำขนาด 150 L.....	26
ภาพที่ 20	กล่องน้ำระบายความร้อนติดตั้งใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	27
ภาพที่ 21	ทิศทางการไหลของน้ำในกล่องระบายความร้อน.....	27
ภาพที่ 22	ปั๊มหมุนเวียนน้ำในระบบ.....	28
ภาพที่ 23	สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K.....	28
ภาพที่ 24	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ.....	29
ภาพที่ 25	ฉนวนยางดำ.....	29
ภาพที่ 26	หม้อแปลงไฟฟ้า.....	30
ภาพที่ 27	โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง.....	30
ภาพที่ 28	Apogee.....	31

ภาพที่ 29	เครื่องบันทึกข้อมูล (EZ Data Logger).....	32
ภาพที่ 30	เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger 4 Channels)	32
ภาพที่ 31	เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า	33
ภาพที่ 32	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ	33
ภาพที่ 33	เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	34
ภาพที่ 34	การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนตอนกลางวัน	35
ภาพที่ 35	การทำงานของระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน	36
ภาพที่ 36	ผังชุดทดสอบระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืน และระบบระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์ แสงอาทิตย์ภาคกลางวัน.....	37
ภาพที่ 37	ระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืนและระบบระบายความร้อนใต้ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ภาค กลางวัน	38
ภาพที่ 38	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของระบบผลิตน้ำร้อนและพลังงานไฟฟ้า	39
ภาพที่ 39	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิระบบผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ	40
ภาพที่ 40	แผนการทดสอบและบันทึกข้อมูล	41
ภาพที่ 41	แผนผังการทำนายอุณหภูมิในถังน้ำร้อนและพลังงานไฟฟ้า.....	42
ภาพที่ 42	แผนผังการทำนายอุณหภูมิในถังของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ	43
ภาพที่ 43	ลักษณะการทำงานของระบบที่ใช้ทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-2003 และจุดเก็บข้อมูล	45
ภาพที่ 44	ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานทดสอบ ASHRAE Standard 93-2003	46
ภาพที่ 45	สมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	49
ภาพที่ 46	ค่า F_{RUL} ที่อัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min	50
ภาพที่ 47	ค่า $F_R(\alpha\tau)_e$ ที่อัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min	50
ภาพที่ 48	ค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min	51
ภาพที่ 49	อุณหภูมิแวดล้อมอัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min	51
ภาพที่ 50	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min.....	52
ภาพที่ 51	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min.....	53
ภาพที่ 52	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min.....	54
ภาพที่ 53	อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min	56

ภาพที่ 72 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min.....	71
ภาพที่ 73 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min.....	72
ภาพที่ 74 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min.....	72
ภาพที่ 75 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min.....	73
ภาพที่ 76 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min.....	74
ภาพที่ 77 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ปริมาณน้ำ 100 120 และ 140 L.....	76
ภาพที่ 78 อุณหภูมิแวดล้อมที่ปริมาณน้ำ 100 120 และ 140 L.....	77
ภาพที่ 79 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำในถัง 100 L.....	78
ภาพที่ 80 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำในถัง 120 L.....	79
ภาพที่ 81 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำในถัง 140 L.....	80
ภาพที่ 82 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L.....	82
ภาพที่ 83 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L.....	83
ภาพที่ 84 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L.....	83
ภาพที่ 85 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L.....	84
ภาพที่ 86 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L.....	85
ภาพที่ 87 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L.....	85
ภาพที่ 88 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L.....	87
ภาพที่ 89 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L.....	87
ภาพที่ 90 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L.....	88
ภาพที่ 91 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L.....	89
ภาพที่ 92 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L.....	89
ภาพที่ 93 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L.....	90
ภาพที่ 94 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบที่ ปริมาณน้ำ 100 L.....	91
ภาพที่ 95 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L.....	92

ภาพที่ 96	กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L	93
ภาพที่ 97	ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L	93
ภาพที่ 98	กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L	94
ภาพที่ 99	ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L	95
ภาพที่ 100	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อน กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L	96
ภาพที่ 101	ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L	97
ภาพที่ 102	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อน กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L	98
ภาพที่ 103	ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L	98
ภาพที่ 104	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อน กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L	99
ภาพที่ 105	ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L	100
ภาพที่ 106	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่อัตราการไหล 1 L/min	103
ภาพที่ 107	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่อัตราการไหล 2 L/min	103
ภาพที่ 108	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min	104
ภาพที่ 109	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นกรณีทดสอบอัตราการไหลที่ 1 2 และ 3 L/min	105
ภาพที่ 110	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L	107
ภาพที่ 111	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L	107
ภาพที่ 112	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L	108
ภาพที่ 113	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นกรณีทดสอบปริมาณน้ำที่ 100 120 และ 140 L	109
ภาพที่ 114	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้	110

ภาพที่ 115	ค่ารังสีอาทิตย์ที่เวลา 9:00 10:00 11:00 และ 12:00 น.....	111
ภาพที่ 116	อุณหภูมิแวดล้อมที่เวลา 9:00 10:00 11:00 และ 12:00 น.....	112
ภาพที่ 117	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น.....	113
ภาพที่ 118	อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 9:00 น.....	114
ภาพที่ 119	ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.....	114
ภาพที่ 120	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.....	115
ภาพที่ 121	อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.....	116
ภาพที่ 122	กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.....	117
ภาพที่ 123	ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.....	117
ภาพที่ 124	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.....	119
ภาพที่ 125	ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.....	119
ภาพที่ 126	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น.....	120
ภาพที่ 127	อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 10:00 น.....	121
ภาพที่ 128	ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.....	122
ภาพที่ 129	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น....	123
ภาพที่ 130	อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.....	123
ภาพที่ 131	กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.....	124
ภาพที่ 132	ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.....	125

ภาพที่ 133	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.....	126
ภาพที่ 134	ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.....	126
ภาพที่ 135	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น.....	127
ภาพที่ 136	อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 11:00 น.....	128
ภาพที่ 137	ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.....	129
ภาพที่ 138	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น....	130
ภาพที่ 139	อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.....	130
ภาพที่ 140	กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบ ระบายความร้อนเวลา 11:00 น.	131
ภาพที่ 141	ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.....	132
ภาพที่ 142	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.....	133
ภาพที่ 143	ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.....	133
ภาพที่ 144	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น.....	134
ภาพที่ 145	อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 12:00 น.....	135
ภาพที่ 146	ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.....	136
ภาพที่ 147	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น....	137
ภาพที่ 148	อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.....	137
ภาพที่ 149	กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบ ระบายความร้อนเวลา 12:00 น.	138

ภาพที่ 150 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและ ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.....	139
ภาพที่ 151 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.....	140
ภาพที่ 152 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.....	140
ภาพที่ 153 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนาย ตอนกลางวัน ของระบบผลิตน้ำเย็นโดยใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนแบบท่อ	144
ภาพที่ 154 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง การทดสอบจริงกับการ ทำนายตอนกลางวัน.....	146
ภาพที่ 155 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนระหว่าง การทดสอบจริงกับการทำนายตอน กลางวัน	146
ภาพที่ 156 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ในแต่ละช่วงของค่ารังสี อาทิตย์.....	147
ภาพที่ 157 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน	148
ภาพที่ 158 ความคาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบจริงกับการใช้สมการทำนาย	149

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	สรุปสาระสำคัญจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
ตารางที่ 2	ค่ารายละเอียดโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
ตารางที่ 3	สรุปผลของอัตราการไหลของน้ำต่อประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน	75
ตารางที่ 4	สรุปผลของปริมาณน้ำต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน	101
ตารางที่ 5	สรุปผลของอัตราการไหลของน้ำต่ออุณหภูมิน้ำเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำ เย็นภาคกลางคืน.....	105
ตารางที่ 6	สรุปผลของปริมาณน้ำต่ออุณหภูมิน้ำเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นภาค กลางคืน.....	109
ตารางที่ 7	สรุปผลเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	141
ตารางที่ 8	ผลการคำนวณค่าสภาพการเปลี่ยนรังสีสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ระหว่างวันที่ 24 มกราคม ถึง 28 มกราคม 2562	142
ตารางที่ 9	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อตอนกลางคืน ปี 2561	143
ตารางที่ 10	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่านโมดูล ($h_{pvt,w}$) และ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับน้ำที่ ($h_{hx,w}$) ในตอนกลางคืน.....	143
ตารางที่ 11	ค่าความต้านทานร้อนระหว่างโมดูลกับอากาศแวดล้อม (R_{total}) สำหรับโมดูลเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดมีกระจกปิดทับ จากการทดลองระหว่างวันที่ 24 มกราคม ถึง 28 มกราคม 2562	144
ตารางที่ 12	ตัวแปรที่ใช้ในการทำนายอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิน้ำร้อนตอน กลางวัน.....	145
ตารางที่ 13	ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายในกรณีไม่มีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ ตอนกลางคืน	150
ตารางที่ 14	ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายในกรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอน กลางวัน.....	152

สัญลักษณ์และตัวห้อย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Q_{coll}	อัตราการการถ่ายเทความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	W
A_{coll}	พื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์	m^2
I_T	ปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์	W/m^2
T_a	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	$^{\circ}C$
$(\tau\alpha)_e$	ค่าการส่องผ่านดูดกลืนรังสีอาทิตย์	-
U_L	ค่าการสูญเสียความร้อนรวม	$W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
F_R	ค่าแฟกเตอร์การตั้งความร้อน	-
η_{coll}	ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	%
Q_s	อัตราการการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำ	W
Q_{pVT}	อัตราการการถ่ายเทความร้อนที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	W
M_s	ปริมาณน้ำในถัง	kg
C_{pw}	ค่าความจุความร้อนของน้ำ	$J/kg \cdot K$
$T_s^{t+\Delta t}$	อุณหภูมิน้ำในถังเก็บเมื่อเวลาเปลี่ยนไป	$^{\circ}C$
T_s	อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ	$^{\circ}C$
Δt	คือ เวลา	s
A_{pv}	พื้นที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	m^2
T_{pv}	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อน	$^{\circ}C$
T_{pVT}	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อน	$^{\circ}C$
A_{HX}	พื้นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	m^2
h_{HX}	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	$W/m^2 \cdot K$
T_{HX}	อุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	$^{\circ}C$
$T_{fi,HX}$	อุณหภูมิน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	$^{\circ}C$
$T_{fo,HX}$	อุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	$^{\circ}C$
ϵ	ค่าสภาพการเปล่งรังสี	-
σ	ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ 5.6697×10^{-8}	$W/m^2 \cdot K^4$
T_{sky}	อุณหภูมิท้องฟ้า	$^{\circ}C$
\dot{m}	อัตราการไหลของน้ำ	kg/s

$T_{fi,PV}$	อุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	$^{\circ}C$
$T_{fo,PV}$	อุณหภูมิน้ำออกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	$^{\circ}C$
T_{PV}	อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	$^{\circ}C$
A_{PV}	พื้นที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	m^2
η_e	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	%
P_e	กำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	W
W_{pump}	พลังงานที่ปั๊มใช้ทำงาน	J

ตัวห้อย

ความหมาย

a	อากาศแวดล้อม
w	สารทำงานน้ำ
coll	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์
Pv	โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
Hx	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
fi	สารทำงานเข้า
fo	สารทำงานออก
e	ไฟฟ้า
s	ถังเก็บน้ำ
Pv	โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อน
PvT	โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อน

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการใช้พลังงานจำนวนมากเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์อย่างไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในทางอุตสาหกรรม การขนส่ง การดำเนินชีวิตประจำวันแล้วแต่ต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น ปัญหาการขาดแคลนพลังงานเนื่องจากมีความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันนั้นส่วนใหญ่มาจากพลังงานก๊าซธรรมชาติและฟอสซิล ซึ่งใกล้จะหมดไปในอนาคตข้างหน้า จากข้อมูลสถิติการใช้พลังงานในประเทศปี พ.ศ.2559 พบว่าประเทศไทยมีการใช้พลังงานปริมาณ 65,822 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 0.6 คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 680,676 ล้านบาท (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2559) เราจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็น 49.8% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด รองลงมาประกอบด้วย ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม พลังงานหมุนเวียน ถ่านหินลิกไนต์ และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็น 20.7%, 8.8%, 7.70%, 7.0% และ 6.00% ตามลำดับ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2559) จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เราทราบว่ามีการใช้พลังงานในรูปของน้ำมันสำเร็จรูปเป็นหลัก และรองลงมาคือการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าที่เราผลิตนั้นส่วนใหญ่ได้มาจากก๊าซธรรมชาติ 69.22% ฟอสซิล 19.10% และพลังงานน้ำ 8.65% ซึ่งการผลิตไฟฟ้าได้จากการนำเข้าสูงถึง 67.42% และได้จากพลังงานทดแทนเพียง 0.08% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2558) จะเห็นได้ว่าสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยได้มาจากการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ จึงมีผลต่อความมั่นคงของการใช้พลังงาน ทำให้ในปัจจุบันมีคนหันมาสนใจการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น เช่น การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม ชีวมวล ชยะ พลังงานน้ำ และแสงอาทิตย์

โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ปี 2560 มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทยพบว่า บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด (18-20 MJ/m²·day) จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ เมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m²·day (มหาวิทยาลัยศิลปากร 2560) ประเทศไทยจึงเริ่มมีการติดตั้งโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้ามาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 จนถึงปี พ.ศ. 2553 มียอดติดตั้งรวม 100.39 MW เฉพาะเชื่อมกับสายส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแล้วรวม

21.6 GWh หรือคิดเป็น 0.0134% ของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 161,350 GWh โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตผลิตไฟฟ้าได้ 2.2 GWh ผู้ผลิตรายย่อย 19.4 GWh ตามพระราชบัญญัติการพัฒนาพลังงานหมุนเวียน 15 ปี นับจากปี 2552 กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานหมุนเวียนไว้ที่ 20.3% ของพลังงานทั้งหมด โดยมีสัดส่วนของพลังงานจากโซลาร์เซลล์อยู่ที่ 6% ดังนั้นตามแผนงาน ในปี 2565 ประเทศไทยต้องมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กำลังการผลิตรวม 500 MW

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ชนิดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างแผง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ลักษณะการติดตั้งแผง ฝุ่นที่เกาะหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2556) เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิภาคแบบร้อนชื้น ทำให้มีค่าเฉลี่ยรายวันของอุณหภูมิอากาศสูงตลอดทั้งปี โดยจังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย ที่ละติจูด 18 องศาเหนือ ลองจิจูด 98 องศาตะวันออก (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี 2559) ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาในปี 2558 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พบว่าตอนกลางวันมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 43.1 °C และตอนกลางคืนอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 3 °C (ไทยแลนด์อินดรัสทรี 2559) ผลจากอุณหภูมิแวดล้อมดังกล่าว ทำให้เกิดความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สูงในตอนกลางวัน เกิดความร้อนสะสมในโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ส่วนในตอนกลางคืนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะต่ำกว่าอุณหภูมิแวดล้อม

ปัจจุบันประชาชนเริ่มมีการใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยปกติจะมีความต้องการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40-70 °C เพื่อใช้ในการอาบน้ำ ห้องครัวเพื่อช่วยขจัดคราบไขมันบนจาน หรือภาชนะทำอาหาร ทำให้ประหยัดน้ำล้างจาน และยังเป็น การช่วยฆ่าเชื้อโรค อุปกรณ์ทางการแพทย์ ห้องซักรีด และสระว่ายน้ำเพื่อการฆ่าเชื้อโรค การเพิ่มประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการระบายความร้อนมีอยู่หลายวิธี ซึ่งการใช้น้ำระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีความมุ่งหวังที่จะลดปริมาณความร้อนสะสมใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนกลางวันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยการระบายความร้อนโดยใช้น้ำเป็นตัวพาความร้อน ส่วนในตอนกลางคืนจะผลิตน้ำเย็นโดยการนำน้ำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำ และนำน้ำร้อนและน้ำเย็นที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลากลางวัน และผลิตน้ำเย็นในเวลา กลางคืน ด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน
- 2.2 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ

3. ขอบเขตของการวิจัย

- 3.1 ใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline ขนาดไม่ต่ำกว่า 100 W_p จำนวน 2 แผง
- 3.2 ทำการทดสอบโดยปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำร้อนรวมประมาณ 50-80 L/m² เพื่อหาขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสม
- 3.3 ปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตน้ำเย็นในช่วงกลางคืน อย่างน้อย 3 อัตราการไหล
- 3.4 เก็บข้อมูลระบบระบายความร้อนและผลิตน้ำร้อน ช่วงเวลาประมาณ 8:00 – 17:00 น.
- 3.5 เก็บข้อมูลระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน ช่วงเวลาประมาณ 18:00 – 7:00 น.
- 3.6 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ไม่ต่ำกว่า 45 °C

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ได้ชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำโดยใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำในระบบ
- 4.2 ได้ระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น
- 4.3 ได้ประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น

บทที่ 2

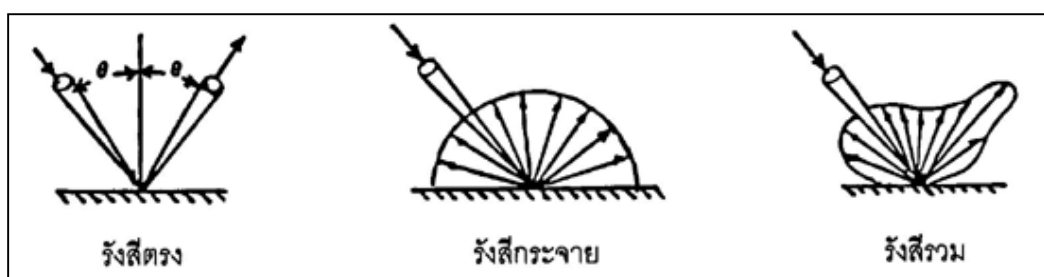
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ พลังงานเกือบทั้งหมดมีขนาดความยาวช่วงคลื่นที่มองเห็นได้และในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดที่เกือบมองเห็น รังสีที่ตกกระทบบนพื้นราบแบ่งได้ 3 ประเภท

- รังสีตรง (Beam หรือ Direct Radiation) คือรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยไม่มีกระเจา (Scattering) นั่นคืออยู่ในแนวของลำแสงของดวงอาทิตย์
- รังสีกระเจา (Diffuse Radiation) คือรังสีของดวงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจัดกระจายเมื่อรังสีอาทิตย์กระทบกับบรรยากาศโลกโดยแก๊ส ฝุ่นละออง และสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของลำแสงก่อนตกกระทบบนพื้นผิวรับแสง รังสีกระเจาจะมาจากทุกทิศทุกทางในท้องฟ้า
- รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระเจา ซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นสั้น (ไม่เกิน $3 \mu\text{m}$)

ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นระนาบในแนวนอน รังสีรวมจะประกอบด้วย รังสีตรงจากท้องฟ้า และรังสีกระเจาจากท้องฟ้าเท่านั้น คือ ครึ่งวงกลมของท้องฟ้านั้นเอง รังสีรวมในกรณีนี้เราเรียกว่า Global Radiation เมื่อผิวรับแสงเป็นพื้นระนาบเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วย รังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระเจาจากท้องฟ้า และรังสีกระเจา (ส่วนใหญ่เป็นการสะท้อน) จากผิวโลก รังสีรวมนี้เรียกว่า Total Radiation ดังภาพที่ 1



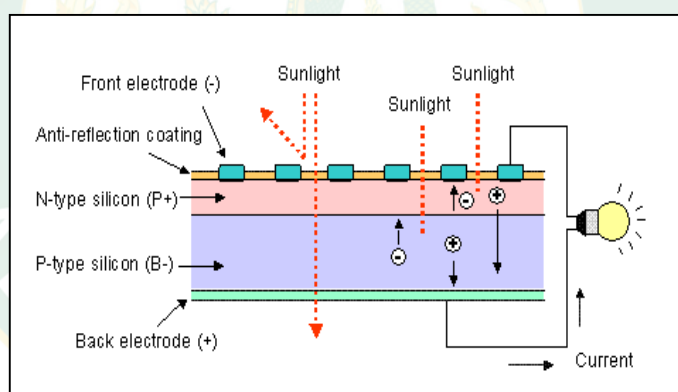
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของการสะท้อนรังสีจากผิววัตถุแบบต่าง ๆ

2. โซลาร์เซลล์ (Solar cell)

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

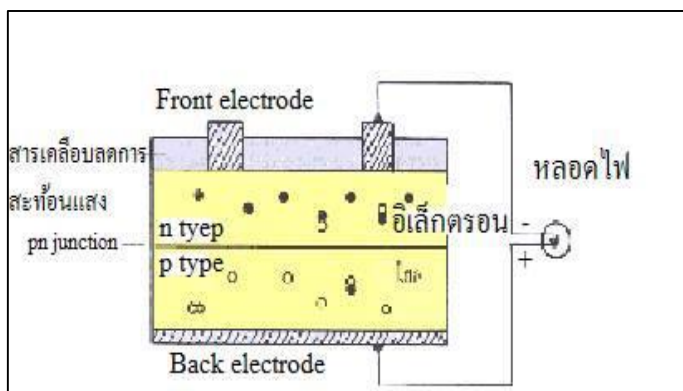
2.1 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

การทำงานของโซลาร์เซลล์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2559) ดังภาพที่ 2



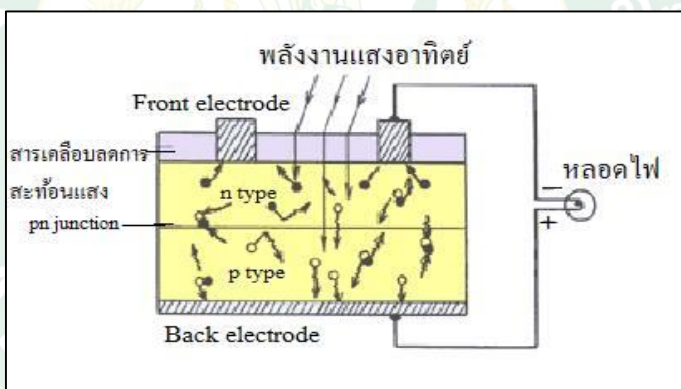
ภาพที่ 2 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3



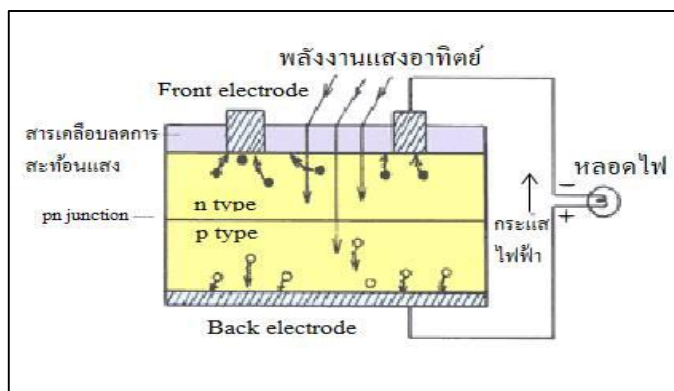
ภาพที่ 3 ลักษณะของ n-type และ p-type

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนและโฮล

อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ดังภาพที่ 5



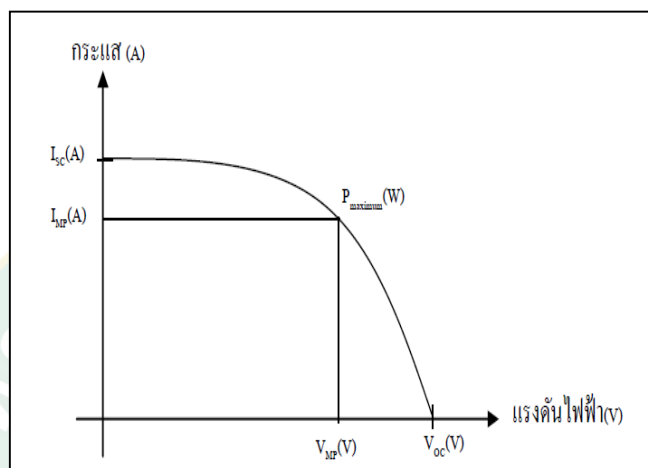
ภาพที่ 5 ลักษณะการเกิดกระแสไฟฟ้า

2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์

- ผลของอุณหภูมิ (Temperature Effect) มีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลงเมื่อแผงเซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะระบุข้อมูลทางเทคนิคที่วัดจากการทดลองในสภาวะแวดล้อมมาตรฐานคือ อุณหภูมิ 25 °C แต่อุณหภูมิของแผงที่การใช้งานจริงอาจสูงถึง 45 °C ดังนั้นการออกแบบระบบเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ารวมที่ต้องการควรคำนึงถึงอุณหภูมิเวลาใช้งานจริง หากโครงสร้างของแผงสามารถระบายความร้อนได้ดี ก็จะช่วยให้อุณหภูมิของแผงสูงขึ้นได้อีกด้วย
- ความเข้มของแสง กระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หากแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความเข้มสูง แผงก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาก
- มุมของดวงอาทิตย์กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีผลมาจากมุมของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ
- ลักษณะการติดตั้งแผง หากมีเงาบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงส่วนใดส่วนหนึ่ง อาจส่งผลให้อุณหภูมิของแผงลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานที่ที่ไม่มีเงาของวัตถุใดมาบังองศาการตกกระทบของแสงก็มีผลเช่นกัน เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแสงตกกระทบกับเซลล์แบบตั้งฉาก สำหรับประเทศไทยนั้น ทิศทางและองศาการติดตั้งแผงที่จะทำให้อุณหภูมิรับแสงได้ดีที่สุดคือ หันไปทางทิศใต้และทำมุม 15 องศาจากพื้นดิน
- การติดตามดวงอาทิตย์ (Sun Tracking) การที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับแสงจากดวงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวันเพื่อให้มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุดและสมบูรณ์ที่สุด ระบบการติดตามมี 2 แบบคือ ระบบแกนเดี่ยว และระบบแกนคู่ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2556)

2.3 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าในโซลาร์เซลล์ (I-V characteristic)

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการวัดข้อมูลในส่วนของกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) เพื่อใช้หาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ภาพที่ 6 จะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) และแรงดัน (V) ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปซึ่งช่วงการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ระหว่าง $V = 0$ ถึง $V = V_{oc}$ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เซลล์สามารถผลิตได้ (P) หาได้จากสมการที่ (1)

$$P = IV \quad \text{สมการที่ 1}$$

ภาพที่ 6 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้จากโซลาร์เซลล์และวิธีการวัดค่าทางไฟฟ้า เมื่อ I_m และ V_m แทนค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ออกมา มีค่าสูงสุดจุดที่มีค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดคือ จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่วน I_{sc} แทนกระแสไฟฟ้าลัดวงจรปิดเป็นการวัดกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่จุดออกมาของโซลาร์เซลล์โดยไม่ใช้ตัวต้านทานหรือวงจรไฟฟ้า และ V_{oc} แทนความต่างศักย์วงจรปิด วิธีการวัดค่าใช้วิธีเดียวกันกับการวัดกระแสไฟฟ้าวงจรปิด โดยที่ค่า P จะมีค่าสูงสุดเมื่อผลคูณระหว่าง (I) กับ (V) มีค่าสูงสุด (จุดที่พื้นที่ใต้กราฟมีค่าสูงสุด) ซึ่งจุดนี้จะได้ค่ากระแสและแรงดันสูงสุดที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตออกมาได้ ณ จุดนี้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้จะมีค่าเท่ากับ

$$P_M = I_{MP}V_{MP} \quad \text{สมการที่ 2}$$

ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill factor, FF) สามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$FF = (I_{MP} \times V_{MP}) / (I_{SC} V_{OC}) \quad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ	V_{MP}	คือ แรงดันไฟฟ้าขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V)
	I_{MP}	คือ กระแสไฟฟ้าขณะที่โซลาร์เซลล์ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (A)
	V_{OC}	คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (V)
	I_{SC}	คือ กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (A)

ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor, FF) คืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณ ระหว่างกระแสลัดวงจรกับแรงดันวงจรเปิด ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณภาพดีควรมีค่าฟิลล์ แฟกเตอร์เข้าใกล้ 1 เพื่อที่จะให้จุดทำงาน (Operating Point) ใกล้จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

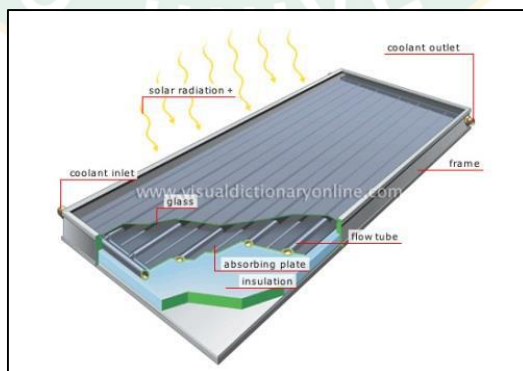
ประสิทธิภาพสูงสุด (η) ของโซลาร์เซลล์ได้ โดยที่ค่าประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์หาได้จากสมการที่ 4

$$\eta = P_M / P_S = (I_{MP} \times V_{MP} \times 100) / P_S \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ	P_S	คือ กำลังของแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบโซลาร์เซลล์ต่อพื้นที่ (W)
-------	-------	---

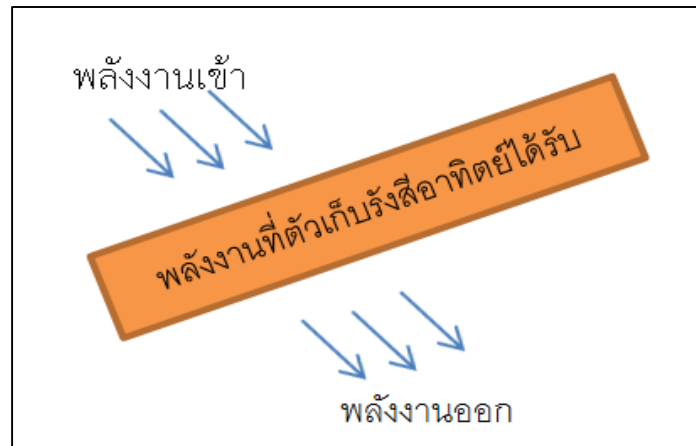
3. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2559)

ในการทดสอบจะพิจารณาระบบเป็น ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-Plate Solar Collector) ทำงานในช่วงความยาวคลื่น 0.3 - 3.0 μm ตามแต่ชนิดของตัวดูดกลืนรังสีสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 100 $^{\circ}\text{C}$ ไม่ใช่ใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

พลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์เท่ากับพลังงานที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่รวมกับพลังงานที่สูญเสียดังภาพที่ 8 สามารถหาได้จากสมการที่ 5 และ 6



ภาพที่ 8 พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ

พลังงานเข้า = พลังงานออก + พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ

$$A_{\text{coll}} F_R (\tau\alpha)_e / I_T = U_L A_{\text{coll}} F_R (T_p - T_a) + Q_{\text{coll}}$$

สมการที่ 5

$$Q_{\text{coll}} = A_{\text{coll}} [F_R (\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_p - T_a)]$$

สมการที่ 6

เมื่อ	A_{coll}	คือ พื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์ (m^2)
	I_T	คือ ปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ (W/m^2)
	T_a	คือ อุณหภูมิของอากาศรอบตัวรับรังสีอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$)
	$(\tau\alpha)_e$	คือ ค่าการส่องผ่าน ดูดกลืนรังสีอาทิตย์
	U_L	คือ ค่าการสูญเสียความร้อนรวม ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
	T_{fi}	คือ อุณหภูมิน้ำที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$)
	F_R	คือ ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat Removal Factor)

ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ 7

$$\eta_{\text{coll}} = F_R (\tau\alpha)_e - [F_R U_L (T_p - T_a)] / I_T$$

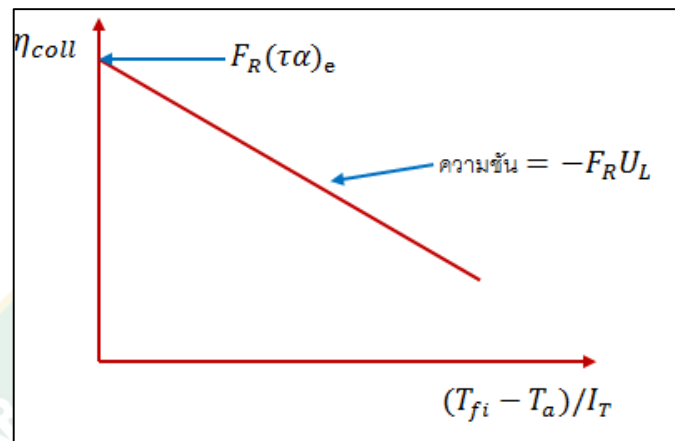
สมการที่ 7

เมื่อ F_R คือค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat Removal Factor) เป็นอัตราส่วนความร้อนที่ได้จริงจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทที่ถูกต้องโดยของไหลใช้งานในตัวเก็บรังสีอาทิตย์

T_{fi} คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($^{\circ}\text{C}$)

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง และ $(T_{fi} - T_a) / I_T$ แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง และ $(T_{fi} - T_a) / I_T$

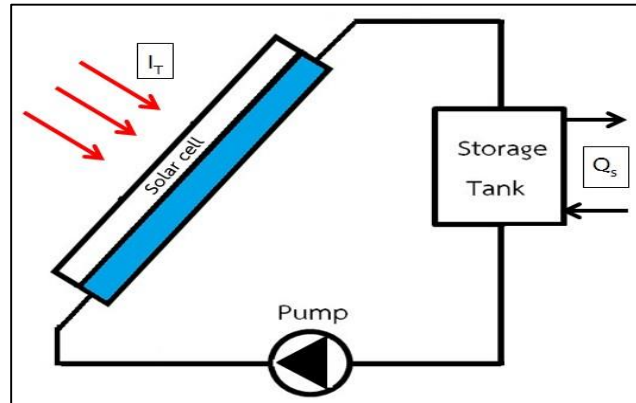
3.1 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heating System)

ระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามระบบหมุนเวียนน้ำในเครื่องทำน้ำร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ Active Solar Water Heating system เป็นระบบที่ใช้ปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อนน้ำในระบบและ Passive Solar Water Heating system ซึ่งน้ำเคลื่อนที่แบบธรรมชาติคือน้ำร้อนจะเคลื่อนที่จากด้านล่างไปด้านบน ซึ่งในการทดสอบจะเป็นแบบ Active Solar Water Heating system

- ระบบผลิตน้ำร้อนแบบ Active Solar Water Heating System

เป็นระบบที่มีปั๊มน้ำร้อนทำหน้าที่ขับเคลื่อนน้ำในระบบให้เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แผงรับแสงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อนระบบแบบนี้จะมีอุปกรณ์ต่างๆ และมีราคาแพงกว่าระบบ Passive Solar Water Heating System แต่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Passive Solar Water Heating System ในระบบ Active Solar Water Heating System ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 แบบ คือ Open Loop คือระบบที่ใช้น้ำรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและนำไปใช้งานเลย และแบบ Closed Loop คือระบบที่มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อน

สมดุลพลังงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 สมดุลพลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 10 พิจารณาระบบผลิตน้ำร้อน สมดุลพลังงานแสดงดังสมการที่ 8

$$Q_s = Q_{PV} - Q_{loss} - Q_{load} \quad \text{สมการที่ 8}$$

สมมติให้ถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดี ($Q_{loss} = 0$) และไม่มีการนำน้ำไปใช้งาน ($Q_{load} = 0$) แสดงดังสมการที่ 9

$$Q_s = Q_{PV}$$

$$M_s C_{PW} (T_s^{t+\Delta t} - T_s) / \Delta t = A_{PV} [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{PV} - T_a)] \quad \text{สมการที่ 9}$$

อุณหภูมิน้ำในถังเมื่อเวลาเปลี่ยนไปแสดงดังสมการที่ 10

$$T_s^{t+\Delta t} = \frac{A_{PV} \Delta t}{M_s C_{PW}} [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{PV} - T_a)] + T_s \quad \text{สมการที่ 10}$$

เมื่อ	A_{PV}	คือ พื้นที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
	M_s	คือ มวลถังเก็บน้ำ (kg)
	C_{PW}	คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ ($J/kg \cdot K$)
	Δt	คือ เวลา (s)
	T_{PV}	คือ อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$)
	$T_s^{t+\Delta t}$	คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ($^{\circ}C$)
	T_s	คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ ($^{\circ}C$)
	T_a	คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$)
	I_T	คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

$(\tau\alpha)_e$ คือ ค่าการส่องผ่าน ดูดกลืนรังสีอาทิตย์

U_L คือ การสูญเสียความร้อนรวมโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ($W/m^2 \cdot K$)

เมื่อพิจารณาสมดุลพลังงานที่โมดูลในตอนกลางวัน ดังภาพที่ 10 พบว่า อัตราความร้อนที่ถ่ายเทไปที่ของไหลที่ผ่านโมดูล จะคำนวณได้จาก

$$Q_{PVT} = \dot{m} C_{pw} (T_{fo,PV} - T_{fi,PV}) \quad \text{สมการที่ 11}$$

หรือสามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\dot{m} C_{pw} (T_{fo,PV} - T_{fi,PV}) = A_{pV} [(\tau\alpha)_{e|T} - U_L (T_{pV} - T_a)] \quad \text{สมการที่ 12}$$

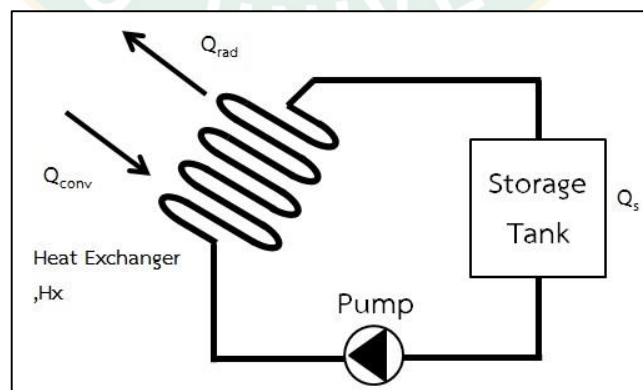
จากสมการดังกล่าว สามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำร้อนขาออกโมดูลได้
ดังนี้

$$T_{fo,PV} = \frac{A_{pV}}{\dot{m} C_{pw}} \{ [(\tau\alpha)_{e|T} - U_L (T_{pV} - T_a)] \} + T_{fi,PV} \quad \text{สมการที่ 13}$$

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกจากโมดูล สามารถนำมาคำนวณหาอุณหภูมิโมดูลได้ดังนี้

$$T_{fo,PV} = T_{fi,PV} + (T_{pV} - T_{fi,PV}) (1 - e^{[-(hA)_{pV} / (\dot{m} C_{pw})]}) \quad \text{สมการที่ 14}$$

สมดุลพลังงานระบบทำน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ระบบผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

จากภาพที่ 11 พิจารณาระบบผลิตน้ำเย็น สมดุลพลังงานแสดงดังสมการที่ 15

$$Q_s = Q_{\text{conv}} - Q_{\text{rad}} - Q_{\text{loss}} - Q_{\text{load}} \quad \text{สมการที่ 15}$$

สมมติให้ถึงเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนอย่างดี ($Q_{\text{loss}} = 0$) และไม่มีการนำน้ำไปใช้งาน ($Q_{\text{load}} = 0$) แสดงตั้งสมการที่ 16

$$Q_s = Q_{\text{conv}} - Q_{\text{rad}}$$

$$M_s C_{pw} (T_s^{t+\Delta t} - T_s) / \Delta t = A_{Hx} h_{Hx,a} (T_a - T_{Hx}) - \epsilon \sigma A_{Hx} (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4) \quad \text{สมการที่ 16}$$

โดยที่อุณหภูมิท้องฟ้าหาได้ตั้งสมการที่ 17 (Kaushik S.C., 2017)

$$T_{sky} = 0.0552 \times T_a^{1.5} \quad \text{สมการที่ 17}$$

อุณหภูมิน้ำในถังเก็บเมื่อเวลาเปลี่ยนไปแสดงตั้งสมการที่ 18

$$T_s^{t+\Delta t} = \frac{\Delta t}{M_s C_{pw}} [A_{Hx} h_{Hx,a} (T_a - T_{Hx}) - \epsilon \sigma A_{Hx} (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4)] + T_s \quad \text{สมการที่ 18}$$

เมื่อ	A_{Hx}	คือ พื้นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)
	$h_{Hx,a}$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)
	M_s	คือ มวลถังเก็บน้ำ (kg)
	C_{pw}	คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ ($J/kg \cdot K$)
	ϵ	คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสี
	σ	คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ 5.6697×10^{-8} ($W/m^2 \cdot K^4$)
	Δt	คือ เวลา (s)
	T_{Hx}	คือ อุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($^{\circ}C$)
	$T_s^{t+\Delta t}$	คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ($^{\circ}C$)
	T_{sky}	คือ อุณหภูมิท้องฟ้า ($^{\circ}C$)

จากภาพที่ 11 พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ของไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ Q_{Hx} แสดงตั้งสมการที่ 19

$$Q_{Hx} = m C_{pw} (T_{fo,Hx} - T_{fi,Hx}) \quad \text{สมการที่ 19}$$

โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำระบายออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะเท่ากับ ผลรวมระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีอาทิตย์กับการพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ซึ่งสามารถเขียนสมดุลพลังงานการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนของระบบแสดงดังสมการที่ 20

$$\dot{m} C_{pw}(T_{fo,Hx} - T_{fi,Hx}) = A_{Hx} [h_{Hx,a}(T_a - T_{Hx}) - \epsilon \sigma (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4)] \quad \text{สมการที่ 20}$$

จากสมการที่ 20 สามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อได้ดังสมการที่ 21

$$T_{fo,Hx} = (A_{Hx} / \dot{m} C_{pw}) \times [h_{Hx,a}(T_a - T_{Hx}) - \epsilon \sigma (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4)] + T_{fi,Hx} \quad \text{สมการที่ 21}$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแวดล้อม ในตอนกลางคืนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 20 โดยจัดรูปสมการได้ดังสมการที่ 22

$$h_{Hx,a} = [\dot{m} C_{pw}(T_{fo,Hx} - T_{fi,Hx}) + \epsilon \sigma A_{Hx}(T_{Hx}^4 - T_{sky}^4)] / A_{Hx}(T_a - T_{Hx}) \quad \text{สมการที่ 22}$$

ทั้งนี้ค่าสภาพการเปล่งรังสีอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 20 ได้เช่นกัน โดยพิจารณา ณ เวลาที่ค่าอุณหภูมิแวดล้อมกับค่าอุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากัน จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนมีค่าเท่ากับศูนย์ จึงสามารถจัดสมการได้ดังสมการที่ 23

$$\epsilon = \frac{\dot{m} C_{pw} (T_{fo,Hx} - T_{fi,Hx})}{\sigma A_{Hx} (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4)} \quad \text{สมการที่ 23}$$

4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การเลือกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานนั้นนอกจากจะคำนึงถึงประสิทธิภาพของแผงเซลล์ และสิ่งสำคัญอีกอย่างคือการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้าวการลงทุนสูงก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานการตัดสินใจว่าจะเลือกใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงแบบไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่าย และต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เทคนิคระบายความร้อนด้วยน้ำ วิธีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์จะใช้ 2 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

4.1 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPP)

เป็นวิธีการหนึ่งในการพิจารณาว่าระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อลงทุนไปแล้วจะสามารถคืนทุนให้แก่ผู้ลงทุนได้เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ซึ่งระยะเวลาคืนทุนยิ่งสั้นยิ่งมีความต้องการสูง ระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้จะเป็นแบบวิธีระยะคืนทุนแบบง่ายโดยระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ต่อค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ต่อปีดังสมการที่ 24

$$SPP = \text{Frist Cost} / \text{Cost Saving}$$

สมการที่ 24

4.2 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนในการลงทุนหรืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์วิธีนี้มี การนำเอาอัตราดอกเบี้ยมารวมคำนวณด้วยทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้นวิธีการหาอัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็นการหาโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial-and Error) ดังสมการที่ 20

$$NPV = \sum_{N=1}^N \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0$$

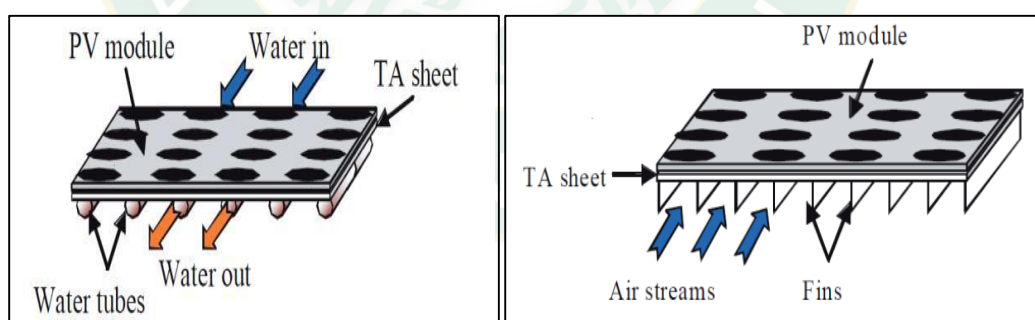
สมการที่ 25

- เมื่อ NCF_n คือ กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n (Baht)
 i คือ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน
 N คือ อายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็นจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (year)
 TIC คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ทำการระบายความร้อนให้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และทดสอบการทำงานของระบบโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษถึงปัญหา และวิธีการแก้ไขจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีการทำวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการระบายความร้อนให้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น

นิคม ผึ้งคำ (นิคม ผึ้งคำ 2551) ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์โดยการลดอุณหภูมิส่วนเกินของแผงโซลาร์เซลล์ ในการทำวิจัยนี้ใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวรุ่น BP 253 ศึกษาพร้อมกับระบบหล่อเย็น 2 ระบบ คือระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ ภาพที่ 12 (ก) และระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีป ภาพ 12 (ข) สำหรับระบบหล่อเย็นด้วยน้ำศึกษาที่อัตราการไหลของน้ำในช่วงต่าง ๆ คือ $2.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, $3.60 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, $4.24 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ และ $5.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ส่วนระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีปศึกษาในสภาพอากาศไหลเวียนแบบธรรมชาติผลการทดลองพบว่า กรณีใช้ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำที่อัตราการไหล $4.24 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ให้ผลดีที่สุด รองลงมาเป็นที่อัตราการไหล $5.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, $3.60 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ และ $2.88 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระบบหล่อเย็นด้วยน้ำและระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีปสามารถลดอุณหภูมิโซลาร์เซลล์ลงได้ $23.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $10.70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้แผงโซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพการทำงานทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 0.46% และ 0.32% ตามลำดับ และทำให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 7.26% และ 5.39% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้งานโดยปราศจากระบบหล่อเย็น

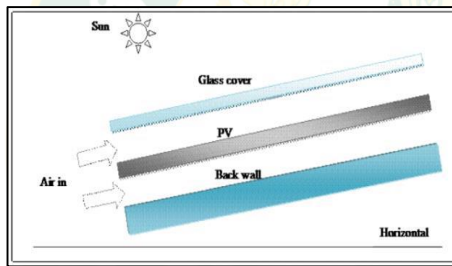


(ก) ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ

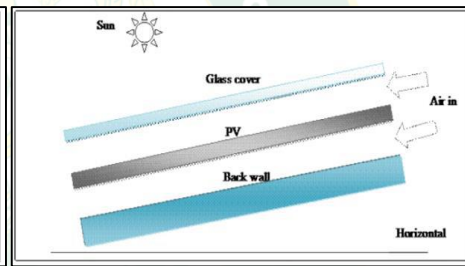
(ข) ระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีป

ภาพที่ 12 ระบบหล่อเย็น

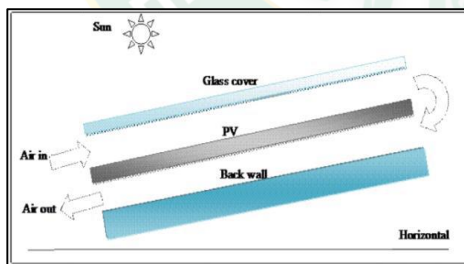
วิบูลย์ อันพิมพา และคณะ (วิบูลย์ อันพิมพา และคณะ 2557) ได้ทำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ร่วมกับระบบระบายความร้อนเพื่อการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของแผงให้สูงขึ้น จึงได้มีการพัฒนาเป็นแบบสองชั้นและเพิ่มครีบบระบายความร้อนไว้ใต้แผงเซลล์ ใช้อากาศไหลเวียนรอบแผงเพื่อระบายความร้อนให้กับแผงโซลาร์เซลล์ แล้วนำความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบการไหลเวียนอากาศรอบแผงเป็น 7 รูปแบบ ดังภาพที่ 13 แล้วทำการศึกษาผลของรูปแบบการไหลเวียนอากาศต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม จากการศึกษาพบว่าการไหลเวียนอากาศแบบที่ 3 คือไหลขึ้นช่องบนแล้วไหลเวียนลงช่องล่างของแผง เป็นแบบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยสูงสุด โดยในช่องบน ($h_{c,pv-g}$) และช่องล่าง ($h_{c,pv-bw}$) มีค่าอยู่ที่ 2.74 และ 4.16 $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ ตามลำดับในขณะที่แบบที่ 5 คือไหลลงช่องล่างก่อนแล้วเวียนขึ้นช่องบนมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.32 $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$



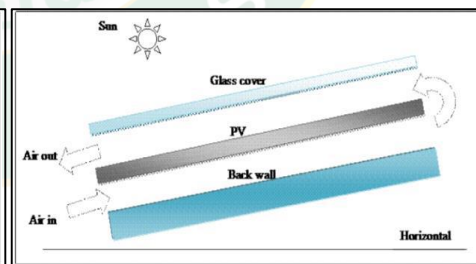
รูปแบบที่ 1 ไหลขึ้นทั้งคู่



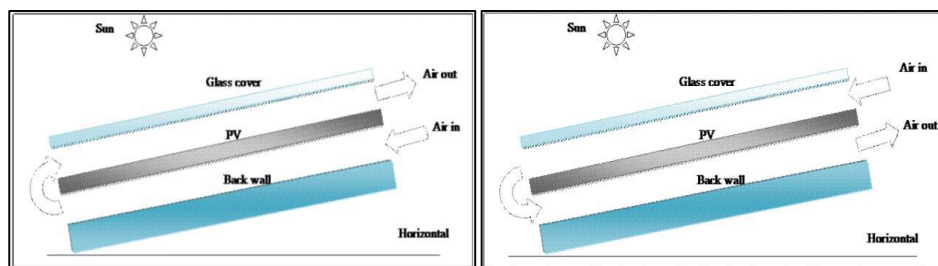
รูปแบบที่ 2 ไหลลงทั้งคู่



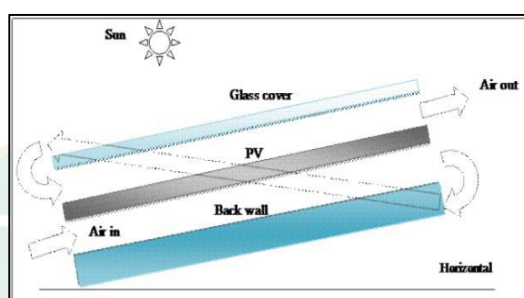
รูปแบบที่ 3 ไหลขึ้นด้านบนแล้วลงด้านล่าง



รูปแบบที่ 4 ไหลขึ้นด้านล่างแล้วลงด้านบน



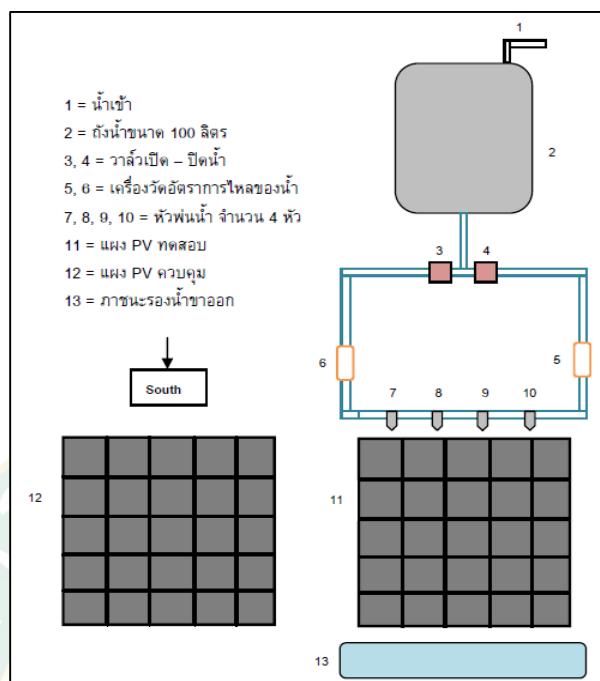
รูปแบบที่ 5 ไหลลงด้านล่างแล้วขึ้นด้านบน รูปแบบที่ 6 ไหลลงด้านบนแล้วไหลขึ้นด้านล่าง



รูปแบบที่ 7 ไหลขึ้นด้านล่าง แล้วขึ้นด้านบน

ภาพที่ 13 แสดงลักษณะการไหลเวียนอากาศรอบแผง 7 รูปแบบ

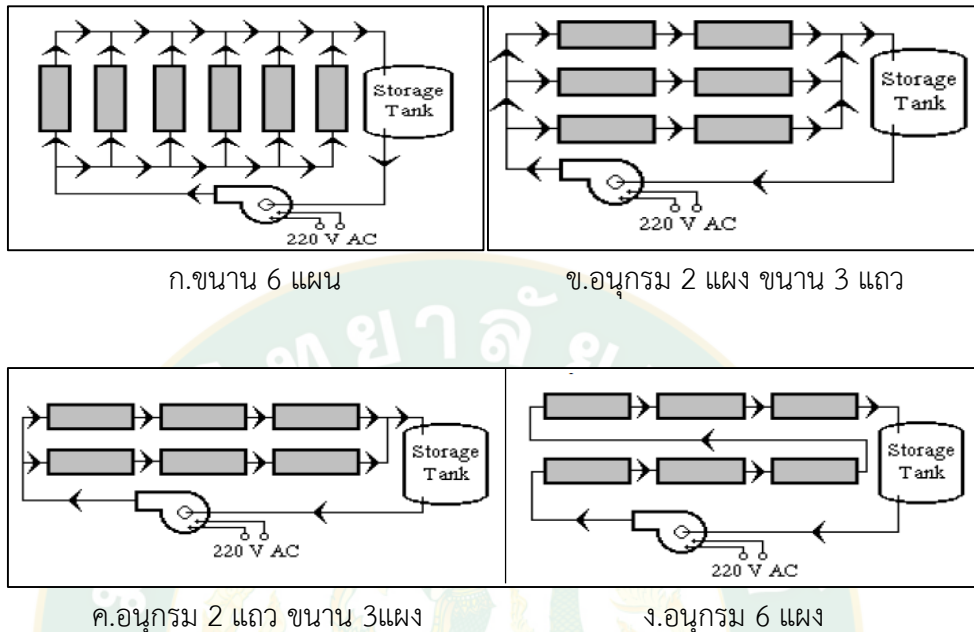
ประภาพิทย บัญห้ล้า และคณะ (ประภาพิทย บัญห้ล้า และคณะ 2556) ศึกษาผลของการระบายความร้อนบนผิวหน้าแผงต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งได้ทำการทดสอบด้วยการพ่นน้ำบนผิวหน้าแผงโซลาร์เซลล์ 2 ชนิด คือ แผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนขนาด 40 W และแผงชนิดอะมอร์ฟิสนขนาด 40 W ในแต่ละการทดสอบประกอบไปด้วยแผงควบคุม คือแผงที่ทำงานในสภาวะปกติ และแผงทดสอบ คือแผงที่ติดตั้งระบบพ่นน้ำ จากข้อมูลพบว่าน้ำสามารถลดอุณหภูมิในการทำงานของแผงได้เป็นอย่างดี โดยจากการทดสอบของแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนและแผงชนิดอะมอร์ฟิสนั้นในการทดสอบแผงผลึกเดี่ยว แผง PV ควบคุมจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ $43.31\text{ }^{\circ}\text{C}$ และแผง PV ทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ $30.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งตลอดระยะเวลาในการทดสอบนั้นแผง PV ทดสอบจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากว่าแผง PV ควบคุมโดยเฉลี่ย 28.66% สำหรับการทดสอบแผงอะมอร์ฟิสนั้น แผง PV ควบคุมจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ $48.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ และแผง PV ทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ $30.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งตลอดระยะเวลาในการทดสอบ แผง PV ทดสอบจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผง PV ควบคุมโดยเฉลี่ย 36.59% และจากการลดอุณหภูมิของแผงด้วยวิธีการพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผงในแต่ละการทดสอบพบว่าม้ผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของแผง เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผงควบคุมและแผงทดสอบ พบว่าแผงทดสอบจากการทดสอบแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนและแผงชนิดอะมอร์ฟิสนมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.05% และ 7.74% ตามลำดับ แสดงการทดลองดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ชุดทดสอบการระบายความร้อนบนผิวหน้าแผงโซลาร์เซลล์

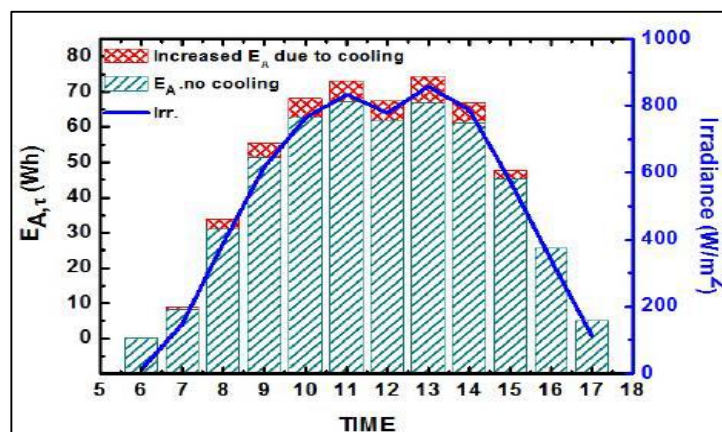
สิริชัย ปัญญาสมาธิ (สิริชัย ปัญญาสมาธิ 2548) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้โซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Solar Cell) โดยการออกแบบแผงระบายความร้อนแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์และนำไปประกอบติดตั้งที่ด้านหลังแผงโซลาร์เซลล์เพื่อดึงความร้อนออกจากแผงโซลาร์เซลล์มาใช้งานในรูปของน้ำร้อนผลการวิจัยพบว่าการออกแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์ต้นแบบให้มีระยะห่างระหว่างท่อเป็น 10 cm มีการระบายความร้อนได้ดีที่สุดและมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 43 - 50 °C จากการจำลองระบบโดยการต่อแผงระบายความร้อนจำนวน 6 แผงในแบบต่าง ๆ 4 แบบดังภาพที่ 15 พบว่าปัจจัยหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งทางไฟฟ้า ทางระบบน้ำร้อน ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในทุกแบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์มากขึ้นอัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมคือ 0.0352 kg/m²·s การเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลที่มากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นไม่มากนัก นอกจากนี้ในการต่ออนุกรมกันไม่ควรจะต่อเกิน 3 แผงเนื่องจากการต่ออนุกรมกัน 3 แผง จะให้อุณหภูมิของน้ำขาออกสูงประมาณ 40 - 55 °C และมีประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงกว่า 30% การต่อมากกว่า 3 แผง จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์จะลดลง ซึ่งโดยรวมแล้วประสิทธิภาพรวมจะเพิ่มขึ้นไม่มากนักจึงไม่ควรต่ออนุกรมเกิน 3 แผง และเมื่อนำไป

เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการระบายความร้อนโดยน้ำแล้ว พบว่าระบบโซลาร์เซลล์แบบผสมระบบผลิตน้ำร้อนจะมีประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์สูงกว่าประมาณ 1.20% - 1.45%



ภาพที่ 15 การต่อขนาน อนุกรม และผสม ของระบบโซลาร์เซลล์ผสมกับระบบผลิตน้ำร้อน

ทรงเกียรติกิตติ สนธิรักษ์ และคณะ (ทรงเกียรติกิตติ สนธิรักษ์ และคณะ 2555) ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างเครื่องหล่อเย็นแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้น้ำในการลดอุณหภูมิ ผลการทดลองพบว่า การหล่อเย็นให้อุณหภูมิแผงในช่วงความเข้มแสงสูงสามารถลดอุณหภูมิได้จาก 60 °C เหลือประมาณ 40 °C ผลต่าง 20 °C นี้ส่งผลให้พลังงานที่โซลาร์เซลล์ผลิตได้ในหนึ่งวันเพิ่มจาก 486 Wh เป็น 526 Wh หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 7.5% ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 พลังงานของโซลาร์เซลล์ที่ทำการลดอุณหภูมิกับแบบติดตั้งแบบปกติในแต่ละช่วงเวลา

บงกช ประสิทธิ์ (บงกช ประสิทธิ์ 2543) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์โดยติด ครีบบระบายความร้อนอลูมิเนียมเปรียบเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ที่ไม่ติดครีบบระบายความร้อน โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Single Crystal Silicon ขนาด $0.33 \times 1.2 \text{ m}^2$ จำนวน 3 แผง และ ใช้แผ่นครีบบระบายความร้อนอลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นรูปตัว T ซึ่งมี 2 ขนาดคือ 1) กว้าง 0.024 m ยาว 0.27 m หนา 0.001 m จำนวน 41 ชิ้น 2) กว้าง 0.024 m ยาว 0.097 m หนา 0.001 m จำนวน 12 ชิ้น แล้วนำครีบบมาติดที่ด้านหลังของแผงในแนวตามขวาง โดยใช้ซิลิโคนถ่ายเทความร้อน ผลที่ได้ จากการทดลอง กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของโซลาร์เซลล์แบบติดครีบบเฉลี่ยรวมเท่ากับ 2.30 A แบบไม่ติด ครีบบเฉลี่ยรวมเท่ากับ 2.31 A แรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิดแบบติดครีบบระบายความร้อนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 17.56 V แบบไม่ติดครีบบเฉลี่ยรวมเท่ากับ 17.14 V อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดครีบบระบาย ความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ $46.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แบบไม่ติดครีบบระบายความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ $54.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ กำลังไฟฟ้า แบบติดครีบบระบายความร้อนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 23.42 W แบบไม่ติดครีบบเฉลี่ยรวมเท่ากับ 22.94 W และประสิทธิภาพสูงสุดแบบติดครีบบระบายความร้อนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 7.72% แบบไม่ติดครีบบระบาย ความร้อนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 7.56%

ปรารธนา วันนารี และคณะ (ปรารธนา วันนารี และคณะ 2550) ทำการออกแบบระบบทำ น้ำเย็นภาคกลางคืนเพื่อลดภาระความเย็นเครื่องปรับอากาศ เพื่อทดสอบการนำระบบทำน้ำเย็นภาค กลางคืน (Nocturnal Water Cooling System, NWCS) เพื่อช่วยลดภาระโหลดความเย็นของ เครื่องปรับอากาศ น้ำถ่ายโอนความร้อนจะถูกทำให้เย็นในช่วงกลางคืนและนำมาใช้ในช่วงกลางวัน อาศัยการหมุนเวียนน้ำเย็นตามธรรมชาติจากถังน้ำภายนอกมาลดอุณหภูมิในห้องปรับอากาศในช่วง กลางวัน ระบบ NWCS ในงานวิจัยนี้ได้รับการออกแบบให้ประกอบด้วย ถังน้ำเย็นขนาด 180 L แผง แผงรังสีแบบท่อความร้อนพร้อมครีบบขนาด 2 m^2 คอยล์เย็นขนาด 2 m^2 และ ห้อง ทดสอบขนาด $3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ แสดงดังภาพ 17 ซึ่งติดตั้งบนตาดฟ้าของอาคาร (ชั้น 4) ระบบได้รับการทดสอบเป็น เวลา 7 วัน และ 6 วันติดต่อกัน (10 – 17 มกราคม 2550 และ 6 – 12 มีนาคม 2550) ภายใต้ ภูมิอากาศของ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น $16.3 - 20.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ระบบช่วยลดอุณหภูมิน้ำมาอยู่ที่ $14.0 - 17.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ลดลงประมาณ $2.3 - 3.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$) และสามารถดึง ความร้อนออกจากห้องทดสอบในช่วงกลางวัน ทำให้อุณหภูมิห้องต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ $4.1 - 6.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และลดภาระความร้อนได้ $48.7 - 60.2 \text{ W}$ แสดงว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบนี้เพื่อ ลดภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



ภาพที่ 17 ระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืนเพื่อลดภาระความเย็นเครื่องปรับอากาศ

Nammont Chotivisarut and Tanongkiat Kiatsiriroat (Chotivisarut N. 2007) ออกแบบระบบการผลิตน้ำเย็นโดยกระบวนการทำเย็นภาคกลางคืนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ในการดึงความร้อนจากน้ำที่กักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำ เพื่อให้ น้ำนั้นมีอุณหภูมิลดลง นำมาใช้ในการช่วยระบายความร้อนออกจากอาคารในเวลากลางวันซึ่งมีค่าภาระความร้อนสูง ทั้งนี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอุณหภูมิของน้ำที่กักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิของอากาศภายในอาคาร ห้องทดสอบขนาด 9.0 m^2 ซึ่งติดตั้งชุดแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดพื้นที่ 0.87 m^2 จำนวน 6 ชุด ถังเก็บน้ำหุ้มฉนวนขนาด 1.0 m^3 โดยในห้องทดสอบได้มีการติดตั้งชุดลดความร้อนพร้อมชุดควบคุมอัตราการจ่ายความร้อนแบบปรับค่าได้ เพื่อควบคุมอัตราการจ่ายความร้อนให้มีค่าอยู่ระหว่าง $500 - 2,000 \text{ W}$ แผงแผ่รังสีขนาด 6.36 m^2 ได้ถูกติดตั้งไว้กับหลังคาของห้องทดสอบโดยมีมุมเอียง 45 องศา กับแนวระดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถทำนายอุณหภูมิของน้ำที่กักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารได้ดี โดยสำหรับอุณหภูมิของน้ำที่กักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำที่ค่าเฉลี่ย $16.7 \text{ }^\circ\text{C}$ จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $2.6 \text{ }^\circ\text{C}$ และสำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารที่ค่าเฉลี่ย $23.5 \text{ }^\circ\text{C}$ จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $6.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ

จากการศึกษาบทความงานวิจัยจากแหล่งต่าง ๆ สามารถสรุปสาระสำคัญ และส่วนที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	สาระสำคัญ	ส่วนที่นำมาประยุกต์ใช้
นิคม ผึ้งคำ และคณะ (2551)	ใช้น้ำและครีบเพื่อระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยศึกษาหาอัตราการไหลที่เหมาะสม	ได้อัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่ม
วิบูลย์ อันพิมพา และคณะ (2557)	ใช้อากาศเพื่อระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยศึกษารูปแบบทิศทางของการไหลของอากาศ	ได้ทิศทางที่เหมาะสมในการใช้อากาศเพื่อลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่ม
ประภาพิทธิ์ บุญหล้า และคณะ (2556)	ใช้น้ำฉีดพ่นหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดอุณหภูมิใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	การฉีดพ่นน้ำหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้เช่นกัน
สิริชัย ปัญญาสมาริ (2548)	ออกแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์หลายๆระยะห่างเพื่อระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	การออกแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์พบว่าที่ระยะห่างของท่อ 10 cm สามารถระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด
ทรงเกียรติกิตติ สนธิรักษ์ และคณะ (2555)	ออกแบบเครื่องหล่อเย็นใช้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์	ที่ความเข้มแสงสูงๆ ประมาณ 800 W/m ² สามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 20 °C
บงกช ประสิทธิ์ (2543)	ติดครีบอลูมิเนียมระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยศึกษาหาความหนาที่เหมาะสม	ได้ความหนาของอลูมิเนียมที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่ม
ปรารถนา วันนารี และคณะ (2550)	ทำการออกแบบระบบทำน้ำเย็นในเวลากลางวันโดยใช้คอยล์เย็น	ได้รู้ทฤษฎีในการหาสมการสมดุลพลังงานของระบบทำน้ำเย็นในเวลากลางวัน
Nammont C. and Tanongkiat K. (2550)	สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิของน้ำในถัง	ทราบสมการทำนายอุณหภูมิในถังเก็บน้ำเย็นในเวลากลางวัน

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 7 ขั้นตอน โดยทำการค้นคว้าศึกษางานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้อง การออกแบบระบบระบายความร้อน โดยใช้น้ำหล่อเย็นใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมไปถึงการจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือ การติดตั้งชุดทดลอง ทำการเก็บข้อมูลและบันทึกผลที่ได้จากการทดลองแล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ โดยงานวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีรายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์คือ อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ในการทดสอบใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline ยี่ห้อ Solarland รุ่น SLP250-20 ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 W_p มีพื้นที่ 1.627 m² จำนวน 2 แผง ดังภาพที่ 18 โดยค่ารายละเอียดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 18 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline

ตารางที่ 2 ค่ารายละเอียดโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

รายการ	หน่วย	ข้อมูล
Maximum Power (P_m)	(W)	250
Maximum Power Voltage (V_{mp})	(V)	30.6
Maximum Power Current (I_{mp})	(A)	8.17
Open Circuit Voltage (V_{OC})	(V)	37.8
Shot Circuit Current (I_{SC})	(A)	8.98

1.2 ถังเก็บน้ำ

ถังเก็บน้ำขนาด 150 L จำนวน 2 ถัง ในการหมุนเวียนน้ำผ่านชุดระบายความร้อนของการทดสอบทั้งวันจำเป็นต้องมีถังเก็บน้ำที่สามารถบรรจุปริมาณน้ำให้เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่ต้องการระบาย ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ในการทดสอบทำจากวัสดุที่เป็นสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิมโดยผิวด้านนอกหุ้มด้วยฉนวนยางดำเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนที่ผิวถังเก็บน้ำ ดังแสดงในภาพที่

19



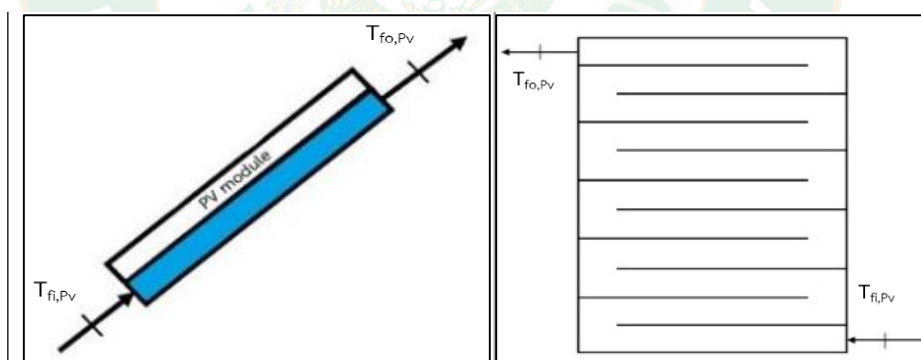
ภาพที่ 19 ถังเก็บน้ำขนาด 150 L

1.3 กล่องน้ำระบายความร้อน

กล่องน้ำระบายความร้อนทำจากวัสดุสแตนเลสขนาด 1.00 m x 1.65 m จะติดอยู่ด้านหลังโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำน้ำเข้าไประบายความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 20 โดยที่กล่องน้ำระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการบังคับทิศทางการไหลของน้ำแสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 20 กล่องน้ำระบายความร้อนติดตั้งใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 21 ทิศทางการไหลของน้ำในกล่องระบายความร้อน

1.4 ปั๊มน้ำ

การหมุนเวียนน้ำผ่านกล่องน้ำระบายความร้อนและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อจำเป็นต้องใช้แรงขับเคลื่อนทางกลเพื่อส่งอัตราการไหลน้ำให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามมาตรฐานการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) จะใช้อัตราการไหลของน้ำที่ 1.2 L/min·m² ดังนั้น จึงเลือกใช้ปั๊มน้ำ SEAFLO ที่สามารถให้อัตราการไหลสูงสุดที่ 4.0 L/min โดยเป็นปั๊มน้ำที่ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V และใช้กำลังไฟฟ้า 18 W ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ปัมหมุนเวียนน้ำในระบบ

1.5 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล

สายที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เทอร์โมคัปเปิ้ลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่า จุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้เรียกว่า จุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้งสองข้าง สามารถวัดอุณหภูมิได้ $-20 - 90^{\circ}\text{C}$ ปรากฏการณ์ในการทดลองใช้สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

1.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อทำมาจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ขนาดพื้นที่ 2.34 m² เพื่อทำการผลิตน้ำเย็นด้วยการแผ่รังสีตู้องฟ้าและการพาความร้อนของอากาศแวดล้อมภาคกลางคืน แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

1.7 ฉนวนยางดำ

ฉนวนยางดำใช้หุ้มในส่วนถังเก็บน้ำ ถังน้ำระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และท่อ PVC ที่ใช้เดินน้ำในระบบเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนแสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ฉนวนยางดำ

1.8 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า SANPU รุ่น C 100-W1V12 ใช้แปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50/60 Hz เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 V 8.3 A_{max} เพื่อใช้งานกับปั๊มหมุนเวียนน้ำในระบบแสดงดั่งภาพที่ 26



ภาพที่ 26 หม้อแปลงไฟฟ้า

1.9 PWM DC Motor Speed Controller

โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง 12 – 40 V 10A ใช้ปรับความเร็วมอเตอร์ของปั๊มหมุนเวียนน้ำในระบบเพื่อให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการแสดงดั่งภาพที่ 27



ภาพที่ 27 โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

2. เครื่องมือตรวจวัด

ในการทดสอบได้ทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดตามจุดต่าง ๆ ที่ต้องการนำค่าของตัวแปรเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบ

2.1 เครื่องมือตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์

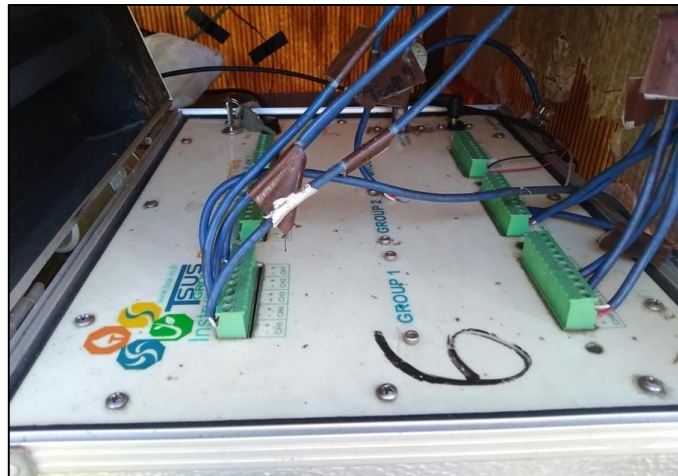
ในการทดสอบใช้เครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์คือ Apogee ดังแสดงดังภาพที่ 28 โดยจะวัดค่ารังสีรวมหน่วยที่ได้จะเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) และ Apogee จะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (EZ Data Logger)



ภาพที่ 28 Apogee

2.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (EZ Data Logger)

เครื่องบันทึกข้อมูลคือ ระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูลพื้นฐาน ระบบของเครื่องบันทึกข้อมูล ประกอบไปด้วย สแกนเนอร์ (Scanner หรือ Multiplexer Digital – Voltmeter) และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งการรับข้อมูล (Input) จะเป็นการส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (Analog) จากตัวรับสัญญาณ (Sensor) จากนั้นจะเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบดิจิทัล (Digital) และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ (Memory) ตามช่วงเวลาที่มีการบันทึกโดยอัตโนมัติ และสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ มีความแม่นยำ ± 0.5 °C ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (EZ Data Logger) ในการเก็บค่าอุณหภูมิ และค่ารังสีอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 เครื่องบันทึกข้อมูล (EZ Data Logger)

2.3 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger 4 Channels)

เครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Lutron รุ่น TM-1947SD สามารถวัดอุณหภูมิได้ 4 จุด ต่อ 1 เครื่อง สามารถใช้งานได้กับสายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K, J, T, E, R, S, Pt100 เครื่องจะบันทึกข้อมูลลง SD Card มีความแม่นยำ ± 0.5 °C แสดงดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger 4 Channels)

2.4 เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

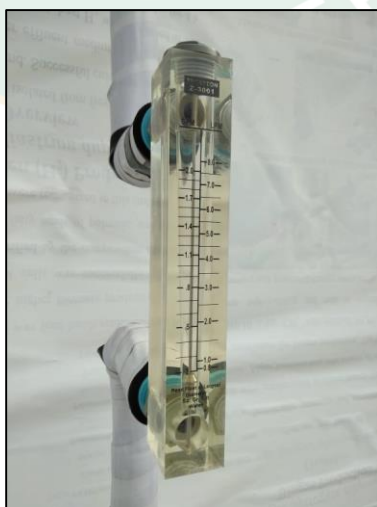
เครื่องตรวจวัดตัวแปรทางไฟฟ้าของโมดูลเซลล์เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เครื่อง Solar module analyzer รุ่น PROVA 210A (12 A, 60 V) ดังภาพที่ 31 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถบันทึกค่าทางไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ และวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนการวัด $\pm 1\%$



ภาพที่ 31 เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

2.5 เครื่องตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ

ใช้เครื่องตรวจวัดอัตราการไหลชนิด Rotameter ยี่ห้อ Treatton รุ่น Z-3001 สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำในช่วง 0.8 – 8.0 L/min ทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ 4-80 °C และที่ความดันน้อยกว่า 6 Bar แสดงดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ

2.6 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

เครื่องวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมคือ อุปกรณ์ใช้ในการวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger 4 Channels) แสดงดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

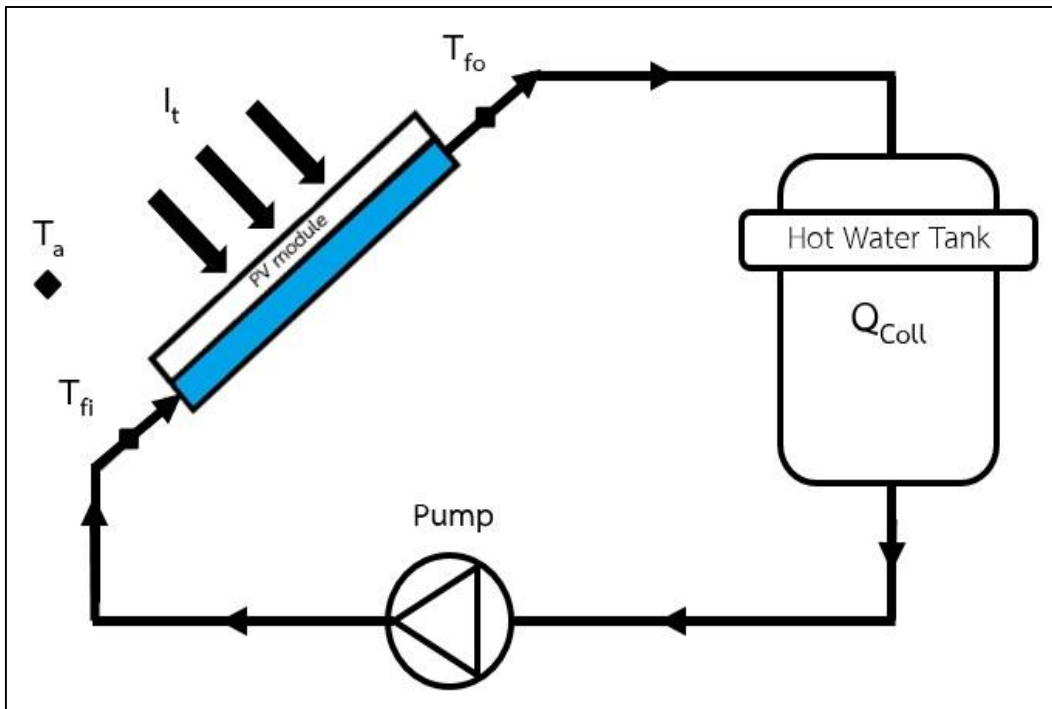
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกภาคปฏิบัติได้ทำการทดสอบระบบภายใต้ 2 สภาวะคือ ภาคกลางวันระบบจะทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว ภาคกลางันระบบจะทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลาเดียวกัน ร่วมกับการนำน้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางวันมาระบายความร้อนให้แก่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และในส่วนที่สองส่วนทฤษฎีโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ อุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นในถัง

3.1 การทำงานของระบบ

● ภาคกลางวัน

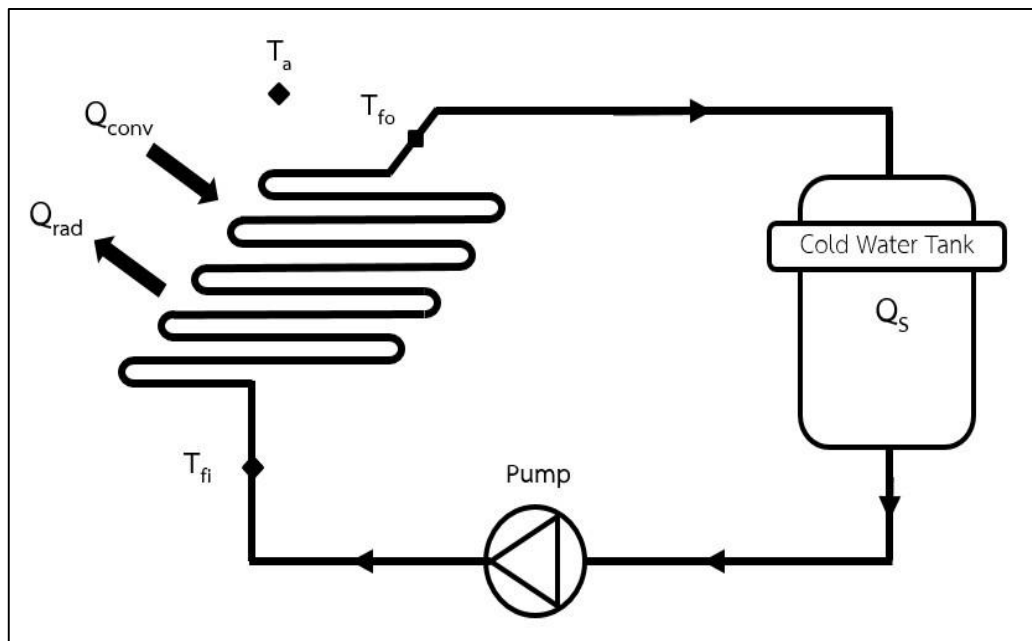
การทำงานของระบบตอนกลางวันแสดงดังภาพที่ 34 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า น้ำจากถังเก็บน้ำร้อนไหลผ่านกล่องระบายความร้อนที่ถูกติดตั้งไว้ด้านหลังโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่น้ำจะสัมผัสกับหลังโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งจะช่วยระบายความร้อนและลดอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ น้ำที่ไหลเวียนจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และน้ำร้อนที่ได้จะถูกบรรจุอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน



ภาพที่ 34 การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนตอนกลางวัน

- ภาคกลางคืน

การทำงานของระบบตอนกลางคืนแสดงดังภาพที่ 35 การหมุนเวียนน้ำจะผ่านอุปกรณ์และเปลี่ยนความร้อนแบบท้อ ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท้อจะทำหน้าที่เป็นตัวระบายความร้อนจากน้ำในถังน้ำเย็นออกสู่บรรยากาศ โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าและจะมีการรับความร้อนจากการพาความร้อนของอากาศแวดล้อม ถ้าอัตราการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าสูงกว่าอัตราการรับความร้อนโดยการพาความร้อนจากอากาศรอบ ๆ อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท้อจะต่ำกว่าอากาศโดยรอบ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมาส่งผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะสามารถลดอุณหภูมิน้ำให้ต่ำกว่าอากาศโดยรอบได้ และน้ำเย็นที่ได้จะนำไปเก็บในถังน้ำเย็น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิน้ำในถังลดลงอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 35 การทำงานของระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน

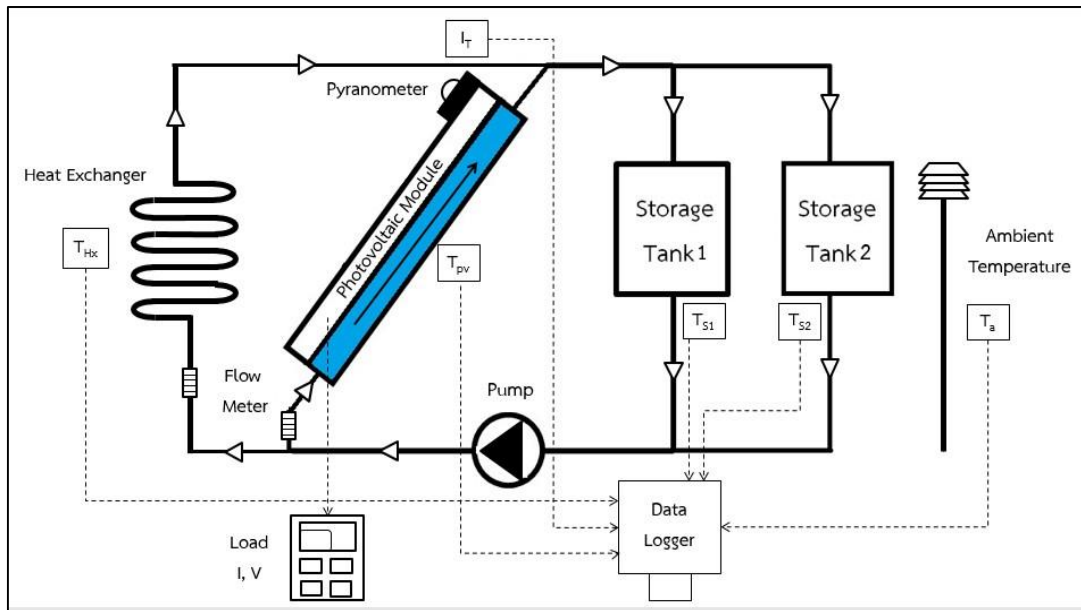
4. แผนการดำเนินงาน

4.1 ศึกษางานที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโมดูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน ในการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน รวมไปถึงหลักการทำน้ำเย็นภาคกลางคืน เช่น ศึกษาทฤษฎีของระบบ ศึกษาการเก็บข้อมูลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในระบบ เป็นต้น

4.2 ออกแบบชุดทดสอบ

ทำการออกแบบชุดทดสอบ เพื่อเก็บพารามิเตอร์ที่ต้องการ แสดงดังภาพที่ 36 ดังนี้



ภาพที่ 36 ผังชุดทดสอบระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืน
และระบบระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ภาคกลางวัน

ติดตั้งระบบไว้บริเวณกลางแจ้ง แสดงดังภาพที่ 37 โดยติดตั้งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 10 องศา กับแนวระดับ และหันหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ การทดสอบจะใช้ปั้มน้ำ SEAFLO เป็นปั้มน้ำที่ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V_{dc} 18 W ในการหมุนเวียนน้ำในระบบ โดยกลางวันน้ำจะไหลจากถังเก็บน้ำร้อนเข้าไประบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน และกลางคืนน้ำจะไหลจากถังเก็บน้ำเย็นเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อเพื่อผลิตน้ำเย็น โดยจะผ่านอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Rota Meter) ทั้งกลางวันและกลางคืน เพื่อปรับอัตราการไหลก่อนเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในส่วนของการเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้า (Solar module analyzer รุ่น PROVA 210A) เป็นเครื่องมือที่สามารถบันทึกค่าทางไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ



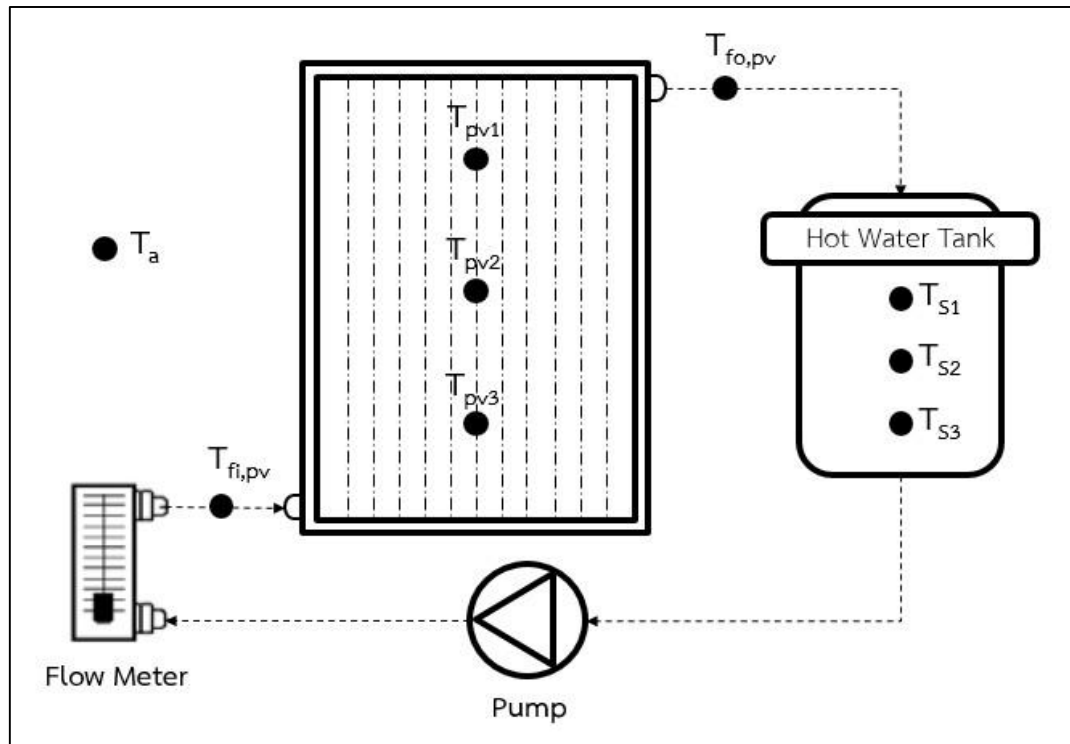
ภาพที่ 37 ระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืนและระบบระบายความร้อนได้
โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ภาคกลางวัน

4.3 การทดสอบและการบันทึกผลการทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนใช้ เวลาตั้งแต่ 19:00 – 6:00 น. ส่วนช่วงที่สองคือ การทดสอบการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลากลางวัน โดยจะนำน้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืนมาระบายดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ เวลา 9:00 – 16:00 น. ตามสภาวะการทำงานจริง ภายใต้อุณหภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่

การวัดอุณหภูมิ จะใช้สาย Thermocouple Type-K ต่อเข้ากับ Data Logger 4 Channels และ EZ Data Logger สามารถบันทึกข้อมูลแบบ Real time ได้ โดยจะทำการวัดอุณหภูมิที่ต้องการ ใช้ในการวิเคราะห์ภาคกลางวัน ซึ่งตำแหน่งในการวัดค่าอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 38

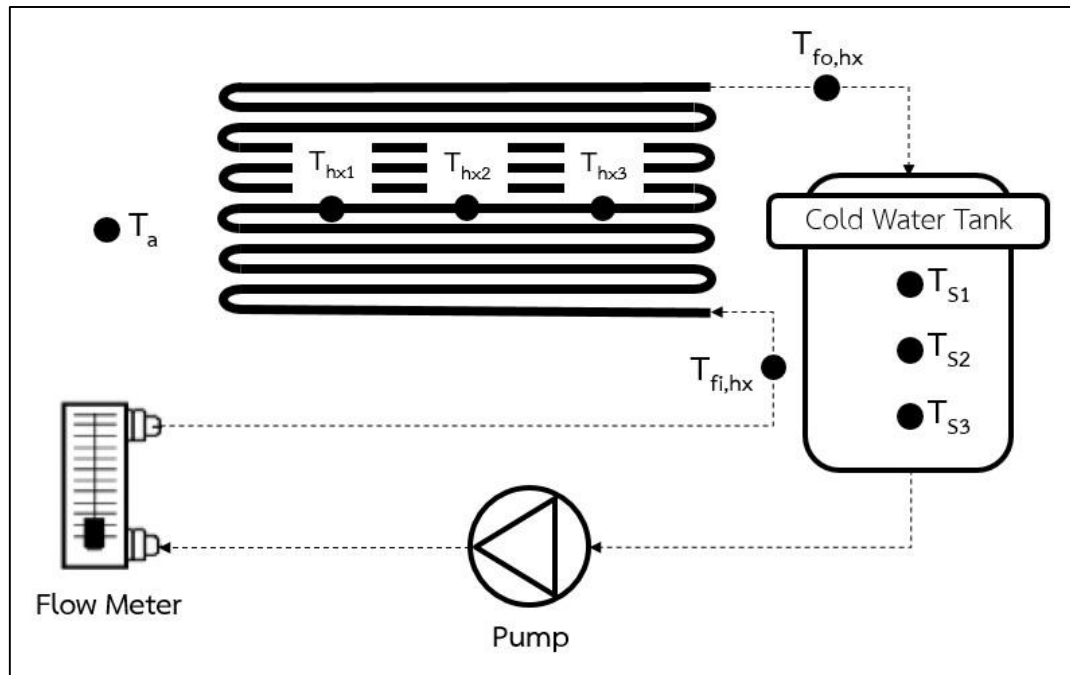
- อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 1 จุด
- อุณหภูมิของน้ำภายในท่อ โดยจะทำการวัดอุณหภูมิขาเข้าและออกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ 2 จุด
- อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน โดยจะทำการวัดอุณหภูมิน้ำที่ตำแหน่ง บน กลาง และล่าง ของถัง รวม 3 จุด
- อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะทำการวัดที่ตำแหน่ง บน กลาง และล่าง ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ รวม 3 จุดต่อโมดูล



ภาพที่ 38 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของระบบผลิตน้ำร้อนและพลังงานไฟฟ้า

สำหรับการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่ออากาศกลางคืน โดยจะทำการวัดอุณหภูมิที่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์ภาคกลางคืน ซึ่งตำแหน่งในการวัดค่าอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 39

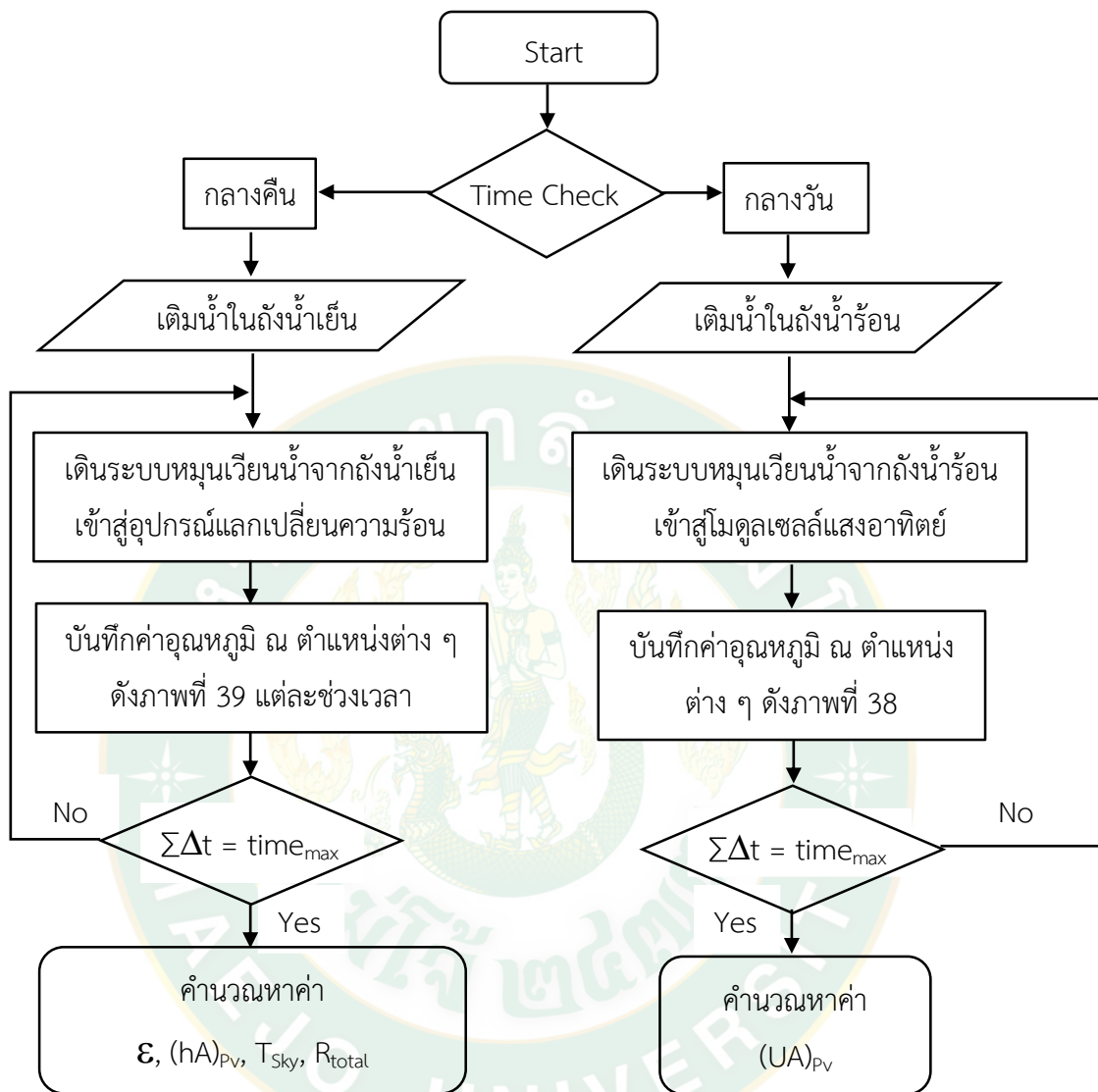
- อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 1 จุด
- อุณหภูมิของน้ำภายในท่อ โดยจะทำการวัดอุณหภูมิขาเข้าและออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ 2 จุด
- อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน โดยจะทำการวัดอุณหภูมิน้ำที่ตำแหน่ง บน กลาง และล่าง ของถัง รวม 3 จุด
- อุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ โดยจะทำการวัดที่ตำแหน่ง ซ้าย กลาง และขวา ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ รวม 3 จุด



ภาพที่ 39 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิระบบผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

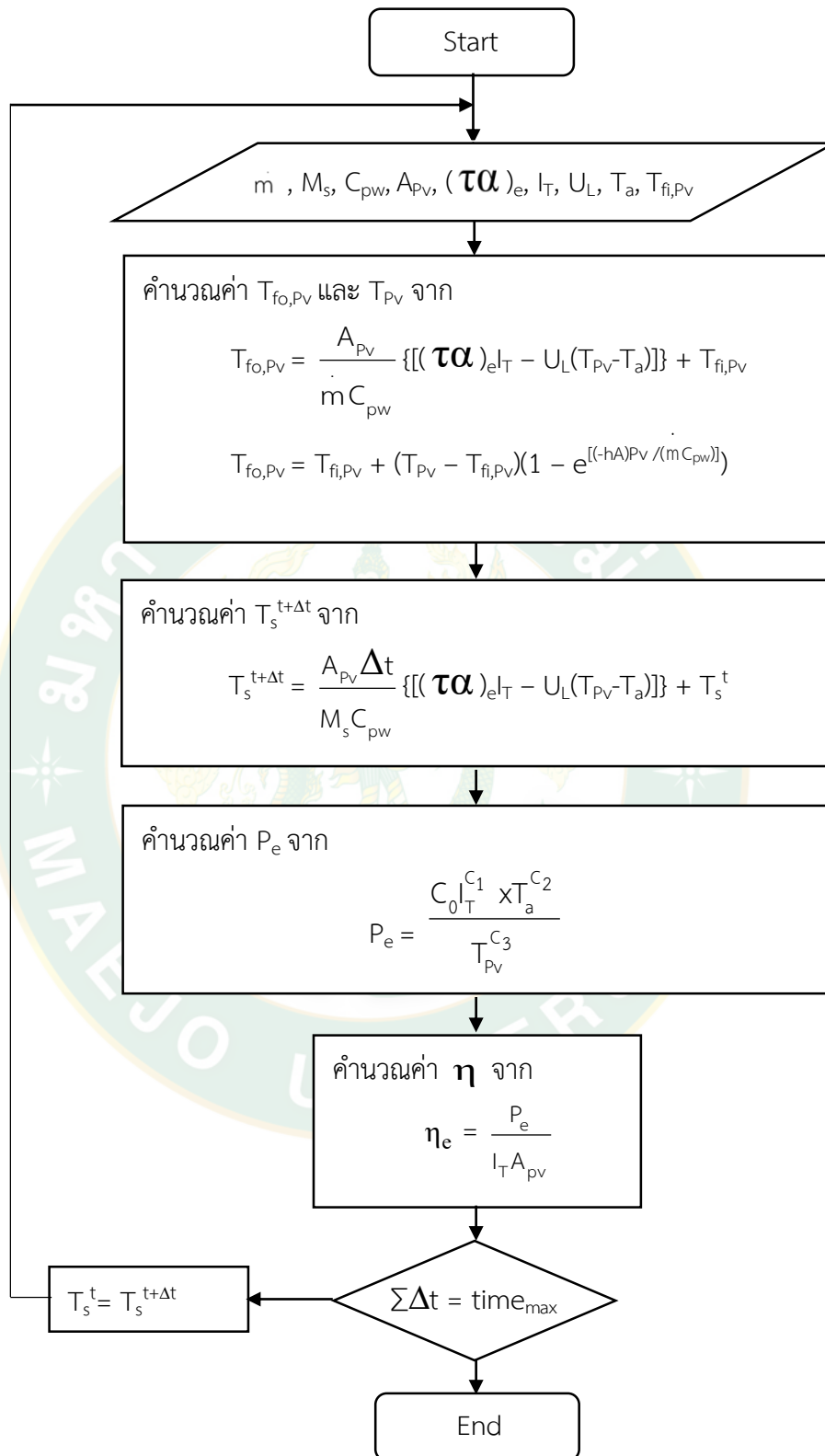
4.4 ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผล

เมื่อติดตั้งระบบทดสอบและอุปกรณ์การวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นทำการทดสอบและบันทึกข้อมูล เพื่อคำนวณหาค่าคงที่ ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น โดยสามารถเขียนได้ดังภาพที่ 40

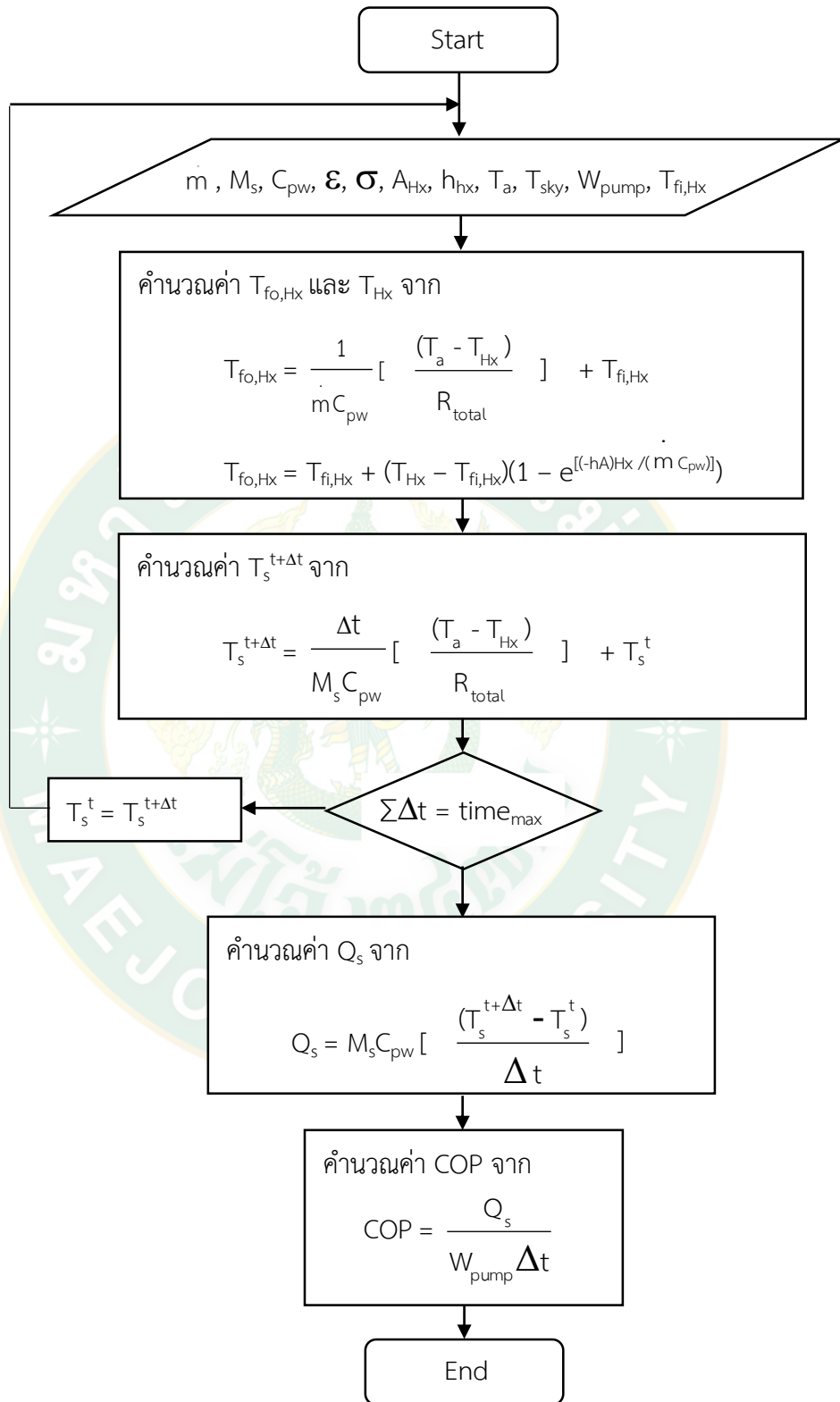


ภาพที่ 40 แผนการทดสอบและบันทึกข้อมูล

หลังจากได้ค่าคงที่ที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น จากขั้นตอนข้างต้นแล้ว ก็จะนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ทำนายทั้งพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 09:00 – 16:00 น. แสดงดังภาพที่ 41 และอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ตั้งแต่เวลา 19:00 – 7:00 น. แสดงดังภาพที่ 42



ภาพที่ 41 แผนผังการทำนายอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนและพลังงานไฟฟ้า

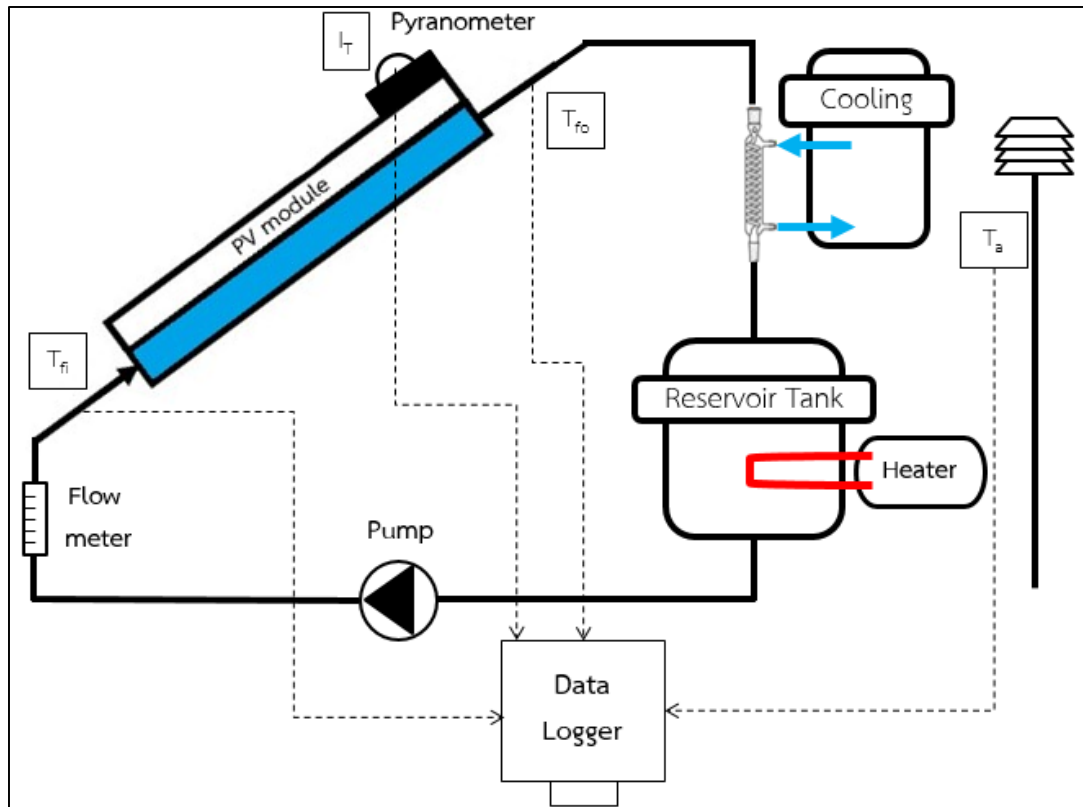


ภาพที่ 42 แผนการทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

การทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานทดสอบ ASHRAE Standard 93-2003 ในขั้นตอนของการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานทดสอบ ASHRAE Standard 93-2003 เพื่อหาค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_{RUL} จะติดตั้งระบบตามภาพที่ 43 ซึ่งระบบจะประกอบไปด้วย โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีกล่องน้ำระบายความร้อนใต้โมดูลขนาด 1.627 m^2 ติดตั้งทำมุมเอียง 18° ตามละติจูด หันหน้าไปทางทิศใต้ จำนวน 1 ชุด ต่อเข้ากับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 150 L ที่มีฮีตเตอร์ไฟฟ้า (Electric Heater) ขนาด 200 W ที่ติดไว้กับถังเพื่อความคุ้มครองอุณหภูมิการทำงานตามที่ต้องการ ก่อนที่จะถูกปั๊มสารทำงานผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล โดยจะควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ก่อนเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิการทำงานสูงขึ้น

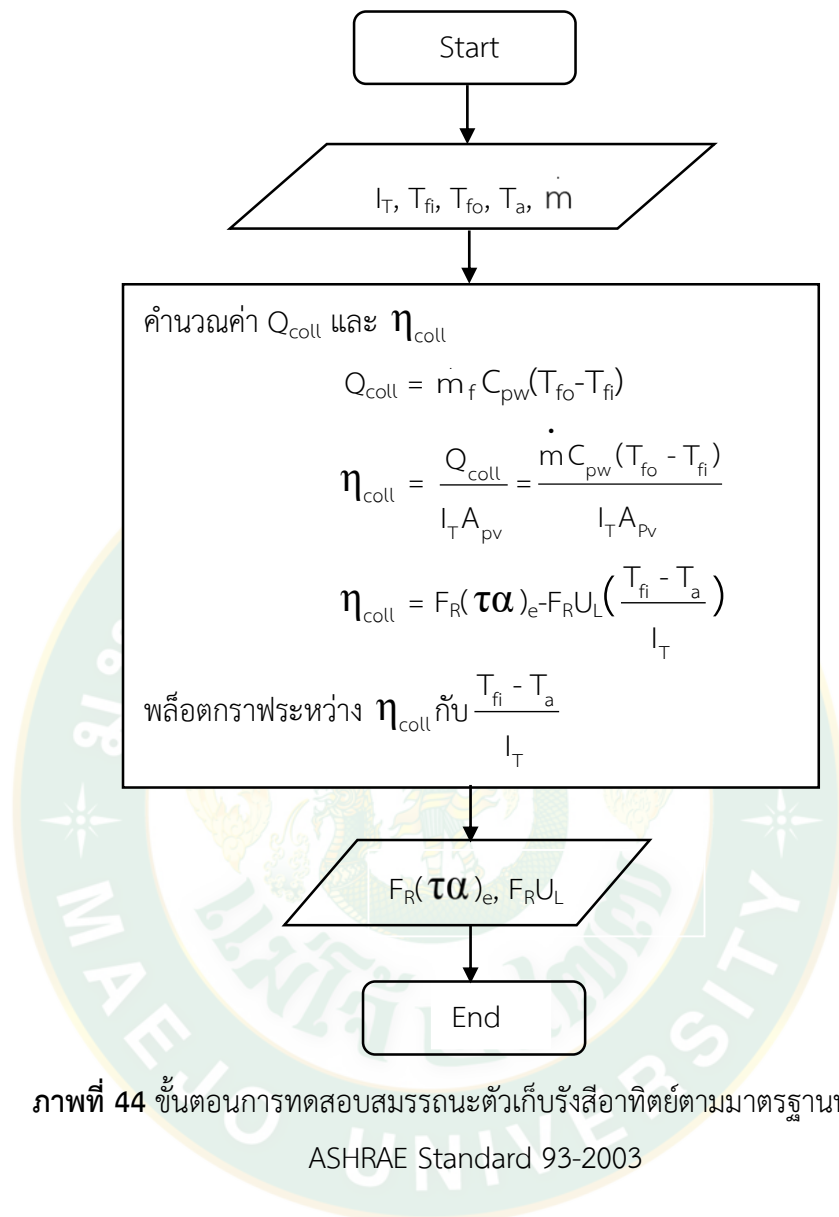
การทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานทดสอบ ASHRAE Standard 93-2003 ที่ติดตั้งชุดทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 1.627 m^2
2. ทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบตามค่ามาตรฐาน ASHRAE Standard 93-2003
 - ชุดทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หันแผงไปทางทิศใต้ โดยเอียงตามมุมกับระนาบตามละติจูดที่ตั้งของสถานที่ทดลอง ในกรณีนี้เอียงมุม 18°
 - ขณะทำการทดสอบค่ารังสีอาทิตย์ต้องมีค่า $790 \text{ W/m}^2 \pm 32 \text{ W/m}^2$
 - ควบคุมอัตราการสูญเสียความร้อนหน้าแผงให้คงที่ โดยติดตั้งพัดลมเป่าผ่านบริเวณหน้าแผง ค่าความเร็วเฉลี่ยระหว่าง $2.2 - 4.5 \text{ m/s}$
 - ควบคุมอัตราการไหลของสารทำงานในระบบให้คงที่ที่ 1.2 L/min-m^2
 - ควบคุมอุณหภูมิการทำงานเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยขดลวดไฟฟ้าโดยอุณหภูมิในการทดสอบตั้งแต่ $35 - 65 \text{ }^\circ\text{C}$ เพิ่มขึ้นครั้งละ $5 \text{ }^\circ\text{C}$
 - ระบบจะต้องเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state condition) ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิการทำงาน อุณหภูมิการทำงานเข้าและออกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ บันทึกข้อมูลทั้งหมดเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ แสดงดังภาพที่ 43
3. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 44



ภาพที่ 43 ลักษณะการทำงานของระบบที่ใช้ทดสอบตามมาตรฐาน
ASHRAE Standard 93-2003 และจุดเก็บข้อมูล





ภาพที่ 44 ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานทดสอบ
ASHRAE Standard 93-2003

4.5 การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

นำผลการทดสอบมาเทียบกับการคำนวณต่าง ๆ ในหัวข้อที่ผ่านมา ถ้าผลการทดสอบและผลการคำนวณจากสมการมีค่าใกล้เคียงกัน หรือมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จะนำสมการดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ศักยภาพในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมกับการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน ตลอดปี โดยเปรียบเทียบจากกรณีการนำไปใช้งาน คือ

- กรณีที่ 1 ใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้า ตอนกลางวัน เพียงอย่างเดียว

- กรณีที่ 2 ใช้โมดูลทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้า ตอนกลางวัน และระบบผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ตอนกลางคืน พร้อมกับนำน้ำเย็นที่ผลิตได้ มาใช้ลดอุณหภูมิโมดูลในตอนกลางวัน

ทั้งนี้การทำนายตลอดทั้งปี จะเลือกใช้กรณีที่ประหยัดไฟฟ้าได้มากกว่ามาวิเคราะห์ศักยภาพในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดปี กำหนดอัตราค่าไฟอยู่ที่ประมาณ 4.50 บาทต่อหน่วย โดยหลังจากหักค่าไฟจากปั๊มน้ำแล้ว จะวิเคราะห์ว่าระบบโมดูลชนิดใดให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด



บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

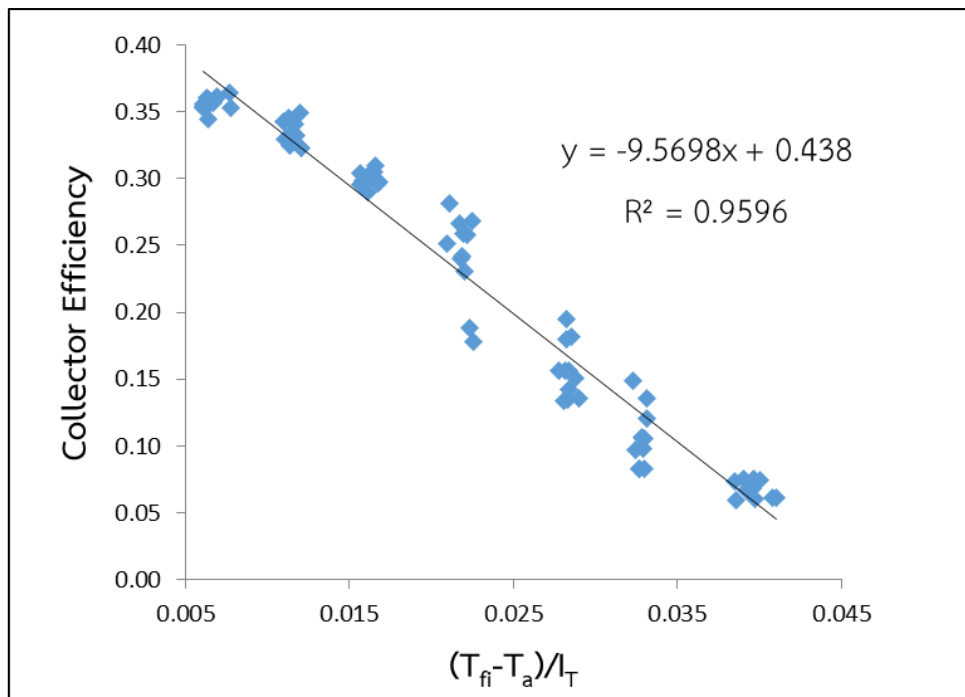
จากการศึกษาสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลากลางวัน และผลิตน้ำเย็นในเวลา กลางคืน ด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน สามารถแบ่งการวิเคราะห์และสรุปผลการ ทดลองได้ 6 ส่วน

1. สมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
2. สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ
3. สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ
4. การทดสอบเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ
5. การทำนายพฤติกรรมระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลากลางวัน และผลิตน้ำเย็นในเวลา กลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1. สมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

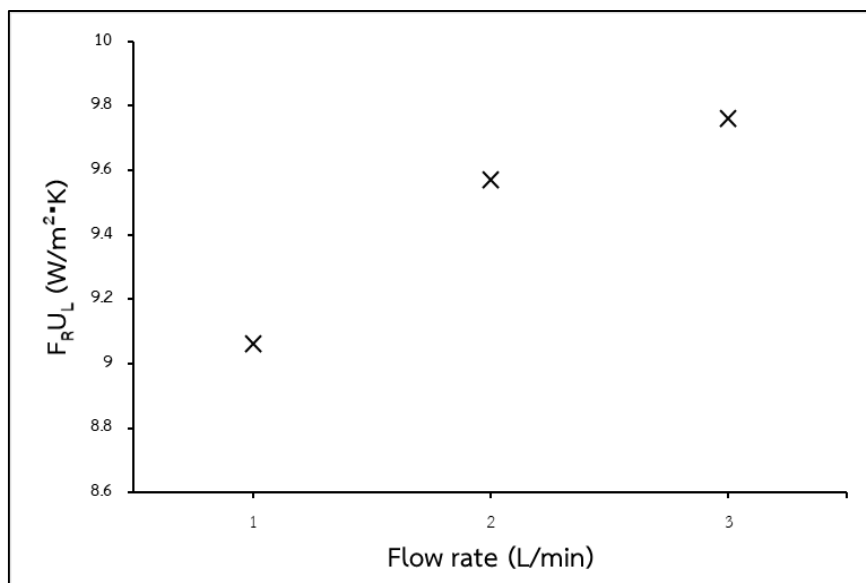
1.1 สมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.627 m^2 ได้ทำการ ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASHREA STANDARD 93-2003 ที่อัตราการไหล 2 L/min โดยจะ กำหนดอุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ $35, 40, 45, 50, 55, 60$ และ $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ผลการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 45 พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพ ทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์ แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นจะทำให้เกิดผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพทางความร้อน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จึงลดลง โดยที่อุณหภูมิสารทำงานเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ $35 \text{ }^\circ\text{C}$ จะให้ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงสุด และจากการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูล เซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHREA STANDARD 93-2003 พบว่ามีค่า $F_{RUL} = 9.5698 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ และ $F_R(\alpha\tau)_e = 0.438$

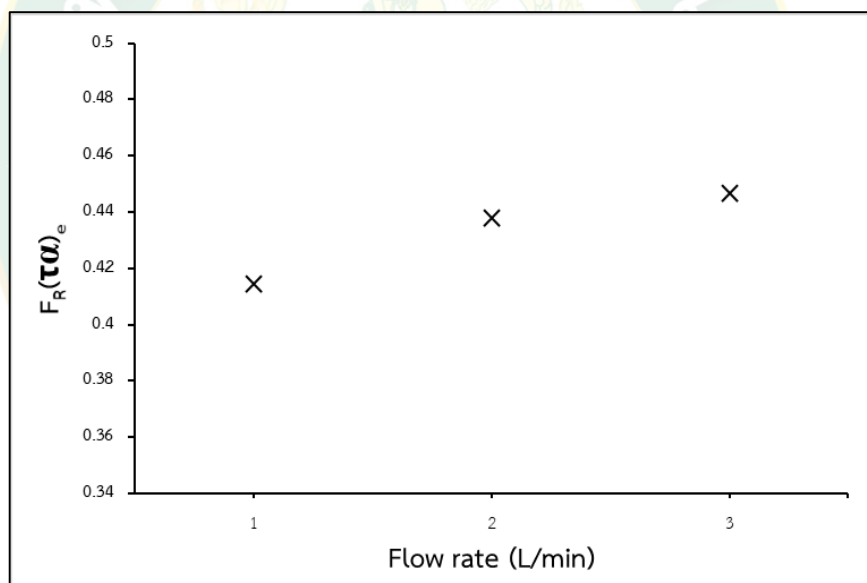


ภาพที่ 45 สมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการทดลองข้างต้นเมื่อนำค่าสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHREA STANDARD 93-2003 คำนวณหา F_{RU_L} และ $F_R(\alpha\tau)_e$ ที่อัตราการไหล 1 และ 3 L/min พบว่าที่อัตราการไหล 1 L/min มีค่า $F_{RU_L} = 9.0612 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ $F_R(\alpha\tau)_e = 0.415$ และที่อัตราการไหล 3 L/min มีค่า $F_{RU_L} = 9.7630 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ $F_R(\alpha\tau)_e = 0.447$ ดังแสดงในภาพที่ 46 และ 47 จากผลการคำนวณพบว่าเมื่ออัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ F_{RU_L} และ $F_R(\alpha\tau)_e$ มีค่าที่สูงขึ้นตาม



ภาพที่ 46 ค่า $F_R U_L$ ที่อัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min

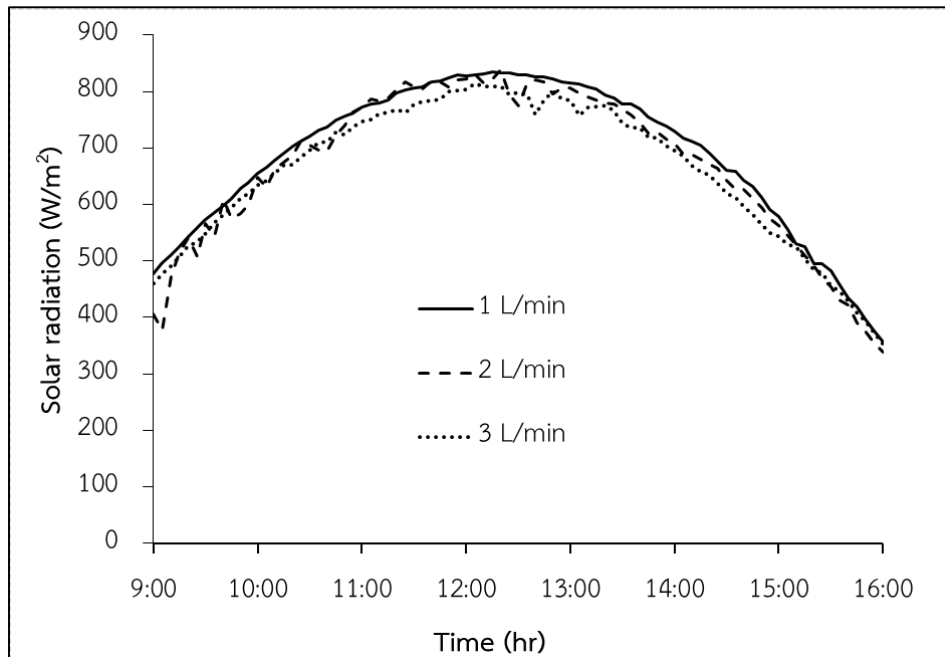


ภาพที่ 47 ค่า $F_R (\alpha\tau)_e$ ที่อัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min

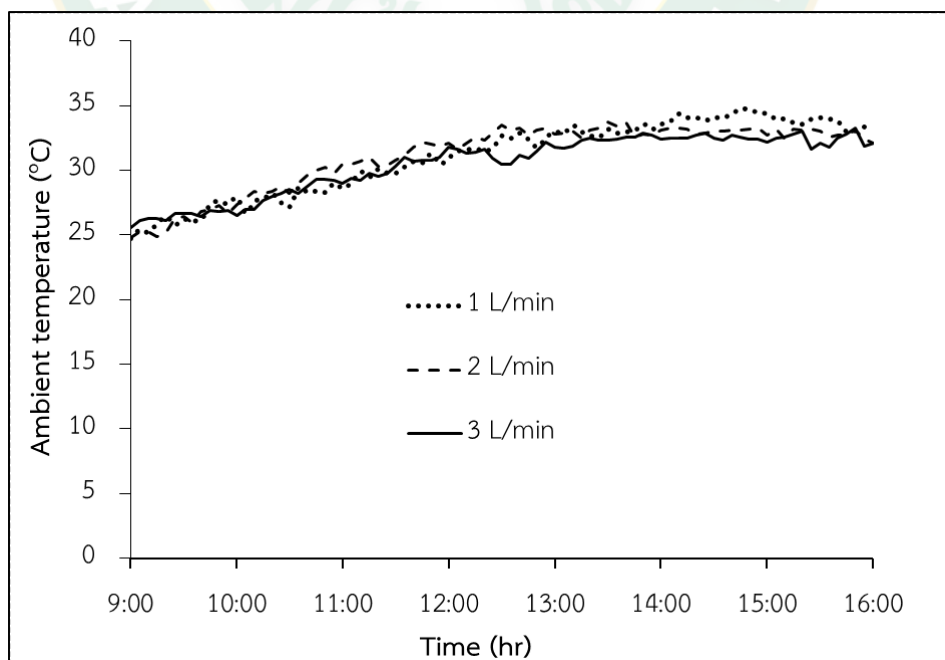
1.2 อัตราการไหลที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน และทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ 1 2 และ 3 L/min และใช้ปริมาณน้ำ 120 L ทุกอัตราการไหล โดยค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 48 และ 49 และทำการวิเคราะห์อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อน

และประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถึงเก็บน้ำร้อน กำลังไฟฟ้าที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



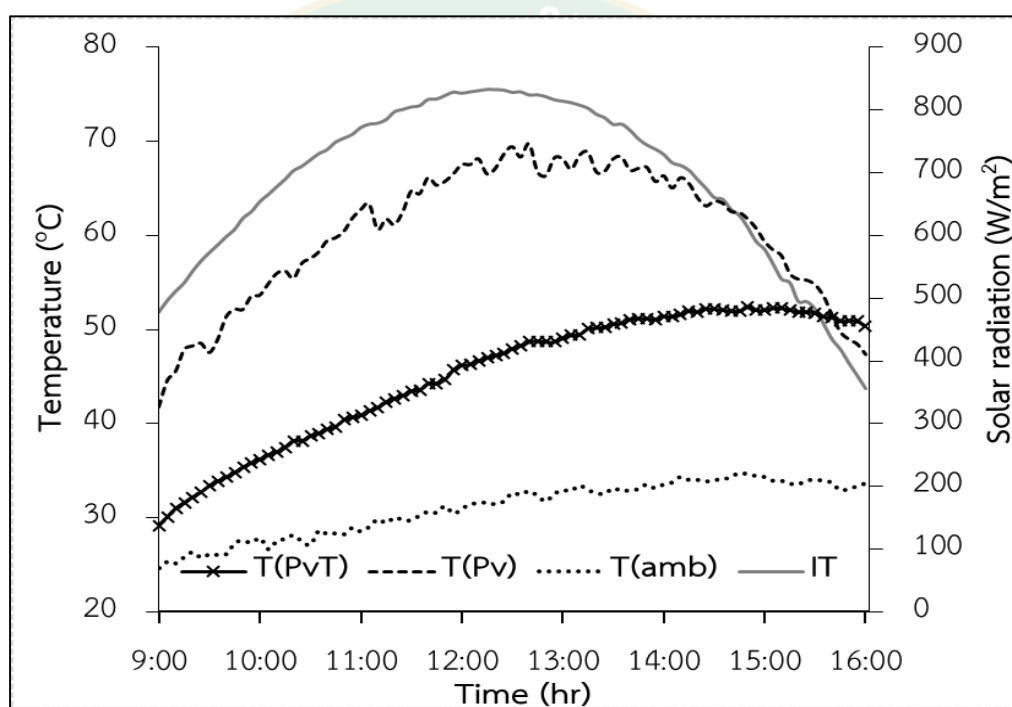
ภาพที่ 48 ค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min



ภาพที่ 49 อุณหภูมิแวดล้อมอัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min

- ผลของอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่ออุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 50 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 1 L/min เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:15 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 833.90 W/m² หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ 24.70 °C สูงสุดที่เวลา 14:45 น. มีค่าเท่ากับ 34.80 °C

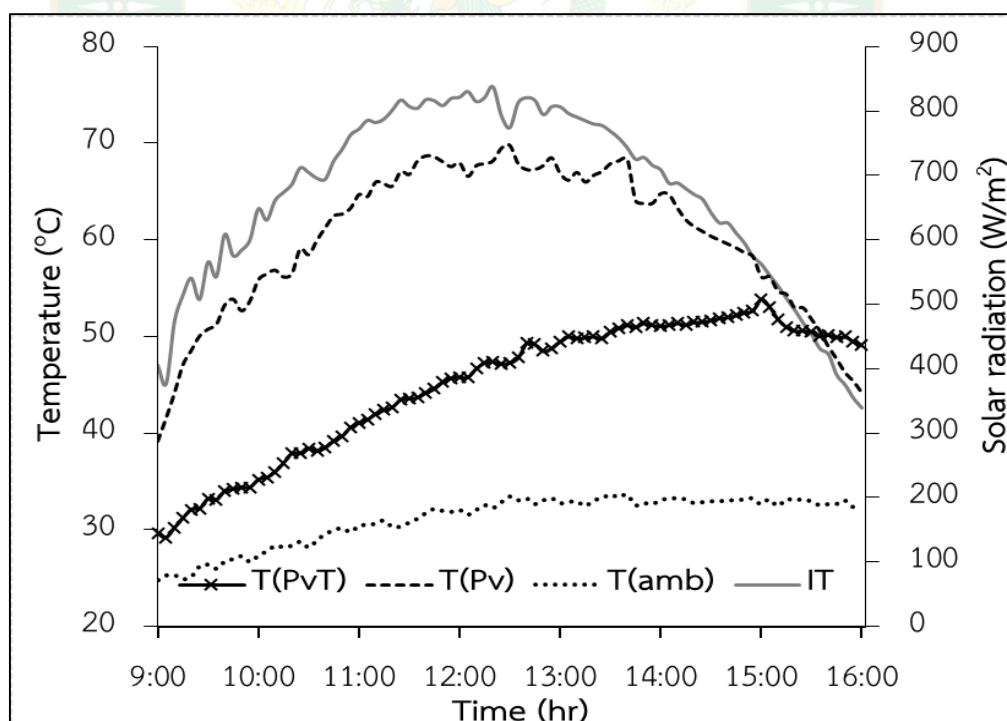


ภาพที่ 50 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 25.80 °C กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 15:40 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย 15.95 °C และสูงสุด 22.00 °C ที่เวลา 11:05 น. แต่หลังจากเวลา 15:40 น. เป็นต้นไปพบว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีมีชุดระบายความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิน้ำที่เข้าไประบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นการถ่ายเทความร้อนจากน้ำที่เข้า

มาระบายสู่อิมดุลเซลล์แสงอาทิตย์แทน ขณะเดียวกันโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนในช่วงเวลาดังกล่าว อุณหภูมิของโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์สู่อากาศแวดล้อมทำให้อุณหภูมิโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยอุณหภูมิโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย $48.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนกรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย $50.80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมิโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย $2.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ และถ้าพิจารณาอุณหภูมิโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันกรณีมีชุดระบายความร้อนกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนพบว่า อุณหภูมิโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย $45.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย $60.33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมิโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย $15.10\text{ }^{\circ}\text{C}$

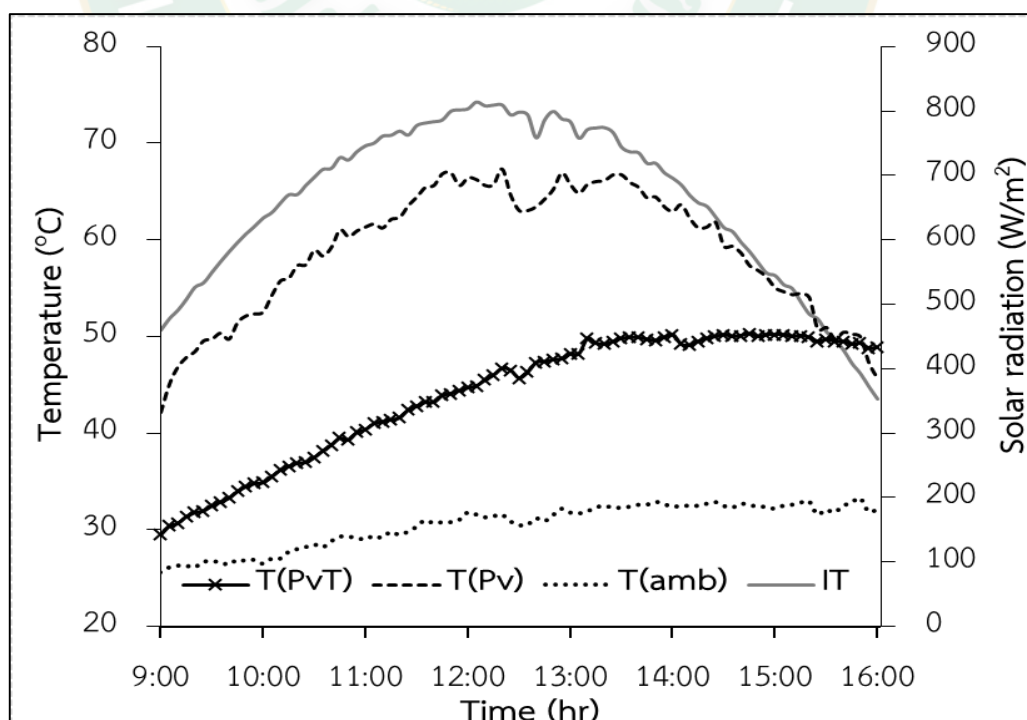
จากภาพที่ 51 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 2 L/min ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:20 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 838.25 W/m^2 หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ $24.80\text{ }^{\circ}\text{C}$ สูงสุดที่เวลา 13:30 น. มีค่าเท่ากับ $33.70\text{ }^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 51 อุณหภูมิโมดุลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ $25.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 15:35 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย $16.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงสุด $24.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 11:35 น. แต่หลังจากเวลา 15:35 น. เป็นต้นไปพบว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีมีชุดระบายความร้อน โดยอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย $46.52\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนกรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย $49.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย $3.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ และถ้าพิจารณาอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันกรณีมีชุดระบายความร้อนกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนพบว่า อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย $44.93\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย $60.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย $15.14\text{ }^{\circ}\text{C}$

จากภาพที่ 52 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 3 L/min ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:05 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 814.20 W/m^2 หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ $25.60\text{ }^{\circ}\text{C}$ สูงสุดที่เวลา 15:50 น. มีค่าเท่ากับ $33.30\text{ }^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 52 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 25.60 °C กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 15:50 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย 15.20 °C และสูงสุด 22.90 °C ที่เวลา 11:45 น. แต่หลังจากเวลา 15:50 น. เป็นต้นไปพบว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีมีชุดระบายความร้อน โดยอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 46.40 °C ส่วนกรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 48.85 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 2.45 °C และถ้าพิจารณาอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันกรณีมีชุดระบายความร้อนกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนพบว่า อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 44.01 °C ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 58.79 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 14.79 °C

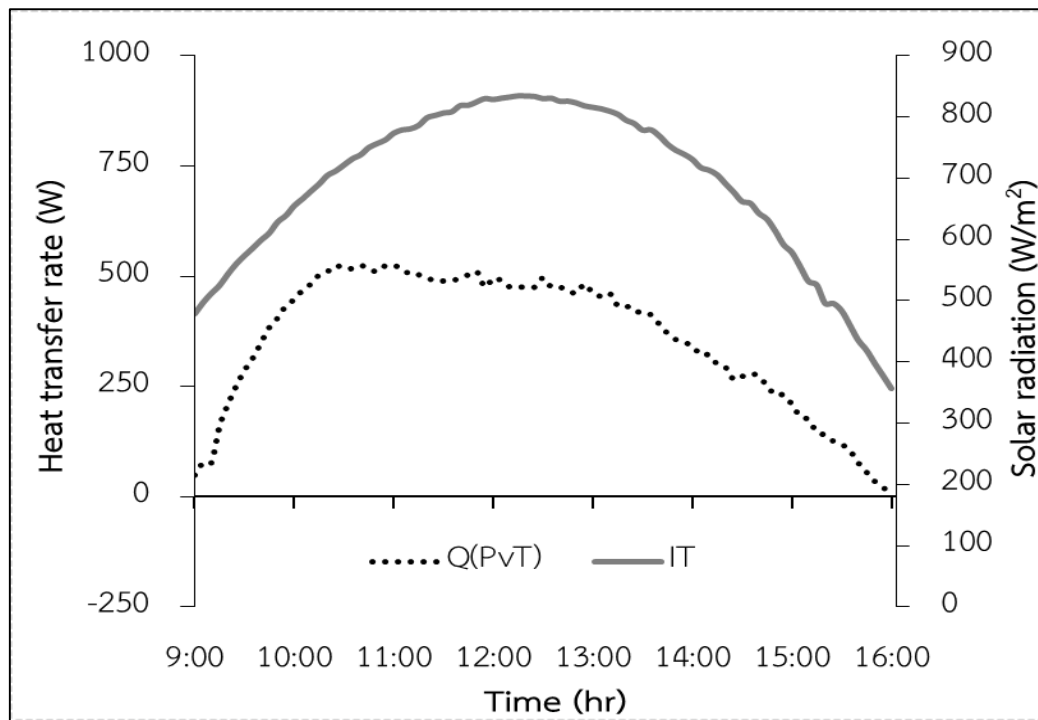
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลง พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ 2 3 และ 1 L/min ตามลำดับ

- **ผลของอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์**

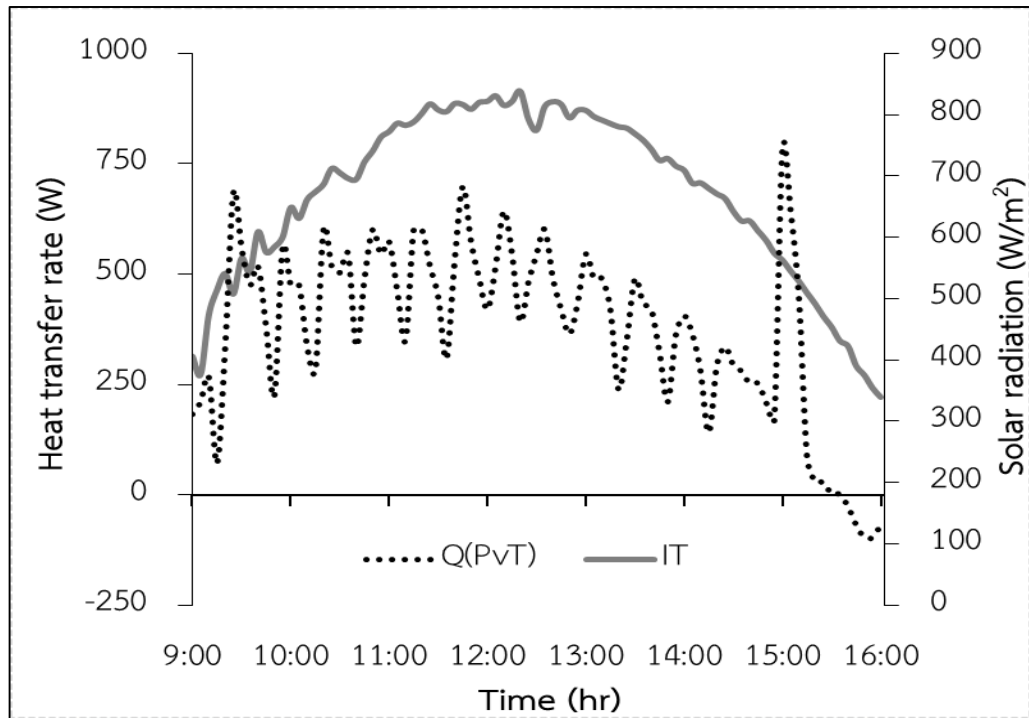
จากภาพที่ 53 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 1 L/min เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 30,481.36 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 358.60 W และที่ 10:25 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 523.38 W จากภาพที่ 54 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 2 L/min เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 31,798.89 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 374.10 W และที่ 15:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 781.57 W จากภาพที่ 55 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 3 L/min เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 –

16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 26,461.84 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 311.32 W และที่ 10:40 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 816.47 W

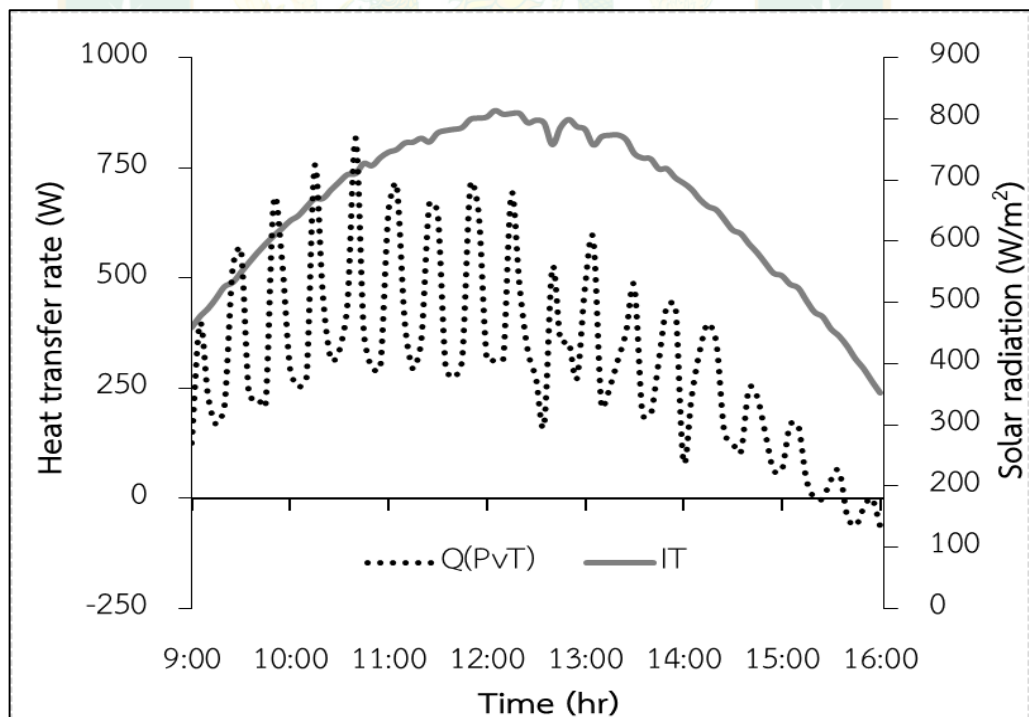
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ 2 l และ 3 L/min ตามลำดับ



ภาพที่ 53 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min



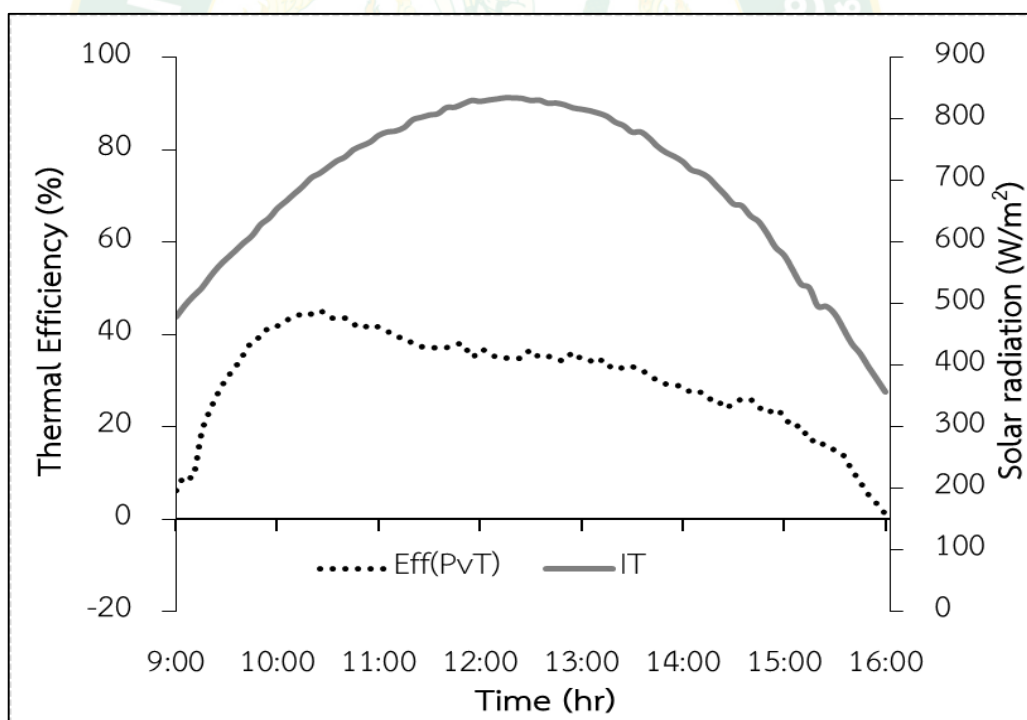
ภาพที่ 54 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min



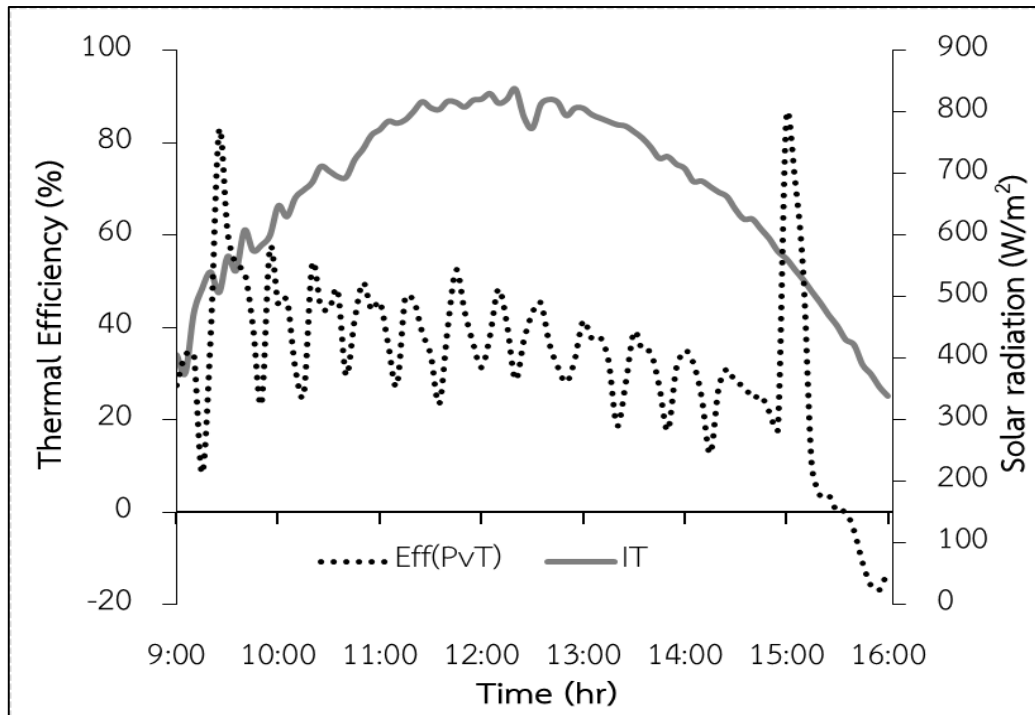
ภาพที่ 55 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min

จากภาพที่ 56 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลที่ 1 L/min พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 30.45% และที่เวลา 10:25 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 45.23% จากภาพที่ 57 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลที่ 2 L/min พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 32.74% และที่เวลา 15:00 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 85.39% จากภาพที่ 58 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลที่ 3 L/min พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 27.47% และที่เวลา 10:40 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 70.55%

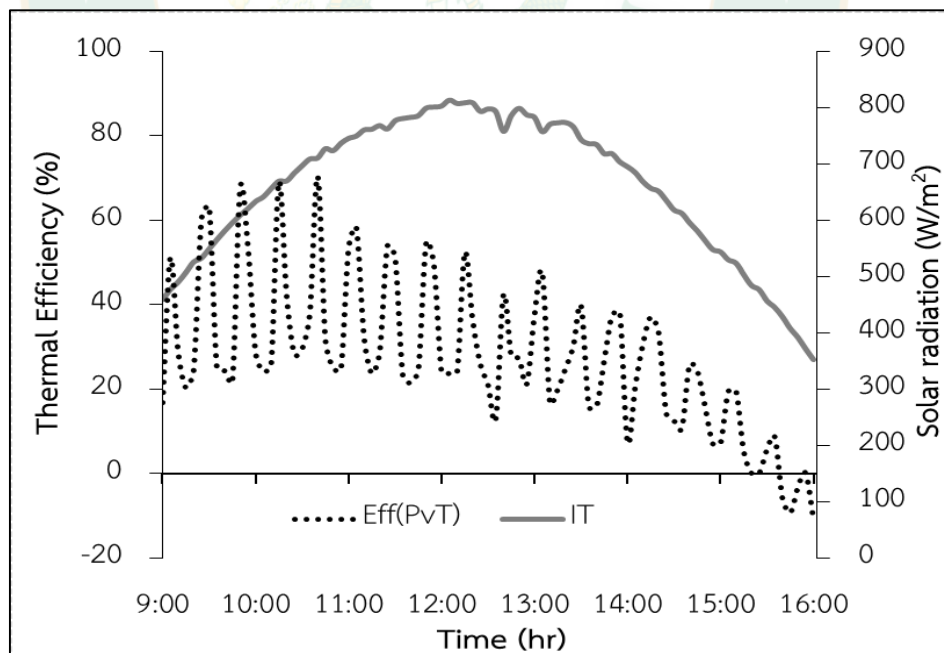
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ 2 1 และ 3 L/min ตามลำดับ



ภาพที่ 56 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min



ภาพที่ 57 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min

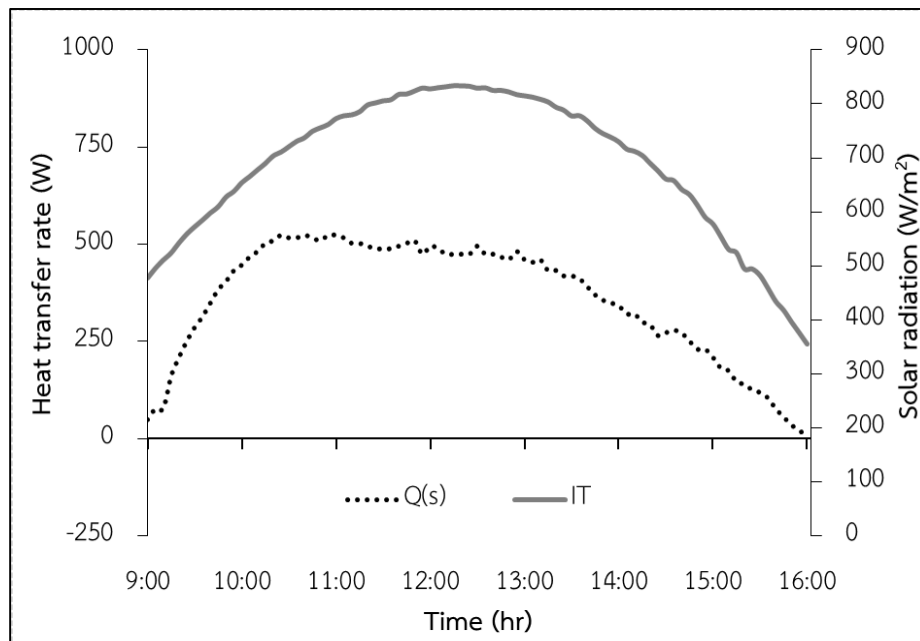


ภาพที่ 58 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min

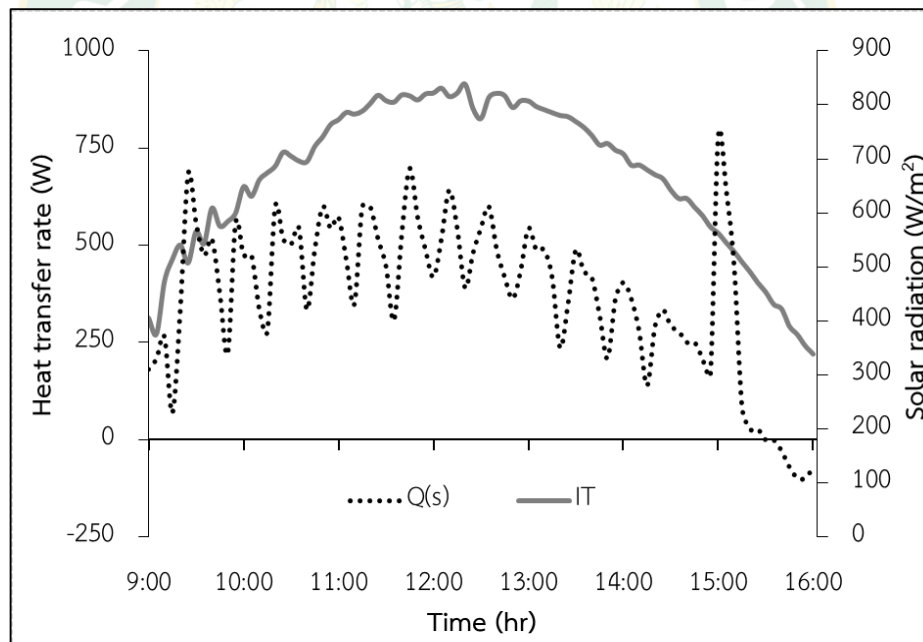
- ผลของอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน

จากภาพที่ 59 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 1 L/min เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 30,481.36 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 358.60 W และที่ 10:25 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 523.38 W จากภาพที่ 60 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 2 L/min เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 31,798.89 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 374.10 W และที่ 15:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 781.57 W จากภาพที่ 61 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 3 L/min เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 26,461.84 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 311.32 W และที่ 10:40 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 816.47 W

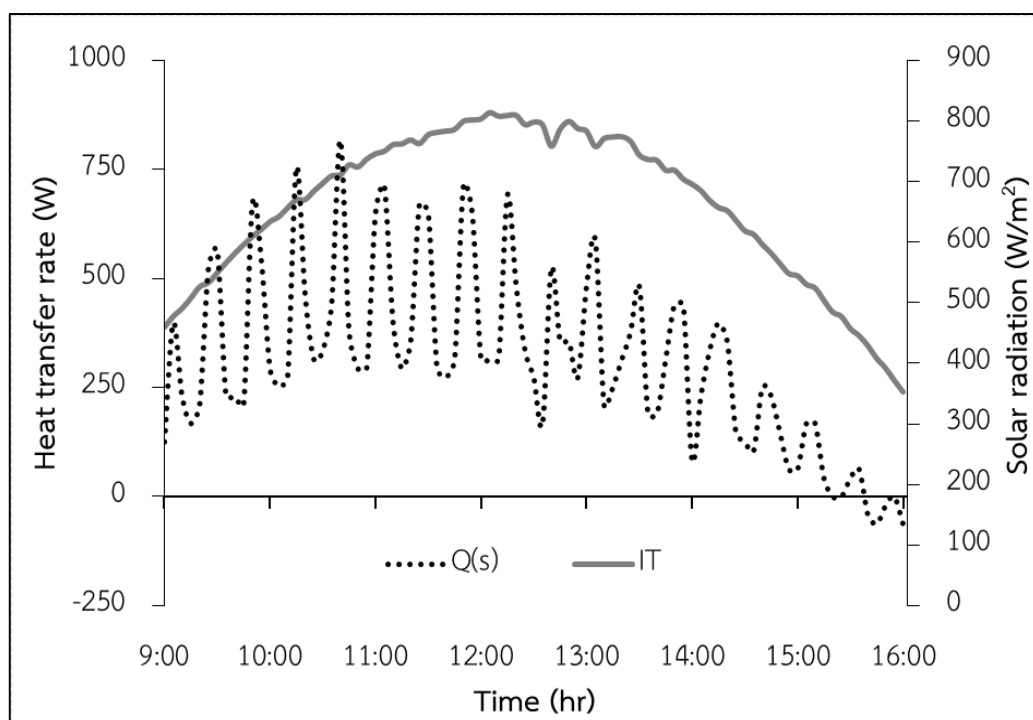
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่ถังเก็บน้ำร้อน ได้แก่ 2 l และ 3 L/min ตามลำดับ



ภาพที่ 59 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min



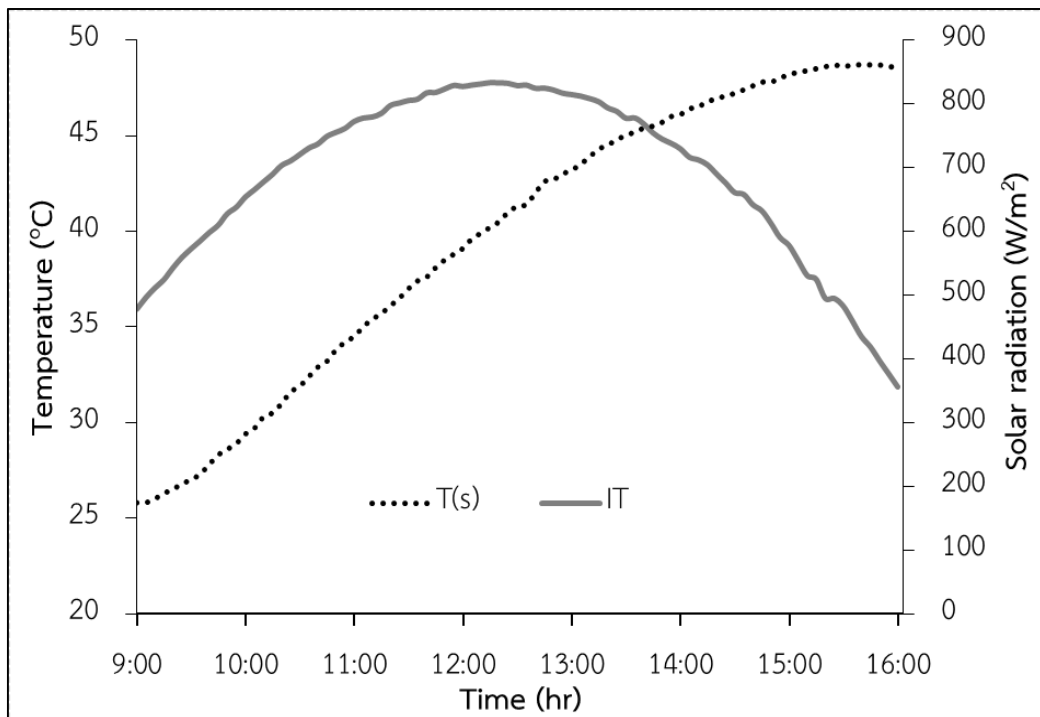
ภาพที่ 60 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min



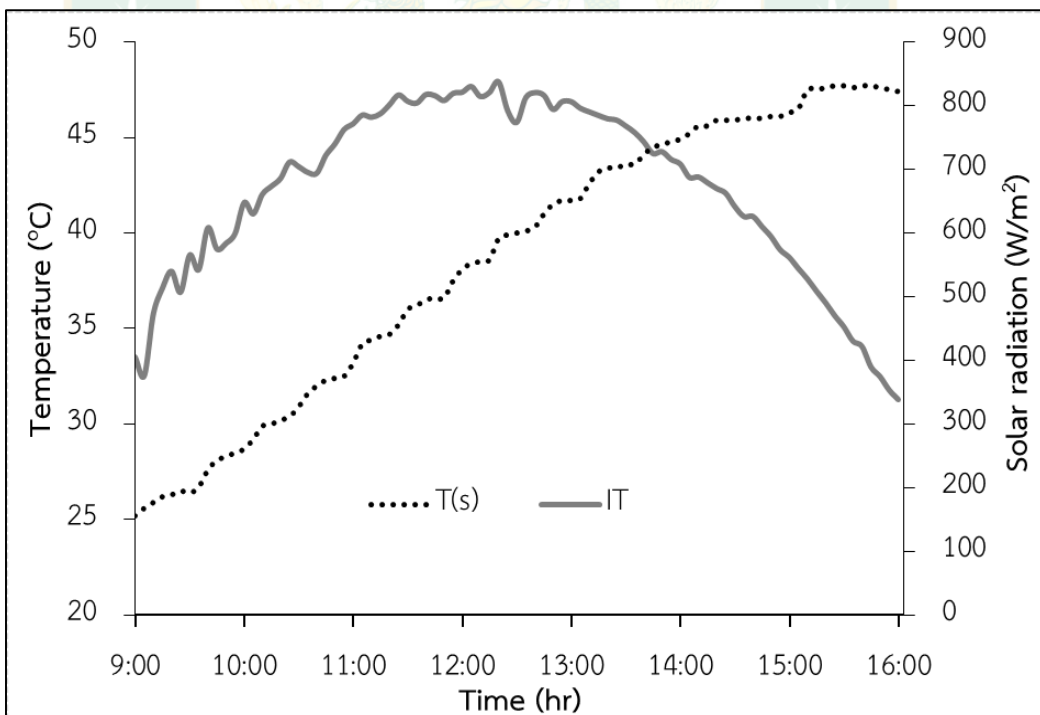
ภาพที่ 61 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min

จากภาพที่ 62 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 1 L/min เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25.80 °C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 15:25 น. อุณหภูมิน้ำ 48.70 °C แต่หลังจากเวลา 15:25 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มคงที่เนื่องจากค่ารังสีที่ลดลง และที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 48.60 °C จากภาพที่ 63 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 2 L/min เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25.20 °C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 15:25 น. อุณหภูมิน้ำ 47.70 °C แต่หลังจากเวลา 15:25 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มคงที่เนื่องจากค่ารังสีที่ลดลง และที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 47.40 °C จากภาพที่ 64 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 3 L/min เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25.60 °C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 15:35 น. อุณหภูมิน้ำ 46.80 °C แต่หลังจากเวลา 15:35 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มคงที่เนื่องจากค่ารังสีที่ลดลง และที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 46.80 °C

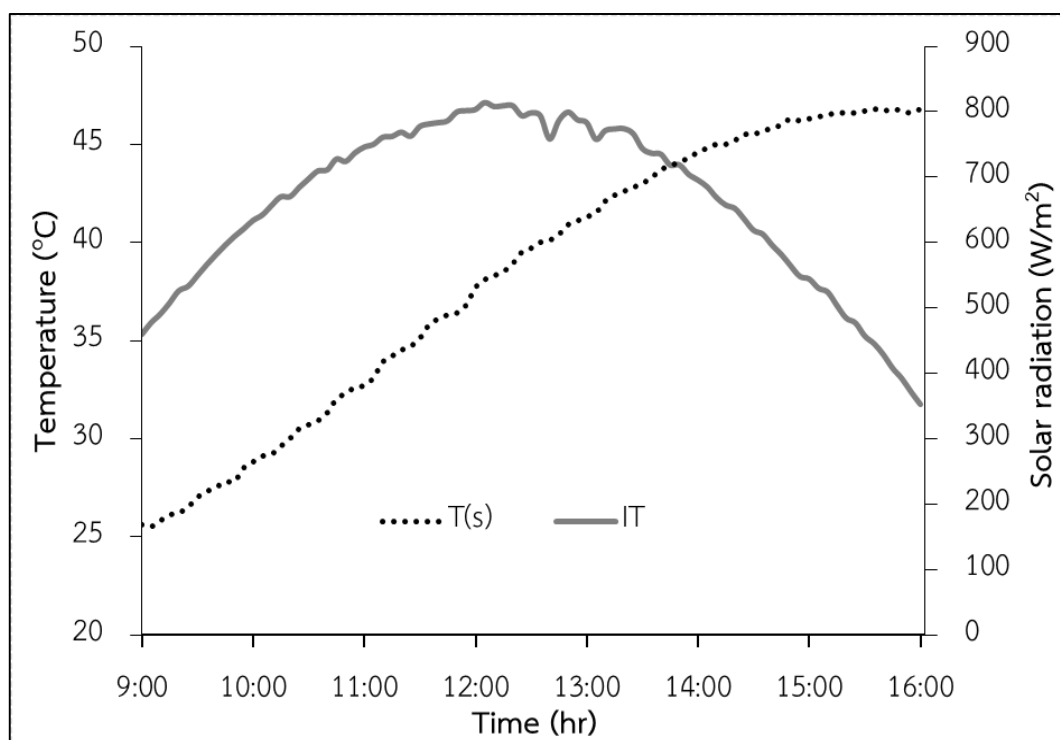
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ที่เวลา 16:00 น. พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับอุณหภูมิน้ำร้อนได้แก่ 1 2 และ 3 L/min ตามลำดับ



ภาพที่ 62 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min



ภาพที่ 63 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min

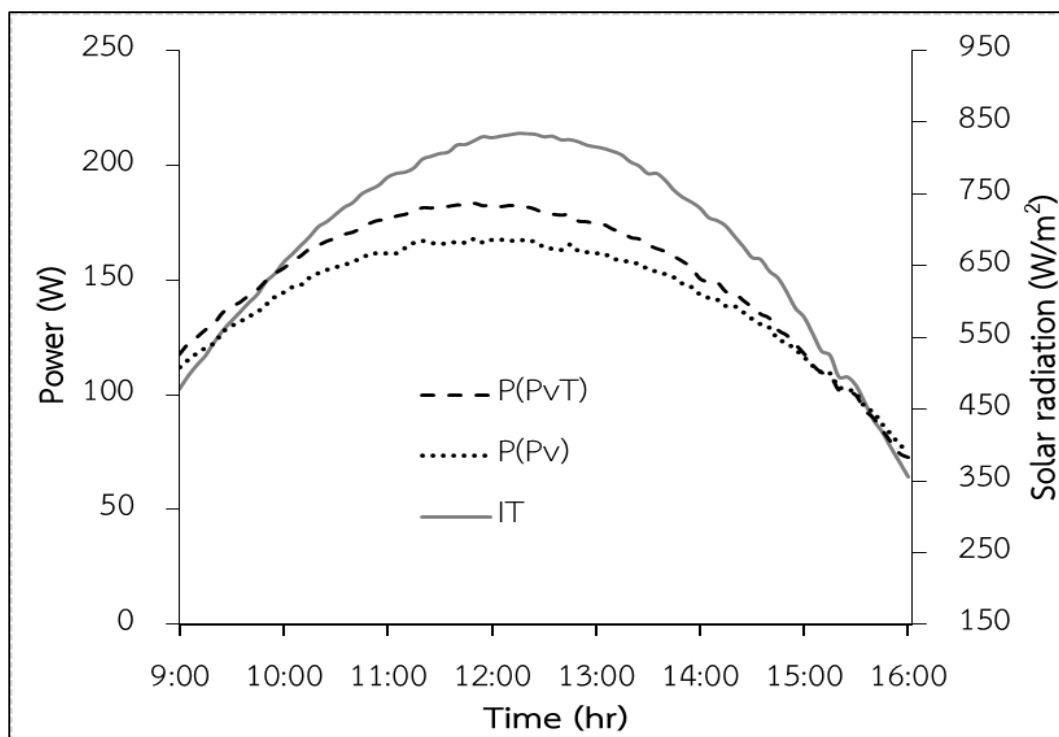


ภาพที่ 64 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min

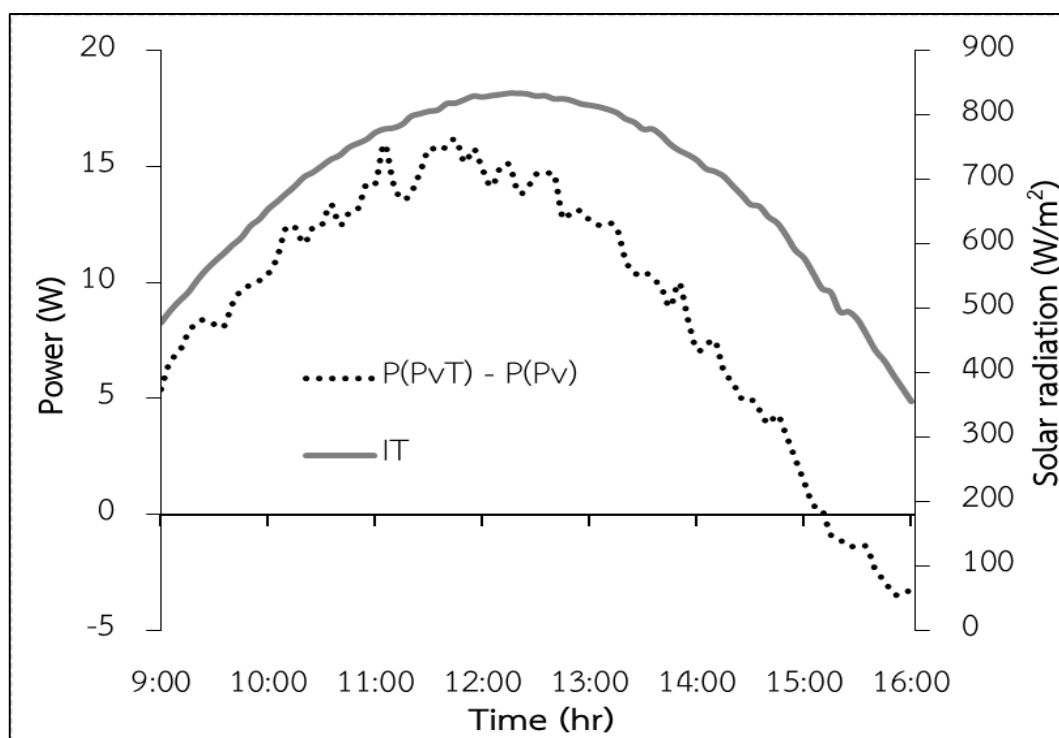
- ผลของอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่อกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำเช่นเดียวกับค่ารังสีอาทิตย์เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปตามค่ารังสีอาทิตย์ อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้ายังแปรผกผันกับอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์เดียวกันการลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับกรณีไม่มีการระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จากภาพที่ 65 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 1 L/min อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25.80 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:10 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 159.30 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 148.73 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 10.58 W แสดงดังภาพที่ 66 และที่เวลา 11:45 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 16.20 W เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่น้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุด แต่หลังจากเวลา 15:10 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 92.87 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 90.71 W เนื่องจากอุณหภูมิน้ำที่นำมาระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงจึงไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่กลับเป็นน้ำที่ถ่ายเทความร้อนให้กับโมดูลเซลล์

แสงอาทิตย์แทน พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.06 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.99 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.07 kWh

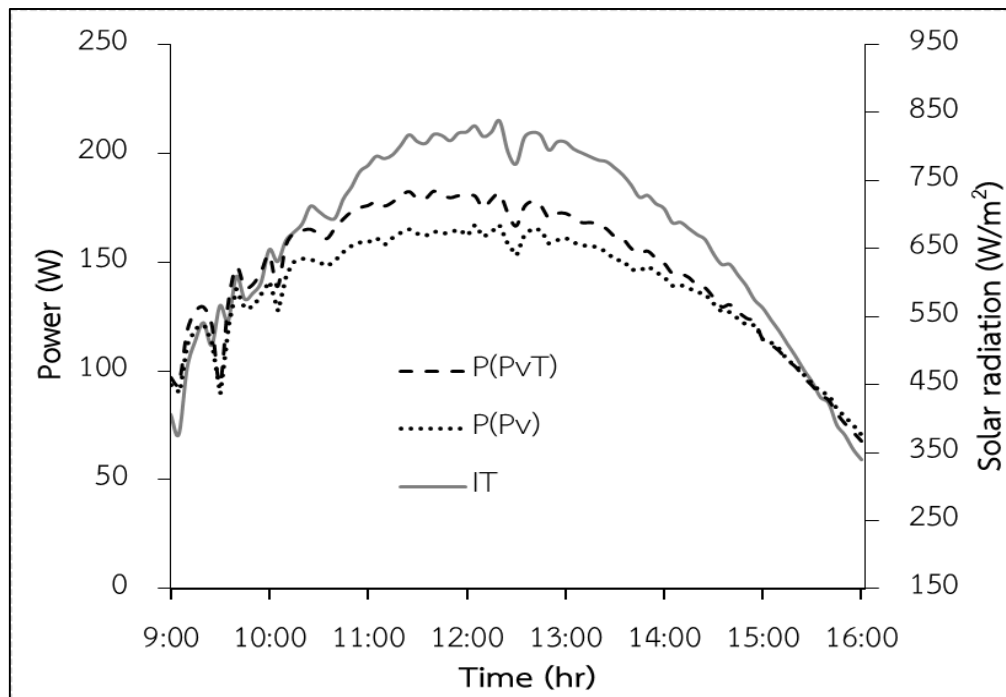


ภาพที่ 65 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min

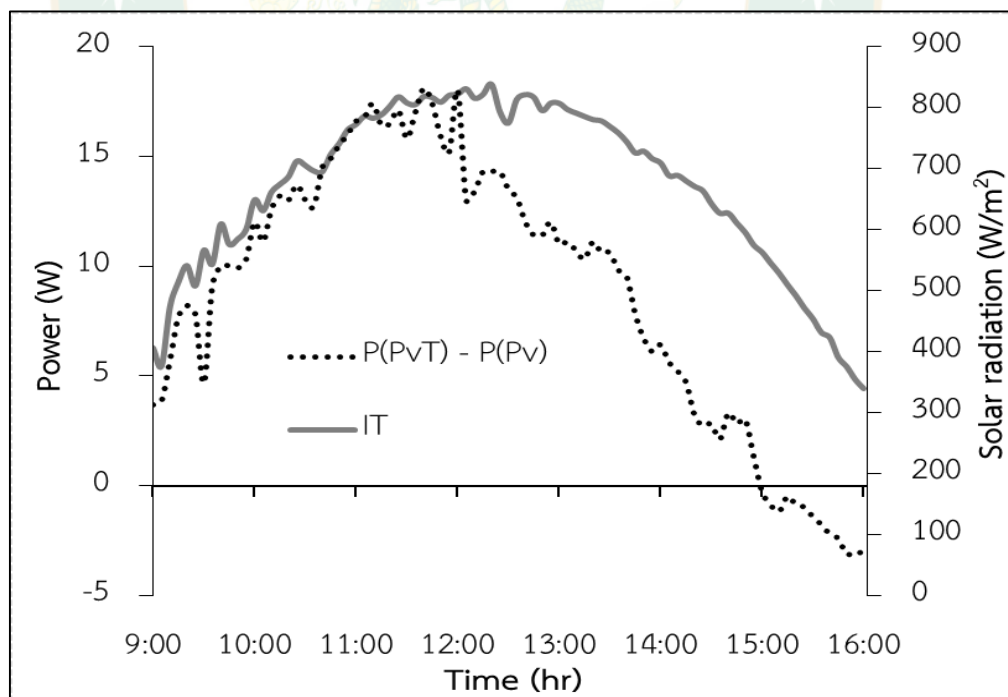


ภาพที่ 66 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min

จากภาพที่ 67 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 2 L/min อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25.20 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 156.47 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 145.74 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 10.73 W แสดงดังภาพที่ 68 และที่เวลา 11:40 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 18.10 W แต่หลังจากเวลา 14:55 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 94.31 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 92.62 W พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.03 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.96 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.07 kWh



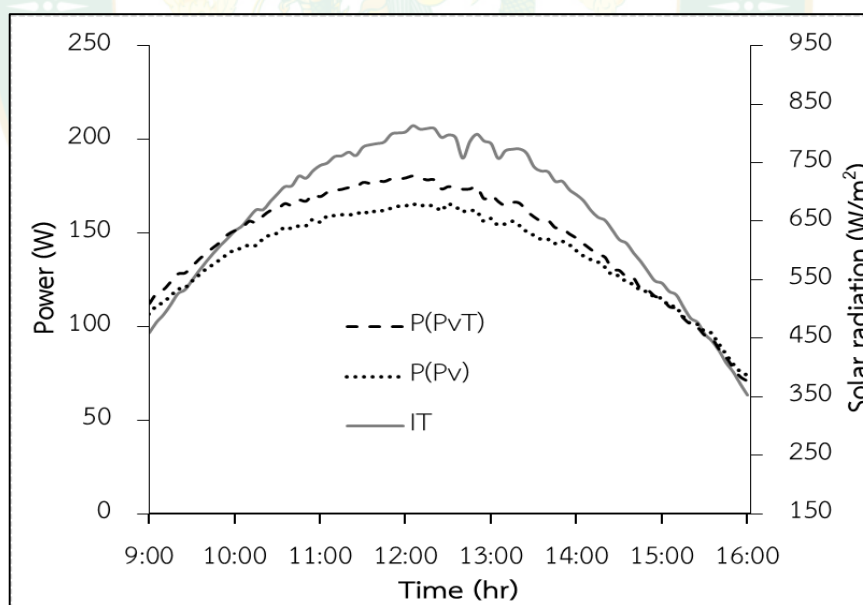
ภาพที่ 67 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min



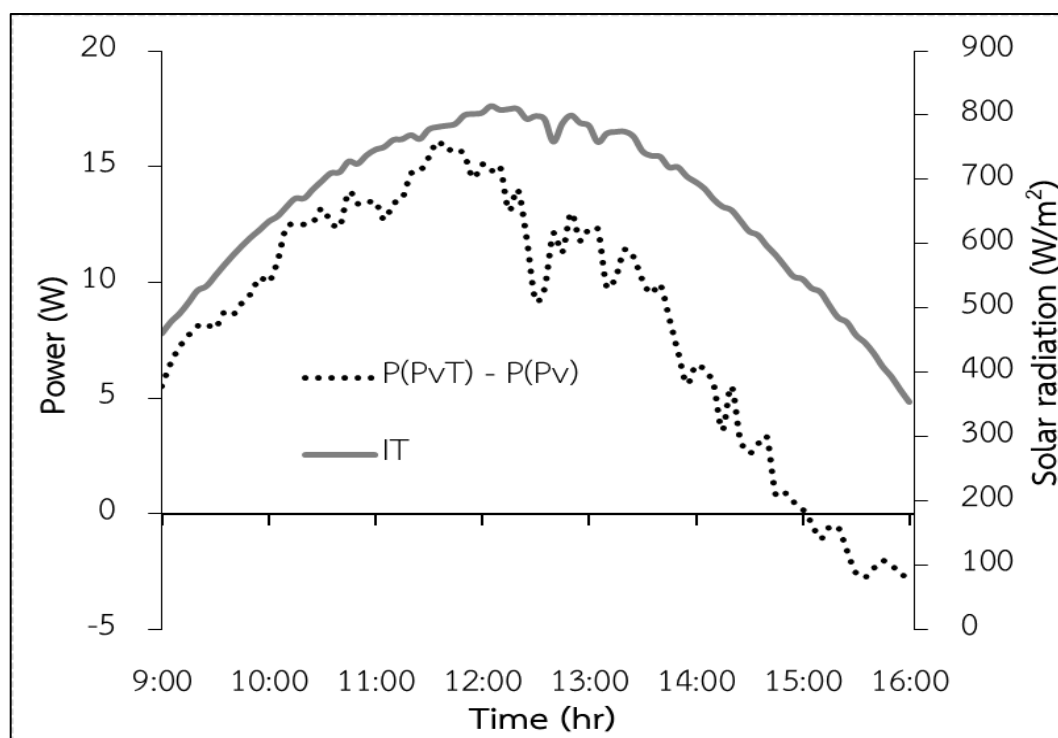
ภาพที่ 68 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min

จากภาพที่ 69 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 3 L/min อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25.60 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:00 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 155.23 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 145.18 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 10.05 W แสดงดังภาพที่ 70 และที่เวลา 11:35 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 16.10 W แต่หลังจากเวลา 15:00 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 94.24 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 92.41 W พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.02 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.96 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.06 kWh

จากการพิจารณาผลของอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่อกำลังไฟฟ้า พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมจะมีทิศทางเดียวกันกับการพิจารณาผลของอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่ออุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะได้อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนที่เหมาะสมได้แก่ 2 3 และ 1 L/min ตามลำดับ



ภาพที่ 69 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min



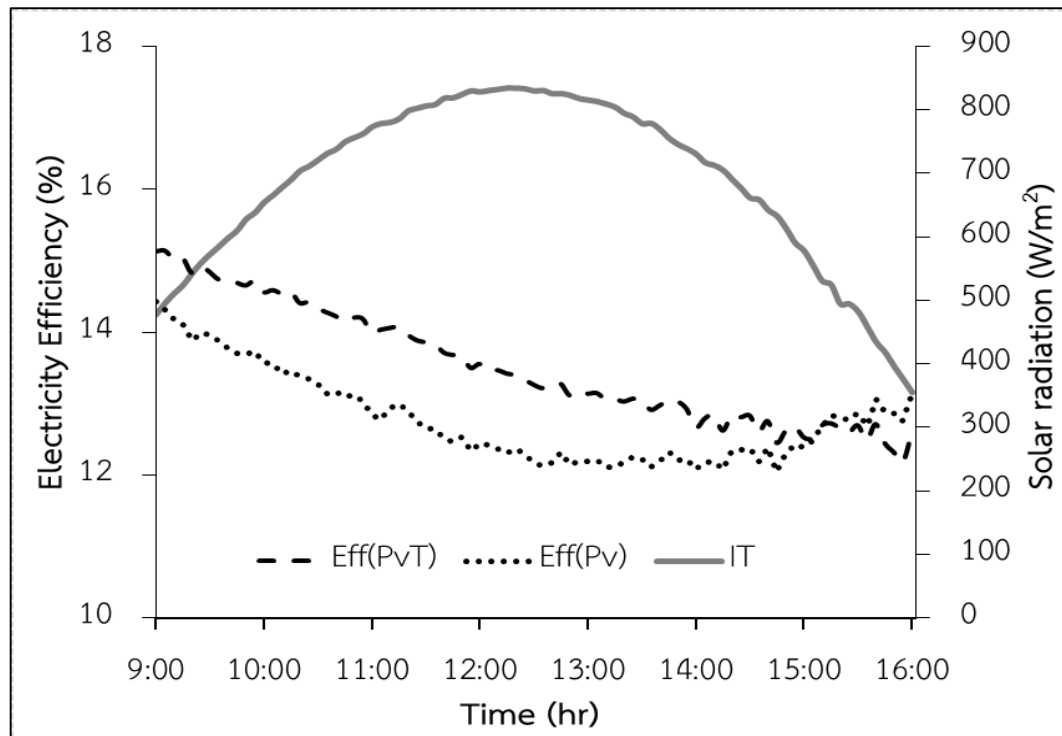
ภาพที่ 70 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min

- ผลของอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

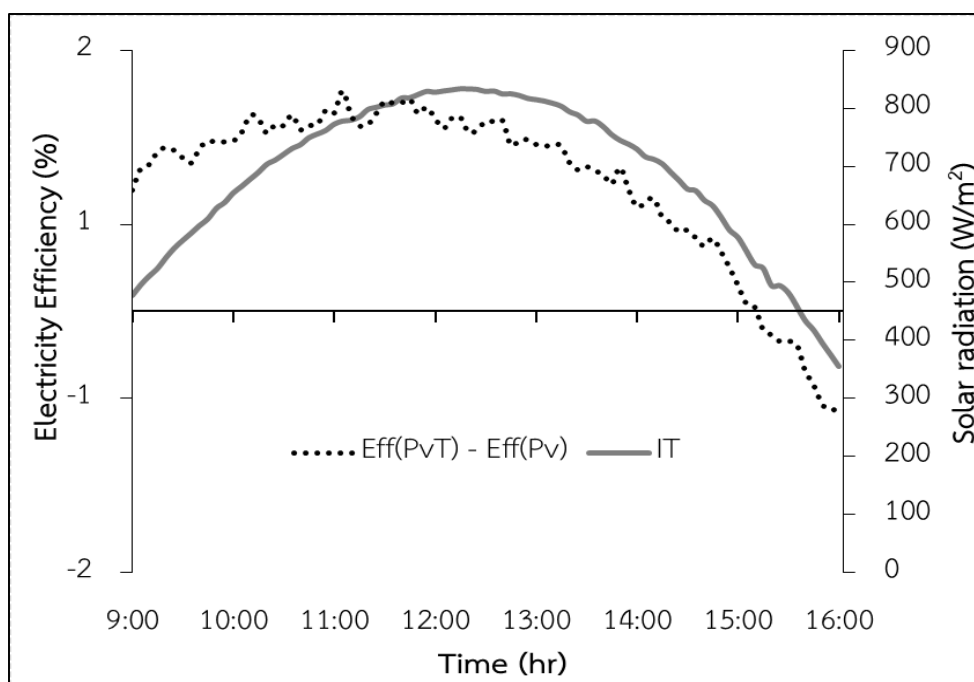
จากภาพที่ 71 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 1 L/min ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนพบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:10 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 13.65 และ 12.77% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่หลังจากเวลา 15:10 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.87% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.55% ซึ่งกรณีที่มีระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน เนื่องจากน้ำที่ไประบายความร้อนไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 15:10 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.89% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 9.89% แต่หลังจากเวลา 15:10 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -2.48% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบาย

ความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่าเนื่องจาก น้ำไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังภาพที่ 72 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 5.79%

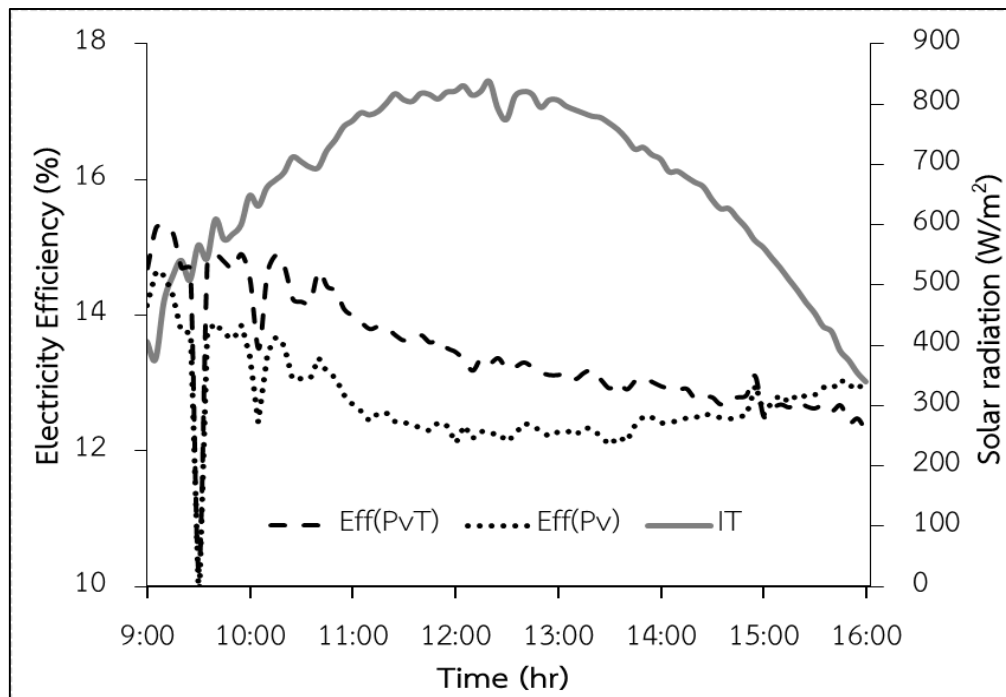


ภาพที่ 71 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min

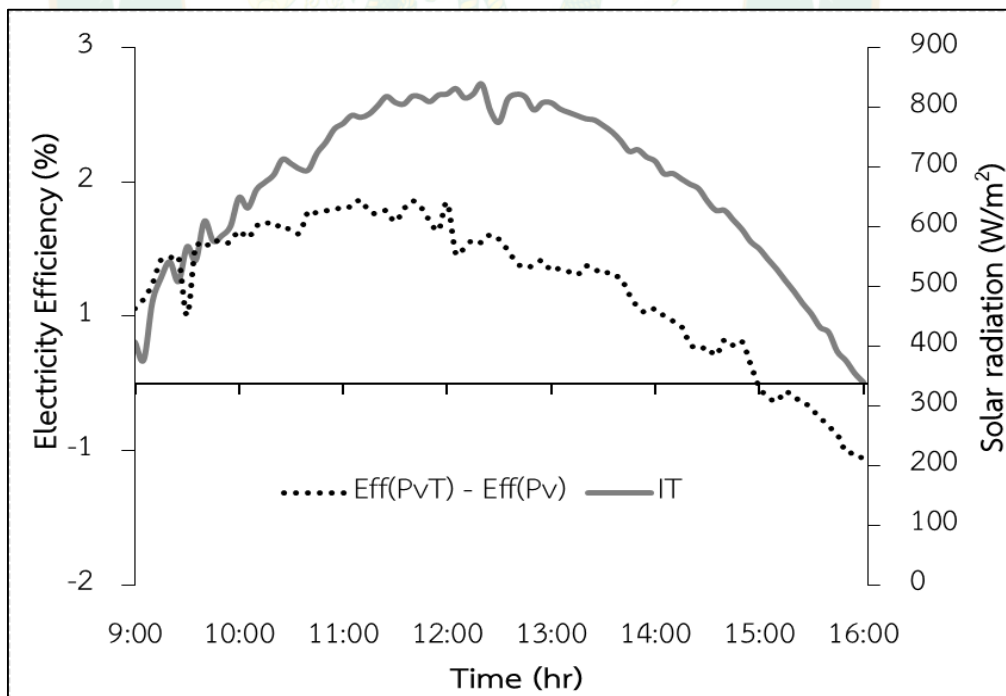


ภาพที่ 72 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min

จากภาพที่ 73 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 2 L/min ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 13.63 และ 12.73% ตามลำดับ แต่หลังจากเวลา 14:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.84% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.59% พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 14:55 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.15% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 11.11% แต่หลังจากเวลา 14:55 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -1.99% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า แสดงดังภาพที่ 74 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 5.75%

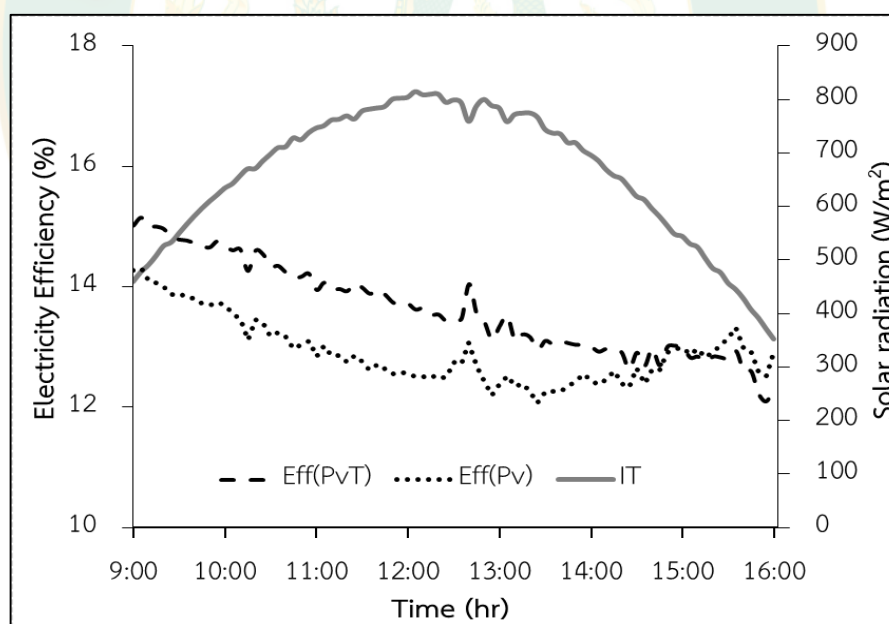


ภาพที่ 73 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min

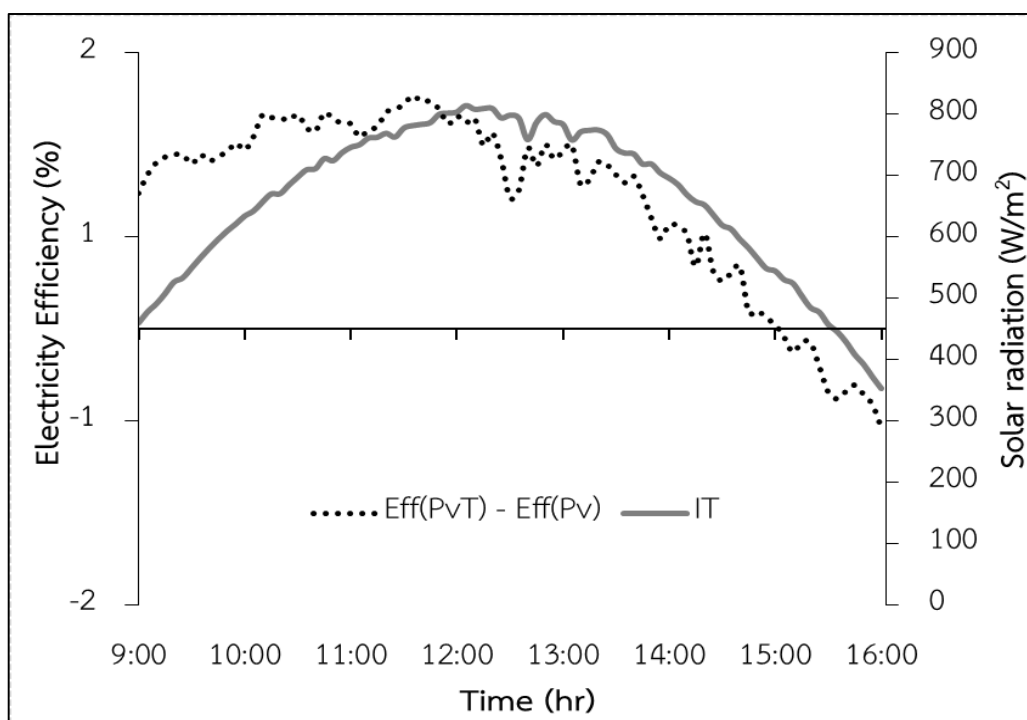


ภาพที่ 74 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min

จากภาพที่ 75 กรณีทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ระบายความร้อน 3 L/min ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:00 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 13.78 และ 12.91% แต่หลังจากเวลา 15:00 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.91% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.64% พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 15:00 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.73% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 10.04% แต่หลังจากเวลา 15:00 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -2.08% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า แสดงดังภาพที่ 76 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 5.48%



ภาพที่ 75 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min



ภาพที่ 76 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 L/min

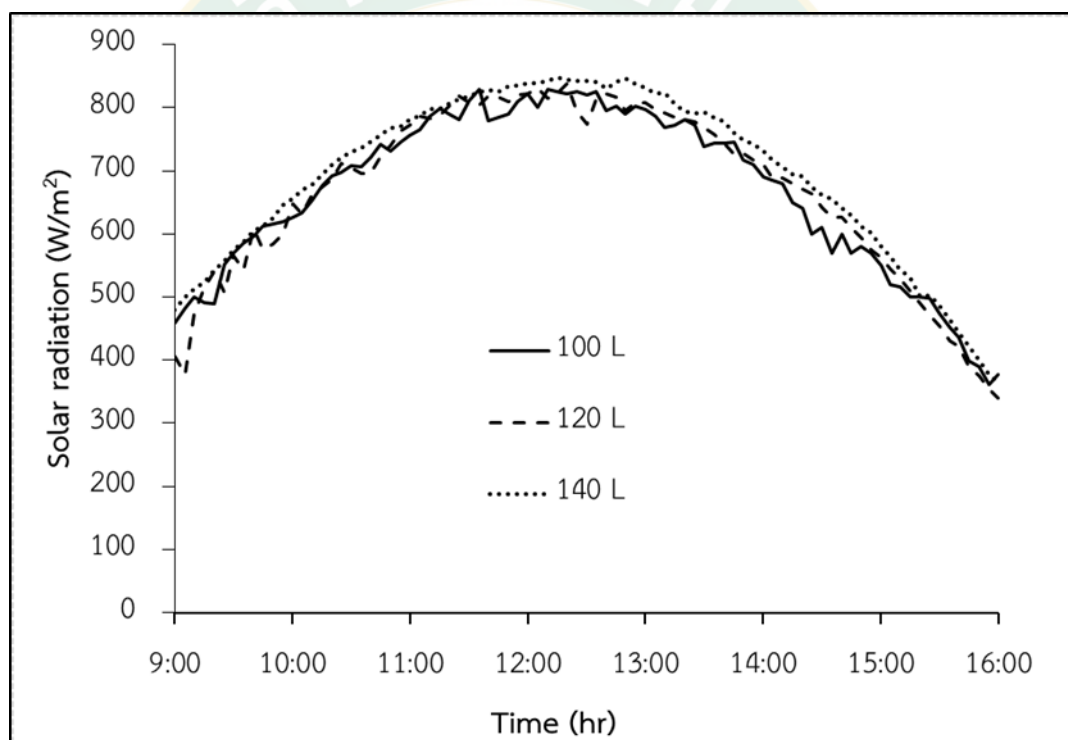
สรุปผลของอัตราการไหลของน้ำต่อประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอด
ทั้งวันโดยใช้ปริมาณน้ำ 120 L เมื่อพิจารณาทางด้านความร้อนที่อัตราการไหล 2 L/min ให้อัตราการ
ถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนสูงสุด
31.80 kW ทางด้านไฟฟ้าที่อัตราการไหล 1 L/min สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันได้สูงสุด
9.08 W แต่เมื่อพิจารณาพลังงานสุทธิของระบบ (E_{net}) ที่อัตราการไหล 2 L/min ให้พลังงานสุทธิสูง
ที่สุด 12.93 MJ/day ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับระบบได้แก่ 2 L/min แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลของอัตราการไหลของน้ำต่อประสิทธิภาพโม่ดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน

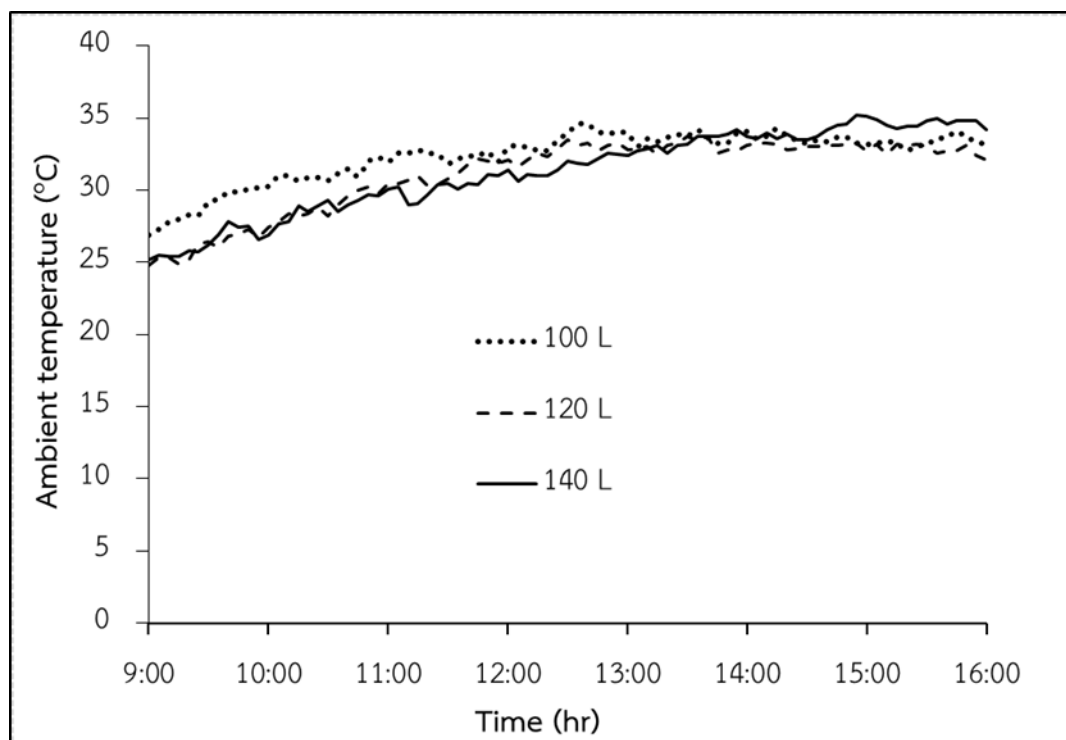
อัตราการไหล (L/min)		1	2	3
อุณหภูมิโม่ดูลเซลล์ แสงอาทิตย์ (°C)	- มีการระบายความร้อน	45.23	44.93	44.01
	- ไม่มีการระบายความร้อน	60.33	60.07	58.79
	- อุณหภูมิลดลง	15.10	15.14	14.78
อัตราการถ่ายเทความร้อนของ โม่ดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)	- มีการระบายความร้อน	30.48	31.80	26.46
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-
ประสิทธิภาพทางความร้อนของ โม่ดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	- มีการระบายความร้อน	30.45	32.74	27.47
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึง น้ำร้อน (kW)	- มีการระบายความร้อน	30.48	31.80	26.46
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-
อุณหภูมิน้ำที่ถึงเก็บน้ำ (°C)	- มีการระบายความร้อน	48.60	47.40	46.80
กำลังไฟฟ้าที่โม่ดูลเซลล์ แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ (W)	- มีการระบายความร้อน	151.23	146.70	146.36
	- ไม่มีการระบายความร้อน	142.15	137.87	137.99
	- กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น	9.08	8.83	8.37
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของ โม่ดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	- มีการระบายความร้อน	13.52	13.47	13.62
	- ไม่มีการระบายความร้อน	12.78	12.74	12.91
	- ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น	5.79	5.75	5.48
พลังงานสุทธิของระบบ (MJ/day)	- มีการระบายความร้อน	12.75	12.93	11.22

1.3 ผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำในถังที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำในถังที่ 100 120 และ 140 L และใช้อัตราการไหล 2 L/min ทุกปริมาณน้ำ โดยค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกันแสดงดังภาพที่ 77 และ 78 และทำการวิเคราะห์อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน กำลังไฟฟ้าที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



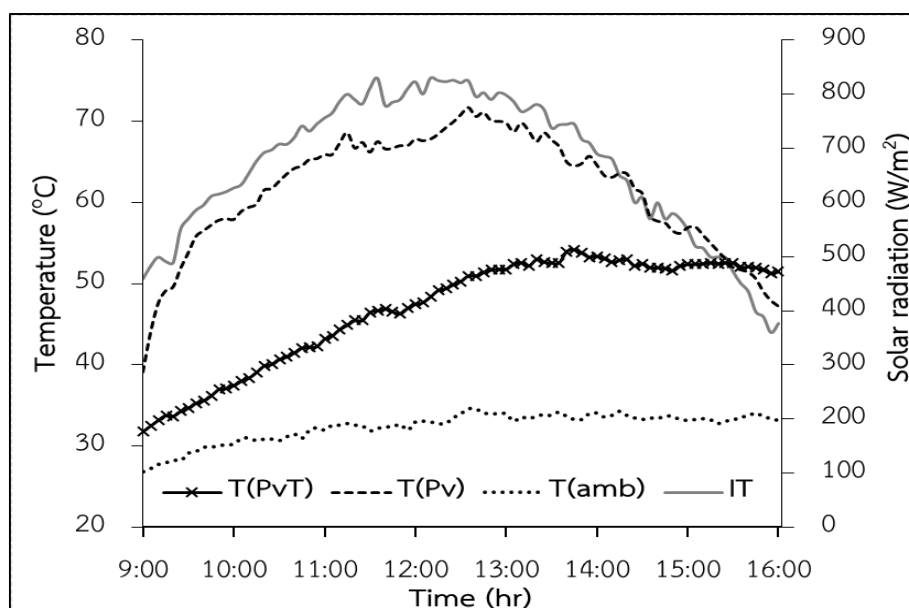
ภาพที่ 77 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ปริมาณน้ำ 100 120 และ 140 L



ภาพที่ 78 อุณหภูมิแวดล้อมที่ปริมาณน้ำ 100 120 และ 140 L

- ผลของปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่ออุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

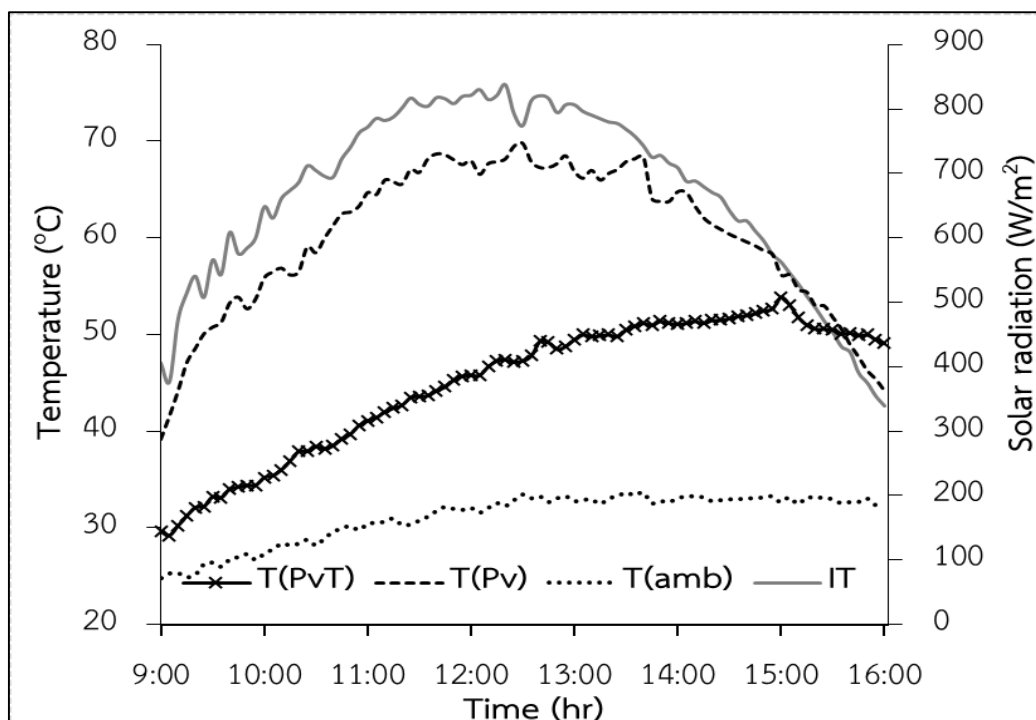
จากภาพที่ 79 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 100 L เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:10 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 829.25 W/m^2 หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ $26.90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สูงสุดที่เวลา 12:40 น. มีค่าเท่ากับ $34.60 \text{ }^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 79 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำในถัง 100 L

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 27.20 °C กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 15:25 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย 15.97 °C และสูงสุด 23.70 °C ที่เวลา 11:15 น. แต่หลังจากเวลา 15:25 น. เป็นต้นไปพบว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีมีชุดระบายความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิน้ำที่เข้าไประบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นการถ่ายเทความร้อนจากน้ำที่เข้ามาระบายสู่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แทน ขณะเดียวกันโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนในช่วงเวลาดังกล่าว อุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สู่อากาศแวดล้อมทำให้อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 49.97 °C ส่วนกรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 51.90 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 1.93 °C และถ้าพิจารณาอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันกรณีมีชุดระบายความร้อนกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนพบว่า อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 46.91 °C ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 61.40 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 14.49 °C

จากภาพที่ 80 กรณีสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 120 L พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:20 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 838.25 W/m^2 หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ $24.80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สูงสุดที่เวลา 13:30 น. มีค่าเท่ากับ $33.70 \text{ }^{\circ}\text{C}$

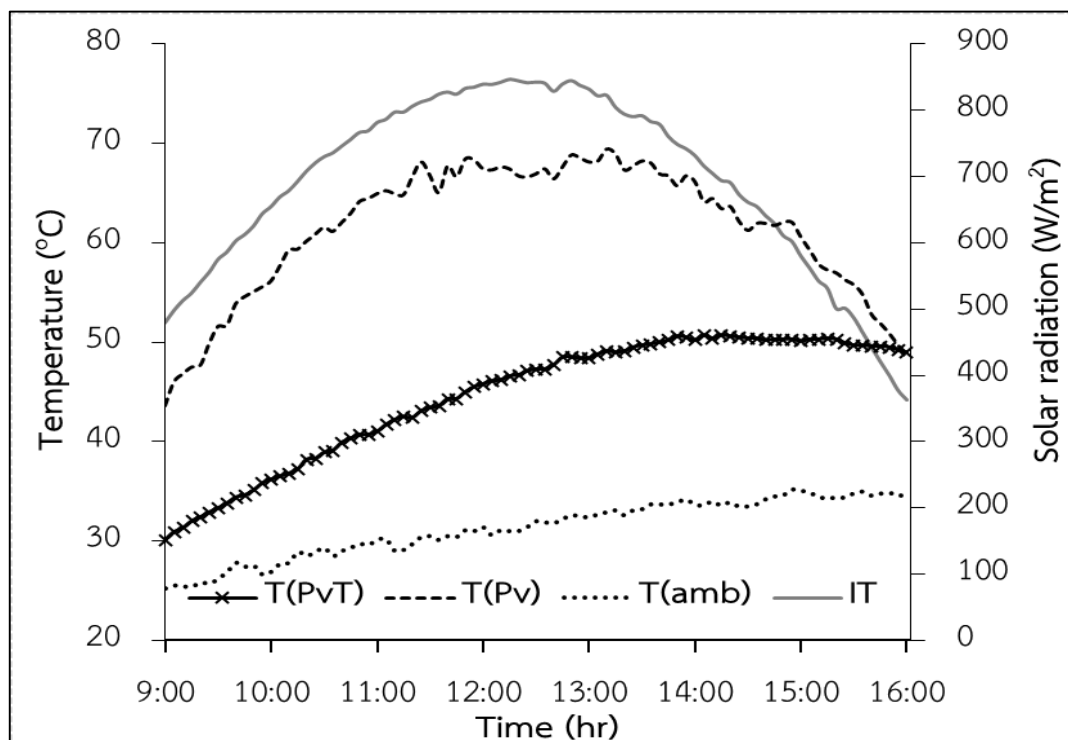


ภาพที่ 80 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำในถัง 120 L

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ $25.20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 15:35 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย $16.28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงสุด $24.50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 11:35 น. แต่หลังจากเวลา 15:35 น. เป็นต้นไปพบว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีมีชุดระบายความร้อน โดยอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย $46.52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนกรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย $49.74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย $3.22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และถ้าพิจารณาอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันกรณีมีชุดระบายความร้อนกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนพบว่า อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย

44.93 °C ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 60.07 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 15.14 °C

จากภาพที่ 81 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 140 L พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:15 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 846.95 W/m² หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ 25.20 °C สูงสุดที่เวลา 14:55 น. มีค่าเท่ากับ 35.20 °C



ภาพที่ 81 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำในถัง 140 L

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 26.1 °C กรณีมีชุดระบายความร้อน อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 15:55 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย 17.05 °C และสูงสุด 25.10 °C ที่เวลา 11:25 น. แต่หลังจากเวลา 15:55 น. เป็นต้นไปพบว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีมีชุดระบายความร้อน โดยอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 49.00 °C ส่วนกรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 48.60 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 0.40 °C และถ้าพิจารณาอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันกรณีมีชุดระบายความร้อนกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนพบว่า อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 44.61 °C ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 61.46 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 16.85 °C

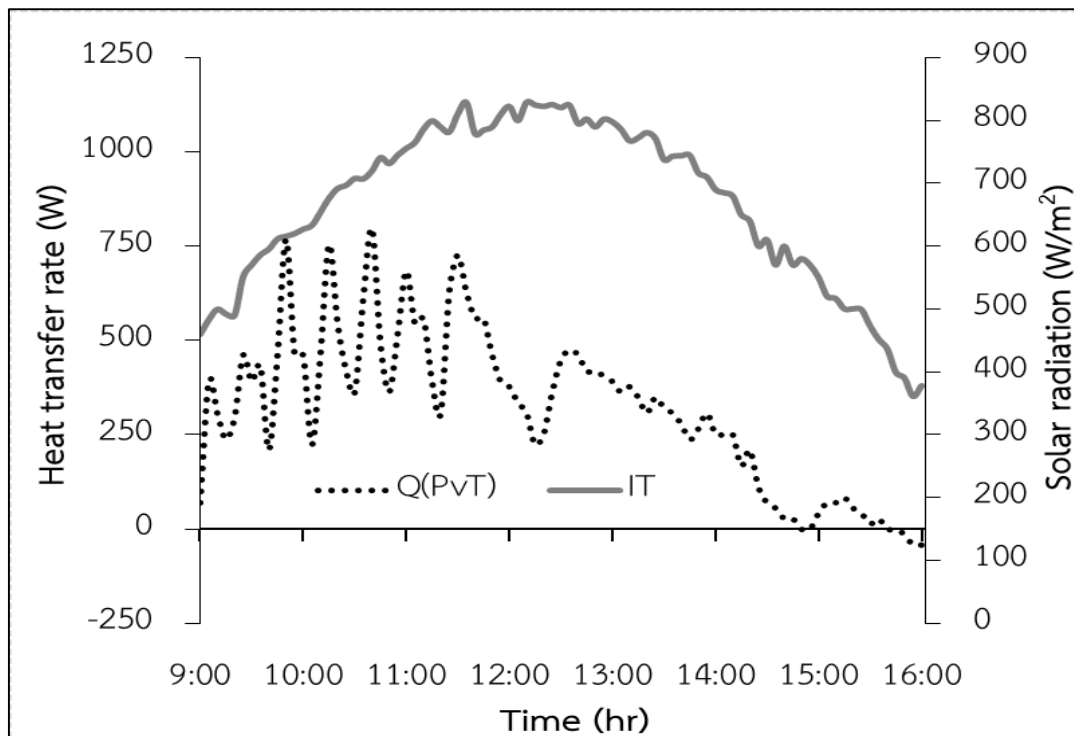
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลง พบว่าปริมาณน้ำในถังที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ 140 120 และ 100 L ตามลำดับ

- **ผลของปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์**

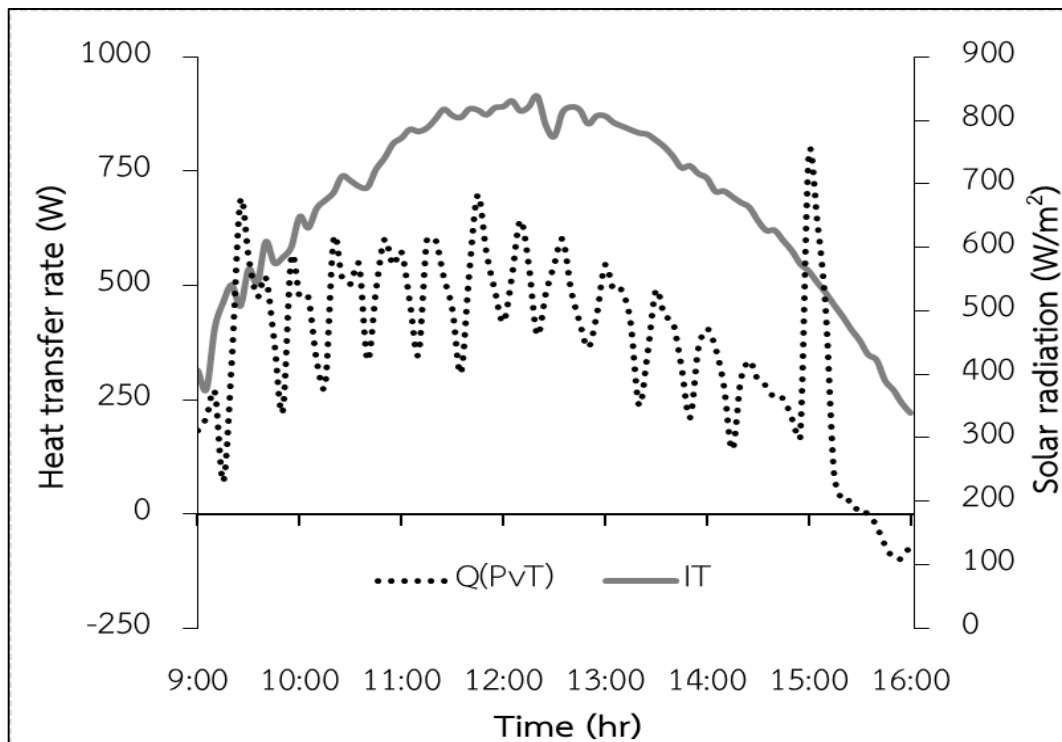
จากภาพที่ 82 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 100 L เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 26,978.24 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 317.39 W และที่ 9:50 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 795.53 W จากภาพที่ 83 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 120 L เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 31,798.89 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 374.10 W และที่ 15:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 781.57 W จากภาพที่ 84 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 140 L เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเท

ความร้อนรวมเท่ากับ 35,324.32 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 415.58 W และที่ 9:30 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 809.49 W

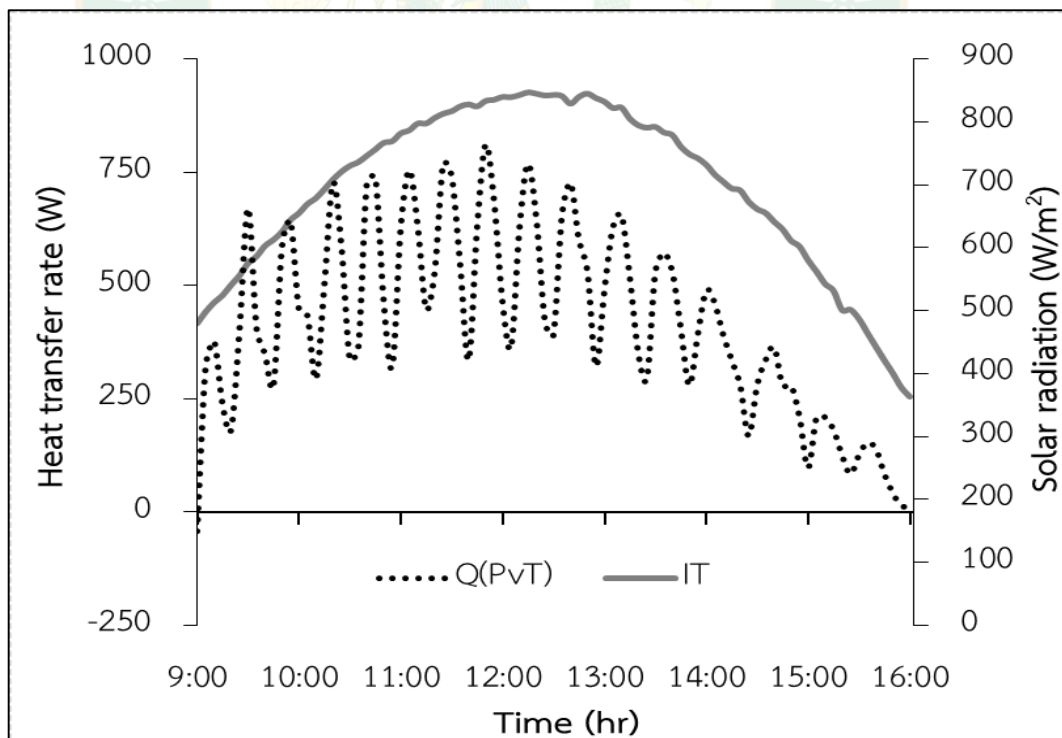
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าปริมาณน้ำในถังที่เหมาะสมสำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ 140 120 และ 100 L ตามลำดับ



ภาพที่ 82 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L



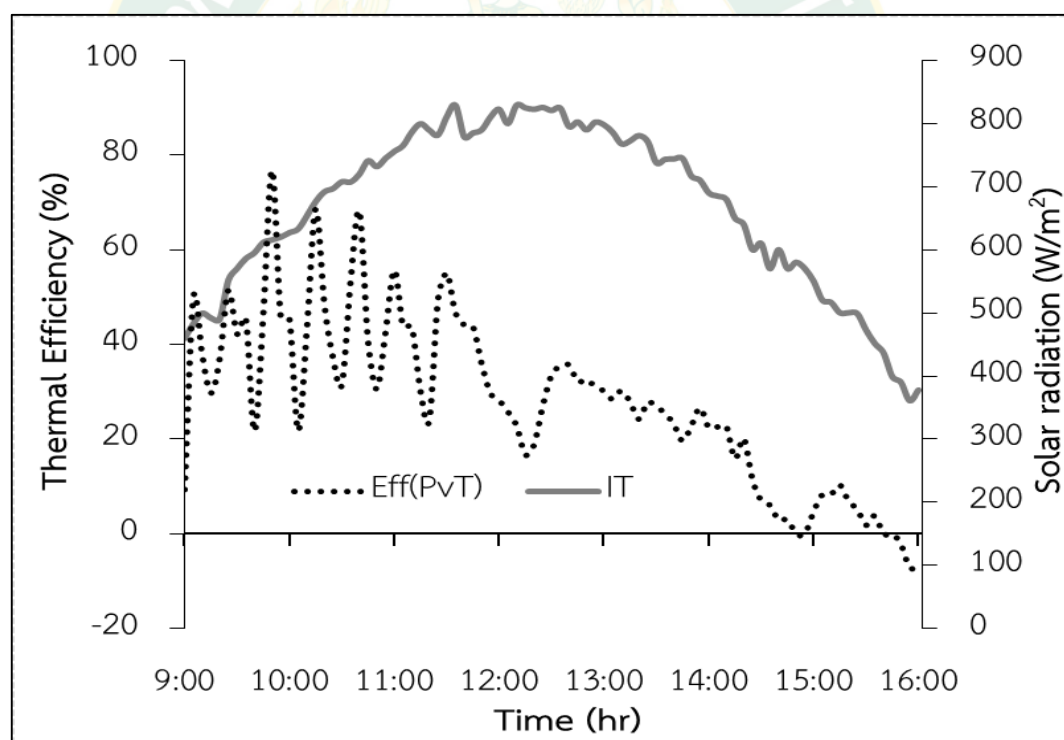
ภาพที่ 83 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L



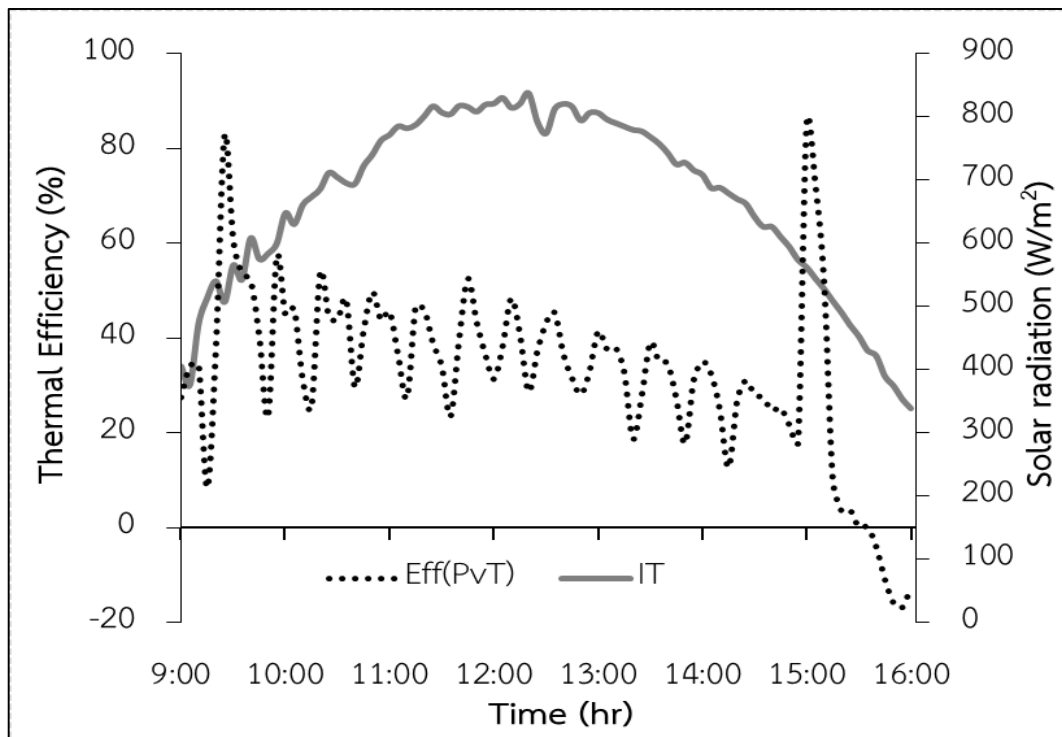
ภาพที่ 84 อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

จากภาพที่ 85 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 100 L พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 27.56% และที่เวลา 9:50 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 76.64% จากภาพที่ 86 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 120 L พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 32.74% และที่เวลา 15:00 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 85.39% จากภาพที่ 87 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 140 L พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 35.18% และที่เวลา 9:30 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 71.52%

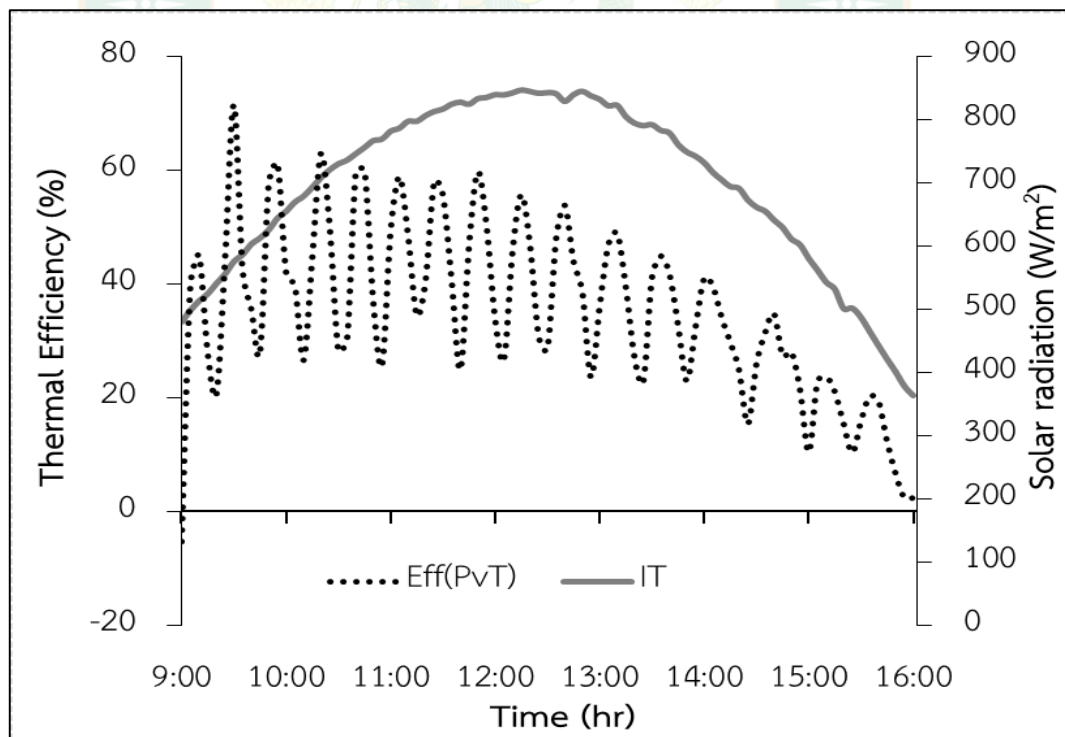
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าปริมาณน้ำในถังที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ 140 120 และ 100 L ตามลำดับ



ภาพที่ 85 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L



ภาพที่ 86 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L

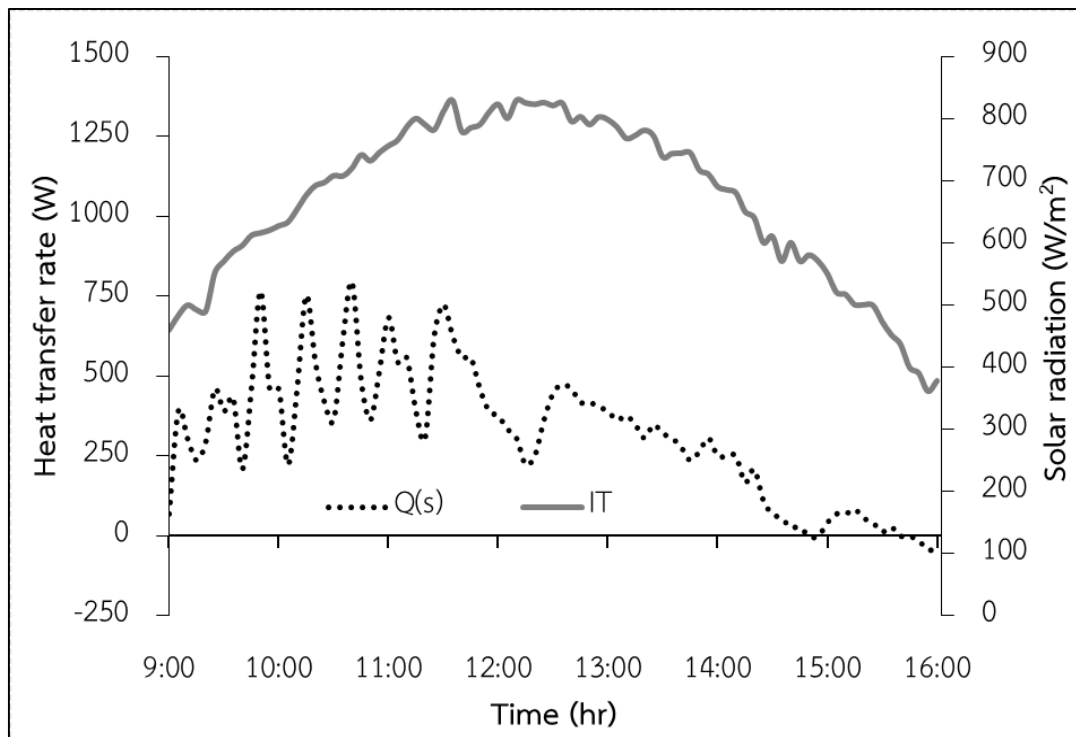


ภาพที่ 87 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

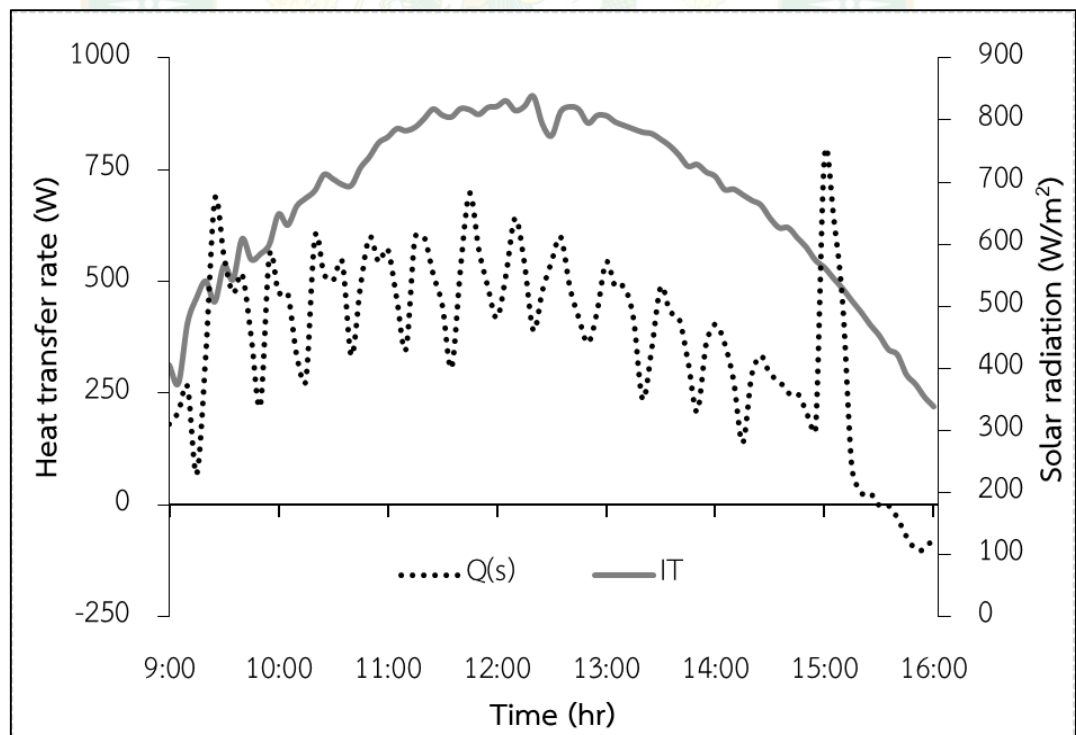
- ผลของปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน

จากภาพที่ 88 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 100 L เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 26,978.24 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 317.39 W และที่ 9:50 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 795.53 W จากภาพที่ 89 กรณีทดสอบกรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 120 L เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 31,798.89 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 374.10 W และที่ 15.00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 781.57 W จากภาพที่ 90 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 140 L เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 35,324.32 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 415.58 W และที่ 9:30 น. และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 809.49 W

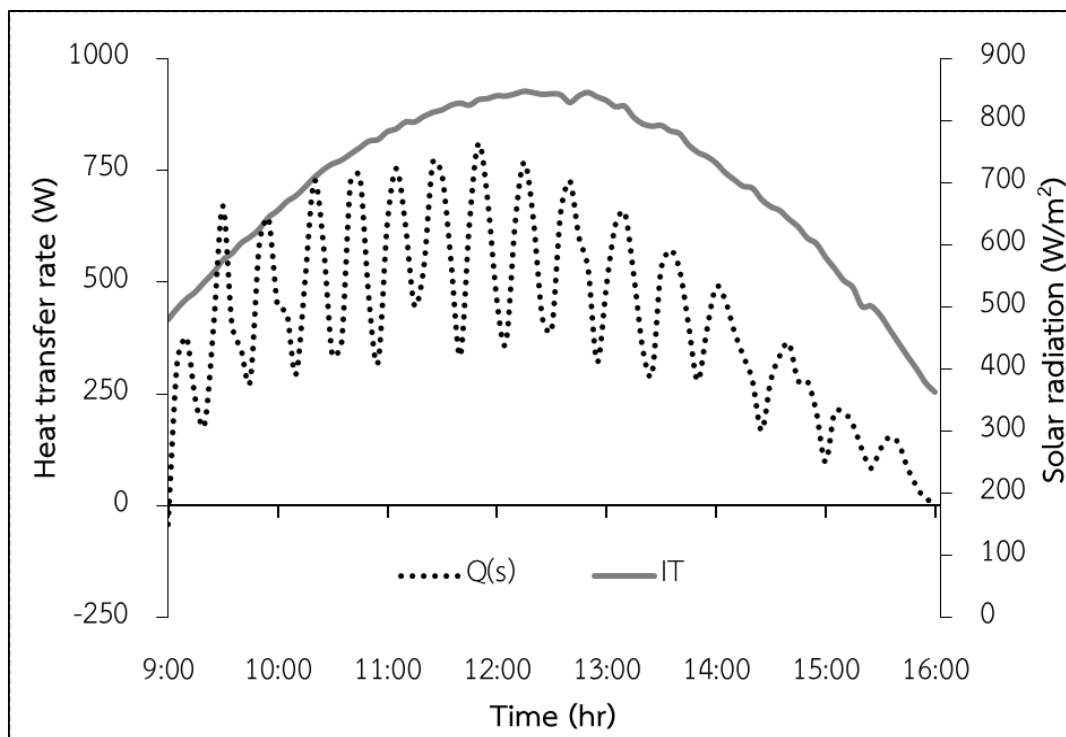
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่ถังเก็บน้ำร้อน ได้แก่ 140 120 และ 100 L ตามลำดับ



ภาพที่ 88 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงแก่น้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L



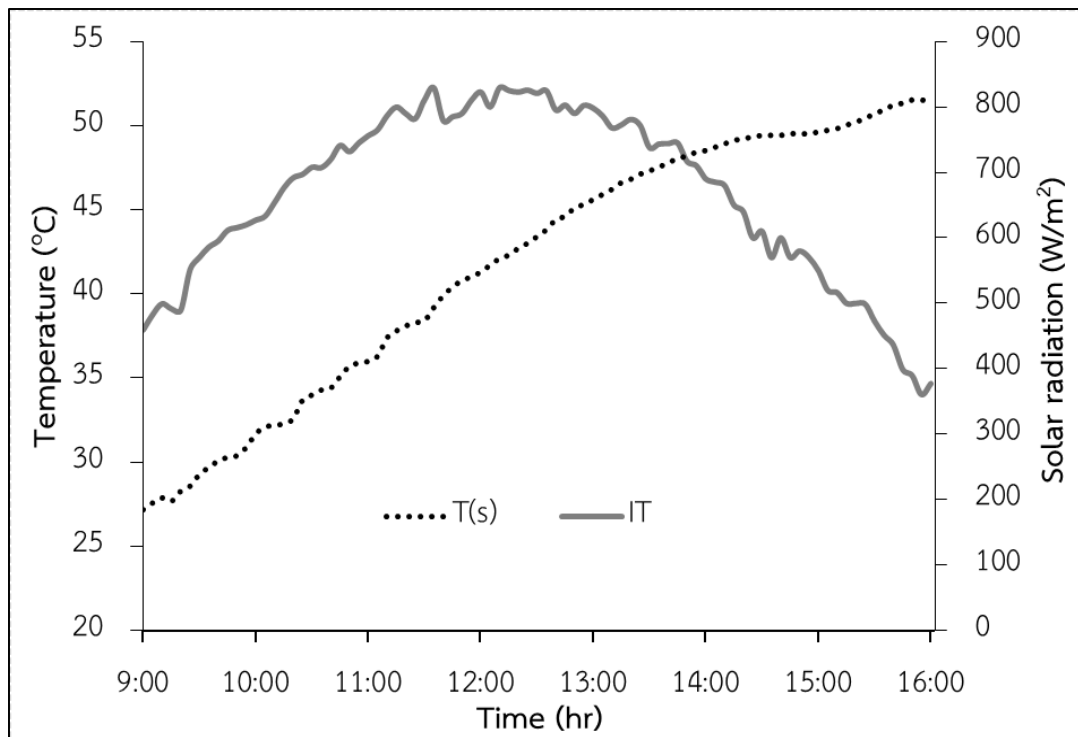
ภาพที่ 89 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงแก่น้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L



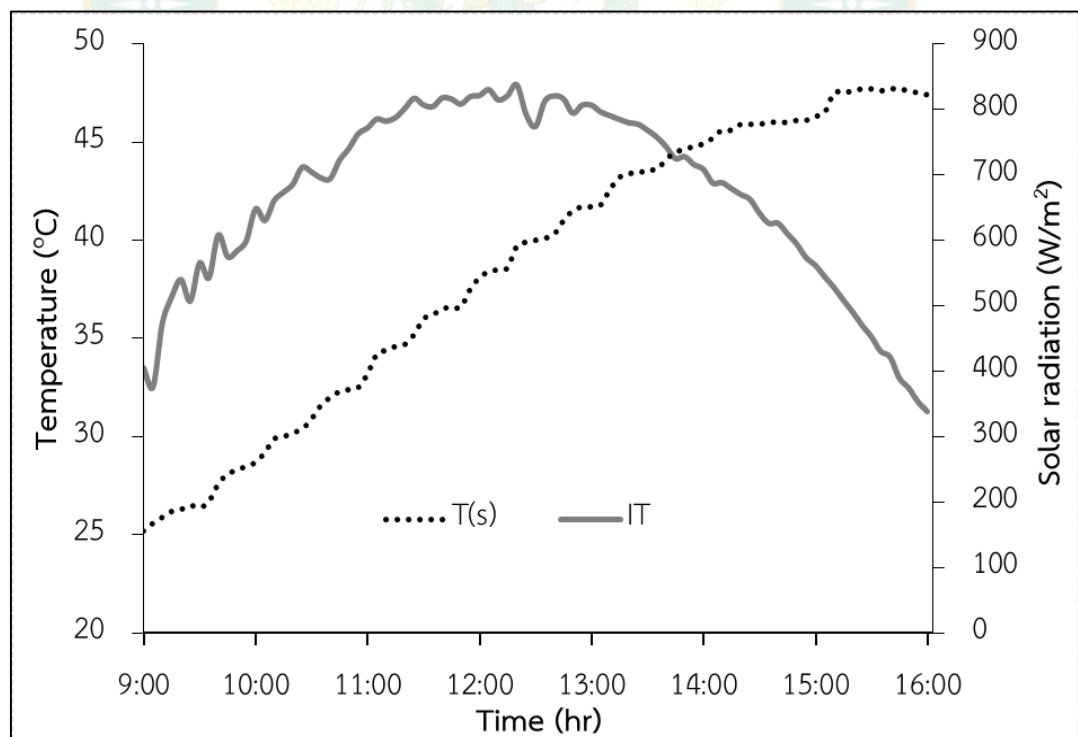
ภาพที่ 90 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

จากภาพที่ 91 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 100 L เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 27.20°C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 15:50 น. อุณหภูมิน้ำ 51.50°C แต่หลังจากเวลา 15:50 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มคงที่เนื่องจากค่ารังสีที่ลดลง และที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 51.40°C จากภาพที่ 92 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 120 L เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 25.20°C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 15:25 น. อุณหภูมิน้ำ 47.70°C แต่หลังจากเวลา 15:25 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มคงที่เนื่องจากค่ารังสีที่ลดลง และที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 47.40°C จากภาพที่ 93 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 140 L เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 26.10°C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 15:45 น. อุณหภูมิน้ำ 46.90°C แต่หลังจากเวลา 15:35 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มคงที่เนื่องจากค่ารังสีที่ลดลง และที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 46.70°C

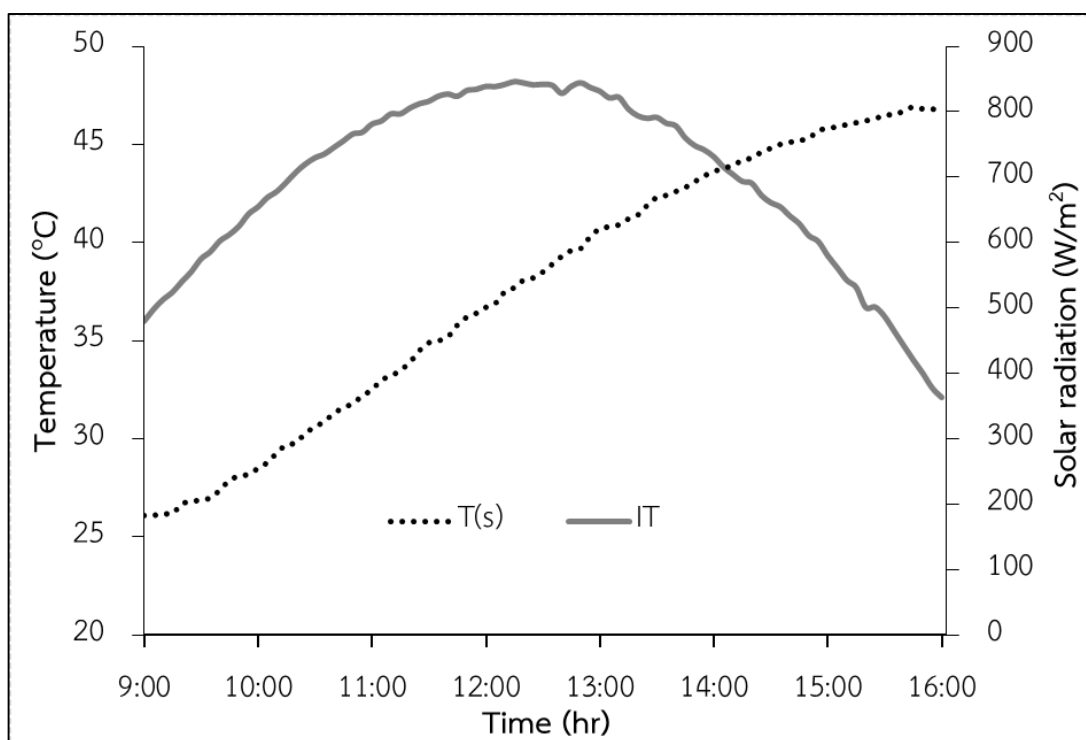
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ที่เวลา 16:00 น. พบว่าปริมาณน้ำในถังที่เหมาะสมสำหรับอุณหภูมิน้ำร้อนได้แก่ 100 120 และ 140 L ตามลำดับ



ภาพที่ 91 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L



ภาพที่ 92 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L

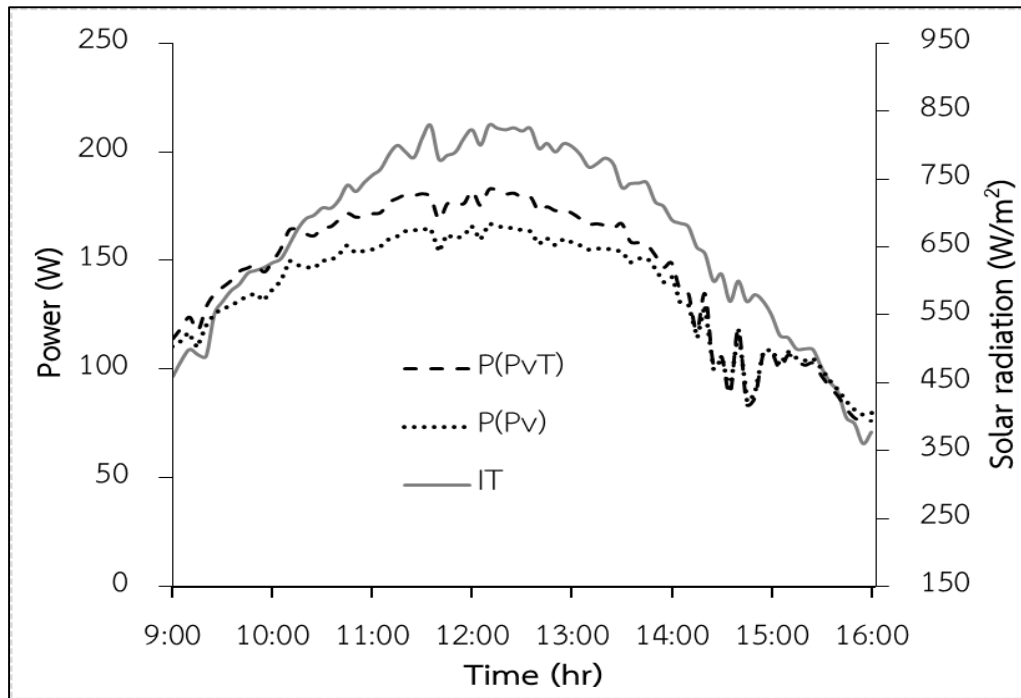


ภาพที่ 93 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

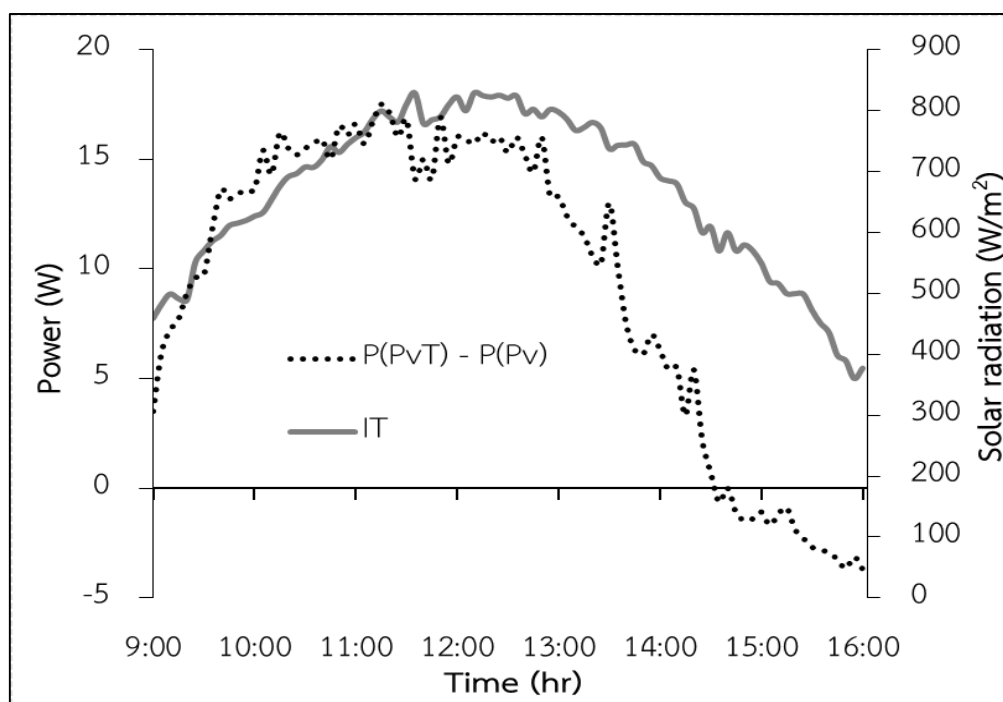
- ผลของปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่อกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำเช่นเดียวกับค่ารังสีอาทิตย์เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปตามค่ารังสีอาทิตย์ อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้ายังแปรผกผันกับอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์เดียวกันการลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับกรณีไม่มีการระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จากภาพที่ 94 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 100 L อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 27.20 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:30 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 159.01 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 146.64 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 12.37 W แสดงดังภาพที่ 95 และที่เวลา 11:15 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 17.50 W เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่น้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุด แต่หลังจากเวลา 14:30 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 96.25 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 94.25 W เนื่องจากอุณหภูมิที่นำมาระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงจึงไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่กลับเป็นน้ำที่ถ่ายเทความร้อนให้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แทน พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอด

ทั้งวันเท่ากับ 1.02 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.95 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.07 kWh

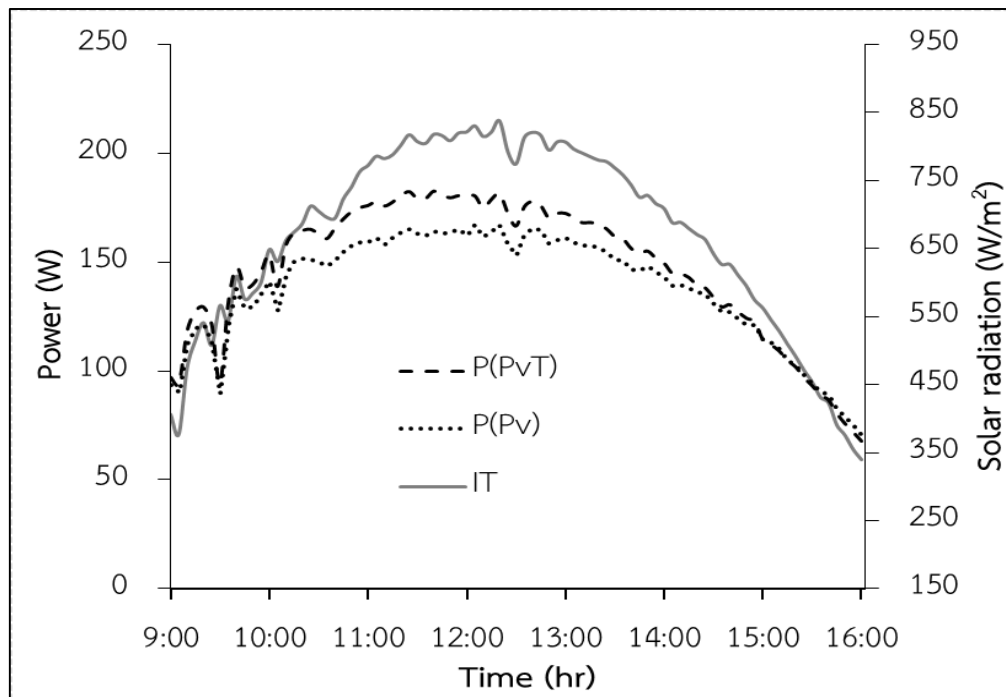


ภาพที่ 94 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน
ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L

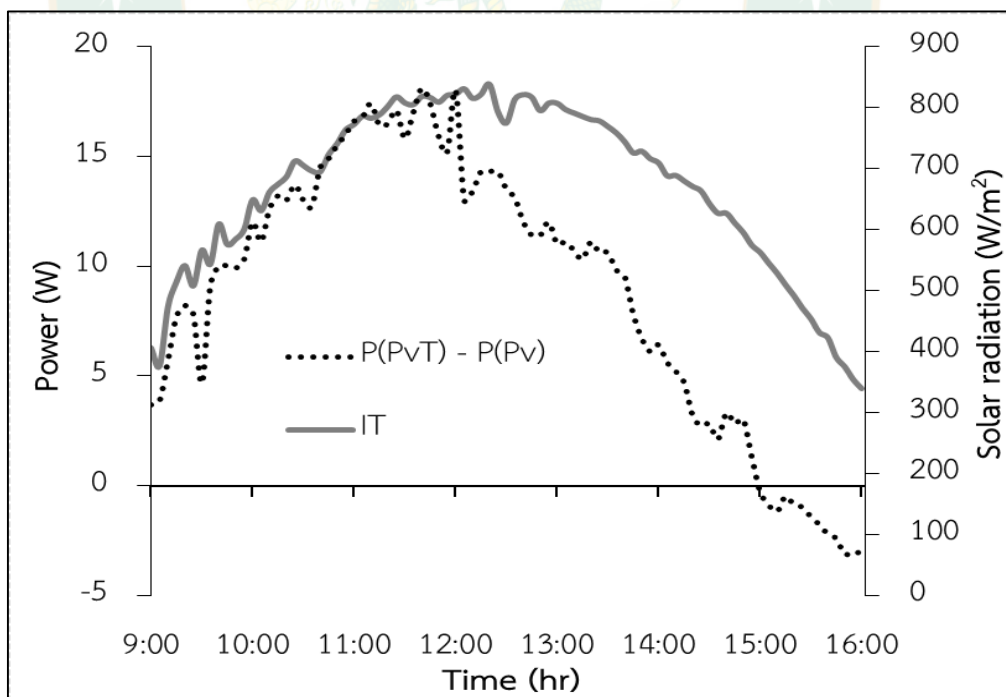


ภาพที่ 95 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L

จากภาพที่ 96 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังน้ำที่ระบายความร้อน 120 L อุณหภูมิ น้ำเริ่มต้น 25.20 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อน สามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 156.47 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 145.74 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 10.73 W แสดงดังภาพที่ 97 และที่เวลา 11:40 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 18.10 W แต่หลังจากเวลา 14:55 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 94.31 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 92.62 W พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.03 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.96 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.07 kWh



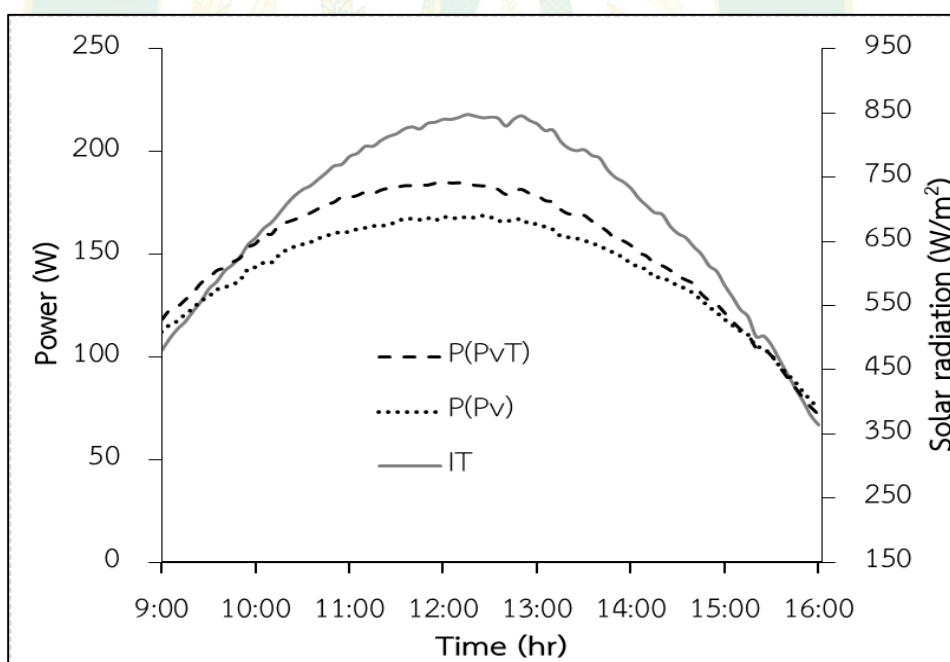
ภาพที่ 96 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน
ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L



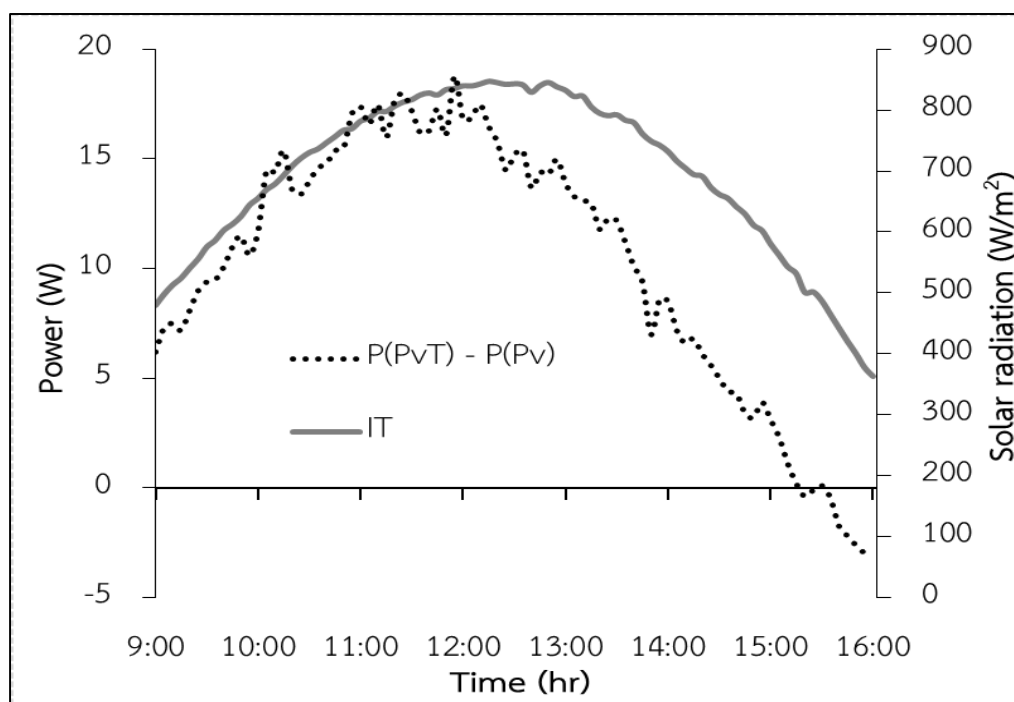
ภาพที่ 97 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่
ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L

จากภาพที่ 98 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 140 L อุณหภูมิน้ำ เริ่มต้น 26.10 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:15 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อน สามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 160.46 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 148.88 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 11.59 W แสดงดังภาพที่ 99 และที่เวลา 11:55 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 18.80 W แต่หลังจากเวลา 15:15 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 92.01 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 91.39 W พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.07 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.99 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.08 kWh

จากการพิจารณาผลของปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่อกำลังไฟฟ้า พบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะมีทิศทางเดียวกันกับการพิจารณาผลของปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่อ อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมได้แก่ 140 120 และ 100 L/min ตามลำดับ



ภาพที่ 98 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

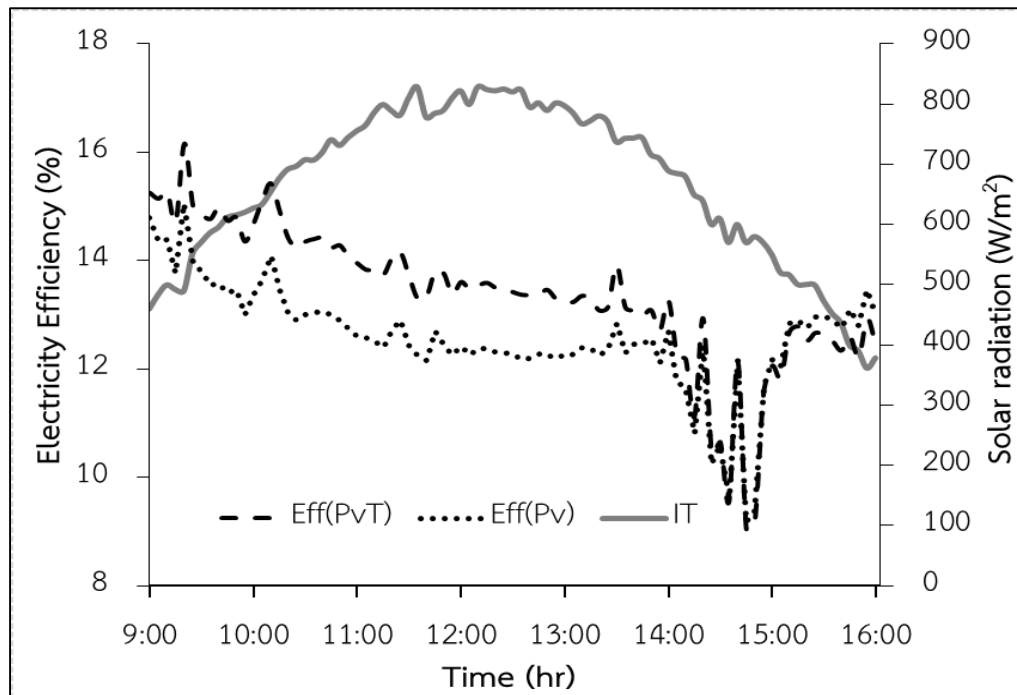


ภาพที่ 99 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

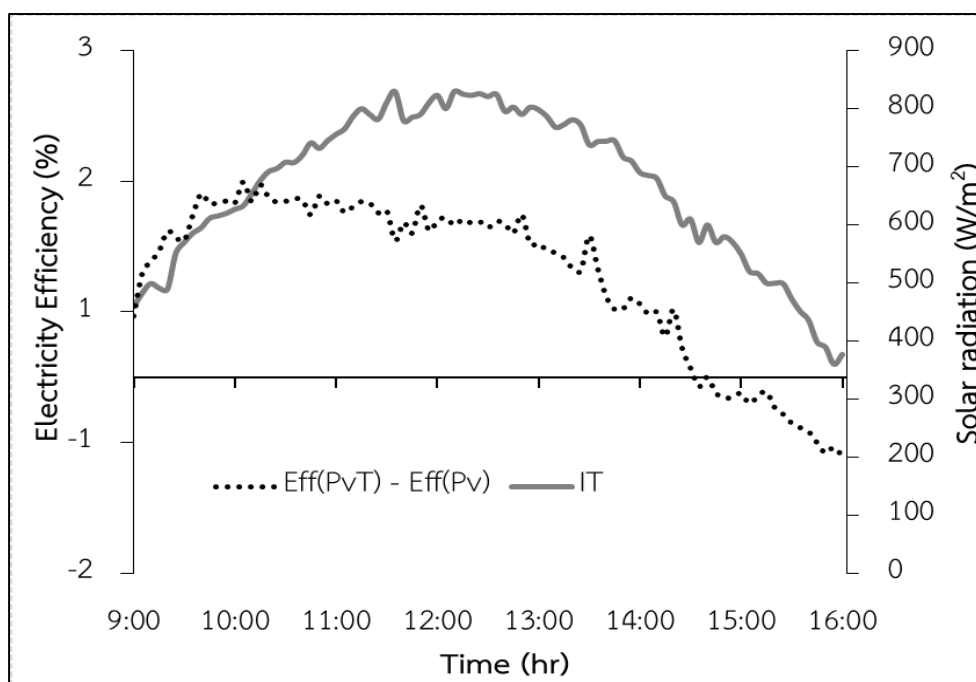
- ผลของปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อนต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 100 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 100 L ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนพบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:30 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 13.76 และ 12.71% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่หลังจากเวลา 14:30 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.15% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 11.87% ซึ่งกรณีที่มีระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน เนื่องจากน้ำที่ไประบายความร้อนไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 14:30 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 8.25% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 10.98% แต่หลังจากเวลา 14:30 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -2.20% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบาย

ความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่าเนื่องจาก น้ำไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังภาพที่ 101 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 6.04%

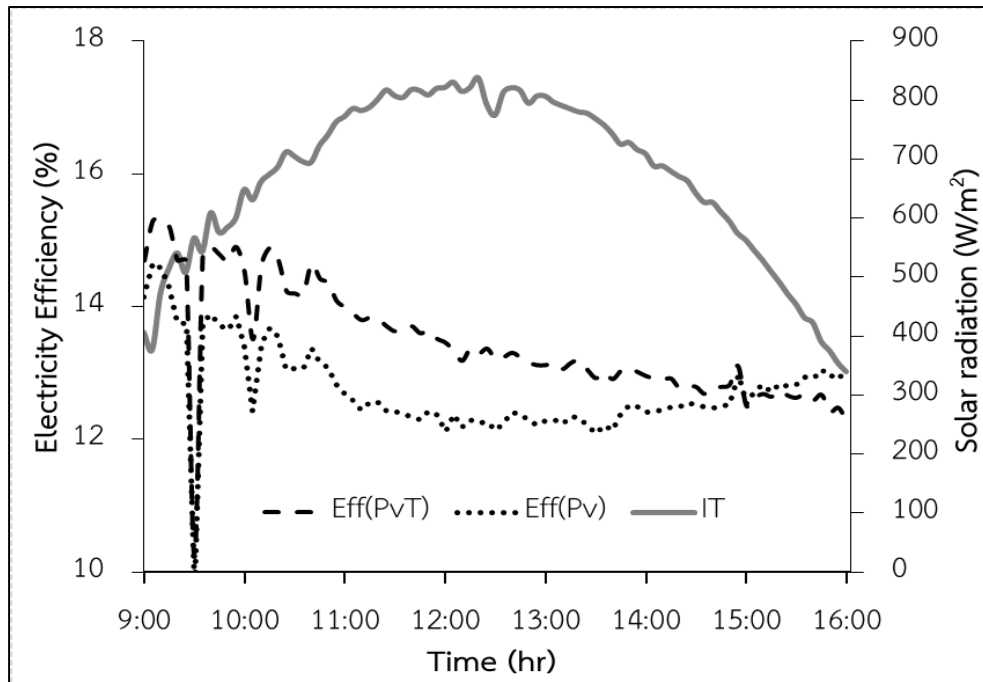


ภาพที่ 100 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L

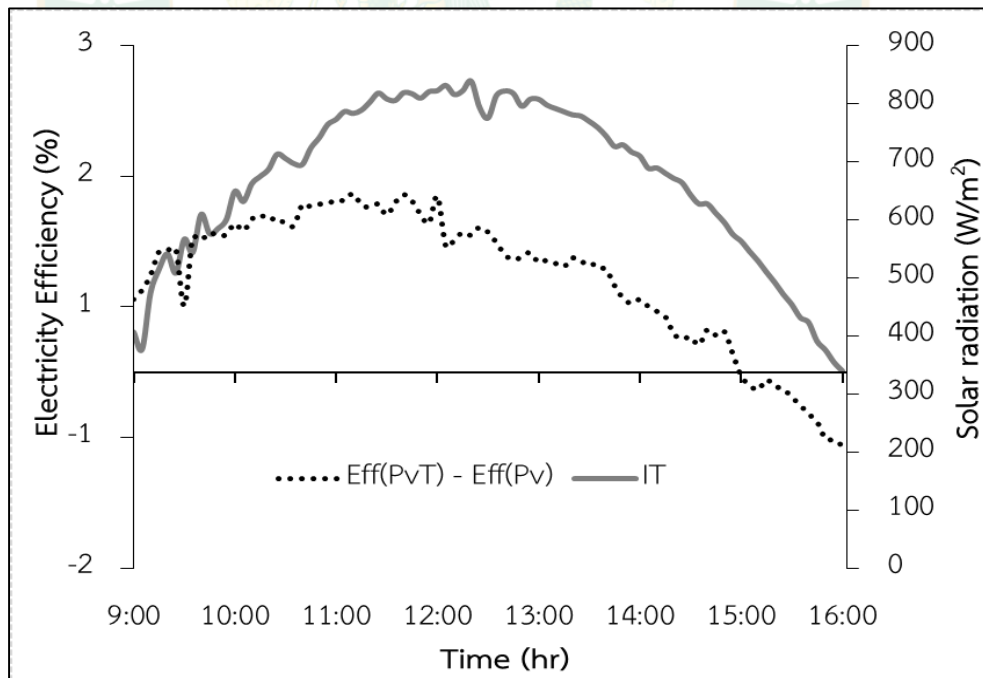


ภาพที่ 101 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L

จากภาพที่ 102 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 120 L พบว่า ช่วงเวลา 9:00 – 14:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 13.63 และ 12.73% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่หลังจากเวลา 14:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.84% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.59% พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 14:55 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.15% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 11.11% แต่หลังเวลา 14:55 น. กรณีที่มีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -1.99% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า แสดงดังภาพที่ 103 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 5.75%

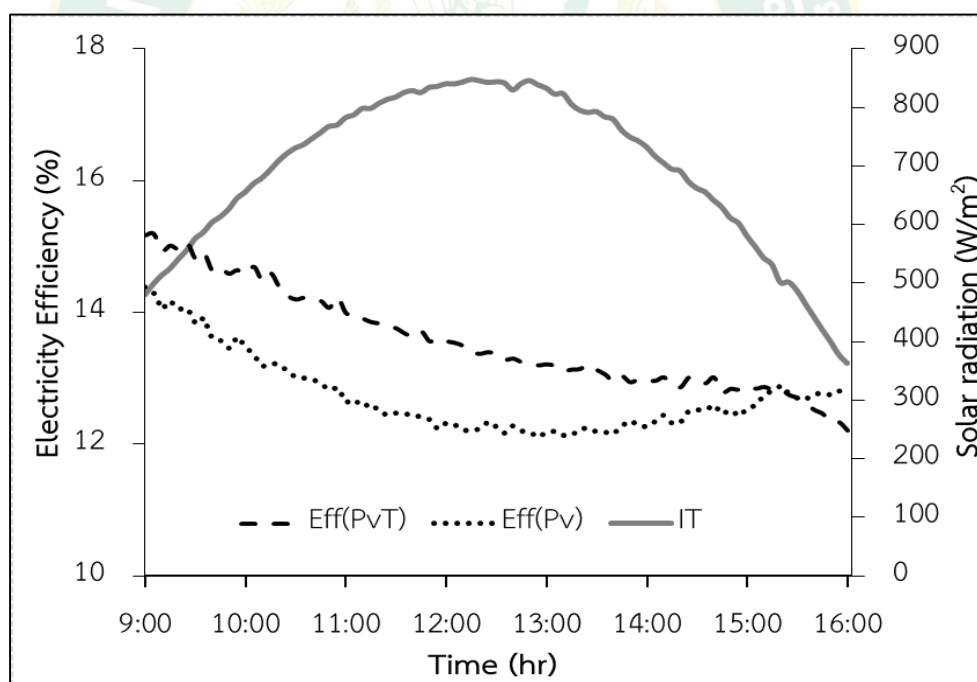


ภาพที่ 102 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อน
กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L

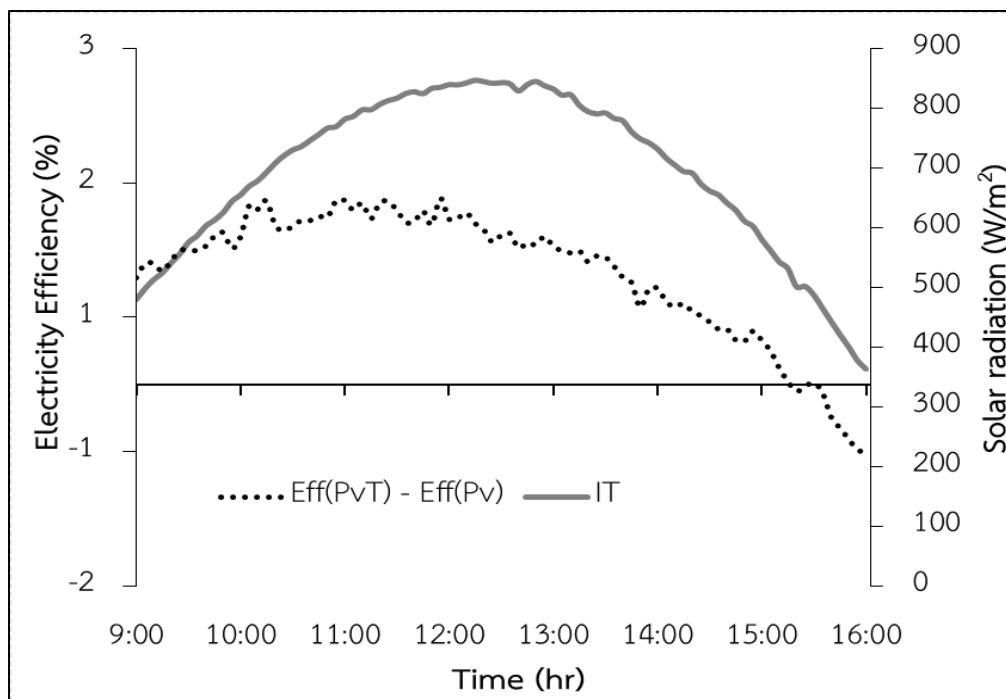


ภาพที่ 103 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน
กับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L

จากภาพที่ 104 กรณีทดสอบปริมาณน้ำในถังที่ระบายความร้อน 140 L พบว่า ช่วงเวลา 9:00 – 15:15 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 13.68 และ 12.73% ตามลำดับ แต่หลังจากเวลา 15:15 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.76% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 12.53% พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 15:15 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.53% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 11.32% แต่หลังจากเวลา 15:15 น. กรณีที่มีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -1.80% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า แสดงดังภาพที่ 105 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 6.55%



ภาพที่ 104 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L



ภาพที่ 105 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อนทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

สรุปผลของปริมาณน้ำต่อประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันโดยใช้อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min เมื่อพิจารณาทางด้านความร้อนที่ปริมาณน้ำ 140 L ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนสูงสุด 35.18 kW ทางด้านไฟฟ้าที่ปริมาณน้ำ 140 L สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันได้สูงสุด 10.20 W และเมื่อพิจารณาพลังงานสุทธิของระบบ (E_{net}) ที่ปริมาณน้ำ 140 L ให้พลังงานสุทธิสูงสุด 14.15 MJ/day ดังนั้นปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับระบบได้แก่ 140 L แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลของปริมาณน้ำต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวัน

ปริมาณน้ำ (L)		100	120	140
อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (°C)	- มีการระบายความร้อน	46.91	44.93	44.61
	- ไม่มีการระบายความร้อน	61.40	60.07	61.46
	- อุณหภูมิลดลง	14.49	15.14	16.85
อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)	- มีการระบายความร้อน	26.98	31.80	35.32
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-
ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	- มีการระบายความร้อน	27.56	32.74	35.18
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงน้ำร้อน (kW)	- มีการระบายความร้อน	26.98	31.80	35.32
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-
อุณหภูมิน้ำที่ถึงเก็บน้ำ (°C)	- มีการระบายความร้อน	51.40	47.40	46.70
กำลังไฟฟ้าที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ (W)	- มีการระบายความร้อน	145.30	146.70	152.99
	- ไม่มีการระบายความร้อน	135.97	137.87	142.79
	- กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น	9.33	8.83	10.20
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	- มีการระบายความร้อน	13.36	13.47	13.56
	- ไม่มีการระบายความร้อน	12.51	12.74	12.73
	- ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น	6.04	5.75	6.55
พลังงานสุทธิของระบบ (MJ/day)	- มีการระบายความร้อน	11.45	12.93	14.15

2. สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

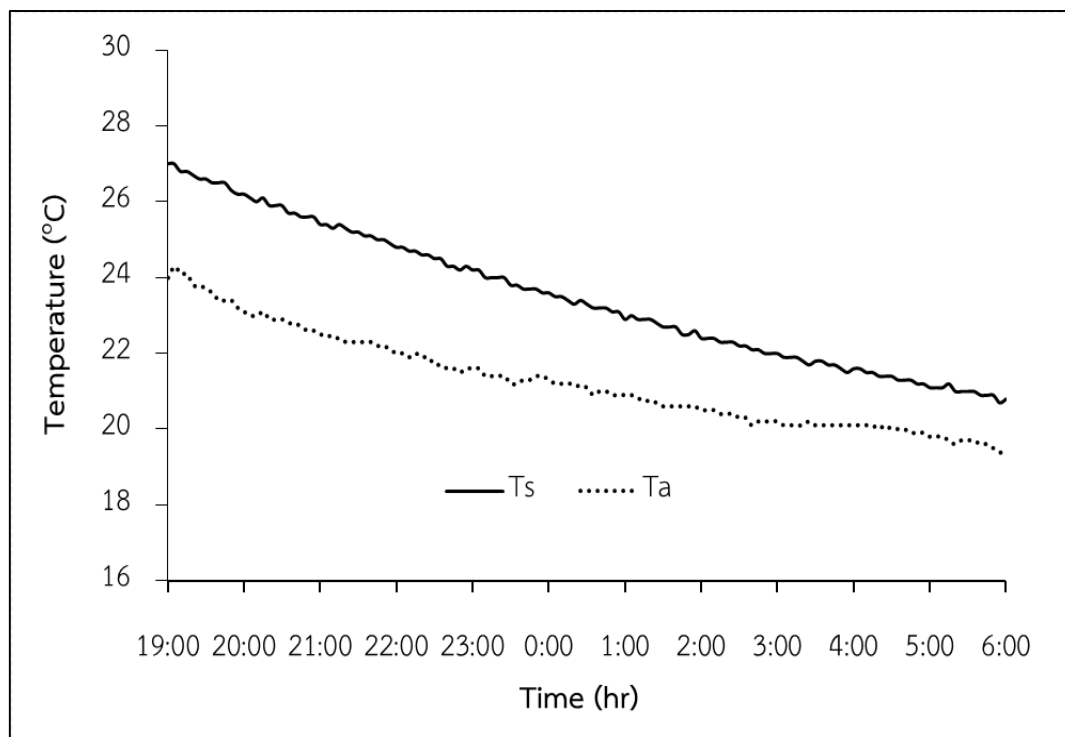
2.1 ผลการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมต่อการเพื่อผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนโดยการสูญเสียความร้อนและการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อน้ำเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยให้อุณหภูมิน้ำในถังสะสมลดลงไปเรื่อย ๆ โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ 1 2 และ 3 L/min โดยจะใช้ปริมาณน้ำ 120 L ทุกอัตราการไหล และทำการวิเคราะห์อุณหภูมิน้ำที่ผลิตได้ และสมรรถนะการผลิตน้ำเย็น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

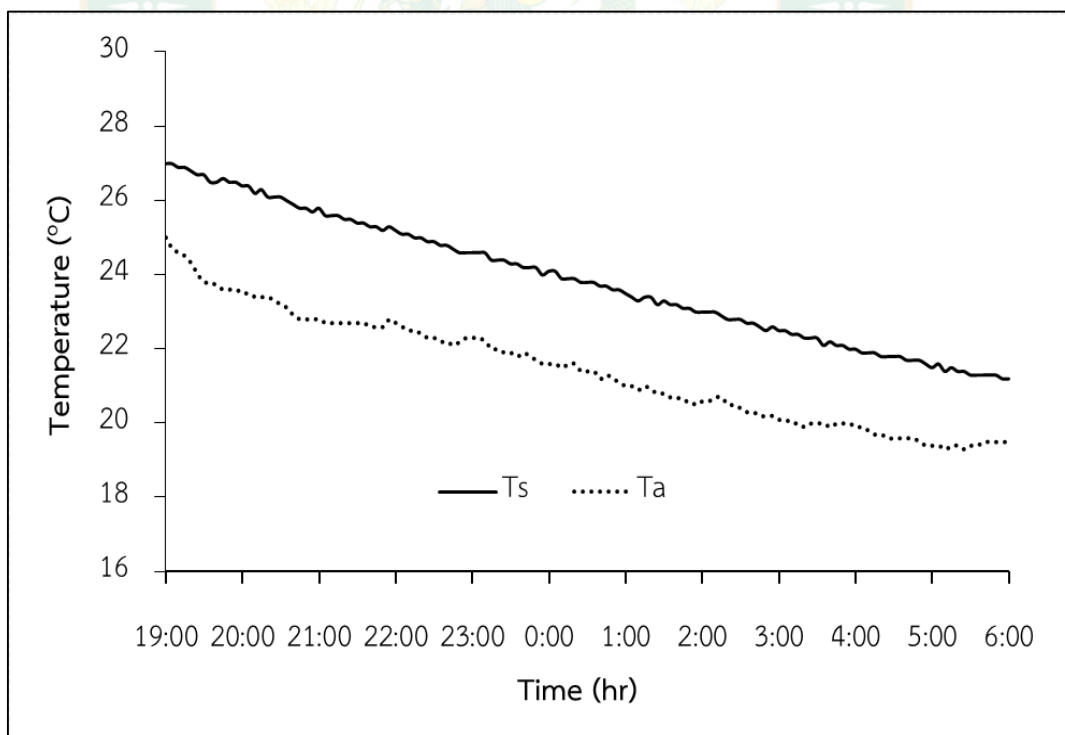
- ผลของอัตราการไหลของน้ำต่ออุณหภูมิน้ำที่ผลิตได้

กรณีทดสอบที่อัตราการไหล 1 L/min อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 27.00 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 6.20 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 20.80 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 24.00 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.30 °C แสดงดังภาพที่ 106 กรณีทดสอบที่อัตราการไหล 2 L/min อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 27.00 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 5.80 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 21.20 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 24.00 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.50 °C แสดงดังภาพที่ 107 กรณีทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 26.80 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 5.90 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 20.90 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 23.50 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.20 °C แสดงดังภาพที่ 108

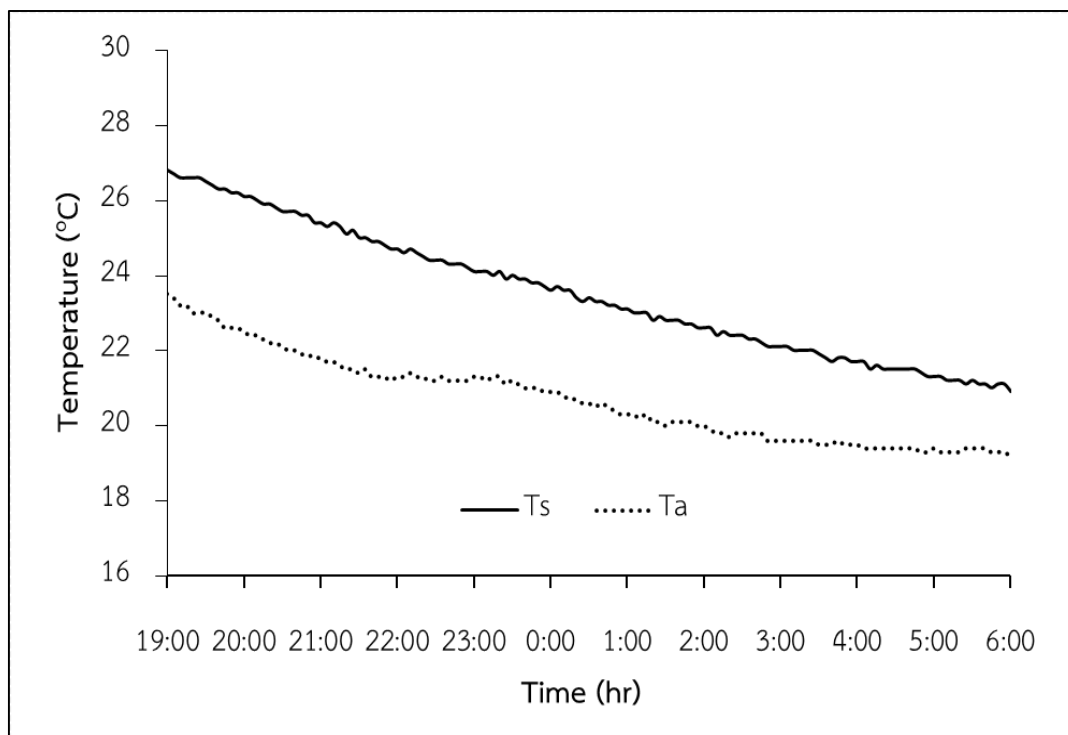
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ ณ ที่เวลา 6:00 น. พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ 1 3 และ 2 L/min ตามลำดับ



ภาพที่ 106 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่อัตราการไหล 1 L/min



ภาพที่ 107 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่อัตราการไหล 2 L/min

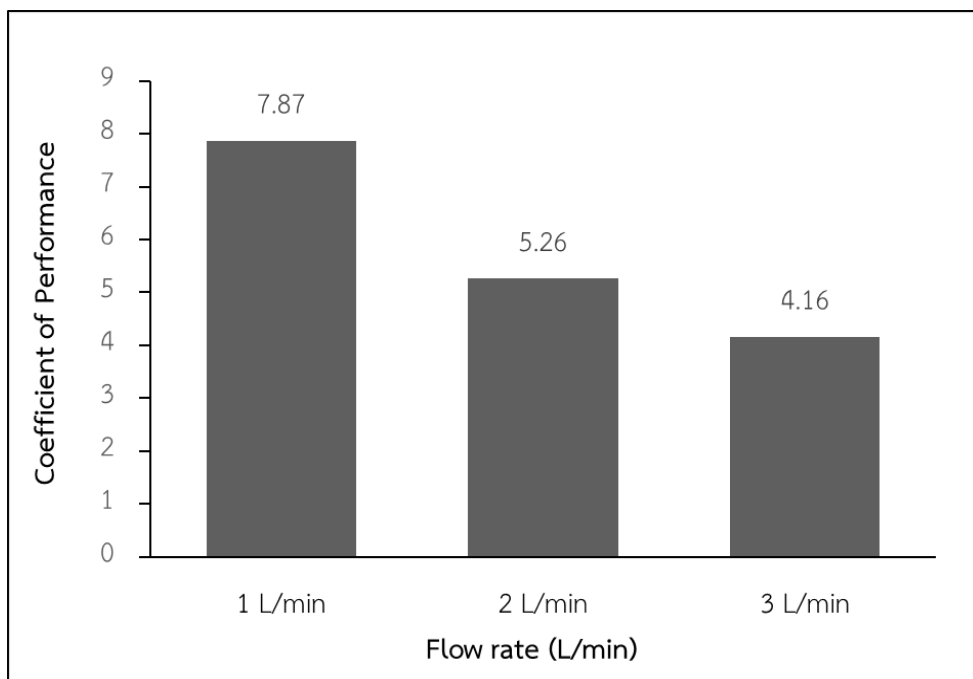


ภาพที่ 108 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min

- ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อสมรรถนะการผลิตน้ำเย็น

กรณีทดสอบอัตราการไหลที่ 1 2 และ 3 L/min ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 7.87 5.26 และ 4.16 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 109 อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำที่อัตราการไหล 1 2 และ 3 L/min มีค่าเท่ากับ 10,551.24 9,713.84 และ 9,881.32 W ตามลำดับ

จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ 1 2 และ 3 L/min ตามลำดับ เนื่องจากงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการไหลที่ 1 มีค่าน้อยที่สุดและน้ำเย็นที่ผลิตได้มีค่าพอ ๆ กันจึงได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นมีค่ามากที่สุด



ภาพที่ 109 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นกรณีทดสอบอัตราการไหลที่ 1 2 และ 3 L/min

ตารางที่ 5 สรุปผลของอัตราการไหลของน้ำต่ออุณหภูมิน้ำเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน

อัตราการไหล (L/min)	1	2	3
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 19.00 น. (°C)	27.00	27.00	26.80
อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ที่ 6.00 น. (°C)	20.80	21.20	20.90
ลดอุณหภูมิน้ำลงได้ (°C)	6.20	5.80	5.90
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำระบายออกจากถัง (W)	10,551.24	9,713.84	9,881.32
สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็น	7.87	5.26	4.16

สรุปผลของอัตราการไหลของน้ำต่ออุณหภูมิน้ำเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน โดยใช้ปริมาณน้ำ 120 L เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ ณ เวลา 6:00 น. พบว่าที่อัตราการไหล 1 L/min สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 6.20 °C และผลิตน้ำเย็นที่ 6:00 น. ได้ 20.80 °C และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็น (COP) พบว่าที่อัตราการไหล 1 L/min มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นสูงที่สุด 7.87 เนื่องจากงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบน้อยที่สุด และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำระบายออกจากถังเก็บน้ำ ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับระบบได้แก่ 1 L/min แสดงดังตารางที่ 5

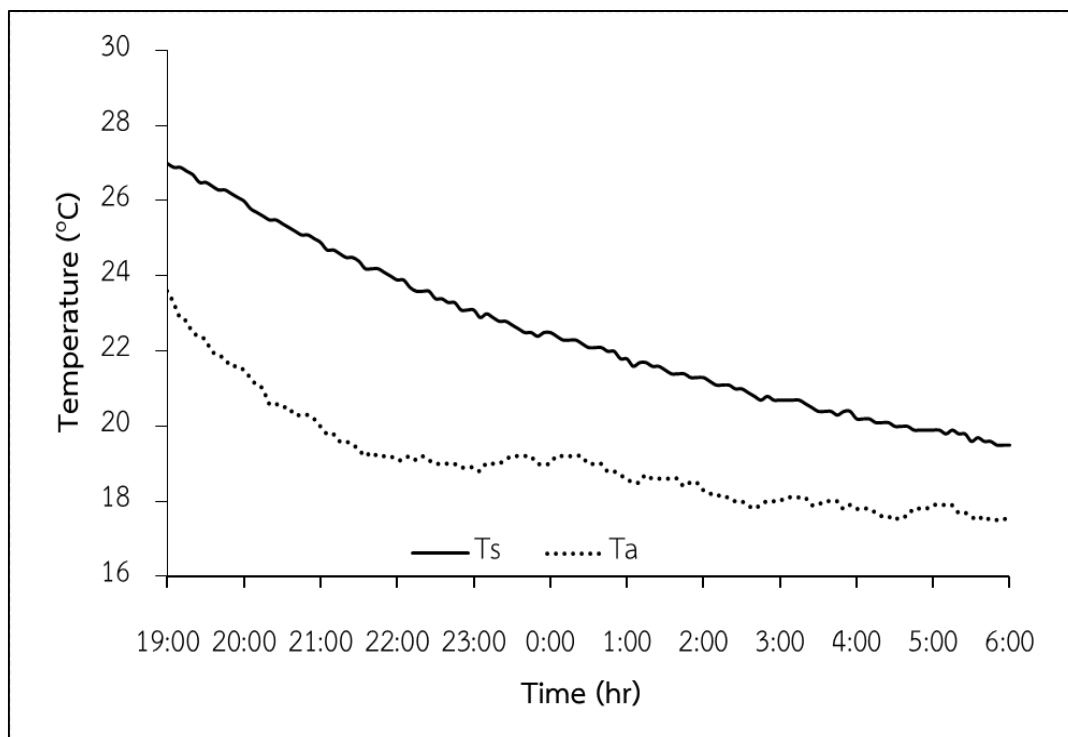
2.2 ผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการเพื่อผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน โดยการสูญเสียความร้อนและการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อน้ำเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยให้ลดอุณหภูมิของน้ำ ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำในถังสะสมลดลงไปเรื่อย ๆ โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ 100 120 และ 140 L โดยจะใช้อัตราการไหล 1 L/min ทุกปริมาณน้ำ และทำการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ผลิตได้ และสมรรถนะการผลิตน้ำเย็น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

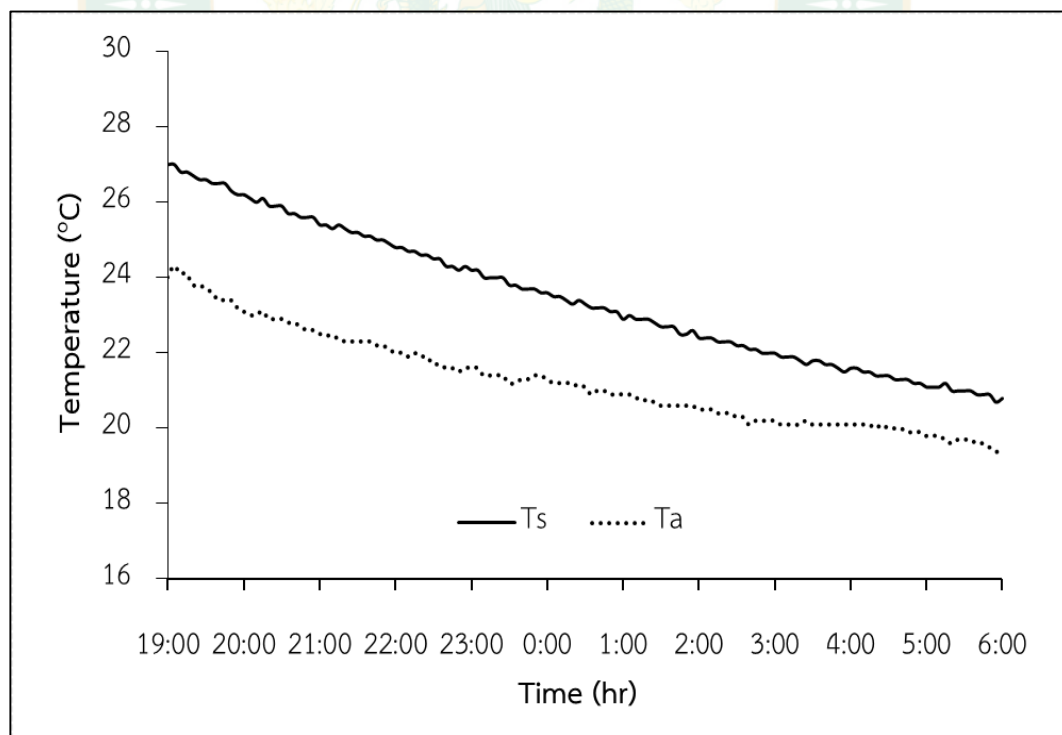
- ผลของปริมาณน้ำต่ออุณหภูมิที่ผลิตได้

กรณีทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 27.00 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 7.50 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิน้ำที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 19.50 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 23.60 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 17.60 °C แสดงดังภาพที่ 110 กรณีทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 27.00 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 6.20 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิน้ำที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 20.80 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 24.00 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.30 °C แสดงดังภาพที่ 111 กรณีทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 26.90 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 5.40 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิน้ำที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 21.50 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 23.50 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.50 °C แสดงดังภาพที่ 112

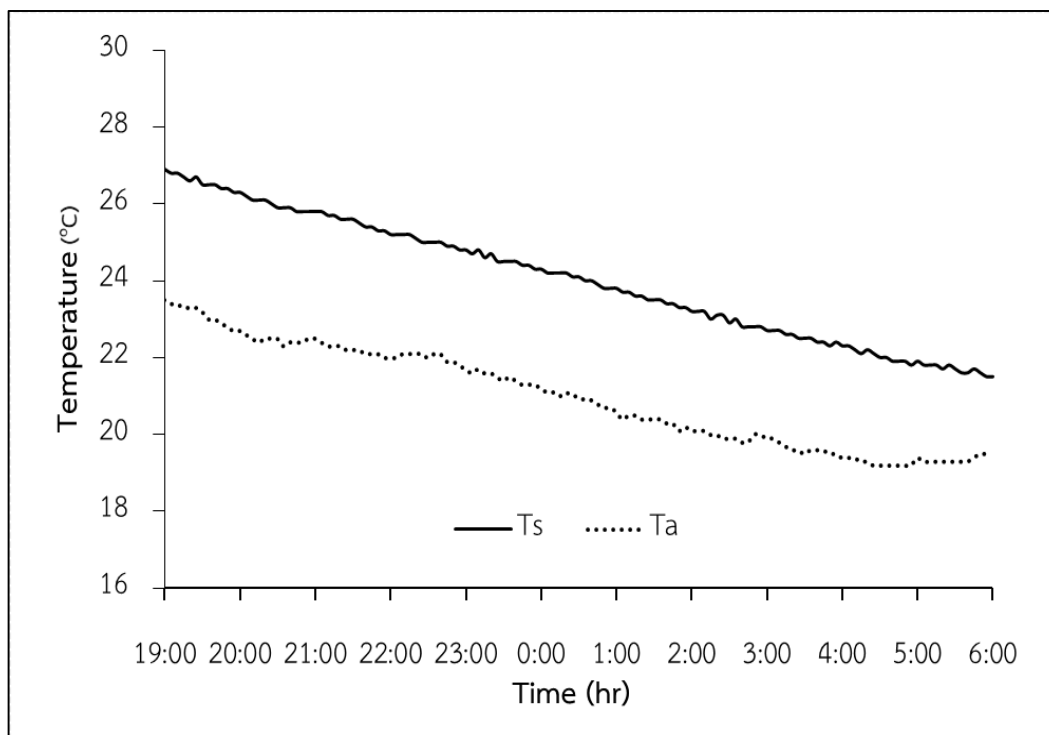
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ ณ ที่เวลา 6:00 น. พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ 140 120 และ 100 L ตามลำดับ



ภาพที่ 110 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L



ภาพที่ 111 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L

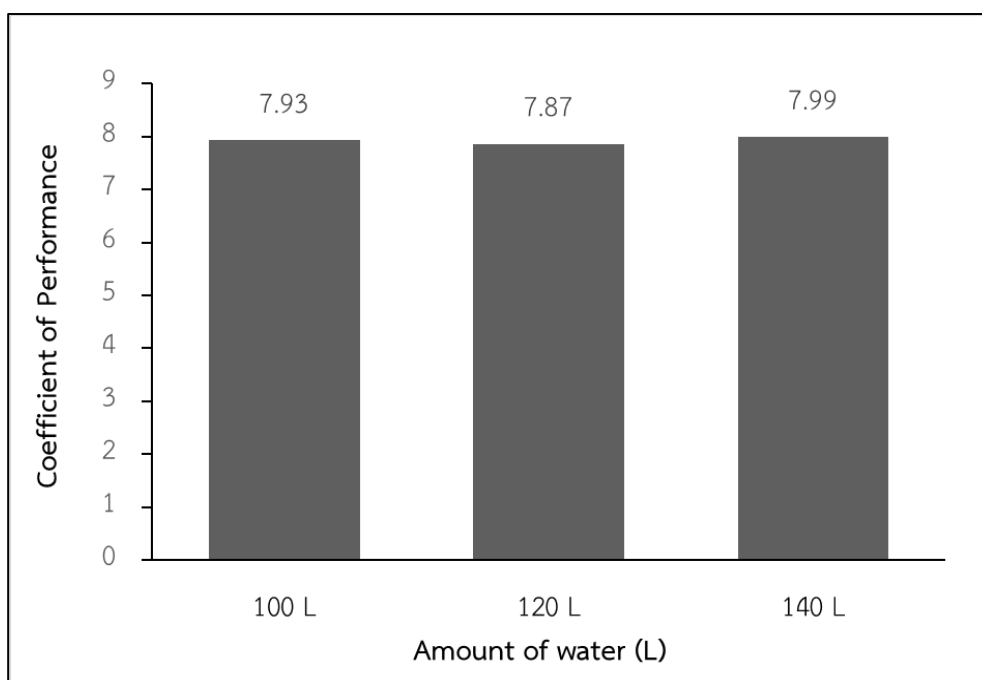


ภาพที่ 112 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L

- ผลของปริมาณน้ำต่อสมรรถนะการผลิตน้ำเย็น

กรณีทดสอบปริมาณน้ำที่ 100 120 และ 140 L ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 7.93 7.87 และ 7.99 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 113 อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำที่อัตราการไหล 100 120 และ 140 L มีค่าเท่ากับ 10,467.50 10,551.24 และ 10,551.24 W ตามลำดับ

จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ 140 100 และ 120 L ตามลำดับ



ภาพที่ 113 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นกรณีทดสอบปริมาณน้ำที่ 100 120 และ 140 L

ตารางที่ 6 สรุปผลของปริมาณน้ำต่ออุณหภูมิน้ำเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน

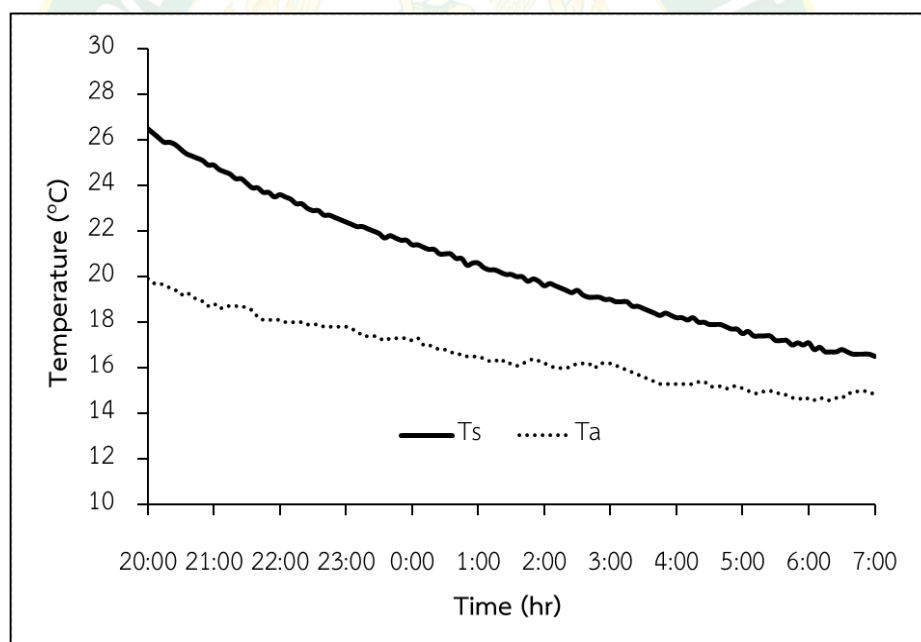
ปริมาณน้ำ (L)	100	120	140
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 19.00 น. (°C)	27.00	27.00	26.90
อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ที่ 6.00 น. (°C)	19.50	20.80	21.50
ลดอุณหภูมิน้ำลงได้ (°C)	7.50	6.20	5.40
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำระบายออกจากถัง (W)	10,467.50	10,551.24	10,551.24
สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็น	7.93	7.87	7.99

สรุปผลของปริมาณน้ำต่ออุณหภูมิน้ำเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน โดยใช้อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min เมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ ณ เวลา 6:00 น. พบว่าที่ปริมาณน้ำ 100 L สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 7.50 °C และผลิตน้ำเย็นที่ 6:00 น. ได้ 19.50 °C แต่เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็น (COP) พบว่าที่ปริมาณน้ำ 140 L มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นสูงที่สุด 7.99 ดังนั้นปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับระบบได้แก่ 140 L แสดงดังตารางที่ 6

3. สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

3.1 ผลของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้และสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็น

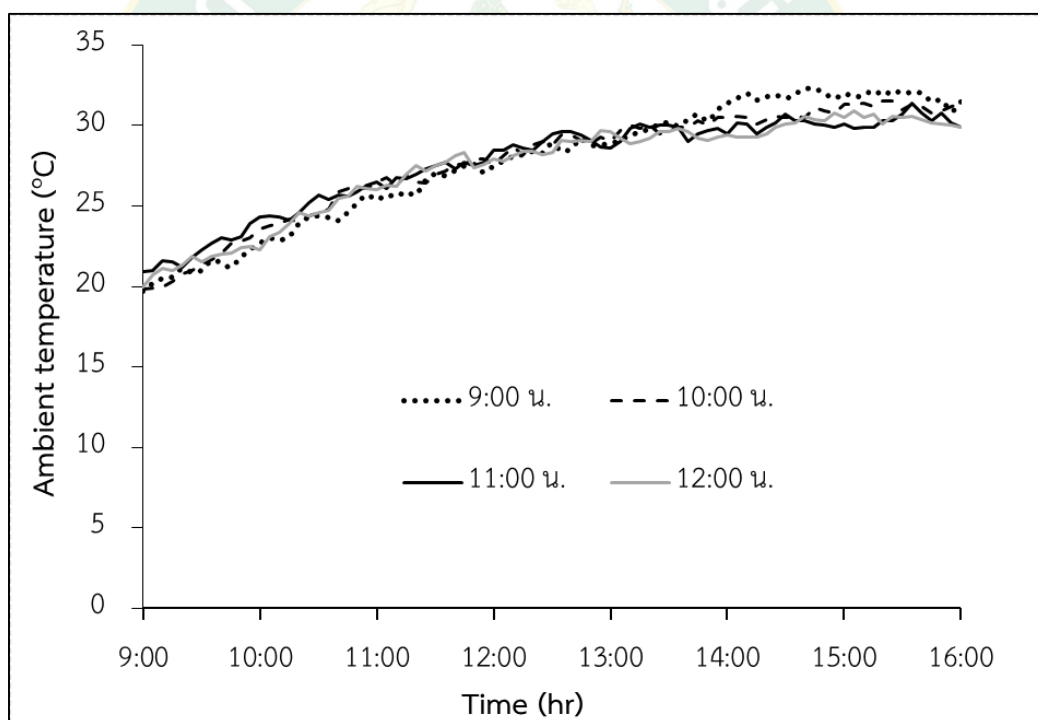
การทดสอบเพื่อผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ โดยจะใช้อัตราการไหลและปริมาณของน้ำหมุนเวียนในระบบที่เหมาะสมของผลการทดลองส่วนที่ 2 ที่อัตราการไหล 1 L/min และปริมาณน้ำในถัง 140 L ณ เวลา 20:00 – 7:00 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่เวลา 20:00 น. เท่ากับ 26.50 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 10.00 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิน้ำที่เวลา 7:00 น. เท่ากับ 16.50 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 19.90 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 7:00 น. 14.90 °C แสดงดังภาพที่ 114 และได้สมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อเท่ากับ 14.80



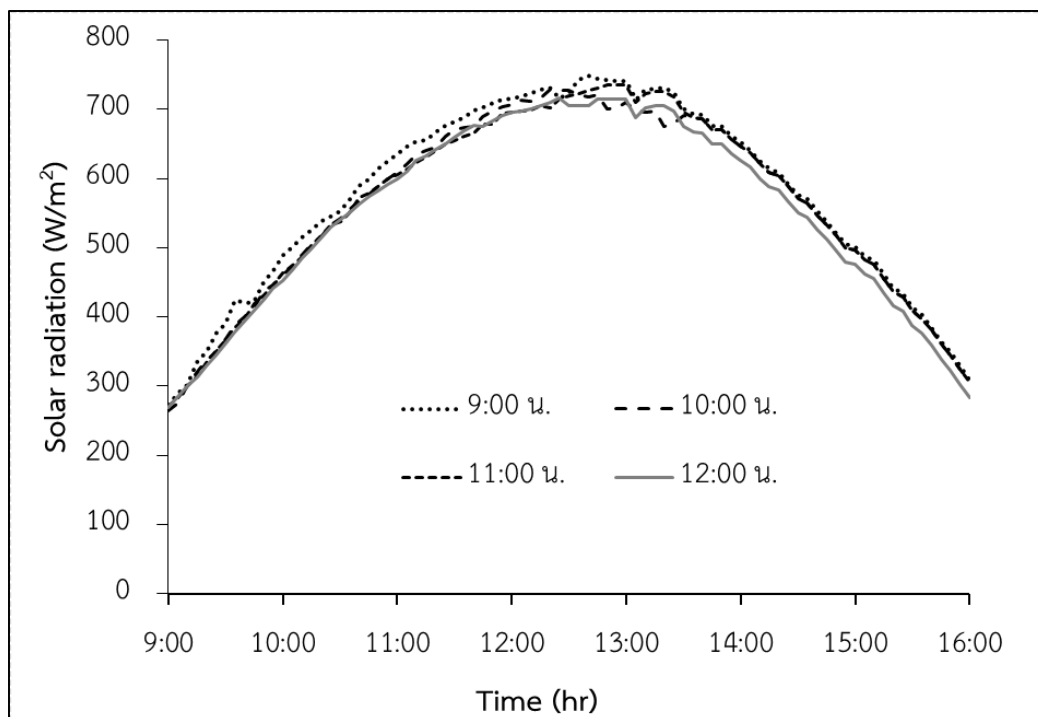
ภาพที่ 114 อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้

4. ผลการทดสอบเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนที่เวลา 9:00 10:00 11:00 และ 12:00 น. เก็บข้อมูลจนถึงเวลา 16:00 น. โดยใช้อัตราการไหลของน้ำที่ 2 L/min และใช้ปริมาณน้ำ 140 L โดยค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกันแสดงดังภาพที่ 115 และทำการวิเคราะห์อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถึงเก็บน้ำร้อน กำลังไฟฟ้าที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 115 ค่ารังสีอาทิตย์ที่เวลา 9:00 10:00 11:00 และ 12:00 น.

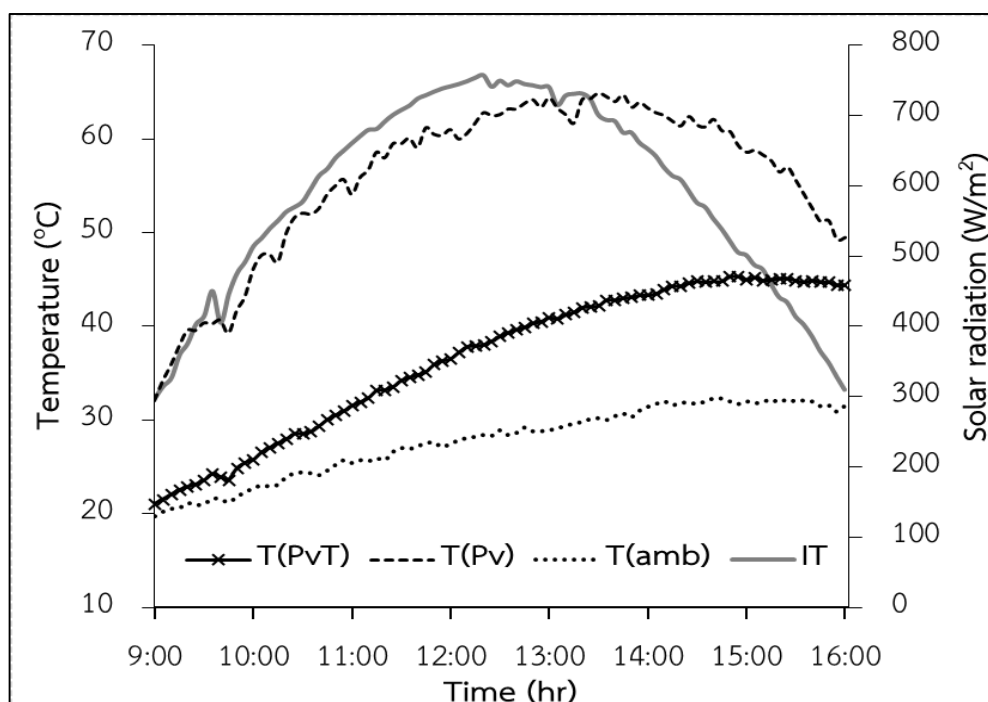


ภาพที่ 116 อุณหภูมิแวดล้อมที่เวลา 9:00 10:00 11:00 และ 12:00 น.

4.1 ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น.

- อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 117 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:20 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 756.86 W/m² หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ 19.70 °C สูงสุดที่เวลา 14:40 น. มีค่าเท่ากับ 32.30 °C



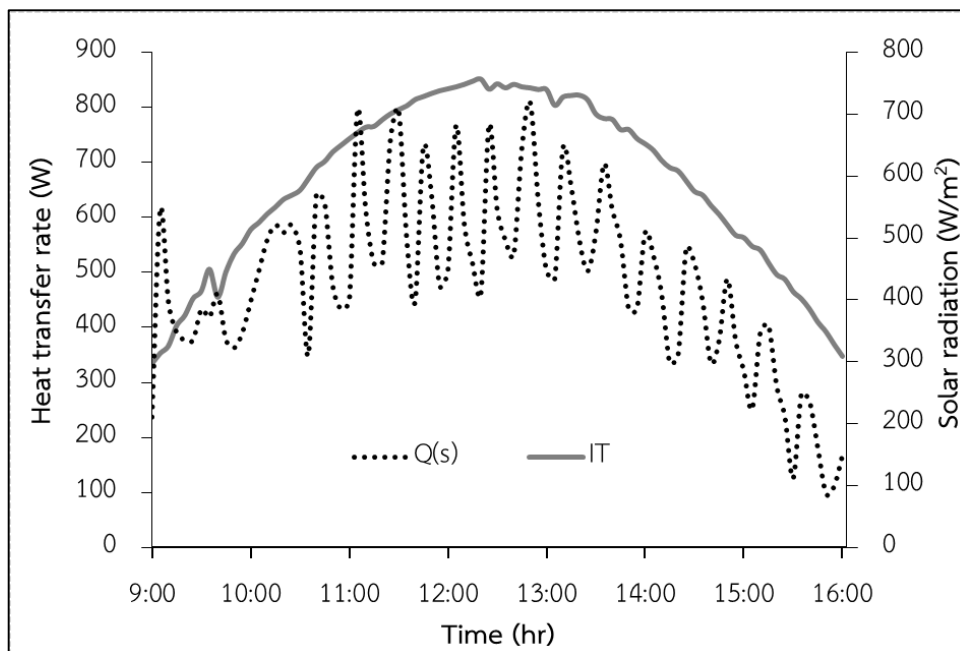
ภาพที่ 117 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน
โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น.

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นเวลา 9:00 น. ที่ 16.80 °C กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 16:00 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย 19.21 °C และสูงสุด 26.10 °C ที่เวลา 11:45 น. แต่หลังจาก 14:50 น. เป็นต้นไปพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเริ่มคงที่และลดลงเล็กน้อย

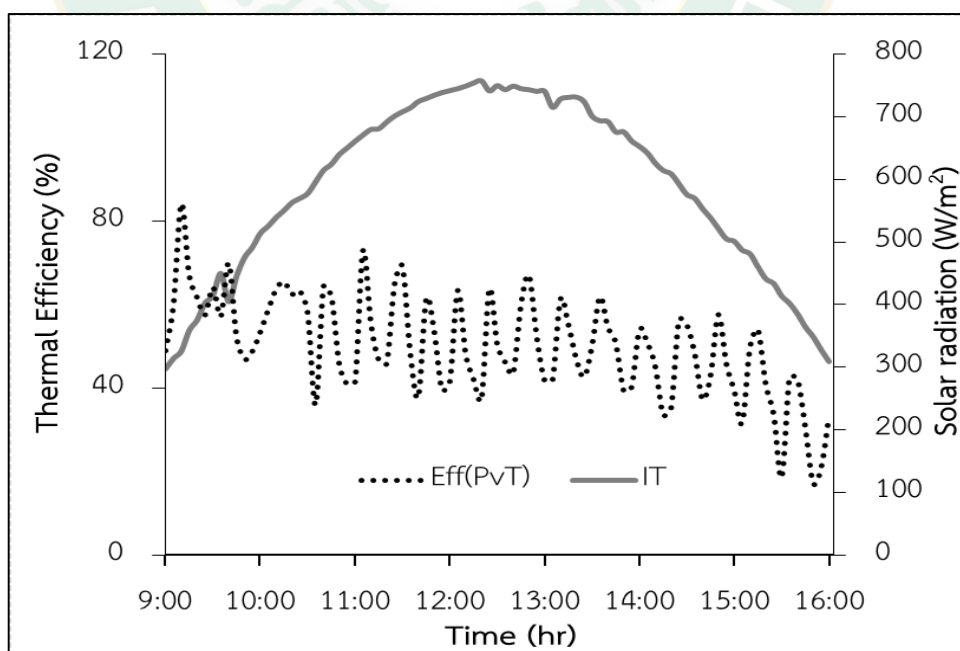
- **อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์**

จากภาพที่ 118 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 41,144.25 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 484.05 W และที่ 12:50 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 809.49 W และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์

แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 49.98% และที่เวลา 9:10 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 84.11% แสดงดังภาพที่ 119



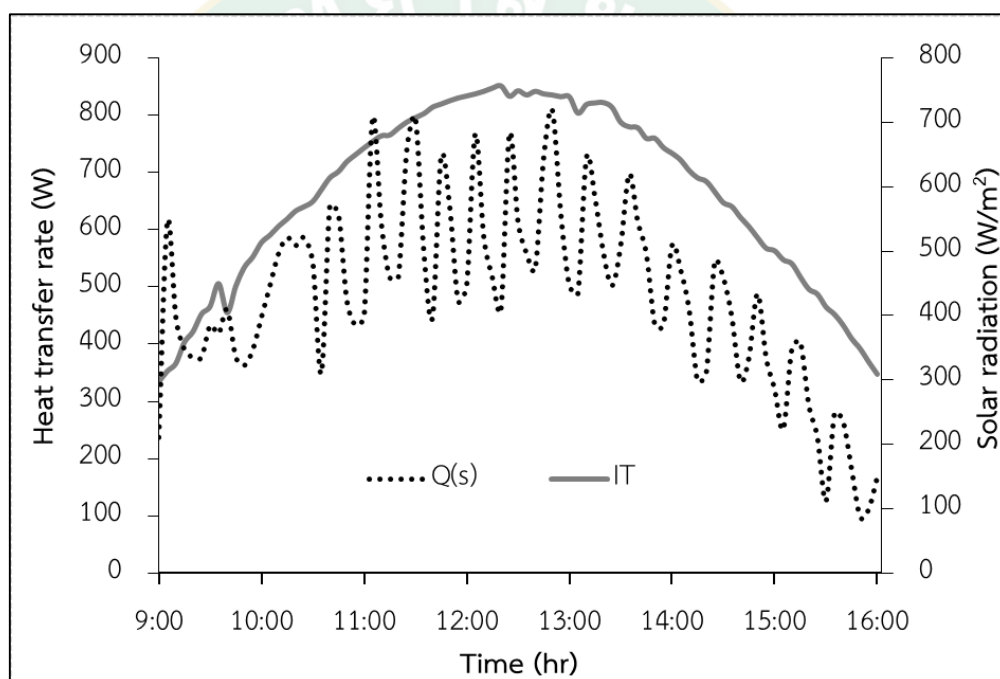
ภาพที่ 118 อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 9:00 น.



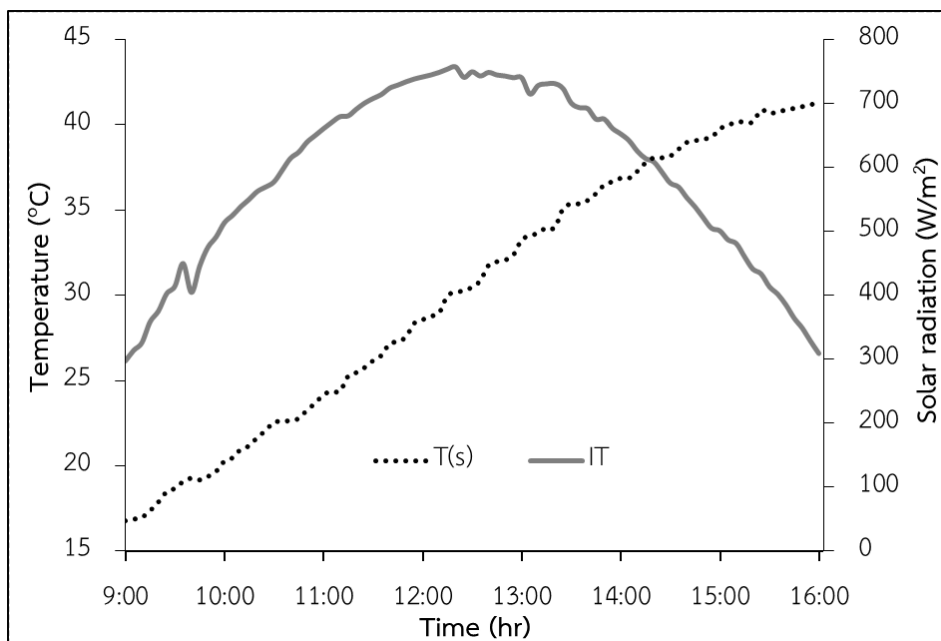
ภาพที่ 119 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.

- อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน

จากภาพที่ 120 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น. เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 41,144.25 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 484.05 W และที่ 12:50 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 809.49 W และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 16.80 °C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำ 41.40 °C แสดงดังภาพที่ 121



ภาพที่ 120 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.

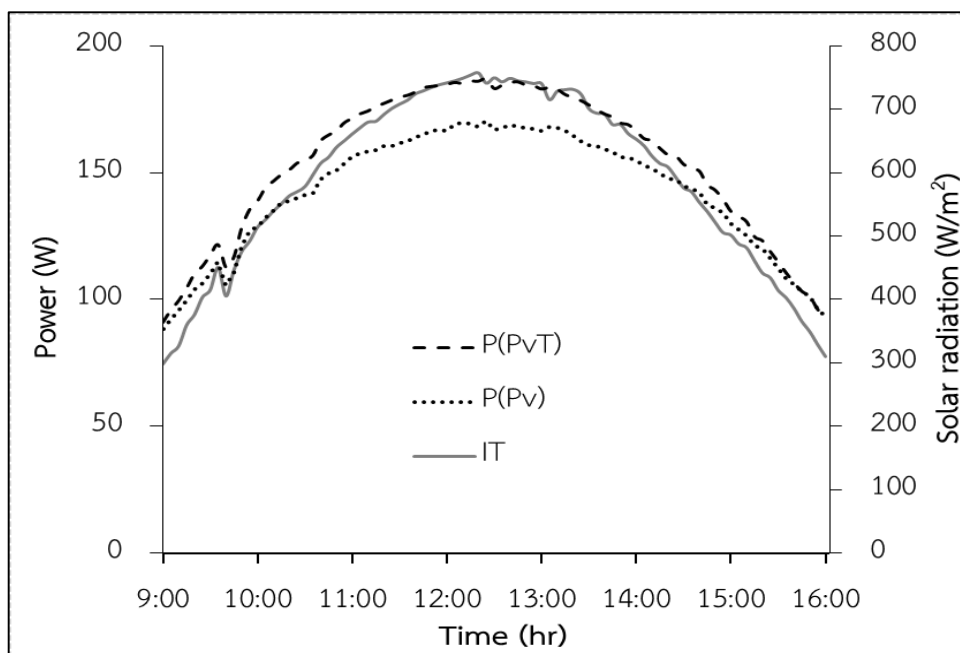


ภาพที่ 121 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.

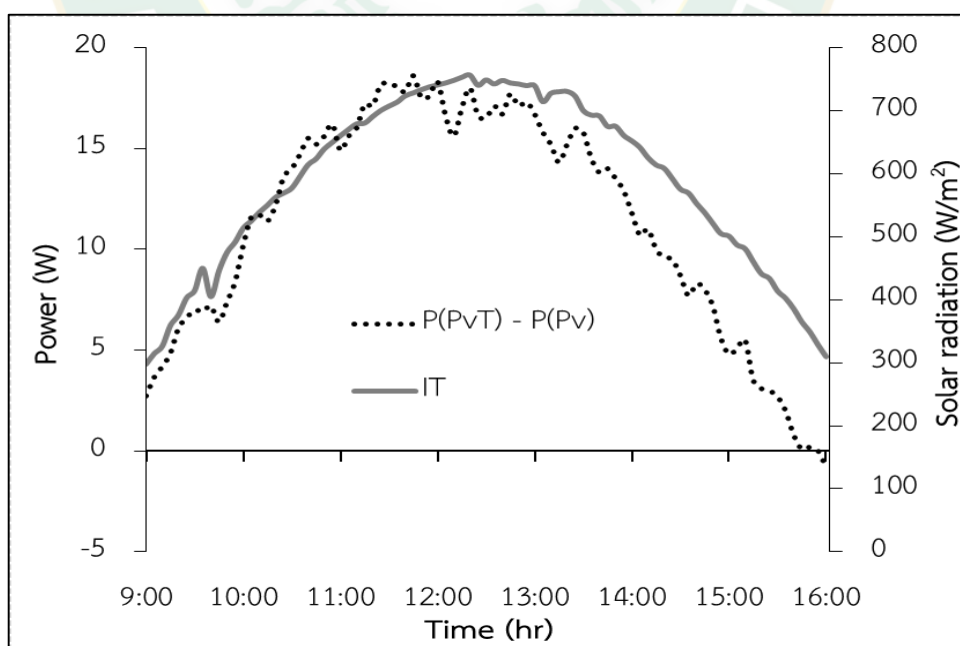
- กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำเช่นเดียวกับค่ารังสีอาทิตย์เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปตามค่ารังสีอาทิตย์ อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าก็ยังแปรผกผันกับอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งที่ค่ารังสีแสงอาทิตย์เดียวกันการลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับกรณีไม่มีการระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จากภาพที่ 122 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 16.80 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 154.14 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 142.70 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 11.44 W แสดงดังภาพที่ 123 และที่เวลา 11:45 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 18.60 W เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่น้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุด แต่หลังจากเวลา 15:55 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 93.28 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 92.48 W เนื่องจากอุณหภูมิน้ำที่นำมาระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงจึงไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่กลับเป็นน้ำที่ถ่ายเทความร้อนให้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แทน พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.07 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงาน

ไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.99 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.08 kWh



ภาพที่ 122 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.

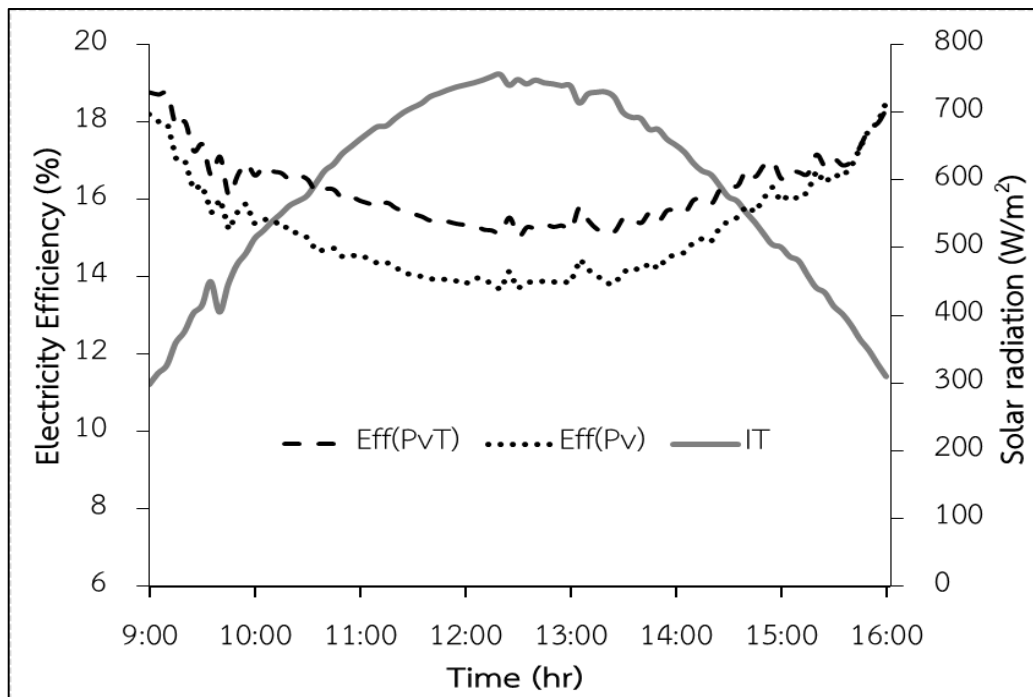


ภาพที่ 123 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.

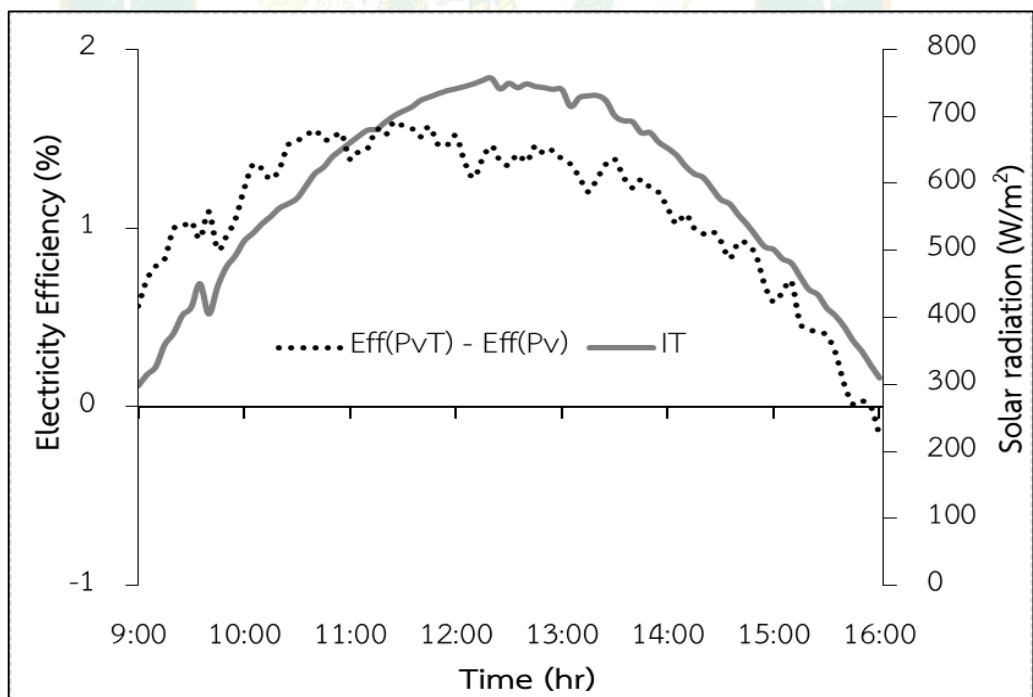
- **ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์**

จากภาพที่ 124 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 9:00 น. ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนพบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 16.24 และ 15.12% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่หลังจากเวลา 15:55 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 18.52% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 18.36% ซึ่งกรณีที่มีระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน เนื่องจากน้ำที่ไประบายความร้อนไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 15:55 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.60% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 11.34% ที่เวลา 11:25 น. แต่หลังจากเวลา 15:55 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -0.86% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่าเนื่องจาก น้ำไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงดังภาพที่ 125 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 7.50%



ภาพที่ 124 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.

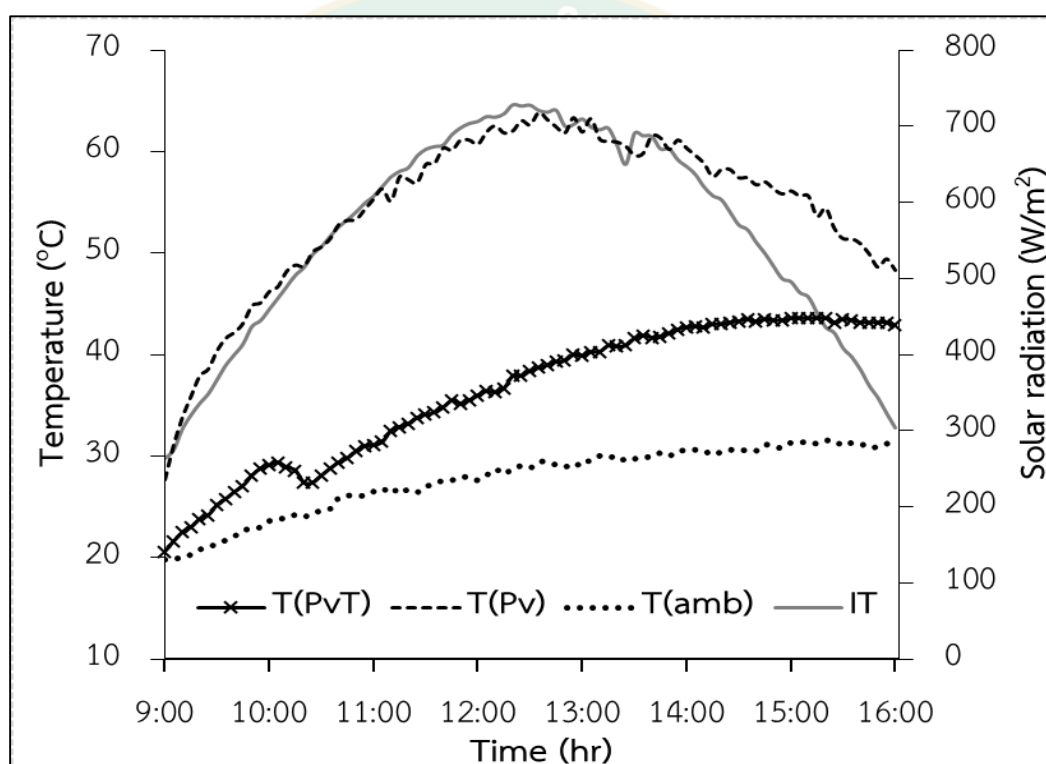


ภาพที่ 125 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 9:00 น.

4.2 ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น.

- อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 126 กรณีสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:20 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 728.23 W/m^2 หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ $19.80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สูงสุดที่เวลา 15:20 น. มีค่าเท่ากับ $31.50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

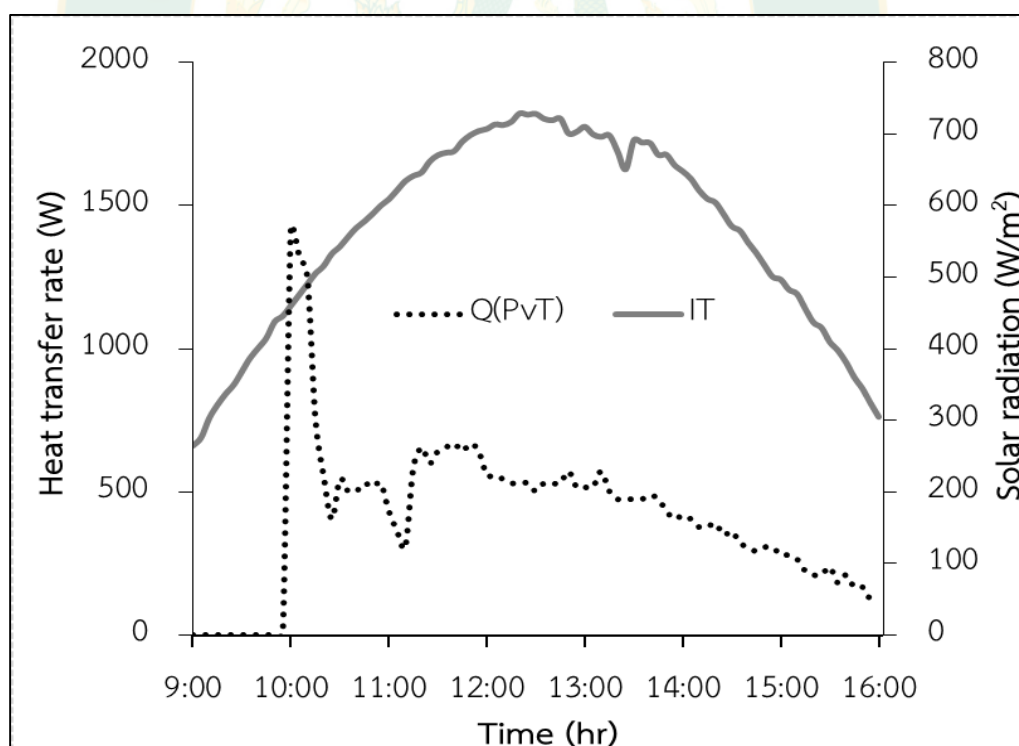


ภาพที่ 126 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน
โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น.

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นเวลา 10:00 น. ที่ $17.80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 - 16:00 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย $20.57 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงสุด $26.20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 12:10 น.

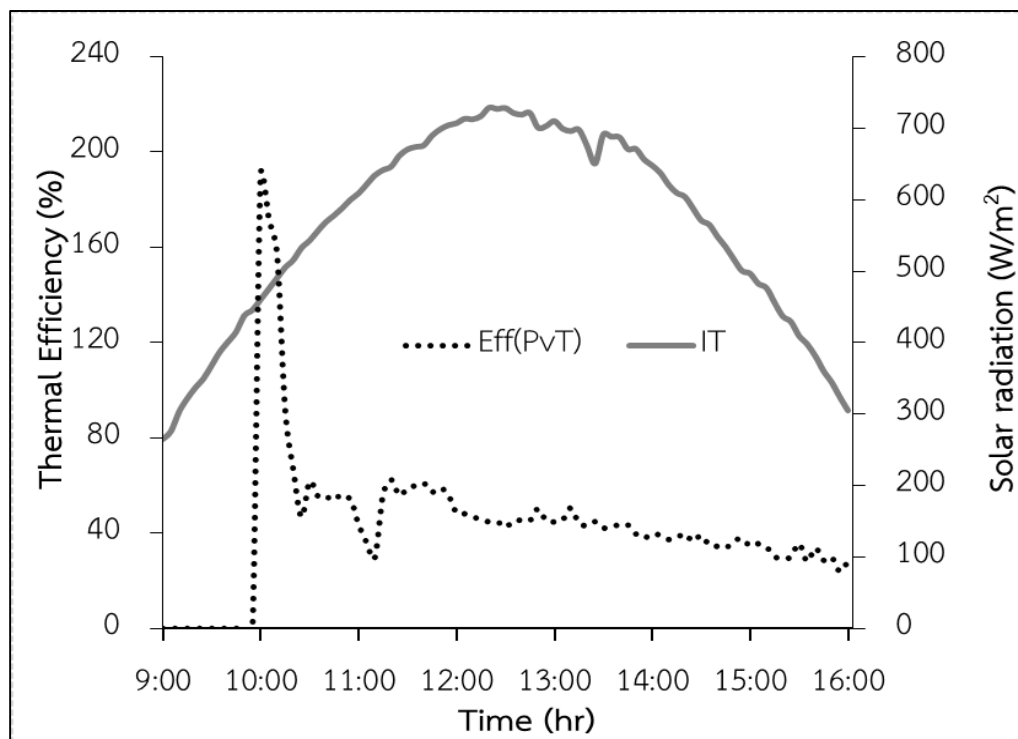
- อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 127 กรณีสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 10:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 34,863.75 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 477.59 W และที่ 10:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 1,423.58 W และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 10:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 49.60% และที่เวลา 10:00 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 190.19% แสดงดังภาพที่ 128 เนื่องจากเป็นเวลาที่อุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าที่สูงและน้ำที่เข้าไปถึงความร้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำที่ถึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเกิน 100%



ภาพที่ 127 อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

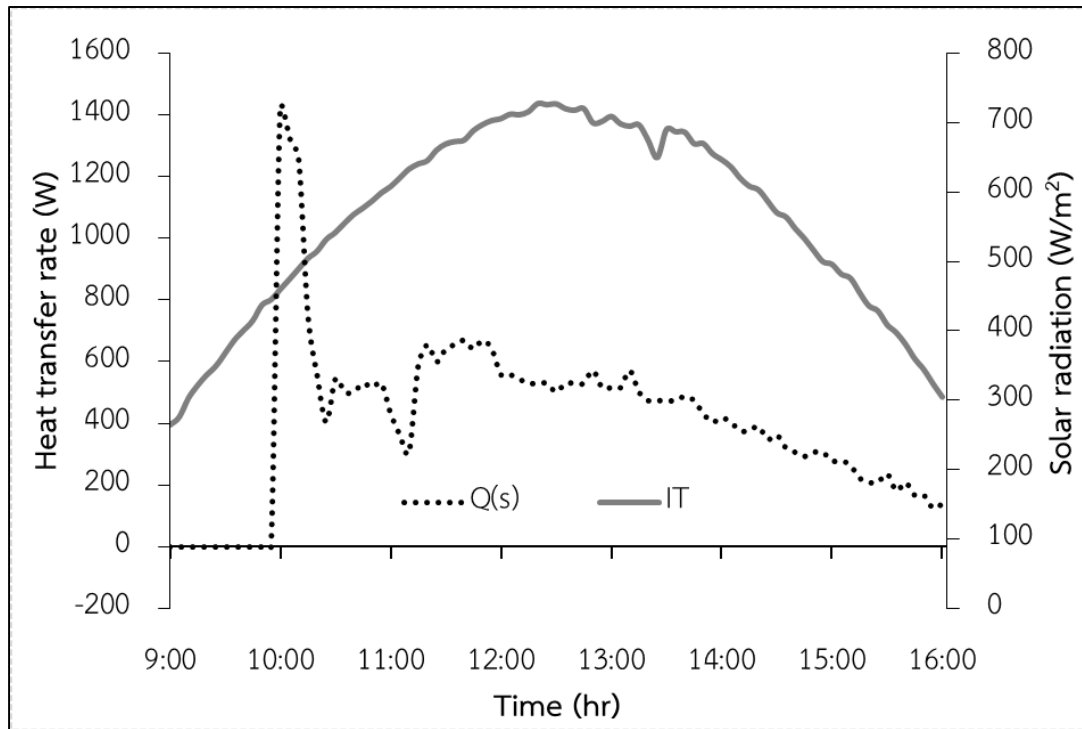
ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 10:00 น.



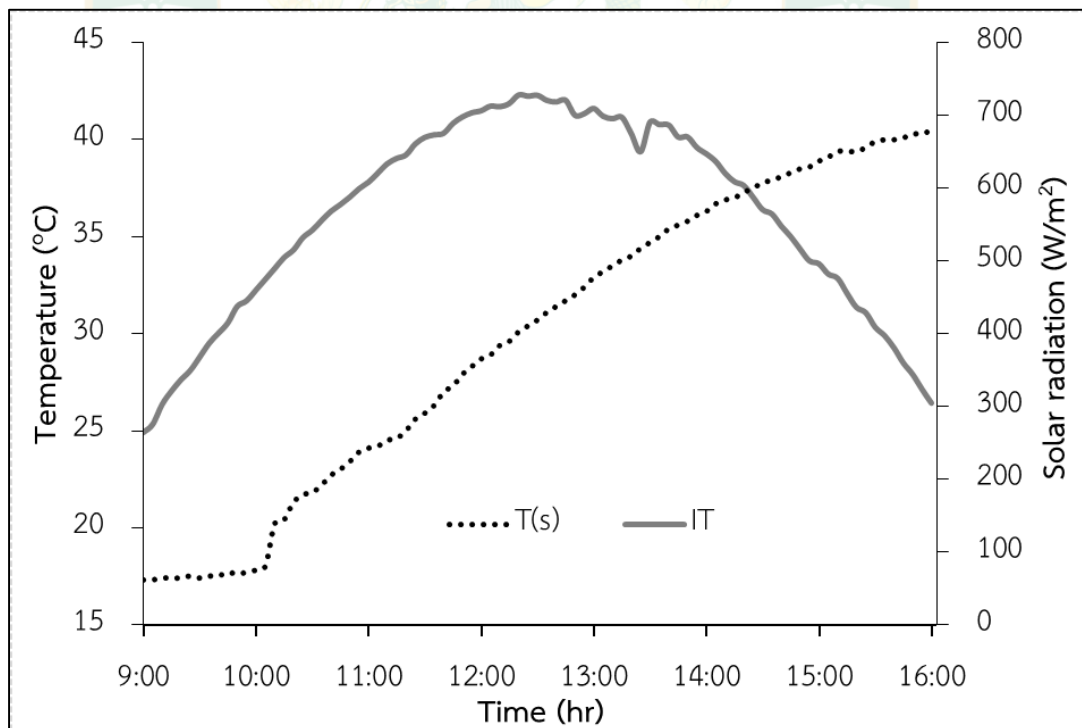
ภาพที่ 128 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.

- อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน

จากภาพที่ 129 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 10:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 34,863.75 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 477.59 W และที่ 10:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 1,423.58 W และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 17.80 °C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำ 40.50 °C แสดงดังภาพที่ 130



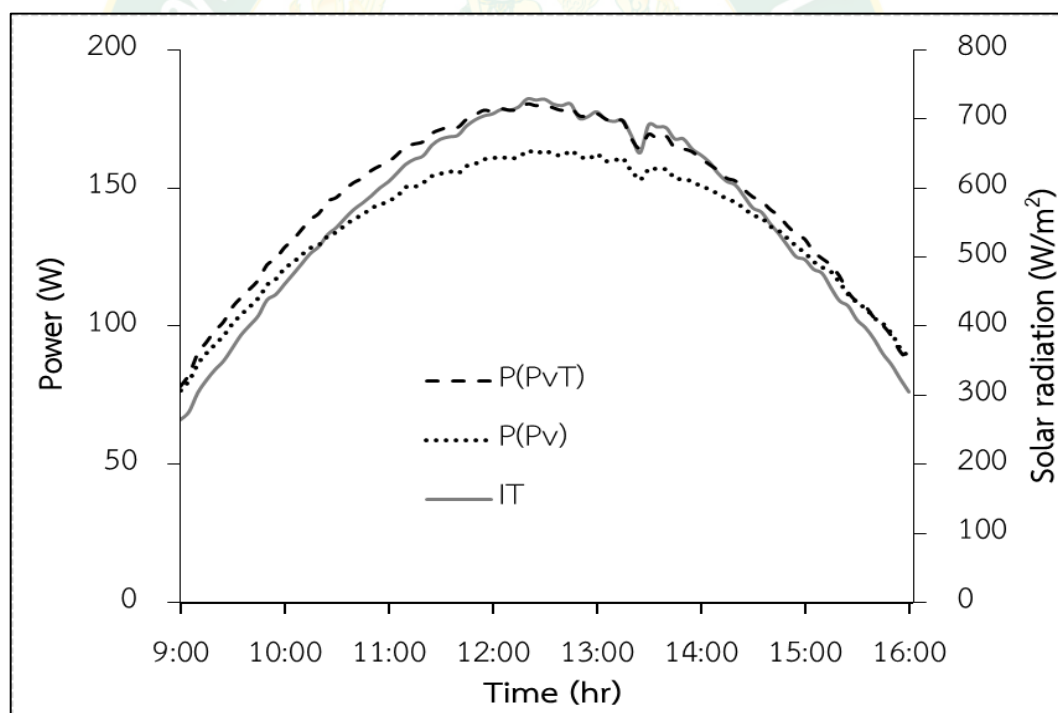
ภาพที่ 129 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.



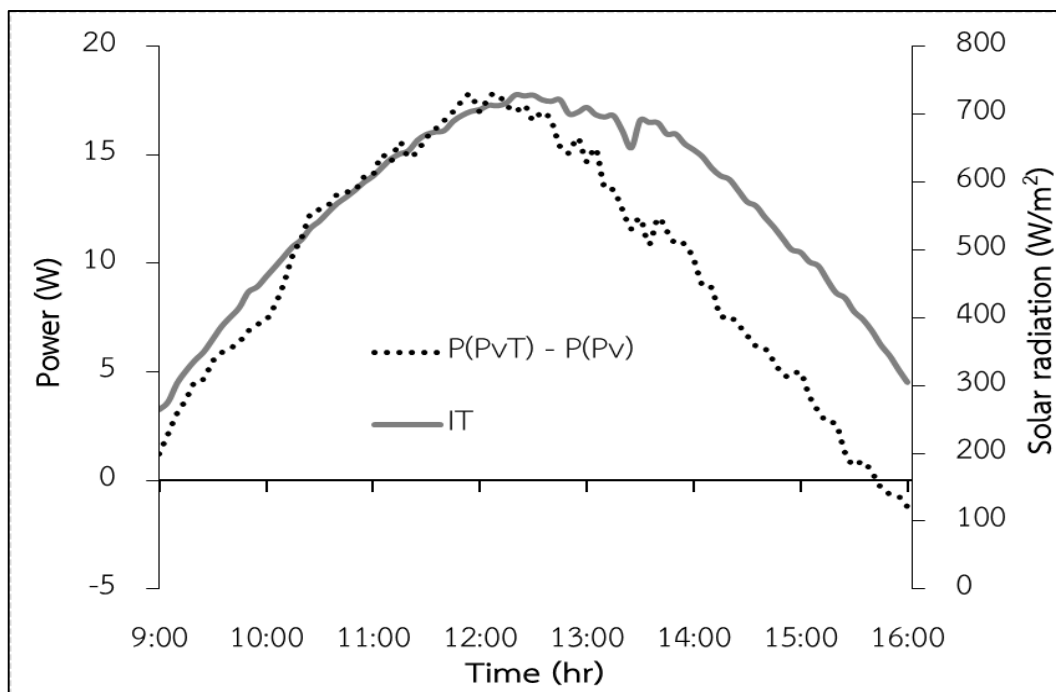
ภาพที่ 130 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.

- กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 131 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 17.80 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 148.29 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 137.91 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 10.38 W แสดงดังภาพที่ 132 และที่เวลา 12:10 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 17.80 W แต่หลังจากเวลา 15:40 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 94.47 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 93.77 W พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.02 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.95 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.07 kWh



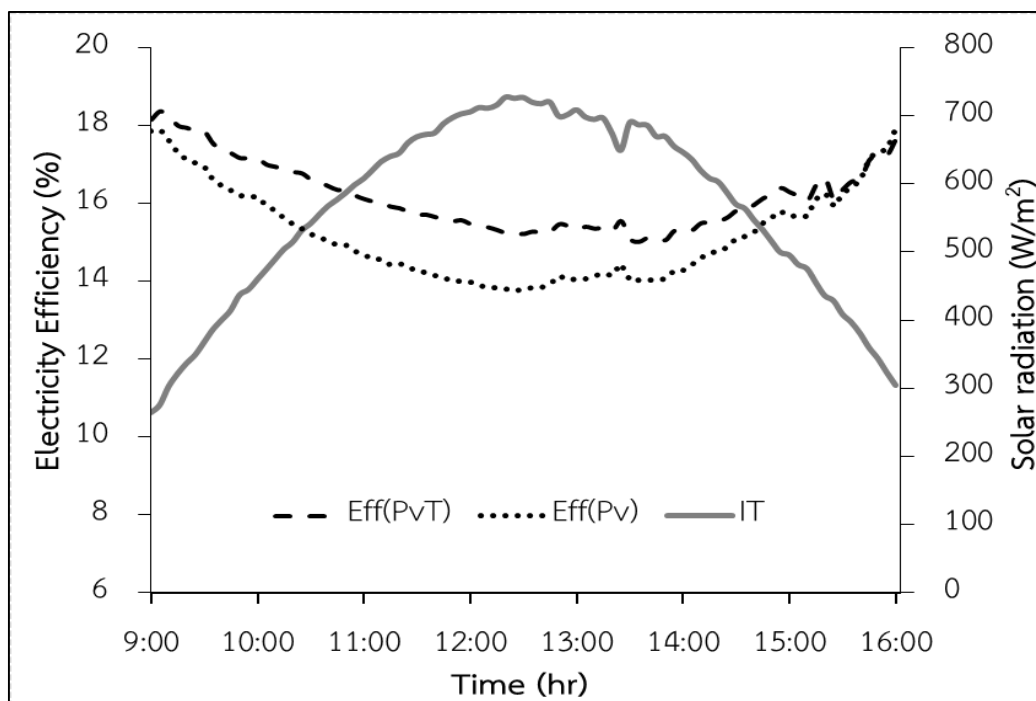
ภาพที่ 131 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.



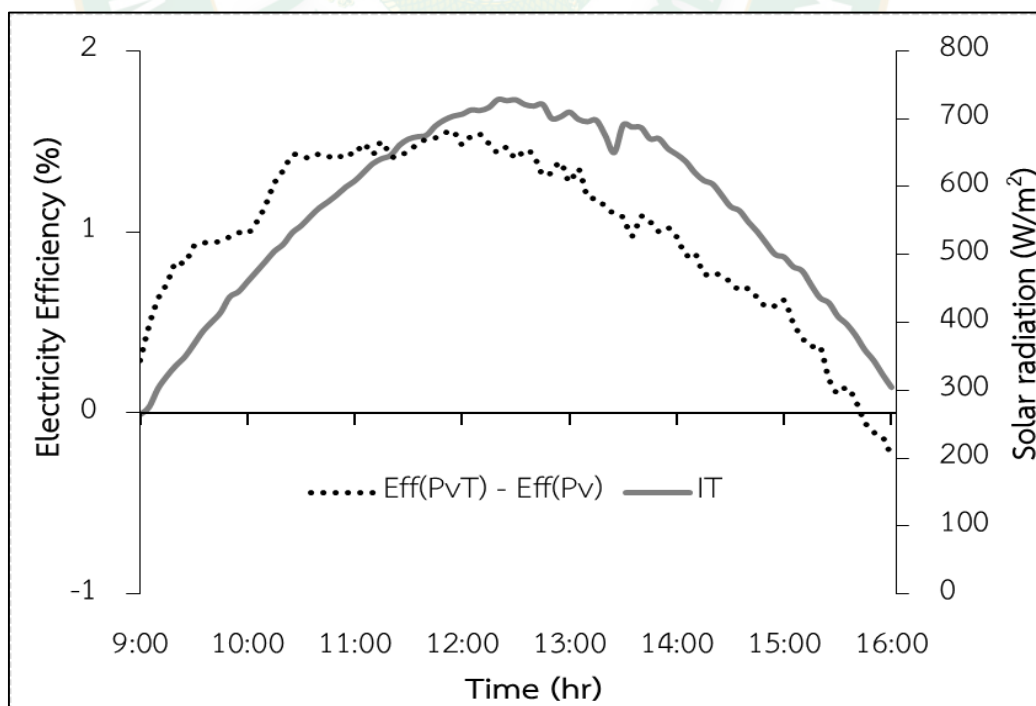
ภาพที่ 132 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.

- ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 133 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 10:00 น. ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนพบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 16.12 และ 15.07% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่หลังจากเวลา 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 17.45% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 17.32% ซึ่งกรณีที่มีระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน และช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.15% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 11.10% ที่เวลา 11:55 น. แต่หลังจากเวลา 15:40 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -0.76% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า แสดงดังภาพที่ 134 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 6.77%



ภาพที่ 133 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.

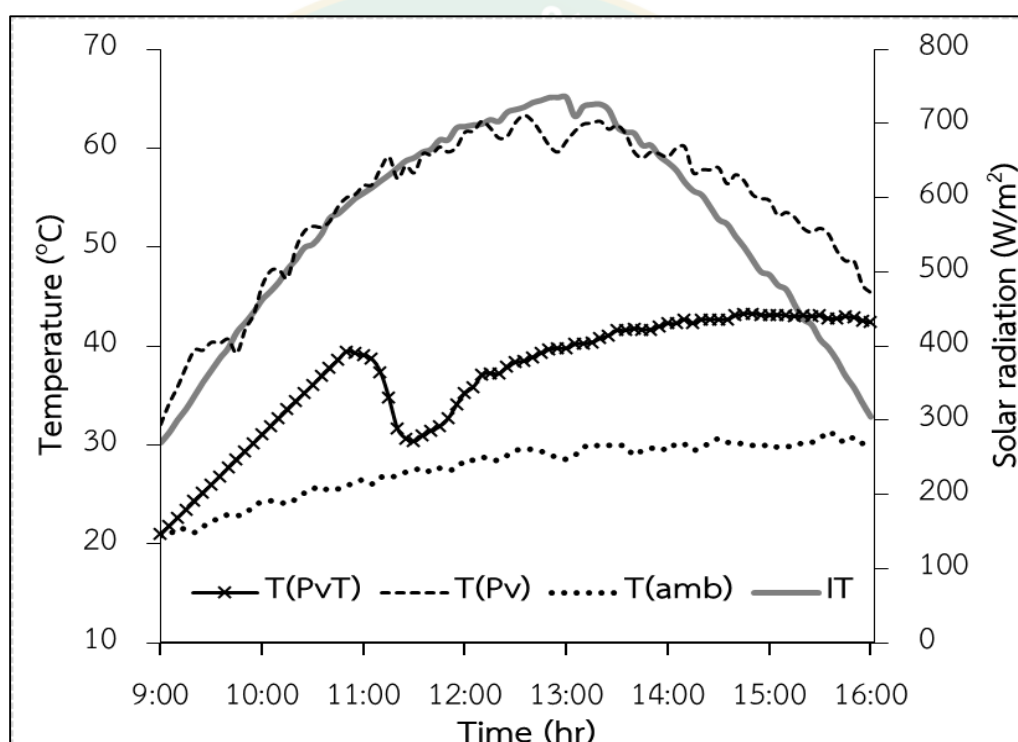


ภาพที่ 134 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 10:00 น.

4.3 ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น.

- อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 135 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:50 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 735.00 W/m^2 หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ $20.90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สูงสุดที่เวลา 15:35 น. มีค่าเท่ากับ $31.40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

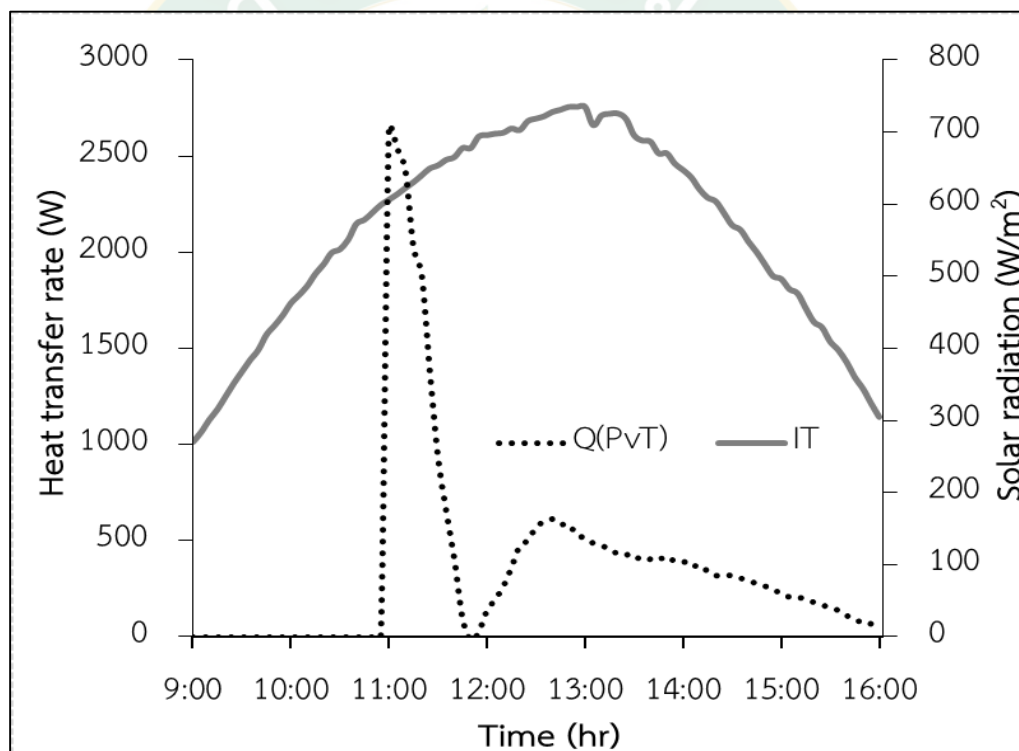


ภาพที่ 135 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน
โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น.

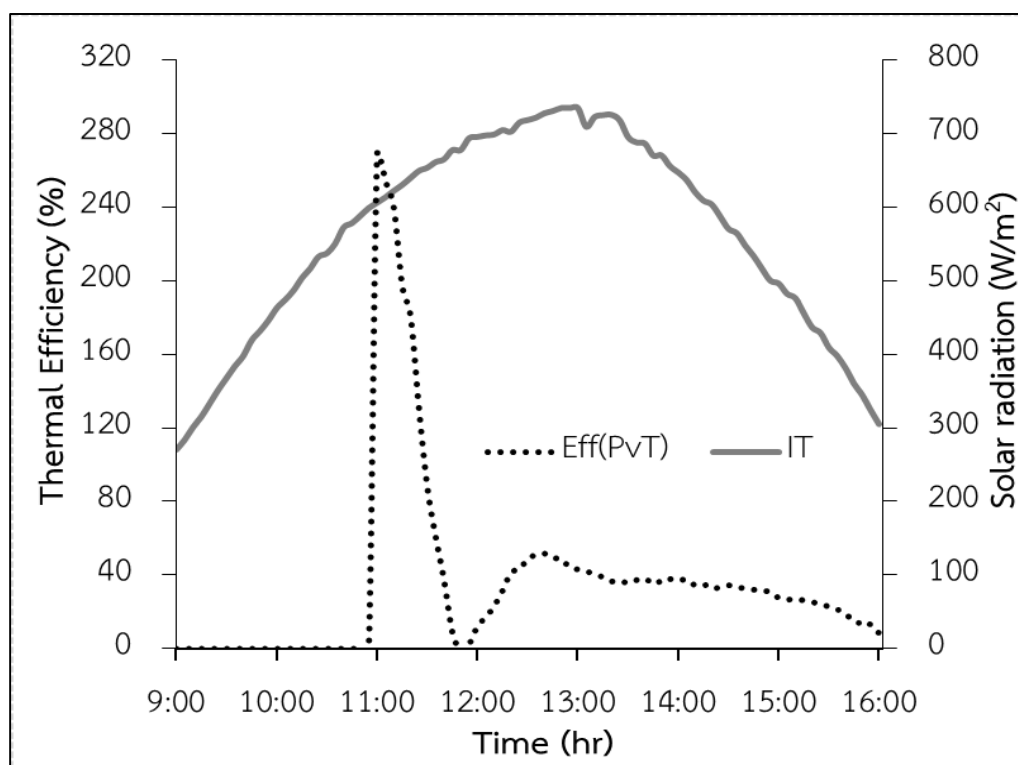
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นเวลา 11:00 น. ที่ $18.30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 - 16:00 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย $16.96 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงสุด $28.40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 11:35 น.

- อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 136 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น. เมื่อพิจารณาในส่วนของการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 11:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 31,402.50 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 514.80 W และที่ 11:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 2,651.77 W และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 11:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 50.32% และที่เวลา 11:00 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 268.88% แสดงดังภาพที่ 137



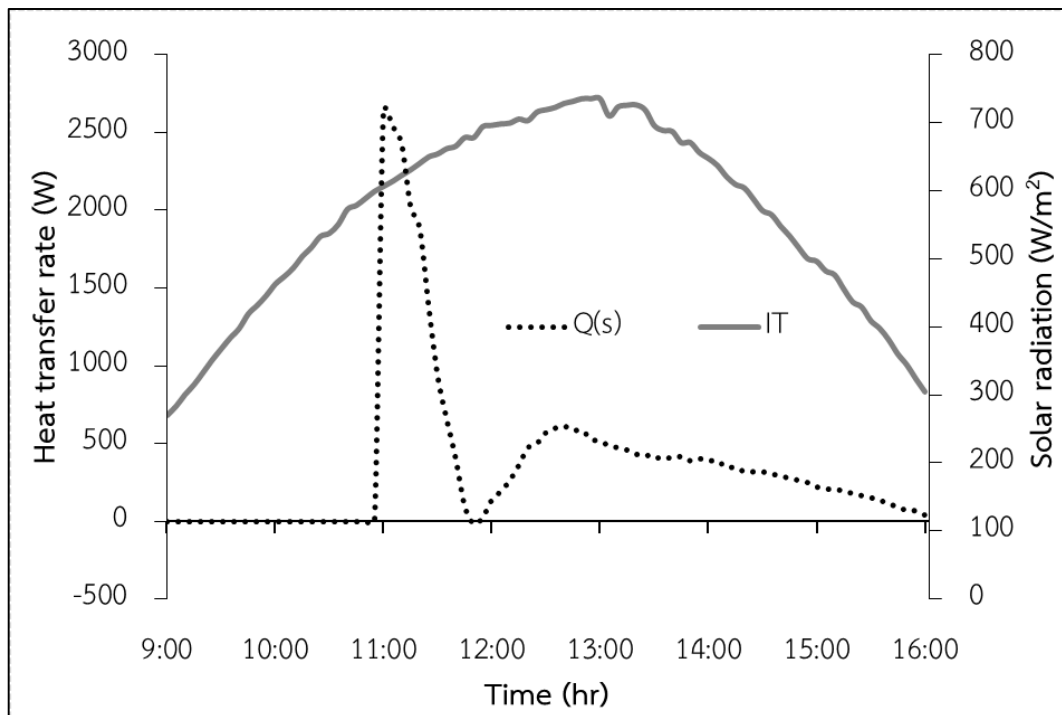
ภาพที่ 136 อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 11:00 น.



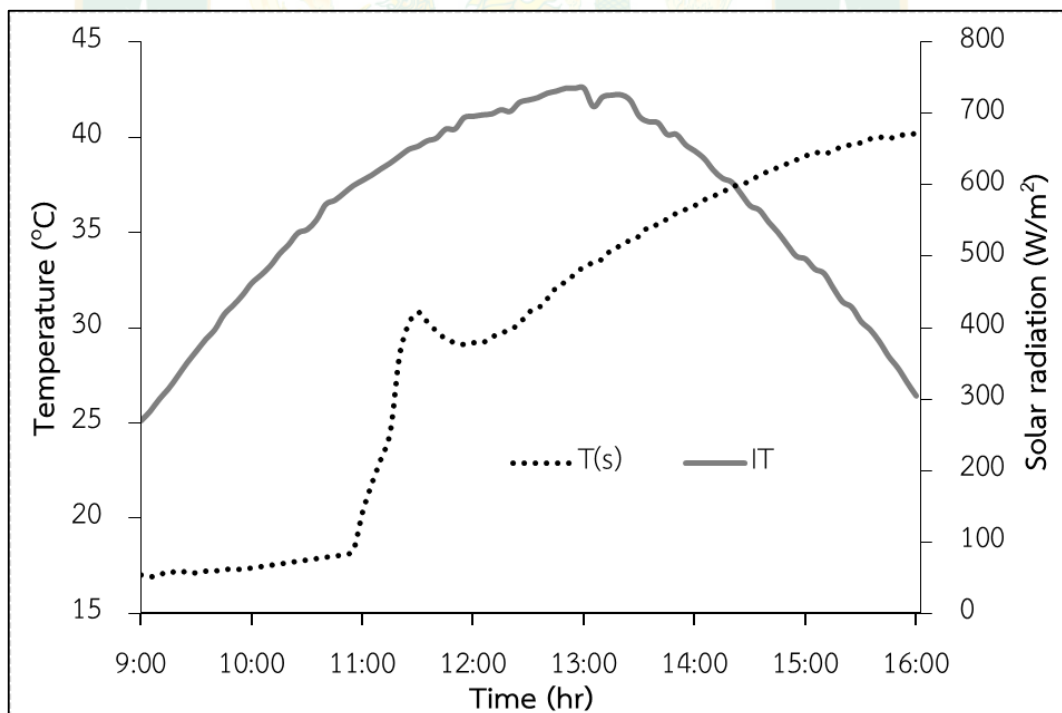
ภาพที่ 137 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.

- อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน

จากภาพที่ 138 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 11:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 31,402.50 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 514.80 W และที่ 11:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 2,651.77 W และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 18.30 °C และสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำ 40.20 °C แสดงดังภาพที่ 139



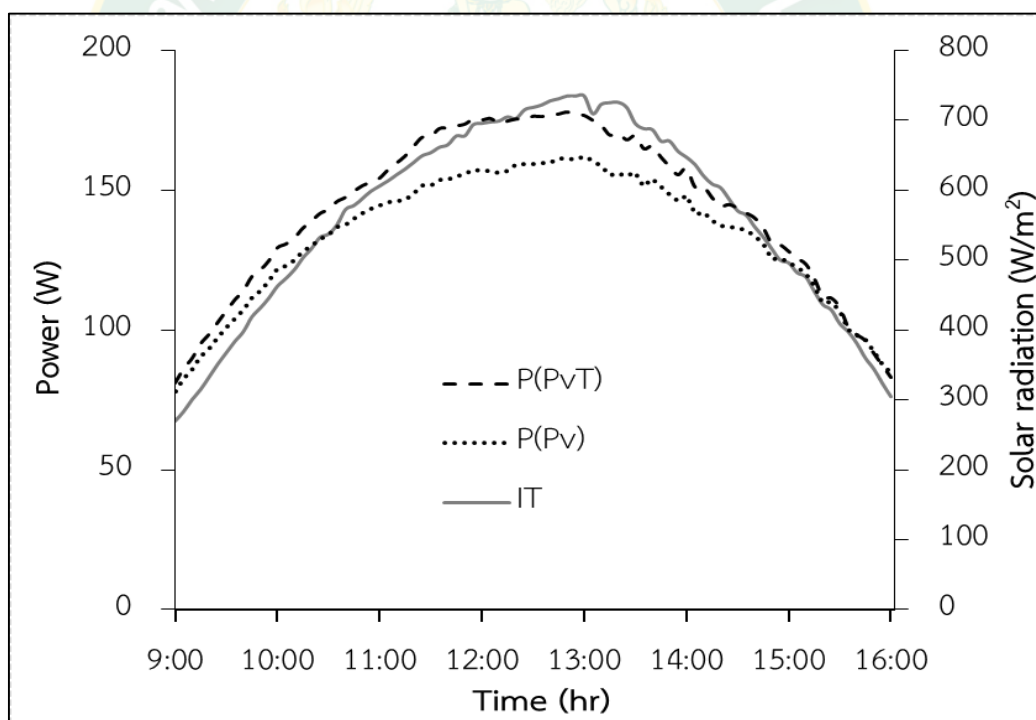
ภาพที่ 138 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.



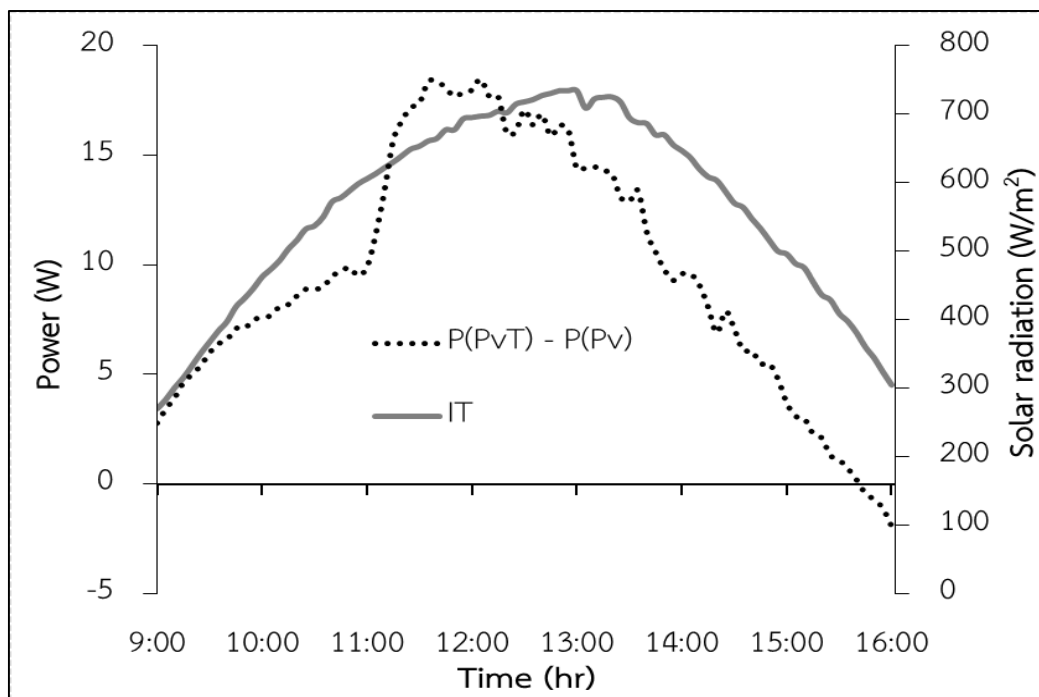
ภาพที่ 139 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.

- กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 140 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 18.30 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 145.90 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 135.74 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 10.16 W แสดงดังภาพที่ 141 และที่เวลา 12:05 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 18.50 W แต่หลังจากเวลา 15:40 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 90.45 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 89.40 W พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.00 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.94 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.06 kWh



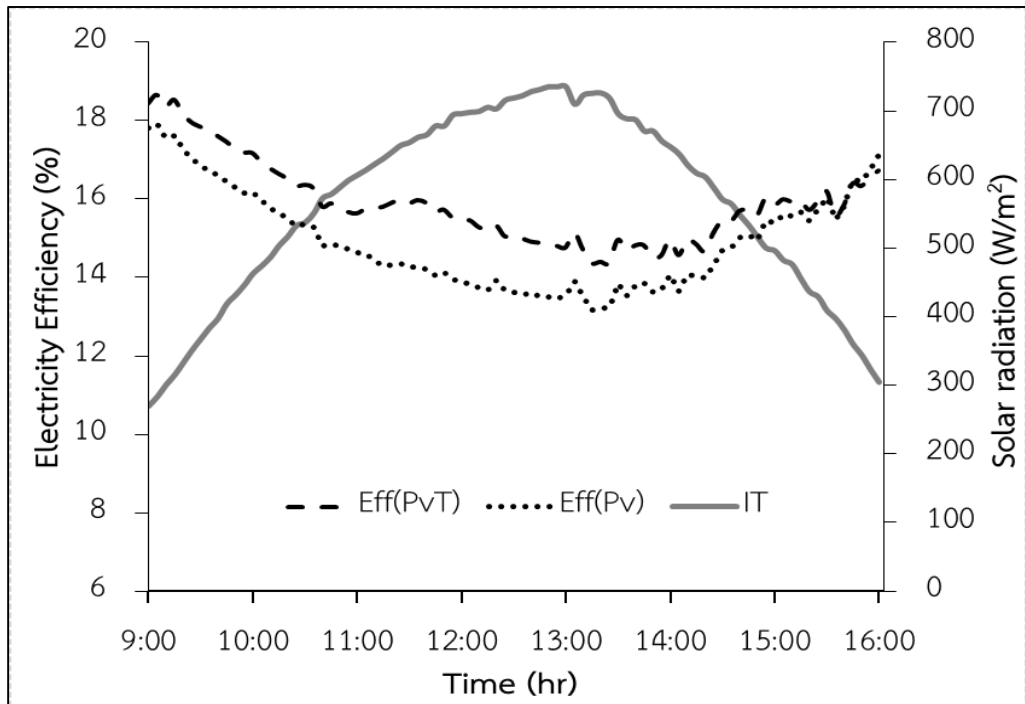
ภาพที่ 140 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.



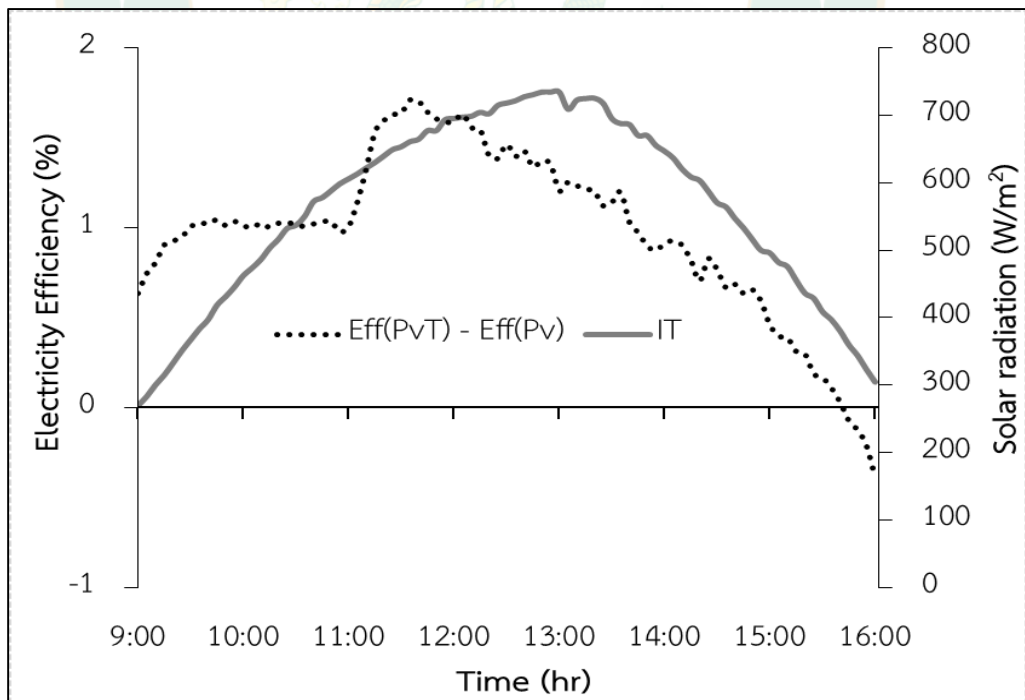
ภาพที่ 141 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.

● ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 142 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 11:00 น. พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 15.87 และ 14.84% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่หลังจากเวลา 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 16.71% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 16.51% ซึ่งกรณีที่มีระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.11% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 11.98% ที่เวลา 11:35 น. แต่หลังจากเวลา 15:40 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -1.20% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า แสดงดังภาพที่ 143 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 6.71%



ภาพที่ 142 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.

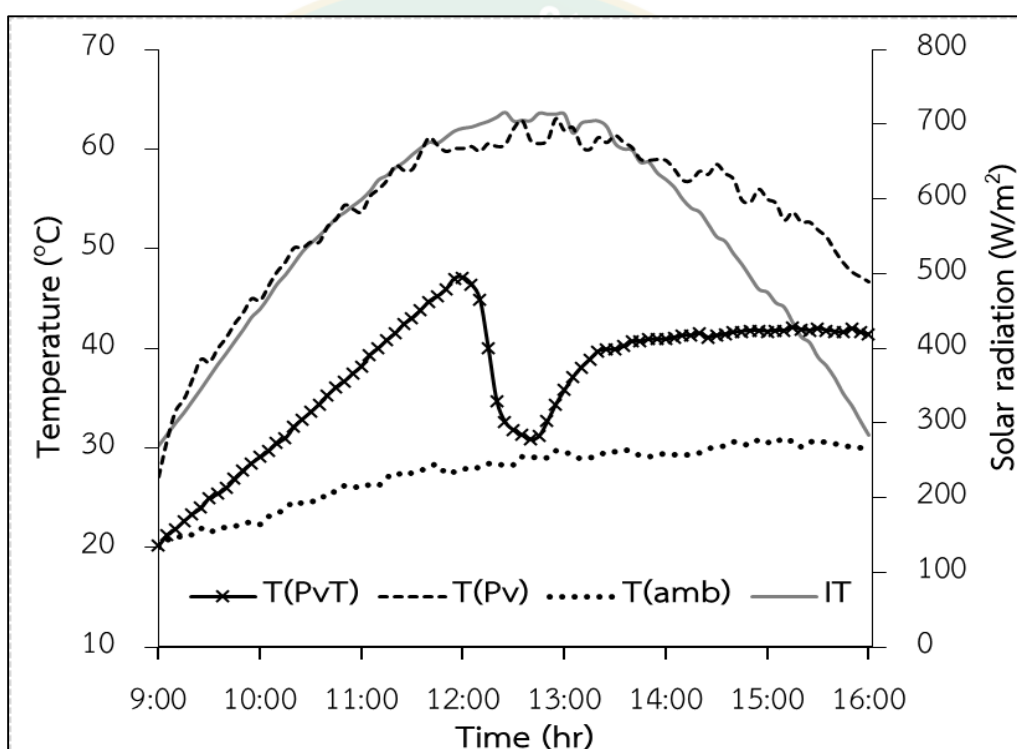


ภาพที่ 143 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 11:00 น.

4.4 ผลการทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น.

- อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 144 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น. เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่เวลา 12:25 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 716.32 W/m^2 หลังจากนั้นเริ่มลดลง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ $20.00 \text{ }^{\circ}\text{C}$ สูงสุดที่เวลา 15:05 น. มีค่าเท่ากับ $30.90 \text{ }^{\circ}\text{C}$

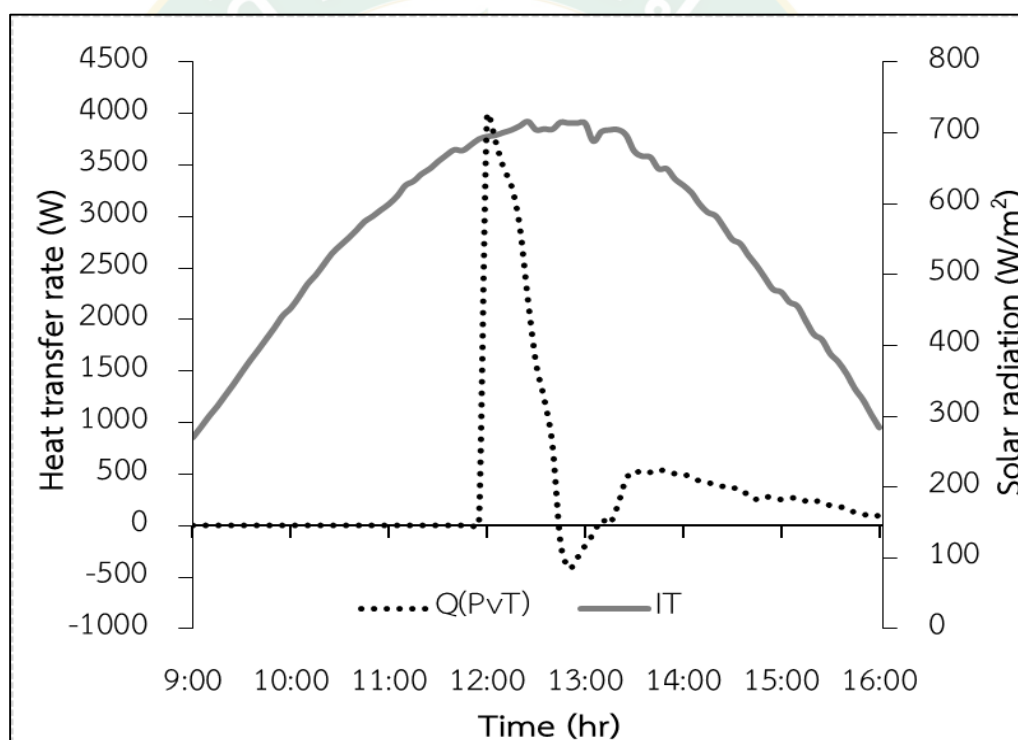


ภาพที่ 144 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบระบายความร้อน
โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น.

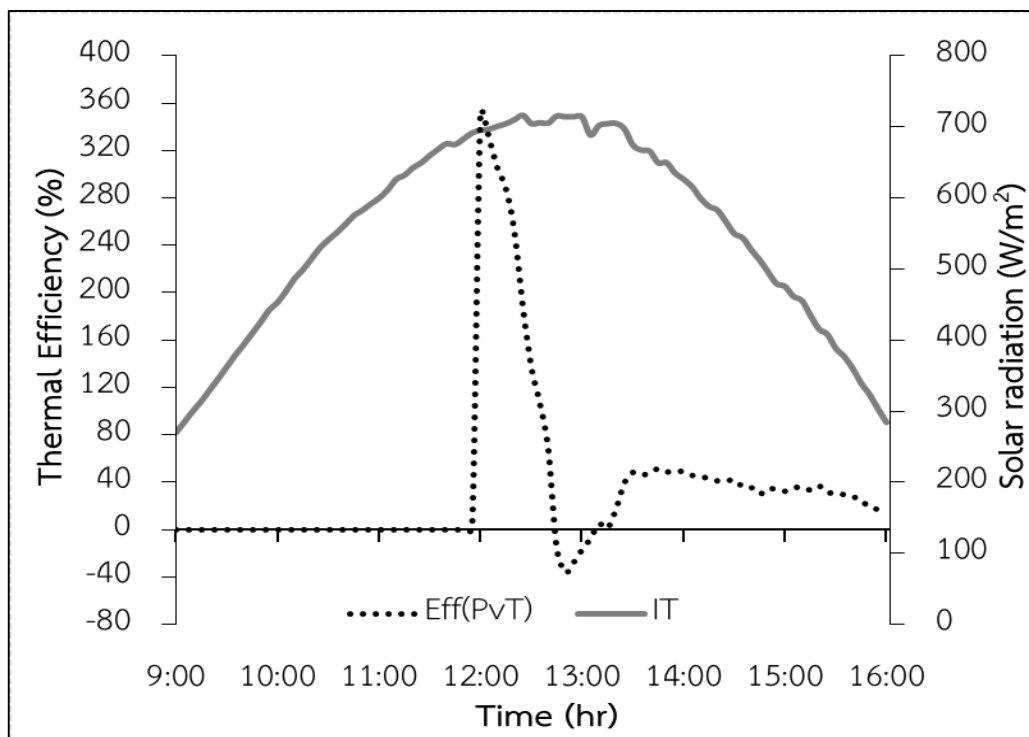
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบระหว่างกรณีมีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นเวลา 12:00 น. ที่ $18.10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ กรณีมีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 - 16:00 น. โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย $16.61 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงสุด $31.60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 12:35 น.

- อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 145 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น. อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 12:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 32,616.73 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 665.65 W และที่ 12:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 3,977.65 W และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 12:00 – 16:00 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ยอยู่ที่ 63.92% และที่เวลา 11:00 น. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 351.72% แสดงดังภาพที่ 146



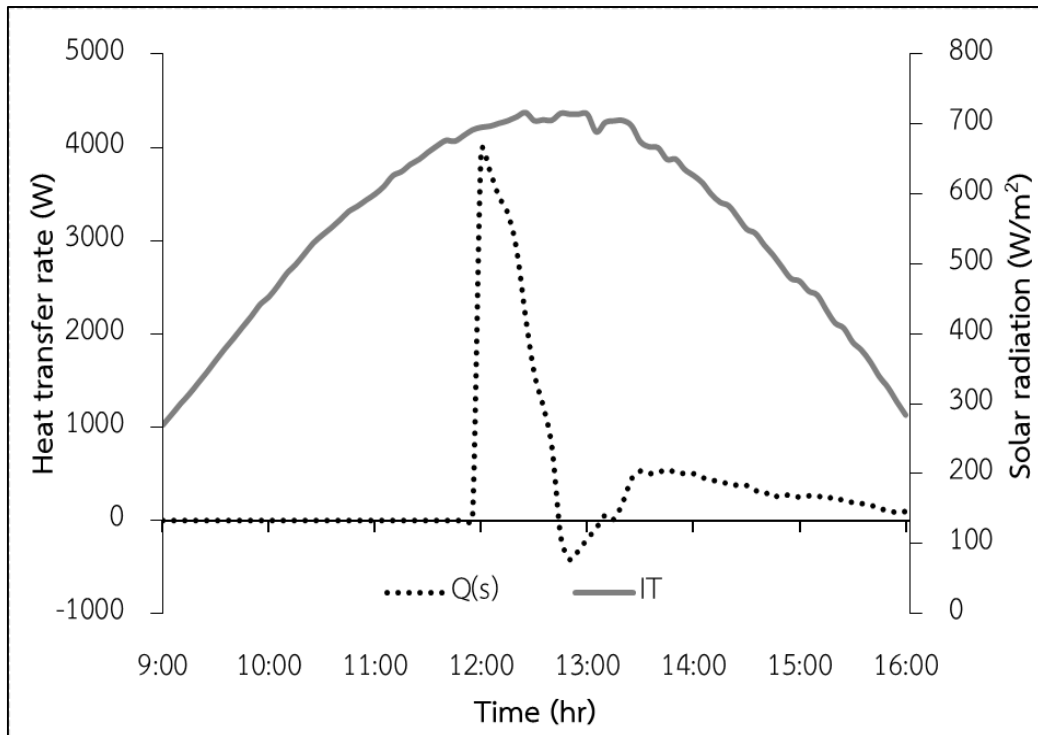
ภาพที่ 145 อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบระบายความร้อนที่เวลา 12:00 น.



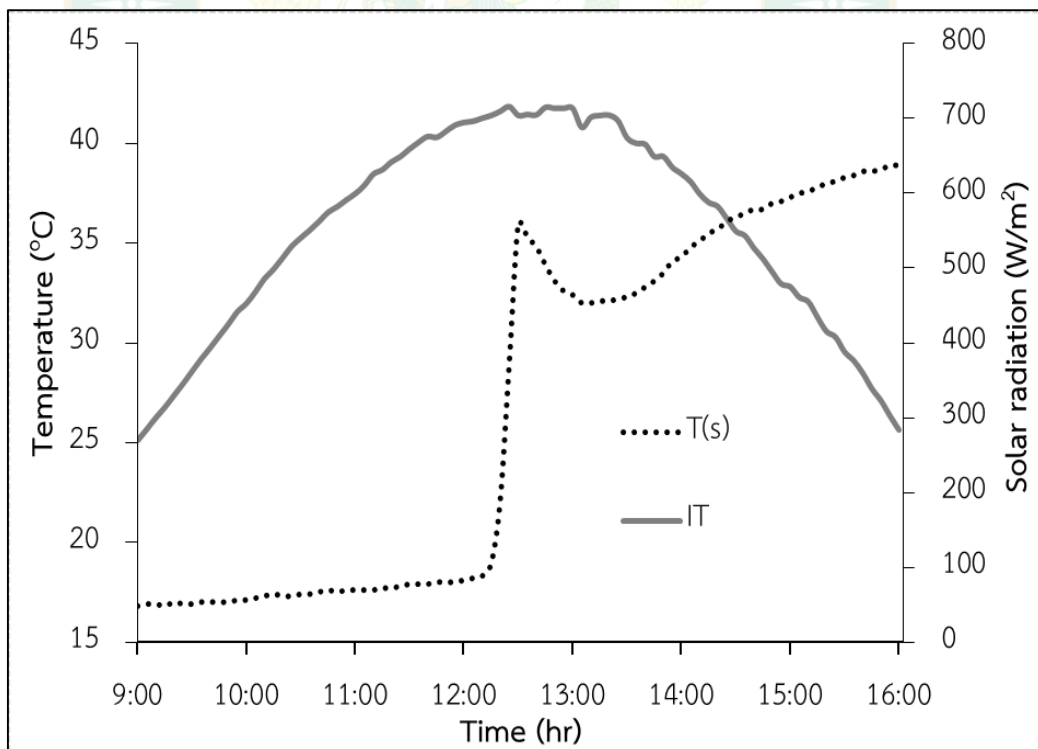
ภาพที่ 146 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.

- อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน

จากภาพที่ 147 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น. อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าช่วงเวลา 12:00 – 16:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 32,616.73 W อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 665.65 W และที่ 12:00 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 3,977.65 W และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 18.10 °C และสูงขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุดที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำ 38.90 °C แสดงดังภาพที่ 148



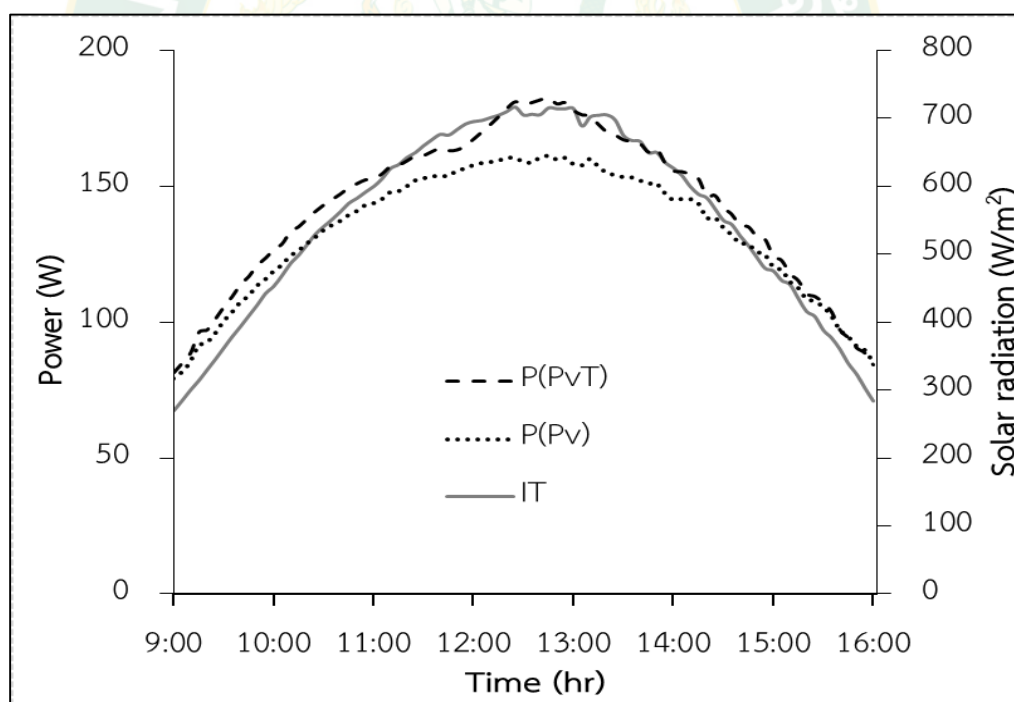
ภาพที่ 147 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.



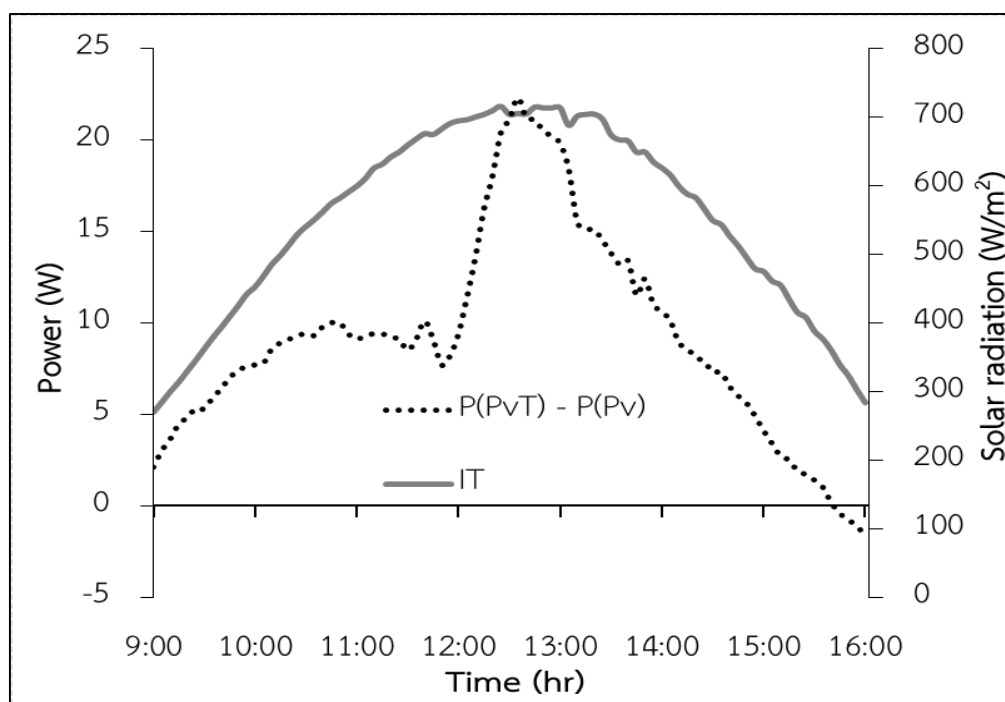
ภาพที่ 148 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.

- กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 149 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 18.10 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 144.92 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 135.29 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 9.63 W แสดงดังภาพที่ 150 และที่เวลา 12:35 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 22.30 W เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่น้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุด แต่หลังจากเวลา 15:40 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 90.33 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 89.38 W พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.00 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.93 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.07 kWh



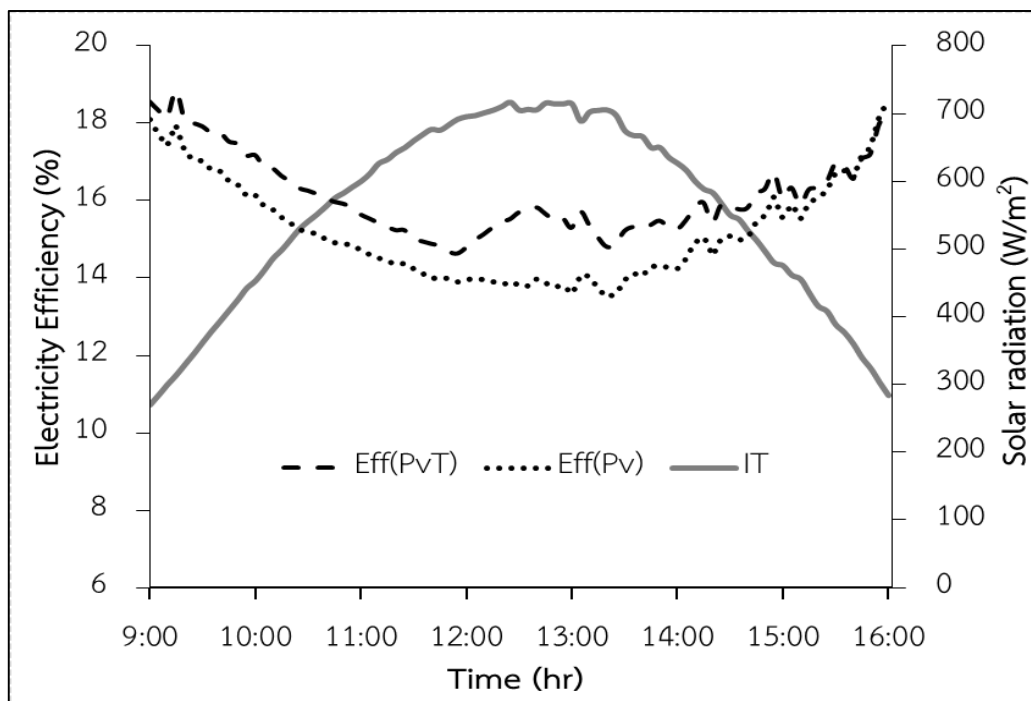
ภาพที่ 149 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน ทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.



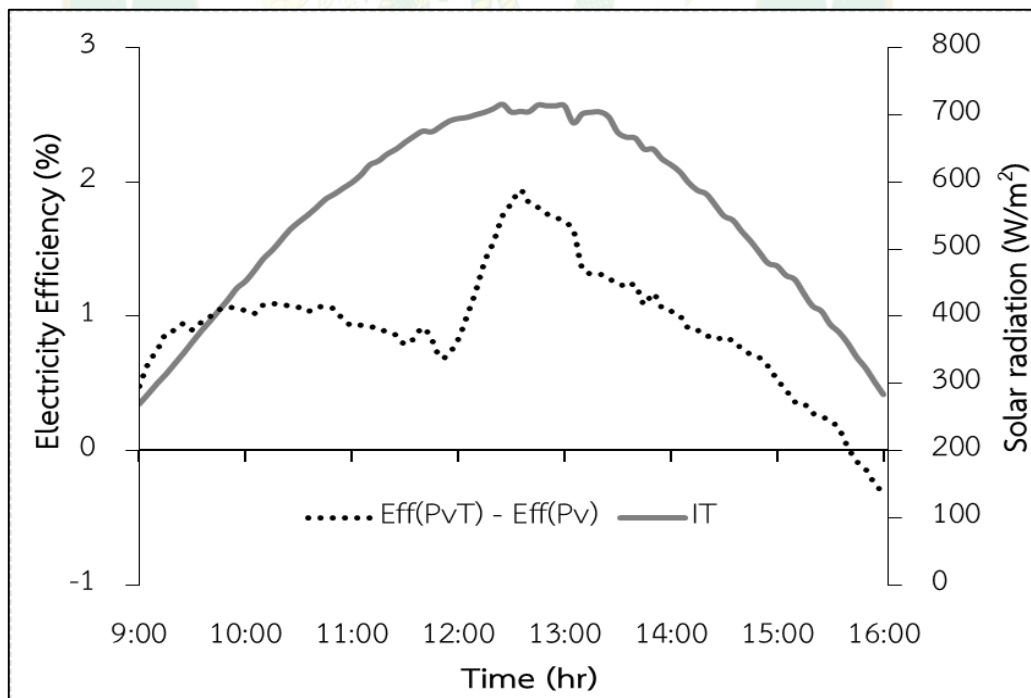
ภาพที่ 150 ผลต่างกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.

- **ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์**

จากภาพที่ 151 กรณีทดสอบระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลา 12:00 น. พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 16.06 และ 15.07% ตามลำดับ แต่หลังจากเวลา 15:40 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 17.83% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 17.64% ซึ่งกรณีที่มีระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน และช่วงเวลา 9:00 – 15:40 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.76% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 14.08% ที่เวลา 12:35 น. แต่หลังจากเวลา 15:40 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย -1.07% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า แสดงดังภาพที่ 152 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 6.40%



ภาพที่ 151 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.



ภาพที่ 152 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับ
ไม่ระบายความร้อนทดสอบระบายความร้อนเวลา 12:00 น.

ตารางที่ 7 สรุปผลเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ

เวลาเริ่มทำงานชุดระบายความร้อน (น.)		9:00	10:00	11:00	12:00
อุณหภูมิโมดูลเซลล์ แสงอาทิตย์ (°C)	- มีการระบายความร้อน	36.61	36.26	37.16	37.11
	- ไม่มีการระบายความร้อน	55.83	54.32	54.12	53.65
	- อุณหภูมิลดลง	19.21	18.06	16.96	16.54
อัตราการถ่ายเทความร้อนของ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)	- มีการระบายความร้อน	41.14	34.86	32.62	31.41
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-	-
ประสิทธิภาพทางความร้อน ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	- มีการระบายความร้อน	49.98	49.60	50.32	63.92
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-	-
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึง น้ำร้อน (kW)	- มีการระบายความร้อน	41.14	34.86	32.62	31.41
	- ไม่มีการระบายความร้อน	-	-	-	-
อุณหภูมิน้ำที่ถึงเก็บน้ำ (°C)	- มีการระบายความร้อน	41.40	40.50	40.20	38.90
กำลังไฟฟ้าที่โมดูลเซลล์ แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ (W)	- มีการระบายความร้อน	153.42	145.72	143.24	142.31
	- ไม่มีการระบายความร้อน	142.12	135.86	133.61	133.18
	- กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น	11.30	9.86	9.63	9.13
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	- มีการระบายความร้อน	16.26	16.18	15.90	16.14
	- ไม่มีการระบายความร้อน	15.16	15.18	14.92	15.20
	- ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น	7.50	6.77	6.71	6.40
พลังงานสุทธิของระบบ (MJ/day)	- มีการระบายความร้อน	15.51	13.48	12.43	12.80

จากตารางที่ 7 สรุปผลเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อพิจารณาทางด้านความร้อนกรณีเริ่มระบายความร้อน 9:00 น. ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนสูงสุด 41.14 kW ทางด้านไฟฟ้ากรณีเริ่มระบายความร้อน 9:00 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันได้สูงสุด 11.30 W และเมื่อพิจารณาพลังงานสุทธิของระบบ (E_{net}) กรณีเริ่มระบายความร้อน 9:00 น. ให้พลังงานสุทธิสูงสุด 15.51 MJ/day ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมสำหรับเริ่มระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นได้แก่ 9:00 น.

5. การทำนายพฤติกรรมระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลากลางวัน และผลิตในเย็นในเวลา กลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากการทำงานของระบบที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนได้ในตอนกลางวัน และสามารถผลิตน้ำเย็นได้ในเวลากลางคืน จึงประยุกต์ใช้เย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืนเข้ามาระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลากลางวันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงต้องสร้างสมการภาคกลางคืนทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ และสมการภาคกลางวันทำนายอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อน และกำลังไฟฟ้า

5.1 การทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ในเวลากลางคืนโดยใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

การทำนายอุณหภูมิน้ำเย็นในถังน้ำเย็นตอนกลางคืนนั้น จะเริ่มจากการหาค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3 ข้างต้น มาแทนลงในสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งจะได้ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำนายดังต่อไปนี้

- **ค่าสภาพการเปล่งรังสี (ϵ) สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ**

จากข้อมูลที่ได้ในแต่ละคืน นำมาใช้คำนวณหาค่าสภาพการเปล่งรังสีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อได้ดังสมการที่ 23 โดยแสดงการคำนวณได้ดังภาคผนวก ก. โดยพิจารณา ณ เวลาที่ค่าอุณหภูมิกาศแวดล้อมมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณค่าสภาพการเปล่งรังสีสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ระหว่างวันที่ 24 มกราคม ถึง 28 มกราคม 2562

ϵ	24/1/2562	25/1/2562	26/1/2562	27/1/2562	28/1/2562	ϵ เฉลี่ย
PvT	0.51	0.55	0.50	0.53	0.52	0.52

- **สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($h_{HX,a}$) สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ**

เมื่อทราบค่าสภาพการเปล่งรังสีของโมดูลและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อในตอนกลางคืนได้ดังสมการที่ 22 แสดงการคำนวณได้ดังภาคผนวก ก. ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อตอนกลางคืน ปี 2561

$h_{Hx,a}$ ($W/m^2 \cdot K$)	วันที่/เดือน						$h_{Hx,a}$ เฉลี่ย
	20/11/61	21/11/61	22/11/61	23/11/61	24/11/61	25/11/61	
PvT	17.16	16.78	15.38	13.91	18.60	11.28	15.52

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่านโมดูล $h_{PvT,w}$ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับน้ำที่ $h_{Hx,w}$ ในตอนกลางคืน

เมื่อทราบค่าอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและออกทั้งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ จากการทดลองก็จะสามารถใช้หาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่านโมดูลของโมดูล และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับน้ำในตอนกลางคืนได้ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่านโมดูล ($h_{PvT,w}$) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับน้ำที่ ($h_{Hx,w}$) ในตอนกลางคืน

ระบบทำน้ำเย็น	วัน/เดือน/ปี					h_w เฉลี่ย ($W/m^2 \cdot K$)
	24/1/62	25/1/62	26/1/62	27/1/62	28/1/62	
PvT	10.49	19.93	12.95	9.91	29.58	16.57
Heat Exchanger	3.99	7.83	1.52	3.54	2.19	3.81

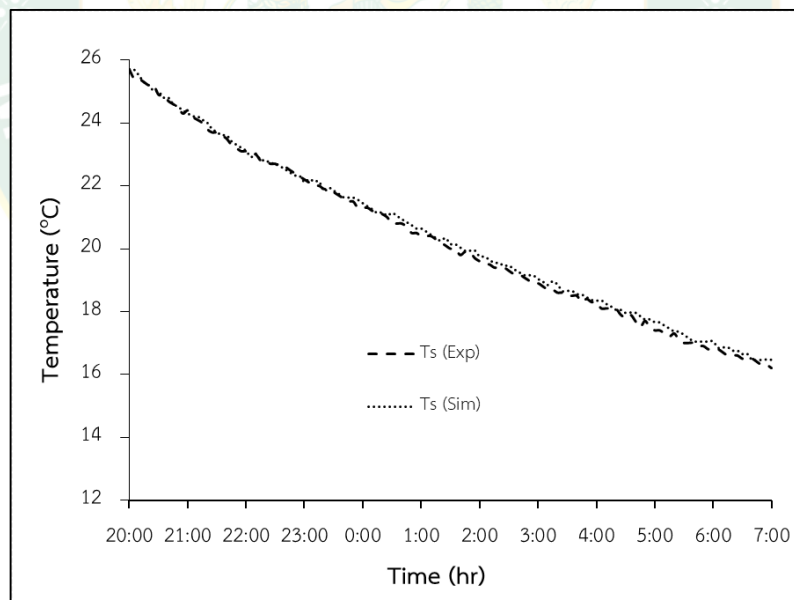
- ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลกับอากาศแวดล้อม (R_{total}) ของโมดูล

สำหรับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกระจกปิดทับ การถ่ายเทความร้อนรวมเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิกระจกปิดทับหน้าโมดูลและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ซึ่งจะใช้ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อม (R_{total}) มาพิจารณา ซึ่งจากผลการทดลองจะได้ R_{total} เป็นไปดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าความต้านทานร้อนระหว่างโมดูลกับอากาศแวดล้อม (R_{total}) สำหรับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมีกระจกปิดทับ จากการทดลองระหว่างวันที่ 24 มกราคม ถึง 28 มกราคม 2562

R_{total} (K/W)	วัน/เดือน/ปี					R_{total} เฉลี่ย
	24/1/62	25/1/62	26/1/62	27/1/62	28/1/62	
PvT	0.031	0.029	0.038	0.039	0.033	0.034

จากการคำนวณค่าคงที่ข้างต้น เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำในถังเริ่มต้นเท่ากับ 25.70 °C เหมือนกับการทดลองแล้ว พบว่าผลการคำนวณเทียบกับผลการทดลองอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืนของระบบผลิตน้ำเย็นโดยใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อโดยใช้ข้อมูลในการคำนวณของวันที่ 25 มกราคม 2562 แสดงดังภาพที่ 153 จะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็นที่ได้จากการทดสอบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำเย็นในถังน้ำเย็นที่ได้จากการคำนวณของระบบมีค่าที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดี มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.67% โดยใช้สมการที่ 18 ในการทำนาย



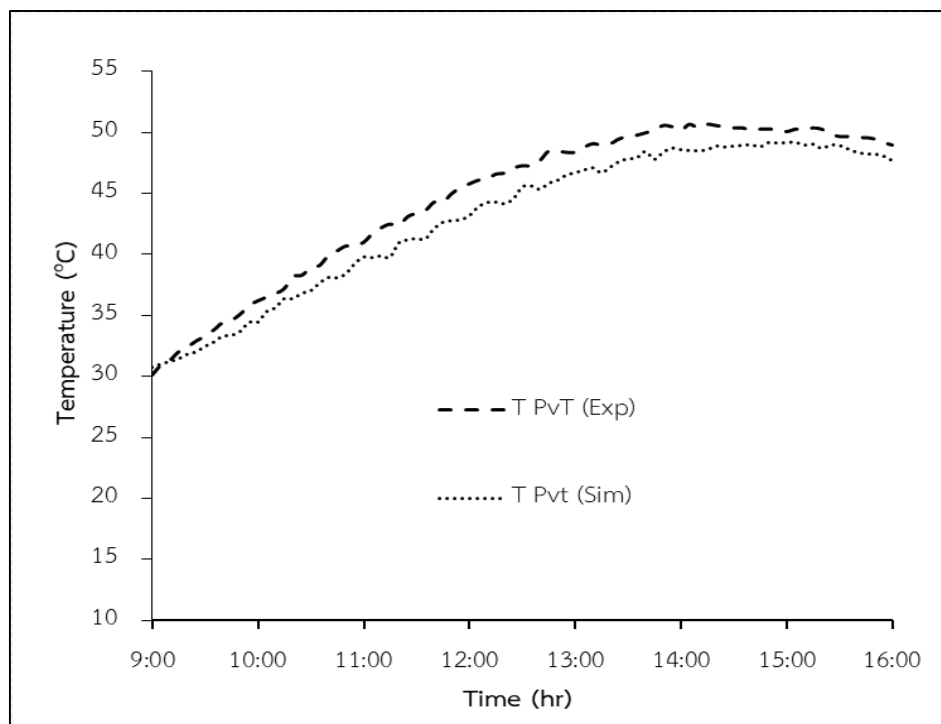
ภาพที่ 153 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็นที่ผลิตได้ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางคืน ของระบบผลิตน้ำเย็นโดยใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

5.2 การทำนายอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิน้ำร้อนในเวลากลางวัน

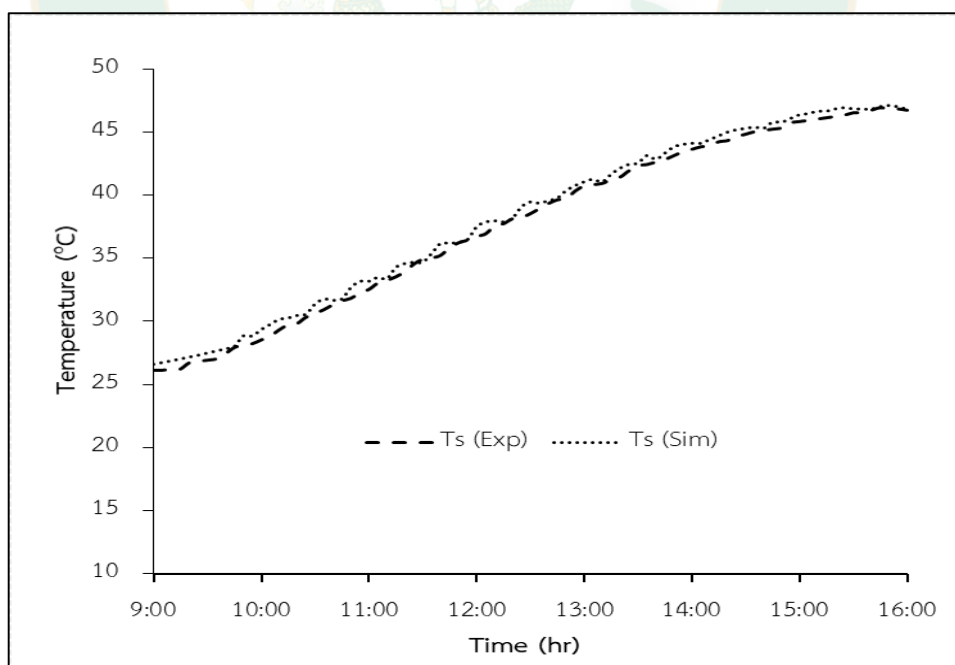
การทำนายอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิน้ำร้อนตอนกลางวันนั้น จะเริ่มจากการหาค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในหัวข้อ 1 มาแทนลงในสมการคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมของแต่ละระบบในตอนกลางวัน โดยการกำหนดตัวแปรจะอิงตามปริมาณจริงที่ใช้ในการทดลองจากหัวข้อ 1 ค่า $(\tau\alpha)_e$ และ U_L ของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งหัวข้อที่ 1 ส่วนค่า $(UA)_{p_v}$ ของแต่ละระบบสามารถหาได้จากการคำนวณ ดังแสดงในภาคผนวก ก. ทั้งนี้เมื่อนำผลการคำนวณเทียบกับผลการทดลองของอุณหภูมิของโมดูล โดยใช้สมการที่ 14 ในการทำนาย แสดงดังภาพที่ 154 และอุณหภูมิน้ำร้อนตอนกลางวัน โดยใช้สมการที่ 10 ในการทำนาย แสดงดังภาพที่ 155 จะเห็นว่าอุณหภูมิของโมดูลและอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนที่ได้จากการทดสอบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของโมดูลและอุณหภูมิน้ำร้อนในถังน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 3.62% และ 1.51% ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ตัวแปรที่ใช้ในการทำนายอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิน้ำร้อนตอนกลางวัน

ตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย	PvT
M_s , มวลของน้ำในถังน้ำร้อน (L)	140
m , อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min)	2
C_{p_w} , ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg·K)	4.187
A_{p_v} , พื้นที่ด้านหน้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (m ²)	1.627
$(\tau\alpha)_e$, ค่าการสะท้อนของแสง และค่าการดูดกลืนแสง	0.438
U_L , สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมผิวดูดรังสีอาทิตย์ (W/m ² ·K)	9.5698
$(UA)_{p_v}$, สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของโมดูล (W/K)	83.77
T_s^t , อุณหภูมิของน้ำในถังเริ่มต้น	26.1



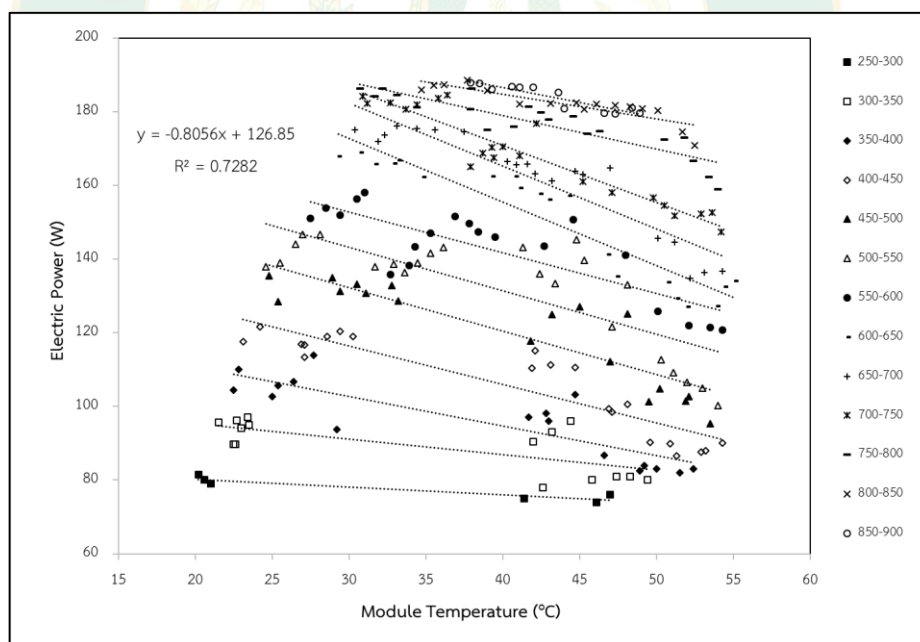
ภาพที่ 154 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง
การทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน



ภาพที่ 155 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนระหว่าง
การทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน

5.3 การทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในเวลากลางวัน

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหากลำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้น ได้ใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบตลอดทั้งวัน ของหลายๆ วันที่ทำการทดสอบมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการการทำนายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังภาพที่ 156 จะแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ตามช่วงของค่ารังสีอาทิตย์ตั้งแต่ 250 – 900 W/m² ซึ่งพบว่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นกับค่ารังสีอาทิตย์ เมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่จะมีผลตรงข้ามกับอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์คือเมื่ออุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าลดลง เมื่อทำการพิจารณาเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์นั้นจะพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นในทุกช่วงของค่ารังสีอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นการสูญเสียของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน จากเส้นความสัมพันธ์ที่กล่าวมานี้สามารถแทนด้วยรูปแบบสมการทำนายค่ากำลังไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับค่ารังสีอาทิตย์ อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อม โดยอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าในช่วง 20 - 55 °C



ภาพที่ 156 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
ในแต่ละช่วงของค่ารังสีอาทิตย์

จากผลการทดลองที่ผ่านมาและภาพที่ 154 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แปรผันตรงกับค่ารังสีอาทิตย์ และแปรผกผันกับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบ

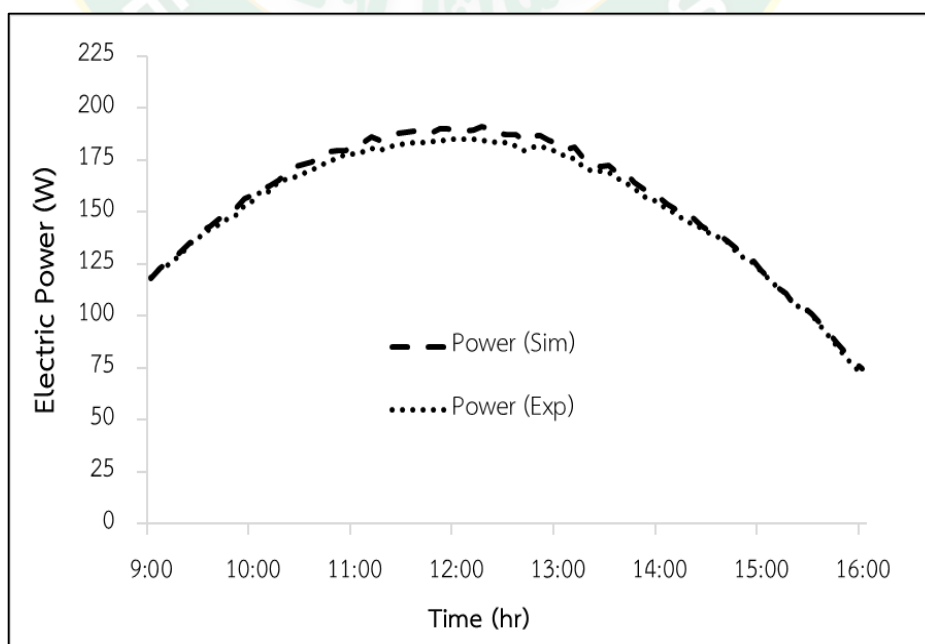
$$P_e \propto f(I_T, T_{Pv}, T_a) \quad \text{สมการที่ 21}$$

$$P_{\max} = \frac{C_0 I_T^{C_1} \times T_a^{C_2}}{T_{Pv}^{C_3}} \quad \text{สมการที่ 22}$$

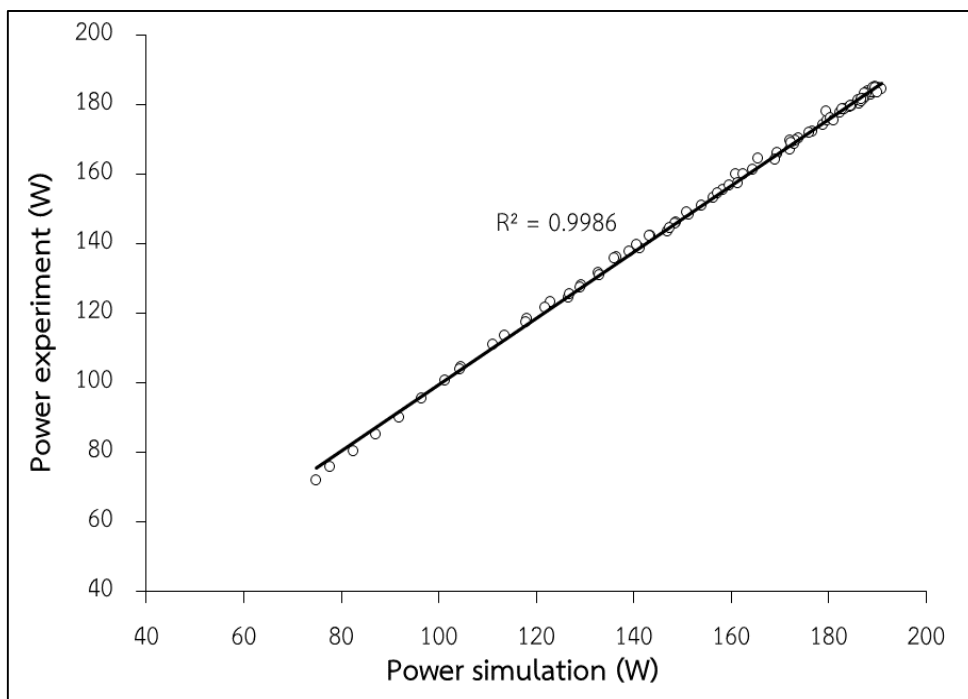
โดย $C_0 = 0.53584$ $C_1 = 1.073$ $C_2 = 0.040599$ $C_3 = 0.39716$

จะได้
$$P_{\max} = \frac{0.53584 I_T^{1.073} \times T_a^{0.040599}}{T_{Pv}^{0.39716}} \quad \text{สมการที่ 23}$$

จากสมการที่ 23 เมื่อกำหนดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ จะสามารถประเมินกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 157 ซึ่งจะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการมีความสอดคล้องเป็นอย่างดี ผลของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้สมการทำนายนำมาสร้างความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ และค่าความเป็นเส้นตรงของชุดข้อมูล $R^2 = 0.99$ แสดงให้เห็นว่าสมการทำนายกำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าความเชื่อมั่นที่สูงแสดงดังภาพที่ 158



ภาพที่ 157 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างการทดสอบจริงกับการทำนายตอนกลางวัน



ภาพที่ 158 ความสอดคล้องของกำลังไฟฟ้าที่ทดสอบจริงกับการใช้สมการทำนาย

6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการลงทุนจะพิจารณาต้นทุนที่นำมาใช้ในการระบายความร้อน และใช้เงื่อนไขที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุดที่อัตราการไหลในการผลิตน้ำเย็นตอนกลางวัน 1 L/min ปริมาณน้ำ 140 L และที่อัตราการไหลในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน 2 L/min ปริมาณน้ำ 140 L โดยการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการลงทุนจะมี 2 กรณีคือ กรณีที่ไม่มีการประยุกต์การใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางวันเข้ามาระบายโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และกรณีที่มีการประยุกต์การใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางวันเข้ามาระบายโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

- กรณีที่ 1 ไม่มีการประยุกต์การใช้น้ำเย็นเข้าระบายโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน โดยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้าในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 9:00 – 16:00 น. น้ำร้อนที่ผลิตได้ในแต่ละวันจะกำหนดว่านำไปใช้งานจนหมดสิ้น ในการทำงานจริงของระบบต้องคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศเพราะตลอดทั้งปีจะมีสภาพอากาศในแต่ละฤดูที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งทำให้บางวันอาจจะค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงในวันที่ไม่มีเมฆ และบางวันอาจจะค่ารังสีอาทิตย์ที่ต่ำในวันที่มีเมฆมาก จึงคิดการทำงานของระบบที่ 70% จากการคำนวณโดยการเปรียบเทียบระบบที่มีระบายความร้อนกับไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำพบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 36.92 kWh/year คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้า 166.15 Baht/year และสามารถผลิตน้ำร้อนได้พลังงานความร้อน

2,707.61 MJ/year เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 752.11 kWh/year คิดเป็นเงิน 3,384.51 Baht/year ใช้ปั๊มในการขับเคลื่อนสารทำงาน 25.04 kWh/year คิดเป็นเงิน 112.68 Baht/year รวมเป็นเงินที่ได้เพิ่มขึ้นหลังติดตั้งระบบระบายความร้อน 3,437.99 Baht/year เงินที่ใช้ลงทุนในการผลิตระบบระบายความร้อน 13,800.00 Baht มีระยะเวลาคืนทุน 4.01 year และอัตราผลตอบแทนภายใน 22.55% คิดจากระยะเวลาการใช้งาน 20 year แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายในกรณีไม่มีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

รายการ	ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน	ติดตั้งระบบระบายความร้อน
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/year)	516.84	553.77
คิดเป็นเงิน (Baht/year)	2,325.79	2,491.95
พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ (MJ/year)	-	2,707.61
พลังงานความร้อนเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/year)	-	752.11
คิดเป็นเงิน (Baht/year)	-	3,384.51
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊ม (kWh/year)	-	25.04
คิดเป็นเงิน (Baht/year)	-	112.68
รวมเป็นเงิน (Baht/year)	2,325.79	5,876.46
คิดเป็นเงินที่ได้เพิ่ม (Baht/year)	-	3,437.99
ลงทุนติดตั้งระบบระบายความร้อน (Baht)	-	13,800.00
ระยะเวลาคืนทุน (year)	-	4.01
อัตราผลตอบแทนภายใน (%)	-	22.55

*หมายเหตุ คิดอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 1 kWh = 4.50 Baht

- กรณีที่ 2 มีการประยุกต์การใช้น้ำเย็นเข้าระบบโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน โดยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้าในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 9:00 – 16:00 น. และตอนการคืนได้มาการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อตั้งแต่เวลา 19:00 – 6:00 น. โดยน้ำร้อนที่ผลิตได้ในแต่ละวันจะกำหนดว่านำไปใช้งานจนหมดสิ้น ในการทำงานจริงของระบบต้องคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศเพราะตลอดทั้งปีจะมีสภาพอากาศในแต่ละฤดูที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งทำให้บางวันอาจจะค่ารังสีอาทิตย์ที่สูงในวันที่ไม่มีเมฆ และบางวันอาจจะค่ารังสีอาทิตย์ที่ต่ำในวันที่มีเมฆมาก จึงคิดการทำงานของระบบที่ 70% จากการคำนวณโดยการเปรียบเทียบระบบที่มีระบายความร้อนกับไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำพบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 40.90 kWh/year คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้า 184.03 Baht/year และสามารถผลิตน้ำร้อนได้พลังงานความร้อน 3,153.71 MJ/year เทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 876.03 kWh/year คิดเป็นเงิน 3,942.13 Baht/year ใช้ปัมในการขับเคลื่อนสารทำงาน 53.14 kWh/year คิดเป็นเงิน 239.15 Baht/year รวมเป็นเงินที่ได้เพิ่มขึ้นหลังติดตั้งระบบระบายความร้อน 3,887 Baht/year เงินที่ใช้ลงทุนในการผลิตระบบระบายความร้อน 18,800.00 Baht มีระยะเวลาคืนทุน 4.84 year และอัตราผลตอบแทนภายใน 20.35% คิดระยะเวลาการใช้งาน 20 year แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายในกรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

รายการ	ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน	ติดตั้งระบบระบายความร้อน
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/year)	514.42	555.31
คิดเป็นเงิน (Baht/year)	2,314.88	2,498.91
พลังงานความร้อนที่ผลิตได้ (MJ/year)	-	3,153.71
พลังงานความร้อนเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/year)	-	876.03
คิดเป็นเงิน (Baht/year)	-	3,942.13
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับปั๊ม (kWh/year)	-	53.14
คิดเป็นเงิน (Baht/year)	-	239.15
รวมเป็นเงิน (Baht/year)	2,314.88	6,441.04
คิดเป็นเงินที่ได้เพิ่ม (Baht/year)	-	3,887.02
ลงทุนติดตั้งระบบระบายความร้อน (Baht)	-	18,800.00
ระยะเวลาคืนทุน (year)	-	4.84
อัตราผลตอบแทนภายใน (%)	-	20.35

*หมายเหตุ คิดอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 1 kWh = 4.50 Baht

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ผ่านมาข้างต้นสามารถสรุปการวิจัยได้ดังนี้

1. การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.627 m² ตามมาตรฐาน ASHREA STANDARD 93-2003 พบว่ามีค่า $F_{RUL} = 9.5698 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ $F_R(\alpha\tau)_e = 0.438$

2. อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำและปริมาณน้ำระบายความร้อนที่เหมาะสมอยู่ที่ 2 L/min และ 140 L ด้านความร้อนสามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 16.85 °C และผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 46.70 °C มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 35.32 kW ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 35.18% อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนเฉลี่ย 35.32 kW ด้านไฟฟ้าสามารถให้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 10.20 W ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.55% เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน และพลังงานสุทธิของระบบ 14.15 MJ/day

3. อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำและปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่ออยู่ที่ 1 L/min และ 140 L สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 5.40 °C และผลิตน้ำเย็นได้ 21.50 °C มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำระบายออกจากถังเก็บน้ำ 10,551.24 W และมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็น 7.99

4. สมรรถนะระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 10.00 °C และผลิตน้ำเย็นได้ 16.50 °C มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 14.80

5. เวลาที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานของชุดระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ที่ 9:00 น. กรณีมีการประยุกต์การใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน ด้านความร้อนสามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 19.21 °C และผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 41.40 °C มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 41.14 kW ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 49.98% อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนเฉลี่ย 41.14 kW ด้านไฟฟ้าสามารถให้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.30 W ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 7.50% เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน และพลังงานสุทธิของระบบ 15.51 MJ/day

6. สมการทำนายกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

$$\text{ได้ตั้งสมการ } P = \frac{0.53584 I_T^{1.073} \times T_a^{0.040599}}{T_{Pv}^{0.39716}}$$

7. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

- กรณีไม่มีการประยุกต์การใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืนเข้ามาระบายความร้อนพิจารณาเฉพาะในส่วนการลงทุนชุดระบายความร้อนที่มีเงินลงทุน 13,800.00 Baht สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนได้เพิ่มขึ้น 3,437.99 Baht/year คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนของชุดระบายความร้อน 4.01 year และมีอัตราผลตอบแทนภายใน 22.55%

- กรณีมีการประยุกต์การใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืนเข้ามาระบายความร้อนพิจารณาเฉพาะในส่วนการลงทุนชุดระบายความร้อนที่มีเงินลงทุน 18,800.00 Baht สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและน้ำร้อนได้เพิ่มขึ้น 3,887.02 Baht/year คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนของชุดระบายความร้อน 4.84 year และมีอัตราผลตอบแทนภายใน 20.35%

ข้อเสนอแนะ

จากผลการคำนวณดังกล่าว พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอาคารบ้านพักอาศัย โรงแรมหรือโรงพยาบาลที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนควบคู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่ระบบสามารถผลิตได้ในปริมาณเพียงพอ ทั้งนี้น้ำเย็นที่ผลิตได้ นอกจากนำไปลดอุณหภูมิโมดูลตอนกลางวันแล้ว อาจนำไปลดภาระความเย็นในอาคารปรับอากาศ ทำให้เกิดผลประโยชน์เนื่องจากลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ทำให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าสูงขึ้น โดยที่เงินลงทุนทั้งหมดของระบบเท่าเดิม ทำให้ระบบมีความเหมาะสมไปใช้งาน



บรรณานุกรม

- Chotivisarut N. (2007). Modeling of Cool Water Production by Thermal Convective and Radiative Nocturnal Cooling, Chiang Mai University.
- Frank I., D. D., Theodore B. and Adrienne L. (2007). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. The United States of America, John Wiley and Sone.
- Karkri M., L. M., Nógellová Z., Boh B., Sumiga B., AlMaadeed M., Fethi A. and Krupa I. (2015). "Thermal properties of phase-change materials based on high-density polyethylene filled with micro-encapsulated paraffin wax for thermal energy storage." *Energy and Buildings*(88): 144-152.
- ไทยแลนด์อินดรัสทรี. (2559). "รู้จักและการเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์." [29 ธันวาคม 2559], from http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=12493.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). "สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย." [28 ธันวาคม 2559], from http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47349.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). "สถิติพลังงานของประเทศไทย." [28 ธันวาคม 2559], from http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42079.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2558). "สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย." [28 ธันวาคม 2559], from http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=579&Itemid=116.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2559). "เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์." [29 ธันวาคม 2559], from http://www4.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology.htm.
- ทรงเกียรติกิตติ สนธิรักษ์ และคณะ (2555). "การเพิ่มพลังงานไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดอะมอร์ฟัส/ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอนด้วยการลดอุณหภูมิแผงในการทดสอบ." *ว. วิศวกรรมลาดกระบัง* (3): 49-54.
- นิคม ผึ้งคำ (2551). การเพิ่มสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์โดยระบบหล่อเย็น [วิทยานิพนธ์], มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- บงกช ประสิทธิ์ (2543). การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์โดยติดครีบบระบายความร้อนอลูมิเนียม [วิทยานิพนธ์], มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ประภาทิพย์ บุญหล้า และคณะ (2556). การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส [วิทยานิพนธ์], มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ปรารณา วันนารี และคณะ (2550). การทำน้ำเย็นภาคกลางคืนเพื่อลดภาระความเย็นเครื่องปรับอากาศ [วิทยานิพนธ์], มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. (2556). "การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์." [28 ธันวาคม 2559], from <http://www.mut.ac.th/research-detail-6>.
- มหาวิทยาลัยศิลปกร. (2560). "โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย." [23 ตุลาคม 2560], from http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47736.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2559). "จังหวัดเชียงใหม่." [28 ธันวาคม 2559], from <https://th.wikipedia.org/wiki/จังหวัดเชียงใหม่>.
- วิบูลย์ อันพิมพา และคณะ (2557). อิทธิพลของรูปแบบการไหลเวียนอากาศต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมแบบสองชั้น [วิทยานิพนธ์], มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สิริชัย ปัญญาสมาธิ (2548). การปรับปรุงประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ [วิทยานิพนธ์], มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.
ตัวอย่างการคำนวณ

1. วิธีการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภาคกลางวันของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min และปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อน 140 L ณ เวลา 10:00 น. ของวันที่ 21 พฤศจิกายน 2561

1.1 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (Q_{PVT})

$$Q_{PVT} = \dot{m} C_p (T_{fo,PVT} - T_{fi,PVT}) \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times ^\circ\text{C}$$

$$= (2/60) \times 4187 \times (32.4 - 29.2)$$

$$= 446.61 \quad \text{W}$$

1.2 การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{PVT})

$$\eta_{PVT} = \frac{Q_{PVT}}{I_T A_{PV}} \times 100 \quad \frac{\text{W}}{(\text{W}/\text{m}^2) \times \text{m}^2}$$

$$= \frac{446.61 \times 100}{655.2 \times 1.627}$$

$$= 41.90\%$$

1.3 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงแก่น้ำร้อน (Q_s)

$$Q_s = \frac{MC_p (T_s^{t+\Delta t} - T_s^t)}{\Delta t} \quad \frac{\text{kg} \times (\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times ^\circ\text{C}}{\text{s}}$$

$$= \frac{140 \times 4187 \times (28.59 - 28.36)}{300}$$

$$= 446.61 \quad \text{W}$$

1.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพตลอดทั้งวันของระบบทำน้ำร้อน ($\eta_{s,All\cdot day}$)

$$\eta_{s,All\cdot day} = \frac{\sum Q_s}{\sum I_T A_{PVT} \Delta t} \times 100 \quad \frac{\text{kJ}}{(\text{kW}/\text{m}^2) \times \text{m}^2 \times \text{s}}$$

$$= \frac{10,597.30 \times 100}{28,750.09}$$

$$= 36.86\%$$

1.5 การคำนวณอุณหภูมิน้ำขาออกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ($T_{fo,PVT(Sim)}^t$)

$$T_{fo,PVT(Sim)}^t = \frac{A_{PV}}{\dot{m} C_p} [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{PVT} - T_a)] + T_{fi,PVT} \quad \left[\frac{m^2}{(kg/s) \times (J/kg \cdot ^\circ C)} \times \frac{W}{m^2} \right] + ^\circ C$$

$$= \frac{1.627}{(2/60) \times 4187} [(0.438 \times 655.2) - 9.5698(36.2 - 26.9)] + 29.2$$

$$= 31.51 \quad ^\circ C$$

1.6 การคำนวณอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ($T_{PVT(Sim)}^t$)

$$T_{PVT(Sim)}^t = \frac{T_{fo,PVT(Sim)} - T_{fi,PVT}}{1 - e^{-\left(\frac{(UA)_{PV}}{\dot{m} C_p}\right)}}$$

$$= \frac{31.51 - 29.2}{1 - e^{-\left(\frac{83.77}{0.03 \times 4187}\right)}}$$

$$= 34.31 \quad ^\circ C$$

1.7 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ $(UA)_{PVT}$

$$LMTD = \frac{(T_{PVT} - T_{fi,PVT}) - (T_{PVT} - T_{fo,PVT})}{\ln \frac{(T_{PVT} - T_{fi,PVT})}{(T_{PVT} - T_{fo,PVT})}}$$

$$= \frac{(36.2 - 29.2) - (36.2 - 32.4)}{\ln \frac{(36.2 - 29.2)}{(36.2 - 32.4)}}$$

$$= 5.24 \quad K$$

$$(UA)_{PVT} = \frac{\dot{m} C_p (T_{fo,PVT} - T_{fi,PVT})}{LMTD} \quad \frac{(kg/s) \times (J/kg \cdot ^\circ C) \times ^\circ C}{K}$$

$$= \frac{(2/60) \times 4187 \times (32.4 - 29.2)}{5.24}$$

$$= 85.26 \quad W/K$$

1.8 การคำนวณหาอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ ($T_s^{t+\Delta t}$)

$$T_s^{t+\Delta t} = \frac{A_{PVT} \Delta t}{MC_p} [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{PVT(Sim)} - T_a)] + T_{fi} \quad \left[\frac{m^2 \times s}{kg \times (J/kg \cdot ^\circ C)} \times \frac{W}{m^2} \right] + ^\circ C$$

$$= \frac{1.627 \times 300}{140 \times 4187} [(0.438 \times 655.2) - 9.5698(34.31 - 26.90)] + 29.2$$

$$= 29.38 \quad ^\circ C$$

1.9 การคำนวณหากำลังไฟฟ้า ($P_{max(Sim)}$)

$$P_{max(Sim)} = \frac{0.53584 I_T^{1.073} \times T_a^{0.040599}}{T_{PVT}^{0.39716}}$$

$$= \frac{0.53584 \times (665.2)^{1.073} \times (26.9)^{0.040599}}{(36.2)^{0.39716}}$$

$$= 157.41 \quad W$$

1.10 การคำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (η_e)

$$\eta_e = \frac{P_{max,PVT}}{I_T A_{PV} \Delta t} \times 100 \quad \frac{kJ}{(kW/m^2) \times m^2 \times s}$$

$$= \frac{46.65 \times 100}{319.80}$$

$$= 14.59\%$$

2. วิธีการคำนวณค่า $F_R U_L$ และ $F_R (\tau\alpha)_e$ ที่อัตราการไหล 1 และ 3 L/min2.1 คำนวณค่า $F'U_L$

$$F'U_L = - \frac{\dot{m} C_{pw}}{A_{PV}} \ln \left(1 - \frac{A_{PV} F_R U_{L(test)}}{\dot{m} C_{pw}} \right)$$

$$F'U_L = - \frac{0.033 \times 4187}{1.627} \ln \left(1 - \frac{1.627 \times 9.5698}{0.033 \times 4187} \right)$$

$$F'U_L = 10.1533 \quad W/m^2 \cdot K$$

2.2 คำนวณหาค่า r ที่อัตราการไหล 1 L/min

$$r = \frac{\frac{\dot{m}C_{pw}}{A_{pv}F'U_L} (1 - \exp(-\frac{A_{pv}F'U_L}{\dot{m}C_{pw}}))_{USE}}{\frac{\dot{m}C_{pw}}{A_{pv}F'U_L} (1 - \exp(-\frac{A_{pv}F'U_L}{\dot{m}C_{pw}}))_{TEST}}$$

$$= \frac{\frac{0.017 \times 4187}{1.627 \times 10.1533} (1 - \exp(-\frac{1.627 \times 10.1533}{0.017 \times 4187}))}{\frac{0.033 \times 4187}{1.627 \times 10.1533} (1 - \exp(-\frac{1.627 \times 10.1533}{0.033 \times 4187}))}$$

$$r = 0.9468$$

2.3 คำนวณหาค่า $F_R U_L$ ที่อัตราการไหล 1 L/min

$$F_R U_L = r \times F_R U_{L(TEST)}$$

$$= 0.9468 \times 9.5698$$

$$= 9.0612 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2.4 คำนวณหาค่า $F_R(\alpha T)_e$ ที่อัตราการไหล 1 L/min

$$F_R(\alpha T)_e = r \times F_R(\alpha T)_{eL(TEST)}$$

$$= 0.9468 \times 0.438$$

$$= 0.4147 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2.5 คำนวณหาค่า r ที่อัตราการไหล 3 L/min

$$r = \frac{\frac{\dot{m}C_{pw}}{A_{pv}F'U_L} (1 - \exp(-\frac{A_{pv}F'U_L}{\dot{m}C_{pw}}))_{USE}}{\frac{\dot{m}C_{pw}}{A_{pv}F'U_L} (1 - \exp(-\frac{A_{pv}F'U_L}{\dot{m}C_{pw}}))_{TEST}}$$

$$\frac{0.05 \times 4187}{1.627 \times 10.1533} (1 - \exp(-\frac{1.627 \times 10.1533}{0.05 \times 4187}))$$

$$= \frac{0.033 \times 4187}{1.627 \times 10.1533} (1 - \exp(-\frac{1.627 \times 10.1533}{0.033 \times 4187}))$$

$$r = 1.0202$$

2.6 คำนวณหา F_{RU_L} ที่อัตราการไหล 3 L/min

$$F_{RU_L} = r \times F_{RU_L(\text{TEST})}$$

$$= 1.0202 \times 9.5698$$

$$= 9.7630 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2.7 คำนวณหา $F_{R(\alpha\tau)_e}$ ที่อัตราการไหล 3 L/min

$$F_{R(\alpha\tau)_e} = r \times F_{R(\alpha\tau)_e L(\text{TEST})}$$

$$= 1.0202 \times 0.438$$

$$= 0.4470 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

3. วิธีการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภาคกลางคืนของระบบผลิตน้ำเย็นด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min และปริมาณน้ำที่ใช้ระบายความร้อน 140 L ณ เวลา 22:50 น. ของวันที่ 25 มกราคม 2566

3.1 การคำนวณสภาพการเปล่งรังสี (ϵ) สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

$$\epsilon = \frac{\dot{m} C_p (T_{fi,Hx} - T_{fo,Hx})}{\sigma A_{Hx} (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4)}$$

$$\frac{(\text{kg/s}) \times (\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times ^\circ\text{C}}{(\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4) \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C}^4}$$

$$= \frac{(1/60) \times 4187 \times (21.6 - 20.8)}{5.6697 \times 10^{-8} \times 1.2 \times [(20.7 + 273.15)^4 - (4.28 + 273.15)^4]}$$

$$= 0.54$$

3.2 การคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($h_{Hx,a}$)

$$h_{Hx,a} = \frac{\dot{m}C_p (T_{fo,Hx} - T_{fi,Hx}) + \sigma \epsilon A_{Hx} (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4)}{A_{Hx} (T_a - T_{Hx})}$$

$$= \frac{(1/60) \times 4187 \times (27.5 - 27.8) + \{0.52 \times 5.6697 \times 10^{-8} \times 2.34 \times [(26.7 + 273.15)^4 - (5.39 + 273.15)^4]\}}{2.34 \times (21.2 - 25.8)}$$

$$= 7.40 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.3 การคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับน้ำที่ผ่านโมดูล ($h_{PVT,w}$)

$$T_{fo,PVT} = T_{fi,PVT} + (T_{PVT} - T_{fi,PVT}) \left(1 - e^{-\left(\frac{hA}{\dot{m}C_p}\right)}\right)$$

$$\frac{(21.20 - 22.40)}{(21.30 - 22.40)} = 1 - e^{-\left(\frac{2.16h}{(1/60) \times 4187}\right)}$$

$$\ln(0.09) = \frac{-2.16h}{(1/60) \times 4187} \ln e$$

$$-2.40 = -0.031h$$

$$h = 77.67 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.4 การคำนวณค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับอากาศแวดล้อม (R_{total})

$$R_{total} = \frac{T_a - T_{PVT}}{\dot{m}C_p (T_{fo,PVT} - T_{fi,PVT})}$$

$$= \frac{18.2 - 21.30}{(1/60) \times 4187 \times (21.20 - 22.40)}$$

$$= 0.037 \quad \frac{K}{W}$$

3.5 การคำนวณหาอุณหภูมิน้ำขาออกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ($T_{fo,PVT(Sim)}$)

$$\begin{aligned}
 T_{fo,PVT(Sim)} &= \frac{1}{mC_p} \left[\frac{T_a - T_{PVT}}{R_{total}} \right] + T_{fi,PVT} \left[\frac{1}{(kg/s) \times (J/kg \cdot ^\circ C)} \times \frac{^\circ C}{(^\circ C/W)} \right] + ^\circ C \\
 &= \frac{1}{(1/60) \times 4187} \left[\frac{18.2 - 21.30}{0.037} \right] + 22.40 \\
 &= 21.09 \quad ^\circ C
 \end{aligned}$$

3.6 การคำนวณอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ($T_{PVT(Sim)}$)

$$\begin{aligned}
 T_{PVT(Sim)} &= \frac{T_{fo,PVT(Sim)} - T_{fi,PVT}}{-\left(\frac{hA}{mC_p}\right)} + T_{fi,PVT} \\
 &= \frac{21.09 - 22.40}{1 - e^{-1.10033}} + 22.40 \\
 &= \frac{-1.31}{1 - (-1.10033)} + 22.40 \\
 &= -0.62 + 22.40 \\
 &= 21.77 \quad ^\circ C
 \end{aligned}$$

3.7 การคำนวณอุณหภูมิน้ำขาออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ($T_{fo,Hx(Sim)}$)

$$\begin{aligned}
 T_{fo,Hx(Sim)} &= \frac{A_{Hx}}{mC_p} \left[h_{Hx,a} (T_a - T_{Hx}) - \epsilon \sigma (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4) \right] + T_{fi,Hx} \\
 &= \frac{2.34}{(1/60) \times 4187} \left[15.52(18.2 - 20.7) - \{0.55 \times 5.6697 \times 10^{-8} [(20.7 + 273.15)^4 - (4.28 + 273.15)^4] \} \right] + 21.04 \\
 &= 18.92 \quad ^\circ C
 \end{aligned}$$

3.8 การคำนวณอุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ($T_{Hx(Sim)}$)

$$\begin{aligned}
 (T_{Hx(Sim)}) &= \frac{T_{fo,Hx(Sim)} - T_{fi,Hx}}{-\left(\frac{hA}{mC_p}\right)} + T_{fi,Hx} \\
 &= \frac{19.48 - 21.60}{1 - (-1.10033)} + 21.60 \\
 &= 20.59 \quad ^\circ C
 \end{aligned}$$

3.9 การคำนวณอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ($T_s^{t+\Delta t}$)

$$T_s^{t+\Delta t} = \frac{A_{Hx} \Delta t}{MC_p} \left[h_{Hx,a} (T_a - T_{Hx}) - \epsilon \sigma (T_{Hx}^4 - T_{sky}^4) \right] + T_{fi}^t$$

$$= \frac{2.34 \times 300}{(1/60) \times 4187} \left[15.52(18.2 - 20.59) - \{0.55 \times 5.6697 \times 10^{-8} [(20.7 + 273.15)^4 - (4.28 + 273.15)^4] \} \right] + 22.4$$

$$= 22.33 \quad ^\circ\text{C}$$

3.10 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ (Q_s)

$$Q_s = \frac{MC_p (T_s^{t+\Delta t} - T_s^t)}{\Delta t} \quad \frac{\text{kg} \times (\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times ^\circ\text{C}}{\text{s}}$$

$$= \frac{140 \times 4187 \times (22.5 - 22.4)}{300}$$

$$= 195.39 \quad \text{W}$$

3.11 การคำนวณสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (COP)

$$\text{COP} = \frac{Q_s}{W_{\text{Pump}} \Delta t} \quad \frac{\text{kg} \times (\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times ^\circ\text{C}}{(\text{J}/\text{s}) \times \text{hr} \times (\text{min}/\text{hr}) \times (\text{s}/\text{min})}$$

$$= \frac{140 \times 4187 \times (25.7 - 16.2)}{10 \times 11 \times 60 \times 60}$$

$$= 14.06$$

4. การคำนวณระยะเวลาคืนทุนสำหรับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยจะใช้ข้อมูลในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2561

กรณีไม่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	= 2.02	kWh/day
	= $2.02 \times 365 \times 0.7$	
	= 516.84	kWh/year
คิดเป็นเงิน	= 516.84×4.5	
	= 2,325.79	Baht/year

กรณีมีการระบายความร้อนด้วยน้ำ

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	= 2.17	kWh/day
	= $2.17 \times 365 \times 0.7$	
	= 553.77	kWh/year

คิดเป็นเงิน	= 553.77×4.5	
	= 2,491.95	Baht/year

พลังงานความร้อนที่ผลิตได้	= 10.6	MJ/day
	= $10.6 \times 365 \times 0.7$	
	= 2,707.61	MJ/year

คิดเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า	= $2,707.61/3,600$	
	= 0.75211×10^{-3}	MW/year
	= 752.11	kWhr/year

คิดเป็นเงิน	= 752.11×4.5	
	= 3,384.51	Baht/year

รวมเป็นเงิน	= $2,491.95 + 3,384.51$	
	= 5,876.46	Baht/year

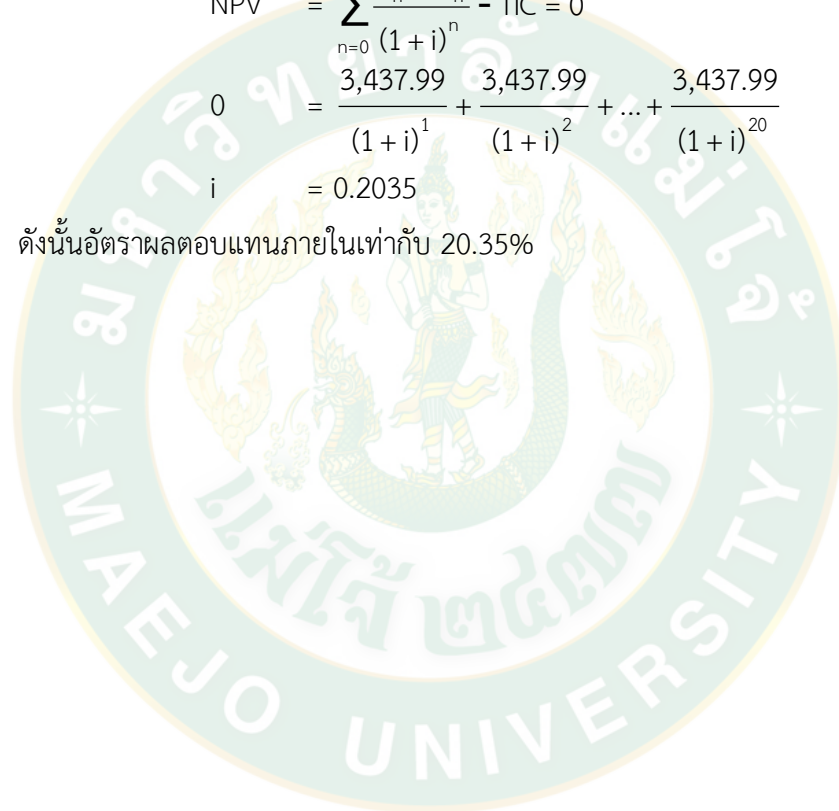
พลังงานที่ใช้ขั้วป้อน	= $14 \times 7 \times 3600 \times 10^{-3}$	
	= 352.80	kJ/day
	= $352.80 \times 365 \times 0.7$	
	= 90,140.40	kJ/year
	= $90,140.40/3600$	
	= 25.04	kWhr/year

คิดเป็นเงิน	= 25.04 x 4.5	
	= 112.68	Baht/year
เงินที่เพิ่มขึ้นหลังติดตั้งระบบระบายความร้อน	= 5,876.46 - 2,325.79 - 112.68	
	= 3,437.99	Baht/year
ระยะเวลาคืนทุน	= 13,800/3,437.99	
	= 4.01	year

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

$$\begin{aligned}
 NPV &= \sum_{n=0}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \\
 0 &= \frac{3,437.99}{(1+i)^1} + \frac{3,437.99}{(1+i)^2} + \dots + \frac{3,437.99}{(1+i)^{20}} \\
 i &= 0.2035
 \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 20.35%





ตาราง ข.1 การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

T_{fi} set	\dot{m}	I_T	T_{fi}	T_{fo}	T_a	Q_{coll}	$(T_{fi}-T_a)/I_T$	η
(°C)	(L/s)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)		
35	0.0325	839.1	34.9	39.6	29.8	640.35	0.006	0.35
	0.0325	834.5	34.9	39.6	29.8	640.35	0.006	0.36
	0.0325	837.0	35.0	39.7	29.9	640.35	0.006	0.35
	0.0325	838.7	35.1	39.9	29.3	653.98	0.007	0.36
	0.0325	839.3	35.3	40.1	29.5	653.98	0.007	0.36
	0.0325	840.5	35.4	40.2	30.1	653.98	0.006	0.36
	0.0325	834.6	35.6	40.3	30.3	640.35	0.006	0.36
	0.0325	842.2	35.7	40.3	30.3	626.73	0.006	0.34
	0.0325	840.2	35.9	40.6	29.4	640.35	0.008	0.35
	0.0325	847.9	35.7	40.6	29.2	667.60	0.008	0.36
Average	0.0325	839.4	35.35	40.1	29.76	645.80	0.007	0.36
40	0.0325	836.10	40.40	44.70	30.90	585.85	0.011	0.32
	0.0325	826.50	40.50	44.80	31.20	585.85	0.011	0.33
	0.0325	824.20	40.50	44.80	31.40	585.85	0.011	0.33
	0.0325	810.30	40.40	44.80	31.50	599.48	0.011	0.34
	0.0325	815.80	40.40	44.80	30.90	599.48	0.012	0.34
	0.0325	817.50	40.50	44.80	30.90	585.85	0.012	0.33
	0.0325	812.00	40.70	45.20	31.00	613.10	0.012	0.35
	0.0325	821.20	40.70	45.20	31.40	613.10	0.011	0.35
	0.0325	821.70	40.90	45.10	31.00	572.23	0.012	0.32
	0.0325	817.40	40.90	45.20	31.40	585.85	0.012	0.33
Average	0.0325	820.27	40.59	44.94	31.16	592.67	0.011	0.33

ตาราง ข.1 (ต่อ) การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

T_{fi} set	\dot{m}	I_T	T_{fi}	T_{fo}	T_a	Q_{coll}	$(T_{fi}-T_a)/I_T$	η
(°C)	(L/s)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)		
45	0.0325	803.50	45.00	48.80	32.30	517.73	0.016	0.30
	0.0325	809.20	45.20	49.10	32.50	531.36	0.016	0.30
	0.0325	810.10	45.30	49.10	32.60	517.73	0.016	0.30
	0.0325	805.30	45.50	49.20	32.50	504.11	0.016	0.29
	0.0325	805.50	45.70	49.50	32.20	517.73	0.017	0.30
	0.0325	808.20	45.70	49.50	32.20	517.73	0.017	0.30
	0.0325	805.00	45.80	49.60	32.30	517.73	0.017	0.30
	0.0325	807.30	45.40	49.30	32.10	531.36	0.016	0.30
	0.0325	807.40	45.50	49.40	32.30	531.36	0.016	0.30
	0.0325	815.80	45.50	49.50	32.00	544.98	0.017	0.31
Average	0.0325	807.73	45.46	49.30	32.30	523.18	0.016	0.30
50	0.0325	866.70	50.00	53.30	31.10	449.61	0.022	0.24
	0.0325	873.40	50.40	53.60	31.20	435.98	0.022	0.23
	0.0325	851.50	50.70	53.10	31.50	326.99	0.023	0.18
	0.0325	872.40	50.70	53.30	31.20	354.24	0.022	0.19
	0.0325	854.00	49.60	53.00	31.70	463.23	0.021	0.25
	0.0325	852.80	49.30	53.10	31.30	517.73	0.021	0.28
	0.0325	853.60	49.30	52.90	30.80	490.48	0.022	0.27
	0.0325	855.70	49.40	52.90	30.40	476.86	0.022	0.26
	0.0325	846.40	49.50	53.10	30.50	490.48	0.022	0.27
	0.0325	853.30	49.60	53.10	30.90	476.86	0.022	0.26
Average	0.0325	857.98	49.85	53.14	31.06	448.25	0.022	0.24

ตาราง ข.1 (ต่อ) การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

T_{fi} set	\dot{m}	I_T	T_{fi}	T_{fo}	T_a	Q_{coll}	$(T_{fi}-T_a)/I_T$	η
(°C)	(L/s)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)		
55	0.0325	834.40	55.00	57.40	31.20	326.99	0.029	0.18
	0.0325	842.40	54.90	57.50	31.10	354.24	0.028	0.19
	0.0325	840.70	55.00	57.40	31.30	326.99	0.028	0.18
	0.0325	844.30	55.40	57.20	31.50	245.24	0.028	0.13
	0.0325	844.70	55.60	57.50	31.60	258.87	0.028	0.14
	0.0325	837.30	55.70	57.50	31.40	245.24	0.029	0.14
	0.0325	839.00	55.60	57.60	31.50	272.49	0.029	0.15
	0.0325	848.00	55.80	57.60	32.00	245.24	0.028	0.13
	0.0325	847.50	55.60	57.70	32.10	286.11	0.028	0.16
	0.0325	848.40	55.30	57.40	31.40	286.11	0.028	0.16
Average	0.0325	842.67	55.39	57.48	31.51	284.75	0.028	0.16
60	0.0325	835.80	60.40	61.70	32.90	177.12	0.033	0.10
	0.0325	846.50	59.80	61.80	32.50	272.49	0.032	0.15
	0.0325	836.40	59.90	61.70	32.20	245.24	0.033	0.14
	0.0325	836.00	59.90	61.50	32.20	217.99	0.033	0.12
	0.0325	835.80	60.00	61.40	32.50	190.74	0.033	0.11
	0.0325	837.50	60.10	61.50	32.50	190.74	0.033	0.11
	0.0325	841.10	60.20	61.50	32.90	177.12	0.032	0.10
	0.0325	830.90	60.20	61.30	32.80	149.87	0.033	0.08
	0.0325	836.20	60.30	61.40	33.00	149.87	0.033	0.08
	0.0325	832.80	60.30	61.40	33.10	149.87	0.033	0.08
Average	0.0325	836.90	60.11	61.52	32.66	192.11	0.033	0.11

ตาราง ข.1 (ต่อ) การทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

T_{fi} set	\dot{m}	I_T	T_{fi}	T_{fo}	T_a	Q_{coll}	$(T_{fi}-T_a)/I_T$	η
(°C)	(L/s)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)		
65	0.0325	852.00	65.00	66.00	32.20	136.24	0.038	0.07
	0.0325	838.00	65.00	66.00	32.30	136.24	0.039	0.08
	0.0325	850.50	65.30	66.10	32.50	109.00	0.039	0.06
	0.0325	840.30	65.30	66.20	32.40	122.62	0.039	0.07
	0.0325	837.50	65.30	66.30	32.10	136.24	0.040	0.08
	0.0325	835.30	65.30	66.10	32.10	109.00	0.040	0.06
	0.0325	849.30	65.30	66.20	31.80	122.62	0.039	0.07
	0.0325	846.50	65.20	66.20	31.30	136.24	0.040	0.07
	0.0325	822.30	65.30	66.10	31.60	109.00	0.041	0.06
	0.0325	826.40	65.30	66.10	31.60	109.00	0.041	0.06
Average	0.0325	839.81	65.23	66.13	31.99	122.62	0.040	0.07

ตาราง ข.2 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	I_T	T_a	$T_{PV,T}$	T_{PV}	I_T	T_a	$T_{PV,T}$	T_{PV}	I_T	T_a	$T_{PV,T}$	T_{PV}
	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)
9:00	477.95	24.70	29.20	41.80	406.10	24.80	29.60	39.20	459.90	25.60	29.50	42.10
9:05	496.20	25.40	30.10	44.60	376.80	25.30	29.20	41.60	477.80	26.10	30.40	45.00
9:10	511.30	25.20	31.00	45.60	473.45	25.30	30.20	44.20	490.95	26.30	30.70	46.80
9:15	524.50	25.90	31.60	47.90	514.15	24.90	31.20	47.10	507.95	26.30	31.40	47.80
9:20	543.05	26.40	32.20	48.30	540.85	25.20	32.10	48.60	526.65	26.10	31.80	48.40
9:25	559.55	25.80	32.70	48.60	507.85	26.30	32.20	50.10	533.45	26.70	32.00	49.50
9:30	572.90	26.20	33.40	47.60	566.00	26.40	33.20	50.80	549.85	26.70	32.50	49.70
9:35	585.30	26.10	33.90	49.00	543.45	26.00	33.10	51.30	566.25	26.70	32.90	50.30
9:40	598.45	26.20	34.30	51.40	608.95	26.80	34.00	53.30	581.80	26.40	33.30	49.70
9:45	610.10	27.40	34.80	52.20	575.70	27.00	34.20	53.90	596.30	26.90	34.00	51.40
9:50	628.05	27.60	35.40	52.20	584.45	27.30	34.40	52.70	609.65	26.80	34.50	52.10
9:55	638.50	27.40	35.80	53.60	600.05	26.70	34.40	53.70	621.35	26.90	34.80	52.30
10:00	654.45	27.90	36.20	53.70	648.55	27.40	35.20	55.90	634.15	26.50	34.90	52.50
10:05	665.80	26.70	36.70	54.90	631.00	27.80	35.40	56.50	642.40	27.00	35.50	54.20
10:10	678.10	27.60	37.00	56.00	661.55	28.40	36.00	56.90	656.90	27.00	36.20	55.70
10:15	690.05	27.80	37.50	56.30	674.20	28.20	36.90	56.20	670.25	27.70	36.60	56.00
10:20	703.95	28.20	38.20	55.50	686.50	28.40	37.90	56.50	670.55	28.00	36.90	57.30
10:25	711.20	27.50	38.20	57.10	712.25	28.80	37.90	59.10	684.80	28.20	37.00	57.40
10:30	721.10	27.20	38.70	57.60	705.00	28.20	38.40	58.50	697.55	28.50	37.50	58.90
10:35	731.10	28.70	39.00	58.30	696.10	29.00	38.20	60.00	709.70	28.20	38.20	58.30
10:40	737.70	28.30	39.40	59.50	694.85	29.60	38.50	61.30	711.35	28.80	38.80	59.20
10:45	749.60	28.40	39.70	59.80	723.05	30.00	39.20	62.50	727.85	29.30	39.50	61.00
10:50	756.00	28.30	40.40	60.50	740.90	30.20	39.70	62.70	724.30	29.30	39.30	60.30
10:55	762.10	29.00	40.70	61.90	763.45	29.80	40.60	63.30	737.35	29.20	40.10	60.90
11:00	773.00	28.60	40.90	62.80	772.45	30.50	41.10	64.70	746.20	29.00	40.40	61.30
11:05	778.25	29.10	41.40	63.40	786.05	30.50	41.40	64.50	750.40	29.40	41.00	61.60
11:10	780.00	29.90	41.70	60.70	782.60	30.70	42.00	66.00	761.25	29.20	41.20	61.20

ตาราง ข.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการ
ระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	I_T (W/m ²)	T_a (°C)	$T_{PV,T}$ (°C)	T_{PV} (°C)	I_T (W/m ²)	T_a (°C)	$T_{PV,T}$ (°C)	T_{PV} (°C)	I_T (W/m ²)	T_a (°C)	$T_{PV,T}$ (°C)	T_{PV} (°C)
11:15	785.60	29.50	42.30	61.80	788.25	31.00	42.40	65.80	762.55	29.80	41.40	62.10
11:20	798.05	30.10	42.70	61.20	802.20	30.30	42.70	65.60	768.95	29.50	41.60	62.30
11:25	802.05	29.80	43.00	62.60	817.55	30.40	43.50	67.10	763.00	29.80	42.40	63.50
11:30	805.90	29.80	43.50	64.80	807.65	30.80	43.60	66.80	777.65	30.30	42.80	64.40
11:35	808.00	30.30	43.60	64.50	804.95	31.20	43.70	68.20	781.55	31.00	43.20	65.40
11:40	817.85	30.70	44.30	66.20	818.25	31.80	44.20	68.70	783.60	30.70	43.20	65.60
11:45	818.55	30.60	44.30	65.40	816.50	32.20	44.60	68.60	786.45	30.80	43.90	66.80
11:50	824.05	31.30	44.70	65.80	808.95	32.00	45.30	68.10	799.95	30.80	44.10	66.90
11:55	829.45	30.50	45.70	66.60	820.15	31.90	45.70	67.60	801.90	31.00	44.40	65.60
12:00	827.95	31.00	46.20	67.60	821.85	32.10	45.80	68.00	803.65	31.80	44.70	66.40
12:05	830.15	31.50	46.30	67.60	830.75	31.60	45.80	66.60	814.20	31.60	44.90	66.20
12:10	831.90	31.60	46.70	68.20	815.20	32.10	46.70	67.70	808.15	31.30	45.50	65.60
12:15	833.90	31.70	47.00	66.60	821.60	32.60	47.30	67.90	809.40	31.40	46.00	65.70
12:20	833.50	31.50	47.30	67.20	838.25	32.30	47.40	68.20	809.55	31.60	46.70	67.30
12:25	832.80	31.80	47.50	68.70	793.00	32.90	47.20	69.50	794.20	30.90	46.50	64.60
12:30	829.30	32.70	48.00	69.50	774.60	33.50	47.30	69.80	798.40	30.50	45.70	63.00
12:35	830.00	32.50	48.30	68.40	813.60	33.10	47.80	67.90	794.00	30.50	46.30	63.00
12:40	825.05	32.90	48.70	69.80	821.20	33.30	49.30	67.30	758.60	31.20	47.30	63.40
12:45	825.25	32.40	48.80	66.80	816.95	32.70	49.20	67.30	786.75	30.90	47.40	64.20
12:50	822.35	31.80	48.70	66.40	794.95	33.10	48.50	67.70	799.55	31.50	47.60	65.20
12:55	817.40	32.60	48.70	68.30	807.20	33.30	48.80	68.50	787.90	32.20	47.70	66.90
13:00	815.20	33.00	49.10	68.20	807.05	32.80	49.50	66.90	783.45	31.80	48.20	65.70
13:05	812.75	32.90	49.40	67.10	796.75	32.90	50.00	66.20	758.05	31.70	48.20	64.80
13:10	808.85	33.50	49.50	68.60	791.00	33.00	49.80	67.00	771.40	31.90	49.80	65.70
13:15	803.90	33.00	50.10	68.90	785.50	32.50	49.90	66.00	773.90	32.30	49.30	66.00
13:20	794.20	32.70	50.20	66.80	780.35	33.10	50.00	66.70	774.35	32.50	49.20	66.10
13:25	788.55	32.60	50.30	66.90	778.05	33.30	49.80	67.10	766.80	32.30	49.50	66.70
13:30	777.90	33.20	50.60	68.20	768.95	33.70	50.50	67.90	744.00	32.30	49.80	66.70

ตาราง ข.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาอัตราการใช้ไฟที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	I_T	T_a	T_{PV_T}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV_T}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV_T}	T_{PV}
	(W/m^2)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	(W/m^2)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	(W/m^2)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)
13:35	778.40	32.90	50.70	68.40	758.45	33.40	50.90	68.20	736.75	32.40	49.90	65.90
13:40	768.65	33.00	51.10	67.00	743.65	33.70	51.20	68.40	735.30	32.60	49.90	65.40
13:45	754.85	33.10	51.20	67.20	725.70	32.60	51.00	64.10	718.90	32.60	49.70	64.30
13:50	745.15	33.60	51.20	67.30	728.50	32.80	51.40	63.80	719.00	32.90	49.60	64.40
13:55	738.45	33.20	51.10	65.80	716.25	32.70	51.20	63.80	704.40	32.70	49.90	63.40
14:00	730.10	33.60	51.40	66.40	709.20	33.10	51.10	64.80	695.80	32.40	50.20	62.90
14:05	716.75	33.80	51.40	65.10	688.25	33.30	51.20	64.70	685.40	32.50	49.20	63.60
14:10	712.50	34.40	51.60	66.20	688.85	33.30	51.40	63.30	669.10	32.50	49.10	62.20
14:15	704.85	34.10	52.00	65.60	679.85	33.20	51.20	62.10	657.55	32.50	49.50	61.20
14:20	690.30	34.10	51.90	64.10	670.75	32.80	51.50	61.40	652.20	32.70	49.80	61.30
14:25	676.35	33.90	52.20	63.20	663.35	32.90	51.50	60.90	635.95	32.90	50.00	61.80
14:30	661.25	34.10	52.20	63.70	642.40	33.00	51.70	60.40	619.10	32.50	50.20	59.30
14:35	658.40	34.10	52.10	63.50	626.80	33.00	51.90	60.00	613.00	32.30	50.00	59.30
14:40	642.15	34.40	52.00	62.60	626.80	33.10	52.00	59.60	596.30	32.70	50.10	58.60
14:45	632.55	34.80	52.00	62.50	610.70	33.10	52.20	59.20	581.95	32.60	50.30	57.30
14:50	613.10	34.70	52.40	61.80	595.15	33.20	52.50	58.70	564.85	32.40	50.00	56.80
14:55	590.65	34.50	52.10	60.80	574.40	33.30	52.70	58.30	548.55	32.40	50.20	56.10
15:00	578.15	34.40	52.10	59.40	562.60	32.70	53.90	56.20	544.65	32.20	50.20	55.00
15:05	554.80	34.00	52.30	58.50	545.05	33.20	53.10	56.20	530.55	32.50	50.20	54.60
15:10	531.00	34.00	52.30	57.90	528.55	32.50	51.80	54.70	524.60	32.60	50.00	54.30
15:15	524.90	33.70	52.10	56.00	509.40	33.20	51.00	54.40	504.00	32.80	50.10	54.40
15:20	495.15	33.60	51.90	55.40	491.30	33.10	50.60	53.00	484.85	33.00	49.90	54.00
15:25	494.85	34.00	51.90	55.30	471.00	33.20	50.60	53.00	477.35	31.60	49.50	50.70
15:30	482.70	34.10	51.80	54.80	453.70	33.00	50.50	51.80	457.45	32.10	49.70	50.90
15:35	459.25	34.00	51.40	53.60	431.20	32.60	50.10	50.60	445.85	31.80	49.50	49.70
15:40	434.85	33.80	51.30	51.60	422.65	32.70	50.20	49.00	429.15	32.50	49.50	50.40
15:45	418.55	33.00	50.90	49.80	390.40	32.70	49.90	47.70	408.40	32.80	49.20	50.20
15:50	396.70	33.10	51.00	49.00	375.10	33.10	50.00	46.30	392.45	33.30	49.30	49.90

ตาราง ข.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาอัตราการใช้ไฟที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	I_T	T_a	T_{PV_T}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV_T}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV_T}	T_{PV}
	(W/m^2)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	(W/m^2)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	(W/m^2)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)
15:55	376.50	33.40	50.90	48.50	354.20	32.40	49.50	45.40	372.00	31.90	48.80	47.20
16:00	355.80	33.70	50.40	47.40	339.20	32.10	49.10	44.20	353.05	32.10	48.90	45.60



ตาราง ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
9:00	26.00	26.70	48.85	6.28	26.00	27.30	181.44	27.46	26.00	26.60	125.61	16.79
9:05	26.30	27.40	76.76	9.51	26.00	27.50	209.35	34.15	26.20	28.10	397.77	51.17
9:10	26.90	28.00	76.76	9.23	25.70	27.60	265.18	34.42	26.10	27.20	230.29	28.83
9:15	26.50	28.80	160.50	18.81	26.50	27.00	69.78	8.34	26.60	27.40	167.48	20.27
9:20	26.50	29.50	209.35	23.69	26.90	29.30	334.96	38.07	26.80	27.80	209.35	24.43
9:25	26.50	30.10	251.22	27.59	26.50	31.40	683.88	82.77	27.00	29.50	523.38	60.30
9:30	26.40	30.50	286.11	30.70	26.90	30.90	558.27	60.62	27.10	29.80	565.25	63.18
9:35	26.60	31.10	314.03	32.98	27.00	30.40	474.53	53.67	27.70	28.80	230.29	25.00
9:40	26.70	31.70	348.92	35.83	27.10	30.80	516.40	52.12	27.90	29.00	230.29	24.33
9:45	26.70	32.20	383.81	38.67	27.00	29.70	376.83	40.23	28.30	29.30	209.35	21.58
9:50	26.90	32.70	404.74	39.61	28.70	30.30	223.31	23.48	28.40	31.60	669.92	67.54
9:55	27.00	33.20	432.66	41.65	28.60	32.60	558.27	57.18	28.50	31.10	544.31	53.84
10:00	27.20	33.60	446.61	41.94	28.90	32.30	474.53	44.97	29.10	30.50	293.09	28.41
10:05	27.40	34.10	467.55	43.16	28.90	32.30	474.53	46.22	29.60	30.80	251.22	24.04
10:10	27.60	34.50	481.51	43.64	29.20	31.60	334.96	31.12	29.90	31.20	272.16	25.46
10:15	27.70	34.90	502.44	44.75	30.30	32.30	279.13	25.45	30.00	33.60	753.66	69.11
10:20	28.00	35.30	509.42	44.48	30.80	35.10	600.14	53.73	30.10	32.30	460.57	42.22
10:25	28.20	35.70	523.38	45.23	30.60	34.30	516.40	44.56	30.80	32.30	314.02	28.18
10:30	28.70	36.10	516.40	44.01	30.60	34.20	502.44	43.80	31.10	32.70	334.96	29.51
10:35	29.00	36.40	516.40	43.41	30.70	34.60	544.31	48.06	31.50	33.60	439.64	38.07
10:40	29.40	36.90	523.38	43.61	31.50	33.90	334.96	29.63	31.70	35.60	816.47	70.55
10:45	29.80	37.20	516.40	42.34	32.40	35.90	488.48	41.52	31.80	33.60	376.83	31.82
10:50	30.20	37.50	509.42	41.42	32.90	37.20	600.14	49.79	32.60	34.00	293.09	24.87
10:55	30.50	38.00	523.38	42.21	32.60	36.50	544.31	43.82	33.10	34.50	293.09	24.43
11:00	30.90	38.40	523.38	41.61	32.70	36.80	572.22	45.53	33.30	36.40	648.99	53.46
11:05	31.30	38.70	516.40	40.78	32.80	36.10	460.57	36.01	33.40	36.80	711.79	58.30
11:10	31.80	39.00	502.44	39.59	34.10	36.60	348.92	27.40	33.60	35.50	397.77	32.12
11:15	32.20	39.40	502.44	39.31	34.60	38.90	600.14	46.79	34.50	35.90	293.09	23.62

ตาราง ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิน้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
11:20	32.60	39.70	495.46	38.16	34.80	39.10	600.14	45.98	34.80	36.50	355.90	28.45
11:25	33.00	40.00	488.48	37.43	35.00	38.70	516.40	38.82	35.10	38.30	669.92	53.96
11:30	33.40	40.40	488.48	37.25	35.00	38.20	446.61	33.99	35.10	38.20	648.99	51.29
11:35	33.80	40.80	488.48	37.16	36.20	38.40	307.05	23.44	35.50	36.90	293.09	23.05
11:40	34.20	41.30	495.46	37.23	36.70	40.50	530.35	39.84	36.20	37.50	272.15	21.35
11:45	34.50	41.70	502.44	37.73	36.80	41.80	697.83	52.53	36.70	38.20	314.03	24.54
11:50	34.90	42.20	509.42	38.00	36.80	40.90	572.22	43.48	36.80	40.20	711.79	54.69
11:55	35.50	42.30	474.53	35.16	37.00	40.50	488.48	36.61	36.90	40.00	648.99	49.74
12:00	35.70	42.80	495.46	36.78	37.60	40.60	418.70	31.31	37.20	38.70	314.03	24.02
12:05	36.20	43.20	488.48	36.17	38.50	42.20	516.40	38.21	37.80	39.30	314.03	23.71
12:10	36.60	43.40	474.53	35.06	38.70	43.30	642.01	48.40	38.30	39.80	314.03	23.88
12:15	37.00	43.80	474.53	34.98	38.80	42.70	544.31	40.72	38.60	41.90	690.85	52.46
12:20	37.20	44.00	474.53	34.99	38.80	41.60	390.79	28.65	39.00	41.30	481.50	36.56
12:25	37.60	44.40	474.53	35.02	40.00	43.44	480.11	37.21	39.20	40.80	334.96	25.92
12:30	37.90	45.00	495.46	36.72	40.20	44.10	544.31	43.19	39.60	40.90	272.15	20.95
12:35	38.30	45.10	474.53	35.14	40.30	44.60	600.14	45.34	40.20	41.00	167.48	12.96
12:40	38.70	45.50	474.53	35.35	40.60	44.10	488.48	36.56	40.30	42.80	523.38	42.40
12:45	38.90	45.60	467.55	34.82	40.70	43.70	418.70	31.50	40.30	42.00	355.90	27.80
12:50	39.20	45.80	460.57	34.42	41.20	43.80	362.87	28.06	40.70	42.40	355.89	27.36
12:55	39.40	46.30	481.51	36.21	42.00	45.10	432.66	32.94	40.90	42.20	272.16	21.23
13:00	39.90	46.50	460.57	34.73	42.00	45.90	544.31	41.45	41.40	43.70	481.51	37.77
13:05	40.20	46.70	453.59	34.30	42.20	45.70	488.48	37.68	41.50	44.30	586.18	47.53
13:10	40.50	47.10	460.57	35.00	42.20	45.70	488.48	37.96	41.80	42.80	209.35	16.68
13:15	41.00	47.20	432.66	33.08	42.20	45.20	418.70	32.76	42.30	43.50	251.22	19.95
13:20	41.30	47.50	432.66	33.48	43.50	45.20	237.26	18.69	42.60	44.10	314.03	24.93
13:25	41.80	47.80	418.70	32.64	43.80	46.30	348.92	27.56	42.80	44.60	376.83	30.20
13:30	42.10	48.10	418.70	33.08	43.80	47.30	488.48	39.04	43.00	45.30	481.50	39.78
13:35	42.40	48.30	411.72	32.51	43.90	47.00	432.66	35.06	43.30	44.20	188.42	15.72

ตาราง ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิ น้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
13:40	42.70	48.30	390.79	31.25	44.00	47.00	418.70	34.61	43.60	44.50	188.42	15.75
13:45	43.10	48.40	369.85	30.11	44.10	46.40	321.00	27.19	43.80	45.30	314.03	26.85
13:50	43.50	48.60	355.90	29.36	45.10	46.60	209.35	17.66	44.00	46.10	439.64	37.58
13:55	43.80	48.80	348.92	29.04	45.10	47.70	362.87	31.14	44.20	46.30	439.63	38.36
14:00	44.20	49.10	341.94	28.79	45.10	48.00	404.74	35.08	44.40	44.80	83.74	7.40
14:05	44.60	49.20	321.00	27.53	45.20	47.80	362.87	32.41	44.70	45.80	230.28	20.65
14:10	44.90	49.50	321.00	27.69	45.30	47.30	279.13	24.91	44.80	46.40	334.96	30.77
14:15	45.30	49.60	300.07	26.17	46.10	47.10	139.57	12.62	45.00	46.90	397.77	37.18
14:20	45.40	49.60	293.09	26.10	46.10	48.20	293.09	26.86	45.30	47.00	355.90	33.54
14:25	45.70	49.50	265.18	24.10	46.20	48.60	334.96	31.04	45.30	46.00	146.55	14.16
14:30	45.90	49.80	272.16	25.30	45.90	48.00	293.09	28.04	45.70	46.30	125.61	12.47
14:35	46.00	50.00	279.13	26.06	45.70	47.70	279.13	27.37	46.00	46.50	104.68	10.50
14:40	46.20	50.10	272.16	26.05	45.50	47.30	251.22	24.63	46.10	47.30	251.22	25.89
14:45	46.50	50.10	251.22	24.41	45.20	47.00	251.22	25.28	46.20	47.30	230.28	24.32
14:50	46.70	50.00	230.29	23.09	45.00	46.50	209.35	21.62	46.40	47.10	146.55	15.95
14:55	46.80	50.10	230.29	23.96	44.80	46.00	167.48	17.92	46.40	46.70	62.81	7.04
15:00	47.00	50.00	209.35	22.26	46.30	51.90	781.57	85.39	46.70	47.00	62.80	7.09
15:05	47.30	49.90	181.44	20.10	46.40	51.00	642.01	72.40	46.70	47.50	167.48	19.40
15:10	47.60	50.10	174.46	20.19	46.60	49.80	446.61	51.93	46.70	47.50	167.48	19.62
15:15	47.80	49.90	146.55	17.16	47.80	48.40	83.74	10.10	46.90	47.10	41.87	5.11
15:20	47.90	49.90	139.57	17.32	48.00	48.20	27.91	3.49	47.00	47.00	0.00	0.00
15:25	47.90	49.70	125.61	15.60	48.00	48.20	27.91	3.64	47.10	47.10	0.00	0.00
15:30	48.00	49.70	118.63	15.11	48.10	48.10	0.00	0.00	47.10	47.30	41.87	5.63
15:35	47.90	49.40	104.68	14.01	47.90	47.90	0.00	0.00	47.00	47.30	62.80	8.66
15:40	48.00	49.10	76.76	10.85	48.10	47.90	-27.91	-4.06	47.20	47.00	-41.87	-6.00
15:45	48.00	48.80	55.83	8.20	47.90	47.40	-69.78	-10.99	47.10	46.80	-62.81	-9.45
15:50	48.10	48.60	34.89	5.41	48.00	47.30	-97.70	-16.01	47.20	47.10	-20.94	-3.28
15:55	48.10	48.40	20.93	3.42	47.80	47.10	-97.70	-16.95	47.00	47.00	0.00	0.00

ตาราง ข.4 กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาอัตราการใช้พลังงานที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
9:00	117.6	15.12	112.2	14.43	97.1	14.70	93.4	14.14	112.3	15.01	106.8	14.27
9:05	122.2	15.14	115.6	14.32	93.7	15.29	89.9	14.66	117.7	15.14	111.2	14.30
9:10	125.0	15.03	118.0	14.18	118.0	15.32	112.3	14.58	119.8	15.00	112.6	14.10
9:15	128.3	15.03	120.5	14.12	127.2	15.21	119.5	14.29	123.9	14.99	116.2	14.06
9:20	131.0	14.83	122.7	13.89	129.3	14.69	121.1	13.76	128.1	14.95	120.0	14.00
9:25	135.8	14.92	127.4	13.99	121.4	14.69	113.6	13.75	128.6	14.82	120.4	13.87
9:30	138.3	14.84	130.1	13.96	94.2	10.23	89.6	9.72	132.2	14.78	124.2	13.88
9:35	140.3	14.73	132.2	13.88	130.8	14.79	121.7	13.76	136.0	14.76	127.3	13.82
9:40	143.3	14.72	134.2	13.78	147.6	14.90	137.6	13.89	139.3	14.72	130.7	13.81
9:45	145.8	14.69	136.1	13.71	138.5	14.79	128.5	13.72	142.3	14.67	133.2	13.73
9:50	149.7	14.65	139.8	13.68	139.7	14.69	129.8	13.65	145.3	14.65	135.8	13.69
9:55	152.8	14.71	142.7	13.74	145.5	14.90	135.2	13.85	149.1	14.75	138.9	13.74
10:00	155.0	14.56	144.6	13.58	153.2	14.52	141.2	13.38	151.2	14.65	141.2	13.69
10:05	158.0	14.59	146.9	13.56	138.7	13.51	127.6	12.43	152.6	14.60	141.7	13.56
10:10	160.4	14.54	148.0	13.41	157.4	14.62	144.8	13.45	156.2	14.61	143.8	13.45
10:15	163.5	14.56	151.1	13.46	163.3	14.89	150.1	13.68	155.5	14.26	143.0	13.11
10:20	165.0	14.41	153.3	13.38	164.4	14.72	151.4	13.55	159.2	14.59	146.7	13.45
10:25	166.8	14.42	154.4	13.34	165.0	14.24	151.3	13.06	161.9	14.53	149.3	13.40
10:30	168.1	14.33	155.6	13.26	162.9	14.20	149.9	13.07	162.7	14.34	149.5	13.17
10:35	169.8	14.27	156.4	13.15	160.7	14.19	148.0	13.07	165.6	14.34	153.0	13.25
10:40	170.7	14.22	158.2	13.18	165.6	14.65	151.1	13.37	164.7	14.23	152.3	13.16
10:45	172.6	14.15	159.6	13.09	169.7	14.43	154.8	13.16	167.5	14.14	153.6	12.97
10:50	174.7	14.20	161.5	13.13	173.1	14.36	157.6	13.07	166.9	14.16	153.5	13.03
10:55	175.9	14.18	161.6	13.03	175.0	14.09	159.0	12.80	170.5	14.21	157.1	13.10
11:00	176.0	13.99	161.7	12.86	175.9	14.00	159.3	12.68	169.3	13.94	155.8	12.83
11:05	177.7	14.03	161.7	12.77	177.7	13.89	160.9	12.58	171.7	14.06	159.0	13.02

ตาราง ข.4 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาอัตราการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

ม	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
Time	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
11:10	178.4	14.06	164.1	12.93	175.7	13.80	158.3	12.43	172.7	13.94	159.3	12.86
11:15	179.8	14.07	166.2	13.00	177.5	13.84	161.1	12.56	173.2	13.96	159.6	12.86
11:20	181.3	13.96	167.4	12.89	180.3	13.81	163.8	12.55	174.2	13.92	159.5	12.75
11:25	181.2	13.89	166.4	12.75	182.3	13.71	165.2	12.42	174.4	14.05	159.6	12.86
11:30	181.7	13.86	165.9	12.65	179.1	13.63	163.3	12.43	176.9	13.98	161.5	12.76
11:35	181.9	13.84	166.2	12.64	179.1	13.68	162.1	12.38	176.5	13.88	160.4	12.61
11:40	182.5	13.72	166.6	12.52	182.5	13.71	164.4	12.35	177.8	13.95	162.1	12.71
11:45	182.2	13.68	166.0	12.46	180.7	13.60	163.3	12.29	177.4	13.86	161.6	12.63
11:50	183.2	13.66	168.0	12.53	179.5	13.64	163.6	12.43	178.8	13.74	163.3	12.55
11:55	182.2	13.50	166.4	12.33	180.4	13.52	165.2	12.38	178.7	13.70	164.2	12.59
12:00	182.6	13.56	167.7	12.45	180.0	13.46	162.0	12.12	179.3	13.71	164.2	12.56
12:05	181.8	13.46	167.6	12.41	180.3	13.34	167.3	12.38	180.4	13.62	165.6	12.50
12:10	182.3	13.47	167.3	12.36	174.9	13.19	161.5	12.18	179.4	13.64	164.4	12.50
12:15	182.1	13.42	167.0	12.31	178.7	13.37	164.4	12.30	178.2	13.53	165.1	12.54
12:20	181.7	13.40	167.8	12.37	181.3	13.29	167.0	12.24	178.3	13.54	164.3	12.47
12:25	180.7	13.34	166.6	12.30	172.5	13.37	158.2	12.26	173.5	13.43	161.6	12.51
12:30	179.0	13.27	164.3	12.18	166.5	13.21	153.0	12.14	174.7	13.45	165.5	12.74
12:35	178.5	13.22	163.8	12.13	175.3	13.24	162.2	12.25	174.0	13.47	164.3	12.72
12:40	178.1	13.27	163.4	12.17	177.8	13.31	165.8	12.41	173.3	14.04	161.2	13.06
12:45	178.3	13.28	165.5	12.33	175.9	13.23	164.5	12.38	173.4	13.55	162.1	12.66
12:50	175.5	13.12	162.4	12.14	170.2	13.16	158.8	12.28	174.5	13.41	161.5	12.41
12:55	175.2	13.17	162.1	12.19	172.3	13.12	160.3	12.21	168.2	13.12	156.4	12.20
13:00	174.3	13.14	161.6	12.18	172.3	13.12	161.3	12.28	170.1	13.34	157.8	12.38
13:05	173.9	13.15	161.4	12.21	170.4	13.14	159.3	12.29	166.7	13.52	154.4	12.52
13:10	171.9	13.06	159.3	12.10	168.1	13.06	157.4	12.23	164.6	13.11	154.8	12.33
13:15	170.9	13.07	158.5	12.12	168.1	13.15	157.8	12.35	166.3	13.21	156.1	12.40

ตาราง ข.4 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
13:20	168.4	13.03	157.4	12.18	167.5	13.19	156.4	12.32	165.8	13.16	154.4	12.26
13:25	167.7	13.07	157.3	12.26	165.2	13.05	154.6	12.21	161.7	12.96	150.6	12.07
13:30	165.2	13.05	154.7	12.22	161.7	12.92	151.1	12.08	158.6	13.10	148.5	12.27
13:35	163.6	12.92	153.4	12.11	160.6	13.01	150.8	12.22	156.4	13.05	146.9	12.26
13:40	162.3	12.98	152.5	12.19	156.2	12.91	146.7	12.12	156.6	13.09	146.7	12.26
13:45	160.2	13.04	151.2	12.31	153.9	13.03	146.1	12.37	152.8	13.06	144.3	12.34
13:50	158.0	13.03	148.0	12.21	155.0	13.08	148.3	12.51	152.5	13.04	145.5	12.44
13:55	155.3	12.93	146.9	12.23	151.7	13.02	145.6	12.49	149.4	13.04	143.8	12.55
14:00	150.5	12.67	143.4	12.07	149.5	12.96	143.1	12.40	147.2	13.00	140.8	12.44
14:05	149.2	12.79	141.9	12.17	144.7	12.92	139.1	12.42	144.1	12.92	137.9	12.37
14:10	148.9	12.84	141.4	12.20	144.6	12.90	139.4	12.44	141.2	12.97	135.6	12.46
14:15	144.8	12.63	138.6	12.09	142.9	12.92	138.2	12.49	138.4	12.94	134.8	12.60
14:20	144.2	12.84	138.5	12.33	139.4	12.77	136.2	12.48	137.0	12.91	131.5	12.39
14:25	141.0	12.81	136.0	12.36	138.1	12.80	135.4	12.55	130.7	12.63	127.5	12.32
14:30	138.1	12.84	133.1	12.37	133.7	12.79	130.9	12.52	130.0	12.91	127.4	12.65
14:35	135.1	12.61	130.6	12.19	129.4	12.69	127.3	12.48	126.5	12.68	123.5	12.38
14:40	133.3	12.76	129.4	12.39	130.4	12.79	127.1	12.46	125.9	12.98	122.6	12.64
14:45	128.2	12.46	123.9	12.04	127.1	12.79	124.3	12.51	120.2	12.69	119.4	12.61
14:50	125.9	12.62	122.5	12.28	124.2	12.83	121.2	12.52	119.5	13.00	118.6	12.91
14:55	121.9	12.68	119.5	12.44	122.5	13.11	121.2	12.97	116.2	13.02	115.7	12.96
15:00	117.9	12.53	116.5	12.39	114.5	12.51	114.8	12.54	115.2	13.00	115.0	12.98
15:05	113.0	12.52	112.6	12.47	112.0	12.63	112.9	12.73	110.7	12.82	111.1	12.87
15:10	109.7	12.70	109.5	12.67	109.1	12.69	110.3	12.83	109.6	12.84	110.7	12.97
15:15	108.7	12.73	109.6	12.83	104.8	12.64	105.3	12.71	104.6	12.76	105.2	12.83
15:20	102.0	12.66	103.1	12.80	101.8	12.74	102.7	12.85	101.3	12.84	101.9	12.92
15:25	101.4	12.59	102.8	12.77	97.0	12.66	98.0	12.79	99.6	12.83	101.2	13.03

ตาราง ข.4 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	1 L/min				2 L/min				3 L/min			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
15:30	99.8	12.70	101.1	12.87	93.2	12.63	94.7	12.82	95.3	12.81	97.9	13.15
15:35	93.4	12.49	94.8	12.68	89.0	12.69	90.8	12.94	93.8	12.93	96.6	13.32
15:40	90.0	12.72	92.4	13.06	86.6	12.59	88.8	12.92	88.0	12.61	90.4	12.95
15:45	84.8	12.45	87.7	12.88	80.5	12.67	82.9	13.06	83.7	12.59	85.7	12.90
15:50	79.6	12.33	83.0	12.86	75.8	12.42	79.0	12.94	78.0	12.22	80.3	12.57
15:55	74.6	12.18	78.1	12.75	71.9	12.48	74.9	13.00	73.3	12.10	75.8	12.52
16:00	72.9	12.59	76.1	13.15	67.8	12.28	70.9	12.85	71.0	12.36	74.1	12.90



ตาราง ข.5 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

M _s	100 L				120 L				140 L			
	I _T (W/m ²)	T _a (°C)	T _{PVT} (°C)	T _{PV} (°C)	I _T (W/m ²)	T _a (°C)	T _{PVT} (°C)	T _{PV} (°C)	I _T (W/m ²)	T _a (°C)	T _{PVT} (°C)	T _{PV} (°C)
9:00	459.35	26.90	31.80	39.10	406.10	24.80	29.60	39.20	480.05	25.20	30.10	43.60
9:05	482.55	27.30	32.50	43.90	376.80	25.30	29.20	41.60	498.35	25.50	30.90	46.00
9:10	499.25	27.80	33.20	47.50	473.45	25.30	30.20	44.20	513.30	25.40	31.30	46.80
9:15	491.70	28.00	33.80	49.10	514.15	24.90	31.20	47.10	524.75	25.40	32.00	47.50
9:20	489.40	28.30	33.70	49.60	540.85	25.20	32.10	48.60	541.05	25.80	32.40	47.70
9:25	551.50	28.30	34.30	51.90	507.85	26.30	32.20	50.10	556.25	25.70	32.90	49.90
9:30	570.15	29.20	34.70	53.80	566.00	26.40	33.20	50.80	575.70	26.20	33.30	51.60
9:35	585.90	29.40	35.30	55.80	543.45	26.00	33.10	51.30	586.70	26.90	33.80	51.70
9:40	595.25	29.90	35.60	56.50	608.95	26.80	34.00	53.30	603.25	27.80	34.40	53.90
9:45	611.40	29.90	36.20	57.20	575.70	27.00	34.20	53.90	613.00	27.40	34.60	54.60
9:50	615.60	30.10	37.00	57.80	584.45	27.30	34.40	52.70	625.65	27.50	35.10	55.10
9:55	620.00	30.20	37.10	58.00	600.05	26.70	34.40	53.70	644.30	26.60	35.80	55.60
10:00	627.00	30.30	37.50	57.90	648.55	27.40	35.20	55.90	655.20	26.90	36.20	56.20
10:05	633.00	31.00	38.00	58.90	631.00	27.80	35.40	56.50	669.70	27.70	36.50	57.70
10:10	653.75	31.00	38.40	59.40	661.55	28.40	36.00	56.90	679.00	27.80	36.80	59.30
10:15	676.25	30.70	39.10	59.80	674.20	28.20	36.90	56.20	693.10	28.90	37.20	59.40
10:20	691.75	30.90	39.90	61.50	686.50	28.40	37.90	56.50	708.45	28.50	38.20	60.20
10:25	697.00	30.90	40.10	61.70	712.25	28.80	37.90	59.10	720.90	28.90	38.30	60.90
10:30	707.85	30.70	40.70	62.60	705.00	28.20	38.40	58.50	730.35	29.30	38.90	61.60
10:35	707.25	31.20	41.00	63.50	696.10	29.00	38.20	60.00	736.25	28.50	39.10	61.20
10:40	719.80	31.50	41.50	64.20	694.85	29.60	38.50	61.30	746.35	29.00	39.90	62.10
10:45	741.10	31.00	42.10	64.50	723.05	30.00	39.20	62.50	756.20	29.30	40.30	63.00
10:50	731.70	32.00	42.20	65.30	740.90	30.20	39.70	62.70	766.95	29.70	40.70	64.20
10:55	745.00	32.30	42.30	65.40	763.45	29.80	40.60	63.30	769.50	29.60	40.70	64.50
11:00	755.90	32.00	43.20	65.90	772.45	30.50	41.10	64.70	781.95	30.10	41.00	65.00
11:05	765.00	32.60	43.60	65.90	786.05	30.50	41.40	64.50	786.75	30.20	41.70	65.30
11:10	786.30	32.60	44.40	67.30	782.60	30.70	42.00	66.00	797.65	29.00	42.20	65.00
11:15	799.70	32.80	44.90	68.60	788.25	31.00	42.40	65.80	797.65	29.10	42.50	64.90
11:20	789.65	32.60	45.50	66.70	802.20	30.30	42.70	65.60	806.50	29.70	42.40	66.70

ตาราง ข.5 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

M _s	100 L				120 L				140 L			
	I _T	T _a	T _{PVT}	T _{PV}	I _T	T _a	T _{PVT}	T _{PV}	I _T	T _a	T _{PVT}	T _{PV}
	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)
11:25	781.85	32.50	45.50	67.40	817.55	30.40	43.50	67.10	813.15	30.40	43.10	68.20
11:30	810.70	31.90	46.50	66.20	807.65	30.80	43.60	66.80	817.00	30.50	43.40	66.80
11:35	829.00	32.20	46.70	67.50	804.95	31.20	43.70	68.20	824.75	30.10	43.60	65.10
11:40	779.00	32.40	46.90	66.60	818.25	31.80	44.20	68.70	827.95	30.50	44.30	67.80
11:45	785.00	32.40	46.60	66.70	816.50	32.20	44.60	68.60	824.65	30.40	44.30	66.70
11:50	790.00	32.70	46.30	67.00	808.95	32.00	45.30	68.10	833.45	31.10	45.00	68.50
11:55	810.00	32.00	47.00	67.00	820.15	31.90	45.70	67.60	835.25	31.00	45.50	68.40
12:00	822.60	33.00	47.50	67.80	821.85	32.10	45.80	68.00	839.70	31.40	45.80	67.50
12:05	800.00	33.10	47.70	67.60	830.75	31.60	45.80	66.60	839.40	30.60	46.10	67.40
12:10	829.25	33.00	48.40	67.80	815.20	32.10	46.70	67.70	842.75	31.10	46.20	67.70
12:15	824.90	32.80	49.20	68.40	821.60	32.60	47.30	67.90	846.95	31.00	46.60	67.50
12:20	822.65	32.80	49.40	69.20	838.25	32.30	47.40	68.20	844.85	31.00	46.70	66.80
12:25	825.55	33.50	49.90	69.90	793.00	32.90	47.20	69.50	841.95	31.40	47.10	66.70
12:30	820.70	34.00	50.30	70.80	774.60	33.50	47.30	69.80	842.95	32.00	47.30	67.00
12:35	824.65	34.60	51.00	71.70	813.60	33.10	47.80	67.90	841.20	31.90	47.30	67.50
12:40	795.20	34.60	51.00	70.60	821.20	33.30	49.30	67.30	829.15	31.80	47.70	66.50
12:45	802.60	34.10	51.40	71.10	816.95	32.70	49.20	67.30	839.90	32.20	48.50	67.70
12:50	790.00	34.00	51.70	70.10	794.95	33.10	48.50	67.70	845.10	32.60	48.50	68.90
12:55	802.30	34.00	51.80	70.00	807.20	33.30	48.80	68.50	837.85	32.50	48.40	68.60
13:00	797.95	34.00	51.80	69.80	807.05	32.80	49.50	66.90	832.30	32.40	48.40	68.20
13:05	786.05	33.10	52.40	68.70	796.75	32.90	50.00	66.20	822.05	32.70	48.80	68.30
13:10	767.80	33.60	52.60	69.80	791.00	33.00	49.80	67.00	822.95	32.90	49.10	69.50
13:15	772.55	33.40	52.20	68.80	785.50	32.50	49.90	66.00	805.05	33.10	49.00	69.00
13:20	780.95	33.70	53.00	67.50	780.35	33.10	50.00	66.70	794.60	32.60	49.10	67.40
13:25	771.70	33.90	52.70	68.60	778.05	33.30	49.80	67.10	790.80	33.10	49.50	67.80
13:30	737.75	33.80	52.60	67.70	768.95	33.70	50.50	67.90	792.30	33.20	49.70	68.30
13:35	743.30	34.20	52.60	66.90	758.45	33.40	50.90	68.20	783.30	33.70	49.80	68.10
13:40	743.95	33.70	54.00	65.00	743.65	33.70	51.20	68.40	779.25	33.70	50.00	67.00
13:45	744.75	33.30	54.20	64.50	725.70	32.60	51.00	64.10	760.80	33.70	50.20	66.80

ตาราง ข.5 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

M _s	100 L				120 L				140 L			
	I _T	T _a	T _{PVT}	T _{PV}	I _T	T _a	T _{PVT}	T _{PV}	I _T	T _a	T _{PVT}	T _{PV}
	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)
13:50	716.75	33.30	53.80	64.80	728.50	32.80	51.40	63.80	749.05	33.90	50.60	65.80
13:55	710.00	34.00	53.30	65.70	716.25	32.70	51.20	63.80	742.35	34.20	50.50	66.80
14:00	690.00	34.10	53.40	64.60	709.20	33.10	51.10	64.80	732.05	33.70	50.20	66.20
14:05	685.00	33.60	53.10	63.30	688.25	33.30	51.20	64.70	716.55	33.60	50.70	64.20
14:10	680.00	33.80	52.70	63.10	688.85	33.30	51.40	63.30	705.10	34.00	50.40	64.50
14:15	650.00	34.30	52.90	63.60	679.85	33.20	51.20	62.10	694.35	33.60	50.70	63.50
14:20	640.00	33.80	53.00	63.50	670.75	32.80	51.50	61.40	691.45	33.90	50.60	63.70
14:25	600.00	33.50	52.20	61.70	663.35	32.90	51.50	60.90	673.15	33.50	50.50	62.20
14:30	610.00	33.30	52.50	61.10	642.40	33.00	51.70	60.40	661.75	33.50	50.40	61.30
14:35	570.00	33.50	52.00	58.30	626.80	33.00	51.90	60.00	655.35	33.70	50.40	62.00
14:40	600.00	33.40	52.00	57.70	626.80	33.10	52.00	59.60	641.45	34.20	50.20	62.00
14:45	570.00	33.70	51.90	57.50	610.70	33.10	52.20	59.20	629.55	34.50	50.30	61.80
14:50	580.00	33.70	51.60	56.50	595.15	33.20	52.50	58.70	611.35	34.60	50.30	62.10
14:55	570.00	33.30	52.20	56.20	574.40	33.30	52.70	58.30	602.35	35.20	50.30	62.10
15:00	550.00	33.20	52.40	56.90	562.60	32.70	53.90	56.20	580.50	35.10	50.10	60.60
15:05	520.00	33.30	52.40	57.00	545.05	33.20	53.10	56.20	562.35	34.90	50.30	59.30
15:10	516.40	33.40	52.50	56.00	528.55	32.50	51.80	54.70	543.10	34.50	50.30	57.90
15:15	500.00	33.30	52.60	55.00	509.40	33.20	51.00	54.40	531.85	34.30	50.40	57.30
15:20	500.00	32.80	52.50	54.00	491.30	33.10	50.60	53.00	501.45	34.40	50.30	57.00
15:25	498.70	33.10	52.60	53.00	471.00	33.20	50.60	53.00	502.00	34.40	49.90	56.30
15:30	472.70	33.20	52.60	52.00	453.70	33.00	50.50	51.80	487.25	34.80	49.70	55.80
15:35	451.40	33.60	52.10	51.70	431.20	32.60	50.10	50.60	465.00	35.00	49.70	54.80
15:40	436.25	33.70	52.10	51.40	422.65	32.70	50.20	49.00	442.95	34.60	49.60	52.80
15:45	398.90	34.10	52.00	50.60	390.40	32.70	49.90	47.70	421.15	34.80	49.60	51.90
15:50	389.75	33.70	51.70	49.00	375.10	33.10	50.00	46.30	400.70	34.80	49.50	50.90
15:55	360.70	33.40	51.30	47.90	354.20	32.40	49.50	45.40	378.15	34.80	49.20	49.70
16:00	377.50	33.20	51.50	47.20	339.20	32.10	49.10	44.20	363.60	34.20	49.00	48.60

ตาราง ข.6 อุณหภูมิ น้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อน
ของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	100 L				120 L				140 L			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
9:00	27.90	28.40	69.78	9.34	26.00	27.30	181.44	27.46	26.50	26.20	-41.87	-5.36
9:05	27.60	30.40	390.79	49.77	26.00	27.50	209.35	34.15	26.40	28.70	321.00	39.59
9:10	28.00	30.20	307.05	37.80	25.70	27.60	265.18	34.42	26.60	29.30	376.83	45.12
9:15	28.30	30.00	237.26	29.66	26.50	27.00	69.78	8.34	26.90	28.60	237.26	27.79
9:20	28.60	30.70	293.09	36.81	26.90	29.30	334.96	38.07	27.20	28.50	181.44	20.61
9:25	28.70	32.00	460.57	51.33	26.50	31.40	683.88	82.77	27.30	30.20	404.74	44.72
9:30	28.90	31.70	390.79	42.13	26.90	30.90	558.27	60.62	27.30	32.10	669.92	71.52
9:35	29.00	32.10	432.66	45.39	27.00	30.40	474.53	53.67	27.70	30.60	404.74	42.40
9:40	29.80	31.30	209.35	21.62	27.10	30.80	516.40	52.12	28.00	30.50	348.92	35.55
9:45	30.20	33.50	460.57	46.30	27.00	29.70	376.83	40.23	28.40	30.40	279.13	27.99
9:50	30.30	35.80	767.62	76.64	28.70	30.30	223.31	23.48	28.70	32.90	586.18	57.59
9:55	30.60	33.90	460.57	45.66	28.60	32.60	558.27	57.18	28.70	33.30	642.01	61.24
10:00	30.80	34.10	460.57	45.15	28.90	32.30	474.53	44.97	29.20	32.40	446.61	41.90
10:05	31.70	33.30	223.31	21.68	28.90	32.30	474.53	46.22	29.60	32.70	432.66	39.71
10:10	32.10	35.40	460.57	43.30	29.20	31.60	334.96	31.12	30.00	32.10	293.09	26.53
10:15	32.30	37.70	753.66	68.50	30.30	32.30	279.13	25.45	30.10	33.70	502.44	44.56
10:20	32.50	36.40	544.31	48.36	30.80	35.10	600.14	53.73	30.30	35.50	725.75	62.96
10:25	32.50	35.50	418.70	36.92	30.60	34.30	516.40	44.56	30.40	34.60	586.18	49.98
10:30	33.00	35.60	362.87	31.51	30.60	34.20	502.44	43.80	31.20	33.60	334.96	28.19
10:35	33.70	38.10	614.09	53.37	30.70	34.60	544.31	48.06	31.60	34.20	362.87	30.29
10:40	34.00	39.70	795.53	67.93	31.50	33.90	334.96	29.63	31.50	36.70	725.75	59.77
10:45	34.40	37.90	488.48	40.51	32.40	35.90	488.48	41.52	31.60	36.90	739.70	60.12
10:50	34.70	37.30	362.87	30.48	32.90	37.20	600.14	49.79	32.50	35.80	460.57	36.91
10:55	35.40	39.10	516.40	42.60	32.60	36.50	544.31	43.82	33.00	35.30	321.00	25.64
11:00	36.00	40.90	683.88	55.61	32.70	36.80	572.22	45.53	33.00	37.50	628.05	49.37
11:05	36.00	39.90	544.31	43.73	32.80	36.10	460.57	36.01	33.30	38.70	753.66	58.88
11:10	36.10	40.10	558.27	43.64	34.10	36.60	348.92	27.40	33.20	37.70	628.05	48.39
11:15	36.60	39.40	390.79	30.03	34.60	38.90	600.14	46.79	34.10	37.30	446.61	34.41
11:20	37.50	39.70	307.05	23.90	34.80	39.10	600.14	45.98	34.40	38.20	530.35	40.42

ตาราง ข.6 (ต่อ) อุณหภูมิ น้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	100 L				120 L				140 L			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
11:25	37.70	42.20	628.05	49.37	35.00	38.70	516.40	38.82	34.50	40.00	767.62	58.02
11:30	38.00	43.20	725.75	55.02	35.00	38.20	446.61	33.99	34.50	39.80	739.70	55.65
11:35	38.40	42.90	628.05	46.56	36.20	38.40	307.05	23.44	35.20	39.10	544.31	40.56
11:40	38.60	42.60	558.27	44.05	36.70	40.50	530.35	39.84	36.00	38.40	334.96	24.87
11:45	38.70	42.70	558.27	43.71	36.80	41.80	697.83	52.53	36.00	40.50	628.05	46.81
11:50	39.30	42.60	460.57	35.83	36.80	40.90	572.22	43.48	36.10	41.90	809.49	59.70
11:55	40.10	42.90	390.79	29.65	37.00	40.50	488.48	36.61	36.30	41.20	683.88	50.32
12:00	40.60	43.30	376.83	28.16	37.60	40.60	418.70	31.31	37.30	40.60	460.57	33.71
12:05	41.20	43.60	334.96	25.73	38.50	42.20	516.40	38.21	37.70	40.30	362.87	26.57
12:10	41.60	43.80	307.05	22.76	38.70	43.30	642.01	48.40	37.80	42.30	628.05	45.80
12:15	42.20	43.80	223.31	16.64	38.80	42.70	544.31	40.72	37.70	43.20	767.62	55.71
12:20	42.40	44.20	251.22	18.77	38.80	41.60	390.79	28.65	38.00	42.60	642.01	46.71
12:25	42.60	45.20	362.87	27.02	40.00	43.44	480.11	37.21	38.90	41.90	418.70	30.57
12:30	42.80	46.00	446.61	33.45	40.20	44.10	544.31	43.19	39.30	42.10	390.79	28.49
12:35	43.00	46.40	474.53	35.37	40.30	44.60	600.14	45.34	39.20	43.90	655.96	47.93
12:40	43.20	46.50	460.57	35.60	40.60	44.10	488.48	36.56	39.40	44.60	725.75	53.80
12:45	43.70	46.70	418.70	32.06	40.70	43.70	418.70	31.50	39.60	43.90	600.14	43.92
12:50	44.00	47.00	418.70	32.58	41.20	43.80	362.87	28.06	40.20	44.00	530.35	38.57
12:55	44.30	47.20	404.74	31.01	42.00	45.10	432.66	32.94	40.60	42.90	321.00	23.55
13:00	44.80	47.60	390.79	30.10	42.00	45.90	544.31	41.45	40.90	44.40	488.48	36.07
13:05	45.20	47.80	362.87	28.37	42.20	45.70	488.48	37.68	41.10	45.60	628.05	46.96
13:10	45.50	48.20	376.83	30.17	42.20	45.70	488.48	37.96	40.90	45.60	655.96	48.99
13:15	45.90	48.40	348.92	27.76	42.20	45.20	418.70	32.76	41.50	45.20	516.40	39.43
13:20	46.20	48.40	307.05	24.17	43.50	45.20	237.26	18.69	42.00	44.50	348.92	26.99
13:25	46.30	48.80	348.92	27.79	43.80	46.30	348.92	27.56	42.30	44.40	293.09	22.78
13:30	46.70	49.00	321.00	26.74	43.80	47.30	488.48	39.04	42.40	46.20	530.35	41.14
13:35	47.00	49.20	307.05	25.39	43.90	47.00	432.66	35.06	43.00	47.10	572.22	44.90
13:40	47.30	49.30	279.13	23.06	44.00	47.00	418.70	34.61	42.70	46.50	530.35	41.83
13:45	47.60	49.30	237.26	19.58	44.10	46.40	321.00	27.19	43.20	46.10	404.74	32.70

ตาราง ข.6 (ต่อ) อุณหภูมิ น้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	100 L				120 L				140 L			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
13:50	47.80	49.70	265.18	22.74	45.10	46.60	209.35	17.66	43.70	45.70	279.13	22.90
13:55	47.90	50.10	307.05	26.58	45.10	47.70	362.87	31.14	43.90	46.70	390.79	32.36
14:00	48.10	49.90	251.22	22.38	45.10	48.00	404.74	35.08	44.00	47.50	488.48	41.01
14:05	48.40	50.20	251.22	22.54	45.20	47.80	362.87	32.41	44.00	47.30	460.57	39.51
14:10	48.40	50.20	251.22	22.71	45.30	47.30	279.13	24.91	44.30	47.10	390.79	34.06
14:15	48.90	50.10	167.48	15.84	46.10	47.10	139.57	12.62	44.60	47.00	334.96	29.65
14:20	49.00	50.50	209.35	20.11	46.10	48.20	293.09	26.86	44.90	46.90	279.13	24.81
14:25	49.20	50.00	111.65	11.44	46.20	48.60	334.96	31.04	45.10	46.30	167.48	15.29
14:30	49.50	50.00	69.78	7.03	45.90	48.00	293.09	28.04	45.20	47.20	279.13	25.93
14:35	49.50	49.90	55.83	6.02	45.70	47.70	279.13	27.37	45.30	47.70	334.96	31.41
14:40	49.50	49.70	27.91	2.86	45.50	47.30	251.22	24.63	45.20	47.80	362.87	34.77
14:45	49.60	49.80	27.91	3.01	45.20	47.00	251.22	25.28	45.70	47.70	279.13	27.25
14:50	49.60	49.60	0.00	0.00	45.00	46.50	209.35	21.62	45.70	47.70	279.13	28.06
14:55	49.60	49.60	0.00	0.00	44.80	46.00	167.48	17.92	46.00	47.50	209.35	21.36
15:00	49.60	49.90	41.87	4.68	46.30	51.90	781.57	85.39	46.30	47.00	97.70	10.34
15:05	49.60	50.10	69.78	8.25	46.40	51.00	642.01	72.40	46.40	47.90	209.35	22.88
15:10	49.70	50.20	69.78	8.31	46.60	49.80	446.61	51.93	46.60	48.10	209.35	23.69
15:15	49.70	50.30	83.74	10.29	47.80	48.40	83.74	10.10	46.60	47.90	181.44	20.97
15:20	49.90	50.30	55.83	6.86	48.00	48.20	27.91	3.49	46.80	47.70	125.61	15.40
15:25	49.90	50.20	41.87	5.16	48.00	48.20	27.91	3.64	46.90	47.50	83.74	10.25
15:30	50.10	50.20	13.96	1.81	48.10	48.10	0.00	0.00	46.80	47.70	125.61	15.84
15:35	49.90	50.10	27.91	3.80	47.90	47.90	0.00	0.00	46.80	47.90	153.52	20.29
15:40	50.00	50.00	0.00	0.00	48.10	47.90	-27.91	-4.06	46.80	47.80	139.57	19.37
15:45	50.00	50.00	0.00	0.00	47.90	47.40	-69.78	-10.99	47.00	47.60	83.74	12.22
15:50	49.80	49.70	-13.96	-2.20	48.00	47.30	-97.70	-16.01	47.10	47.40	41.87	6.42
15:55	49.80	49.50	-41.87	-7.13	47.80	47.10	-97.70	-16.95	47.00	47.10	13.96	2.27
16:00	49.70	49.40	-41.87	-6.82	47.60	47.10	-69.78	-12.64	46.80	46.90	13.96	2.36

ตาราง ข.7 กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	100 L				120 L				140 L			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
9:00	114.0	15.25	110.5	14.79	97.1	14.70	93.4	14.14	118.50	15.17	112.3	14.38
9:05	118.9	15.14	112.7	14.35	93.7	15.29	89.9	14.66	123.20	15.19	115.9	14.29
9:10	124.0	15.27	116.8	14.38	118.0	15.32	112.3	14.58	124.80	14.94	117.3	14.05
9:15	117.8	14.73	110.1	13.76	127.2	15.21	119.5	14.29	128.20	15.02	121.0	14.17
9:20	128.7	16.16	119.8	15.05	129.3	14.69	121.1	13.76	131.70	14.96	123.6	14.04
9:25	134.6	15.00	125.0	13.93	121.4	14.69	113.6	13.75	136.30	15.06	127.3	14.07
9:30	137.8	14.85	128.1	13.81	94.2	10.23	89.6	9.72	138.80	14.82	129.4	13.81
9:35	140.8	14.77	129.0	13.53	130.8	14.79	121.7	13.76	142.30	14.91	132.8	13.91
9:40	145.1	14.98	131.5	13.58	147.6	14.90	137.6	13.89	143.70	14.64	133.6	13.61
9:45	146.6	14.74	133.4	13.41	138.5	14.79	128.5	13.72	146.40	14.68	135.4	13.58
9:50	148.2	14.80	134.8	13.46	139.7	14.69	129.8	13.65	148.50	14.59	137.0	13.46
9:55	144.8	14.35	131.2	13.01	145.5	14.90	135.2	13.85	153.50	14.64	142.9	13.63
10:00	149.8	14.68	136.2	13.35	153.2	14.52	141.2	13.38	155.50	14.59	143.8	13.49
10:05	155.6	15.11	140.2	13.61	138.7	13.51	127.6	12.43	160.10	14.69	145.6	13.36
10:10	164.1	15.43	149.8	14.08	157.4	14.62	144.8	13.45	160.00	14.48	145.6	13.18
10:15	164.2	14.92	148.0	13.45	163.3	14.89	150.1	13.68	164.60	14.60	149.2	13.23
10:20	162.3	14.42	146.8	13.04	164.4	14.72	151.4	13.55	165.90	14.39	152.3	13.21
10:25	161.5	14.24	146.3	12.90	165.0	14.24	151.3	13.06	167.20	14.26	153.8	13.11
10:30	165.3	14.35	149.8	13.01	162.9	14.20	149.9	13.07	168.70	14.20	154.7	13.02
10:35	165.7	14.40	150.0	13.04	160.7	14.19	148.0	13.07	170.40	14.23	155.8	13.01
10:40	168.9	14.42	153.0	13.06	165.6	14.65	151.1	13.37	172.50	14.21	157.7	12.99
10:45	171.8	14.25	156.8	13.00	169.7	14.43	154.8	13.16	174.40	14.17	159.0	12.92
10:50	170.0	14.28	153.5	12.89	173.1	14.36	157.6	13.07	175.60	14.07	160.1	12.83
10:55	170.6	14.07	154.5	12.75	175.0	14.09	159.0	12.80	178.10	14.23	161.0	12.86
11:00	171.6	13.95	155.0	12.60	175.9	14.00	159.3	12.68	178.00	13.99	160.6	12.62
11:05	172.2	13.84	156.5	12.57	177.7	13.89	160.9	12.58	178.90	13.98	162.3	12.68
11:10	176.8	13.82	160.1	12.51	175.7	13.80	158.3	12.43	180.50	13.91	163.0	12.56

ตาราง ข.7 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	M _s	100 L				120 L				140 L			
		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
		P _{PVT}	η _e	P _{PV}	η _e	P _{PVT}	η _e	P _{PV}	η _e	P _{PVT}	η _e	P _{PV}	η _e
		(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
11:15		178.7	13.73	161.2	12.39	177.5	13.84	161.1	12.56	179.80	13.85	163.8	12.62
11:20		180.4	14.04	163.3	12.71	180.3	13.81	163.8	12.55	181.50	13.83	163.8	12.48
11:25		180.0	14.15	164.0	12.89	182.3	13.71	165.2	12.42	182.50	13.79	164.5	12.43
11:30		180.8	13.71	164.0	12.43	179.1	13.63	163.3	12.43	182.90	13.76	165.7	12.47
11:35		179.3	13.29	165.2	12.25	179.1	13.68	162.1	12.38	183.60	13.68	167.4	12.48
11:40		169.0	13.33	154.0	12.15	182.5	13.71	164.4	12.35	183.70	13.64	167.4	12.43
11:45		176.2	13.80	162.1	12.69	180.7	13.60	163.3	12.29	184.00	13.71	166.7	12.42
11:50		176.9	13.76	160.0	12.45	179.5	13.64	163.6	12.43	183.90	13.56	167.8	12.37
11:55		176.3	13.38	161.5	12.25	180.4	13.52	165.2	12.38	184.90	13.61	166.1	12.22
12:00		182.1	13.61	166.1	12.41	180.0	13.46	162.0	12.12	185.30	13.56	168.5	12.33
12:05		175.4	13.48	159.5	12.25	180.3	13.34	167.3	12.38	184.90	13.54	168.0	12.30
12:10		182.7	13.54	167.0	12.38	174.9	13.19	161.5	12.18	185.00	13.49	167.5	12.22
12:15		182.4	13.59	166.2	12.38	178.7	13.37	164.4	12.30	184.60	13.40	168.1	12.20
12:20		180.7	13.50	164.9	12.32	181.3	13.29	167.0	12.24	183.80	13.37	168.0	12.22
12:25		181.1	13.48	165.1	12.29	172.5	13.37	158.2	12.26	183.50	13.40	169.0	12.34
12:30		179.2	13.42	163.9	12.27	166.5	13.21	153.0	12.14	183.40	13.37	168.2	12.26
12:35		179.4	13.37	163.4	12.18	175.3	13.24	162.2	12.25	181.80	13.28	166.4	12.16
12:40		172.9	13.36	157.7	12.19	177.8	13.31	165.8	12.41	179.40	13.30	165.7	12.28
12:45		174.8	13.39	160.4	12.28	175.9	13.23	164.5	12.38	181.00	13.25	166.6	12.19
12:50		173.0	13.46	157.0	12.21	170.2	13.16	158.8	12.28	181.80	13.22	167.5	12.18
12:55		173.5	13.29	160.2	12.27	172.3	13.12	160.3	12.21	179.90	13.20	164.9	12.10
13:00		171.9	13.24	158.6	12.22	172.3	13.12	161.3	12.28	178.90	13.21	165.0	12.18
13:05		169.3	13.24	156.9	12.27	170.4	13.14	159.3	12.29	176.40	13.19	163.1	12.19
13:10		166.8	13.35	154.9	12.40	168.1	13.06	157.4	12.23	175.60	13.11	162.5	12.14
13:15		167.0	13.29	155.5	12.37	168.1	13.15	157.8	12.35	172.00	13.13	159.0	12.14
13:20		166.2	13.08	155.6	12.25	167.5	13.19	156.4	12.32	169.90	13.14	158.1	12.23
13:25		165.0	13.14	154.8	12.33	165.2	13.05	154.6	12.21	169.90	13.21	157.6	12.25
13:30		167.0	13.91	154.0	12.83	161.7	12.92	151.1	12.08	169.20	13.13	157.0	12.18

ตาราง ข.7 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

Time	100 L				120 L				140 L			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
13:35	158.9	13.14	148.8	12.30	160.6	13.01	150.8	12.22	166.40	13.06	155.2	12.18
13:40	158.3	13.08	150.8	12.46	156.2	12.91	146.7	12.12	164.20	12.95	154.1	12.15
13:45	157.3	12.98	151.0	12.46	153.9	13.03	146.1	12.37	161.30	13.03	151.9	12.27
13:50	152.6	13.09	146.5	12.56	155.0	13.08	148.3	12.51	157.70	12.94	150.7	12.37
13:55	146.9	12.72	139.9	12.11	151.7	13.02	145.6	12.49	156.80	12.98	148.2	12.27
14:00	148.9	13.26	142.6	12.70	149.5	12.96	143.1	12.40	154.50	12.97	146.0	12.26
14:05	136.4	12.24	131.0	11.75	144.7	12.92	139.1	12.42	151.10	12.96	143.9	12.34
14:10	134.7	12.18	129.2	11.68	144.6	12.90	139.4	12.44	149.30	13.01	142.7	12.44
14:15	117.6	11.12	114.3	10.81	142.9	12.92	138.2	12.49	145.80	12.91	139.0	12.30
14:20	134.7	12.94	129.3	12.42	139.4	12.77	136.2	12.48	144.70	12.86	138.6	12.32
14:25	102.2	10.47	100.0	10.24	138.1	12.80	135.4	12.55	142.50	13.01	136.9	12.50
14:30	105.7	10.65	105.0	10.58	133.7	12.79	130.9	12.52	139.70	12.98	134.7	12.51
14:35	88.6	9.55	89.3	9.62	129.4	12.69	127.3	12.48	137.80	12.92	133.4	12.51
14:40	118.6	12.15	118.6	12.15	130.4	12.79	127.1	12.46	135.80	13.01	131.5	12.60
14:45	83.9	9.05	85.1	9.17	127.1	12.79	124.3	12.51	131.00	12.79	127.6	12.46
14:50	86.8	9.20	88.3	9.36	124.2	12.83	121.2	12.52	127.70	12.84	124.5	12.52
14:55	107.1	11.55	108.5	11.70	122.5	13.11	121.2	12.97	125.70	12.83	121.8	12.43
15:00	107.9	12.06	109.0	12.18	114.5	12.51	114.8	12.54	121.60	12.87	118.5	12.55
15:05	100.2	11.84	101.9	12.04	112.0	12.63	112.9	12.73	117.50	12.84	115.2	12.59
15:10	106.6	12.69	107.8	12.83	109.1	12.69	110.3	12.83	113.70	12.87	112.6	12.74
15:15	104.0	12.78	104.9	12.89	104.8	12.64	105.3	12.71	111.00	12.83	110.8	12.80
15:20	101.9	12.53	103.8	12.76	101.8	12.74	102.7	12.85	104.70	12.83	105.1	12.88
15:25	102.8	12.67	105.1	12.95	97.0	12.66	98.0	12.79	104.10	12.75	104.2	12.76
15:30	97.1	12.62	99.8	12.97	93.2	12.63	94.7	12.82	100.70	12.70	100.6	12.69
15:35	91.9	12.51	94.7	12.90	89.0	12.69	90.8	12.94	95.49	12.62	96.0	12.68
15:40	87.6	12.34	90.5	12.76	86.6	12.59	88.8	12.92	90.22	12.52	92.0	12.76
15:45	81.7	12.59	85.0	13.10	80.5	12.67	82.9	13.06	85.38	12.46	87.6	12.78
15:50	77.5	12.22	81.2	12.80	75.8	12.42	79.0	12.94	80.44	12.34	83.1	12.74

ตาราง ข.7 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน

M _s	100 L				120 L				140 L			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
Time	P _{PVT}	η _e	P _{PV}	η _e	P _{PVT}	η _e	P _{PV}	η _e	P _{PVT}	η _e	P _{PV}	η _e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
15:55	75.8	12.92	79.0	13.46	71.9	12.48	74.9	13.00	75.86	12.33	78.8	12.81
16:00	76.3	12.42	80.0	13.03	67.8	12.28	70.9	12.85	72.20	12.20	75.2	12.71



ตาราง ข.8 อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

ม. Time	1 L/min					2 L/min					3 L/min				
	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
19:00	27.50	26.90	26.80	24.30	6.61	26.10	25.90	26.00	24.10	6.53	26.90	26.70	25.33	23.50	6.29
19:05	27.40	26.70	26.70	24.30	6.61	26.10	25.80	25.80	23.80	6.41	26.80	26.60	25.13	23.40	6.25
19:10	27.30	26.80	26.63	24.10	6.53	26.00	25.70	25.60	23.70	6.37	26.80	26.60	25.00	23.20	6.17
19:15	27.30	26.70	26.60	24.10	6.53	26.00	25.70	25.60	23.60	6.33	26.70	26.50	24.97	23.20	6.17
19:20	26.90	26.60	26.50	23.80	6.41	25.80	25.70	25.60	23.40	6.25	26.60	26.50	24.90	23.00	6.09
19:25	27.10	26.50	26.40	23.80	6.41	25.80	25.60	25.50	23.10	6.13	26.60	26.30	24.73	23.00	6.09
19:30	27.10	26.40	26.23	23.70	6.37	25.80	25.40	25.37	22.90	6.05	26.40	26.00	24.56	23.00	6.09
19:35	27.00	26.40	26.23	23.60	6.33	25.70	25.40	25.27	22.90	6.05	26.50	26.30	24.52	22.90	6.05
19:40	26.80	26.40	26.23	23.40	6.25	25.60	25.40	25.20	22.80	6.01	26.40	26.50	24.47	22.80	6.01
19:45	26.80	26.40	26.33	23.40	6.25	25.50	25.40	25.30	22.70	5.97	26.30	26.20	24.47	22.60	5.93
19:50	26.70	26.10	26.10	23.40	6.25	25.60	25.20	25.30	22.70	5.97	26.20	25.80	24.40	22.60	5.93
19:55	26.70	26.10	26.03	23.20	6.17	25.50	25.40	25.27	22.70	5.97	26.20	25.80	24.46	22.60	5.93
20:00	26.70	26.00	26.07	23.10	6.13	25.50	25.20	25.20	22.60	5.93	26.10	25.90	24.33	22.50	5.89
20:05	26.30	26.00	25.97	23.00	6.09	25.40	25.20	25.13	22.60	5.93	26.00	26.00	24.31	22.40	5.85
20:10	26.20	26.10	25.97	23.00	6.09	25.30	25.00	25.03	22.50	5.89	26.00	25.90	24.18	22.40	5.85
20:15	26.40	26.10	26.03	23.10	6.13	25.30	25.00	24.97	22.50	5.89	25.90	25.70	24.16	22.30	5.81
20:20	26.40	26.00	25.93	22.90	6.05	25.20	25.00	24.87	22.50	5.89	25.90	25.80	24.12	22.20	5.77
20:25	26.20	25.80	25.70	22.90	6.05	25.10	24.90	24.90	22.40	5.85	25.80	25.50	24.07	22.20	5.77
20:30	26.20	25.80	25.70	22.90	6.05	25.10	24.90	24.77	22.30	5.81	25.90	25.60	23.99	22.10	5.73
20:35	26.20	25.70	25.60	22.80	6.01	25.20	24.80	24.67	22.20	5.77	25.70	25.80	23.89	22.00	5.70
20:40	26.10	25.60	25.57	22.80	6.01	25.00	24.80	24.67	22.00	5.70	25.60	25.80	23.82	22.00	5.70
20:45	26.10	25.70	25.63	22.70	5.97	24.90	24.60	24.60	21.90	5.66	25.50	25.30	23.70	21.90	5.66
20:50	26.10	25.50	25.43	22.60	5.93	24.90	24.50	24.47	21.90	5.66	25.50	25.40	23.62	21.90	5.66
20:55	25.90	25.40	25.40	22.60	5.93	24.90	24.50	24.43	21.90	5.66	25.50	25.20	23.61	21.80	5.62
21:00	25.90	25.40	25.40	22.50	5.89	24.80	24.60	24.43	21.90	5.66	25.40	25.00	23.64	21.80	5.62
21:05	25.80	25.30	25.40	22.50	5.89	24.60	24.50	24.43	21.80	5.62	25.30	25.00	23.58	21.70	5.58
21:10	25.60	25.30	25.30	22.40	5.85	24.60	24.50	24.43	21.80	5.62	25.30	25.10	23.58	21.70	5.58
21:15	25.70	25.20	25.17	22.40	5.85	24.60	24.40	24.37	21.80	5.62	25.10	24.70	23.52	21.60	5.54
21:20	25.70	25.30	25.27	22.30	5.81	24.60	24.30	24.30	21.80	5.62	25.10	25.00	23.47	21.50	5.50
21:25	25.50	25.30	25.17	22.30	5.81	24.50	24.30	24.27	21.80	5.62	25.10	24.90	23.46	21.50	5.50
21:30	25.50	25.10	25.03	22.30	5.81	24.50	24.30	24.30	21.80	5.62	24.90	24.90	23.47	21.40	5.46
21:35	25.50	25.10	25.13	22.30	5.81	24.50	24.20	24.30	21.80	5.62	24.90	24.80	23.43	21.50	5.50
21:40	25.50	25.10	25.03	22.30	5.81	24.40	24.30	24.13	21.70	5.58	24.90	24.70	23.38	21.30	5.43
21:45	25.40	25.10	24.90	22.20	5.77	24.30	24.30	24.17	21.70	5.58	24.90	24.60	23.39	21.30	5.43
21:50	25.30	24.90	24.87	22.20	5.77	24.30	24.20	24.07	21.70	5.58	24.80	24.70	23.32	21.30	5.43
21:55	25.30	24.90	24.77	22.10	5.73	24.20	23.80	24.03	21.90	5.66	24.80	24.50	23.24	21.20	5.39
22:00	25.20	24.90	24.70	22.00	5.70	24.20	24.10	23.93	21.80	5.62	24.70	24.50	23.28	21.30	5.43

ตาราง ข.8 (ต่อ) อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

ม. Time	1 L/min					2 L/min					3 L/min				
	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
22:05	25.00	24.70	24.57	22.00	5.70	24.10	23.90	23.80	21.70	5.58	24.70	24.50	23.13	21.30	5.43
22:10	25.20	24.60	24.67	21.90	5.66	24.10	23.80	23.80	21.60	5.54	24.60	24.30	23.07	21.40	5.46
22:15	25.10	24.70	24.57	22.00	5.70	24.00	23.70	23.70	21.60	5.54	24.60	24.40	23.00	21.30	5.43
22:20	25.00	24.70	24.67	21.90	5.66	24.10	23.70	23.67	21.50	5.50	24.60	24.30	22.96	21.30	5.43
22:25	24.90	24.50	24.50	21.90	5.66	24.00	23.70	23.67	21.40	5.46	24.50	24.40	22.92	21.20	5.39
22:30	24.80	24.50	24.37	21.70	5.58	23.90	23.60	23.60	21.40	5.46	24.40	24.10	22.87	21.20	5.39
22:35	24.80	24.40	24.40	21.70	5.58	23.90	23.60	23.53	21.30	5.43	24.30	24.30	22.81	21.30	5.43
22:40	24.80	24.40	24.43	21.60	5.54	23.80	23.60	23.53	21.30	5.43	24.40	24.30	22.81	21.20	5.39
22:45	24.70	24.30	24.30	21.60	5.54	23.70	23.50	23.47	21.20	5.39	24.20	24.20	22.72	21.20	5.39
22:50	24.70	24.30	24.23	21.50	5.50	23.70	23.50	23.50	21.30	5.43	24.20	24.10	22.77	21.20	5.39
22:55	24.60	24.20	24.10	21.60	5.54	23.50	23.20	23.50	21.40	5.46	24.20	24.10	22.70	21.20	5.39
23:00	24.40	24.10	24.10	21.60	5.54	23.50	23.40	23.40	21.40	5.46	24.20	24.00	22.73	21.30	5.43
23:05	24.50	24.10	24.20	21.60	5.54	23.50	23.40	23.33	21.40	5.46	24.10	24.00	22.71	21.30	5.43
23:10	24.50	24.10	24.17	21.40	5.46	23.60	23.30	23.33	21.30	5.43	24.10	23.80	22.64	21.20	5.39
23:15	24.40	24.00	24.07	21.40	5.46	23.50	23.30	23.30	21.10	5.35	24.10	23.90	22.57	21.30	5.43
23:20	24.40	24.00	23.97	21.40	5.46	23.50	23.30	23.23	21.10	5.35	24.10	24.00	22.54	21.30	5.43
23:25	24.30	23.90	23.87	21.40	5.46	23.40	23.20	23.23	21.00	5.31	24.00	24.20	22.48	21.10	5.35
23:30	24.20	24.00	23.83	21.20	5.39	23.40	23.20	23.20	21.00	5.31	23.90	24.00	22.47	21.20	5.39
23:35	24.20	23.80	23.97	21.20	5.39	23.30	23.10	23.07	20.90	5.27	23.90	23.80	22.36	21.10	5.35
23:40	24.10	23.90	23.87	21.30	5.43	23.20	23.10	23.00	21.00	5.31	23.90	23.60	22.37	21.00	5.31
23:45	24.10	23.80	23.83	21.30	5.43	23.20	23.10	23.07	20.90	5.27	23.80	23.70	22.36	21.00	5.31
23:50	24.20	23.70	23.83	21.40	5.46	23.20	22.90	22.97	20.80	5.24	23.80	23.70	22.22	21.00	5.31
23:55	24.00	23.60	23.60	21.40	5.46	23.10	23.30	23.03	20.70	5.20	23.60	23.70	22.34	20.90	5.27
0:00	24.00	23.60	23.60	21.30	5.43	23.10	22.90	22.90	20.70	5.20	23.70	23.60	22.17	20.90	5.27
0:05	23.90	23.50	23.53	21.20	5.39	23.00	22.90	22.80	20.70	5.20	23.60	23.50	22.13	20.90	5.27
0:10	23.80	23.50	23.50	21.20	5.39	23.00	22.80	22.73	20.60	5.16	23.60	23.50	22.04	20.80	5.24
0:15	23.90	23.50	23.50	21.20	5.39	22.90	22.70	22.70	20.70	5.20	23.40	23.40	22.03	20.70	5.20
0:20	23.70	23.50	23.53	21.20	5.39	22.90	22.80	22.80	20.70	5.20	23.40	23.00	22.10	20.70	5.20
0:25	23.80	23.40	23.47	21.10	5.35	22.90	22.60	22.70	20.50	5.12	23.40	23.30	21.93	20.60	5.16
0:30	23.70	23.40	23.47	21.10	5.35	22.90	22.70	22.73	20.50	5.12	23.40	23.30	21.98	20.60	5.16
0:35	23.70	23.20	23.30	20.90	5.27	22.90	22.60	22.60	20.50	5.12	23.40	23.20	21.90	20.50	5.12
0:40	23.70	23.30	23.27	21.00	5.31	22.80	22.40	22.50	20.30	5.05	23.20	22.90	21.73	20.60	5.16
0:45	23.60	23.20	23.23	21.00	5.31	22.70	22.50	22.57	20.40	5.09	23.20	23.20	21.82	20.50	5.12
0:50	23.40	23.10	23.17	20.90	5.27	22.60	22.40	22.33	20.30	5.05	23.20	23.10	21.68	20.40	5.09
0:55	23.50	23.10	23.07	20.90	5.27	22.70	22.40	22.30	20.20	5.01	23.20	23.00	21.63	20.30	5.05
1:00	23.40	23.10	23.00	20.90	5.27	22.50	22.30	22.27	20.10	4.97	23.20	23.10	21.56	20.30	5.05
1:05	23.30	23.00	23.07	20.90	5.27	22.60	22.20	22.23	20.10	4.97	23.00	22.90	21.51	20.30	5.05

ตาราง ข.8 (ต่อ) อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

ม. Time	1 L/min					2 L/min					3 L/min				
	$T_{fi,Hx}$ (°C)	$T_{fo,Hx}$ (°C)	T_{Hx} (°C)	T_a (°C)	T_{sky} (°C)	$T_{fi,Hx}$ (°C)	$T_{fo,Hx}$ (°C)	T_{Hx} (°C)	T_a (°C)	T_{sky} (°C)	$T_{fi,Hx}$ (°C)	$T_{fo,Hx}$ (°C)	T_{Hx} (°C)	T_a (°C)	T_{sky} (°C)
1:10	23.30	22.90	23.00	20.80	5.24	22.50	22.20	22.27	20.00	4.94	23.10	22.90	21.49	20.20	5.01
1:15	23.20	23.00	22.93	20.80	5.24	22.40	22.30	22.20	20.10	4.97	23.00	22.80	21.53	20.30	5.05
1:20	23.20	22.90	23.00	20.70	5.20	22.10	22.10	22.23	20.00	4.94	22.90	22.90	21.44	20.10	4.97
1:25	23.10	22.90	22.93	20.70	5.20	22.30	22.20	22.17	19.90	4.90	22.80	22.70	21.42	20.10	4.97
1:30	23.20	22.80	22.93	20.60	5.16	22.30	22.10	22.13	19.90	4.90	22.80	22.70	21.38	20.00	4.94
1:35	23.10	22.80	22.90	20.60	5.16	22.20	21.90	22.13	19.80	4.86	22.80	22.70	21.28	20.10	4.97
1:40	23.00	22.70	22.83	20.60	5.16	22.10	21.90	21.97	19.80	4.86	22.70	22.30	21.22	20.10	4.97
1:45	23.10	22.70	22.73	20.60	5.16	22.20	22.00	22.00	19.70	4.83	22.70	22.70	21.23	20.10	4.97
1:50	23.10	22.70	22.80	20.60	5.16	22.30	21.90	21.83	19.70	4.83	22.70	22.60	21.14	20.10	4.97
1:55	22.90	22.60	22.67	20.60	5.16	22.00	21.80	21.77	19.60	4.79	22.60	22.80	21.06	20.00	4.94
2:00	22.80	22.60	22.57	20.50	5.12	22.00	21.80	21.77	19.70	4.83	22.60	22.40	21.09	20.00	4.94
2:05	22.80	22.50	22.60	20.50	5.12	22.00	21.70	21.77	19.70	4.83	22.60	22.30	21.06	19.90	4.90
2:10	22.70	22.60	22.63	20.50	5.12	21.90	21.80	21.73	19.80	4.86	22.50	22.50	21.11	19.80	4.86
2:15	23.00	22.50	22.57	20.40	5.09	21.90	21.70	21.70	19.80	4.86	22.50	22.40	21.07	19.80	4.86
2:20	22.70	22.40	22.47	20.40	5.09	21.60	21.70	21.70	19.60	4.79	22.40	22.40	21.00	19.70	4.83
2:25	22.60	22.30	22.33	20.40	5.09	21.80	21.60	21.57	19.60	4.79	22.30	22.40	20.92	19.80	4.86
2:30	22.40	22.30	22.33	20.30	5.05	21.90	21.60	21.63	19.50	4.75	22.30	22.60	20.91	19.80	4.86
2:35	22.50	22.20	22.43	20.30	5.05	21.80	21.50	21.53	19.40	4.72	22.30	22.20	20.81	19.80	4.86
2:40	22.50	22.30	22.37	20.10	4.97	21.70	21.60	21.53	19.40	4.72	22.20	22.20	20.84	19.80	4.86
2:45	22.50	22.20	22.23	20.20	5.01	21.70	21.50	21.50	19.30	4.68	22.20	22.10	20.77	19.80	4.86
2:50	22.50	22.20	22.20	20.20	5.01	21.70	21.30	21.47	19.30	4.68	22.20	22.00	20.69	19.60	4.79
2:55	22.40	22.20	22.17	20.20	5.01	21.60	21.40	21.50	19.30	4.68	22.20	21.90	20.73	19.60	4.79
3:00	22.40	22.00	22.27	20.20	5.01	21.50	21.30	21.47	19.20	4.64	22.00	22.00	20.66	19.60	4.79
3:05	22.30	22.10	22.13	20.10	4.97	21.50	21.20	21.27	19.20	4.64	22.00	22.00	20.56	19.60	4.79
3:10	22.30	22.00	22.13	20.10	4.97	21.40	21.30	21.20	19.10	4.61	22.00	21.90	20.53	19.60	4.79
3:15	22.30	22.00	22.10	20.10	4.97	21.40	21.20	21.23	19.10	4.61	21.90	21.90	20.51	19.60	4.79
3:20	22.20	22.00	22.13	20.10	4.97	21.30	21.10	21.13	19.00	4.57	22.00	21.80	20.41	19.60	4.79
3:25	22.10	22.00	22.13	20.20	5.01	21.40	21.10	21.17	19.10	4.61	22.00	21.90	20.46	19.60	4.79
3:30	22.20	22.10	22.07	20.10	4.97	21.30	21.10	21.13	19.10	4.61	21.90	21.80	20.44	19.50	4.75
3:35	22.20	22.00	22.07	20.10	4.97	21.30	21.10	21.10	19.10	4.61	21.80	21.80	20.43	19.50	4.75
3:40	22.10	21.90	21.97	20.10	4.97	21.30	21.00	21.07	19.00	4.57	21.90	22.20	20.36	19.50	4.75
3:45	22.00	21.80	21.93	20.10	4.97	21.10	21.00	20.97	19.10	4.61	21.70	21.70	20.36	19.60	4.79
3:50	22.00	21.80	21.97	20.10	4.97	21.10	21.20	20.93	19.10	4.61	21.70	21.70	20.41	19.50	4.75
3:55	22.10	21.70	21.90	20.10	4.97	21.00	20.90	20.93	19.10	4.61	21.60	21.40	20.31	19.50	4.75
4:00	22.00	21.80	21.90	20.10	4.97	21.10	20.80	20.90	19.00	4.57	21.70	21.60	20.23	19.50	4.75
4:05	21.90	21.80	21.83	20.10	4.97	21.10	20.80	20.90	19.00	4.57	21.60	21.60	20.23	19.40	4.72
4:10	21.90	21.80	21.90	20.10	4.97	20.90	20.90	20.87	18.90	4.54	21.50	21.50	20.22	19.40	4.72

ตาราง ข.8 (ต่อ) อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

Time	1 L/min					2 L/min					3 L/min				
	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{fi,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
4:15	21.80	21.60	21.77	20.10	4.97	20.90	20.70	20.87	18.80	4.50	21.60	21.50	20.12	19.40	4.72
4:20	21.80	21.70	21.73	20.00	4.94	20.90	20.70	20.90	18.80	4.50	21.50	21.50	20.13	19.40	4.72
4:25	21.70	21.60	21.70	20.10	4.97	20.80	20.70	20.80	18.70	4.46	21.50	21.50	20.07	19.40	4.72
4:30	21.70	21.50	21.70	20.00	4.94	20.80	20.60	20.73	18.70	4.46	21.30	21.20	20.01	19.40	4.72
4:35	21.70	21.70	21.70	20.00	4.94	20.80	20.60	20.77	18.70	4.46	21.40	21.50	20.02	19.40	4.72
4:40	21.80	21.60	21.70	20.00	4.94	20.80	20.60	20.67	18.70	4.46	21.40	21.20	19.99	19.40	4.72
4:45	21.70	21.50	21.63	19.90	4.90	20.70	20.60	20.67	18.70	4.46	21.40	21.40	19.99	19.40	4.72
4:50	21.70	21.50	21.57	19.90	4.90	20.60	20.60	20.63	18.60	4.43	21.40	21.30	19.94	19.30	4.68
4:55	21.60	21.30	21.50	19.90	4.90	20.70	20.50	20.57	18.50	4.39	21.30	21.30	19.86	19.30	4.68
5:00	21.60	21.40	21.53	19.80	4.86	20.60	20.30	20.50	18.50	4.39	21.40	21.30	19.77	19.40	4.72
5:05	21.60	21.30	21.43	19.80	4.86	20.60	20.40	20.47	18.50	4.39	21.20	21.30	19.79	19.30	4.68
5:10	21.60	21.30	21.47	19.80	4.86	20.50	20.30	20.40	18.40	4.36	21.20	21.20	19.70	19.30	4.68
5:15	21.50	21.20	21.40	19.70	4.83	20.50	20.30	20.37	18.50	4.39	21.20	21.20	19.72	19.30	4.68
5:20	21.50	21.20	21.40	19.60	4.79	20.50	20.40	20.37	18.50	4.39	21.20	21.10	19.76	19.30	4.68
5:25	21.50	21.20	21.37	19.70	4.83	20.40	20.40	20.33	18.40	4.36	21.10	21.10	19.71	19.40	4.72
5:30	21.40	21.30	21.30	19.70	4.83	20.40	20.30	20.30	18.50	4.39	21.10	21.50	19.70	19.40	4.72
5:35	21.30	21.10	21.23	19.70	4.83	20.30	20.30	20.27	18.50	4.39	21.10	21.10	19.69	19.40	4.72
5:40	21.30	21.20	21.27	19.60	4.79	20.30	20.30	20.27	18.60	4.43	21.00	21.10	19.72	19.40	4.72
5:45	21.30	21.10	21.30	19.60	4.79	20.30	20.10	20.23	18.60	4.43	20.90	21.10	19.64	19.30	4.68
5:50	21.20	21.00	21.27	19.50	4.75	20.30	20.10	20.17	18.60	4.43	21.00	21.00	19.62	19.30	4.68
5:55	21.30	21.00	21.23	19.40	4.72	20.20	20.10	20.17	18.60	4.43	20.90	21.10	19.62	19.30	4.68
6:00	21.10	21.10	21.23	19.30	4.68	20.20	20.10	20.17	18.60	4.43	21.00	21.00	19.62	19.20	4.64

ตาราง ข.9 อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

Time	1 L/min			2 L/min			3 L/min		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
19:00	27.60	0.00	0.00	26.10	0.00	0.00	26.80	167.48	0.07
19:05	27.60	334.96	0.25	26.10	167.48	0.09	26.70	167.48	0.07
19:10	27.40	0.00	0.00	26.00	0.00	0.00	26.60	0.00	0.00
19:15	27.40	167.48	0.13	26.00	167.48	0.09	26.60	0.00	0.00
19:20	27.30	167.48	0.13	25.90	167.48	0.09	26.60	0.00	0.00
19:25	27.20	0.00	0.00	25.80	0.00	0.00	26.60	167.48	0.07
19:30	27.20	167.48	0.13	25.80	334.96	0.18	26.50	167.48	0.07
19:35	27.10	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00	26.40	167.48	0.07
19:40	27.10	0.00	0.00	25.60	-167.48	-0.09	26.30	0.00	0.00
19:45	27.10	334.96	0.25	25.70	167.48	0.09	26.30	167.48	0.07
19:50	26.90	167.48	0.13	25.60	0.00	0.00	26.20	0.00	0.00
19:55	26.80	0.00	0.00	25.60	167.48	0.09	26.20	167.48	0.07
20:00	26.80	167.48	0.13	25.50	0.00	0.00	26.10	0.00	0.00
20:05	26.70	167.48	0.13	25.50	334.96	0.18	26.10	167.48	0.07
20:10	26.60	-167.48	-0.13	25.30	-167.48	-0.09	26.00	167.48	0.07
20:15	26.70	334.96	0.25	25.40	334.96	0.18	25.90	0.00	0.00
20:20	26.50	0.00	0.00	25.20	0.00	0.00	25.90	167.48	0.07
20:25	26.50	0.00	0.00	25.20	0.00	0.00	25.80	167.48	0.07
20:30	26.50	334.96	0.25	25.20	167.48	0.09	25.70	0.00	0.00
20:35	26.30	0.00	0.00	25.10	167.48	0.09	25.70	0.00	0.00
20:40	26.30	167.48	0.13	25.00	167.48	0.09	25.70	167.48	0.07
20:45	26.20	0.00	0.00	24.90	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00
20:50	26.20	0.00	0.00	24.90	167.48	0.09	25.60	334.96	0.14
20:55	26.20	334.96	0.25	24.80	-167.48	-0.09	25.40	0.00	0.00
21:00	26.00	0.00	0.00	24.90	334.96	0.18	25.40	167.48	0.07
21:05	26.00	167.48	0.13	24.70	0.00	0.00	25.30	-167.48	-0.07
21:10	25.90	-167.48	-0.13	24.70	0.00	0.00	25.40	167.48	0.07
21:15	26.00	167.48	0.13	24.70	167.48	0.09	25.30	334.96	0.14

ตาราง ข.9 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

Time	1 L/min			2 L/min			3 L/min		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
21:20	25.90	167.48	0.13	24.60	0.00	0.00	25.10	-167.48	-0.07
21:25	25.80	0.00	0.00	24.60	167.48	0.09	25.20	334.96	0.14
21:30	25.80	167.48	0.13	24.50	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00
21:35	25.70	0.00	0.00	24.50	167.48	0.09	25.00	167.48	0.07
21:40	25.70	167.48	0.13	24.40	0.00	0.00	24.90	0.00	0.00
21:45	25.60	0.00	0.00	24.40	167.48	0.09	24.90	167.48	0.07
21:50	25.60	167.48	0.13	24.30	-167.48	-0.09	24.80	167.48	0.07
21:55	25.50	167.48	0.13	24.40	167.48	0.09	24.70	0.00	0.00
22:00	25.40	0.00	0.00	24.30	167.48	0.09	24.70	167.48	0.07
22:05	25.40	167.48	0.13	24.20	0.00	0.00	24.60	-167.48	-0.07
22:10	25.30	0.00	0.00	24.20	167.48	0.09	24.70	167.48	0.07
22:15	25.30	167.48	0.13	24.10	0.00	0.00	24.60	167.48	0.07
22:20	25.20	0.00	0.00	24.10	167.48	0.09	24.50	167.48	0.07
22:25	25.20	167.48	0.13	24.00	0.00	0.00	24.40	0.00	0.00
22:30	25.10	0.00	0.00	24.00	167.48	0.09	24.40	0.00	0.00
22:35	25.10	334.96	0.25	23.90	0.00	0.00	24.40	167.48	0.07
22:40	24.90	0.00	0.00	23.90	167.48	0.09	24.30	0.00	0.00
22:45	24.90	167.48	0.13	23.80	167.48	0.09	24.30	0.00	0.00
22:50	24.80	-167.48	-0.13	23.70	0.00	0.00	24.30	167.48	0.07
22:55	24.90	167.48	0.13	23.70	0.00	0.00	24.20	167.48	0.07
23:00	24.80	0.00	0.00	23.70	0.00	0.00	24.10	0.00	0.00
23:05	24.80	334.96	0.25	23.70	0.00	0.00	24.10	0.00	0.00
23:10	24.60	0.00	0.00	23.70	334.96	0.18	24.10	167.48	0.07
23:15	24.60	0.00	0.00	23.50	0.00	0.00	24.00	-167.48	-0.07
23:20	24.60	0.00	0.00	23.50	0.00	0.00	24.10	334.96	0.14
23:25	24.60	334.96	0.25	23.50	167.48	0.09	23.90	-167.48	-0.07
23:30	24.40	0.00	0.00	23.40	0.00	0.00	24.00	167.48	0.07
23:35	24.40	167.48	0.13	23.40	167.48	0.09	23.90	0.00	0.00

ตาราง ข.9 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

Time	1 L/min			2 L/min			3 L/min		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
23:40	24.30	0.00	0.00	23.30	0.00	0.00	23.90	167.48	0.07
23:45	24.30	0.00	0.00	23.30	0.00	0.00	23.80	0.00	0.00
23:50	24.30	167.48	0.13	23.30	334.96	0.18	23.80	167.48	0.07
23:55	24.20	0.00	0.00	23.10	-167.48	-0.09	23.70	167.48	0.07
0:00	24.20	167.48	0.13	23.20	0.00	0.00	23.60	-167.48	-0.07
0:05	24.10	0.00	0.00	23.20	334.96	0.18	23.70	167.48	0.07
0:10	24.10	167.48	0.13	23.00	0.00	0.00	23.60	0.00	0.00
0:15	24.00	167.48	0.13	23.00	0.00	0.00	23.60	334.96	0.14
0:20	23.90	-167.48	-0.13	23.00	167.48	0.09	23.40	167.48	0.07
0:25	24.00	167.48	0.13	22.90	0.00	0.00	23.30	-167.48	-0.07
0:30	23.90	167.48	0.13	22.90	0.00	0.00	23.40	167.48	0.07
0:35	23.80	0.00	0.00	22.90	167.48	0.09	23.30	0.00	0.00
0:40	23.80	0.00	0.00	22.80	0.00	0.00	23.30	167.48	0.07
0:45	23.80	167.48	0.13	22.80	167.48	0.09	23.20	0.00	0.00
0:50	23.70	0.00	0.00	22.70	0.00	0.00	23.20	167.48	0.07
0:55	23.70	334.96	0.25	22.70	167.48	0.09	23.10	0.00	0.00
1:00	23.50	-167.48	-0.13	22.60	167.48	0.09	23.10	167.48	0.07
1:05	23.60	167.48	0.13	22.50	167.48	0.09	23.00	0.00	0.00
1:10	23.50	0.00	0.00	22.40	-167.48	-0.09	23.00	0.00	0.00
1:15	23.50	0.00	0.00	22.50	0.00	0.00	23.00	334.96	0.14
1:20	23.50	167.48	0.13	22.50	334.96	0.18	22.80	-167.48	-0.07
1:25	23.40	167.48	0.13	22.30	-167.48	-0.09	22.90	167.48	0.07
1:30	23.30	0.00	0.00	22.40	167.48	0.09	22.80	0.00	0.00
1:35	23.30	0.00	0.00	22.30	0.00	0.00	22.80	0.00	0.00
1:40	23.30	334.96	0.25	22.30	167.48	0.09	22.80	167.48	0.07
1:45	23.10	0.00	0.00	22.20	0.00	0.00	22.70	0.00	0.00
1:50	23.10	-167.48	-0.13	22.20	167.48	0.09	22.70	167.48	0.07
1:55	23.20	334.96	0.25	22.10	0.00	0.00	22.60	0.00	0.00

ตาราง ข.9 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

Time	1 L/min			2 L/min			3 L/min		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
2:00	23.00	0.00	0.00	22.10	0.00	0.00	22.60	0.00	0.00
2:05	23.00	0.00	0.00	22.10	0.00	0.00	22.60	334.96	0.14
2:10	23.00	167.48	0.13	22.10	167.48	0.09	22.40	-167.48	-0.07
2:15	22.90	0.00	0.00	22.00	167.48	0.09	22.50	167.48	0.07
2:20	22.90	0.00	0.00	21.90	0.00	0.00	22.40	0.00	0.00
2:25	22.90	167.48	0.13	21.90	0.00	0.00	22.40	0.00	0.00
2:30	22.80	0.00	0.00	21.90	167.48	0.09	22.40	167.48	0.07
2:35	22.80	167.48	0.13	21.80	0.00	0.00	22.30	0.00	0.00
2:40	22.70	0.00	0.00	21.80	167.48	0.09	22.30	167.48	0.07
2:45	22.70	167.48	0.13	21.70	167.48	0.09	22.20	167.48	0.07
2:50	22.60	0.00	0.00	21.60	-167.48	-0.09	22.10	0.00	0.00
2:55	22.60	0.00	0.00	21.70	167.48	0.09	22.10	0.00	0.00
3:00	22.60	167.48	0.13	21.60	0.00	0.00	22.10	0.00	0.00
3:05	22.50	0.00	0.00	21.60	167.48	0.09	22.10	167.48	0.07
3:10	22.50	0.00	0.00	21.50	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00
3:15	22.50	167.48	0.13	21.50	167.48	0.09	22.00	0.00	0.00
3:20	22.40	167.48	0.13	21.40	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00
3:25	22.30	-167.48	-0.13	21.40	0.00	0.00	22.00	167.48	0.07
3:30	22.40	0.00	0.00	21.40	334.96	0.18	21.90	167.48	0.07
3:35	22.40	167.48	0.13	21.20	-167.48	-0.09	21.80	167.48	0.07
3:40	22.30	0.00	0.00	21.30	167.48	0.09	21.70	-167.48	-0.07
3:45	22.30	167.48	0.13	21.20	0.00	0.00	21.80	0.00	0.00
3:50	22.20	167.48	0.13	21.20	167.48	0.09	21.80	167.48	0.07
3:55	22.10	-167.48	-0.13	21.10	0.00	0.00	21.70	0.00	0.00
4:00	22.20	0.00	0.00	21.10	167.48	0.09	21.70	0.00	0.00
4:05	22.20	167.48	0.13	21.00	0.00	0.00	21.70	334.96	0.14
4:10	22.10	0.00	0.00	21.00	0.00	0.00	21.50	-167.48	-0.07
4:15	22.10	167.48	0.13	21.00	167.48	0.09	21.60	167.48	0.07

ตาราง ข.9 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสม

Time	1 L/min			2 L/min			3 L/min		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
4:20	22.00	0.00	0.00	20.90	0.00	0.00	21.50	0.00	0.00
4:25	22.00	0.00	0.00	20.90	0.00	0.00	21.50	0.00	0.00
4:30	22.00	167.48	0.13	20.90	0.00	0.00	21.50	0.00	0.00
4:35	21.90	0.00	0.00	20.90	167.48	0.09	21.50	0.00	0.00
4:40	21.90	0.00	0.00	20.80	0.00	0.00	21.50	0.00	0.00
4:45	21.90	167.48	0.13	20.80	0.00	0.00	21.50	167.48	0.07
4:50	21.80	0.00	0.00	20.80	167.48	0.09	21.40	167.48	0.07
4:55	21.80	167.48	0.13	20.70	167.48	0.09	21.30	0.00	0.00
5:00	21.70	0.00	0.00	20.60	-167.48	-0.09	21.30	0.00	0.00
5:05	21.70	0.00	0.00	20.70	334.96	0.18	21.30	167.48	0.07
5:10	21.70	-167.48	-0.13	20.50	-167.48	-0.09	21.20	0.00	0.00
5:15	21.80	334.96	0.25	20.60	167.48	0.09	21.20	0.00	0.00
5:20	21.60	0.00	0.00	20.50	0.00	0.00	21.20	167.48	0.07
5:25	21.60	0.00	0.00	20.50	167.48	0.09	21.10	-167.48	-0.07
5:30	21.60	0.00	0.00	20.40	0.00	0.00	21.20	167.48	0.07
5:35	21.60	167.48	0.13	20.40	0.00	0.00	21.10	0.00	0.00
5:40	21.50	0.00	0.00	20.40	0.00	0.00	21.10	167.48	0.07
5:45	21.50	0.00	0.00	20.40	0.00	0.00	21.00	-167.48	-0.07
5:50	21.50	334.96	0.25	20.40	167.48	0.09	21.10	0.00	0.00
5:55	21.30	-167.48	-0.13	20.30	0.00	0.00	21.10	334.96	0.14
6:00	21.40	167.48	0.13	20.30	0.00	0.00	20.90	0.00	0.00
SUM	-	10,551.24	-	-	9,713.84	-	-	9,881.32	-
COP	-	-	7.99	-	-	5.26	-	-	4.16

ตาราง ข.10 อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

M _s	100 L					120 L					140 L				
	T _{fi,Hx}	T _{fo,Hx}	T _{Hx}	T _a	T _{Sky}	T _{fi,Hx}	T _{fo,Hx}	T _{Hx}	T _a	T _{Sky}	T _{fi,Hx}	T _{fo,Hx}	T _{Hx}	T _a	T _{Sky}
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
19:00	24.20	23.20	23.60	22.60	5.93	27.50	26.90	26.80	24.30	6.61	26.80	26.00	25.90	23.50	6.29
19:05	24.60	23.10	23.47	22.30	5.81	27.40	26.70	26.70	24.30	6.61	26.70	25.90	25.90	23.40	6.25
19:10	24.10	23.20	23.47	21.90	5.66	27.30	26.80	26.63	24.10	6.53	26.60	25.70	25.83	23.40	6.25
19:15	24.30	23.00	23.27	21.80	5.62	27.30	26.70	26.60	24.10	6.53	26.60	25.80	25.87	23.30	6.21
19:20	24.40	22.70	23.10	21.50	5.50	26.90	26.60	26.50	23.80	6.41	26.40	25.80	25.83	23.30	6.21
19:25	23.70	22.70	23.03	21.40	5.46	27.10	26.50	26.40	23.80	6.41	26.50	25.80	25.73	23.30	6.21
19:30	24.30	22.70	23.03	21.30	5.43	27.10	26.40	26.23	23.70	6.37	26.80	25.70	25.60	23.20	6.17
19:35	23.40	22.70	22.83	21.00	5.31	27.00	26.40	26.23	23.60	6.33	26.40	25.50	25.53	23.00	6.09
19:40	23.60	22.50	22.80	20.90	5.27	26.80	26.40	26.23	23.40	6.25	26.30	25.50	25.63	23.00	6.09
19:45	23.60	22.50	22.73	20.80	5.24	26.80	26.40	26.33	23.40	6.25	26.30	25.50	25.57	22.90	6.05
19:50	23.70	22.40	22.67	20.60	5.16	26.70	26.10	26.10	23.40	6.25	26.20	25.40	25.50	22.80	6.01
19:55	23.10	22.30	22.47	20.60	5.16	26.70	26.10	26.03	23.20	6.17	26.50	25.40	25.37	22.70	5.97
20:00	22.90	22.10	22.37	20.50	5.12	26.70	26.00	26.07	23.10	6.13	25.90	25.30	25.33	22.70	5.97
20:05	22.90	22.10	22.27	20.30	5.05	26.30	26.00	25.97	23.00	6.09	26.10	25.20	25.27	22.60	5.93
20:10	23.00	22.10	22.27	20.10	4.97	26.20	26.10	25.97	23.00	6.09	25.90	25.10	25.17	22.50	5.89
20:15	23.40	22.00	22.17	20.00	4.94	26.40	26.10	26.03	23.10	6.13	25.90	25.20	25.30	22.40	5.85
20:20	22.90	21.90	22.07	19.60	4.79	26.40	26.00	25.93	22.90	6.05	25.90	25.20	25.30	22.50	5.89
20:25	22.50	21.70	21.87	19.60	4.79	26.20	25.80	25.70	22.90	6.05	25.90	25.10	25.13	22.50	5.89
20:30	22.50	21.60	21.93	19.50	4.75	26.20	25.80	25.70	22.90	6.05	25.70	25.10	25.13	22.50	5.89
20:35	23.00	21.60	21.80	19.50	4.75	26.20	25.70	25.60	22.80	6.01	25.70	25.10	25.17	22.30	5.81
20:40	22.70	21.50	21.83	19.30	4.68	26.10	25.60	25.57	22.80	6.01	25.80	25.10	25.20	22.40	5.85
20:45	22.30	21.50	21.77	19.30	4.68	26.10	25.70	25.63	22.70	5.97	25.70	25.10	25.07	22.40	5.85
20:50	22.40	21.50	21.73	19.30	4.68	26.10	25.50	25.43	22.60	5.93	25.70	25.10	25.03	22.40	5.85
20:55	22.30	21.40	21.53	19.20	4.64	25.90	25.40	25.40	22.60	5.93	25.70	25.10	25.17	22.50	5.89
21:00	22.10	21.30	21.50	19.00	4.57	25.90	25.40	25.40	22.50	5.89	25.60	24.90	24.97	22.50	5.89
21:05	22.10	21.20	21.40	18.80	4.50	25.80	25.30	25.40	22.50	5.89	25.60	24.90	24.87	22.40	5.85
21:10	22.40	21.20	21.27	18.80	4.50	25.60	25.30	25.30	22.40	5.85	25.60	24.70	24.93	22.30	5.81
21:15	22.30	21.20	21.43	18.60	4.43	25.70	25.20	25.17	22.40	5.85	25.50	24.90	24.90	22.30	5.81
21:20	21.90	21.20	21.27	18.60	4.43	25.70	25.30	25.27	22.30	5.81	25.40	24.60	24.67	22.30	5.81
21:25	22.40	21.10	21.20	18.50	4.39	25.50	25.30	25.17	22.30	5.81	25.30	24.80	24.70	22.20	5.77
21:30	21.80	20.90	21.10	18.40	4.36	25.50	25.10	25.03	22.30	5.81	25.30	24.50	24.67	22.20	5.77
21:35	21.80	20.90	21.00	18.20	4.29	25.50	25.10	25.13	22.30	5.81	25.20	24.60	24.63	22.20	5.77
21:40	22.10	20.80	21.03	18.30	4.32	25.50	25.10	25.03	22.30	5.81	25.20	24.50	24.60	22.10	5.73
21:45	22.10	20.90	21.07	18.20	4.29	25.40	25.10	24.90	22.20	5.77	25.20	24.50	24.60	22.10	5.73
21:50	21.90	20.70	20.93	18.20	4.29	25.30	24.90	24.87	22.20	5.77	25.20	24.50	24.57	22.10	5.73
21:55	21.50	20.70	20.80	18.20	4.29	25.30	24.90	24.77	22.10	5.73	24.90	24.50	24.63	22.00	5.70
22:00	21.70	20.60	20.70	18.10	4.25	25.20	24.90	24.70	22.00	5.70	25.00	24.40	24.47	22.00	5.70

ตาราง ข.10 (ต่อ) อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

Time	100 L					120 L					140 L				
	$T_{f,hx}$	$T_{fo,hx}$	T_{hx}	T_a	T_{sky}	$T_{f,hx}$	$T_{fo,hx}$	T_{hx}	T_a	T_{sky}	$T_{f,hx}$	$T_{fo,hx}$	T_{hx}	T_a	T_{sky}
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
22:05	21.10	20.60	20.77	18.10	4.25	25.00	24.70	24.57	22.00	5.70	25.00	24.50	24.53	22.00	5.70
22:10	21.30	20.60	20.70	18.20	4.29	25.20	24.60	24.67	21.90	5.66	25.00	24.50	24.47	22.10	5.73
22:15	21.20	20.50	20.73	18.10	4.25	25.10	24.70	24.57	22.00	5.70	25.00	24.50	24.47	22.10	5.73
22:20	21.30	20.50	20.63	18.20	4.29	25.00	24.70	24.67	21.90	5.66	24.90	24.50	24.53	22.10	5.73
22:25	21.20	20.50	20.70	18.10	4.25	24.90	24.50	24.50	21.90	5.66	24.90	24.50	24.50	22.10	5.73
22:30	21.00	20.40	20.47	18.00	4.22	24.80	24.50	24.37	21.70	5.58	24.90	24.40	24.47	22.00	5.70
22:35	21.30	20.40	20.47	18.00	4.22	24.80	24.40	24.40	21.70	5.58	24.90	24.40	24.37	22.10	5.73
22:40	20.80	20.40	20.43	18.00	4.22	24.80	24.40	24.43	21.60	5.54	24.80	24.30	24.30	22.10	5.73
22:45	20.90	20.40	20.53	18.00	4.22	24.70	24.30	24.30	21.60	5.54	24.80	24.30	24.33	21.90	5.66
22:50	21.00	20.20	20.37	17.90	4.18	24.70	24.30	24.23	21.50	5.50	24.80	24.20	24.30	21.90	5.66
22:55	20.80	20.20	20.27	17.90	4.18	24.60	24.20	24.10	21.60	5.54	24.70	24.00	24.23	21.80	5.62
23:00	20.70	20.30	20.30	17.90	4.18	24.40	24.10	24.10	21.60	5.54	24.60	24.10	24.17	21.70	5.58
23:05	20.70	20.20	20.23	17.80	4.15	24.50	24.10	24.20	21.60	5.54	24.60	24.10	24.13	21.60	5.54
23:10	20.60	20.10	20.20	18.00	4.22	24.50	24.10	24.17	21.40	5.46	24.50	24.10	24.20	21.70	5.58
23:15	20.60	20.00	20.17	18.00	4.22	24.40	24.00	24.07	21.40	5.46	24.60	24.00	24.07	21.60	5.54
23:20	20.20	20.00	20.10	18.00	4.22	24.40	24.00	23.97	21.40	5.46	24.40	23.90	24.00	21.60	5.54
23:25	20.80	19.90	20.07	18.10	4.25	24.30	23.90	23.87	21.40	5.46	24.40	23.90	24.00	21.50	5.50
23:30	20.30	19.90	20.03	18.20	4.29	24.20	24.00	23.83	21.20	5.39	24.40	23.80	23.97	21.40	5.46
23:35	20.50	19.90	20.00	18.20	4.29	24.20	23.80	23.97	21.20	5.39	24.30	23.90	23.93	21.50	5.50
23:40	20.50	19.80	19.90	18.20	4.29	24.10	23.90	23.87	21.30	5.43	24.30	23.80	23.93	21.40	5.46
23:45	20.40	19.80	19.90	18.20	4.29	24.10	23.80	23.83	21.30	5.43	24.20	23.70	23.80	21.30	5.43
23:50	20.60	19.70	19.87	18.00	4.22	24.20	23.70	23.83	21.40	5.46	24.20	23.80	23.90	21.30	5.43
23:55	20.10	19.60	19.77	18.00	4.22	24.00	23.60	23.60	21.40	5.46	24.30	23.60	23.77	21.30	5.43
0:00	20.20	19.60	19.80	18.00	4.22	24.00	23.60	23.60	21.30	5.43	24.20	23.60	23.73	21.20	5.39
0:05	20.50	19.40	19.67	18.20	4.29	23.90	23.50	23.53	21.20	5.39	24.10	23.50	23.63	21.10	5.35
0:10	19.80	19.50	19.70	18.20	4.29	23.80	23.50	23.50	21.20	5.39	24.00	23.40	23.57	21.10	5.35
0:15	20.00	19.60	19.70	18.20	4.29	23.90	23.50	23.50	21.20	5.39	24.00	23.50	23.53	21.00	5.31
0:20	20.00	19.50	19.73	18.20	4.29	23.70	23.50	23.53	21.20	5.39	24.00	23.40	23.57	21.10	5.35
0:25	19.60	19.40	19.53	18.20	4.29	23.80	23.40	23.47	21.10	5.35	23.90	23.40	23.43	21.00	5.31
0:30	20.20	19.40	19.50	18.00	4.22	23.70	23.40	23.47	21.10	5.35	23.90	23.40	23.43	21.00	5.31
0:35	19.70	19.40	19.50	18.00	4.22	23.70	23.20	23.30	20.90	5.27	23.90	23.20	23.27	20.90	5.27
0:40	20.20	19.40	19.47	18.00	4.22	23.70	23.30	23.27	21.00	5.31	23.80	23.10	23.20	20.90	5.27
0:45	19.70	19.30	19.43	17.80	4.15	23.60	23.20	23.23	21.00	5.31	23.80	23.20	23.27	20.80	5.24
0:50	20.20	19.20	19.37	17.80	4.15	23.40	23.10	23.17	20.90	5.27	23.70	23.20	23.23	20.70	5.20
0:55	20.00	19.20	19.37	17.70	4.11	23.50	23.10	23.07	20.90	5.27	23.60	23.10	23.17	20.70	5.20
1:00	19.70	19.00	19.20	17.60	4.08	23.40	23.10	23.00	20.90	5.27	23.60	23.10	23.20	20.60	5.16
1:05	19.60	19.10	19.20	17.50	4.04	23.30	23.00	23.07	20.90	5.27	23.50	23.00	23.10	20.40	5.09

ตาราง ข.10 (ต่อ) อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

Time	100 L					120 L					140 L				
	$T_{f,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{sky}	$T_{f,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{sky}	$T_{f,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{sky}
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
1:10	20.00	19.10	19.17	17.50	4.04	23.30	22.90	23.00	20.80	5.24	23.50	23.00	23.13	20.50	5.12
1:15	19.40	18.90	19.17	17.70	4.11	23.20	23.00	22.93	20.80	5.24	23.50	22.90	23.10	20.50	5.12
1:20	19.50	18.80	19.07	17.60	4.08	23.20	22.90	23.00	20.70	5.20	23.40	22.90	23.00	20.40	5.09
1:25	19.40	18.90	19.10	17.60	4.08	23.10	22.90	22.93	20.70	5.20	23.50	22.90	22.93	20.40	5.09
1:30	19.40	18.80	18.93	17.60	4.08	23.20	22.80	22.93	20.60	5.16	23.40	22.70	22.83	20.40	5.09
1:35	19.10	18.70	19.00	17.60	4.08	23.10	22.80	22.90	20.60	5.16	23.30	22.80	22.77	20.40	5.09
1:40	19.20	18.70	18.93	17.60	4.08	23.00	22.70	22.83	20.60	5.16	23.30	22.60	22.60	20.30	5.05
1:45	19.20	18.70	18.83	17.40	4.01	23.10	22.70	22.73	20.60	5.16	23.10	22.50	22.57	20.30	5.05
1:50	19.20	18.50	18.83	17.50	4.04	23.10	22.70	22.80	20.60	5.16	23.20	22.60	22.73	20.10	4.97
1:55	18.90	18.70	18.87	17.50	4.04	22.90	22.60	22.67	20.60	5.16	23.10	22.60	22.60	20.20	5.01
2:00	19.10	18.60	18.80	17.30	3.97	22.80	22.60	22.57	20.50	5.12	23.00	22.40	22.50	20.10	4.97
2:05	19.10	18.60	18.77	17.20	3.94	22.80	22.50	22.60	20.50	5.12	23.10	22.40	22.53	20.10	4.97
2:10	19.00	18.60	18.80	17.20	3.94	22.70	22.60	22.63	20.50	5.12	23.00	22.40	22.50	20.10	4.97
2:15	19.00	18.50	18.70	17.10	3.90	23.00	22.50	22.57	20.40	5.09	22.90	22.40	22.30	20.00	4.94
2:20	19.00	18.40	18.67	17.10	3.90	22.70	22.40	22.47	20.40	5.09	23.00	22.40	22.50	20.00	4.94
2:25	19.00	18.80	18.70	17.00	3.87	22.60	22.30	22.33	20.40	5.09	22.90	22.20	22.40	19.90	4.90
2:30	19.00	18.50	18.67	17.00	3.87	22.40	22.30	22.33	20.30	5.05	22.80	22.20	22.37	19.90	4.90
2:35	18.70	18.50	18.57	16.90	3.84	22.50	22.20	22.43	20.30	5.05	22.80	22.20	22.27	19.90	4.90
2:40	18.60	18.80	18.60	16.80	3.80	22.50	22.30	22.37	20.10	4.97	22.70	22.20	22.30	19.80	4.86
2:45	18.90	18.40	18.53	16.90	3.84	22.50	22.20	22.23	20.20	5.01	22.80	22.30	22.40	19.80	4.86
2:50	18.80	18.30	18.47	17.00	3.87	22.50	22.20	22.20	20.20	5.01	22.70	22.20	22.27	20.00	4.94
2:55	18.60	18.40	18.43	17.00	3.87	22.40	22.20	22.17	20.20	5.01	22.70	22.30	22.27	20.00	4.94
3:00	18.60	18.30	18.40	17.00	3.87	22.40	22.00	22.27	20.20	5.01	22.60	22.20	22.30	19.90	4.90
3:05	18.60	18.10	18.37	17.10	3.90	22.30	22.10	22.13	20.10	4.97	22.60	22.00	22.03	19.90	4.90
3:10	18.60	18.20	18.40	17.10	3.90	22.30	22.00	22.13	20.10	4.97	22.50	21.90	21.97	19.80	4.86
3:15	18.60	18.10	18.33	17.10	3.90	22.30	22.00	22.10	20.10	4.97	22.60	22.00	22.00	19.70	4.83
3:20	18.60	18.20	18.37	17.10	3.90	22.20	22.00	22.13	20.10	4.97	22.50	21.90	22.03	19.60	4.79
3:25	18.50	17.90	18.20	16.90	3.84	22.10	22.00	22.13	20.20	5.01	22.40	22.00	21.97	19.60	4.79
3:30	18.50	18.10	18.30	16.90	3.84	22.20	22.10	22.07	20.10	4.97	22.50	21.90	22.10	19.50	4.75
3:35	18.50	18.10	18.27	17.00	3.87	22.20	22.00	22.07	20.10	4.97	22.30	21.80	21.83	19.60	4.79
3:40	18.40	17.90	18.27	17.00	3.87	22.10	21.90	21.97	20.10	4.97	22.30	21.80	21.83	19.60	4.79
3:45	18.40	18.00	18.27	17.00	3.87	22.00	21.80	21.93	20.10	4.97	22.40	21.70	21.80	19.60	4.79
3:50	18.40	18.40	18.23	16.80	3.80	22.00	21.80	21.97	20.10	4.97	22.30	21.60	21.70	19.50	4.75
3:55	18.40	18.10	18.20	16.90	3.84	22.10	21.70	21.90	20.10	4.97	22.20	21.70	21.77	19.50	4.75
4:00	18.40	18.00	18.13	16.80	3.80	22.00	21.80	21.90	20.10	4.97	22.20	21.60	21.70	19.40	4.72
4:05	18.30	18.00	18.03	16.80	3.80	21.90	21.80	21.83	20.10	4.97	22.10	21.50	21.70	19.40	4.72
4:10	18.30	17.80	18.07	16.80	3.80	21.90	21.80	21.90	20.10	4.97	22.00	21.60	21.70	19.40	4.72

ตาราง ข.10 (ต่อ) อุณหภูมิการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

Time	100 L					120 L					140 L				
	$T_{f,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{f,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}	$T_{f,Hx}$	$T_{fo,Hx}$	T_{Hx}	T_a	T_{Sky}
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
4:15	18.30	17.90	18.00	16.70	3.77	21.80	21.60	21.77	20.10	4.97	22.10	21.40	21.70	19.30	4.68
4:20	18.30	17.80	18.00	16.60	3.73	21.80	21.70	21.73	20.00	4.94	22.10	21.40	21.60	19.30	4.68
4:25	18.00	17.80	17.97	16.60	3.73	21.70	21.60	21.70	20.10	4.97	22.00	21.50	21.70	19.20	4.64
4:30	18.20	17.60	17.90	16.50	3.70	21.70	21.50	21.70	20.00	4.94	22.00	21.50	21.53	19.20	4.64
4:35	18.10	17.70	17.87	16.60	3.73	21.70	21.70	21.70	20.00	4.94	21.90	21.50	21.57	19.20	4.64
4:40	18.10	17.70	17.90	16.60	3.73	21.80	21.60	21.70	20.00	4.94	21.80	21.30	21.47	19.20	4.64
4:45	18.10	17.80	17.93	16.80	3.80	21.70	21.50	21.63	19.90	4.90	21.80	21.40	21.37	19.20	4.64
4:50	18.10	17.80	18.00	16.80	3.80	21.70	21.50	21.57	19.90	4.90	21.70	21.20	21.50	19.20	4.64
4:55	17.80	17.60	17.97	16.80	3.80	21.60	21.30	21.50	19.90	4.90	21.80	21.30	21.50	19.20	4.64
5:00	18.00	17.80	17.93	16.90	3.84	21.60	21.40	21.53	19.80	4.86	21.70	21.30	21.43	19.40	4.72
5:05	18.00	17.70	17.83	16.90	3.84	21.60	21.30	21.43	19.80	4.86	21.70	21.30	21.47	19.30	4.68
5:10	18.10	17.70	17.87	16.90	3.84	21.60	21.30	21.47	19.80	4.86	21.60	21.30	21.43	19.30	4.68
5:15	18.10	17.60	17.80	16.90	3.84	21.50	21.20	21.40	19.70	4.83	21.70	21.20	21.40	19.30	4.68
5:20	17.90	17.60	17.77	16.70	3.77	21.50	21.20	21.40	19.60	4.79	21.60	21.20	21.33	19.30	4.68
5:25	17.90	17.60	17.73	16.70	3.77	21.50	21.20	21.37	19.70	4.83	21.60	21.20	21.37	19.30	4.68
5:30	17.90	17.60	17.73	16.60	3.73	21.40	21.30	21.30	19.70	4.83	21.50	21.10	21.30	19.30	4.68
5:35	18.00	17.60	17.80	16.50	3.70	21.30	21.10	21.23	19.70	4.83	21.50	21.30	21.37	19.30	4.68
5:40	17.90	17.60	17.73	16.60	3.73	21.30	21.20	21.27	19.60	4.79	21.40	21.10	21.30	19.30	4.68
5:45	17.90	17.70	17.77	16.50	3.70	21.30	21.10	21.30	19.60	4.79	21.50	21.10	21.30	19.40	4.72
5:50	17.80	17.90	17.80	16.50	3.70	21.20	21.00	21.27	19.50	4.75	21.40	21.10	21.20	19.50	4.75
5:55	17.80	17.70	17.83	16.50	3.70	21.30	21.00	21.23	19.40	4.72	21.30	21.10	21.20	19.50	4.75
6:00	17.90	17.80	17.87	16.60	3.73	21.10	21.10	21.23	19.30	4.68	21.30	21.10	21.20	19.50	4.75

ตาราง ข.11 อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสม

M_s	100 L			120 L			140 L		
Time	T_s	Q_s	COP	T_s	Q_s	COP	T_s	Q_s	COP
	(°C)	(W)		(°C)	(W)		(°C)	(W)	
19:00	25.40	139.57	0.11	27.60	0.00	0.00	26.90	195.39	0.15
19:05	25.30	0.00	0.00	27.60	334.96	0.25	26.80	0.00	0.00
19:10	25.30	139.57	0.11	27.40	0.00	0.00	26.80	195.39	0.15
19:15	25.20	139.57	0.11	27.40	167.48	0.13	26.70	195.39	0.15
19:20	25.10	279.13	0.21	27.30	167.48	0.13	26.60	-195.39	-0.15
19:25	24.90	0.00	0.00	27.20	0.00	0.00	26.70	390.79	0.30
19:30	24.90	139.57	0.11	27.20	167.48	0.13	26.50	0.00	0.00
19:35	24.80	139.57	0.11	27.10	0.00	0.00	26.50	0.00	0.00
19:40	24.70	0.00	0.00	27.10	0.00	0.00	26.50	195.39	0.15
19:45	24.70	139.57	0.11	27.10	334.96	0.25	26.40	0.00	0.00
19:50	24.60	139.57	0.11	26.90	167.48	0.13	26.40	195.39	0.15
19:55	24.50	139.57	0.11	26.80	0.00	0.00	26.30	0.00	0.00
20:00	24.40	279.13	0.21	26.80	167.48	0.13	26.30	195.39	0.15
20:05	24.20	139.57	0.11	26.70	167.48	0.13	26.20	195.39	0.15
20:10	24.10	139.57	0.11	26.60	-167.48	-0.13	26.10	0.00	0.00
20:15	24.00	139.57	0.11	26.70	334.96	0.25	26.10	0.00	0.00
20:20	23.90	0.00	0.00	26.50	0.00	0.00	26.10	195.39	0.15
20:25	23.90	139.57	0.11	26.50	0.00	0.00	26.00	195.39	0.15
20:30	23.80	139.57	0.11	26.50	334.96	0.25	25.90	0.00	0.00
20:35	23.70	139.57	0.11	26.30	0.00	0.00	25.90	0.00	0.00
20:40	23.60	139.57	0.11	26.30	167.48	0.13	25.90	195.39	0.15
20:45	23.50	0.00	0.00	26.20	0.00	0.00	25.80	0.00	0.00
20:50	23.50	139.57	0.11	26.20	0.00	0.00	25.80	0.00	0.00
20:55	23.40	139.57	0.11	26.20	334.96	0.25	25.80	0.00	0.00
21:00	23.30	279.13	0.21	26.00	0.00	0.00	25.80	0.00	0.00
21:05	23.10	0.00	0.00	26.00	167.48	0.13	25.80	195.39	0.15
21:10	23.10	139.57	0.11	25.90	-167.48	-0.13	25.70	0.00	0.00
21:15	23.00	139.57	0.11	26.00	167.48	0.13	25.70	195.39	0.15
21:20	22.90	0.00	0.00	25.90	167.48	0.13	25.60	0.00	0.00

ตาราง ข.11 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสม

M _s	100 L			120 L			140 L		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
21:25	22.90	139.57	0.11	25.80	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00
21:30	22.80	279.13	0.21	25.80	167.48	0.13	25.60	195.39	0.15
21:35	22.60	0.00	0.00	25.70	0.00	0.00	25.50	195.39	0.15
21:40	22.60	0.00	0.00	25.70	167.48	0.13	25.40	0.00	0.00
21:45	22.60	139.57	0.11	25.60	0.00	0.00	25.40	195.39	0.15
21:50	22.50	139.57	0.11	25.60	167.48	0.13	25.30	0.00	0.00
21:55	22.40	139.57	0.11	25.50	167.48	0.13	25.30	195.39	0.15
22:00	22.30	0.00	0.00	25.40	0.00	0.00	25.20	0.00	0.00
22:05	22.30	279.13	0.21	25.40	167.48	0.13	25.20	0.00	0.00
22:10	22.10	139.57	0.11	25.30	0.00	0.00	25.20	0.00	0.00
22:15	22.00	0.00	0.00	25.30	167.48	0.13	25.20	195.39	0.15
22:20	22.00	0.00	0.00	25.20	0.00	0.00	25.10	195.39	0.15
22:25	22.00	279.13	0.21	25.20	167.48	0.13	25.00	0.00	0.00
22:30	21.80	0.00	0.00	25.10	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00
22:35	21.80	139.57	0.11	25.10	334.96	0.25	25.00	0.00	0.00
22:40	21.70	0.00	0.00	24.90	0.00	0.00	25.00	195.39	0.15
22:45	21.70	279.13	0.21	24.90	167.48	0.13	24.90	0.00	0.00
22:50	21.50	0.00	0.00	24.80	-167.48	-0.13	24.90	195.39	0.15
22:55	21.50	0.00	0.00	24.90	167.48	0.13	24.80	0.00	0.00
23:00	21.50	279.13	0.21	24.80	0.00	0.00	24.80	195.39	0.15
23:05	21.30	-139.57	-0.11	24.80	334.96	0.25	24.70	-195.39	-0.15
23:10	21.40	139.57	0.11	24.60	0.00	0.00	24.80	390.79	0.30
23:15	21.30	139.57	0.11	24.60	0.00	0.00	24.60	-195.39	-0.15
23:20	21.20	0.00	0.00	24.60	0.00	0.00	24.70	390.79	0.30
23:25	21.20	139.57	0.11	24.60	334.96	0.25	24.50	0.00	0.00
23:30	21.10	139.57	0.11	24.40	0.00	0.00	24.50	0.00	0.00
23:35	21.00	139.57	0.11	24.40	167.48	0.13	24.50	0.00	0.00
23:40	20.90	0.00	0.00	24.30	0.00	0.00	24.50	195.39	0.15
23:45	20.90	139.57	0.11	24.30	0.00	0.00	24.40	0.00	0.00

ตาราง ข.11 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสม

M _s	100 L			120 L			140 L		
	T _s	Q _s	COP	T _s	Q _s	COP	T _s	Q _s	COP
	(°C)	(W)		(°C)	(W)		(°C)	(W)	
23:50	20.80	-139.57	-0.11	24.30	167.48	0.13	24.40	195.39	0.15
23:55	20.90	0.00	0.00	24.20	0.00	0.00	24.30	0.00	0.00
0:00	20.90	139.57	0.11	24.20	167.48	0.13	24.30	195.39	0.15
0:05	20.80	139.57	0.11	24.10	0.00	0.00	24.20	0.00	0.00
0:10	20.70	0.00	0.00	24.10	167.48	0.13	24.20	0.00	0.00
0:15	20.70	0.00	0.00	24.00	167.48	0.13	24.20	0.00	0.00
0:20	20.70	139.57	0.11	23.90	-167.48	-0.13	24.20	195.39	0.15
0:25	20.60	139.57	0.11	24.00	167.48	0.13	24.10	0.00	0.00
0:30	20.50	0.00	0.00	23.90	167.48	0.13	24.10	195.39	0.15
0:35	20.50	0.00	0.00	23.80	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00
0:40	20.50	139.57	0.11	23.80	0.00	0.00	24.00	195.39	0.15
0:45	20.40	0.00	0.00	23.80	167.48	0.13	23.90	195.39	0.15
0:50	20.40	279.13	0.21	23.70	0.00	0.00	23.80	0.00	0.00
0:55	20.20	0.00	0.00	23.70	334.96	0.25	23.80	0.00	0.00
1:00	20.20	279.13	0.21	23.50	-167.48	-0.13	23.80	195.39	0.15
1:05	20.00	-139.57	-0.11	23.60	167.48	0.13	23.70	0.00	0.00
1:10	20.10	0.00	0.00	23.50	0.00	0.00	23.70	195.39	0.15
1:15	20.10	139.57	0.11	23.50	0.00	0.00	23.60	0.00	0.00
1:20	20.00	0.00	0.00	23.50	167.48	0.13	23.60	195.39	0.15
1:25	20.00	139.57	0.11	23.40	167.48	0.13	23.50	0.00	0.00
1:30	19.90	139.57	0.11	23.30	0.00	0.00	23.50	0.00	0.00
1:35	19.80	0.00	0.00	23.30	0.00	0.00	23.50	195.39	0.15
1:40	19.80	0.00	0.00	23.30	334.96	0.25	23.40	0.00	0.00
1:45	19.80	139.57	0.11	23.10	0.00	0.00	23.40	195.39	0.15
1:50	19.70	0.00	0.00	23.10	-167.48	-0.13	23.30	0.00	0.00
1:55	19.70	0.00	0.00	23.20	334.96	0.25	23.30	195.39	0.15
2:00	19.70	139.57	0.11	23.00	0.00	0.00	23.20	0.00	0.00
2:05	19.60	139.57	0.11	23.00	0.00	0.00	23.20	0.00	0.00
2:10	19.50	0.00	0.00	23.00	167.48	0.13	23.20	390.79	0.30

ตาราง ข.11 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสม

M _s	100 L			120 L			140 L		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
2:15	19.50	0.00	0.00	22.90	0.00	0.00	23.00	-195.39	-0.15
2:20	19.50	139.57	0.11	22.90	0.00	0.00	23.10	0.00	0.00
2:25	19.40	0.00	0.00	22.90	167.48	0.13	23.10	390.79	0.30
2:30	19.40	139.57	0.11	22.80	0.00	0.00	22.90	-195.39	-0.15
2:35	19.30	139.57	0.11	22.80	167.48	0.13	23.00	390.79	0.30
2:40	19.20	139.57	0.11	22.70	0.00	0.00	22.80	0.00	0.00
2:45	19.10	-139.57	-0.11	22.70	167.48	0.13	22.80	0.00	0.00
2:50	19.20	139.57	0.11	22.60	0.00	0.00	22.80	0.00	0.00
2:55	19.10	0.00	0.00	22.60	0.00	0.00	22.80	195.39	0.15
3:00	19.10	0.00	0.00	22.60	167.48	0.13	22.70	0.00	0.00
3:05	19.10	0.00	0.00	22.50	0.00	0.00	22.70	0.00	0.00
3:10	19.10	0.00	0.00	22.50	0.00	0.00	22.70	195.39	0.15
3:15	19.10	139.57	0.11	22.50	167.48	0.13	22.60	0.00	0.00
3:20	19.00	139.57	0.11	22.40	167.48	0.13	22.60	195.39	0.15
3:25	18.90	139.57	0.11	22.30	-167.48	-0.13	22.50	0.00	0.00
3:30	18.80	0.00	0.00	22.40	0.00	0.00	22.50	0.00	0.00
3:35	18.80	0.00	0.00	22.40	167.48	0.13	22.50	195.39	0.15
3:40	18.80	139.57	0.11	22.30	0.00	0.00	22.40	0.00	0.00
3:45	18.70	-139.57	-0.11	22.30	167.48	0.13	22.40	195.39	0.15
3:50	18.80	0.00	0.00	22.20	167.48	0.13	22.30	-195.39	-0.15
3:55	18.80	279.13	0.21	22.10	-167.48	-0.13	22.40	195.39	0.15
4:00	18.60	0.00	0.00	22.20	0.00	0.00	22.30	0.00	0.00
4:05	18.60	0.00	0.00	22.20	167.48	0.13	22.30	195.39	0.15
4:10	18.60	139.57	0.11	22.10	0.00	0.00	22.20	195.39	0.15
4:15	18.50	0.00	0.00	22.10	167.48	0.13	22.10	-195.39	-0.15
4:20	18.50	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	22.20	195.39	0.15
4:25	18.50	139.57	0.11	22.00	0.00	0.00	22.10	195.39	0.15
4:30	18.40	0.00	0.00	22.00	167.48	0.13	22.00	0.00	0.00
4:35	18.40	0.00	0.00	21.90	0.00	0.00	22.00	195.39	0.15

ตาราง ข.11 (ต่อ) อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อของการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสม

M _s	100 L			120 L			140 L		
	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP	T _s (°C)	Q _s (W)	COP
4:40	18.40	139.57	0.11	21.90	0.00	0.00	21.90	0.00	0.00
4:45	18.30	0.00	0.00	21.90	167.48	0.13	21.90	0.00	0.00
4:50	18.30	0.00	0.00	21.80	0.00	0.00	21.90	195.39	0.15
4:55	18.30	0.00	0.00	21.80	167.48	0.13	21.80	-195.39	-0.15
5:00	18.30	0.00	0.00	21.70	0.00	0.00	21.90	195.39	0.15
5:05	18.30	139.57	0.11	21.70	0.00	0.00	21.80	0.00	0.00
5:10	18.20	-139.57	-0.11	21.70	-167.48	-0.13	21.80	0.00	0.00
5:15	18.30	139.57	0.11	21.80	334.96	0.25	21.80	195.39	0.15
5:20	18.20	0.00	0.00	21.60	0.00	0.00	21.70	-195.39	-0.15
5:25	18.20	279.13	0.21	21.60	0.00	0.00	21.80	195.39	0.15
5:30	18.00	-139.57	-0.11	21.60	0.00	0.00	21.70	195.39	0.15
5:35	18.10	139.57	0.11	21.60	167.48	0.13	21.60	0.00	0.00
5:40	18.00	0.00	0.00	21.50	0.00	0.00	21.60	-195.39	-0.15
5:45	18.00	139.57	0.11	21.50	0.00	0.00	21.70	195.39	0.15
5:50	17.90	0.00	0.00	21.50	334.96	0.25	21.60	195.39	0.15
5:55	17.90	0.00	0.00	21.30	-167.48	-0.13	21.50	0.00	0.00
6:00	17.90	0.00	0.00	21.40	167.48	0.13	21.50	0.00	0.00
SUM	-	10,467.50	-	-	10,551.24	-	-	10,551.24	-
COP	-	-	7.93	-	-	7.99	-	-	7.99

ตาราง ข.12 สมรรถนะของระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่อัตราการไหล 1 L/min ปริมาณน้ำ 140 L ของวันที่ 27 มกราคม 2562

Time	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,Hx}$	T_a	T_{sky}	$T_{s(Exp)}$	$T_{s(Sim)}$	Q_s	COP
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)	
20:00	25.20	24.50	19.90	4.90	26.50	25.07	390.79	0.30
20:05	25.50	24.10	19.70	4.83	26.30	25.39	390.79	0.30
20:10	25.90	23.50	19.70	4.83	26.10	25.80	390.79	0.30
20:15	26.00	23.20	19.60	4.79	25.90	25.90	0.00	0.00
20:20	25.90	23.00	19.50	4.75	25.90	25.82	195.39	0.15
20:25	25.80	22.80	19.40	4.72	25.80	25.71	390.79	0.30
20:30	25.70	22.90	19.20	4.64	25.60	25.60	390.79	0.30
20:35	25.60	22.90	19.30	4.68	25.40	25.50	195.39	0.15
20:40	25.40	22.90	19.10	4.61	25.30	25.30	195.39	0.15
20:45	25.30	22.70	19.00	4.57	25.20	25.20	195.39	0.15
20:50	25.20	22.50	18.90	4.54	25.10	25.10	390.79	0.30
20:55	25.10	22.50	18.70	4.46	24.90	25.00	0.00	0.00
21:00	25.00	22.50	18.80	4.50	24.90	24.90	390.79	0.30
21:05	24.80	22.40	18.60	4.43	24.70	24.70	195.39	0.15
21:10	24.70	22.40	18.70	4.46	24.60	24.60	195.39	0.15
21:15	24.60	22.40	18.70	4.46	24.50	24.50	390.79	0.30
21:20	24.50	22.50	18.70	4.46	24.30	24.41	0.00	0.00
21:25	24.40	22.30	18.70	4.46	24.30	24.32	390.79	0.30
21:30	24.30	22.10	18.60	4.43	24.10	24.20	390.79	0.30
21:35	24.20	22.10	18.50	4.39	23.90	24.10	0.00	0.00
21:40	24.10	21.90	18.20	4.29	23.90	24.01	390.79	0.30
21:45	24.00	21.90	18.10	4.25	23.70	23.90	0.00	0.00
21:50	23.90	21.90	18.10	4.25	23.70	23.80	390.79	0.30
21:55	23.70	21.80	18.10	4.25	23.50	23.60	-195.39	-0.15
22:00	23.70	21.90	18.10	4.25	23.60	23.60	195.39	0.15
22:05	23.60	21.70	18.00	4.22	23.50	23.50	195.39	0.15
22:10	23.20	21.80	18.00	4.22	23.40	23.11	390.79	0.30
22:15	23.30	21.70	18.00	4.22	23.20	23.20	0.00	0.00
22:20	23.30	21.70	18.00	4.22	23.20	23.21	390.79	0.30
22:25	23.20	21.60	17.90	4.18	23.00	23.11	195.39	0.15

ตาราง ข.12 (ต่อ) สมรรถนะของระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่อัตราการไหล 1 L/min ปริมาณน้ำ 140 L ของวันที่ 27 มกราคม 2562

Time	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,Hx}$	T_a	T_{sky}	$T_{s(Exp)}$	$T_{s(Sim)}$	Q_s	COP
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)	
22:30	23.00	21.40	17.90	4.18	22.90	22.90	0.00	0.00
22:35	23.00	21.40	17.90	4.18	22.90	22.92	390.79	0.30
22:40	22.90	21.40	17.80	4.15	22.70	22.81	0.00	0.00
22:45	22.80	21.40	17.80	4.15	22.70	22.71	195.39	0.15
22:50	22.80	21.30	17.80	4.15	22.60	22.72	195.39	0.15
22:55	22.70	21.30	17.80	4.15	22.50	22.62	195.39	0.15
23:00	22.50	21.00	17.80	4.15	22.40	22.42	195.39	0.15
23:05	22.60	20.90	17.70	4.11	22.30	22.51	195.39	0.15
23:10	22.40	20.80	17.60	4.08	22.20	22.32	0.00	0.00
23:15	22.50	20.80	17.40	4.01	22.20	22.41	195.39	0.15
23:20	22.50	20.80	17.40	4.01	22.10	22.41	195.39	0.15
23:25	21.90	20.70	17.40	4.01	22.00	21.81	195.39	0.15
23:30	22.00	20.50	17.30	3.97	21.90	21.91	390.79	0.30
23:35	21.70	20.40	17.20	3.94	21.70	21.61	-195.39	-0.15
23:40	22.00	20.50	17.30	3.97	21.80	21.92	195.39	0.15
23:45	21.50	20.40	17.30	3.97	21.70	21.42	195.39	0.15
23:50	21.70	20.40	17.30	3.97	21.60	21.62	0.00	0.00
23:55	21.60	20.30	17.30	3.97	21.60	21.52	390.79	0.30
0:00	21.50	20.20	17.20	3.94	21.40	21.42	0.00	0.00
0:05	21.40	20.10	17.30	3.97	21.40	21.32	195.39	0.15
0:10	21.40	20.00	17.00	3.87	21.30	21.32	195.39	0.15
0:15	21.10	20.00	17.00	3.87	21.20	21.02	0.00	0.00
0:20	21.20	19.80	16.90	3.84	21.20	21.12	390.79	0.30
0:25	21.10	19.80	16.80	3.80	21.00	21.02	0.00	0.00
0:30	21.20	19.80	16.80	3.80	21.00	21.12	0.00	0.00
0:35	20.70	19.60	16.70	3.77	21.00	20.62	390.79	0.30
0:40	21.40	19.50	16.60	3.73	20.80	21.32	0.00	0.00
0:45	20.90	19.60	16.60	3.73	20.80	20.82	586.18	0.44
0:50	20.90	19.40	16.50	3.70	20.50	20.83	-195.39	-0.15
0:55	20.60	19.40	16.50	3.70	20.60	20.53	0.00	0.00

ตาราง ข.12 (ต่อ) สมรรถนะของระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่อัตราการไหล 1 L/min ปริมาณน้ำ 140 L ของวันที่ 27 มกราคม 2562

Time	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,Hx}$	T_a	T_{sky}	$T_{s(Exp)}$	$T_{s(Sim)}$	Q_s	COP
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)	
1:00	20.60	19.40	16.50	3.70	20.60	20.53	390.79	0.30
1:05	20.80	19.20	16.40	3.67	20.40	20.73	195.39	0.15
1:10	20.10	19.20	16.30	3.63	20.30	20.03	0.00	0.00
1:15	20.10	19.20	16.30	3.63	20.30	20.02	195.39	0.15
1:20	20.20	19.00	16.40	3.67	20.20	20.13	195.39	0.15
1:25	20.30	18.90	16.20	3.60	20.10	20.23	0.00	0.00
1:30	20.30	19.00	16.20	3.60	20.10	20.22	195.39	0.15
1:35	19.90	19.00	16.10	3.57	20.00	19.83	0.00	0.00
1:40	19.80	18.90	16.20	3.60	20.00	19.73	390.79	0.30
1:45	20.20	18.80	16.30	3.63	19.80	20.13	-195.39	-0.15
1:50	20.30	18.80	16.40	3.67	19.90	20.24	195.39	0.15
1:55	20.30	18.70	16.30	3.63	19.80	20.24	390.79	0.30
2:00	19.50	18.60	16.20	3.60	19.60	19.43	-195.39	-0.15
2:05	19.70	18.50	16.10	3.57	19.70	19.64	195.39	0.15
2:10	19.70	18.40	16.00	3.53	19.60	19.63	195.39	0.15
2:15	19.50	18.40	16.00	3.53	19.50	19.43	195.39	0.15
2:20	19.50	18.40	16.00	3.53	19.40	19.44	195.39	0.15
2:25	19.30	18.30	16.10	3.57	19.30	19.24	-195.39	-0.15
2:30	19.50	18.40	16.20	3.60	19.40	19.44	390.79	0.30
2:35	19.30	18.30	16.20	3.60	19.20	19.24	195.39	0.15
2:40	19.10	18.30	16.20	3.60	19.10	19.05	0.00	0.00
2:45	19.10	18.20	16.00	3.53	19.10	19.04	0.00	0.00
2:50	19.20	18.10	16.20	3.60	19.10	19.14	195.39	0.15
2:55	19.30	18.10	16.20	3.60	19.00	19.24	0.00	0.00
3:00	19.10	18.10	16.20	3.60	19.00	19.04	195.39	0.15
3:05	19.10	17.90	16.10	3.57	18.90	19.05	0.00	0.00
3:10	19.10	17.90	16.00	3.53	18.90	19.04	0.00	0.00
3:15	19.00	17.80	15.90	3.50	18.90	18.94	390.79	0.30
3:20	19.00	17.70	15.80	3.47	18.70	18.94	0.00	0.00
3:25	18.60	17.70	15.70	3.43	18.70	18.54	195.39	0.15

ตาราง ข.12 (ต่อ) สมรรถนะของระบบผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่อัตราการไหล 1 L/min ปริมาณน้ำ 140 L ของวันที่ 27 มกราคม 2562

Time	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,Hx}$	T_a	T_{sky}	$T_{s(Exp)}$	$T_{s(Sim)}$	Q_s	COP
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(W)	
3:30	19.00	17.60	15.60	3.40	18.60	18.94	195.39	0.15
3:35	18.70	17.50	15.50	3.37	18.50	18.64	195.39	0.15
3:40	19.10	17.50	15.40	3.34	18.40	19.04	195.39	0.15
3:45	18.90	17.30	15.30	3.30	18.30	18.84	-195.39	-0.15
3:50	18.40	17.40	15.30	3.30	18.40	18.34	195.39	0.15
3:55	18.30	17.30	15.30	3.30	18.30	18.24	195.39	0.15
4:00	18.40	17.20	15.30	3.30	18.20	18.34	0.00	0.00
4:05	18.20	17.30	15.30	3.30	18.20	18.14	195.39	0.15
4:10	18.30	17.30	15.30	3.30	18.10	18.24	-195.39	-0.15
4:15	18.20	17.20	15.30	3.30	18.20	18.15	390.79	0.30
4:20	18.30	17.10	15.40	3.34	18.00	18.25	0.00	0.00
4:25	18.60	17.10	15.40	3.34	18.00	18.55	195.39	0.15
4:30	18.00	17.00	15.20	3.27	17.90	17.96	0.00	0.00
4:35	18.00	17.00	15.20	3.27	17.90	17.95	0.00	0.00
4:40	17.70	16.90	15.20	3.27	17.90	17.65	195.39	0.15
4:45	17.90	16.90	15.10	3.24	17.80	17.85	195.39	0.15
4:50	17.90	16.80	15.20	3.27	17.70	17.85	0.00	0.00
4:55	17.90	16.80	15.20	3.27	17.70	17.85	390.79	0.30
5:00	17.70	16.70	15.10	3.24	17.50	17.65	-195.39	-0.15
5:05	17.80	16.60	15.00	3.21	17.60	17.75	390.79	0.30
5:10	17.90	16.60	14.90	3.17	17.40	17.84	0.00	0.00
5:15	17.70	16.60	14.90	3.17	17.40	17.65	0.00	0.00
5:20	17.60	16.60	15.00	3.21	17.40	17.55	0.00	0.00
5:25	17.50	16.50	15.00	3.21	17.40	17.45	390.79	0.30
5:30	17.50	16.40	14.90	3.17	17.20	17.45	0.00	0.00
5:35	17.40	16.40	14.90	3.17	17.20	17.35	0.00	0.00
5:40	17.40	16.30	14.80	3.14	17.20	17.34	390.79	0.30
5:45	17.20	16.30	14.70	3.11	17.00	17.15	-195.39	-0.15
5:50	17.20	16.30	14.70	3.11	17.10	17.16	195.39	0.15
5:55	17.30	16.10	14.60	3.08	17.00	17.25	-195.39	-0.15

ตาราง ข.13 ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.				เริ่มระบาย 12:00 น.			
	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}
	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)
9:00	297.7	19.7	21.0	32.1	264.2	19.8	20.6	27.7	269.7	20.9	21.0	32.1	269.4	20.0	20.2	27.1
9:05	314.5	20.2	21.5	34.2	275.6	19.9	21.6	31.1	283.3	21.0	21.8	34.2	284.4	20.7	21.3	30.8
9:10	326.4	20.5	22.0	35.9	302.8	20.0	22.5	33.8	300.5	21.6	22.7	35.9	299.8	21.1	21.9	33.7
9:15	359.1	20.6	22.5	37.9	321.2	20.3	23.0	35.9	315.0	21.5	23.5	37.9	313.8	21.0	22.7	34.9
9:20	375.7	21.1	22.8	39.6	336.5	20.8	23.8	37.9	332.9	21.2	24.4	39.6	329.6	21.3	23.4	36.9
9:25	402.9	20.9	23.1	39.6	349.4	21.0	24.2	38.6	351.1	21.8	25.2	39.6	345.3	21.9	24.0	38.9
9:30	414.7	21.0	23.5	40.4	367.8	21.4	25.2	40.4	367.4	22.3	26.0	40.4	362.0	21.5	25.0	38.6
9:35	450.0	21.6	24.2	40.3	386.7	21.7	25.8	41.6	383.6	22.7	26.9	40.3	378.4	21.9	25.4	40.0
9:40	405.0	21.5	23.9	40.7	400.7	22.1	26.5	42.2	397.5	23.0	27.7	40.7	393.4	22.0	26.0	41.1
9:45	445.9	21.2	23.6	39.3	414.7	22.7	27.1	43.1	418.7	22.9	28.6	39.3	409.3	22.1	26.9	42.5
9:50	475.3	21.8	24.8	41.7	437.4	22.8	28.1	44.8	431.5	23.1	29.4	41.7	424.9	22.4	27.7	43.6
9:55	491.7	22.3	25.4	43.2	445.3	23.0	28.8	45.1	445.8	23.9	30.2	43.2	441.9	22.5	28.5	45.0
10:00	513.8	22.7	25.7	46.1	460.0	23.6	29.1	46.2	462.6	24.3	31.1	46.1	452.8	22.3	29.1	44.8
10:05	525.3	23.0	26.5	47.6	474.7	23.8	29.4	46.7	473.8	24.4	31.9	47.6	468.6	23.1	29.7	46.3
10:10	539.1	22.9	27.0	47.7	489.7	23.9	28.9	48.2	486.4	24.3	32.8	47.7	486.0	23.4	30.5	47.7
10:15	550.2	23.1	27.5	46.9	504.7	24.2	28.6	48.8	503.4	24.1	33.6	46.9	498.7	23.9	31.0	48.7
10:20	562.7	23.9	27.9	49.9	515.1	24.0	27.4	48.7	516.5	24.6	34.4	49.9	514.0	24.6	32.1	50.1
10:25	569.5	24.3	28.5	51.6	532.1	24.4	27.4	50.1	532.7	25.2	35.3	51.6	529.5	24.4	32.9	50.1
10:30	577.4	24.4	28.5	52.1	542.2	24.6	28.1	50.6	537.3	25.7	36.1	52.1	540.7	24.6	33.6	50.7
10:35	595.7	24.3	28.7	52.0	555.7	24.8	28.8	51.4	550.6	25.4	37.0	52.0	551.0	24.7	34.4	50.7
10:40	614.3	24.1	29.3	52.6	568.3	25.9	29.4	52.8	572.5	25.7	37.8	52.6	562.4	25.5	35.3	52.3
10:45	623.9	24.6	30.0	54.1	577.5	26.1	29.8	53.2	578.3	25.6	38.6	54.1	574.7	25.6	36.1	53.0
10:50	639.5	25.2	30.5	55.0	587.7	26.1	30.5	53.3	588.5	25.9	39.5	55.0	582.2	26.2	36.7	54.4
10:55	650.0	25.7	30.9	55.7	599.4	26.1	31.0	54.3	598.9	26.3	39.3	55.3	591.2	26.1	37.5	54.0
11:00	660.5	25.4	31.5	54.1	608.4	26.5	31.1	55.3	606.2	26.5	39.1	56.2	599.7	26.0	38.2	53.7
11:05	670.4	25.7	31.9	55.9	621.0	26.8	31.4	56.3	613.6	26.1	38.7	56.3	610.8	26.3	39.3	55.3
11:10	679.3	25.6	32.3	56.7	633.7	26.3	32.5	55.1	622.3	26.8	37.4	57.9	625.9	26.2	40.0	56.0
11:15	680.6	25.9	33.1	58.6	641.0	26.9	32.9	57.5	630.5	26.7	34.8	59.1	631.9	27.0	40.8	56.9
11:20	691.1	25.7	33.2	58.0	645.8	26.5	33.2	57.2	640.0	27.0	31.7	56.9	642.2	27.5	41.5	58.4
11:25	700.6	26.6	33.5	59.5	661.1	26.4	33.8	56.9	649.5	27.3	30.7	58.2	649.5	27.2	42.4	57.9
11:30	707.6	27.0	34.2	59.5	669.9	27.0	34.1	58.7	653.9	27.5	30.4	57.5	659.7	27.5	43.0	58.0
11:35	713.8	26.9	34.5	60.1	673.4	27.2	34.3	58.8	661.5	27.7	31.0	59.4	668.6	27.7	43.8	59.7
11:40	723.7	27.2	34.8	59.1	675.5	27.6	34.8	60.3	665.2	27.3	31.5	59.3	676.3	28.1	44.7	61.2
11:45	728.5	27.5	35.1	61.2	689.1	27.6	35.5	60.1	677.8	27.7	31.9	60.1	675.2	28.3	45.2	60.4
11:50	733.7	27.6	35.9	60.5	697.9	27.9	35.2	61.1	678.0	27.5	32.7	59.6	683.2	27.4	45.9	59.8
11:55	738.1	27.1	36.3	60.4	703.7	27.9	35.5	61.1	694.0	27.7	34.1	60.1	691.4	27.6	47.0	60.1
12:00	741.2	27.5	36.5	61.0	706.5	27.6	36.0	60.7	695.8	28.5	35.3	61.6	695.1	27.9	47.1	60.1

ตาราง ข.13 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.				เริ่มระบาย 12:00 น.			
	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PV}	T_{PV}
	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)
12:05	744.4	27.8	37.2	60.0	712.8	28.1	36.4	61.9	697.8	28.5	35.9	61.7	696.8	27.8	46.4	60.3
12:10	748.4	28.1	37.8	60.6	712.1	28.7	36.3	62.5	699.2	28.8	37.1	62.7	700.8	28.1	44.9	59.8
12:15	753.4	28.2	37.9	61.7	716.5	28.2	36.7	61.8	705.0	28.6	37.3	62.0	704.4	28.4	40.0	60.6
12:20	756.9	28.4	38.0	62.8	728.2	28.8	37.9	62.0	702.7	28.5	37.2	61.0	710.0	28.4	34.7	60.3
12:25	740.7	28.3	38.4	62.5	726.6	29.0	37.9	63.0	715.2	29.0	37.9	61.2	716.3	28.2	32.6	60.5
12:30	749.2	28.9	38.9	62.6	727.7	28.8	38.4	62.6	718.7	29.5	38.4	62.6	704.6	28.3	31.8	62.1
12:35	742.7	28.4	39.3	63.2	720.8	29.4	38.7	63.8	722.0	29.6	38.5	63.3	705.8	29.1	31.3	62.9
12:40	748.4	28.6	39.6	63.2	718.6	29.4	39.0	63.1	728.0	29.6	38.9	62.7	705.3	29.0	30.9	60.9
12:45	744.4	29.2	39.9	63.8	721.0	29.1	39.3	62.4	731.0	29.4	39.3	61.5	715.3	29.1	31.2	60.6
12:50	742.7	28.8	40.3	64.2	700.4	28.9	39.4	61.8	735.0	29.1	39.7	60.2	714.0	29.0	32.7	60.9
12:55	740.0	28.8	40.5	63.4	702.5	29.3	40.0	63.3	735.0	28.7	39.8	59.6	714.0	29.7	34.4	63.1
13:00	740.0	28.9	40.9	64.4	709.6	29.0	39.9	61.9	735.0	28.6	39.8	60.7	714.0	29.6	35.8	61.9
13:05	714.6	29.1	40.8	63.3	699.0	29.7	40.3	63.2	709.6	29.0	40.2	61.7	688.6	29.2	37.1	62.2
13:10	727.9	29.4	41.2	62.6	695.5	30.0	40.3	61.2	722.9	29.8	40.3	62.4	701.9	28.9	38.1	60.3
13:15	730.4	29.6	41.5	61.7	697.5	29.8	40.9	61.0	725.4	30.1	40.4	62.5	704.4	29.0	38.9	60.0
13:20	730.9	29.8	42.0	64.2	675.2	30.0	40.8	60.9	725.9	29.9	40.8	62.7	704.9	29.2	39.7	61.2
13:25	723.3	30.1	42.1	64.3	650.1	29.5	40.9	60.5	718.3	30.0	41.1	61.9	697.3	29.6	39.9	60.7
13:30	700.5	30.2	42.2	64.9	690.7	29.7	41.6	59.6	695.5	30.0	41.6	62.3	674.5	29.6	39.9	61.4
13:35	693.3	30.0	42.8	64.5	687.5	29.9	41.9	59.8	688.3	29.9	41.6	61.4	667.3	29.8	40.2	60.7
13:40	691.8	30.4	42.8	64.0	686.8	29.9	41.7	61.5	686.8	29.0	41.8	59.6	665.8	29.6	40.7	60.2
13:45	675.4	30.7	43.0	64.7	670.4	30.3	41.8	61.3	670.4	29.5	41.7	59.0	649.4	29.2	40.7	59.0
13:50	675.5	30.3	43.1	63.4	670.5	30.0	42.1	60.2	670.5	29.7	41.7	59.6	649.5	29.1	40.9	58.9
13:55	660.9	31.0	43.3	63.9	655.9	30.5	42.5	61.1	655.9	29.8	42.0	59.4	634.9	29.3	40.9	59.0
14:00	652.3	31.4	43.3	63.3	647.3	30.5	42.7	60.3	647.3	29.5	42.3	59.1	626.3	29.4	40.9	58.9
14:05	641.9	31.7	43.5	62.8	636.9	30.6	42.8	59.6	636.9	30.2	42.3	60.0	615.9	29.3	41.1	58.0
14:10	625.6	32.0	43.9	62.5	620.6	30.5	42.7	58.8	620.6	30.1	42.7	60.1	599.6	29.3	41.3	56.9
14:15	614.1	31.6	44.3	61.9	609.1	30.1	43.0	57.5	609.1	29.5	42.3	57.5	588.1	29.3	41.3	56.9
14:20	608.7	31.8	44.3	61.4	603.7	30.4	43.0	58.2	603.7	29.9	42.7	57.8	582.7	29.5	41.5	57.8
14:25	592.5	31.9	44.6	62.4	587.5	30.6	43.2	58.2	587.5	30.2	42.7	57.8	566.5	29.9	41.1	57.5
14:30	575.6	31.7	44.8	61.5	570.6	30.5	43.3	57.4	570.6	30.7	42.7	58.0	549.6	30.1	41.3	58.5
14:35	569.5	32.0	44.7	61.3	564.5	30.6	43.5	57.4	564.5	30.3	42.7	56.4	543.5	30.2	41.4	57.6
14:40	552.8	32.3	44.8	62.1	547.8	30.5	43.3	56.7	547.8	30.3	43.1	57.3	526.8	30.6	41.6	57.0
14:45	538.5	32.3	44.8	60.9	533.5	31.1	43.5	57.0	533.5	30.1	43.3	56.7	512.5	30.4	41.7	54.9
14:50	521.4	32.0	45.3	60.8	516.4	30.9	43.4	56.3	516.4	30.0	43.3	55.3	495.4	30.3	41.8	54.7
14:55	505.1	31.7	45.3	59.3	500.1	30.8	43.4	55.8	500.1	29.9	43.2	54.9	479.1	30.8	41.8	56.0
15:00	501.2	32.0	45.0	58.6	496.2	31.3	43.6	56.1	496.2	30.1	43.1	54.7	475.2	30.5	41.7	55.0
15:05	487.1	31.8	45.2	58.8	482.1	31.3	43.6	55.6	482.1	29.8	43.2	53.2	461.1	30.9	41.8	54.6

ตาราง ข.13 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.				เริ่มระบาย 12:00 น.			
	I_T	T_a	T_{PVT}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PVT}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PVT}	T_{PV}	I_T	T_a	T_{PVT}	T_{PV}
	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(W/m ²)	(°C)	(°C)	(°C)
15:10	481.1	31.9	44.9	58.3	476.1	31.4	43.6	55.6	476.1	29.9	43.1	53.5	455.1	30.5	41.8	52.9
15:15	460.5	32.2	45.0	57.7	455.5	31.2	43.6	53.6	455.5	29.9	43.0	53.0	434.5	30.7	42.1	53.7
15:20	441.4	31.9	45.1	56.5	436.4	31.5	43.6	54.4	436.4	30.3	43.1	51.9	415.4	30.1	41.9	52.7
15:25	433.9	32.2	45.1	57.0	428.9	31.5	43.2	52.4	428.9	30.3	43.0	51.5	407.9	30.6	41.8	52.7
15:30	414.0	32.0	44.9	55.6	409.0	31.0	43.5	51.4	409.0	30.7	43.1	51.9	388.0	30.5	42.0	51.9
15:35	402.4	32.1	44.7	54.1	397.4	31.3	43.4	51.4	397.4	31.4	42.8	51.3	376.4	30.6	41.8	51.2
15:40	385.7	32.0	44.9	52.6	380.7	31.2	43.2	50.9	380.7	30.8	42.8	49.6	359.7	30.4	41.7	49.8
15:45	364.9	31.5	44.7	51.2	359.9	30.8	43.2	49.9	359.9	30.3	43.0	48.6	338.9	30.2	41.6	48.6
15:50	349.0	31.6	44.7	51.3	344.0	30.9	43.2	48.6	344.0	30.8	42.9	48.6	323.0	30.1	42.0	47.7
15:55	328.5	30.9	44.4	49.3	323.5	31.2	43.2	49.4	323.5	30.2	42.6	46.2	302.5	30.0	41.6	47.2
16:00	309.6	31.5	44.4	49.5	304.6	31.4	42.9	48.3	304.6	29.9	42.4	45.4	283.6	29.9	41.4	46.7



ตาราง ข.14 อุณหภูมิ น้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน
ของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่
ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.			
	$T_{ri,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{ri,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{ri,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
9:00	17.50	19.20	237.26	48.98	-	-	-	-	-	-	-	-
9:05	17.10	21.50	614.09	60.00	-	-	-	-	-	-	-	-
9:10	17.00	20.20	446.61	84.11	-	-	-	-	-	-	-	-
9:15	17.40	20.20	390.79	66.89	-	-	-	-	-	-	-	-
9:20	17.50	20.20	376.83	61.65	-	-	-	-	-	-	-	-
9:25	17.90	20.60	376.83	57.49	-	-	-	-	-	-	-	-
9:30	17.80	20.90	432.66	64.13	-	-	-	-	-	-	-	-
9:35	18.10	21.10	418.70	57.19	-	-	-	-	-	-	-	-
9:40	18.30	21.60	460.57	69.90	-	-	-	-	-	-	-	-
9:45	18.70	21.40	376.83	51.94	-	-	-	-	-	-	-	-
9:50	19.10	21.70	362.87	46.92	-	-	-	-	-	-	-	-
9:55	19.40	22.20	390.79	48.85	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	19.50	22.70	446.61	53.42	18.20	28.40	1,423.58	190.19	-	-	-	-
10:05	19.70	23.30	502.44	58.78	18.20	27.70	1,325.88	171.68	-	-	-	-
10:10	19.80	23.80	558.27	63.65	18.20	27.20	1,256.10	157.66	-	-	-	-
10:15	20.00	24.20	586.18	65.48	20.30	25.70	753.66	91.79	-	-	-	-
10:20	20.50	24.60	572.22	62.50	20.60	24.60	558.27	66.61	-	-	-	-
10:25	20.40	24.60	586.18	63.27	22.10	25.00	404.74	46.75	-	-	-	-
10:30	20.70	24.60	544.31	57.94	22.00	25.90	544.31	61.70	-	-	-	-
10:35	21.70	24.20	348.92	36.00	22.20	25.80	502.44	55.57	-	-	-	-
10:40	22.30	26.90	642.01	64.24	22.30	25.90	502.44	54.34	-	-	-	-
10:45	22.60	27.10	628.05	61.88	22.40	26.20	530.35	56.45	-	-	-	-
10:50	22.90	26.30	474.53	45.61	22.70	26.40	516.40	54.00	-	-	-	-
10:55	23.20	26.30	432.66	40.91	23.00	26.80	530.35	54.38	-	-	-	-
11:00	24.00	27.20	446.61	41.56	23.90	27.00	432.66	43.71	18.80	37.80	2,651.77	268.88
11:05	23.90	29.60	795.53	72.94	24.00	26.60	362.87	35.92	18.90	37.10	2,540.11	254.44
11:10	24.10	28.50	614.09	55.57	24.90	27.10	307.05	29.78	18.90	36.30	2,428.46	239.85
11:15	24.30	28.00	516.40	46.64	25.10	29.30	586.18	56.20	20.60	35.10	2,023.72	197.29
11:20	24.60	28.30	516.40	45.92	25.00	29.70	655.96	62.43	20.60	34.10	1,884.15	180.96
11:25	25.10	30.40	739.70	64.89	25.20	29.50	600.14	55.80	21.30	31.20	1,381.71	130.76
11:30	25.30	31.00	795.53	69.10	25.20	29.80	642.01	58.90	21.80	28.50	935.10	87.90
11:35	25.70	29.70	558.27	48.07	25.30	30.00	655.96	59.87	22.70	27.40	655.96	60.95
11:40	26.50	29.70	446.61	37.93	25.40	30.20	669.92	60.95	24.20	27.10	404.74	37.40
11:45	27.00	32.20	725.75	61.23	25.80	30.40	642.01	57.26	26.80	27.50	97.70	8.86

ตาราง ข.14 (ต่อ) อุณหภูมิ น้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
11:50	27.10	31.70	642.01	53.78	26.00	30.80	669.92	59.00	28.30	28.20	-13.96	-1.27
11:55	27.40	30.80	474.53	39.51	26.50	31.10	642.01	56.07	28.90	29.10	27.91	2.47
12:00	28.10	31.70	502.44	41.67	27.30	31.30	558.27	48.57	28.90	29.90	139.57	12.33
12:05	28.60	34.10	767.62	63.38	27.60	31.60	558.27	48.14	29.30	30.70	195.39	17.21
12:10	28.80	33.00	586.18	48.14	28.10	32.00	544.31	46.98	29.40	31.30	265.18	23.31
12:15	28.80	32.50	516.40	42.13	28.50	32.30	530.35	45.50	29.50	32.10	362.87	31.64
12:20	29.50	32.80	460.57	37.40	29.00	32.80	530.35	44.76	29.40	32.80	474.53	41.50
12:25	29.80	35.30	767.62	63.70	29.30	33.10	530.35	44.86	29.60	33.20	502.44	43.18
12:30	30.20	34.60	614.09	50.38	29.70	33.30	502.44	42.44	29.70	33.80	572.22	48.94
12:35	30.30	34.30	558.27	46.20	30.00	33.80	530.35	45.22	29.80	34.10	600.14	51.09
12:40	30.50	34.30	530.35	43.56	30.30	34.10	530.35	45.36	30.00	34.40	614.09	51.85
12:45	30.80	36.00	725.75	59.93	30.60	34.40	530.35	45.21	30.40	34.60	586.18	49.29
12:50	31.20	37.00	809.49	66.99	30.80	34.90	572.22	50.22	30.70	34.90	586.18	49.02
12:55	31.60	36.10	628.05	52.16	31.40	35.10	516.40	45.18	31.10	34.90	530.35	44.35
13:00	31.90	35.50	502.44	41.73	31.70	35.40	516.40	44.73	31.50	35.20	516.40	43.19
13:05	32.30	35.80	488.48	42.02	31.90	35.60	516.40	45.41	32.00	35.50	488.48	42.31
13:10	32.80	38.00	725.75	61.28	32.00	36.10	572.22	50.57	32.30	35.70	474.53	40.35
13:15	33.30	38.00	655.96	55.20	32.60	36.20	502.44	44.27	32.70	36.00	460.57	39.02
13:20	33.60	37.60	558.27	46.95	32.90	36.30	474.53	43.19	33.10	36.20	432.66	36.64
13:25	33.60	37.20	502.44	42.70	33.20	36.60	474.53	44.86	33.40	36.50	432.66	37.02
13:30	33.80	37.90	572.22	50.21	33.60	37.00	474.53	42.23	33.90	36.80	404.74	35.77
13:35	34.20	39.20	697.83	61.87	33.80	37.20	474.53	42.42	34.10	37.10	418.70	37.39
13:40	34.70	39.10	614.09	54.56	34.00	37.50	488.48	43.72	34.30	37.20	404.74	36.22
13:45	35.00	39.00	558.27	50.80	34.40	37.80	474.53	43.50	34.50	37.50	418.70	38.39
13:50	35.40	38.50	432.66	39.37	34.80	37.90	432.66	39.66	34.80	37.60	390.79	35.82
13:55	35.70	38.80	432.66	40.24	35.20	38.10	404.74	37.93	35.00	37.90	404.74	37.93
14:00	36.20	40.30	572.22	53.92	35.40	38.40	418.70	39.76	35.30	38.10	390.79	37.11
14:05	36.50	40.30	530.35	50.78	35.60	38.50	404.74	39.06	35.60	38.40	390.79	37.71
14:10	36.70	40.00	460.57	45.25	36.00	38.70	376.83	37.32	35.90	38.40	348.92	34.56
14:15	37.00	39.40	334.96	33.53	36.20	38.90	376.83	38.03	36.10	38.60	348.92	35.21
14:20	37.50	40.00	348.92	35.23	36.30	39.10	390.79	39.79	36.40	38.70	321.00	32.68
14:25	37.70	41.60	544.31	56.47	36.70	39.20	348.92	36.51	36.70	39.00	321.00	33.59
14:30	37.90	41.60	516.40	55.14	36.90	39.50	362.87	39.09	36.90	39.20	321.00	34.58
14:35	38.00	41.20	446.61	48.20	37.20	39.50	321.00	34.95	37.20	39.40	307.05	33.43

ตาราง ข.14 (ต่อ) อุณหภูมิ น้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.			
	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}	$T_{fi,PVT}$	$T_{fo,PVT}$	Q_s	η_{heat}
	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)	(°C)	(°C)	(W)	(%)
14:40	38.30	40.70	334.96	37.24	37.50	39.70	307.05	34.45	37.40	39.50	293.09	32.88
14:45	38.90	41.60	376.83	43.01	37.70	39.80	293.09	33.77	37.60	39.60	279.13	32.16
14:50	39.00	42.50	488.48	57.59	37.80	40.00	307.05	36.55	37.80	39.70	265.18	31.56
14:55	39.20	41.90	376.83	45.86	38.10	40.30	307.05	37.74	38.00	39.80	251.22	30.88
15:00	39.30	41.60	321.00	39.37	38.30	40.30	279.13	34.58	38.30	39.90	223.31	27.66
15:05	39.50	41.30	251.22	31.70	38.40	40.40	279.13	35.59	38.50	40.00	209.35	26.69
15:10	39.70	42.50	390.79	49.92	38.70	40.60	265.18	34.23	38.60	40.10	209.35	27.03
15:15	40.00	42.90	404.74	54.02	39.00	40.60	223.31	30.13	38.70	40.10	195.39	26.37
15:20	40.10	42.20	293.09	40.82	39.10	40.60	209.35	29.49	38.90	40.20	181.44	25.56
15:25	40.20	41.90	237.26	33.61	39.20	40.70	209.35	30.00	39.10	40.30	167.48	24.00
15:30	40.80	41.70	125.61	18.65	39.20	40.90	237.26	35.66	39.30	40.40	153.52	23.07
15:35	40.70	42.70	279.13	42.64	39.50	40.80	181.44	28.06	39.40	40.40	139.57	21.59
15:40	40.80	42.70	265.18	42.26	39.50	41.00	209.35	33.80	39.60	40.40	111.65	18.03
15:45	40.90	42.20	181.44	30.56	39.80	41.00	167.48	28.60	39.70	40.40	97.70	16.68
15:50	41.10	41.80	97.70	17.21	39.80	41.00	167.48	29.93	39.90	40.40	69.78	12.47
15:55	41.10	41.90	111.65	20.89	40.10	41.00	125.61	23.87	39.90	40.40	69.78	13.26
16:00	41.20	42.40	167.48	33.25	40.00	41.00	139.57	28.17	40.00	40.30	41.87	8.45

ตาราง ข.15 กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
9:00	90.9	18.8	88.2	18.2	78.1	18.2	76.8	17.9	80.9	18.4	78.1	17.8
9:05	95.8	18.7	92.1	18.0	82.4	18.4	80.2	17.9	86.0	18.7	82.6	17.9
9:10	99.6	18.7	95.4	18.0	89.9	18.2	86.8	17.6	89.8	18.4	85.8	17.6
9:15	104.5	17.9	99.7	17.1	94.1	18.0	90.4	17.3	95.0	18.5	90.4	17.6
9:20	110.1	18.0	104.0	17.0	98.3	17.9	93.7	17.1	98.4	18.2	93.4	17.2
9:25	113.1	17.3	106.5	16.2	101.6	17.9	96.9	17.0	102.6	18.0	97.2	17.0
9:30	117.5	17.4	110.5	16.4	106.8	17.8	101.3	16.9	106.7	17.8	100.7	16.8
9:35	121.6	16.6	114.7	15.7	110.3	17.5	104.4	16.6	110.7	17.7	104.3	16.7
9:40	112.7	17.1	105.5	16.0	113.4	17.4	107.3	16.5	113.9	17.6	107.3	16.6
9:45	116.8	16.1	110.4	15.2	116.7	17.3	110.3	16.3	119.0	17.5	111.9	16.4
9:50	128.5	16.6	121.1	15.7	122.2	17.2	115.3	16.2	121.4	17.3	114.3	16.3
9:55	135.5	16.9	127.1	15.9	124.4	17.2	117.2	16.2	124.7	17.2	117.2	16.2
10:00	138.9	16.6	128.7	15.4	128.4	17.2	121.0	16.2	129.3	17.2	121.7	16.2
10:05	144.1	16.9	132.5	15.5	131.3	17.0	123.2	16.0	130.7	17.0	123.0	16.0
10:10	146.7	16.7	135.0	15.4	135.0	16.9	125.9	15.8	132.9	16.8	124.8	15.8
10:15	149.3	16.7	137.9	15.4	138.6	16.9	128.2	15.6	136.4	16.7	128.2	15.7
10:20	151.1	16.5	138.9	15.2	140.9	16.8	129.7	15.5	138.9	16.5	130.3	15.5
10:25	153.8	16.6	140.2	15.1	145.2	16.8	132.9	15.4	141.6	16.3	132.7	15.3
10:30	155.1	16.5	141.1	15.0	146.6	16.6	134.1	15.2	143.1	16.4	134.2	15.4
10:35	156.8	16.2	142.1	14.7	149.6	16.5	136.9	15.1	145.9	16.3	136.9	15.3
10:40	162.6	16.3	147.1	14.7	152.0	16.4	138.8	15.0	147.4	15.8	137.9	14.8
10:45	164.9	16.2	149.7	14.7	153.6	16.3	140.3	14.9	149.6	15.9	139.9	14.9
10:50	166.6	16.0	151.0	14.5	156.3	16.3	142.9	14.9	151.6	15.8	141.7	14.8
10:55	169.8	16.1	153.6	14.5	158.0	16.2	144.0	14.8	152.8	15.7	143.3	14.7
11:00	171.5	16.0	156.6	14.6	159.5	16.1	145.4	14.7	154.3	15.6	144.4	14.6
11:05	173.3	15.9	157.7	14.5	162.1	16.0	147.1	14.6	157.3	15.8	145.9	14.6
11:10	174.4	15.8	158.4	14.3	165.0	16.0	150.3	14.6	159.7	15.8	146.3	14.4

ตาราง ข.15 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

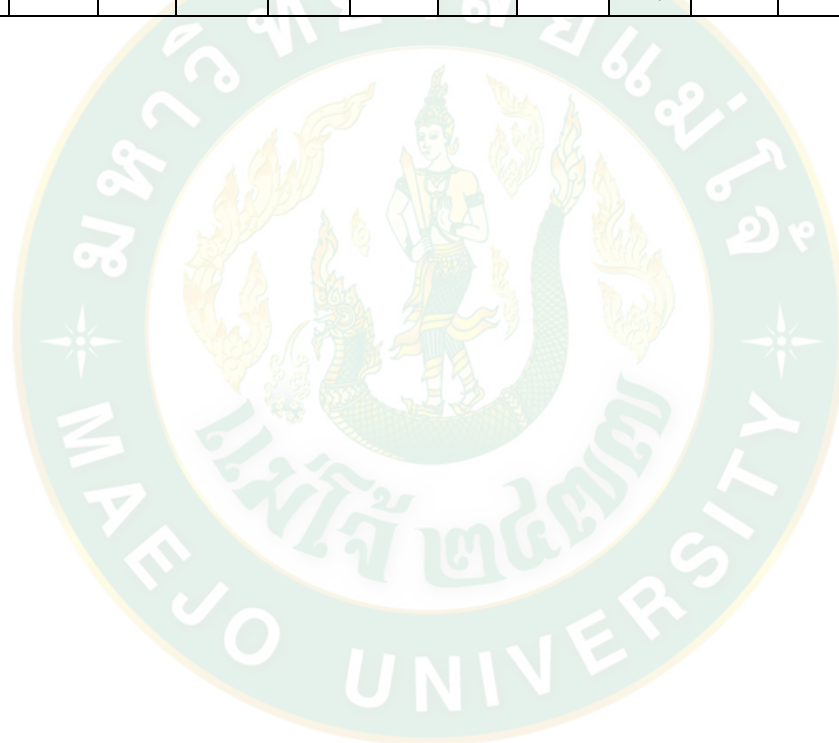
Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
11:15	176.2	15.9	159.0	14.4	166.0	15.9	150.4	14.4	162.2	15.8	146.5	14.3
11:20	177.4	15.8	160.3	14.3	166.8	15.9	151.9	14.5	165.7	15.9	149.1	14.3
11:25	178.7	15.7	160.5	14.1	169.8	15.8	154.6	14.4	168.9	16.0	151.7	14.4
11:30	179.9	15.6	161.8	14.1	171.2	15.7	155.4	14.3	169.2	15.9	151.8	14.3
11:35	180.6	15.6	162.5	14.0	172.1	15.7	155.9	14.2	172.0	16.0	153.6	14.3
11:40	181.9	15.4	164.1	13.9	172.0	15.6	155.4	14.1	172.2	15.9	153.8	14.2
11:45	183.6	15.5	165.0	13.9	174.9	15.6	157.9	14.1	173.0	15.7	154.9	14.0
11:50	184.1	15.4	166.6	14.0	176.5	15.5	159.0	14.0	173.6	15.7	155.9	14.1
11:55	184.5	15.4	166.9	13.9	178.2	15.6	160.4	14.0	175.4	15.5	157.5	13.9
12:00	184.9	15.3	166.6	13.8	177.8	15.5	160.8	14.0	175.1	15.5	157.1	13.9
12:05	185.7	15.3	169.1	14.0	178.8	15.4	161.1	13.9	175.6	15.5	157.1	13.8
12:10	185.3	15.2	169.7	13.9	178.2	15.4	160.4	13.8	174.0	15.3	156.3	13.7
12:15	186.2	15.2	169.2	13.8	178.5	15.3	161.2	13.8	174.7	15.2	157.0	13.7
12:20	186.2	15.1	168.2	13.7	180.5	15.2	163.5	13.8	175.4	15.3	159.4	13.9
12:25	187.1	15.5	170.5	14.1	179.9	15.2	162.6	13.8	175.3	15.1	159.2	13.7
12:30	183.3	15.0	166.8	13.7	180.1	15.2	163.5	13.8	176.4	15.1	159.3	13.6
12:35	184.6	15.3	167.5	13.9	179.1	15.3	162.1	13.8	176.3	15.0	159.9	13.6
12:40	185.6	15.2	168.9	13.9	178.2	15.2	161.6	13.8	176.8	14.9	159.9	13.5
12:45	185.9	15.4	168.2	13.9	179.1	15.3	163.7	14.0	177.2	14.9	161.3	13.6
12:50	184.7	15.3	167.6	13.9	176.2	15.5	161.1	14.1	177.9	14.9	161.5	13.5
12:55	184.4	15.3	167.1	13.9	176.2	15.4	160.4	14.0	177.2	14.8	161.0	13.5
13:00	183.1	15.2	166.4	13.8	177.0	15.3	162.3	14.1	176.7	14.8	162.3	13.6
13:05	183.7	15.8	167.9	14.4	175.1	15.4	159.8	14.1	175.0	15.2	160.5	13.9
13:10	182.9	15.4	167.7	14.2	173.7	15.3	160.2	14.2	173.2	14.7	158.7	13.5
13:15	180.9	15.2	166.6	14.0	174.4	15.4	161.0	14.2	169.7	14.4	155.4	13.2
13:20	179.6	15.1	164.4	13.8	168.0	15.3	155.5	14.2	170.2	14.4	156.0	13.2
13:25	178.5	15.2	162.5	13.8	164.4	15.5	152.8	14.4	168.0	14.4	154.9	13.3

ตาราง ข.15 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
13:30	176.8	15.5	161.0	14.1	169.5	15.1	157.4	14.0	169.4	15.0	156.5	13.8
13:35	174.9	15.5	160.4	14.2	167.9	15.0	157.0	14.0	164.8	14.7	151.4	13.5
13:40	173.2	15.4	159.4	14.2	168.9	15.1	156.8	14.0	165.7	14.8	154.2	13.8
13:45	172.0	15.7	158.0	14.4	164.6	15.1	153.1	14.0	161.8	14.8	151.2	13.9
13:50	169.7	15.4	156.2	14.2	164.2	15.1	153.3	14.1	158.5	14.5	148.7	13.6
13:55	169.0	15.7	156.1	14.5	163.2	15.3	152.3	14.3	155.5	14.6	146.2	13.7
14:00	166.5	15.7	154.7	14.6	160.7	15.3	150.5	14.3	157.7	15.0	148.1	14.1
14:05	163.5	15.7	152.8	14.6	158.6	15.3	149.6	14.4	151.1	14.6	141.5	13.7
14:10	162.7	16.0	151.7	14.9	156.4	15.5	147.5	14.6	151.2	15.0	142.1	14.1
14:15	159.7	16.0	149.7	15.0	153.6	15.5	146.0	14.7	147.3	14.9	139.2	14.0
14:20	157.2	15.9	147.6	14.9	152.6	15.5	145.0	14.8	144.2	14.7	137.3	14.0
14:25	156.7	16.3	147.2	15.3	149.5	15.6	142.3	14.9	144.8	15.1	136.9	14.3
14:30	153.4	16.4	144.7	15.5	146.8	15.8	140.1	15.1	143.5	15.5	136.4	14.7
14:35	151.5	16.4	143.8	15.5	145.4	15.8	139.2	15.2	141.8	15.4	135.7	14.8
14:40	150.7	16.8	142.4	15.8	142.3	16.0	136.2	15.3	140.0	15.7	133.9	15.0
14:45	145.3	16.6	137.3	15.7	140.0	16.1	134.5	15.5	136.5	15.7	131.0	15.1
14:50	143.2	16.9	136.0	16.0	136.3	16.2	131.4	15.6	131.0	15.6	125.5	14.9
14:55	139.6	17.0	134.0	16.3	133.4	16.4	128.6	15.8	130.4	16.0	125.6	15.4
15:00	134.8	16.5	130.0	15.9	131.5	16.3	126.5	15.7	128.0	15.9	124.3	15.4
15:05	132.7	16.7	127.6	16.1	127.0	16.2	123.1	15.7	125.5	16.0	122.4	15.6
15:10	130.7	16.7	125.2	16.0	124.5	16.1	121.3	15.7	123.5	15.9	120.5	15.6
15:15	124.8	16.7	121.3	16.2	122.1	16.5	119.4	16.1	118.4	16.0	116.1	15.7
15:20	123.2	17.2	120.1	16.7	118.1	16.6	115.5	16.3	111.7	15.7	109.6	15.4
15:25	118.9	16.8	115.9	16.4	112.3	16.1	111.0	15.9	111.3	16.0	110.0	15.8
15:30	114.8	17.0	112.1	16.6	108.9	16.4	108.2	16.3	107.9	16.2	106.8	16.1
15:35	110.5	16.9	108.5	16.6	107.1	16.6	106.2	16.4	100.8	15.6	100.1	15.5
15:40	106.6	17.0	105.8	16.9	103.0	16.6	102.6	16.6	98.2	15.9	98.0	15.8

ตาราง ข.15 (ต่อ) กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อน กรณีมีการประยุกต์ใช้น้ำเย็นที่ผลิตได้ตอนกลางคืน

Time	เริ่มระบาย 9:00 น.				เริ่มระบาย 10:00 น.				เริ่มระบาย 11:00 น.			
	With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool		With Cooling		Without Cool	
	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e	P_{PVT}	η_e	P_{PV}	η_e
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
15:45	103.2	17.4	103.1	17.4	100.3	17.1	100.6	17.2	96.1	16.4	96.5	16.5
15:50	101.3	17.8	101.1	17.8	96.4	17.2	97.0	17.3	91.5	16.3	92.2	16.5
15:55	96.1	18.0	96.1	18.0	90.8	17.3	91.5	17.4	87.2	16.6	88.3	16.8
16:00	92.5	18.4	93.3	18.5	87.6	17.7	88.8	17.9	82.9	16.7	84.9	17.1





ภาคผนวก ค.

ผลงาน และการเผยแพร่งานวิจัย

การเผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการทั้งหมดมีสองเรื่อง ดังนี้

1. เผยแพร่ผลงานวิจัยหัวข้อเรื่อง การเพิ่มสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้น้ำระบายความร้อน ในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (ครั้งที่ 3) ระหว่างวันที่ 30 สิงหาคม 2561 ตีพิมพ์หน้า 272 - 281 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

2. เผยแพร่ผลงานวิจัยหัวข้อเรื่อง ผลของอัตราการไหลและปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำที่มีผลต่อสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน ในการประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 18) ระหว่างวันที่ 20 - 21 มีนาคม 2562 ตีพิมพ์หน้า 237 - 242 ณ โรงแรมกระบี่ ฟรอนท์ เบย์ จังหวัดกระบี่



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

The 3rd KU SRC Annual Conference

30 สิงหาคม 2561

The 3rd KU SRC Annual Conference

ผู้ร่วมจัดงาน

- KU
- วช. NRCT
- วทส.
- PIM
- วทส.

ผู้ร่วมสนับสนุน

- SLA
- M
- ThaiOil





ที่ ศธ 0513.301/1404

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
199 ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

17 สิงหาคม 2561

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความ ID066

เรียน ผู้เขียนบทความ (นายณรงค์ชัย คงวุฒิ)

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง “การเพิ่มสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้น้ำระบายความร้อน : Performance Enhancement of Solar Photovoltaic/Thermal System by using Water Cooling” เข้าร่วมการพิจารณาให้เข้าร่วมในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา The 3rd KU SRC Annual Conference วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา นั้น

ในการนี้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ขอแจ้งว่าบทความของท่านได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและจะได้ตีพิมพ์ลงในเล่มรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (Proceeding) จึงขอเชิญท่านเข้าไปที่ website; www.src.ku.ac.th/conference เพื่อชำระเงินค่าลงทะเบียนได้ตั้งแต่วันที่ 15-20 สิงหาคม 2561

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภัทร พัฒนวิชัยโชติ)
ผู้ช่วยอธิการบดี วิทยาเขตศรีราชา
ประธานกรรมการจัดงานประชุมวิชาการฯ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
โทรศัพท์ 0-3835-4580-4 ต่อ 2703



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

Topic: Sciences and Applied Sciences		หน้า
ID075	DFP-Cosine Similarity for Sentence Similarity with Latent Semantic Analysis	134
ID077	Determination of Chlorpyrifos and Carbendazim residues in Shallots and Garlics in Phayao Province	142
ID078	Investing in ThaiDEX SET50 ETF using Fisher transform indicator	148
ID080	Plant Growth Promoting and Antifungal Activities of Actinomycetes from Kantulee Peat Swamp Forest	156
ID082	Treatment of Zinc ion from Wastewater by used Aluminium Dross from Auto Parts Manufacturing	166
ID083	Treatment of Used Coolant Oil via Modified Fenton Reaction using Waste from Auto Parts Manufacturing	177
ID095	Type and Content of Purine Base in Twenty Local Vegetables	187
ID109	Lead removal onto adsorbent from black rice husk and white rice husk ash	193
 Topic: Engineering		 หน้า
ID006	Development of an Underwater Glider	200
ID012	Design Prototype of Intelligent Rotary Car Parking System	205
ID014	Development of a Fish Robot	211
ID035	Development of Incoming Sampling Plan : A Case Study of Auto Parts Assembly line	217
ID036	Reducing waste in coating process: a case study in a cosmetic packaging industry	227
ID038	Flood Hazard Map and Evaluation of Economic Loss in Chonburi Province	235
ID041	Development of Equipment for Measuring the Rapid Chloride Penetration in Concrete	244
ID048	Harmonic Reduction Technique for 3-Phase 17-Level of T-type Inverter by Shifting the Switching Angles	253
ID064	The Effect of Water Mass Flow Rate on Solar PV/T Rooftop Performance with Cooling by Oscillating Heat pipe	263
ID066	Performance Enhancement of Solar Photovoltaic/Thermal System by using Water Cooling	272
ID067	Thermal Performance of Flat Plate Solar Collectors using Graphene Nano-Fluid as	282



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ID066

การเพิ่มสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้น้ำระบายความร้อน
Performance Enhancement of Solar Photovoltaic/Thermal System
by using Water Cooling

ณรงค์ชัย คงวุฒิ¹ และ สราวุธ พลวงษ์ศรี^{1*}

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

*E-mail: saravooth@hotmail.com

Narongchai Kongwut¹ and Sarawut Polvongsri^{1*}

¹School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

*E-mail: saravooth@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการระบายความร้อน ในการทดลองใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline ขนาดพื้นที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 W_p พื้นที่ 1.627 m² จำนวน 2 แผง โดยแผงที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนจะใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำจากถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 L ที่อัตราการไหล 2 L/min เพื่อระบายความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่าชุดระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ลงได้สูงสุด 25.73 °C สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดที่ 25.50 W มีประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นสูงสุด 15.06% สามารถผลิตน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนได้สูงสุด 53.40 °C

คำหลัก การเพิ่มสมรรถนะ ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน การระบายความร้อนด้วยน้ำ

Abstract

This research aims to study the performance of solar photovoltaic/thermal system with water cooling comparing with non-cooling. In the experiment used 2 panels of poly-crystalline solar photovoltaic that had 250 W_p of maximum power and each panel area of 1.627 m². In case of cooling system, the water pump was used for circulating the water cooling from 100 L of storage tank at the mass flow rate of 2 L/min. From the results, it was found that the water cooling system could decrease the maximum solar module temperature about 25.73 °C. The acquired maximum power would be 25.50 W and the solar module efficiency would be increased 15.06% respectively. The water cooling system could produce the maximum temperature of hot water in storage tank at 53.40 °C.

Keywords: Performance enhancement, Solar Photovoltaic/Thermal System, Water cooling



1. บทนำ

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในประเทศไทย ด้วยการสนับสนุนของรัฐบาลที่รับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตได้ในราคาสูง และการแข่งขันในด้านธุรกิจของบริษัทเอกชน เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีต้นทุนที่ต่ำ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มักจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามค่ารังสีอาทิตย์และสภาพเรือนในอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมาก และยังทำให้อายุการใช้งานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอีกด้วย ดังนั้นโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องมีการระบายความร้อนที่ดี การระบายความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง เช่น น้ำหรืออากาศ กรณีใช้น้ำเป็นตัวกลางจะติดตั้งท่อน้ำใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และให้น้ำไหลผ่านท่อเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนหรือการฉีดพ่นน้ำให้ผ่านบริเวณหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนกรณีใช้อากาศเป็นตัวกลางจะติดตั้งกริดหรือใช้พัดลมระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้อากาศไหลผ่าน เป็นต้น ระบบเหล่านี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น [1] มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการระบายความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น

นิคม ผึ้งคำ และคณะ [2] ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์โดยการลดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยวรุ่น BP253 ศึกษาพร้อมกับระบบหล่อเย็น 2 ระบบ คือระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ และระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีป สำหรับระบบหล่อเย็นด้วยน้ำศึกษาที่อัตราการไหลของน้ำในช่วงต่าง ๆ คือ 2.88×10^6 3.60×10^6 4.24×10^6 และ 5.88×10^6 m^3/s ส่วนระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีปศึกษาในสภาพอากาศไหลเวียนแบบธรรมชาติผลการทดลองพบว่ากรณีใช้ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำที่อัตราการไหล 4.24×10^6 m^3/s ให้ผลดีที่สุด รองลงมาเป็นที่อัตราการไหล 5.88×10^6 3.60×10^6 และ 2.88×10^6 m^3/s ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระบบหล่อเย็นด้วยน้ำและระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีปสามารถลดอุณหภูมิโซลาร์เซลล์ลงได้ 23.15 °C

และ 10.70 °C ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้แผงโซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพการทำงานทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 0.46% และ 0.32% ตามลำดับ และทำให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 7.26% และ 5.39% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้งานโดยปราศจากระบบหล่อเย็น

ประภาพิทย บัญหล้า และคณะ [3] ศึกษาผลของการระบายความร้อนบนผิวหน้าแผงต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งได้ทำการทดสอบด้วยการพ่นน้ำบนผิวหน้าแผงโซลาร์เซลล์ 2 ชนิด คือ แผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนขนาด 40 W และแผงชนิดอะมอร์ฟิสมขนาด 40 W ในแต่ละการทดสอบประกอบไปด้วยแผงควบคุม คือแผงที่ทำงานในสภาวะปกติ และแผงทดสอบ คือแผงที่ติดตั้งระบบพ่นน้ำ จากข้อมูลพบว่าสามารถลดอุณหภูมิในการทำงานของแผงได้เป็นอย่างดี โดยจากการทดสอบของแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนและแผงชนิดอะมอร์ฟิสมในการทดสอบแผงผลึกเดี่ยว แผง PV ควบคุมจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 43.31 °C และแผง PV ทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 30.79 °C ซึ่งตลอดระยะเวลาในการทดสอบนั้นแผง PV ทดสอบจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผง PV ควบคุมโดยเฉลี่ย 28.66% สำหรับการทดสอบแผงอะมอร์ฟิสมนั้น แผง PV ควบคุมจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 48.18 °C และแผง PV ทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 30.53 °C ซึ่งตลอดระยะเวลาในการทดสอบ แผง PV ทดสอบจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผง PV ควบคุมโดยเฉลี่ย 36.59% และจากการลดอุณหภูมิของแผงด้วยวิธีการพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผงในแต่ละการทดสอบพบว่าผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของแผง เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผงควบคุมและแผงทดสอบ พบว่าแผงทดสอบจากการทดสอบแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนและแผงชนิดอะมอร์ฟิสมมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.05% และ 7.74% ตามลำดับ

สิริชัย ปัญญาสมาธิ [4] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้โซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Solar Cell) โดยการออกแบบแผงระบายความร้อนแบบท่อชุดเซอร์เพนทอนและนำไป



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ประกอบติดตั้งที่ด้านหลังแผงโซลาร์เซลล์เพื่อดึงความร้อนออกจากแผงโซลาร์เซลล์มาใช้งานในรูปของน้ำร้อน ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบท่อชุดเซอร์เพนไทน์ต้นแบบให้มีระยะห่างระหว่างท่อเป็น 10 cm มีการระบายความร้อนได้ดีที่สุดและมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 43 - 50 °C จากการจำลองระบบโดยการต่อแผงระบายความร้อนจำนวน 6 แผงในแบบต่างๆ 4 แบบ พบว่าปัจจัยหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งทางไฟฟ้าทางระบบน้ำร้อนขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในทุแบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์มากขึ้นอัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมคือ 0.0352 kg/m²·s การเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลที่มากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นไม่มากนัก นอกจากนี้ในการต่ออนุกรมกันไม่ควรจะต่อเกิน 3 แผงเนื่องจากการต่ออนุกรมกัน 3 แผง จะให้อุณหภูมิของน้ำออกสูงประมาณ 40 - 55 °C และมีประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงกว่า 30% การต่อมากกว่า 3 แผง จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์จะลดลง ซึ่งโดยรวมแล้วประสิทธิภาพรวมจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก จึงไม่ควรต่ออนุกรมเกิน 3 แผง และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการระบายความร้อนโดยน้ำแล้ว พบว่าระบบโซลาร์เซลล์แบบผสมระบบผลิตน้ำร้อนจะมีประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์สูงกว่าประมาณ 1.20 - 1.45%

ปัจจุบันเริ่มมีการใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยปกติจะมีความต้องการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40 - 70 °C เพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค ท้องครัวเพื่อช่วยในการจัดคราบไขมันบนจาน หรือภาชนะทำอาหารทำให้ประหยัดน้ำยาล้างจาน และยังช่วยในการฆ่าเชื้อโรค อุปกรณ์ทางการแพทย์ ห้องซักรีด และสระว่ายน้ำ

จากงานวิจัยและขีดจำกัดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์งานวิจัยนี้จึงมีความมุ่งหวังที่จะลดปริมาณความร้อนสะสมได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยการระบายความร้อนโดยการใช้น้ำเป็นตัวพาความร้อน และนำน้ำร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนด้วยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และเพิ่มประสิทธิภาพโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ น้ำร้อนที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สมบูรณ์

2.1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ด้วยการนำของสารกึ่งตัวนำ ชนิด N-Type และ P-Type ที่มีช่องว่างพลังงาน (Energy Band Gap) เช่น ซิลิคอน (Si), แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs), เจอร์เมเนียม (Ge) เป็นต้น ส่วนใหญ่จะใช้สารกึ่งตัวนำคือ ซิลิคอน (Si) เนื่องจากเป็นธาตุที่มีอยู่มากและราคาถูก จึงมีการศึกษาและพัฒนาให้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในเชิงอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มรังสีอาทิตย์ มุมของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 10 - 15% การวิจัยและพัฒนาในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่ปัจจัยดังกล่าว ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพสูงสุดของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$\eta_{PV} = \left[\frac{P_{max}}{I_T \times A_{PV}} \right] \times 100 \quad (1)$$

η_{PV} คือ ประสิทธิภาพสูงสุดโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

P_{max} คือ กำลังสูงสุดโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

I_T คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m²)

A_{PV} คือ พื้นที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (m²)



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

2.2 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนที่มีตัวกลางเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจะสามารถคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังสมการ (2)

$$\dot{Q}_{\text{cooling}} = \dot{m}_w C_{pw}(T_{fo,pv} - T_{fi,pv}) \quad (2)$$

\dot{Q}_{cooling} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

\dot{m}_w คือ อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg·K)

$T_{fo,pv}$ คือ อุณหภูมิน้ำออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (°C)

$T_{fi,pv}$ คือ อุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (°C)

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\dot{Q}_s = \frac{M_s C_{pw} (T_s^{t+\Delta t} - T_s)}{\Delta t} \quad (3)$$

\dot{Q}_s คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถึงเก็บน้ำร้อน (W)

M_s คือ ปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (kg)

$T_s^{t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาเปลี่ยน (°C)

T_s คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (°C)

Δt คือ เวลา (s)

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบระบายความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\eta_{\text{cooling}} = \left[\frac{\dot{Q}_{\text{cooling}}}{I_T \times A_{pv}} \right] \times 100 \quad (4)$$

η_{cooling} คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

พลังงานสุทธิของระบบ (E_{net}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

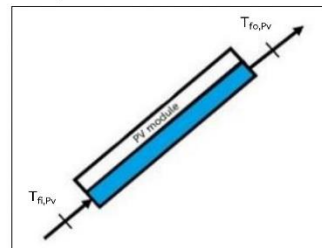
$$E_{\text{net}} = P_{\text{PVT}} + Q_s - W_{\text{pump}} \quad (5)$$

P_{PVT} คือ กำลังที่ได้จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

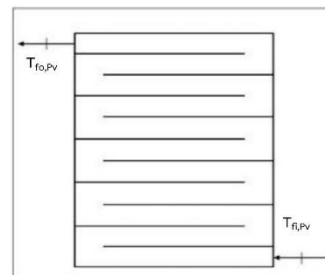
Q_s คือ การถ่ายเทความร้อนที่ได้จากถังเก็บน้ำร้อน (W)

W_{pump} คือ งานจากปั๊มน้ำ (W)

การติดตั้งชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยน้ำจะเข้าด้านล่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และไหลออกด้านบน ดังรูปที่ 1 โดยจะบังคับทิศทางการไหลของน้ำโดยใช้กล่องน้ำดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 โดยแฉกรวมกล่องระบายความร้อน



รูปที่ 2 ทิศทางการไหลของน้ำในกล่องระบายความร้อน

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 W_p พื้นที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ 1.627 m² จำนวน 2 แผง ประกอบด้วยแผงที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนและไม่ได้ติดตั้งชุดระบายความร้อน โดยแผงที่ระบายความร้อนจะใช้กล่องน้ำบังคับทิศทางการไหลของน้ำขนาด 1.00 m x 1.65 m ติดได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งน้ำจะดึงความร้อนออกจากโมดูล



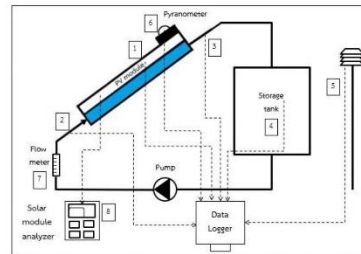
การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

เซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยใช้ปั้มน้ำ DC 12 V ขนาด 18 W ปั้มน้ำผ่านกล่องระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min เพื่อหมุนเวียนน้ำไปเก็บในถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 L ที่หุ้มฉนวนอย่างดีแสดงดังรูปที่ 3 โดยการระบายความร้อนใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ใช้อัตราการไหลของน้ำตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-2003 [5] 1.2 L/min-m²

จากรูปที่ 4 แสดงการเก็บข้อมูลเพื่อวัดและบันทึกผลจุดต่างๆ วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิคัปเปิล Type-K ได้แก่ อุณหภูมิ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์(จุด1) อุณหภูมิ น้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์(จุด2) อุณหภูมิ น้ำออกโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์(จุด3) อุณหภูมิ น้ำในถังเก็บน้ำร้อน(จุด4) อุณหภูมิ แวดล้อม(จุด5) วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ตามแนวระนาบโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 10 องศา โดยใช้ Pyranometer ยี่ห้อ Apogee(จุด6) (Resolution ±1 W/m²) ต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล Data logger และคอมพิวเตอร์ วัดอัตราการไหลของน้ำโดยใช้ Rotameter (จุด7) (Resolution ±1% L/min) และวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยใช้ Solar module analyzer (จุด8)



รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทดสอบ



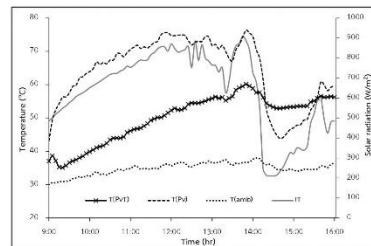
รูปที่ 4 โดอะแกรมและการตรวจวัดของระบบ

ในการทดสอบใช้ข้อมูลวันที่ 5 มิถุนายน 2561 เริ่มตั้งแต่เวลา 9:00 – 16:00 น. มุมเอียงในการทดสอบ 10 องศา ทิศหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ สถานที่ทดสอบ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

4. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 5 ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นไปเรื่อยๆ จนสูงสุดที่เวลา 13:45 น. ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 908.92 W/m² หลังจากนั้นเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีเมฆมาบดบัง ส่วนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 9:00 น. มีค่าเท่ากับ 30.00 °C สูงสุดที่เวลา 14:05 °C มีค่าเท่ากับ 38.00 °C และมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 34.83 °C



รูปที่ 5 ผลของการระบายความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์



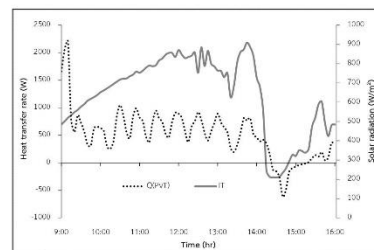
การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีที่มีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 27.20 °C กรณีที่มีชุดระบายความร้อนอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีชุดระบายความร้อนตลอดเวลาตั้งแต่ 9:00 – 14:10 น. โดยมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเฉลี่ย 20.03 °C และสูงสุด 25.73 °C ที่เวลา 10:10 น. แต่หลังจากเวลา 14:10 น. เป็นต้นไปพบว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีที่มีชุดระบายความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิที่เข้าไประบายความร้อนในโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นการถ่ายเทความร้อนจากน้ำที่เข้ามาระบายสู่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แทนขณะเดียวกันโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีชุดระบายความร้อนในช่วงเวลาดังกล่าว อุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สู่อากาศแวดล้อมทำให้อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 51.68 °C ส่วนกรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 54.44 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีมีการระบายความร้อนเฉลี่ย 2.76 °C และถ้าพิจารณาอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันกรณีที่มีชุดระบายความร้อนกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อนพบว่า อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 49.98 °C ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 64.11 °C ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 14.13 °C

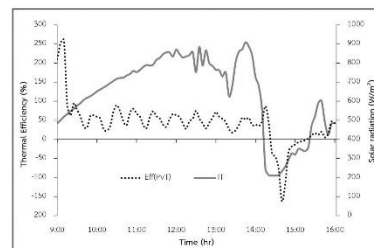
4.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:10 น. อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 694.07 W และที่ 9:15

น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 2,205.15 W เนื่องจากเป็นช่วงตอนเช้าที่น้ำที่เข้าไประบายความร้อนมีอุณหภูมิต่ำ ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สู่งน้ำจึงสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดี แต่หลังจากเวลา 14:10 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ -7.61 W เนื่องจากน้ำไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่กลับเป็นน้ำที่ถ่ายเทความร้อนคืนกลับสู่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แทน



รูปที่ 6 อัตราการถ่ายเทความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน

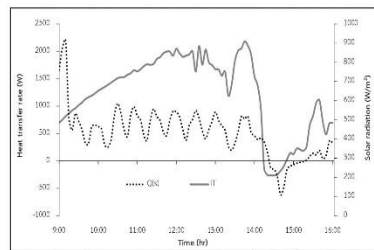
ในรูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:10 น. ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 61.21% แต่หลังจากเวลา 14:10 น. พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ -9.72% ซึ่งมีค่าที่ติดลบเนื่องจากน้ำที่ไประบายความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงและไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

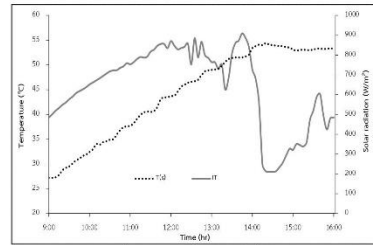
4.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำร้อน

จากรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน พบว่าเวลา 9:00 – 14:15 น. อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนเฉลี่ย 680.44 W และที่ 9:15 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 2,205.15 W เนื่องจากเป็นช่วงตอนเช้าที่เข้าไประบายความร้อนมีอุณหภูมิตัวส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงน้ำจึงสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดีทำให้ได้อุณหภูมิในถังที่สูง แต่หลังจากช่วงเวลา 14:15 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนเฉลี่ย -33.50 W เนื่องจากน้ำไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่กลับเป็นน้ำที่ถ่ายความร้อนคืนกลับสู่มอดูลเซลล์แสงอาทิตย์แทน ทำให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำขาออกถังเก็บน้ำร้อน และเมื่อพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 512.46 W



รูปที่ 8 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำร้อน

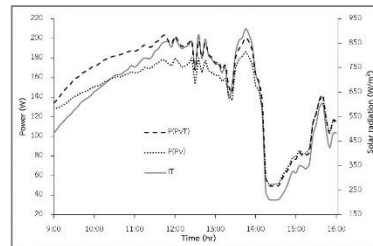
พิจารณาอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 27.20 °C และสูงขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุดที่เวลา 14:20 น. อุณหภูมิน้ำ 54.40 °C แต่หลังจากเวลา 14:20 น. อุณหภูมิน้ำเริ่มคงที่เนื่องจากค่ารังสีที่ลดลง และที่เวลา 16:00 น. อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 53.40 °C แสดงดังรูปที่ 9



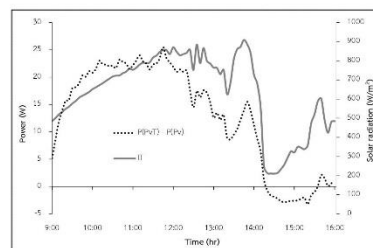
รูปที่ 9 อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน

4.4 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 10 สังเกตเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับค่ารังสีอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ค่ารังสีอาทิตย์เดียวกันการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 กำลังไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีระบายความร้อนและไม่ระบายความร้อน



รูปที่ 11 ผลต่างของกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างโมดูลที่มีการระบายความร้อนกับไม่มีการระบายความร้อน



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 27.20 °C พบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:10 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขุดระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังสูงสุดเฉลี่ย 178.05 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ย 160.23 W คิดเป็นผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 17.82 W แสดงดังรูปที่ 11 และที่เวลา 11:45 น. สามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าสูงสุด 25.50 W เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่น้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุด แต่หลังจากเวลา 14:10 น. พบว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนจะให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 87.27 W ซึ่งมากกว่าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนเฉลี่ย 86.07 W เนื่องจากอุณหภูมิที่น้ำระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงจึงไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่กลับเป็นน้ำที่ถ่ายเทความร้อนให้กับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แทน

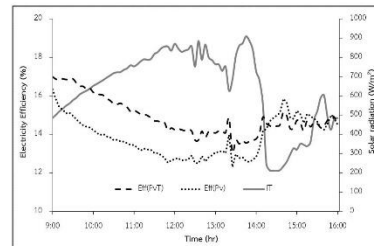
พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 1.08 kWh ส่วนกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 0.99 kWh ซึ่งกรณีมีการระบายความร้อนให้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันมากกว่ากรณีไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.09 kWh

4.5 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

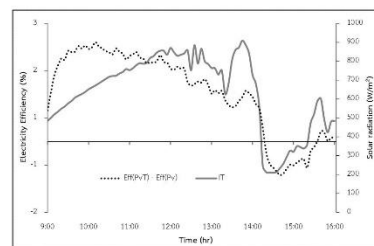
จากรูปที่ 12 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนพบว่าช่วงเวลา 9:00 – 14:10 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและกรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 15.00, 13.50% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำสามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่หลังจากเวลา 14:10 น. โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 14.85% ส่วนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 14.58% ซึ่งกรณีที่ระบายความร้อนให้

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนน้อยกว่าโมดูลที่ระบายความร้อน เนื่องจากน้ำที่ระบายความร้อนไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

พิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อน ที่ช่วงเวลา 9:00 – 14:10 น. พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 11.07% เพิ่มขึ้นมากที่สุด 15.06% แต่หลังจากเวลา 14:10 น. กรณีมีการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย - 1.81% โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพที่มากกว่าเนื่องจาก น้ำไม่สามารถดึงความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบระหว่างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนกับกรณีไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 7.74% แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 13 ผลต่างประสิทธิภาพทางความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนกับไม่ระบายความร้อน



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปผลของชุดระบายความร้อนที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พลังงานสุทธิของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำเมื่อคำนวณจากสมการที่ (5) พบว่าพลังงานที่ได้จากโมดูล

เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 3,933.18 kJ/day และพลังงานที่ได้จากถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 13,067.63 kJ/day โดยใช้ป้อนในการหมุนเวียนน้ำเข้าไประบายได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ใช้พลังงานเท่ากับ 453.60 kJ/day ดังนั้นจึงสามารถคำนวณพลังงานสุทธิของระบบได้เท่ากับ 16,547.21 kJ/day หรือ 16.55 MJ/day

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการทดสอบโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการระบายความร้อนและไม่มีการระบายความร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งวัน

System	T_{pv} ($^{\circ}C$)	ΔT_{pv} ($^{\circ}C$)	P (W)	ΔP (W)	η_{elec} (%)	$\Delta \eta_{elec}$ (%)	$\dot{Q}_{cooling}$ (W)	$\eta_{cooling}$ (%)	\dot{Q}_s (W)	T_s ($^{\circ}C$)	E_{net} (kJ/day)
Cooling	49.98	14.13	154.24	12.90	14.89	7.74	512.46	42.86	512.46	53.40	16,547.21
Without cooling	64.11		141.35		13.85		-	-	-	-	

5. สรุป

จากการศึกษาใช้ชุดระบายความร้อนติดตั้งบริเวณใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีไม่มีชุดระบายความร้อน สามารถสรุปได้ดังนี้

กรณีติดตั้งชุดระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด 25.73 $^{\circ}C$ เฉลี่ยทั้งวัน 14.13 $^{\circ}C$ ทำให้ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 25.50 W เฉลี่ยทั้งวัน 12.90 W โดยประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นสูงสุด 15.06%

ในด้านการระบายความร้อนและการผลิตน้ำร้อน ระบบสามารถระบายความร้อนออกจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 512.46 W มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 42.86% สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนจาก 27.20 $^{\circ}C$ เป็น 53.40 $^{\circ}C$ และมีพลังงานสุทธิของระบบ 16.55 MJ/day

รายการสัญลักษณ์และตัวย่อ

ตัวย่อ

η	Efficiency
P	Power
I	Solar radiation
A	Area
\dot{Q}	Heat transfer rate
\dot{m}	Flow rate
C_p	Specific heat
T	Temperature
Δt	Time
M	Mass

ตัวห้อย

Pv	Photovoltaic module
Max	Maximum
w	Water
fo	Fluid outlet
fi	Fluid inlet
s	Storage



การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

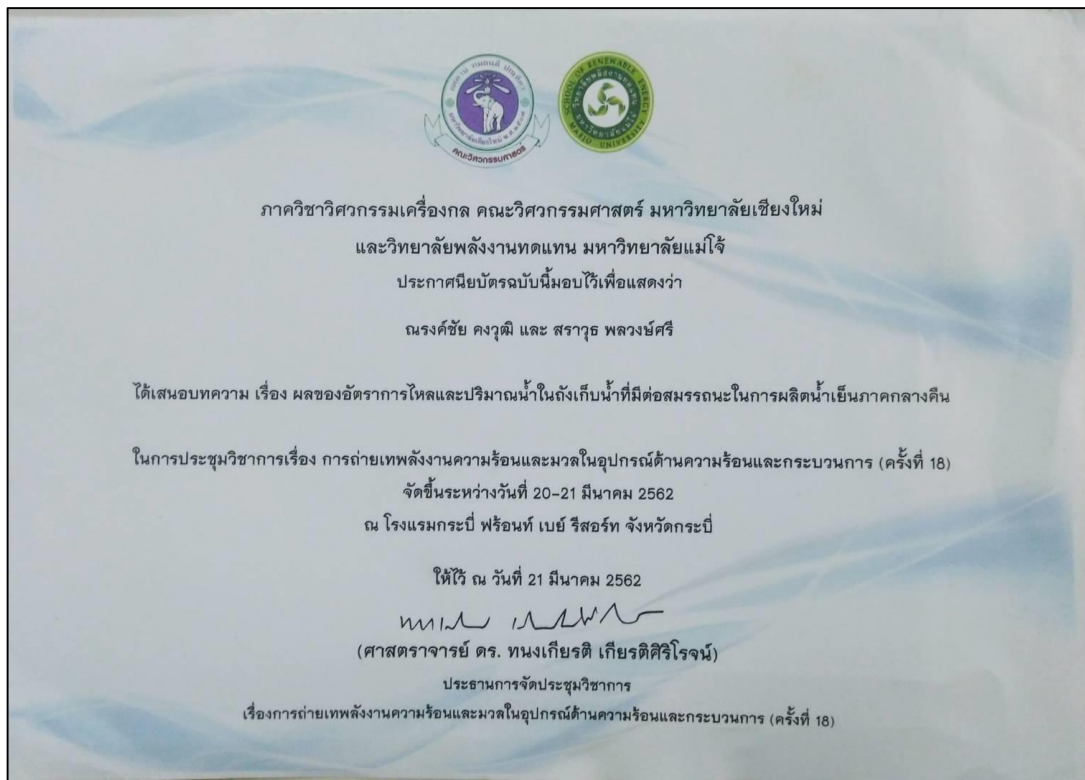
กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการผลิตและพัฒนาศีกยภาพบัณฑิตทางพลังงานทดแทนในระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2559 จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2560 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.) จากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (SEE-U) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในทุกด้าน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kikham Yabandith. 2559. การศึกษาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ซีฟิงพาราฟินในการระบายความร้อน, การประชุมวิชาการ การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 15 ณ โรงแรม แอลริสอร์ท สมุย จ.สุราษฎร์ธานี
- [2] นิคม ผึ้งคำ. 2551. การเพิ่มสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์โดยระบบหล่อเย็น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [3] ประภาทิพย์ บุญหล้า และบุษิดา สุวแพทย์. 2556. การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [4] สิริชัย ปัญญาสมาธิ. 2548. การปรับปรุงประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.





สารบัญ (ต่อ)		
เรื่อง		หน้า
บทความที่ 22	การศึกษาโครงสร้างเปลวไฟและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของจ็ทเปลวไฟแบบพลมก่อนจากหัวฉีดแบบท่อก STUDY OF HEAT TRANSFER CHARACTERISTIC OF PREMIXED FLAME JET FROM PIPE NOZZLE	186
บทความที่ 23	การถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวด้านหลังรูจ็ทแบบออริฟิสแถวเดียวฉีดขวางกระแสไหลหลักและการกระจายตัวของลำจ็ท HEAT TRANSFER OF THE DOWNSTREAM SURFACE OF SINGLE ROW ORIFICE JETS INJECTING INTO CROSSFLOW AND JET SPREADING BEHAVIOR	192
บทความที่ 24	ผลทดลองการพัฒนารูปแบบของโครงสร้างออริฟิสจ็ทในกระแสไหลหลัก AN EXPERIMENTAL STUDY ON FLOW STRUCTURE DEVELOPMENT OF ORIFICE JETS IN CROSSFLOW	202
บทความที่ 25	การศึกษาผลพิษจากการเผาไหม้ทางบะพร้าวสับในเตาฟลูอิดเบดแบบไซโคลนเปิดชนิดหมุนวน STUDY OF EMISSIONS FROM FIRING CHOPPED COCONUT LEAF IN A TWIN-CYCLONIC FLUIDIZED-BED COMBUSTOR	209
บทความที่ 26	ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้พลังงานจากระบบไฟโตวอลเทจร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION INDEX OF FISH POND AERATOR USING POWER FROM PHOTOVOLTAIC SYSTEM COMBINED WITH GRID ELECTRICITY	215
บทความที่ 27	การศึกษาการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบประปาหมู่บ้านทุ่งยาวอำเภอสนทราย จังหวัดเชียงใหม่ THE STUDY OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM USING FOR PLUMBING SYSTEM OF THUNG YAO VILLAGE, SAN SAI DISTRICT, CHIANG MAI PROVINCE	222
บทความที่ 28	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ถ่านไม้ลำไยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา BIODIESEL PRODUCTION FROM USED COOKING OIL USING LONGAN WOOD ASH AS CATALYST	228
บทความที่ 29	ผลของอัตราการไหลและปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำที่มีต่อสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน THE EFFECT OF FLOW RATE AND WATER QUANTITY IN THE WATER STORAGE TANK ON PERFORMANCE OF NOCTURNAL WATER COOLING PRODUCTION	237
บทความที่ 30	เว็บแอปพลิเคชันสำหรับระบบเฝ้าตรวจวัดพลังงานแบบวงจรถึงบนพื้นฐาน Node.js และ Angular.js REAL-TIME APPLICATION WEB FOR ENERGY MONITORING SYSTEM BASED ON Node.js AND Angular.js	243

ผลของอัตราการไหลและปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำที่มีต่อสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็น
ภาคกลางคืน

The effect of flow rate and water quantity in the water storage tank on
performance of nocturnal water cooling production

ณรงค์ชัย คงวุฒิ

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
วิทยาลัยพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สรารัฐ พลวงษ์ศรี*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 0-533-3194
โทรสาร 0-533-3194
*Email: saravooth@hotmail.com

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการไหลของน้ำและปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำเย็นที่มีผลต่อสมรรถนะการผลิตน้ำเย็นในภาคกลางคืน โดยออกแบบชุดแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าและอากาศทำจากท่อทองแดง จำนวน 9 ท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ต่อขนานกัน มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนรวม 2.34 m² ในการทดสอบใช้ปั๊มน้ำกระแสตรงสำหรับหมุนเวียนน้ำจากถังเก็บน้ำเย็นผ่านชุดท่อทองแดงที่อัตราการไหลน้ำ 1.2 และ 3 L/min และปรับปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำเย็นที่ 100, 120 และ 140 L เพื่อผลิตน้ำเย็นในตอนกลางคืนตั้งแต่เวลา 19:00 น. จนถึง 6:00 น. จากการศึกษาพบว่า อัตราการไหลที่ 1 L/min และปริมาณน้ำที่ 140 L ให้สมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นที่ดีที่สุด โดยสามารถผลิตน้ำเย็นจากอุณหภูมิเริ่มต้น 26.9 °C จนได้อุณหภูมิน้ำเย็น 21.5 °C คิดเป็นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ในการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 7.99

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์สมรรถนะ อัตราการไหล ปริมาณน้ำในถัง การผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืน

Abstract

This research aims to study the effect of mass flow rate and water quantity on the performance of nocturnal water cooling production. The tested heat exchanger that exchanging heat to the sky and the environment was made of 9 copper tubes each having 10 mm of diameter. All tubes were connected in parallel type. The heat exchanger area was 2.34 m². In the experiment, a DC pump was used for water circulating from water storage tank through the copper tubes at 1, 2 and 3 L/min and adjusted the water quantity of 100, 120 and 140 L for cooling water production during nighttime (from 7.00 p.m. – 6.00 a.m.). From the study, it was found that at the mass flow rate of 1 L/min and the water quantity of 140 L would get the highest system performance. It could generate the cool water at 21.5 °C from the initial water temperature of 26.9 °C. The coefficient of performance (COP) of cooling water production was 7.99.

Keyword: Coefficient of performance, Flow rate, Water quantity, Nocturnal water cooling production

บทคัดย่อ

1. บทนำ

เนื่องจากการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในปัจจุบันของประเทศไทย ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานในประเทศไทยมีค่าสูงขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการค้นคว้าการทำน้ำเย็นในภาคกลางคืน (Nocturnal Water Cooling) เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานในด้าน

ต่าง ๆ เช่น การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศ การควบคุมอุณหภูมิในการพักใช้ของปลา เป็นต้น

การทำงานของระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืน ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนผ่านชุดแผงแผ่รังสี โดยการพาความร้อนสู่อากาศแวดล้อม และการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งอุณหภูมิท้องฟ้ามีค่าต่ำ เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บ และน้ำ

เย็นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการลดการใช้พลังงานในส่วนต่างๆ ได้ จึงมีงานวิจัยที่ทำน้ำเย็นในภาคกลางคืนไปใช้ประโยชน์

ชาติขันธ์ วิมลรัตน์ [1] ได้ทำการออกแบบ ทดสอบและวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีต่อสมรรถนะของระบบทำน้ำเย็นโดยวิธีการระบายความร้อนภาคกลางคืนแบบใช้เทอร์โมไฮโฟนอนเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อน แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 สถานะคือ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ทดสอบตั้งขนาด 1,440 L กับแผงแผงรังสีขนาด 2 m² และโครงการหลวงดอยอินทนนท์ทดสอบตั้งน้ำขนาด 2,662 L กับแผงแผงรังสีขนาด 4 m² สำหรับปล่อยปลาเทราท์ที่ฟาร์มและแม่พันธุ์ ผลการทดสอบพบว่าที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ การทดสอบในคาบที่ 1 สามารถลดอุณหภูมิจาก 24 °C เหลือ 17.5 °C ในระยะเวลา 185 hr มีอัตราการทำความเย็นต่อพื้นที่แผงแผงรังสีเฉลี่ย 112 W/m² การทดลองคาบที่ 2 สามารถลดอุณหภูมิจาก 27 °C เหลือ 20.7 °C ในระยะเวลา 137 ชั่วโมงอัตราการทำความเย็นต่อพื้นที่แผงแผงรังสีเฉลี่ย 98.5 W/m² ผลการทดสอบที่โครงการหลวงดอยอินทนนท์ สามารถลดอุณหภูมิจาก 21 °C เหลือ 20 °C ในระยะเวลา 37 hr มีอัตราการทำความเย็นเฉลี่ยต่อพื้นที่แผงแผงรังสีเฉลี่ย 26 W/m²

ปรารถนา วันนารี [2] นำระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืน (Nocturnal Water Cooling System, NWCS) มาใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศในอาคารที่อยู่อาศัยทั้งนี้เพื่อช่วยลดภาระโหลดความร้อนของเครื่องปรับอากาศ น้ำถ่ายโอนความร้อนจะถูกทำให้อุณหภูมิในช่วงกลางคืนและนำมาใช้ในช่วงกลางวัน อาศัยการหมุนเวียนน้ำเย็นตามธรรมชาติจากตึกน้ำภายนอกมาลดอุณหภูมิในห้องปรับอากาศในช่วงกลางวัน ดังนั้นมีการระบายความร้อนผ่านแผงแผงรังสีสู่บรรยากาศภายนอกในช่วงกลางคืน ระบบ NWCS ในงานวิจัยนี้ได้รับการออกแบบให้ประกอบด้วย (1) ตึกน้ำเย็นขนาด 180 L (2) ที่ควมแน่นร่วมกับแผงแผงรังสีแบบท่อความร้อนพร้อมครีบขนาด 2 m² (3) คอยล์เย็นขนาด 2 m² และ (4) ห้องทดสอบขนาด 3 m x 3 m x 3 m ภายใต้ภูมิอากาศของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดสอบพบว่าในช่วงการทดสอบแรกที่อุณหภูมิเริ่มเริ่มต้น 16.3 °C ระบบช่วยลดอุณหภูมิมาอยู่ที่ 14 °C (ลดลงประมาณ 2.3 °C) ในระยะเวลา 11 hr มีอัตราการทำน้ำเย็นเนื่องจากแผงแผงรังสี 36.73 W และสามารถดึงความร้อนออกจากห้องทดสอบในช่วงกลางวันด้วยอัตราการถ่ายเทความร้อน 33.58 W ทำให้อุณหภูมิห้องต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ 4.1 °C ในการทดสอบครั้งที่ 2 สามารถลดอุณหภูมิมาจก 20.4 °C เหลือ 17.1 °C (ลดลงประมาณ 3.3 °C) ในระยะเวลา 8 hr มีอัตราการทำน้ำเย็นเนื่องจากแผงแผงรังสี 81.40 W และสามารถดึงความร้อนออกจากห้องทดสอบในช่วงกลางวันด้วยอัตราการถ่ายเทความร้อน 45.76 W ทำให้อุณหภูมิห้องต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ 6.2 °C

น้ำมนต์ โชติวิตรูจ [3] ใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮโฟนอนเป็นอุปกรณ์ในการดึงความร้อนจากน้ำที่กักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเพื่อให้มีน้ำเย็นมีอุณหภูมิลดลง การผลิตน้ำเย็นจะทำในช่วงเวลาากลางคืนโดยน้ำเย็นที่ได้จะถูกนำมาใช้ในการช่วยระบายความร้อนออกจากอาคารในเวลากลางวันซึ่งมีค่าภาระความร้อนสูง ห้อง

ทดสอบขนาด 9.0 m² ซึ่งติดตั้งชุดแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดพื้นที่ 0.87 m² จำนวน 6 ชุด ถังเก็บน้ำอุณหภูมิขนาด 1.0 m³ โดยในห้องทดสอบได้มีการติดตั้งชุดลดความร้อนพร้อมชุดควบคุมอัตราการจ่ายความร้อนแบบปรับค่าได้เพื่อควบคุมอัตราการจ่ายความร้อนให้มีความอยู่ระหว่าง 500 W ถึง 2,000 W แผงแผงรังสีขนาด 6.36 m² ได้ถูกติดตั้งไว้กับหลังคาของห้องทดสอบโดยมีมุมเอียง 45 องศา กับแนวระดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถทำนายอุณหภูมิของน้ำที่กักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารได้ดี โดยสำหรับอุณหภูมิที่กักเก็บไว้ในถังเก็บน้ำที่ค่าเฉลี่ย 16.7 °C จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.6 °C และสำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารที่ค่าเฉลี่ย 23.5 °C จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.3 °C ตามลำดับ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

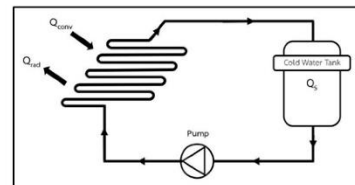
งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาอัตราการไหล และปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเย็นในภาคกลางคืนโดยการสูญเสียความร้อนสู่ท้องฟ้า และการพาความร้อนสู่อากาศแวดล้อมด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบชดข้อ

2.1 การผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อใช้ที่ของแฉงขนาดพื้นที่ 2.34 m² แสดงดังรูปที่ 1 นำน้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยมีน้ำขนาด 8 W เมื่อพิจารณาการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าและการพาความร้อนสู่อากาศแวดล้อมทำให้อุณหภูมิที่บรรจุอยู่ในถังมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งสามารถเขียนสมการพลังงานการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนของระบบได้ดังสมการที่ 1

$$Q_{\text{Stored}} = Q_{\text{conv}} - Q_{\text{rad}} \quad (1)$$

Q_{Stored} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ระบายออกจากถังน้ำเย็น (W)
 Q_{conv} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน (W)
 Q_{rad} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี (W)



รูปที่ 1 สมดุลพลังงานการผลิตน้ำเย็นภาคกลางคืนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบชดข้อ

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถังเก็บน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$Q_{\text{stored}} = \frac{M_s C_{pw} (T_s^{t+\Delta t} - T_s^t)}{\Delta t} \quad (2)$$

Q_{stored} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำ (W)
 M_S คือปริมาณน้ำในถัง (kg)
 $T_{\text{S}}^{\text{Initial}}$ คืออุณหภูมิน้ำในถังเมื่อเวลาเปลี่ยน ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{\text{S}}^{\text{Final}}$ คือ อุณหภูมิน้ำในถัง ($^{\circ}\text{C}$)
 Δt คือเวลา (s)

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนสู่อากาศแวดล้อมสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$Q_{\text{conv}} = A_{\text{th}} h_{\text{th}} (T_{\text{S}} - T_{\text{amb}}) \quad (3)$$

Q_{conv} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (W)

A_{th} คือพื้นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)
 h_{th} คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
 T_{S} คืออุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{amb} คืออุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ($^{\circ}\text{C}$)

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับอากาศแวดล้อม ในตอนกลางคืนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$h_{\text{th}} = \frac{m_{\text{W}} C_{\text{pw}} (T_{\text{fo,Hx}} - T_{\text{fi,Hx}}) + \epsilon \sigma A_{\text{th}} (T_{\text{th}}^4 - T_{\text{sky}}^4)}{A_{\text{th}} (T_{\text{th}} - T_{\text{amb}})} \quad (4)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$Q_{\text{rad}} = \epsilon \sigma A_{\text{th}} (T_{\text{th}}^4 - T_{\text{sky}}^4) \quad (5)$$

โดยที่อุณหภูมิท้องฟ้าสามารถหาได้ดังสมการที่ 6 [4]

$$T_{\text{sky}} = 0.0552 \times T_{\text{a}}^{1.5} \quad (6)$$

Q_{rad} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (W)

ϵ คือค่าสภาพการเปล่งรังสี
 σ คือค่าคงที่ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ 5.6697×10^{-8} ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)
 T_{sky} คืออุณหภูมิท้องฟ้า ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{\text{th,Hx}}$ คือน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{\text{th,Lx}}$ คือน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

ค่าสภาพการเปล่งรังสีสามารถคำนวณได้โดยพิจารณาที่เวลาที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหาได้ดังสมการที่ 7

$$\epsilon = \frac{m_{\text{W}} C_{\text{pw}} (T_{\text{fo,Hx}} - T_{\text{fi,Hx}})}{\sigma A_{\text{th}} (T_{\text{th}}^4 - T_{\text{sky}}^4)} \quad (7)$$

สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสามารถหาได้ดังสมการ 8

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{stored}}}{W_{\text{pump}}} \quad (8)$$

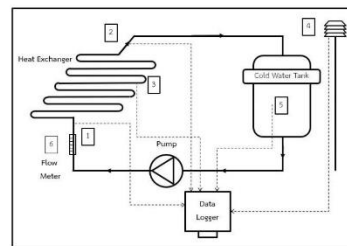
COP คือ สมรรถนะในการผลิตน้ำเย็น
 W_{pump} คือพลังงานไฟฟ้าของปั๊มน้ำ (W)

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการผลิตน้ำเย็นด้วยการแผ่รังสีและการพาความร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ขนาดพื้นที่ 2.34 m^2 โดยใช้ปั๊มน้ำ DC 12 V ขนาด 8 W บำบัดน้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหล 1.2 และ 3 L/min และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำในถัง 100 120 และ 140 L โดยตั้งอุณหภูมิอย่างคืดเพื่อหาอัตราการไหลและปริมาณน้ำที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งชุดทดสอบ



รูปที่ 3 ไดอะแกรมและการตรวจวัดของระบบ

จากรูปที่ 3 แสดงการเก็บข้อมูลเพื่อวัดและบันทึกผลจุดต่าง ๆ วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type-K ได้แก่อุณหภูมิน้ำขาเข้า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน(จุด 1) อุณหภูมิน้ำขาออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน(จุด 2) อุณหภูมิอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน(จุด 3) อุณหภูมิแวลวลิ้ม(จุด 4) อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน(จุด 5) ต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล Data logger และคอมพิวเตอร์ วัดอัตราการไหลของน้ำโดยใช้ Rotameter(จุด 6) (Resolution $\pm 1\%$ L/min)

ในการทดสอบใช้ข้อมูลเดือน พฤศจิกายน 2561 เริ่มต้นตั้งแต่เวลา 19:00 – 6:00 น. สถานที่ทดสอบ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

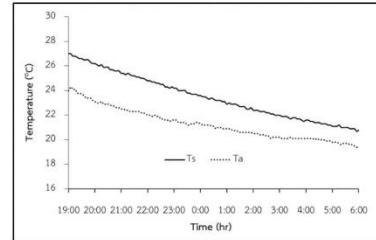
4. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลของอัตราการไหลต่ออุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้

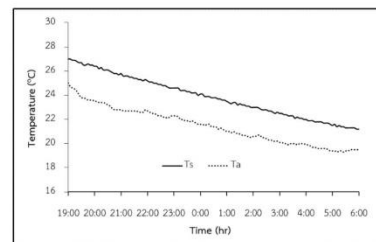
จากรูปที่ 4 เป็นผลการทดสอบการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลที่ 1, 2 และ 3 L/min เข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตน้ำเย็นโดยการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีของฟ้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อน้ำเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยให้ลดอุณหภูมิของน้ำ ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำในถังสะสมลดลงไปเรื่อย ๆ โดยใช้ปริมาณน้ำ 120 L ทุกอัตราการไหล

กรณีทดสอบที่อัตราการไหล 1 L/min อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 27 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 6.2 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 20.8 °C โดยมีอุณหภูมิแวลวลิ้มเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 24 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.3 °C แสดงดังรูปที่ 4(ก) กรณีทดสอบที่อัตราการไหล 2 L/min อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 27 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 5.8 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 21.2 °C โดยมีอุณหภูมิแวลวลิ้มเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 24 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.5 °C แสดงดังรูปที่ 4(ข) กรณีทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น 26.8 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 5.9 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 20.9 °C โดยมีอุณหภูมิแวลวลิ้มเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 23.5 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.2 °C แสดงดังรูปที่ 4(ค)

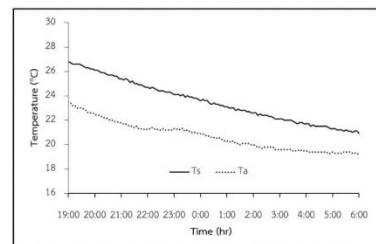
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ ณ ที่เวลา 6:00 น. พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ 1, 3 และ 2 L/min ตามลำดับ



(ก) อัตราการไหล 1 L/min



(ข) อัตราการไหล 2 L/min



(ค) อัตราการไหล 3 L/min

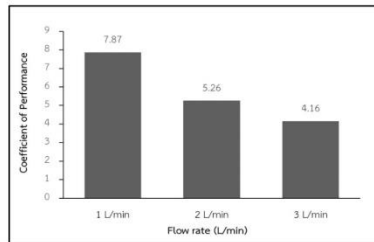
รูปที่ 4 ผลของอัตราการไหลที่ส่งผลต่ออุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้

4.2 ผลของอัตราการไหลต่อสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็น

การทดสอบการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลที่ 1, 2 และ 3 L/min เพื่อหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ปริมาณน้ำ 120 L ทุกอัตราการไหล พบว่ากรณีทดสอบอัตราการไหลที่ 1, 2 และ 3 L/min ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 7.87, 5.26 และ 4.16 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำที่อัตราการไหล 1, 2 และ 3 L/min มีค่าเท่ากับ 10,551.24, 9,713.84 และ 9,881.32 W ตามลำดับ

จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ได้แก่ 1.2 และ 3 L/min ตามลำดับ เนื่องจากงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการไหลที่ 1 มีค่าน้อยที่สุดจึงได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นมีค่ามากที่สุด



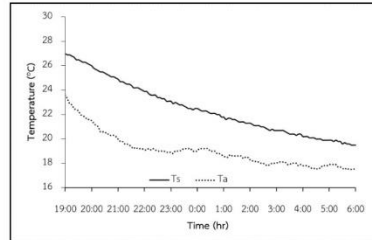
รูปที่ 5 ผลของอัตราการไหลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็น

4.3 ผลของปริมาณน้ำต่ออุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้

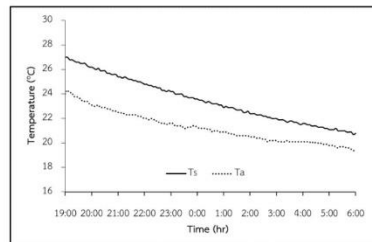
จากรูปที่ 6 เป็นผลการทดสอบการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ 100 120 และ 140 L เข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตน้ำเย็นโดยการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีของพื้นผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อน้ำเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยให้ลดอุณหภูมิของน้ำ ส่งผลให้อุณหภูมิในถังสะสมลดลงไปเรื่อย ๆ โดยใช้อัตราการไหลที่ 1 L/min ทุกปริมาณน้ำ

กรณีทดสอบที่ปริมาณน้ำ 100 L อุณหภูมิในถังเริ่มต้น 27 °C สามารถลดอุณหภูมิในถังได้ 7.5 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิในถังที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 19.5 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 23.6 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 17.6 °C แสดงดังรูปที่ 6(ก) กรณีทดสอบที่ปริมาณน้ำ 120 L อุณหภูมิในถังเริ่มต้น 27 °C สามารถลดอุณหภูมิในถังได้ 6.3 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิในถังที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 20.8 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 24 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.3 °C แสดงดังรูปที่ 6(ข) กรณีทดสอบที่ปริมาณน้ำ 140 L อุณหภูมิในถังเริ่มต้น 26.9 °C สามารถลดอุณหภูมิในถังได้ 5.4 °C ต่อคืน จนเหลืออุณหภูมิในถังที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 21.5 °C โดยมีอุณหภูมิแวดล้อมเริ่มต้นที่ 19:00 น. เท่ากับ 23.5 °C และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 6:00 น. 19.5 °C แสดงดังรูปที่ 6(ค)

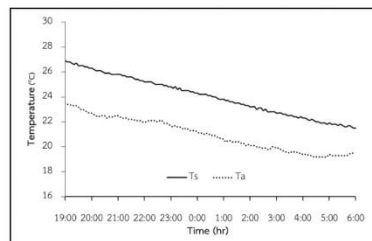
จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะอุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ ณ ที่เวลา 6:00 น. พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ได้แก่ 1.2 และ 3 L/min ตามลำดับ



(ก) ปริมาณน้ำ 100 L



(ข) ปริมาณน้ำ 120 L



(ค) ปริมาณน้ำ 140 L

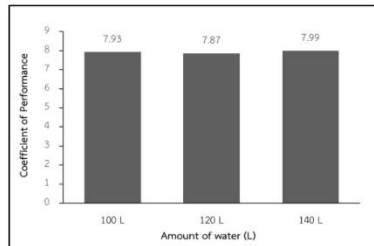
รูปที่ 6 ผลของปริมาณน้ำที่ส่งผลต่ออุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้

4.4 ผลของปริมาณน้ำต่อสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็น

การทดสอบการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ 100 120 และ 140 L เพื่อหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้อัตราการไหล 1 L/min ทุกปริมาณน้ำ พบว่ากรณีทดสอบปริมาณน้ำที่ 100 120 และ 140 L ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 7.92 7.86 และ 7.99 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 7

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของน้ำที่ระบายออกจากถังเก็บน้ำที่ปริมาณน้ำ 100 120 และ 140 L มีค่าเท่ากับ 10,467.50 10,551.24 และ 10,551.24 W ตามลำดับ

จากข้อมูลเมื่อพิจารณาในส่วนเฉพาะสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำเย็นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ 140 100 และ 120 L/min ตามลำดับ



รูปที่ 5 ผลของปริมาณน้ำต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็น

5. สรุป

จากการศึกษาใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อเพื่อผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนช่วงเวลา 19:00 – 6:00 น. โดยการพาความร้อนของน้ำสู่อากาศแวดล้อมและการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าพบว่าที่อัตราการไหล 1 L/min และปริมาณน้ำที่ 140 L เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตน้ำเย็นในภาคกลางคืน สามารถผลิตน้ำเย็นที่เวลา 6:00 น. เท่ากับ 21.5 °C โดยมีอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 26.9 °C สามารถลดอุณหภูมิน้ำลงได้ 5.4 °C ต่อคืน และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของน้ำที่ระบายออกจาดังเก็บน้ำเท่ากับ 10,551.24 W สัมประสิทธิ์สมรรถนะการผลิตน้ำเย็นเท่ากับ 7.99

รายการสัญลักษณ์และตัวย่อ

ตัวย่อ

- Q Heat transfer rate (W)
- A Area (m²)
- m Flow rate (kg/s)
- C_s Specific heat (J/kg·K)
- T Temperature (°C)
- Δt Time (s)
- M Mass (kg)
- h Heat transfer coefficient (W/m²·K)

ตัวห้อย

- conv Convection
- rad Radiation
- w Water
- fo,Hx Fluid outlet heat Exchanger
- fi,Hx Fluid inlet heat Exchanger
- s Storage

- Hx Heat Exchanger
- a Ambient

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางพลังงานทดแทนในระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2559 จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2560 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.) จากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (SEE-U) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในทุกด้าน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาคิมฐี วิมลรัตน์. 2547. การทำน้ำเย็นโดยวิธีระบายความร้อนภาคกลางคืนสำหรับบ่อปลาเหราห์ในช่วงพักไข่, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] ประรณนา วันนารี. 2550. การทำน้ำเย็นภาคกลางคืนเพื่อลดภาระความเย็นเครื่องปรับอากาศ, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] น้ามนต์ โชติวิศุทธิ์. 2552. การผลิตน้ำเย็นโดยกระบวนการทำน้ำเย็นภาคกลางคืนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] Kaushik S.C., R.R., and Manikandan S., An innovative thermodynamic model for performance evaluation of photovoltaic system: Effect of wind speed and cell temperature. Energy Conversion and Management, 2017: p. 152-160.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายณรงค์ชัย คงวุฒิ
เกิดเมื่อ 4 ตุลาคม 2536
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2559 ปริญญาตรี สาขาพลังงานทดแทน
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่
พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวาริชเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่
Email: Narongchai3334@gmail.com

