



การประเมินสมรรถนะโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ในกรณีที่มีและไม่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ

Performance Assessment of Rooftop Solar Cell Module with and without Air Cooling

ธนัญญ์ ลังกาดี และ อรรถกร อาสนคำ

Thananat Lungkadee and Attakorn Asanakham

หน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง เชียงใหม่ 50200

Thermal System Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering,

Faculty of Engineering, Chiang Mai University

239 HuayKaew Road, Suthep, Muang District, Chiang Mai, 50200

E-mail: attakorn_asanakham@hotmail.com

Telephone Number: 0918580668, 0924590550

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะศึกษาสมรรถนะของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยในการศึกษาจะใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 0.99 เมตร x 1.96 เมตรสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 250 วัตต์ตามมาตรฐานการทดสอบสากลแต่ในสภาวะการทำงานจริงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของโมดูลสูงขึ้น การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาในกรณีที่มีและไม่มี การเป่าระบายความร้อนที่บริเวณด้านหลังของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจากการทดสอบพบว่า การเป่าอากาศระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด 10°C และผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจาก 187.9 วัตต์เป็น 220.95 วัตต์หรือเพิ่มขึ้น 17.59 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาโมเดล เพื่อนำไปใช้ประเมินปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดทั้งปีของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ในกรณีที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการระบายความร้อนปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่า 229.41 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และในกรณีที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีการระบายความร้อนโดยกรณีใช้งานพัฒนาระบายอากาศตลอดในช่วงเวลา 09.00-16.00น. มีค่าเท่ากับ 243.32kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีเปิดพัดลมเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 950 W/m² มีค่าเท่ากับ 234.64kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีกว่าโมดูลแบบปกติ

คำสำคัญ: โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา, อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, การระบายความร้อนด้วยอากาศ, ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

ABSTRACT

This paper studied performance of rooftop solar cell module. The solar cell module was a polycrystalline unit having a size of 0.99 m x 1.99 m with a maximum generated electrical power of 250 W under standard test condition. In a real practice, the performance of solar cell module dropped down when the module temperature increased. In this study, the experiment was performed with and without air cooling at the back of the module where a set small fans was installed to reduce the solar cell module temperature. It was found that the module temperature could be reduced 10°C and the electrical power generation was increased from 187.9 W to be 220.95 W or 17.59% enhancement at the solar radiation of around 1,000 W/m².

With a developed model, the electrical power generation throughout the year of the non-cooling solar rooftop module was found to be 229.41 kWh/y per module. With air cooling, for continuous cooling during 9 a.m. to 4 p.m. and for cooling when the solar radiation was over 950 W/m², the annual electrical power generations were 243.32 kWh/y and 234.46 kWh/y per module, respectively, which were higher than that of the normal one.

Keyword: Solar rooftop, Solar cell module temperature, Air-cooling, Power generation efficiency

1. บทนำ

ประเทศไทยอยู่ในเขตพื้นที่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตร จึงมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ ก่อนข้างสูงปริมาณรังสีรวมของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ประเทศไทยพบว่ามีค่ารังสีอาทิตย์สูงถึง 18 MJ/m²-day[1] และปัจจุบันประเทศไทยมีการติดตั้งและลงทุนทางด้านพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องประกอบกับราคาของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีราคาลดลงอย่างมาก

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะระบุความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 W/m² อุณหภูมิโมดูล 25°C เช่น โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.9 m x 0.9 m มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 250 W_p แต่ในการใช้งานจริงเมื่อมีรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้อุณหภูมิของโมดูลสูงขึ้นตามความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโมดูล และในกรณีที่ติดตั้งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศที่ร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในการติดตั้งกลางแจ้ง เช่นแบบโซลาร์ฟาร์ม อาจสูงได้ถึง 60°C และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโมดูลทำให้ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าลดลงได้ถึง 10% [2] จากผลที่เกิดขึ้น ได้มีการหาวิธีการลดอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ เช่นการใช้น้ำไหลผ่านด้านหลัง

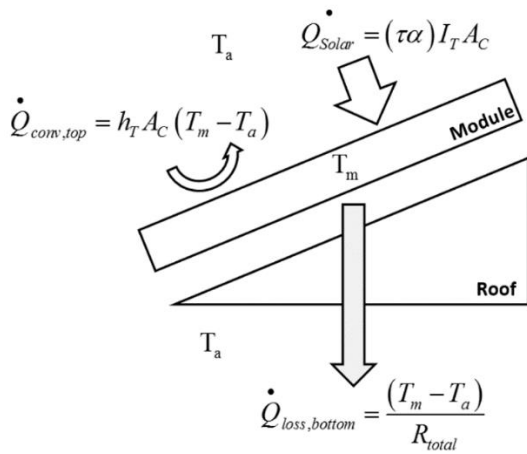
โมดูลเพื่อควบคุมอุณหภูมิของโมดูล และผลิตน้ำร้อนด้วย [3-4] การใช้สารเปลี่ยนสถานะติดตั้งบริเวณด้านหลังโมดูล [5] และการใช้อากาศเป่าระบายความร้อนบริเวณด้านหลังโมดูล [2, 6] เป็นต้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

สำหรับการติดตั้งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา การระบายความร้อนจากโมดูลจะทำให้ยากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิโมดูลสูงขึ้นไปอีกซึ่งยังไม่มีรายงานผลการศึกษาศมรรถนะการทำงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ สำหรับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจะพิจารณา ในกรณีที่ติดตั้งและไม่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศบริเวณด้านหลังโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์โดยศึกษาภายใต้สภาวะภูมิอากาศของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

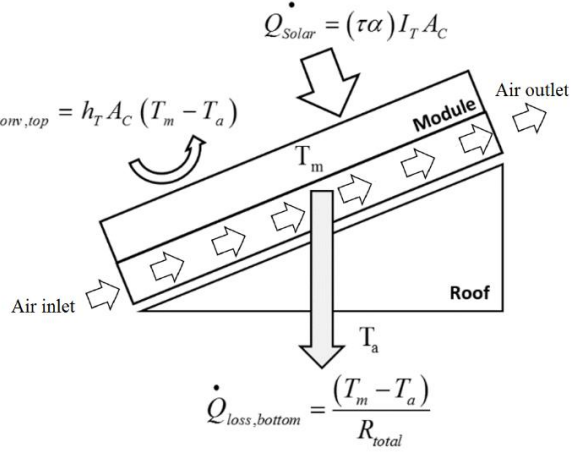
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้า เมื่อมีรังสีอาทิตย์ที่มีความเข้มที่สูงพอมาตกกระทบบนแผ่นโมดูล โดยอิทธิพลที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ อุณหภูมิอากาศโดยรอบ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งอิทธิพลจากตัวแปรเหล่านี้จะทำให้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น สมดุลความร้อนที่เกิดขึ้นบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจะแสดงได้ดังรูปที่ 1



(ก) กรณีที่ไม่มีเป่าอากาศระบายความร้อน



(ข) กรณีที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อน

รูปที่ 1 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนของโมดูลที่ติดตั้งบนหลังคา ในกรณีที่มีและไม่มีลมเป่าอากาศระบายความร้อน ด้านหลัง โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 1(ก) และ 1 (ข) แสดงสมดุลพลังงานความร้อนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ในรูปแบบปกติและแบบที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อนที่ด้านหลังโมดูลตามลำดับ พลังงานจากรังสีอาทิตย์ (I_T) เมื่อตกกระทบบนด้านหน้าโมดูล รังสีส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิโมดูลสูงขึ้น มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิโมดูลและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศบริเวณด้านหน้า ($\dot{Q}_{loss,top}$) รวมถึงอัตราการความร้อนสูญเสียทางด้านหลังของโมดูล ($\dot{Q}_{loss,bottom}$) ทั้งนี้ อัตราการถ่ายเทความร้อนในส่วนต่างๆ จะแสดงรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

อัตราพลังงานจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{solar} = I_T A_C (\tau\alpha) \quad (1)$$

อัตราการความร้อนที่สูญเสียจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ด้านหน้าและด้านหลังของโมดูล จะคำนวณได้จาก

ด้านหน้า:

$$\dot{Q}_{loss,top} = h_T A_C (T_m - T_a) \quad (2)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนบริเวณด้านหน้าของโมดูล h_T สามารถคำนวณได้จาก [7]

$$h_T = 2.8 + 3v \quad (3)$$

v คือความเร็วของอากาศเฉลี่ยที่ไหลผ่านหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ในที่นี้ใช้ค่า 1.4 m/s ซึ่งเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของความเร็วลมบริเวณผิวพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และอยู่ในเขตเมือง [1]

ด้านหลัง:

$$\dot{Q}_{loss,bottom} = \frac{(T_m - T_a)}{R_{total}} \quad (4)$$

จากสมการ (1, 2 และ 4) สมดุลพลังงานความร้อนในกรณีที่ไม่มีพิจารณาความร้อนสะสมในโมดูล สามารถจัดรูปได้เป็น

$$I_T A_C (\tau\alpha) = h_T A_C (T_m - T_a) + \frac{(T_m - T_a)}{R_{total}} \quad (5)$$

ค่าความต้านทานทางความร้อน (R_{total}) จะพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนนับจากอุณหภูมิของโมดูลมาถึงอุณหภูมิของอากาศใต้ฝ้าเพดานหลังคา ซึ่งมีความซับซ้อนค่อนข้างมาก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะหาค่าความต้าน

ทางความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ทั้งในกรณีที่ไม่มี การเป่าอากาศระบายความร้อน ($R_{total,non-cooling}$) ได้ ดังต่อไปนี้

กรณีที่ไม่มีการเป่าอากาศระบายความร้อน

$$R_{total,non-cooling} = \frac{1}{\left[\frac{I_T A_C (\tau\alpha)}{(T_m - T_a)} \right] - h_T A_C} \quad (6)$$

ส่วนกรณีที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อน ค่าความต้าน ทางความร้อน ($R_{total,cooling}$) ที่เกิดขึ้น สามารถหาได้จาก

$$R_{total,cooling} = \frac{1}{h_B A_C} \quad (7)$$

โดย h_B จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศที่ระบายความร้อนได้โมดูล ดังนี้

$$h_B = + \frac{(\dot{m}Cp)_a (T_{ao} - T_a)}{A_C (T_m - T_a)} \quad (8)$$

ค่าของ ($R_{total,cooling}$) และ ($R_{total,non-cooling}$) จากการทดลอง ตามสมการที่ (5) พบว่า มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมาก ตลอดทั้งวันโดยพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.26 \pm 0.06^\circ\text{C/W}$ และ $0.039 \pm 0.006^\circ\text{C/W}$ ตามลำดับ ทั้งในวันที่อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมมีค่าสูง และต่ำ

ในส่วนของการหาค่าอุณหภูมิของโมดูล (T_m) สามารถหาได้จากการจัดรูปสมการที่ (5) ดังนี้

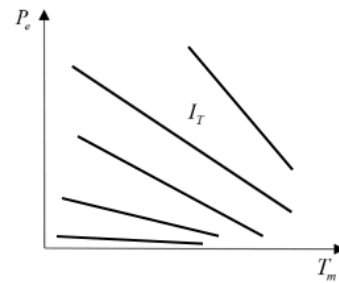
$$T_m = T_a + \frac{I_T A_C (\tau\alpha)}{h_T A_C + \frac{1}{R_{total}}} \quad (9)$$

2.2 การประเมินกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

สมการที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการทำนาย กำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของ ความเข้มของรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิโมดูลซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_e = f[I_T, T_m] \quad (10)$$

ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มของรังสี (I_T) และการลดลงของอุณหภูมิของอุณหภูมิโมดูล (T_m) ซึ่งจะมีผลของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_a) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในงานวิจัยของอรรถกร อาสนคำและคณะ (2558)[2] ได้ทดสอบสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของโมดูล จะแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิโมดูลและความเข้มรังสีอาทิตย์ต่าง ๆ [2]

ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจจัดอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$P_e = a + bI_T + cI_T^2 + dT_m + eI_T T_m + fI_T^2 T_m \quad (11)$$

ค่า a-f เป็นค่าคงที่ จะเห็นได้ว่า ถ้าสามารถกำหนดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของโมดูลจะสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

2.3 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า

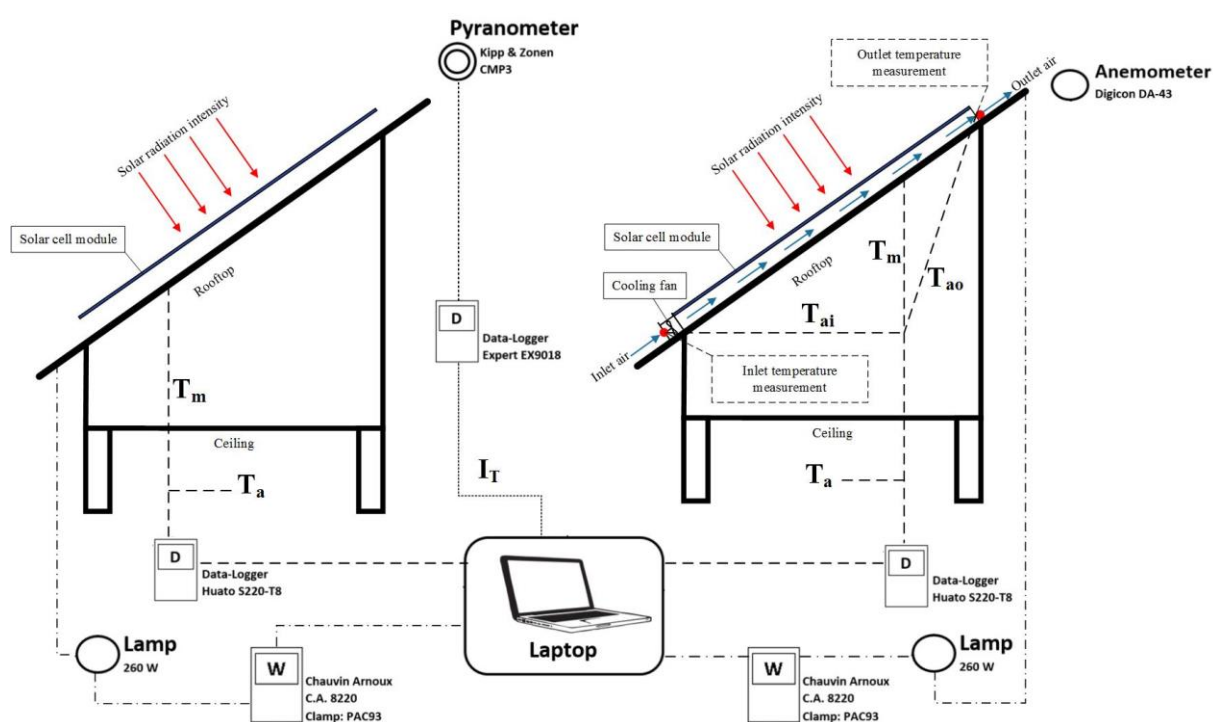
สมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า หาได้จากประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงกับพลังงานจากความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับแสงของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\eta_e = \frac{P_e}{I_T A_C} \quad (12)$$

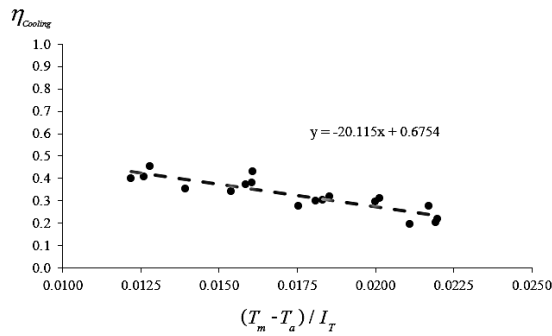
3. วิธีดำเนินการวิจัย

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบ โพลี คริสตัลไลน์ ซึ่งมีขนาด 0.99 m x 1.96 m โดยมี กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดตามค่าทดสอบมาตรฐานสากลที่ 250 W_p สำหรับในงานวิจัยนี้ จะติดตั้งโมดูลเซลล์

แสงอาทิตย์บนหลังคา 2 โมดูล สำหรับกรณีที่มีและไม่มี การเป่าอากาศระบายความร้อนผ่านช่องด้านหลังโมดูล โดยโมดูลที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อนจะมีการ ติดพัดลมขนาด 12 VDC 0.2 A จำนวน 10 ตัว ให้เต็ม ตลอดความกว้างของแผงโมดูลชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 มีการวัดอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และอากาศขา เข้าและออกช่องใต้โมดูล รวมถึงความเร็วของอากาศที่เป่า ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 รายละเอียดของชุดทดสอบ

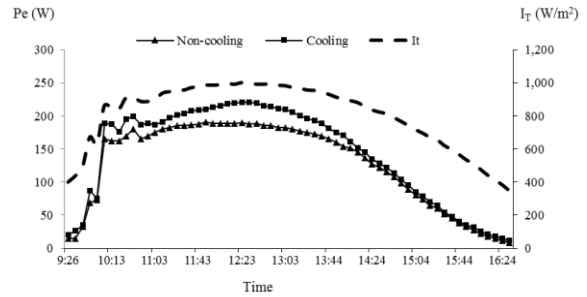


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\eta_{cooling}$ กับ $\frac{(T_m - T_a)}{I_T}$

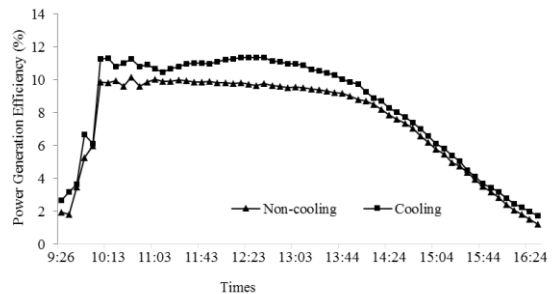
สำหรับโมดูลที่ใช้ทดสอบ จากรูปที่ 5 พบว่า ค่าการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสี ($\tau\alpha$) มีค่าเท่ากับ 0.6754 และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านหน้าโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (h_f) มีค่าเท่ากับ $20.115 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ โดยค่าดังกล่าวจะถูกใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

4.2 การทดสอบความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ระหว่างกรณีที่มีและไม่มีการเป่าระบายความร้อนด้วยอากาศบริเวณด้านใต้โมดูล

การทดสอบเปรียบเทียบผลกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ ในกรณีที่มิมีและไม่มีการเป่าอากาศระบายความร้อน โดยกรณีที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อน ค่าความเร็วลมเฉลี่ยตรงทางออกมีค่า 3.2 m/s จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถเพิ่มขึ้นจากค่าสูงสุดที่ 187.9 W เป็น 220.95 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ $1,000 \text{ W/m}^2$ ดังแสดงในรูปที่ 6 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบในเชิงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น 17.59% ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการทดสอบโดยเปรียบเทียบ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ระหว่างกรณีที่มีและไม่มีการเป่าระบายความร้อนด้วยอากาศใต้โมดูล (วันที่ทดสอบ 16/10/58)

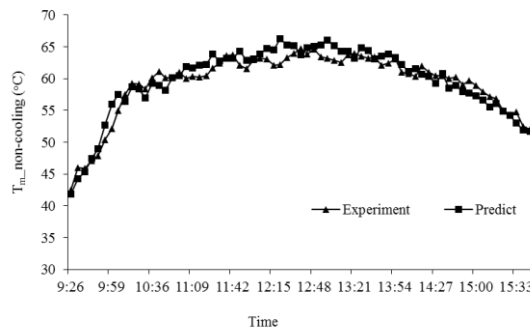


รูปที่ 7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ระหว่างกรณีที่มีและไม่มีการเป่าระบายความร้อนด้วยอากาศบริเวณด้านใต้โมดูล (วันที่ทดสอบ 16/10/58)

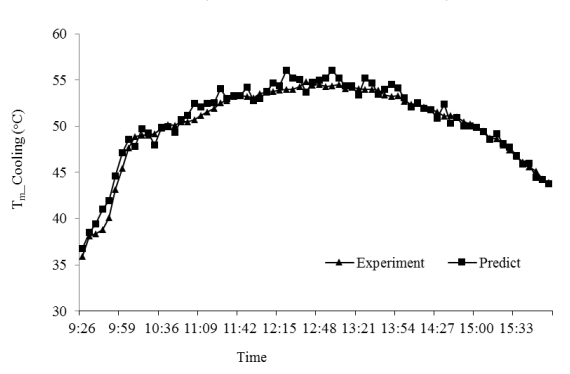
ระบบการเป่าระบายความร้อนด้วยอากาศ จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายแก่พัดลมดูดอากาศ เท่ากับ 21.6 W จากข้อมูลข้างต้นชี้ให้เห็นว่า การระบายความร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า แต่ขณะเดียวกันจะมีการใช้ไฟฟ้าส่วนหนึ่งจ่ายให้แก่พัดลม ซึ่งกำลังไฟฟ้าสุทธิที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และหักกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่พัดลม จะมีค่าสูงกว่าในรูปแบบกรณีปกติ ก็ต่อเมื่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสูง จากการสังเกตข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การระบายความร้อนโดยการเป่าอากาศจะให้ผลการผลิตไฟฟ้าสุทธิสูงกว่ารูปแบบปกติ เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สูงเท่านั้น 950 W/m^2 การใช้พัดลมที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อเป่าอากาศระบายความร้อน จึงมีความจำเป็นด้วย

4.3 การทำนายอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

การทำนายอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จะใช้ค่า $\tau\alpha$ และ h_T ที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.1 มาแทนลงในสมการที่ 9 ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีการระบายความร้อน ซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 8 และ 9 โดยแยกเป็นกรณีวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและวันที่มีเมฆมาก ตามลำดับ

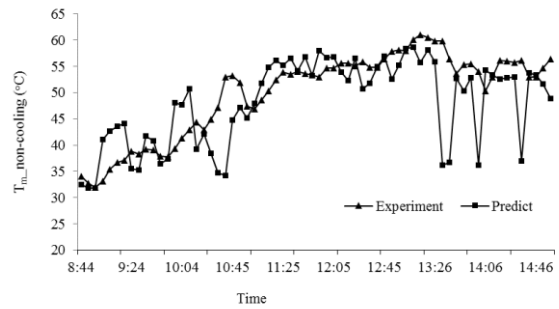


(ก.) ไม่มีการเป่าอากาศระบายความร้อนในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (วันที่ทดสอบ 16/10/58)

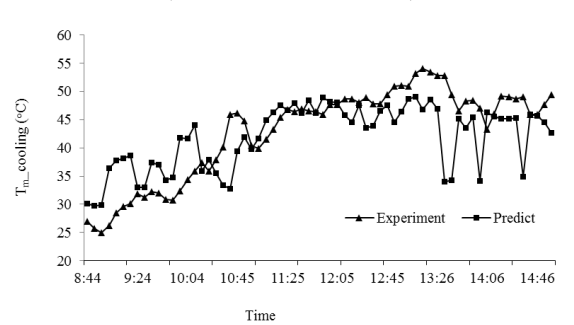


(ข.) มีการเป่าอากาศระบายความร้อน ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (วันที่ทดสอบ 16/10/58)

รูปที่ 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิโมดูลระหว่างการทดสอบจริงกับการคำนวณ ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส



(ก.) ไม่มีการระบายความร้อนในวันที่มีเมฆมาก (วันที่ทดสอบ 14/01/59)

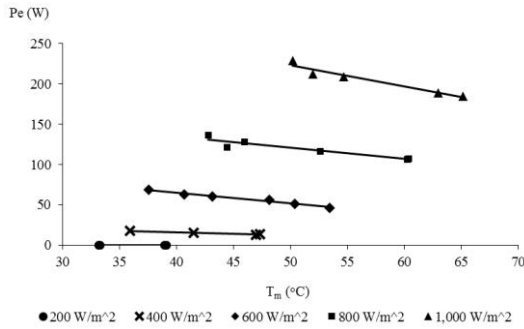


(ข.) มีการระบายความร้อน ในวันที่มีเมฆมาก
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิโมดูลระหว่างการทดสอบจริงกับการคำนวณ ในวันที่มีเมฆมาก (วันที่ทดสอบ 14/01/59)

จากรูปที่ 9-10 พบว่า อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ ในกรณีวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส มีค่าที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับค่าที่ได้จากการทดลองโดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 10% ส่วนในวันที่มีเมฆมากก็ยังคงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองซึ่งแสดงว่าโมเดลที่พัฒนา สามารถนำไปใช้ในการทำนายอุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้

4.4 การประเมินกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบจะถูกนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่ตกบนระนาบโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของโมดูล ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 11

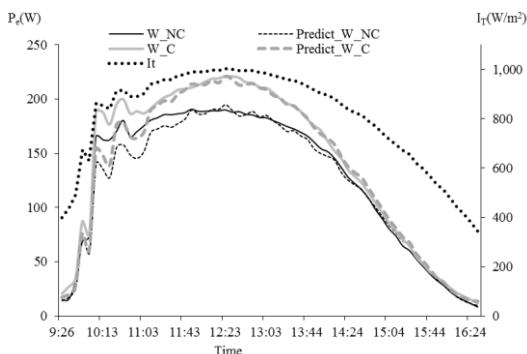


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างๆ ในวันที่ทำการทดสอบ

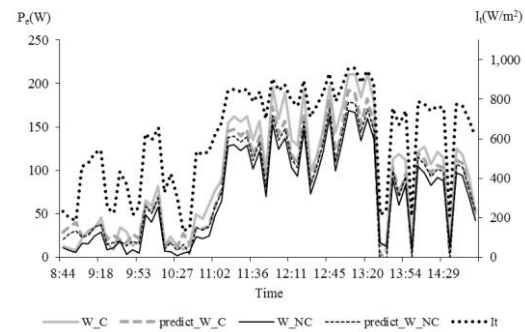
จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 11 สามารถนำมาสร้างสมการตามรูปแบบของสมการที่ 5 ได้ดังนี้

$$P_e = 179.82 - 0.737I_T + 0.00089I_T^2 - 3.006I_T m + 0.01075I_T T_m - 1 \times 10^{-5} I_T^2 T_m \quad (14)$$

จากสมการที่ 14 เมื่อกำหนดอุณหภูมิโมดูล และความเข้มรังสีอาทิตย์ จะสามารถประเมินกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 12 ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งจะเห็นว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสมการ จะมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ และในรูปที่ 13 ซึ่งเป็นวันที่มีเมฆมาก ผลจากการคำนวณ ก็ยังคงมีค่าแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลการทดสอบ



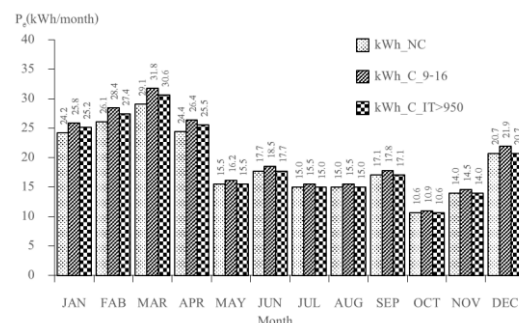
รูปที่ 12 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับการคำนวณกรณีในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (วันที่ทดสอบ 16/10/58)



รูปที่ 13 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับการคำนวณ กรณีในวันที่มีเมฆมาก (วันที่ทดสอบ 14/01/59)

4.5 การประเมินกำลังไฟฟ้าตลอดปีจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

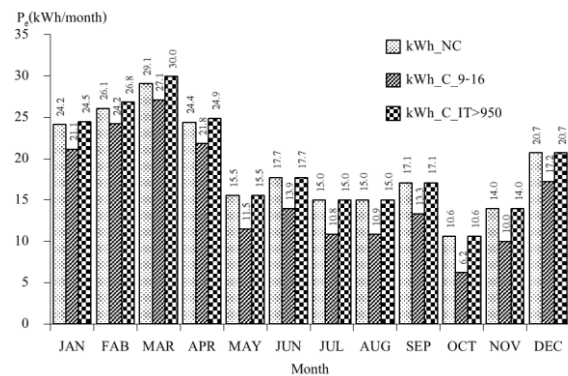
การประเมินกำลังไฟฟ้าจากแบบจำลองข้างต้น พบว่า มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบจริง โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งแบบจำลองข้างต้นจะถูกนำไปใช้คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโมดูลตลอดทั้งปี ภายใต้สภาพภูมิอากาศของเชียงใหม่ โดยใช้ค่าตัวแทนของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมในแต่ละเดือน [1, 9] ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแต่ละเดือน จะพิจารณา 3รูปแบบ ได้แก่ กรณีที่ไม่มีการเป่าอากาศระบายความร้อน กรณีที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อนตลอดเวลา และกรณีที่เป่าอากาศระบายความร้อนช่วงที่ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงกว่า 950 W/m^2 ซึ่งผลดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน ภายใต้สภาพภูมิอากาศของเชียงใหม่

จากรูปที่ 14 พบว่า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดปีนั้น ในกรณีที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการระบายความร้อนมีค่าเท่ากับ 229.41 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และในกรณีที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีการระบายความร้อน โดยกรณีใช้งานพัดลมระบายอากาศตลอดทั้งวัน ช่วงเวลา 09.00-16.00 น. มีค่าเท่ากับ 243.32 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีเปิดพัดลมเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 950 W/m² ซึ่งจะเกิดในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ของเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน มีค่าเท่ากับ 234.46 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการคิดค่ากำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ โดยมีการนำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูล มาหักกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่พัดลมออกไป รูปที่ 15 พบว่า กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนในใช้งานพัดลมระบายอากาศตลอดทั้งวัน ช่วงเวลา 09.00-16.00 น. จะมีค่าลดลงเหลือ 188.1 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีเปิดพัดลมเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 950 W/m² จะมีค่าลดลงเหลือ 231.9 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะเห็นว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเปิดใช้งานพัดลมระบายอากาศตลอดทั้งวัน จะทำให้กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้นั้นมีค่าต่ำกว่า โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนแต่เมื่อเลือกเปิดพัดลมเพื่อลมระบายอากาศในช่วงที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ มากกว่า 950 W/m² สามารถให้กำลังไฟฟ้าสุทธิมากกว่าแบบปกติ ดังนั้นในการเลือกวิธีนี้ พัดลมที่ใช้ในการเป่าอากาศระบายความร้อน ควรจะเลือกหาชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 15 กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน (หักลบกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลม) ภายใต้สภาพภูมิอากาศของเชียงใหม่

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโมดูลที่ติดตั้งบนหลังคา นั้น คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของโมดูล เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น หรืออุณหภูมิของโมดูลมีค่าลดลง จะทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม รวมถึงลักษณะการติดตั้งโมดูล โดยเฉพาะถ้ามีการติดตั้งบนหลังคา การเป่าอากาศระบายความร้อนด้านหลังโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิของโมดูลได้สูงสุดถึง 10°C และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดจาก 187.90 W เป็น 220.95 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ ประมาณ 1,000 W/m² หรือมีประสิทธิภาพสูงสุดเพิ่มขึ้นได้อีก 17.59%

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อหาสมรรถนะโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยมีการเป่าอากาศระบายความร้อน ที่ด้านหลังของโมดูล ภายใต้สภาพภูมิอากาศของ จังหวัดเชียงใหม่ ผลของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบ แบบจำลองดังกล่าวเมื่อนำมาวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าตลอดปี พบว่า กรณีใช้งานพัดลมระบายอากาศตลอดทั้งวัน ช่วงเวลา 09.00-16.00 น. มีค่าเท่ากับ 243.32 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีเปิดพัดลมเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 950 W/m² ซึ่งจะเกิดในช่วงเวลา

11.00-12.00 น. ของเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน มีค่าเท่ากับ 234.46 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ เทียบกับ 229.41 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบปกติ เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนในใช้งานพัฒมระบายอากาศตลอดทั้งวัน ช่วงเวลา 09.00-16.00 น. จะมีค่าลดลงเหลือ 188.1 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์และกรณีเปิดพัฒมเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 950 W/m^2 จะมีค่าลดลงเหลือ 231.9 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ดังนั้น พัฒมที่ใช้ในการเป่าอากาศระบายความร้อน ควรจะเลือกหาชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการทำงานได้ดีขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านพลังงานหมุนเวียน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (COE) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

รายการสัญลักษณ์

$\tau\alpha$	คือ ค่าการสะท้อนของแสง และค่าการดูดกลืนแสง
$\eta_{cooling}$	คือ ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนทางด้านใต้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
η_e	คือ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์
h_T	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านบนของโมดูล ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
T_m	คือ อุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
R_{total}	คือ ความต้านทานทางความร้อน ($^{\circ}\text{C/W}$) จากอุณหภูมิโมดูล ถึงอุณหภูมิใต้ฝ้าหลังคา ($^{\circ}\text{C}$)
$R_{total,non-cooling}$	คือ ความต้านทานทางความร้อน ($^{\circ}\text{C/W}$) จากอุณหภูมิโมดูล ถึงอุณหภูมิใต้ฝ้าหลังคา ($^{\circ}\text{C}$) กรณีที่ไม่มีการเป่าอากาศระบายความร้อนได้โมดูล
$R_{total,cooling}$	คือ ความต้านทานทางความร้อน ($^{\circ}\text{C/W}$) จากอุณหภูมิโมดูล ถึงอุณหภูมิใต้ฝ้าหลังคา ($^{\circ}\text{C}$) กรณีที่มีการเป่าอากาศระบายความร้อนได้โมดูล
P_e	คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W)
I_T	คือ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)
A_c	คือ พื้นที่รับแสงด้านหน้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
v	คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่เคลื่อนผ่านหน้าโมดูล (m/s)
$\dot{m}$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
C_p	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kg/s)
ΔT	คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออกได้โมดูล ($^{\circ}\text{C}$)
h_B	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศที่ระบายความร้อนได้โมดูล ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)

เอกสารอ้างอิง

- [1] เสริม จันทร์ฉาย. รางสีอาทิตย์. บริษัทเพชรเกษมพรีนติ้ง กรุ๊ป จำกัด, 2557.
- [2] อรรถกร อาสนคำ, อิศระพงศ์ กันธิยะ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การทำนายสมรรถนะ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ภายใต้การทำงานจริง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2558; 22 (3): 88-94.
- [3] Wilson, E. Theoretical and operational thermal performance of a wet crystalline silicon PV module under Jamaican conditions. *Renewable Energy*, 2009; 34: 1655–1660.
- [4] ญัฐนี วรรณ, วิภาวดี วงษ์สุวรรณ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การพัฒนาระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในประเทศไทย. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2552; 16 (2): 55-69.
- [5] Sun, V., Deethayat, T., Asanakham, A. and Kiatsiriroat, T. Numerical and experimental studies on phase change material for reducing PV module temperature. The International Conference on Advanced Manufacturing Technology and Applied Energy 2016 (AMTAE 2016), August 22-23, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2016.
- [6] Teo, H. G., Lee, P. S. and Hawlader, M. N. A. An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 2012; 90: 309–315.
- [7] Duffie, J. A. and Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, 1991.
- [8] ชุติศักดิ์ ชาญแสนะ, เสริมฐ์ สัมภักดิ์ทะกุล, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ อติพงศ์ นันทพันธุ์. การศึกษาสมรรถนะการผลิต น้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนแสงอาทิตย์ที่มีหลังคาอลูมิเนียมเป็นตัวเก็บรังสี. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2549; 13(2): 48-56.
- [9] Pratinthong, N. Long-Term Simulation of Concrete Solar Collector. Master's thesis, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 1996.