

## การศึกษาสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยครีป

### The Performance Study of Solar Cell Modules with Cooling Fins

บัณฑูร เวียงมูล<sup>\*</sup> อนันตชัย สุวรรณาคม และ สุกัญญา ขุนจรรย์  
Buntoon Wiengmoon<sup>\*</sup> Anantachai Suwannakom and Sukunya Khunchan

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

<sup>1</sup>Physics Department, Faculty of Science, Naresuan University

Received : 13 July 2016

Accepted : 25 November 2016

Published online : 2 December 2016

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวขนาด 10 W<sub>p</sub> ที่ไม่มีระบบระบายความร้อนหรือแผงปกติดกับแผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีปแบบหน้าตัดสามเหลี่ยมที่เคลือบผิวด้วยการพาความร้อนตามธรรมชาติ แผงที่ระบายความร้อนด้วยครีปมีพื้นที่ที่ระบายความร้อนเป็น 3 เท่าของพื้นที่แผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบทำมุมเอียง 17 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ จากการทดสอบพบว่าแผงที่ติดครีประบายความร้อนพลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีสมรรถนะดีขึ้น ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แปรตามความเข้มแสงที่ตกกระทบและส่งผลต่อสมรรถนะของแผง เมื่อพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะของแผง วันที่ความเข้มแสงสูงสมรรถนะจะลดลงมากกว่าวันที่ความเข้มแสงน้อย

**คำสำคัญ** : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว สมรรถนะ ครีป

#### Abstract

The aim of this study is to compare the performance of the single crystal silicon modules (10 W<sub>p</sub>) between the solar panel and the panel-mounted cooling fins. It is a uniform cross section of rectangle fins with operation under natural convection. The area of cooling fins has an area three times of the panel. Solar panels will be tested at an angle of 17 degrees, facing south. As the result, we found that the solar panel mounted with cooling fins, the energy losses on the solar panel is reduced. So the solar panel is improved performance. The energy losses of solar panels are proportional to the incident light intensity and affect the performance of the panel. In the high-intensity of lighting, the performance ratio of the panel is lower than at low light intensity.

**Keywords** : single crystal silicon module, performance ratio, fin

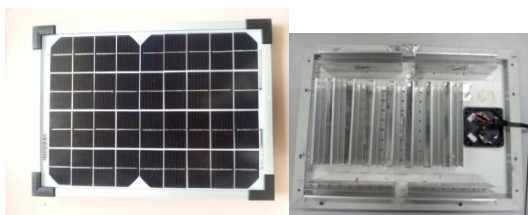
\*Corresponding author. E-mail : [buntoonw@nu.ac.th](mailto:buntoonw@nu.ac.th)

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาด้านพลังงานของโลก ในเรื่องของน้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิลมีจำนวนจำกัด รวมไปถึงสภาวะโลกร้อนเริ่มเข้ามามีบทบาทในการกำหนดทิศทางและนโยบายทางด้านการพัฒนาพลังงานต่างๆของประเทศ ทั้งในด้านของความมั่นคงทางด้านพลังงานและตั้งรองรับปัญหาโลกร้อน ดังนั้นประเทศไทยจึงให้ความสำคัญกับการส่งเสริมพลังงานทดแทนซึ่งประเทศไทยจัดได้ว่ามีศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทนอยู่ในระดับที่สูง ศักยภาพด้านพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ  $18.2 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$  (Janjai S., 2010) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และประเทศไทยก็นำมาใช้งานมาประมาณเกือบ 40 ปี (Kirtikara K., 2014) ซึ่งในช่วงแรกยังไม่แพร่หลายในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นถึงประมาณ 30 ปี มีการติดตั้งรวมประมาณ  $34 \text{ MW}_p$  แต่ในช่วง 5 ปีให้หลังมาที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเติบโตอย่างมากปัจจุบันมีการติดตั้งรวมประมาณ  $1200 \text{ MW}_p$  (Chenvidhya T. et al., 2014) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ผลิตและลักษณะการใช้งานซึ่งรวมไปถึงการติดตั้งในทิศทางที่รับแสง พื้นที่ติดตั้ง ความเข้มแสง และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแล้วเมื่อความเข้มแสงเพิ่ม กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะเพิ่ม แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะลดลงในอัตรา  $2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  (Green M.A., 1982) ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงไปด้วย ผลของอุณหภูมิที่เพิ่มนอกจากส่งผลกระทบต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ยังส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนของการยึดเกาะของส่วนประกอบต่างชนิดกัน ทำให้แผงเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้นหนึ่งในการลดอุณหภูมิของแผงคือการใช้ครีบริบายความร้อน ซึ่งมีทั้งแบบที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ (Fin of cross section) และแบบที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Fin of non-uniform cross section) ที่หาง่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นแบบหน้าตัดสม่ำเสมอ โดยเฉพาะครีบริบายความร้อนที่เหลื่อมพื้นผิว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนด้วยครีบริบายความร้อนที่เหลื่อมพื้นผิวจากการการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

## วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนด้วยครีบริบายความร้อนที่เหลื่อมพื้นผิวเทียบกับแผงปกติ แผงทดสอบเป็นแผงขนาด  $10 \text{ W}_p$  ชนิด Mono-crystalline Solar Panel TOPRAY, Sun Solar Ecotech ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 1 การศึกษานี้ทดสอบที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ โดยแผงหันหน้าไปทางทิศใต้ทำมุม  $17^\circ$  องศา วัดแสงโดยไพรานอมิเตอร์ รุ่น CMP3 ของ Kipp & Zonen แผงทั้งสองต่อเข้ากับโหลดขนาด  $25\Omega$   $20\text{W}$  ทำการวัดกระแสและแรงดัน อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิแผงและอุณหภูมิครีบริบาย และเก็บข้อมูลด้วย Microcontroller Arduino ทุกๆ 1 นาที แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดครีบริบายความร้อนเป็นครีบริบายอะลูมิเนียมยาว  $120 \text{ mm}$  สูง  $30 \text{ mm}$  3 fin/module จำนวน 12 modules คิดเป็นพื้นที่ระบายความร้อน 3 เท่า ของพื้นที่แผงดังแสดงในภาพที่ 1

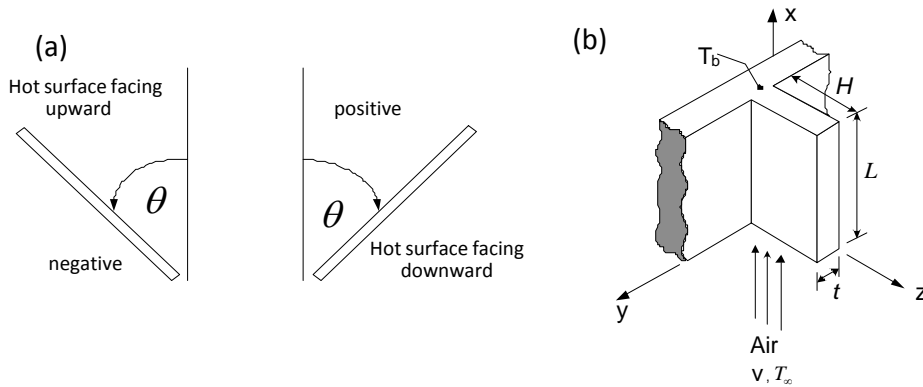


ภาพที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด  $10 \text{ W}_p$  และแผงที่ติดครีบริบายความร้อน

**ตารางที่ 1** ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่สภาวะมาตรฐาน At STC (1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5 spectrum, cell temperature 25 °C)

แปรทางไฟฟ้า	ค่าตัวแปร	แปรทางไฟฟ้า	ค่าตัวแปร
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	10 W (±5%)	Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	0.60 A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	21 V	Maximum System Voltage	16.8V <sub>DC</sub>
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	0.66 A	Normal Operating Cell Temperature (NOCT)	47 ± 2 °C
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	16.8 V	Dimensions	245 x 334 x 18 mm

การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นครีบลีเหลี่ยมผืนผ้าตรง ซึ่งมีอากาศไหลผ่านแผ่นครีบลีในแนวตามความสูงของแผ่นครีบลีแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งครีบลีมีความสูงเป็น H มีความหนาเป็น t และมีความยาวเป็น L สามารถทำได้คือวิธีเชิงวิเคราะห์ใน 1 มิติโดยมีสมมติฐานในการคำนวณ เป็นสภาวะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady-state Condition) ในแนวความสูง อุณหภูมิที่ฐานครีบลีมีค่าคงที่ อุณหภูมิของอากาศคงที่และสมมุติให้อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมเท่ากับอุณหภูมิของความเร็วของอากาศเคลื่อนที่ และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นครีบลีมีค่าคงที่และสมมุติให้เกิดการนำความร้อนจากบริเวณฐานครีบลีไปสู่บริเวณอื่นๆ ของแผ่นครีบลี ตามแนวความยาวของแผ่นครีบลีในทิศทางเดียว สำหรับที่ผิวของแผ่นครีบลีมีการพาความร้อนคำนวณหาอัตราการพาความร้อนใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นแบบเฉลี่ยและไม่รวมการแผ่รังสีความร้อนที่ผิวของแผ่นครีบลี (Ozisik M. Necati and Yildiz Bayazitoglu, 1988) ดังสมการต่อไปนี้



**ภาพที่ 2** (a) การกำหนดมุมและ (b) แผ่นครีบลีที่มีอากาศไหลผ่านแผ่นครีบลีในแนวความยาว

กรณีอากาศนี้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติที่ผิวของแผ่นครีบลี เลขนัสเซลต์เฉลี่ยมีค่าเป็น (Ozisik M. Necati and Yildiz Bayazitoglu, 1988)

$$\overline{Nu} = 0.145 [(Gr_L Pr)^{1/3} - (Gr_c Pr)^{1/3}] + 0.56 (Gr_c Pr \cos \theta)^{1/4} \quad (1)$$

สำหรับ  $Gr_L Pr < 10^{11}$ ,  $Gr_L > Gr_c$  และมุม  $\theta$  อยู่ระหว่าง  $-15^\circ$  ถึง  $-75^\circ$  ค่า  $Gr_c$  ขึ้นอยู่กับมุมดังตารางที่ 2

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_b - T_\infty) L^3}{\nu^2} \tag{2}$$

$$\beta = - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \tag{3}$$

ตารางที่ 2 Transition Grashof number

มุม $\theta$	$Gr_c$
-15	$5 \times 10^9$
-30	$10^9$
-60	$10^8$
-75	$10^6$

$$\bar{h} = \frac{\bar{Nu} k_f}{H} \tag{4}$$

$$m = \sqrt{\frac{\bar{h} P}{k A_c}} \tag{5}$$

เมื่อ

$T_\infty$	คืออุณหภูมิของอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$P$	คือเส้นรอบรูปของหน้าตัดของแผ่นครีป (m)
$T_b$	คืออุณหภูมิได้แผงระบายความร้อน ( $^{\circ}\text{C}$ )	$A_c$	คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นครีป ( $\text{m}^2$ )
$L$	คือความยาวของแผ่นครีป (m)	$k_f$	คือค่าสภาพนำความร้อนของอากาศ ( $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ )
$\bar{h}$	คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ( $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ )	$H$	คือความสูงของแผ่นครีป (m)
$Gr$	คือเลขกราสโฮฟ (Grashof Number)	$g$	คือค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก ( $9.807\text{m}/\text{s}^2$ )
$\beta$	คือค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว ( $\text{K}^{-1}$ )	$Pr$	คือเลขพรันด์เทิล (Prandtl Number)
$\bar{Nu}$	คือเลขนัสเซลต์ (Nusselt Number) เฉลี่ย		
$\nu$	คือค่าความหนืดคิเนมาติกส์ (Kinematics Viscosity, $\nu$ ) ( $\text{m}^2/\text{s}$ )		
$\rho$	คือความหนาแน่นของอากาศ(The density of air, $\rho$ ) ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )		
$k$	คือค่าสภาพนำความร้อนของแผ่นครีป(heat conduction, $k$ )( $\text{W}/\text{mK}$ )		

$$M = (T_b - T_\infty) \sqrt{\bar{h} P k A_c} \tag{6}$$

ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีปคำนวณจาก

$$q_{f,D} = M \frac{\sinh mL + (\bar{h} / mk) \cosh mL}{\cosh mL + (\bar{h} / mk) \sinh mL} \tag{7}$$

การทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะ ( Performance) (British Standard, 1998) ทางไฟฟ้าของการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield)คือความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ต่อกำลังการติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$Y_A = E_a / P_0 \quad (8)$$

เมื่อ	$Y_A$	คือพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kW <sub>p</sub> )
	$E_a$	คือพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)
	$P_0$	คือกำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW <sub>p</sub> )

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางทฤษฎี (Reference Yield)คือความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางทฤษฎี เป็นพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ต่อค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน

$$Y_R = H_i / G_{STC} \quad (9)$$

เมื่อ	$Y_R$	คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kW)
	$H_i$	คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m <sup>2</sup> )
	$G_{STC}$	คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน (โดยที่ STC = 1kW/m <sup>2</sup> )

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำไปใช้งานจริง (Final Yield) คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า ต่อกำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$Y_f = E_{PV} / P_0 \quad (10)$$

เมื่อ	$Y_f$	คือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำไปใช้งานจริง (kWh/kW <sub>p</sub> )
	$E_{PV}$	คือพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses,  $L_c$ ) ( $L_c = Y_R - Y_A$ )

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio, PR)

$$PR = Y_f / Y_R \quad (11)$$

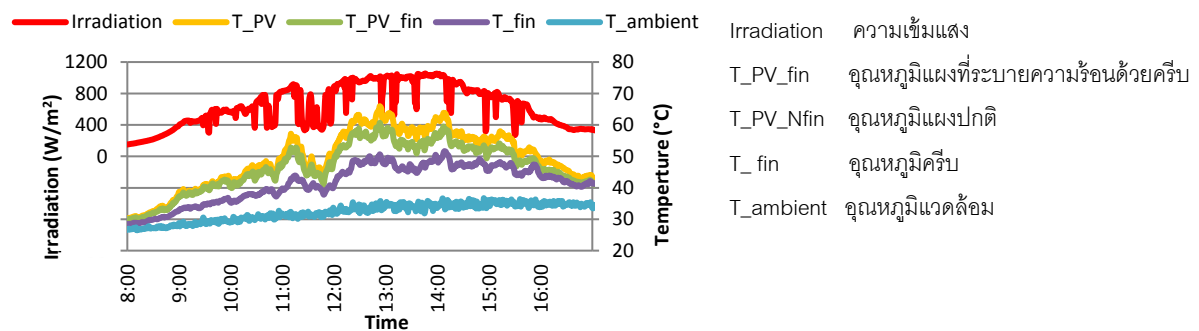
ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency,  $\eta_a$ )

$$\eta_a = E_a / H_p A_a \quad (12)$$

### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

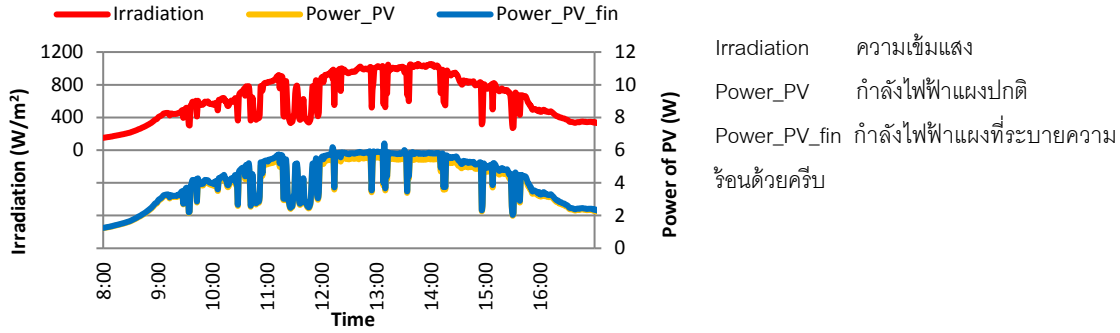
จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด  $10 W_p$  บนพื้นที่เพียง 17 องศาหันหน้าแผงไปทางทิศใต้ของแผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีบริบและแผงที่ปกติที่ต่อกับโหนด ของวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ท้องฟ้าครีบริบ และท้องฟ้าครีบริบในช่วงเช้าดังต่อไปนี้

สมรรถนะการทำงานของแผงในวันสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่งมีเมฆเป็นบางส่วน จากภาพที่ 3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ พบว่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ  $1,055.5 W/m^2$  อุณหภูมิของแผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีบริบเฉลี่ย  $45.9^\circ C$  และสูงสุดเท่ากับ  $60.6^\circ C$  ส่วนแผงที่ปกติมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ  $48.3^\circ C$  และสูงสุด  $65.9^\circ C$  ความต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีบริบถึง  $2.5^\circ C$  โดยที่อุณหภูมิครีบริบระบายความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ  $40.9^\circ C$  เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ  $32.0^\circ C$

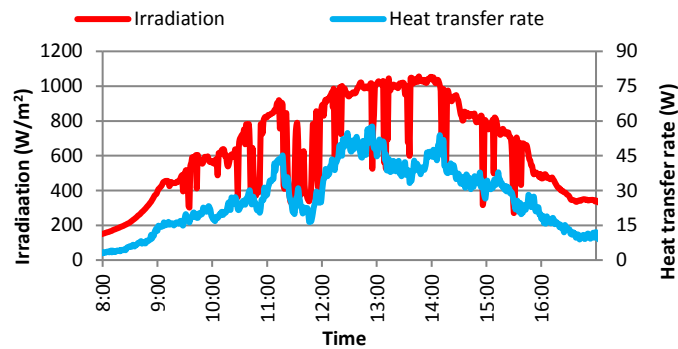


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่งมีเมฆเป็นบางส่วน

ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าของแผงปกติและแผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีบริบตรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า พบว่าค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าพลังงานรวมเท่ากับ  $5,885.6 W.hr/day$  ค่าพลังงานไฟฟ้าของแผงปกติและพลังงานไฟฟ้าของแผงที่มีการระบายความร้อนมีค่าเท่ากับ  $36.65 W.hr/day$  และ  $38.33 W.hr/day$  ตามลำดับ

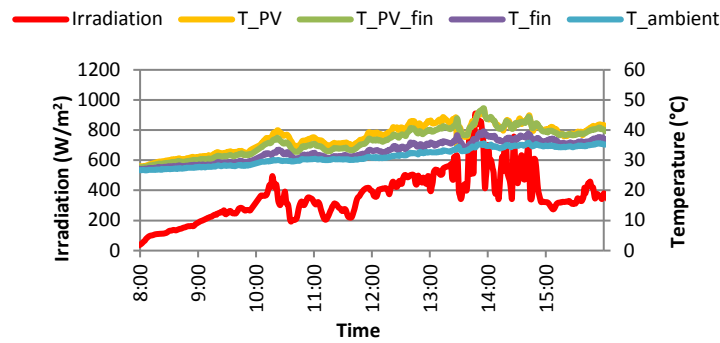


**ภาพที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าในวันสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่งมีเมฆเป็นบางส่วน จากภาพที่ 5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีปที่เวลาต่างๆ แสดงให้เห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสอดคล้องกับความเข้มแสง โดยที่อัตราการถ่ายเทความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 0 – 50 W จาก การวิเคราะห์ตัวแปรค่าพลังงานไฟฟ้า ของค่า  $E_{PV}$ ,  $H_f$ ,  $Y_A$ ,  $Y_R$ ,  $Y_f$ ,  $L_c$ , PR และ  $\eta_{PV}$  พบว่าแผงปกติมีค่า 36.65 W.hr/day, 5.89 kW.hr/day, 3.67 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 5.89 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 3.67 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 2.22 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 0.62 และ 7.61 % แผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีปตรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่า 38.33 W.hr/day, 5.89 kW.hr/day, 3.67 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 5.89 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 3.83 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 2.05 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 0.65 และ 7.96 % ตามลำดับ ดังนั้นแผงที่มีการระบายความร้อนมีค่าพลังงานที่สูญเสียบนแผง เซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าแผงปกติ 0.17 kW.hr/kW<sub>p</sub> และมีสมรรถนะดีกว่าแผงปกติ 4.8 %



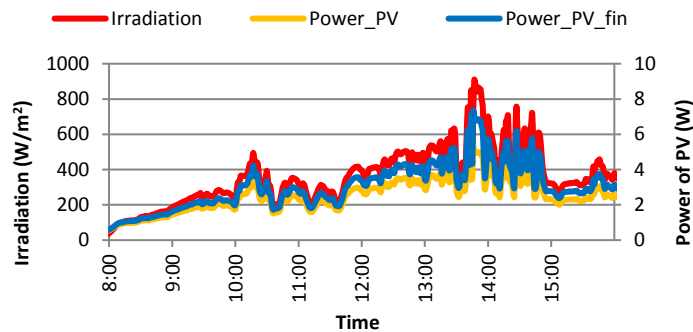
**ภาพที่ 5** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีป ในวันสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่งมีเมฆเป็นบางส่วน

จากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่สภาพอากาศท้องฟ้าครึ้มตลอดทั้งวัน พบว่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงก่อนเที่ยงมีค่าไม่เกิน 400 W/m<sup>2</sup> และมีค่าความเข้มแสงที่มากขึ้นประมาณ 13:30 น. ถึง 14:30 น. ความเข้มแสงสูงสุดประมาณ 900 W/m<sup>2</sup> มีอุณหภูมิของแผงที่มีการระบายความร้อนและแผงที่ปกติต่างกันไม่มากเฉลี่ยอยู่ที่ 36.5 °C และ 37.6 °C ตามลำดับ อุณหภูมิของครีปมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.2 °C และอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 31.5 °C

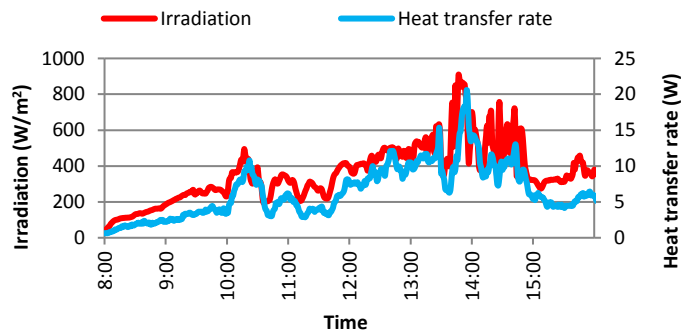


**ภาพที่ 6** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์  
ในวันที่สภาพอากาศท้องฟ้าครึ้มตลอดทั้งวัน

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง และกำลังไฟฟ้าของแผงปกติและแผงที่มีการระบายความร้อนดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่าค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าพลังงานรวมเท่ากับ 3018.30 W.hr/day พลังงานไฟฟ้าของแผงปกติและพลังงานไฟฟ้าของแผงที่มีการระบายความร้อนมีค่าเท่ากับ 21.21 W.hr/day และ 25.61 W.hr/day ตามลำดับ



**ภาพที่ 7** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าของแผงปกติและแผงที่มีการระบายความร้อน  
ในวันที่สภาพอากาศท้องฟ้าครึ้มตลอดทั้งวัน



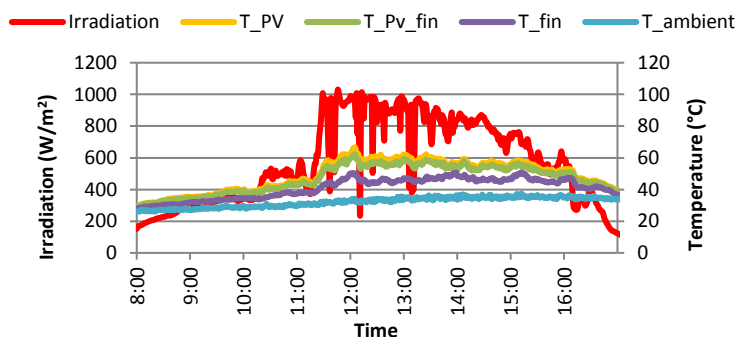
**ภาพที่ 8** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงที่มีครีป  
ในวันที่สภาพอากาศท้องฟ้าครึ้มตลอดทั้งวัน



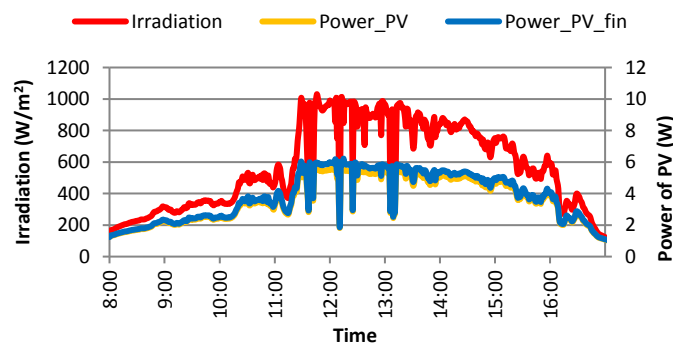
ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีปที่เวลาต่างๆ ซึ่งจะแปรผันตามกับความเข้มแสง ช่วงเช้าจนถึงประมาณ 13:30 น. อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยประมาณ 5.53 W ช่วงเวลาประมาณ 13:30 น. ถึง 14:30 น. อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยประมาณ 11.27 W จะสอดคล้องกับความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบปกติและแผงที่มีการระบายความร้อนของค่า  $E_{PV}$ ,  $H_f$ ,  $Y_A$ ,  $Y_R$ ,  $Y_f$ ,  $L_c$ , PR และ  $\eta_{PV}$  พบว่าแผงปกติมีค่า 21.21 W.hr/day, 3.02 kW.hr/day, 2.12 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 3.02 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 2.12 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 0.90 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 0.70 และ 8.59 % แผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีปมีค่า 25.61 W.hr/day, 3.02 kW.hr/day, 2.56 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 3.02 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 2.56 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 0.46 kW.hr/kW<sub>p</sub>, 0.85 และ 10.37 % ตามลำดับ ดังนั้นแผงที่มีการระบายความร้อนมีค่าพลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าแผงปกติ 0.44 kW.hr/kW<sub>p</sub> และมีสมรรถนะต่างกัน 0.16

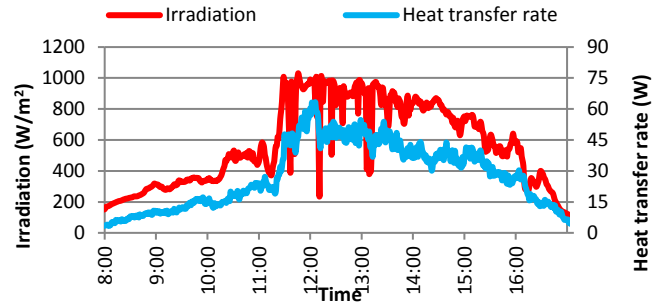
จากผลการทดสอบแผงเซลล์ในวันที่สภาพอากาศครีมีช่วงเช้าถึงเวลาประมาณ 11:00 น. หลังจากนั้นท้องฟ้าโปร่งตลอดทั้งวันและมีเมฆเพียงเล็กน้อยดังแสดงในภาพที่ 9 ความเข้มแสงในช่วงที่ท้องฟ้าโปร่งค่อนข้างที่จะสูงค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 1030.90 W/m<sup>2</sup> ช่วงเช้าก่อน 11:00 น. อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 28.1 °C แผงระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 36.0 °C และแผงปกติเฉลี่ย 36.9 °C หลังจากเวลานี้อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยที่ 34.1 °C อุณหภูมิแผงระบายความร้อนเฉลี่ย 51.7 °C และสูงสุดเท่ากับ 62.2 °C ส่วนแผงปกติอุณหภูมิเฉลี่ย 53.8 °C และสูงสุด 66.7 °C อุณหภูมิของเฉลี่ยเท่ากับ 44.6 °C



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิในวันที่สภาพอากาศครีมีช่วงเช้า



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าในวันที่สภาพอากาศครีมีช่วงเช้า



**ภาพที่ 11** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงที่มีครีป ในวันที่สภาพอากาศครีปช่วงเช้า

จากภาพที่ 10 ในวันที่สภาพอากาศครีปช่วงเช้าแต่หลังจากนั้นท้องฟ้าโปร่งความเข้มแสงที่ตกกระทบบรวมเท่ากับ 5,215.63 W.hr/day แผงปกติผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมได้ 33.34 W.hr/day สำหรับแผงที่มีครีประบายความร้อนพลังงานไฟฟ้าของแผงมีค่าเท่ากับ 35.05 W.hr/day จากภาพที่ 11 อัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงในช่วงเช้าเฉลี่ย 12 W หลังจาก 11:00 น. ถึงเย็นอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงเฉลี่ยที่ 34.7 W เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบปกติและที่มีการระบายความร้อน แผงที่มีการระบายความร้อนด้วยครีปเท่ากับ 0.67 และแผงไม่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 0.64 ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนั้นจากผลของการทดสอบวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ท้องฟ้าครีป และท้องฟ้าครีป ในช่วงเช้าพบว่าพลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง และแผงที่ไม่มีการระบายความร้อนหรือแผงปกติมีค่าพลังงานที่สูญเสียพลังงานของแผงมากกว่า ส่งผลให้ค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงที่มีครีประบายความร้อนมีค่ามากขึ้น

**ตารางที่ 3** การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W<sub>p</sub>

ตัวแปร	สภาพอากาศ						หน่วย
	ท้องฟ้าโปร่ง		ท้องฟ้าครีป		ท้องฟ้าครีปในช่วงเช้า		
	แผงปกติ	แผงมีครีป	แผงปกติ	แผงมีครีป	แผงปกติ	แผงมีครีป	
$E_{PV}$	36.65	38.33	21.21	25.61	33.34	35.05	W.hr/day
$H_i$	5.89	5.89	3.02	3.02	5.22	5.22	kW.hr/day
$Y_A$	3.67	3.83	2.12	2.56	3.33	3.50	kW.hr/kW <sub>p</sub>
$Y_R$	5.89	5.89	3.02	3.02	5.22	5.22	kW.hr/kW <sub>p</sub>
$Y_f$	3.67	3.83	2.12	2.56	3.33	3.50	kW.hr/kW <sub>p</sub>
$L_c$	2.22	2.05	0.90	0.46	1.88	1.71	kW.hr/kW <sub>p</sub>
PR	0.62	0.65	0.70	0.85	0.64	0.67	-
$\eta_{PV}$	7.61	7.96	8.59	10.37	7.81	8.21	%

## สรุปผลการวิจัย

จากผลศึกษาสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวขนาด  $10 W_p$  ที่มีการระบายความร้อนด้วยครีบบนหน้าตัดสม่ำเสมอที่เหล็มนี้อลูมิเนียม ด้วยการพาความร้อนตามธรรมชาติ เทียบกับแผงที่ไม่มีระบบระบายความร้อนหรือแผงปกติ แผงที่ระบายความร้อนด้วยครีบบนพื้นที่ระบายความร้อนเป็น 3 เท่าของพื้นที่แผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 17 องศาหันหน้าไปทางทิศใต้ต่อเข้ากับโหลขนาด 25Ω 20 W ผลของการทดสอบวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ท้องฟ้าครึ้ม และท้องฟ้าครึ้มในช่วงเช้าพบว่าพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ ( $H_p$ ) มีค่ามาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มาก พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_p$ ) จะแปรตามความเข้มแสงที่ตกกระทบ เช่นเดียวกับพลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แปรตามความเข้มแสงความเข้มแสงที่ตกกระทบในวันนั้น และแผงที่ไม่มีมีการระบายความร้อนหรือแผงปกติมีค่าพลังงานที่สูญเสียพลังงานของแผงมากกว่าจึงส่งผลต่อสมรรถนะของแผง ในวันที่ความเข้มแสงสูงสมรรถนะจะลดลงมากกว่าวันที่ความเข้มแสงน้อย แต่อย่างไรก็ตามแผงที่มีการระบายความร้อนจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าแผงไม่ระบายความร้อน เนื่องจากพลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์ลดลง

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งที่มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยภายใต้โครงการ R2558C077 นี้

## เอกสารอ้างอิง

- British Standard. (1998). Photovoltaic system performance monitoring guideline for measurement, data exchange and analysis. Retrieved March 9, 2016, from <ftp://ftp.ee.polyu.edu.hk/wclo/61/IEC61724%20PV%20monitoring.pdf>
- Chenvidhya T. Kirtikara K. Chenvidhya D. Songprakorp R. Seekaew W. (2014). Thailand PV Power Plants and Roof-Tops Status in 2014. In Proceeding the 6<sup>th</sup> WCPEC-6 Kyoto Japan. (pp. 1327-1328)
- Green M.A.(1982). Solar cells operating principle, technology, and system application. Prentice-Hall. Inc.
- Janjai S. (2010). Solar Radiation Maps from Satellite Data for Thailand. Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Ministry of Energy. Phetkasem Printing Co., Ltd.
- Kirtikara K. (2014). Lessons Learnt from Using PV Stand-Alone Systems to Provide a Better Quality of Life for Rural People. In Proceeding Technical Digest of the International PVSEC-14. (pp. 71-74)
- Ozisik M. Necati, Yildiz Bayazitoglu. (1988). Elements of Heat Transfer. Mcgraw-Hill Book Company - Koga