

## การประเมินประสิทธิภาพของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยน้ำและวัสดุเปลี่ยนเฟส Efficiency Evaluation of Photovoltaic Solar Panels Cooled by Water-Based System and Phase Change Material

ฐานวิทย์ แนนมใส\*, พรประสิทธิ์ คงบุญ และ จารุวัฒน์ เจริญจิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2/4

ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

\*ติดต่อ: Thanwit.n@rmutsv.ac.th, 0-7371-7168

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงสนใจในการประเมินประสิทธิภาพของแผงเซลล์สุริยะที่มีวิธีการระบายความร้อนโดยใช้ น้ำ และ วัสดุเปลี่ยนเฟสในลักษณะที่แตกต่างกันภายใต้สภาพการทำงานจริงเพื่อจะหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของแผงเซลล์สุริยะในการทดลองมีระบบระบายความร้อนแผงที่แตกต่างกันสามระบบซึ่งประกอบไปด้วย ระบบระบายความร้อนแผงเซลล์สุริยะแบบดั้งเดิม ระบบแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยวัสดุเปลี่ยนเฟสและระบบแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยน้ำและวัสดุเปลี่ยนเฟส สำหรับตัวระบบระบายความร้อนของแผงนั้นประกอบไปด้วยกล่องอลูมิเนียมที่ติดกับด้านล่างของแผง ภายในบรรจุท่อทองแดงที่จัดเรียงไว้ให้น้ำไหลผ่านและตัวสารพาราฟิน RT-30 จำนวน 20 kg ในการทดลองจะแปรเปลี่ยนอัตราการไหลเชิงมวลของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยน้ำและวัสดุเปลี่ยนเฟสทั้งหมดสามค่าคือ 0.0333 kg/s, 0.0495 kg/s และ 0.0825 kg/s และใช้ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนเป็นตัวชี้วัด ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสมีค่าสูงกว่าแผงเซลล์สุริยะแบบดั้งเดิมประมาณ 20 % เมื่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงทั้งสองแบบอยู่ที่ 7 °C ในกรณีของแผงเซลล์สุริยะที่ใช้ทั้งน้ำและวัสดุเปลี่ยนเฟสระบายความร้อนนั้นเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้น ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงที่มีอัตราการไหลเชิงมวล 0.0825 kg/s มีค่ามากกว่าแผงเซลล์สุริยะแบบดั้งเดิมประมาณ 15 % และให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางความร้อนถึง 37% ดังนั้นระบบการระบายความร้อนโดยน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.0825 kg/s ยังคงมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในสภาวะการทำงานจริงมากกว่าระบบการระบายความร้อนโดยวัสดุเปลี่ยนเฟส ถึงแม้ว่าจะให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าต่ำกว่าประมาณ 4 % แต่กลับมีศักยภาพที่สามารถนำพลังงานทางความร้อนสะสมของวัสดุเปลี่ยนเฟสมาใช้งานได้ดีกว่าอย่างชัดเจน

**คำหลัก:** การประเมินประสิทธิภาพ; แผงเซลล์สุริยะ; ระบายความร้อนด้วยน้ำ; วัสดุเปลี่ยนเฟส

### Abstract

This article is concerned with the efficiency evaluation of different photovoltaic solar panels cooled by water-based system and phase change material (PCM) under the practical condition to obtain the appropriate operating condition of the photovoltaic solar panel. Three different systems

are experimentally investigated, which consist of convectional solar panel, PCM-based photovoltaic system and water-based photovoltaic system with PCM. For the cooling system of solar panel, the copper tube arrangement is inserted within the aluminum container attached to the bottom of the solar panel. Inside the container, paraffin wax RT-30 of 20 kg is filled up. The experiment is presented at three different mass flow rates: 0.0333 kg/s, 0.0495 kg/s and 0.0825 kg/s. The electrical and thermal efficiencies are set as the indicator. For the experimental results, the average electrical efficiency of solar panel cooled by PCM was higher than that of conventional solar panel approximately 20% when the average temperature difference of both solar panels was 7 °C. In case of the solar panel with the water-PCM-based system, as the mass flow rate increased, the electrical and thermal efficiencies were steadily increased. The average electrical efficiency of the solar panel with mass flow rate of 0.0825 kg/s was higher than that of the conventional solar panel nearly 15%. In addition, it also offered the average thermal efficiency of 37 %. Therefore, the water-based system with PCM at mass flow rate of 0.0825 kg/s had a more appropriate application for the actual operation than the PCM-based photovoltaic system. Although, the average electrical efficiency of this system was less than the that of PCM-based photovoltaic system approximately 4%. However, it was able to be a higher potential system for the utilization of the accumulated thermal energy inside the PCM.

**Keywords:** Efficiency evaluation; Photovoltaic solar panels; Water-based cooling system; Phase change material

## 1. บทนำ

รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ปราศจากมลพิษและมีศักยภาพในการทดแทนพลังงานฟอสซิล ซึ่งมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นและกำลังหมดไปอย่างรวดเร็ว รวมถึงเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน รังสีอาทิตย์นั้นสามารถนำมาใช้ได้สองรูปแบบคือ การนำรังสีอาทิตย์มาใช้ในรูปแบบความร้อนและรูปแบบไฟฟ้า สำหรับประเทศไทยมีการใช้พลังงานหมุนเวียนอย่างเป็นทางการโดยกระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) [1] ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมจึงมีความน่าสนใจโดยเฉพาะตัวแผงเซลล์แสงสุริยะ (Solar cell) นั้นสามารถนำมาใช้งานในส่วนนี้ได้อย่างมีศักยภาพ [2] ในปัจจุบัน

ประเทศไทยมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานกันมากขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนและยังได้รับค่าตอบแทนจากการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นทิศทางการลงทุนที่น่าสนใจเนื่องจากระยะเวลาคืนทุนไม่ยาวนานมากเกินไป [3]

อย่างไรก็ตามการนำแผงเซลล์แสงสุริยะมาใช้งานนั้นยังพบปัญหาความไม่เสถียรของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมา เนื่องจากความร้อนที่มากจากการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อค่าอุณหภูมิของตัวแผงเซลล์แสงสุริยะ เมื่อค่าอุณหภูมิสูงขึ้นเกินในระดับที่เกินค่ามาตรฐานที่แผงทำงานได้อย่างประสิทธิภาพจะส่งผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ลดลง [4-5] จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการแก้ปัญหาโดยการระบายความร้อนตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีหลากหลายวิธีเช่น การนำแผงเซลล์

แสงสุริยะไปติดกับรถยนต์และใช้ลมจากการวิ่งของรถเป็นตัวระบายความร้อน (Air based system) [6] ซึ่งเป็นวิธีการใช้งานกับวัตถุเคลื่อนที่เท่านั้น ต่อมาจึงมีการใช้น้ำไหลผ่านและการสเปรย์น้ำลงแผงเซลล์แสงสุริยะ (Water based system) [7-8] ผลที่ได้ค่าอุณหภูมิลดลงตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก็ยังคงต้องการปริมาณน้ำจำนวนมากในการระบายความร้อน หลังจากนั้นจึงมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (Phase change material, PCM) มาใช้งานดึงความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PCM based system) ผลที่ได้พบว่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะจะลดลงตามคุณสมบัติของค่าการนำความร้อนและค่าความหนาแน่นของวัสดุเปลี่ยนเฟสที่ใช้งานซึ่งได้แก่ paraffin wax RT42 [9], polyethylene glycol 1000 [10], และ paraffin/graphite [11] อย่างไรก็ตามระบบระบายความร้อนที่ใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสนั้น เมื่อทำงานถึงช่วงที่ค่าความเข้มแสงลดลง ตัววัสดุเปลี่ยนเฟสจะคายความร้อนออกมาจึงมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะไม่แตกต่างกับอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมชาติ (Natural cooling system) ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่สนใจนำวิธีการระบายความร้อนแบบน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสมาใช้งาน (Water based system and PCM) [12-13] ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะที่สูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการคายความร้อนของวัสดุเปลี่ยนเฟสได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาทุกวิธีนั้นสามารถใช้งานได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่ใช้น้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟส [12-13] อย่างไรก็ตามข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงานของระบบดังกล่าวยังมีไม่มากและยังเป็นข้อมูลที่เน้นให้ใช้งานเฉพาะเจาะจง ขณะที่บางงานวิจัย [13] มีการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสผสมผงขนาดนาโนซึ่งหามาประยุกต์ใช้งานค่อนข้างยาก ราคาแพง และยากต่อการประกอบเพื่อติดตั้ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นออกแบบและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้แผงเซลล์แสงสุริยะที่ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของการทำงานด้วยระบบวัสดุเปลี่ยนเฟสและระบบน้ำไหลเวียนในการช่วยระบายความร้อน นอกจากนี้ยังศึกษาถึงค่าสัดส่วนระหว่างความร้อนสัมผัสและค่าความร้อนแฝงของระบบระบายความร้อนดังกล่าวที่มีต่อค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพื่อขยายผลและง่ายต่อการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานเพิ่มเติมในการพัฒนาระบบให้ครบวงจรของการนำแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานและแสดงถึงความมั่นคงของระบบ

## 2. วัสดุและวิธีการทดลอง

### 2.1 การติดตั้งชุดทดลอง

ในการศึกษานี้ ระบบระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์สุริยะแบ่งออกเป็นสามประเภทได้แก่ ระบบระบายความร้อนโดยธรรมชาติซึ่งใช้งานในปัจจุบัน (Air based system) ระบบระบายความร้อนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM based system) และระบบระบายความร้อนโดยน้ำไหลผ่านและใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสรวม (Water based system with PCM) โดยทั้งสองระบบระบายความร้อนที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนแผงเซลล์สุริยะแบบดั้งเดิม ในการทดลองนี้จะใช้แผงเซลล์แสงสุริยะที่วัสดุเป็นซิลิคอน: ซึ่งมีขนาดกว้าง 810 mm ยาว 1800 mm และสูง 80 mm และสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 120 W (Monocrystalline Silicon Solar Cells) ต่อกับชุดควบคุมการทดลองที่มีแผงวงจรไว้สำหรับเก็บข้อมูลพลังงานทางไฟฟ้าและสามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 ในส่วนของระบบน้ำไหลผ่านจะใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 mm เป็นตัวลำเลียงน้ำเข้าและออกแผง ตัวท่อลำเลียงนี้จะต่อกับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 mm ที่ขนานกันจำนวน 7 ท่อสำหรับใช้ในการระบายความร้อน และแต่ละช่องว่าง

## ETM – 002

ระหว่างท่อจะเตรียมไว้สำหรับบรรจุ paraffin wax RT30 จำนวน 20 kg พร้อมทั้งปิดกันด้วยฉนวนกันความร้อนซึ่งแสดงดังรูปที่ 2 นอกจากนี้ใช้ชุดควบคุมในการเก็บประจุให้กับแบตเตอรี่ที่มีไว้สำหรับขับปั้มน้ำขนาด 12 V รุ่น 2000-GPH



รูปที่ 1 แผงเซลล์แสงสุริยะที่ติดตั้งบนชุดทดลอง



รูปที่ 2 ชุดท่อไหลเวียนน้ำและการปิดฉนวนสำหรับพื้นที่บรรจุวัสดุเปลี่ยนเฟส

### 2.2 วิธีการทดลอง

สำหรับวิธีการทดลองจะติดตั้งให้แผงเซลล์สุริยะหันหน้าไปทางทิศใต้เอียงทำมุม 12 องศา กับแนวระดับ (ตามตำแหน่งละติจูดที่ติดตั้ง) หลังจากนั้นนำภาชนะบรรจุ paraffin wax RT30 จำนวน 20 kg พร้อมทั้งปิดกันด้วยฉนวนกันความร้อนมาติดที่หลังแผงเซลล์สุริยะ ทำการทดลองกลางแจ้งและใช้ระยะเวลาในการทดลองจาก 9.00 น. ถึง 16.00 น. และทำการทดสอบในช่วงเดือนพฤษภาคมเนื่องจากมีค่าความเข้มแสงที่สูงและนิ่ง ในการวิเคราะห์ผลของอัตราการไหลที่มีต่อค่าประสิทธิภาพทั้งไฟฟ้าและความร้อนของแผงเซลล์สุริยะ ต้องทำการ

แปรเปลี่ยนอัตราการไหลเชิงมวลทั้งสามค่าได้แก่ 0.0333 kg/s, 0.0495 kg/s และ 0.0825 kg/s ซึ่งใช้เครื่องวัดอัตราการไหล (SIKA VS-Series) และให้ค่าความผิดพลาดในช่วง 3 % นอกจากนี้มีการเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้ pyranometer (CMP11) ขณะที่ค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะและน้ำเข้าและออกจะใช้ สายเทอร์โมคัปเปิล (Type K) ต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล (YOGAWA FX1000 Paperless Record) ซึ่งให้ค่าความไม่แน่นอน  $\pm 0.5$  °C ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที จุดวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะและระบบน้ำเข้าออกแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิระบบระบายความร้อนแผงเซลล์สุริยะ

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนเป็นตัวชี้วัดซึ่งคำนวณได้ตามงานวิจัยของ Tiwari *et al.* [7] ซึ่งแสดงดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ( $\eta_e$ )

$$\eta_e = \frac{I_{oc} V_{sc} FF}{G A_c} \quad (1)$$

เมื่อ  $I_{oc}$  ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจากวิธี open circuit (A),  $V_{sc}$  ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวัดจากวิธี short circuit (V),  $FF$  ค่าสัดส่วนทางไฟฟ้า[12],  $G$  ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ( $W/m^2$ ) และ  $A_c$  พื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ( $\eta_{th}$ )

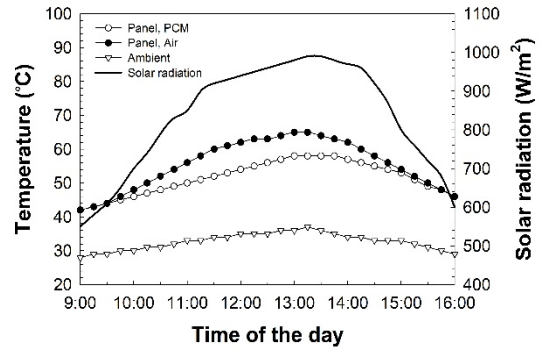
$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p(T_{wo} - T_{wi})}{GA_c} \quad (2)$$

เมื่อ  $\dot{m}$  ค่าอัตราการไหลเชิงมวล (kg/s),  $C_p$  ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg-K),  $T_{wi}$  ค่าอุณหภูมิน้ำเข้า และ  $T_{wo}$  ค่าอุณหภูมิน้ำออก ( $^{\circ}$ C)

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

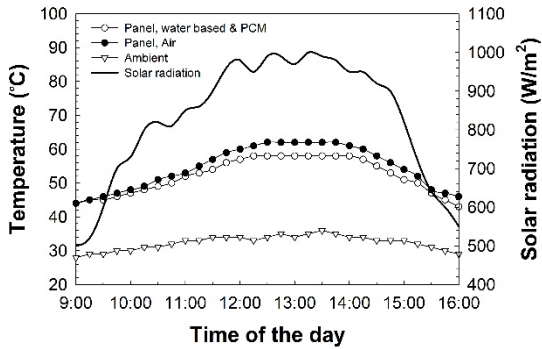
ในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยวิธีน้ำไหลผ่านและใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสในเงื่อนไขการทำงานต่างๆ กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยลมตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีการแบบดั้งเดิม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะเมื่อระบบใช้แค่วัสดุเปลี่ยนเฟสเพียงอย่างเดียวหรือไม่ใช้อัตราการไหลของน้ำจะแสดงดังรูปที่ 4 ผลที่ได้พบว่าค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะของทั้งสองวิธีจะแปรเปลี่ยนตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยวัสดุเปลี่ยนเฟสจะมีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยลมธรรมชาติเฉพาะในช่วงที่ค่าเข้มแสงสูงตั้งแต่ 10.00 น. ถึง 15.00 น. ซึ่งผลการทดลองนี้จะสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [10] และเมื่อพิจารณาที่ค่าอุณหภูมิสูงสุดของแผงเซลล์สุริยะทั้งสองแบบพบว่าที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของทั้งสองวิธีมีค่า อยู่ที่ 22 %



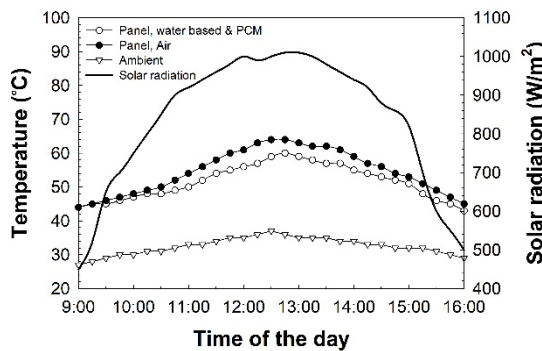
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะเมื่อใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสระบายความร้อน

รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 0.0333 kg/s ผลที่ได้ระบุว่าค่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะของระบบที่ใช้ น้ำไหลผ่านผสมวัสดุเปลี่ยนเฟสจะค่อนข้างต่ำกว่าค่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะของระบบระบายความร้อนแบบดั้งเดิม โดยที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของทั้งสองวิธีมีค่าเพียง 9 % อย่างไรก็ตามระบบระบายความร้อนโดยน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสร่วมนี้เริ่มยังช่วยลดค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะในช่วงที่ค่าความเข้มแสงต่ำให้ต่ำกว่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนแบบดั้งเดิมได้ ซึ่งสังเกตได้จากช่วงเวลา 15.00 น. เป็นต้นไป และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลเป็น 0.0495 kg/s ผลที่ได้พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของวิธีการระบายความร้อนแบบผสมกับวิธีการแบบดั้งเดิมมีค่าประมาณ 14 % ดังรูปที่ 6 ในกรณีที่อัตราการไหลเพิ่มเป็นค่าสูงสุดคือ 0.0825 kg/s ผลที่ได้บ่งชี้ถึงประโยชน์ของระบบน้ำไหลผ่านผสมวัสดุเปลี่ยนเฟสมากยิ่งขึ้น นั่นคือค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะทุกช่วงเวลาหรือทุกค่าความเข้มแสงมีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนแบบดั้งเดิม และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของทั้งสองวิธีการมีค่าประมาณ 19 % แสดงดังรูปที่ 7

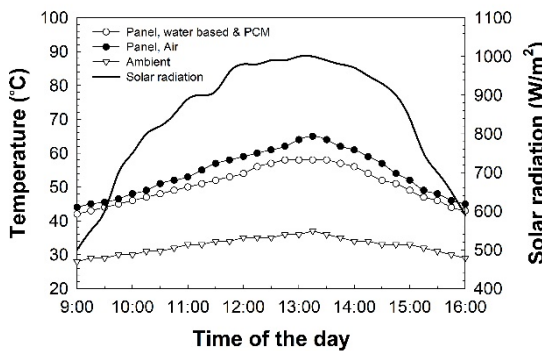
ETM – 002



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะเมื่อ อัตราการไหลเท่ากับ 0.0333kg/s



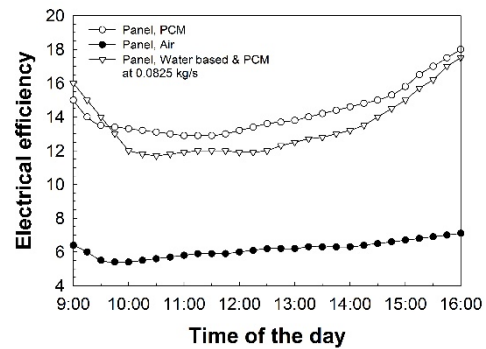
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะเมื่อ อัตราการไหลเท่ากับ 0.0495kg/s



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะเมื่อ อัตราการไหลเท่ากับ 0.0825kg/s

จากผลการทดลองที่ผ่านมา ระบบระบายความร้อนที่ใช้เพียงวัสดุเปลี่ยนเฟสและระบบระบายความร้อนที่ใช้น้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.0825 kg/s สามารถลดค่าอุณหภูมิแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนแบบดั้งเดิมได้อย่างชัดเจน ดังนั้นค่า

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าซึ่งเป็นตัวแปรไว้มีติจึงถูกนำมาใช้ในการพิจารณาการทำงานของแผงเซลล์สุริยะทั้งสองรูปแบบซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนโดยน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสรวมจะสูงกว่าค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนแบบวัสดุเปลี่ยนเฟสเฉพาะในช่วงเช้า (9.00 น. ถึง 10.00 น.) ที่ค่าความเข้มแสงไม่สูงมากเนื่องจากระบบการใช้น้ำไหลจะอาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัสซึ่งจะสามารถทำงานได้เร็วกว่าระบบระบายความร้อนโดยวัสดุเปลี่ยนเฟสที่อาศัยความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะที่ต้องรอให้ถึงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ [9]



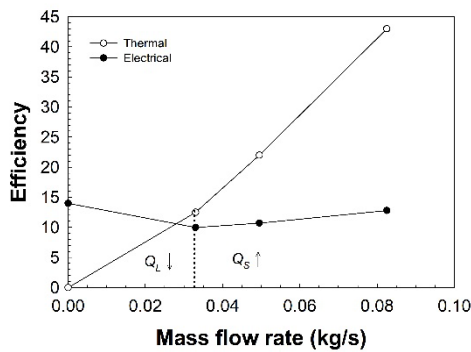
รูปที่ 8 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะ

ในทางกลับกันเมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นในเวลาระหว่างวัน ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนแบบวัสดุเปลี่ยนเฟสกลับมีค่าสูงกว่าระบบแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ และเริ่มจะมีค่าใกล้เคียงกันอีกครั้งเมื่อค่าความเข้มแสงลดลงในช่วงตอนเย็น (15.00 น. ถึง 16.00 น.) เมื่อพิจารณาที่ค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีการ พบว่าแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนแบบวัสดุเปลี่ยนเฟสให้ค่าสูงกว่าแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนแบบผสมเพียง 4 % ผลดังกล่าวนี้จะนำไปพิจารณาเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไปซึ่งจะพิจารณาถึงผลของอัตราการไหล

## ETM – 002

เชิงมวลและค่าสัดส่วนของพลังงานทางความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบทั้งสองแบบ เพื่อที่จะใช้หาวิธีการระบายความร้อนที่เหมาะสมกับแผงเซลล์แสงสุริยะ

### 3.2 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์สุริยะที่ระบายความร้อนด้วยน้ำและวัสดุเปลี่ยนเฟส

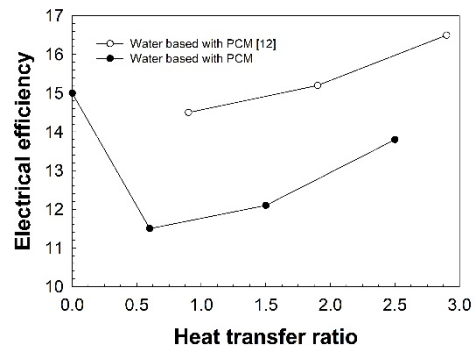


รูปที่ 9 ผลของอัตราการไหลที่มีต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนของแผงเซลล์สุริยะ

ในการพิจารณาผลของอัตราการไหลที่มีต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนของแผงเซลล์สุริยะ นั้นค่าเฉลี่ยจะพิจารณาจากขอบเขตของเวลาตลอดการทดลองคือ 9.00 น. ถึง 16.00 น. รูปที่ 9 แสดงผลของอัตราการไหลที่มีต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนของแผงเซลล์สุริยะ ผลที่ได้พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นจาก 0 kg/s จนถึง 0.0333 kg/s หลังจากนั้นค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากลับมีค่าสูงขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ขณะที่เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลเพิ่มสูงขึ้นค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

สิ่งนี้อาจจะบอกเป็นนัยได้ว่าในช่วงที่ไม่มีอัตราการไหลระบบระบายความร้อนโดยน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสรวมจะดูดความร้อนจากแผงเซลล์สุริยะมาเก็บไว้ในวัสดุเปลี่ยนเฟสจนถึงอุณหภูมิที่สามารถเปลี่ยน

สถานะได้ ซึ่งความร้อนที่ได้อยู่ในลักษณะของค่าความร้อนแฝง แต่เมื่อเริ่มเพิ่มอัตราการไหล ความร้อนแบบสัมผัสจะเริ่มเข้ามาช่วยในการระบายความร้อนของแผงเซลล์สุริยะ แต่ถึงกระนั้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากลับมีค่าลดลงเนื่องจากอัตราการไหลที่ไม่สูงมากอาจจะมีบางส่วนเข้าไปนำความร้อนแฝงออกมาด้วย ทำให้เกิดการปรับสมดุลทางความร้อน (Energy balance) โดยการไปหน่วยพฤติกรรมการณ์ดูดความร้อนของวัสดุเปลี่ยนเฟส อย่างไรก็ตามเมื่อกลับมาเพิ่มอัตราการไหลมากขึ้น ความร้อนสัมผัสก็จะเริ่มมีบทบาทมากยิ่งขึ้นสำหรับระบบระบายความร้อนโดยน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสรวม ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าก็จะกลับมาเพิ่มสูงขึ้น เหตุผลนี้ได้รับการสนับสนุนจากค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องค่าประสิทธิภาพทางความร้อนนั้นแปรผันตรงกับค่าอัตราการไหล



รูปที่ 10 ผลของค่าสัดส่วนทางความร้อนที่มีต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะ

อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้นี้ค่อนข้างนำไปใช้ในงานที่เฉพาะเจาะจง เนื่องจากใช้ได้กับงานระบายความร้อนแผงเซลล์สุริยะระบบน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสที่เป็น paraffin wax RT 30 ที่ 20 kg เท่านั้น ดังนั้นจึงนำตัวแปรไว้มีติซึ่งก็คือค่าสัดส่วนทางความร้อนสัมผัสต่อความร้อนแฝง ( $Q_S/Q_L$ ) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองและยังสามารถใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Preet *et al.* [12]

ซึ่งมีการทดสอบระบบระบายความร้อนแผงเซลล์สุริยะแบบน้ำไหลผ่านและใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสเช่นเดียวกัน ผลที่ได้พบว่าผลการทดลองจากงานวิจัยนี้มีผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาเฉพาะในช่วงที่ค่าสัดส่วนทางความร้อนมีค่าเกิน 1 ขึ้นไปซึ่งบ่งชี้ว่าระบบน้ำไหลผ่านที่แสดงโดยความร้อนสัมผัสอาจจะมีอิทธิพลต่อค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะมากกว่าพฤติกรรมการดูดความร้อนของวัสดุเปลี่ยนเฟสที่แสดงโดยค่าความร้อนแฝง ในทางกลับกันในกรณีที่ค่าสัดส่วนทางความร้อนน้อยกว่า 1 ก็เป็นการบ่งบอกว่าพฤติกรรมการดูดความร้อนของวัสดุเปลี่ยนเฟสทำงานได้ดีกว่าระบบน้ำไหลผ่านนั่นเอง สิ่งนี้ยังช่วยสนับสนุนคำอธิบายของรูปที่ 9 ได้เช่นกัน จากผลการทดลองที่ผ่านมาั้นระบบระบายความร้อนน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสที่อัตราการไหล 0.0825 kg/s มีความเหมาะสมกว่าการใช้งานระบบระบายความร้อนวัสดุเปลี่ยนเฟสเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทางไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนวัสดุเปลี่ยนเฟสเพียงอย่างเดียวจะมีค่าที่สูงกว่าประมาณ 4 % แต่ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทางความร้อนของระบบระบายความร้อนน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสกลับมากกว่าอย่างชัดเจนถึง 37 % ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานให้ได้ครบวงจรมากกว่านั่นเอง งานในอนาคตจะทำการขยายสเกลของงานให้แบบครบวงจรมากขึ้นในส่วนของการนำน้ำร้อนไปใช้งาน และเพิ่มช่วงของค่าอัตราการไหลให้ละเอียดมากขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาถึงตัวแปรความหนาของวัสดุเปลี่ยนเฟส

#### 4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์สุริยะที่มีวิธีการระบายความร้อนโดยใช้น้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสในเงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์

สุริยะที่มีวิธีการระบายความร้อนแบบดั้งเดิม ผลที่ได้สามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) ระบบระบายความร้อนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสเพียงอย่างเดียวและระบบระบายความร้อนโดยใช้น้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟส สามารถอุณหภูมิของแผงเซลล์สุริยะได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนแบบดั้งเดิม
- 2) ค่าอัตราการไหลที่เพิ่มสูงขึ้นของระบบระบายความร้อนแบบน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสสามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนของแผงเซลล์สุริยะได้
- 3) ค่าสัดส่วนทางความร้อนสัมผัสต่อความร้อนแฝงสามารถนำมาใช้ในการอธิบายและประกอบการให้เหตุผลทางกายภาพของลักษณะการทำงานของระบบระบายความร้อนแบบน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสได้
- 4) ระบบระบายความร้อนน้ำไหลผ่านและวัสดุเปลี่ยนเฟสที่อัตราการไหล 0.0825 kg/s มีความเหมาะสมที่สุดในการประเมินผลของการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงถึงแม้ว่าจะน้อยกว่าระบบระบายความร้อนโดยวัสดุเปลี่ยนเฟสเพียงเล็กน้อย แต่กลับให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงมาก ซึ่งเป็นแนวทางที่ดีสำหรับระบบการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานเชิงพาณิชย์ที่มุ่งเน้นการใช้งานที่หลากหลายและมั่นคง

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy,



- Thailand (2012), *Alternative Energy Development Plan:(AEDP2012-2021)*, URL: <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>, access on 24/03/2019.
- [2] REN21. (2015). *RENEWABLES 2014 GLOBAL STATUS REPORT*, ISBN 978-3-9815934-6-4, Paris.
- [3] Thai Solar Future Co., Ltd. (2014), *Solar PV Rooftop* URL: [http://www.thaisolarfuture.com/upload/files/2015-Combine%20Apply%20to%20MEA%20PEA%20Feb%208\(1\).pdf](http://www.thaisolarfuture.com/upload/files/2015-Combine%20Apply%20to%20MEA%20PEA%20Feb%208(1).pdf), access on 25/03/2019.
- [4] Sargunanathan, S., Elango, A. and Mohideen, S.T. (2016), Performance enhancement of solar photovoltaic cells using effective cooling methods: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 64, pp. 382–393.
- [5] Sajjad, U., Amer, Muhammad Ali, M., Dahiya, A. and Abbas, N. (2019), Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 14, pp. 100420 (1-7).
- [6] Pang W., Yu. H., Zhang, Y. and Yan, H. (2019), Solar photovoltaic based air-cooling system for vehicles, *Renewable Energy*, Vol. 130, pp. 25-31.
- [7] Tiwari, A., Dubey, S., Sandhu, S.G. and Sodha, S.M. (2009), Exergy analysis of integrated photovoltaic thermal solar water heater under constant flow rate and constant collection temperature modes. *Applied Energy*, Vol. 86, pp. 2592–2597.
- [8] Maha, C., Lim, B.H, Wong, C., Tan, M.H., Chong, K.K. and Lai, A.C. (2019), Investigating the Performance Improvement of a Photovoltaic System in a Tropical Climate using Water Cooling Method, *Energy Procedia*, Vol. 159, pp. 78-83.
- [9] Kiatsiriroat, T., Kamopas, W. and B hotacharoen V. (2016), Reduction of Solar Cell Module Temperature with Melting of Phase Change Material, *Science and Technology Research Institute*, Chiang Mai University. 2016.
- [10] Mousavi Baygi, S.R. and Sadrameli, S.M. (2018), Thermal management of photovoltaic solar cells using polyethylene glycol 1000 (PEG1000) as a phase change material, *Thermal Science and Engineering Progress*, Vol. 5, pp. 405-411.
- [11] Luo, Z., Huang, Z., Xie, N., Gao, X., Xu, T., Fang, Y. and Zhang, Z. (2017), Numerical and experimental study on temperature control of solar panels with form-stable paraffin/expanded graphite composite PCM, *Energy Conversion and Management*, Vol. 149, pp. 416-423.
- [12] Preet, S., Bhushan, B. and Mahajan, T. (2017), Experimental investigation of water based photovoltaic/thermal (PV/T) system with and without phase change material (PCM), *Solar Energy*, Vol. 155, pp. 1104–1120.
- [13] Siahkamari, L., Rahimi, M., Azimi, N. and Banibayat, M. (2019), Experimental investigation on using a novel phase change material (PCM) in micro structure photovoltaic cooling system, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 100, pp. 60–66.