

# การเพิ่มประสิทธิภาพการทำความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

## Thermal efficiency enhancement of a heat pipe evacuated-tube solar collector by installing a compound parabolic concentrating reflector

สรวิศ สอนสารี<sup>1\*</sup>, กฤษฏา อ้นอ้าย<sup>1</sup>  
Sorawit Sonsaree<sup>1\*</sup>, Kritsada On-ai<sup>1</sup>

Received: 21 October 2021 ; Revised: 20 December 2021 ; Accepted: 17 January 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ในการศึกษาแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ แผ่นสังกะสี และแผ่นสแตนเลส ที่มีความสูงของรางสะท้อนเท่ากับ 86.80 mm ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับหลอดแก้วสุญญากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 33.80 mm และ 47.20 mm ที่มีความยาว 1,836 mm จำนวน 8 ท่อ ผลการศึกษาเปรียบเทียบในกรณีที่มีการติดตั้งและไม่มีติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ พบว่า เมื่อติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบจะมีค่าสูงสุดเมื่อระบบใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นสังกะสี แต่หากพิจารณาถึงอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดที่ระบบผลิตได้ พบว่า ระบบที่มีการใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นสแตนเลสจะมีความเหมาะสมที่สุด

**คำสำคัญ:** เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

### Abstract

The goal of this study was to study the thermal efficiency enhancement of a heat pipe evacuated-tube solar collector by installing a compound parabolic concentrating (CPC) reflector. The reflector was composed of two distinct materials: galvanized sheet and stainless steel sheet. Eight vacuum glass tubes with inner and outer diameters of 33.80 mm and 47.20 mm, and a length of 1,836 mm were utilized with a CPC reflector height of 86.20 mm. The results of studies comparing the thermal efficiency provided by solar water heating system (SWHS) with and without CPC reflectors revealed that installing CPC reflectors could increase the heat quality produced by the SWHS. When CPC reflectors made of galvanized sheet were used, the system's thermal efficiency reached its highest. In addition, when it achieved the highest hot water temperature that the system could provide. The method utilizing CPC reflectors constructed of stainless steel sheets was discovered to be the most appropriate.

**Keywords:** Solar Water Heating System (SWHS), heat pipe evacuated-tube collector, Compound Parabolic Concentrating (CPC) reflector.

<sup>1</sup> อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

<sup>1</sup> Lecturers, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok Province, 65000

\* Corresponding author Tel.: 063-3344448, E-mail address: sorawitsonsaree@psru.ac.th

## บทนำ

การนำเอาพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ เพื่อลดการใช้พลังงานฟอสซิลนั้นถือว่ามีมีความสำคัญและมีความท้าทายเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ประเทศกำลังประสบกับวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน โดยหนึ่งในวิธีการสำคัญในการลดการใช้พลังงานฟอสซิลในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้แทน และเมื่อให้ความสำคัญไปที่พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) ประเทศไทยมีเป้าหมายในการใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดสัดส่วนการใช้พลังงานฟอสซิลในปี พ.ศ. 2580 อยู่ที่ 100 kTOE (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) และเมื่อพิจารณาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ประเทศไทยนั้นถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีการใช้ประโยชน์จากรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดยมีค่าปริมาณรังสีอาทิตย์รวม (Total solar radiation) รายวันเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 17.60 MJ/m<sup>2</sup>-day (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณรังสีอาทิตย์ในรูปแบบอื่น โดยเฉพาะปริมาณรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรง (Beam or direct solar radiation) พบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพปริมาณรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรงค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะกับการนำเอาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน (Solar thermal power plant) ในรูปแบบอุณหภูมิสูงมาใช้แทน (Thawonngamyingsakul & Kiatsiriroat, 2012) อย่างไรก็ตามยังคงสามารถประยุกต์พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อนอื่นๆ เช่น การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ การทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในรูปแบบอุณหภูมิต่ำ (Sonsaree *et al.*, 2018) เป็นต้น นอกจากนี้เทคโนโลยีข้างต้นแล้วจะเห็นได้ว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาขีดความสามารถทางด้านเทคโนโลยี ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้วให้สามารถทำงานได้ดีมากยิ่งขึ้น หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานอย่างคุ้มค่าหรือดีที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสนใจไปที่การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat pipe evacuated-tube solar collectors) โดยการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (Compound Parabolic Concentrating (CPC) reflector) ผลการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา พบว่า สรวิต สอนสารี (2562) ได้ดำเนินการศึกษาผลของความสูงและวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

ที่มีผลต่อการผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดสุญญากาศ โดยในการศึกษาวิจัยที่นำมาใช้สร้างแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ 3 ชนิด คือ แผ่นอลูมิเนียม แผ่นสังกะสี และแผ่นสแตนเลส ที่มีความสูงของแผ่นสะท้อน 3 ความสูง คือ ความสูงสูงสุด 86.80 mm ความสูงปานกลาง 56.80 mm และความสูงต่ำสุด 28.40 mm ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ แผ่นสังกะสีที่มีความสูงต่ำสุด จะเหมาะสมที่สุด เนื่องจากระบบจะสามารถผลิตอุณหภูมิน้ำร้อนได้สูงที่สุด และมีค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ต่ำที่สุด Wu *et al.* (2021) ได้ดำเนินการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความเหมาะสมคือว่าในปีจจัยสำคัญที่จะช่วยให้การทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดตลอดช่วงระยะเวลาการทำงานตลอดปี Vijayakumar *et al.* (2019) พบว่าแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา เมื่อถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อน จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพความร้อน (อุณหภูมิน้ำร้อน) ในการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เช่นเดียวกับ Jiang *et al.* (2020), Pranesh *et al.* (2019) และ Tian *et al.* (2018) แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์จะช่วยให้ความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น ประกอบกับจะทำให้อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอนาคต นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อนำเอาแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะช่วยให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าวสามารถผลิตน้ำร้อนได้ตลอดช่วงระยะเวลาระหว่างวันโดยที่ไม่ต้องหมุนตามดวงอาทิตย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gao and Chen (2020) ที่ได้กล่าวว่า การออกแบบรูปลักษณะของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ดีนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical efficiency) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ Li *et al.* (2020) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่มีการติดตั้งและมีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ผลการศึกษาพบว่า เมื่อต้องการผลิตพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาจะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากจะช่วยให้ค่าใช้จ่ายต่อพลังงานที่ผลิตได้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา Xia and Chen (2020) ได้ทำการออกแบบแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาลักษณะเล็กเพื่อนำมาติดตั้งใช้ร่วมกับตัวเก็บ

รังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ โดยในการติดตั้งแผ่นสะท้อนนั้นจะทำการย้ายจุดตัดของรูปประกอบพาราโบลาซึ่งโดยปกติจะอยู่ด้านหลังของหลอดแก้ว (หลอดแก้วที่วางติดกัน) ผลการศึกษาพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาขนาดเล็กด้วยวิธีการดังกล่าว จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 27.3 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา Chamsa-ard *et al.* (2014) พัฒนา ออกแบบ สร้าง และทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 37 และ 47 mm ตามลำดับ ที่ทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาภายใต้มาตรฐานการทดสอบ ISO 9806-1 พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 78 และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน (Heat loss coefficient)  $a_1$  และ  $a_2$  คือ 3.55 และ 0.06 W/m<sup>2</sup>-K ตามลำดับ

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าหากมีการประยุกต์ใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน จะช่วยให้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนได้สูงขึ้น หรือสามารถเพิ่มคุณภาพความร้อน (อุณหภูมิน้ำร้อน) ได้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาทำแผ่นสะท้อน ประกอบกับกระบวนการที่จะทำให้ได้ซึ่งปริมาณความร้อนที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนจึงเป็นที่มาและความสำคัญของการศึกษางานวิจัยนี้

**แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา**

แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (Compound Parabolic Concentrating (CPC) reflector) เป็นตัวเพิ่มความเข้มรังสีอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed concentrator) (ไม่ต้องเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา) ประกอบกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบายังมีพื้นที่ผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์มากกว่าแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ (Focusing concentrator) ดังนั้น จึงสามารถยอมให้มีความผิดพลาดของรูปแบบผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้มากขึ้น โดยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบายังมีอัตราส่วนรวมรังสีตามทฤษฎี (Concentration Ratio (CR)) ขึ้นอยู่กับ

ตัวกลางระหว่างตัวดูดรังสี ผิวสะท้อนรังสี และมุมรับรังสี (Acceptance angle) โดยอัตราส่วนรวมรังสีตามทฤษฎีแสดงดังสมการที่ (1) (Duffie & Beckman, 2013) ดังนี้

$$CR = \frac{n}{\sin\theta_c} \tag{1}$$

เมื่อ  $n$  คือ สัมประสิทธิ์การหักเหแสง (Index of refraction) ของตัวกลางที่อยู่ระหว่างตัวรับรังสีกับรางสะท้อนรังสี และ คือ ครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance half angle) โดยความสัมพันธ์ของความสูง ( $H$ ) ความยาวโฟกัส ( $f$ ) ครึ่งมุมรับรังสี ( $\theta_c$ ) เส้นรอบรูปของเป้ารับรังสี (เฉพาะด้านที่รับรังสี ( $a$ )) ของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ และสมการส่วนโค้งรูปพาราโบลา ( $BC$ ) แสดงดังสมการที่ (2) ถึงสมการที่ (5) และ Figure 1 เมื่อ  $r$  คือ รัศมี  $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และ  $\beta$  คือ มุมจุดศูนย์กลางท่อ (Angle central pipe)

$$H = \frac{a}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi \sin\theta_c} + \frac{1}{\tan\theta_c \sin\theta_c} \right) \tag{2}$$

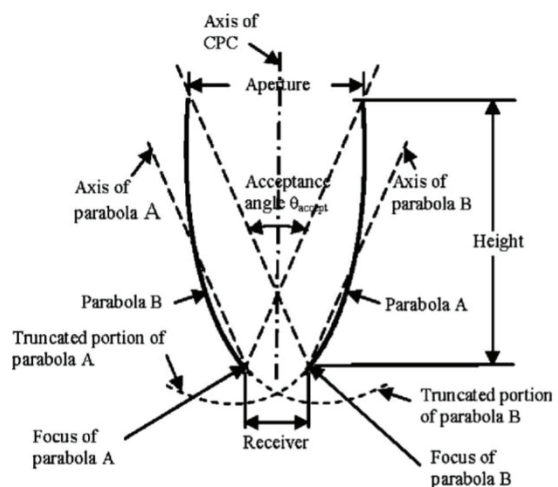
$$f = \frac{a}{r} \tag{3}$$

$$BC = \beta \left( \frac{d}{2} \right) \tag{4}$$

เมื่อ  $\beta \leq \theta_c + \frac{\pi}{2}$

$$BC = \frac{\left(\frac{d}{2}\right) \left[ \left(\beta + \theta_c + \frac{\pi}{2}\right) - \cos(\beta - \theta_c) \right]}{1 + \sin(\beta + \theta_c)} \tag{5}$$

เมื่อ  $\theta_c + \frac{\pi}{2} \leq \beta \leq 3\frac{\pi}{2} - \theta_c$



**Figure 1** Cross section of a nontruncated CPC (Mgbemene *et al.*, 2010)

## เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar water heating system (SWHS)) อุปกรณ์หลักประกอบไปด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collectors) ถังน้ำร้อน และปั๊มน้ำ หมุนเวียน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทำหน้าที่รับพลังงานจาก แสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนที่ได้รับให้กับน้ำที่ทำหน้าที่ เป็นตัวกลางในการรับความร้อน จากนั้นน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น (น้ำร้อน) จะถูกนำไปใช้งาน และ/หรือ ถูกนำไปเก็บสะสมไว้ใน ถังน้ำร้อนที่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนก่อนที่จะถูกดึงออกไป ใช้งานต่อไป โดยปริมาณความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องทำ น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ( $\dot{Q}_{coll}$ ) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ( $\eta_{SWHS}$ ) สามารถ แสดงได้ดังสมการที่ (6) และสมการที่ (7) ตามลำดับ ดังนี้

$$\dot{Q}_{coll} = \left( \frac{M}{Time} \right) c_p (T_{Final} - T_{Initial}) \quad (6)$$

$$\eta_{SWHS} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{A_c I_T} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ  $M$  คือ ปริมาณน้ำในถัง (Liter, L)  $TIME$  คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน (second, s)  $T_{Initial}$  และ  $T_{Final}$  คือ อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น และอุณหภูมิน้ำในถังสุดท้าย ( $^{\circ}C$ )  $A_c$  คือ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $m^2$ ) (สำหรับงานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ รวม หรือ Gross area ในการวิเคราะห์) และ  $I_T$  คือ ปริมาณ รังสีอาทิตย์ที่ได้รับ (รังสีอาทิตย์ชนิดรังสีรวม (Total solar radiation)) ( $W/m^2 \cdot day$ )

## วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการ เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ หลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่น สะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา รายละเอียด ของวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงดังนี้

### 1. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิด ท่อความร้อน

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิด ท่อความร้อน (Heat pipe evacuated-tube solar collectors) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 33.80 mm และ 47.20 mm ตามลำดับ ที่มีความยาว 1,836 mm จำนวน 8 ท่อ ได้ถูกนำมาใช้ในระบบผลิตน้ำร้อนด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ (สาเหตุที่ต้องใช้หลอดแก้วสุญญากาศ จำนวน 8 ท่อ ก็เนื่องมาจากเมื่อนำแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบ รูปประกอบพาราโบลามีความกว้าง 152.76 mm (มุมมอง ภาพด้านบนจาก Figure 2) มาต่อประกอบร่วมกันเป็นตัวเก็บ

รังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนที่มี การติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา จะทำให้มีมิติของขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวม (Gross area) ประมาณ  $2.20 m^2$  ที่ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้งานทั่วไป และมีขายตามท้องตลาด)

### 2. แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา ที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน 2 วัสดุ ที่มีความหนา 3 mm คือ (1) แผ่นสังกะสี และ (2) แผ่นสแตนเลส (ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้นำวัสดุชนิดแผ่นอลูมิเนียมมาใช้งาน เนื่องจากในงาน วิจัยที่ผ่านมา (สรวิศ สอนสารี, 2562) พบว่า แผ่นอลูมิเนียม เป็นวัสดุที่ขึ้นเป็นรูปทรงรูปประกอบพาราโบลาได้ไม่ดี จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบ ความสามารถในการเพิ่มคุณภาพความร้อนของน้ำร้อนที่ ผลิตได้จากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการ ออกแบบได้กำหนดให้มุมจุดศูนย์กลางท่อ (Angle central pipe ( $\beta$ )) และครึ่งมุมรับรังสี (Half angle) เท่ากับ  $120.0^{\circ}$  และ  $11.5^{\circ}$  ตามลำดับ (สรวิศ สอนสารี, 2562) จากนั้นได้ ตัดความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบ พาราโบลาให้มีความสูง 86.80 mm และความยาว 1,200 mm (ตามความยาวของวัสดุแผ่นที่มีขายตามท้องตลาด) แสดง ดัง Figure 2 และ Figure 3 ตามลำดับ

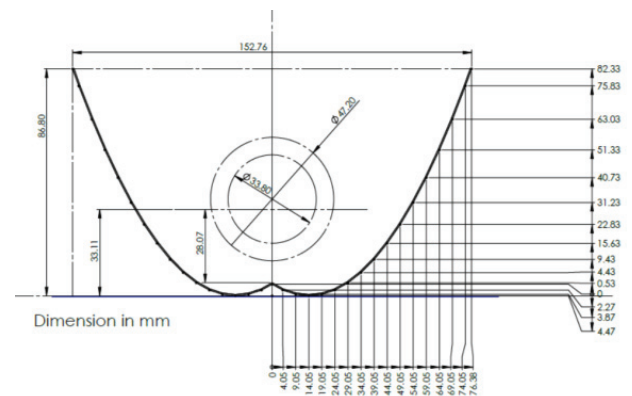


Figure 2 Cross section of a CPC reflectors that has been designed and fabricated



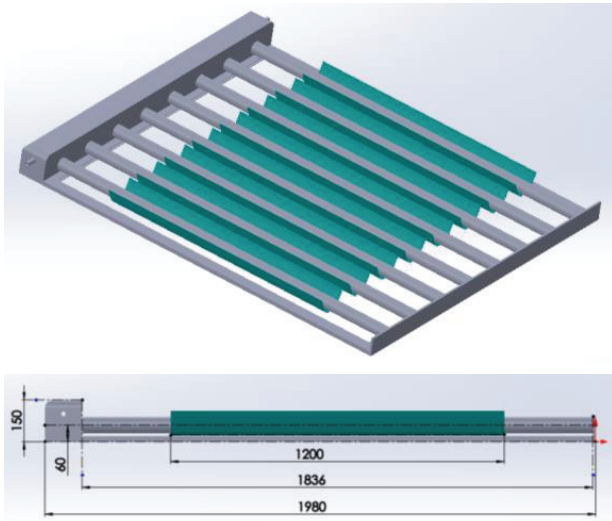


Figure 3 Length of the CPC reflectors when installed

3. การดำเนินการทดสอบ

การดำเนินการทดสอบจะเป็นการทดสอบเปรียบเทียบพลังงานความร้อน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ (1) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา) (2) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่ทำจากแผ่นสังกะสี และ (3) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่ทำจากแผ่นสแตนเลส

ในการทดสอบนั้นได้กำหนดให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในถังน้ำร้อนที่มีการหุ้มฉนวนอย่างดีมีปริมาณน้ำในถังเท่ากับ 100 ลิตร และแต่ละระบบกำหนดให้มีอัตราการไหลของน้ำร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ 1 ถึง 3 LPM (ลิตรต่อนาที) (โดยเพิ่มครั้งละ 1 LPM) (สาเหตุสำคัญของการเลือกย่านอัตราการไหลดังกล่าว คือ เป็นการเลือกอัตราการไหลที่มีอัตราการไหลจากต่ำ (1 LPM) ไปหาอัตราการไหลสูง (3 LPM) ที่ซึ่งจะทำให้เห็นแนวโน้มของอัตราความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่เครื่องทำน้ำร้อนผลิตได้ และจะเป็นแนวทางในการนำอัตราการไหลไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ในอนาคต) โดยจะแกรมการทดสอบอย่างง่ายแสดงดัง Figure 4 การทดสอบได้ดำเนินการบันทึกข้อมูลต่างๆ ตลอดช่วงระยะเวลาระหว่างวัน ตั้งแต่เวลาเวลา 9.00 ถึง 15.30 น. ดังนี้ อุณหภูมิแวดล้อม ( $T_{Amb}$ ) อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ( $T_{Initial}$ ) อุณหภูมิน้ำสุดท้าย ( $T_{Final}$ ) อุณหภูมิน้ำภายในถังน้ำร้อนตลอดช่วงระยะเวลาระหว่างวัน ด้วยสายเทอร์โมคัปเปิล Type K และปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $I_p$ ) ด้วยเซลล์อ้างอิง (Reference cell) ที่ถูกสอบเทียบกับเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (Solar power meter) ยี่ห้อ CEM รุ่น LA-107 โดยข้อมูลต่างๆ จะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกอัตโนมัติยี่ห้อ HIOKI รุ่น LR8431-20 ทุกๆ 1 นาที (ตัวอย่างของอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดัง Figure 5) ทั้งนี้ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะวางทำมุมเอียง  $17^\circ$  กับแนวระดับ (ตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งละติจูดของจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นที่ตั้งของสถานที่ทดสอบ) และหันหน้าไปทางทิศใต้

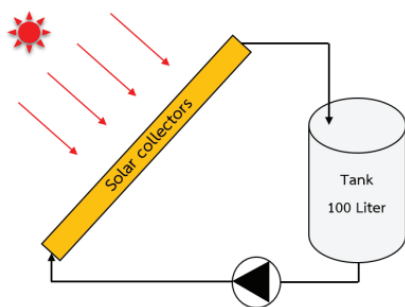
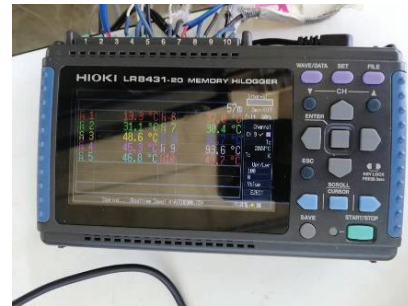


Figure 4 Single line diagram of the solar water heating system (SWHS)



(a) Thermocouple



(b) Data logger



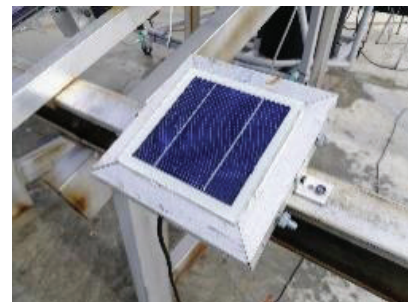
(c) Storage tank



(d) Flow meter



(e) Water pump



(f) Reference cell

Figure 5 Examples of installed tools

**ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา**

ผลการทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้ง 3 กรณี สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

**1. กรณี ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อน (ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา)**

ผลการศึกษาแสดงดัง Table 1 และ Figure 6 พบว่า อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ระบบผลิตได้ตลอดช่วงระยะเวลา ระหว่างวันนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา โดยที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 1 LPM ระบบจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ ร้อยละ 18.30 รองลงมา คือ ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียน 2 และ 3 LPM จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่

ร้อยละ 15.70 และ 15.21 ตามลำดับ โดยที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 1 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 32.25 °C ไปเป็น 44.15 °C หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 4,974.20 kJ เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 527.97 W/m<sup>2</sup> ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 2 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 32.90 °C ไปเป็น 46.45 °C หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 5,663.90 kJ เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 700.92 W/m<sup>2</sup> และที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 3 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 33.49 °C ไปเป็น 48.30 °C หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 6,193.37 kJ เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 791.48 W/m<sup>2</sup>

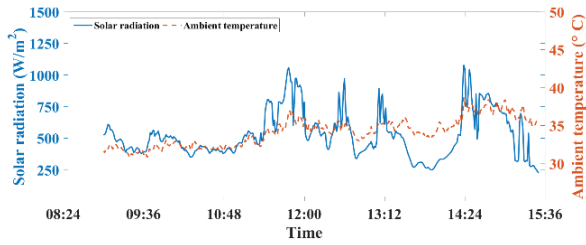
**Table 1** Initial temperature, final temperature, thermal energy, and efficiency of the systems (without CPC reflectors)

Date	Flow	T <sub>Initial</sub>	T <sub>Final</sub>	I <sub>T</sub>	Q <sub>Coll</sub>	Eff <sub>th</sub>
	(LPM)	(°C)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> )	(kJ)	(%)
14-Aug-2021	1	31.57	43.40	525.98	4,946.33	18.27
25-Aug-2021	1	32.93	44.90	529.95	5,002.07	18.33
Average		32.25	44.15	527.97	4,974.20	18.30
19-Aug-2021	2	33.43	47.00	693.63	5,670.87	15.88
20-Aug-2021	2	32.37	45.90	708.21	5,656.93	15.52
Average		32.90	46.45	700.92	5,663.90	15.70
23-Aug-2021	3	33.30	48.40	807.89	6,311.80	15.18
24-Aug-2021	3	33.67	48.20	775.07	6,074.93	15.23
Average		33.49	48.30	791.48	6,193.37	15.21

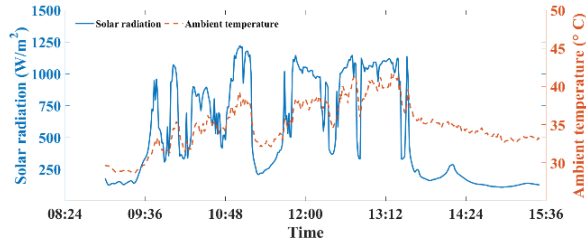
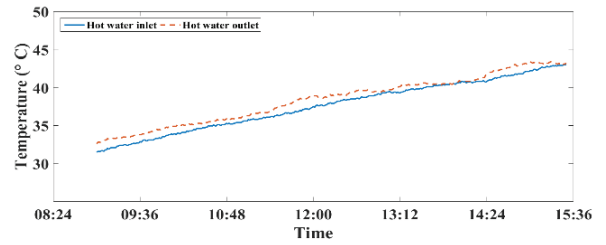
## 2. กรณี ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อน ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ แบบรูปประกอบพาราโบลาที่ทำจากแผ่นสังกะสี

ผลการศึกษาแสดงดัง Table 2 และ Figure 7 พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 1 LPM ระบบจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 18.80 รองลงมา คือ ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียน 2 และ 3 LPM จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 17.76 และ 14.86 ตามลำดับ โดยที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 1 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 30.87 °C ไปเป็น 43.00 °C หรือคิดเป็นพลังงาน

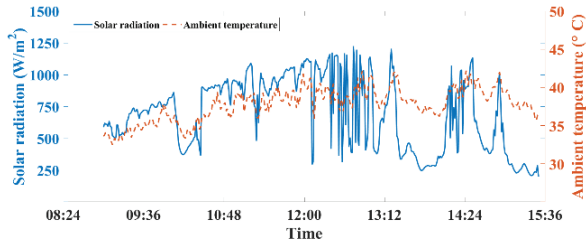
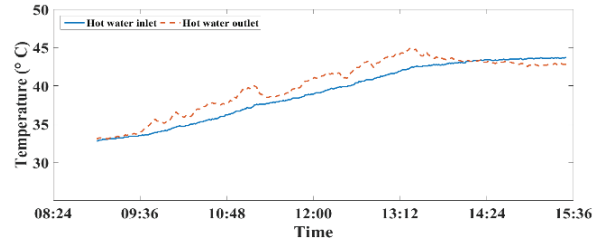
ความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 5,071.74 kJ (0.22 kW<sub>th</sub>) เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 522.32 W/m<sup>2</sup> ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 2 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 29.93 °C ไปเป็น 43.65 °C หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 5,733.57 kJ (0.25 kW<sub>th</sub>) เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 630.64 W/m<sup>2</sup> และที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 3 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 29.75 °C ไปเป็น 43.30 °C หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 5,663.85 kJ เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 738.57 W/m<sup>2</sup>



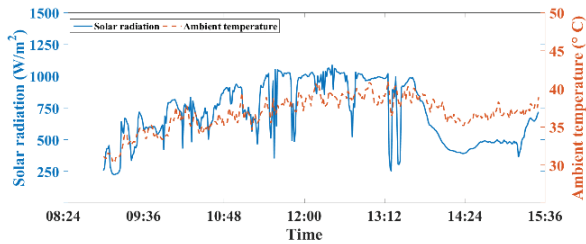
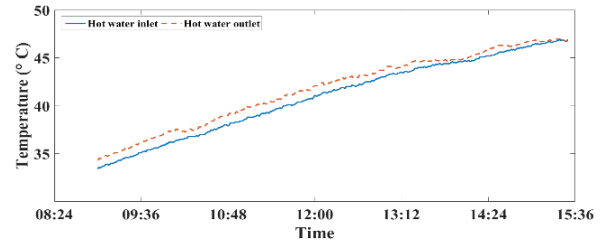
(a) 14 August 2021 (1 LPM)



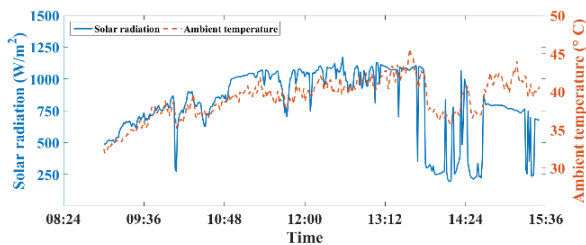
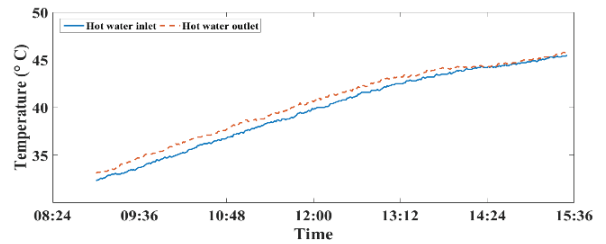
(b) 25 August 2021 (1 LPM)



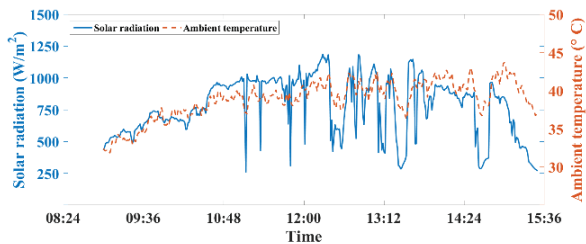
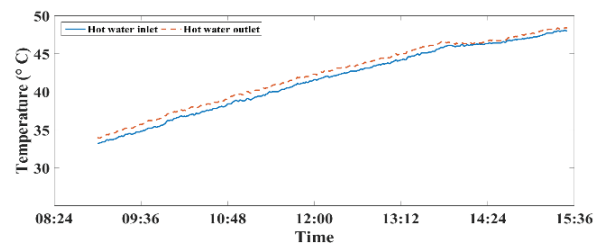
(c) 19 August 2021 (2 LPM)



(d) 20 August 2021 (2 LPM)



(e) 23 August 2021 (3 LPM)



(f) 24 August 2021 (3 LPM)

Figure 6 Solar radiation ( $W/m^2$ ), ambient temperature ( $^{\circ}C$ ), and hot water temperature ( $^{\circ}C$ ) when the solar water heating system (SWHS) without CPC reflectors



**Table 2** Initial temperature, final temperature, thermal energy, and efficiency of the systems (with CPC reflectors and galvanized sheet are used)

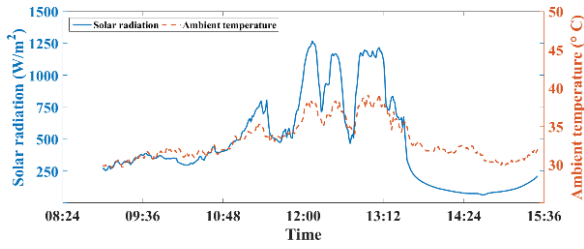
Date	Flow	T <sub>Initial</sub>	T <sub>Final</sub>	I <sub>T</sub>	Q <sub>Coil</sub>	Eff <sub>th</sub>
	(LPM)	(°C)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> )	(kJ)	(%)
2-Sep-2021	1	31.80	42.20	462.94	4,347.20	18.24
3-Sep-2021	1	29.93	43.80	581.70	5,796.27	19.36
Average		30.87	43.00	522.32	5,071.74	18.80
6-Sep-2021	2	29.63	43.70	592.37	5,879.87	19.28
7-Sep-2021	2	30.23	43.60	668.90	5,587.27	16.23
Average		29.93	43.65	630.64	5,733.57	17.76
11-Sep-2021	3	29.50	40.90	633.61	4,765.20	14.61
18-Sep-2021	3	30.00	45.70	843.53	6,562.50	15.11
Average		29.75	43.30	738.57	5,663.85	14.86

### 3. กรณี ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อน ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ แบบรูปประกอบพาราโบลาที่ทำจากแผ่นสแตนเลส

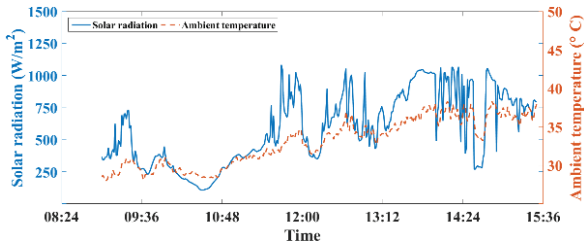
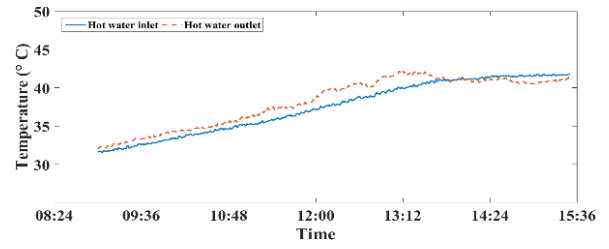
ผลการศึกษาดังแสดง Table 3 และ Figure 8 พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 1 LPM ระบบจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 13.97 รองลงมา คือ ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียน 2 และ 3 LPM จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 13.81 และ 13.49 ตามลำดับ โดยที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 1 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 32.25 °C ไปเป็น 47.55 °C หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 6,395.40 kJ เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 889.31 W/m<sup>2</sup> ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 2 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 32.35 °C ไปเป็น 46.75 °C หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 6,019.20 kJ เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 847.88 W/m<sup>2</sup> และที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบเท่ากับ 3 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเริ่มต้น 33.14 °C ไปเป็น 40.05 °C หรือคิดเป็นพลังงาน

ความร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ 5,378.27 kJ เมื่อได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์ 774.44 W/m<sup>2</sup>

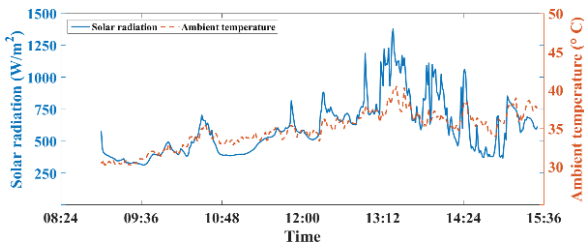
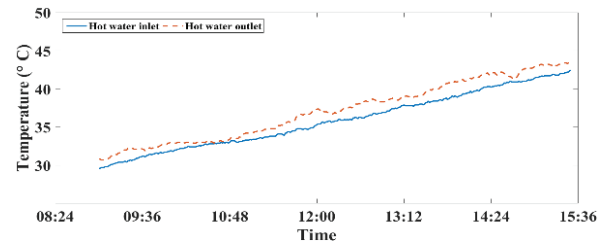
พิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษานี้เมื่อมีการติดตั้งและไม่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบต่ำสุด 1 LPM จะทำให้ระบบผลิตน้ำร้อนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด เนื่องจากที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบต่ำจะช่วยให้ของไหลทำงานในระบบ (น้ำ) มีโอกาสที่จะรับความร้อนที่ถูกถ่ายเทจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้สูงกว่ากรณีที่อัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนในระบบมีอัตราการไหลที่สูง (เช่น จากสมการหาอัตราความร้อน  $\dot{Q} = \dot{m}_w c_p (T_{out} - T_{in})$  เมื่อกำหนดให้  $\dot{Q} = 1 \text{ kW}$ ,  $c_p = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}$  และ  $T_{in} = 35 \text{ °C}$  เมื่ออัตราการไหลมีความแตกต่างกัน 2 อัตราการไหล คือ  $\dot{m}_w = 1 \text{ LPM}$  และ  $\dot{m}_w = 3 \text{ LPM}$  จากนั้นหาอุณหภูมิน้ำออก ( $T_{out}$ ) เมื่ออัตราการไหลของน้ำแตกต่างกัน 2 อัตราการไหล จากสมการ  $T_{out} = T_{in} + (\dot{Q} / \dot{m}_w c_p)$  ที่ได้จากสมการข้างต้น พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 LPM และ 3 LPM อุณหภูมิน้ำออก ( $T_{out}$ ) จะมีค่าเท่ากับ 49.35 °C และ 39.78 °C ตามลำดับ)



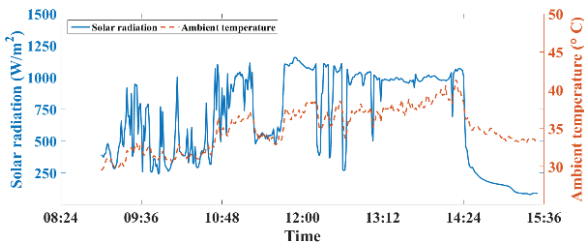
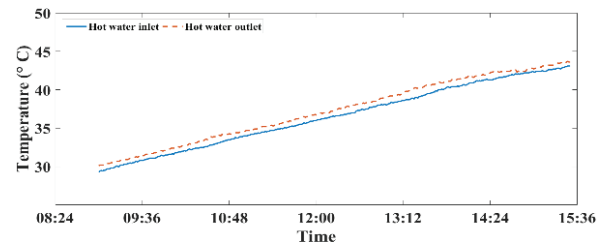
(a) 2 September 2021 (1 LPM)



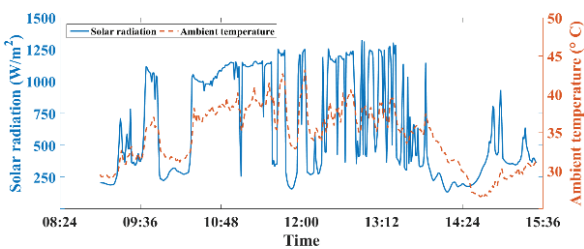
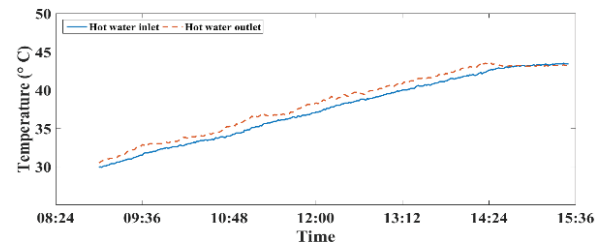
(b) 3 September 2021 (1 LPM)



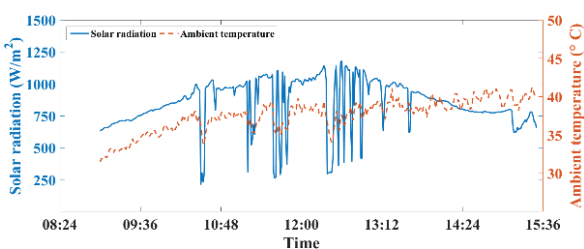
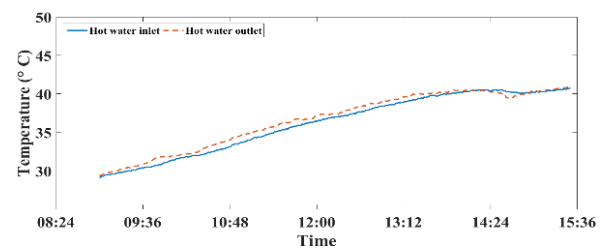
(c) 6 September 2021 (2 LPM)



(d) 7 September 2021 (2 LPM)



(e) 11 September 2021 (3 LPM)



(f) 18 September 2021 (3 LPM)

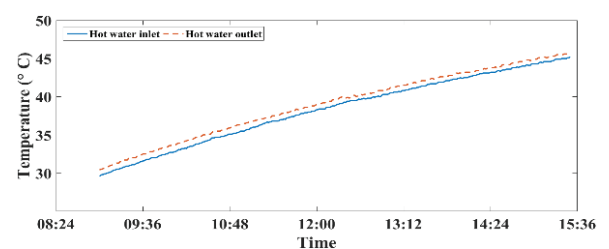
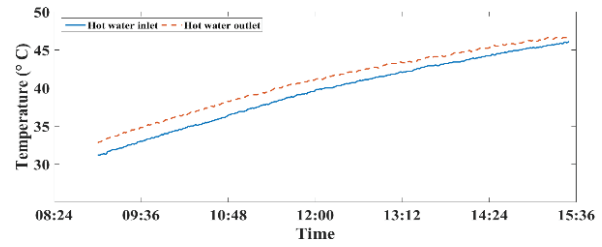
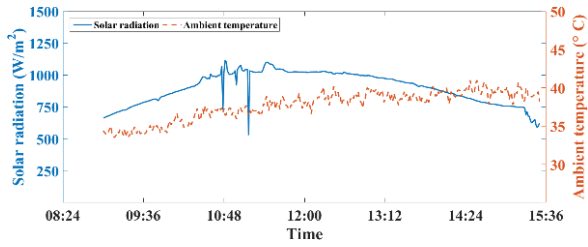
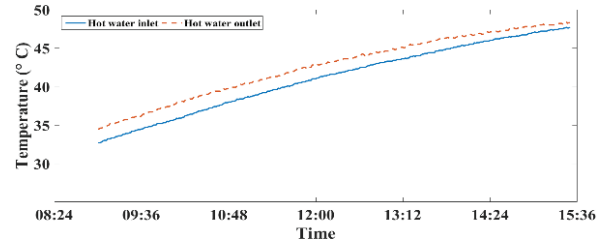
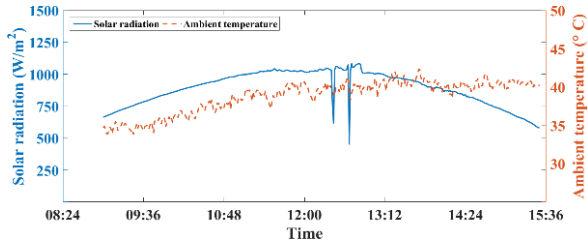


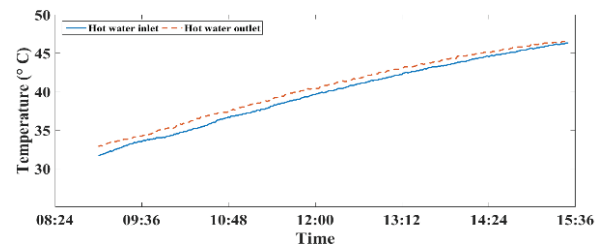
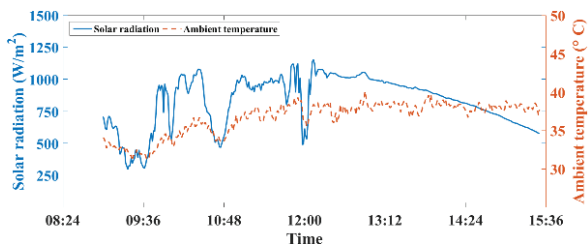
Figure 7 Solar radiation (W/m<sup>2</sup>), ambient temperature (°C), and hot water temperature (°C) when the solar water heating system (SWHS) with CPC reflectors (galvanized sheet are used)



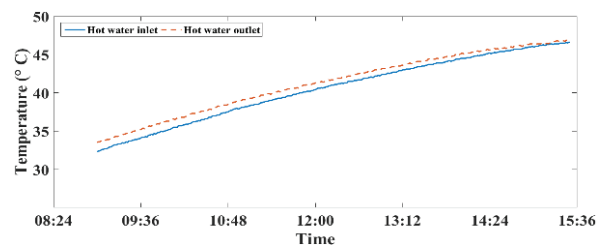
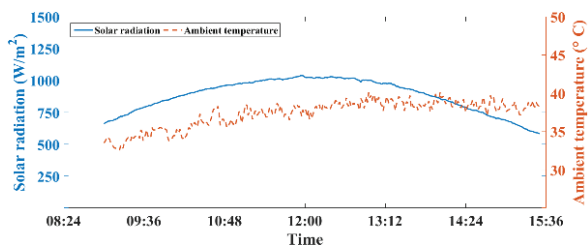
(a) 29 September 2021 (1 LPM)



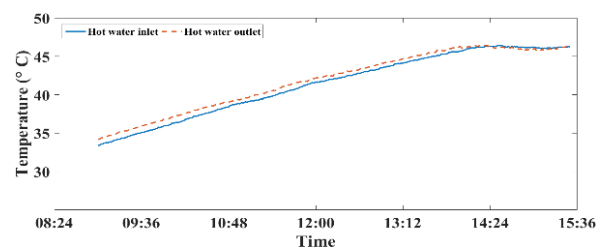
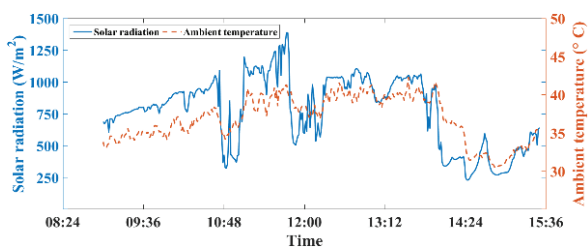
(b) 30 September 2021 (1 LPM)



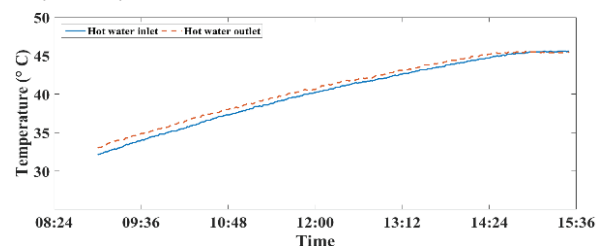
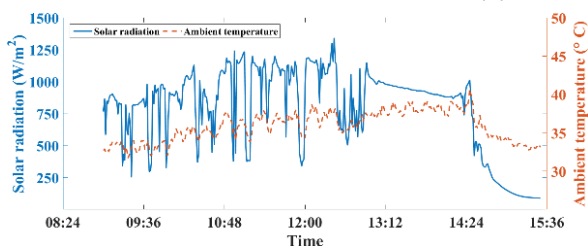
(c) 4 October (2 LPM)



(d) 5 October 2021 (2 LPM)



(e) 6 October 2021 (3 LPM)



(f) 10 October 2021 (3 LPM)

**Figure 8** Solar radiation (W/m<sup>2</sup>), ambient temperature (°C), and hot water temperature (°C) when the solar water heating system (SWHS) with CPC reflectors (stainless sheet are used)

**Table 3** Initial temperature, final temperature, thermal energy, and efficiency of the systems (with CPC reflectors and stainless sheet are used)

Date	Flow	T <sub>Initial</sub>	T <sub>Final</sub>	I <sub>T</sub>	Q <sub>Coil</sub>	Eff <sub>th</sub>
	(LPM)	(°C)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> )	(kJ)	(%)
29-Sep-2021	1	31.43	46.70	893.76	6,381.47	13.87
30-Sep-2021	1	33.07	48.40	884.86	6,409.33	14.07
Average		32.25	47.55	889.31	6,395.40	13.97
4-Oct-2021	2	32.00	46.60	822.68	6,102.80	14.41
5-Oct-2021	2	32.70	46.90	873.08	5,935.60	13.21
Average		32.35	46.75	847.88	6,019.20	13.81
6-Oct-2021	3	33.77	34.50	763.94	5,280.73	13.43
7-Oct-2021	3	32.50	45.60	784.93	5,475.80	13.55
Average		33.14	40.05	774.44	5,378.27	13.49

โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูป ประกอบพาราโบล่าที่ทำจากวัสดุสังกะสีจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ โดยจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 19.36 ซึ่งระบบสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นจาก 29.93 °C ไปเป็น อุณหภูมิน้ำสุดท้าย 43.80 °C คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ระบบผลิตได้ 5,796.27 kJ เมื่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ได้รับ เท่ากับ 581.70 W/m<sup>2</sup> (ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 7 (b))

แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงอุณหภูมิน้ำสุดท้าย ที่สูงที่สุด พบว่า กรณีเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิด ท่อความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูป ประกอบพาราโบล่าที่ทำจากวัสดุสแตนเลสจะมีความเหมาะสมที่สุด (เนื่องจากสแตนเลสเป็นวัสดุที่มีความมันวาว ส่งผลให้มีคุณสมบัติการสะท้อนของแสงที่ดีกว่าวัสดุที่เป็นแผ่นสังกะสี) โดยเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลเวียนของน้ำในระบบมีอัตราการไหล 1 LPM ระบบจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นจาก 33.07 °C ไปเป็นอุณหภูมิน้ำสุดท้าย 48.40 °C เมื่อปริมาณ รังสีอาทิตย์ที่ได้รับเท่ากับ 884.86 W/m<sup>2</sup> และระบบจะสามารถ ผลิตพลังงานความร้อนได้เท่ากับ 6,409.33 kJ (แสดงดัง Table 3 และ Figure 8 (b))

### สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการ เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงาน

แสงอาทิตย์ที่มีการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้ว สุญญากาศชนิดท่อความร้อน โดยการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสี อาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบล่า โดยในการศึกษาหลอด แก้วสุญญากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและเส้น ผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 33.80 mm และ 47.20 mm ที่มีความยาว 1,836 mm จำนวน 8 ท่อ ได้ถูกนำมาประยุกต์ ใช้ในงานวิจัยนี้ และในส่วนของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์นั้นใน การทดสอบได้ดำเนินการออกแบบและสร้างแผ่นสะท้อนรังสี อาทิตย์ที่ทำจากวัสดุต่างกัน 2 วัสดุ คือ แผ่นสังกะสี และแผ่น สแตนเลส ที่มีความสูงของรางสะท้อนเท่ากับ 86.80 mm

ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และ ความสามารถในการเพิ่มคุณภาพความร้อน (อุณหภูมิน้ำร้อน) พบว่า ระบบเมื่อมีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบ รูปประกอบพาราโบล่าจะช่วยให้คุณภาพพลังงานความร้อน ที่ระบบผลิตได้สูงขึ้น (อัตราความร้อนที่ระบบผลิตได้และ อุณหภูมิน้ำร้อนที่ระบบผลิตได้สูงขึ้น) ที่อัตราการไหลของน้ำ หมุนเวียนในระบบมีค่าต่ำจะช่วยให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของระบบมีค่าสูงที่สุด และเมื่อเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสง อาทิตย์ทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบ พาราโบล่าที่ทำจากแผ่นสังกะสีจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนของระบบมีค่าสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา คุณภาพความร้อน (อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ระบบผลิตได้) จะ ได้ว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำงานร่วมกับแผ่น สะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบล่าที่ทำจากแผ่น สแตนเลสจะส่งผลให้ระบบสามารถผลิตอุณหภูมิน้ำร้อนได้ สูงที่สุด เนื่องมาจากลักษณะของพื้นผิวที่มีความมันวาว ส่งผล



ให้รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผ่นสะท้อนสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ไปยังตัวรับรังสีอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี

ทั้งนี้ในอนาคตผู้ดำเนินงานวิจัยมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้เห็นถึงความแตกต่างและรวมถึงความสามารถของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่จะส่งผลต่อการทำงานของระบบ อีกทั้งจะต้องมีการพิจารณาในส่วนของการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จะช่วยให้เกิดการตัดสินใจนำมาใช้งานต่อไปได้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประเภททุนพัฒนางานวิจัยเพื่อสร้างความมั่นคงเศรษฐกิจฐานราก ประจำปีงบประมาณ 2564

### เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560).

โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560) (pp. 6).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563).

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 - 2580 (AEDP2018) (pp. 43).

สรวิศ สอนสารี. (2562). ผลของความสูงและวัสดุของ แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีผลต่อการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 9(3), 168-183.

Chamsa-ard, W., Sukchai, S., Sonsaree, S. and Sirisamphanwong, C. (2014). Thermal performance testing of heat pipe evacuated tube with compound parabolic concentrating solar collector by ISO 9806-1. *Energy Procedia*, 56, 237-246.

Duffie, J.A. & Beckman, W.A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.

Gao, C. & Chen, F. (2020). Model building and optical performance analysis on a novel designed compound parabolic concentrator. *Energy conversion and management*, 209, 112619.

Jiang, C., Yu, L., Yang, S., Li, K., Wang, J., & Lund, P.D. (2020). A review of the compound parabolic concentrator (CPC) with a tubular absorber. *Energies*, 13(3), 695.

Li, L., Wang, B., Pye, J. & Lipiński, W. (2020). Temperature-based optical design, optimization and economics of solar polar-field central receiver systems with an optional compound parabolic concentrator. *Solar energy*, 206, 1018-1032.

Mgbemene, C.A, Duffy, J., Sun, H. & Onyegegbu, S.O. (2010). Electricity generation from a compound parabolic concentrator coupled to a thermoelectric module. *Energy Sustainability*, 43208, 423-432.

Pranesh, V., Velraj, R., Christopher, S. & Kumaresan, V. (2019). A 50 year review of basic and applied research in compound parabolic concentrating solar thermal collector for domestic and industrial applications. *Solar energy*, 187, 293-340.

Sonsaree, S., Asaoka, T., Jiajitsawat, S., Aguirre, H. & Tanaka, K. (2018). A small-scale solar Organic Rankine Cycle power plant in Thailand: Three types of non-concentrating solar collectors. *Solar energy*, 162, 541-560.

Thawongamyingsakul, C. & Kiatsiriroat, T. (2012). Potential of a solar organic rankine cycle with evacuated-tube solar collectors as heat source for power generation in Thailand. *Energy Science and Technology*, 4(2), 25-35.

Tian, M., Su, Y., Zheng, H., Pei, G., Li, G. & Riffat, S. (2018). A review on the recent research progress in the compound parabolic concentrator (CPC) for solar energy applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 82, 1272-1296.

Vijayakumar, P., Kumaresan, G., Faizal, U M., Chandran, GR V. & Adharsh, KS V. (2019). *Performance evaluation of compound parabolic concentrator with evacuated tube heat pipe*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

Wu, Z., Wang, X., Sha, L., Li, X., Yang, X., & Ma, X. (2021). Performance analysis and multi-objective optimization of the high-temperature cascade heat pump system. *Energy*, 223, 120097.

Xia, E. & Chen, F. (2020). Analyzing thermal properties of solar evacuated tube arrays coupled with mini-compound parabolic concentrator. *Renewable energy*, 153, 155-167.