

ผลของความสูงและวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบ
พาราโบลามีผลต่อการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
EFFECT OF HEIGHT AND MATERIAL OF COMPOUND PARABOLIC
CONCENTRATOR FOR SOLAR HOT WATER PRODUCTION

สรวิศ สอนสารี

อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล จังหวัดพิษณุโลก 65000, sorawitsonsaree@gmail.com

Sorawit Sonsaree

Lecturers, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,
156 Moo 5, Plaichumpol Sub-district, Phitsanulok 65000, Thailand,
sorawitsonsaree@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของความสูงและวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลามีผลต่อการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษาได้เปรียบเทียบวัสดุ 3 ชนิดคือ แผ่นอลูมิเนียม แผ่นสังกะสี และแผ่นสแตนเลส และออกแบบความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้มีความสูงแตกต่างกัน 3 ความสูง คือ 8.68 (สูงกว่าท่อสุญญากาศ), 5.68 (ระดับเดียวกับท่อสุญญากาศ) และ 2.84 cm (ต่ำกว่าท่อสุญญากาศ) ผลการศึกษาพบว่า แผ่นสังกะสีที่มีความสูงของแผ่นสะท้อนอาทิตย์ 2.84 cm จะมีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อนต่ำสุด 1.28 บาท/W_{th} โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังกล่าวจะสามารถผลิตอุณหภูมิน้ำร้อนได้ 62.35 °C ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ 50.04 W_{th} และประสิทธิภาพเชิงความร้อน 39.16%

คำสำคัญ: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลามี

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the effect of height and material of compound parabolic concentrator for solar hot water production. The study compares 3 types of materials which are Aluminum, Galvanized, and Stainless sheet. By designing the high of the solar reflector (Compound Parabolic Concentrator (CPC)) to have 3 different heights as

follows: 8.68 (higher than evacuated tubes), 5.68 (same level as evacuated tubes), and 2.84 cm (lower than evacuated tubes). The study indicated that the Galvanized sheets with a reflector height of 2.84 cm will be most suitable because it was the lowest cost per thermal energy of 1.28 Baht/ W_{th} . The solar collectors can produce the hot water temperature of 62.35 °C, the amount of heat rate is 50.04 W_{th} and the thermal system efficiency is 39.16%.

KEYWORDS: Solar collectors, Compound Parabolic Concentrator (CPC)

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ มาเป็นแหล่งพลังงานเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าและ/หรือพลังงานความร้อนเพื่อทดแทนพลังงานสิ้นเปลืองจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากความตระหนักถึงการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูงเฉลี่ยประมาณ 17.6 MJ/m²-day [1] แต่เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรง พบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรงค่อนข้างต่ำประมาณ 1,350-1,400 kW/m²-year [2] เมื่อเทียบกับปริมาณรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรงขั้นต่ำ 1,500 kWh/m²-year [3-5] ที่ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบรวมแสง อย่างไรก็ตามสามารถที่จะนำเอาพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำถึงอุณหภูมิปานกลางได้โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หรือนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในรูปอุณหภูมิต่ำ Sonsaree et al [6] ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C โดยในการศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ชนิดคือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ แบบท่อสุญญากาศ และแบบรูปประกอบพาราโบลา ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle (ORC)) ผลการศึกษาพบว่า ระบบจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเมื่อใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูง และสามารถผลิตน้ำร้อนให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงสุดหรือช่วงอุณหภูมิที่ต้องการได้ [7] ดังจะเห็นได้ว่าชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกไปใช้งาน ทั้งนี้ก็เพื่อให้ระบบต่างๆ สามารถนำเอาพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างสูงสุดในพื้นที่ติดตั้งที่มีอยู่อย่างจำกัดนั่นเอง Chumnumwat et al [8] ได้ศึกษาเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศรูปประกอบพาราโบลา และแผ่นเรียบรูปประกอบพาราโบลา สำหรับการอุ่นน้ำป้อนในระบบหม้อไอน้ำของโรงงานผลไม้มักรับรอง ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศรูปประกอบพาราโบลามี

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และต้นทุนสูงกว่าแบบแผ่นเรียบรูปประกอบพาราโบลา Vijayakumar et al [9] ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อนชนิดท่อสุญญากาศ จะมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้งานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา Wang et al [10] พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการทำงานของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา โดยผลการศึกษาพบว่า แผ่นสะท้อนควรจะมีมุมฉายตามขวาง (Transversal Projection Angle) ในช่วง -23.5° ถึง 23.5° โดยผลทดลองเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในกรณีที่มีการหมุนตามดวงอาทิตย์ และไม่หมุนตามดวงอาทิตย์ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical Efficiency) เฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ กรณีที่มีการหมุนตามดวงอาทิตย์มีค่าสูงถึง 60% ในขณะที่ในกรณีไม่หมุนตามดวงอาทิตย์จะมีค่าประมาณ 30% นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความเหมาะสมจะช่วยให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาทำงานตลอดปี Abdullahi et al [11] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา โดยการติดตั้งท่อสุญญากาศขนานกันสองท่อในแนวตั้ง (Vertical) และแนวนอน (Horizontal) โดยประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เมื่อติดตั้งท่อสุญญากาศแบบแนวนอนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า 17% เมื่อเทียบกับการติดตั้งท่อสุญญากาศแบบแนวตั้ง และเมื่อออกแบบแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้มีมุมรับแสง (Acceptance Angle) เท่ากับ 30° จะช่วยให้มีประสิทธิภาพการผลิตน้ำร้อนสูงที่สุดประมาณ 21%

จากผลการศึกษางานวิจัยข้างต้น ประกอบกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP2015) [12] ที่มีเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ เพื่อลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล งานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสนใจไปที่การพัฒนาแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา เนื่องจากในปัจจุบันแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ดังกล่าวมีราคาแพงจึงยังไม่เป็นที่ได้รับความนิยม โดยการศึกษาจะเป็นการออกแบบแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ความสูง ที่ทำจากแผ่นสังกะสี แผ่นอลูมิเนียม และแผ่นสแตนเลส ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป จากนั้นจะดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิ ปริมาณความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ และวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อน (บาท/ W_h) ที่ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนที่สามารถประยุกต์ใช้ภายในประเทศได้เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (Compound Parabolic Concentrator (CPC) Solar Collectors) เป็นตัวเพิ่มความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed Concentrator)

ที่มีอุณหภูมิใช้งานปานกลาง (100-300 °C) โดยมีรังสะท้อนรังสีให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นไปประมาณ 1.1-10.0 เท่า โดยไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา แต่อาจจะต้องมีการปรับตำแหน่งเป็นบางครั้ง เช่น เดือนละครึ่ง หรือฤดูกลางละครึ่ง นอกจากนี้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลายังมีพื้นที่ผิวสะท้อนรังสีมากกว่าแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ (Focusing Concentrator) จึงสามารถยอมให้มีการผิดพลาดของรูปแบบผิวสะท้อนรังสีได้มากขึ้น โดยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลามีอัตราส่วนการรวมรังสีตามทฤษฎี (Concentration Ratio (CR)) ขึ้นอยู่กับตัวกลางระหว่างตัวดูดรังสี ผิวสะท้อนรังสี และมุมรับรังสี (Acceptance Angle) โดยจะมีอัตราส่วนรวมรังสีตามทฤษฎีแสดงดังสมการที่ (1) ดังนี้ [13]

$$CR = \frac{n}{\sin\theta_c} \quad (1)$$

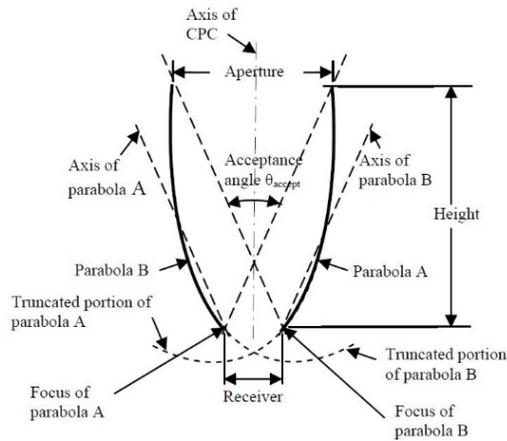
เมื่อ n คือ สัมประสิทธิ์การหักเหแสง (Index of Refraction) ของตัวกลางที่อยู่ระหว่างตัวรับรังสีกับรางสะท้อนรังสี และ θ_c คือ ครึ่งมุมรับรังสี (Acceptance Half Angle) โดยความสัมพันธ์ของความสูง (H) ความยาวโฟกัส (f) ครึ่งมุมรับรังสี (θ_c) เส้นรอบรูปของแป้รับรังสี (เฉพาะด้านที่รับรังสี (a)) ของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ และสมการส่วนโค้งรูปพาราโบล่า (BC) แสดงดังสมการ (2) ถึง (4) และรูปที่ 1 ตามลำดับ ดังนี้

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

$$f = \frac{a}{r} \quad (3)$$

$$BC = \beta \left(\frac{d}{2} \right) \quad ; \quad \beta \leq \theta_c + \frac{\pi}{2}$$

$$BC = \frac{\left(\frac{d}{2} \right) \left[\left(\beta + \theta_c + \frac{\pi}{2} \right) - \cos(\beta - \theta_c) \right]}{1 + \sin(\beta + \theta_c)} \quad ; \quad \theta_c + \frac{\pi}{2} \leq \beta \leq 3 \frac{\pi}{2} - \theta_c \quad (4)$$



รูปที่ 1 ภาพด้านตัดของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา [14]

2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heating System (SWHS)) อุปกรณ์หลักประกอบไปด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และถังน้ำร้อน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collectors) ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้กับน้ำที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับความร้อนและถ่ายเทความร้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนนำไปใช้งาน โดยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงที่ผลิตได้จะถูกเก็บไว้ในถังน้ำร้อนที่ถูกหุ้มฉนวนอย่างดีก่อนที่จะถูกนำไปใช้งาน ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (\dot{Q}_{Coll}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (η_{SWHS}) สามารถแสดงได้ดังนี้

ปริมาณความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (\dot{Q}_{Coll}):

$$\dot{Q}_{\text{Coll}} = \left(\frac{M}{\text{Time}} \right) c_p (T_{\text{Final}} - T_{\text{Initial}}) \quad (5)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (η_{SWHS}):

$$\eta_{\text{SWHS}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Coll}}}{A_c I_T} \times 100 \quad (6)$$

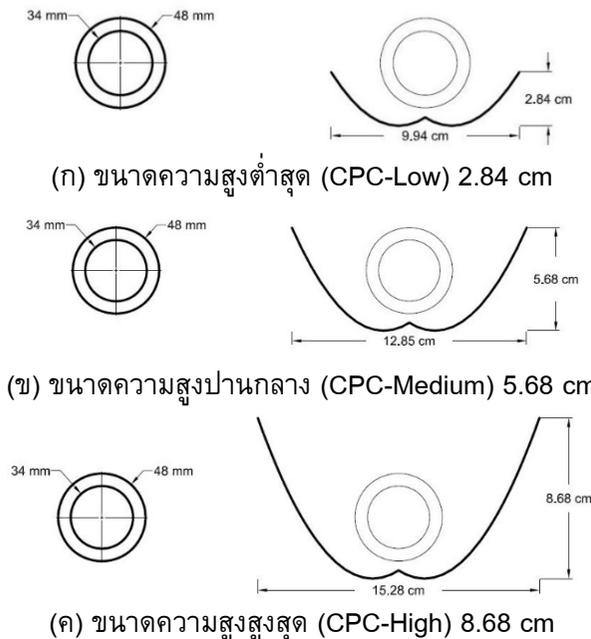
เมื่อ M คือ ปริมาณน้ำในถัง (l) Time คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน (s) T_{Initial} และ T_{Final} คือ อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น และอุณหภูมิน้ำในถังสุดท้าย ($^{\circ}\text{C}$) A_c คือ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2) (สำหรับงานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ช่องรับรังสีอาทิตย์ หรือ Aperture Area ในการวิเคราะห์) และ I_T คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ได้รับ ($\text{W}/\text{m}^2\text{-day}$)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของความสูงและวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีผลต่อการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการศึกษาจะเป็นการสร้างและทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา จากนั้นจะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ และ/หรือ ปริมาณความร้อนที่เครื่องทำน้ำร้อนสามารถผลิตได้ นอกจากนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อน และค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อน ($Baht/kW_{th}$) จะถูกนำมาเปรียบเทียบด้วย โดยวิธีดำเนินการวิจัยสามารถแสดงดังนี้

3.1 แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

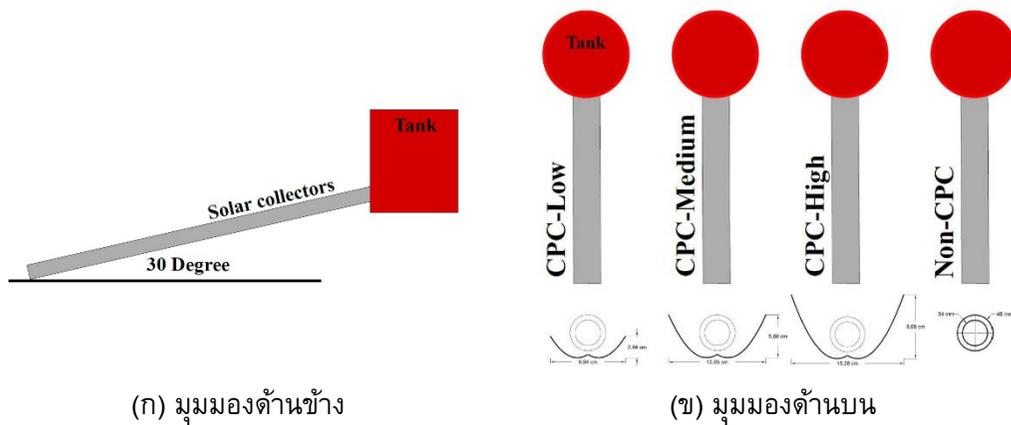
การศึกษาคือเป็นการออกแบบและสร้างแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา จากวัสดุที่มีความแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ แผ่นอลูมิเนียม แผ่นสังกะสี และแผ่นสแตนเลส ที่ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ที่กำหนดให้มีครึ่งมุมรับรังสี และมุมจุดศูนย์กลางท่อ (Angle at Central Pipe (β)) เท่ากับ 11.5° และ 120.0° ตามลำดับ [13] และแต่ละชนิดจะมีความสูงแตกต่างกัน 3 ความสูง แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพด้านตัดของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีความสูงแตกต่างกัน

3.2 ชุดทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา

แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.1 จะถูกนำมาใช้เป็นแผ่นสะท้อนเพื่อสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดหลอดแก้วแบบสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collectors) ที่มีความยาว 1.42 m และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 34 และ 48 mm ตามลำดับ แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา และท่อแก้วแบบสุญญากาศดังกล่าวจะถูกนำมาสร้างเป็นชุดทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่มีขนาดของถังน้ำร้อนประมาณ 9 L แสดงดังรูปที่ 3



(ก) มุมมองด้านข้าง

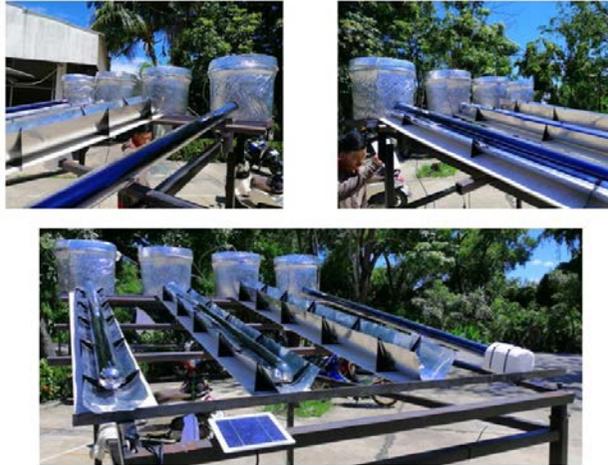
(ข) มุมมองด้านบน

รูปที่ 3 แผนภาพอย่างง่ายของชุดทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

3.3 การดำเนินการทดสอบ

การดำเนินการทดสอบในกรณีนี้วัสดุชนิดเดียวกัน และที่ความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน (ความสูงต่ำสุด (CPC-Low), ความสูงปานกลาง (CPC-Medium) และความสูงสูงสุด (CPC-High)) จะถูกทดสอบในวันและเวลาเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ครั้ง ตามวัสดุที่นำมาใช้สร้างแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ โดยในการทดสอบได้ดำเนินการบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิแวดล้อม (T_{Amb}) อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{Initial}$) และอุณหภูมิน้ำสุดท้าย (T_{Final}) ด้วยสายเทอร์โมคัปเปิล Type K และปริมาณรังสีอาทิตย์ (I_T) ด้วยเซลล์อ้างอิง (Reference Cell) ที่ถูกสอบเทียบกับเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (Solar Power Meter) ยี่ห้อ CEM รุ่น LA-1017 ข้อมูลต่างๆ จะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ HIOKI รุ่น LR8431-20 นอกจากนี้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (Non-CPC) ได้ถูกติดตั้งเพื่อทดสอบเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 4 โดยเครื่องทำน้ำร้อน

พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กทั้งสิ้นชุด วางมุมเอียงประมาณ 30° เทียบกับแนวระดับ และวางชุดทดสอบในทางทิศใต้ จากนั้นจะดำเนินการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ในช่วงเวลา 9.00-16.00 น. แสดงการทดสอบดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ สร้าง และทดสอบแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น (1) ผลของความสูง และวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิ น้ำร้อน ปริมาณความร้อน และประสิทธิภาพเชิงความร้อน และ (2) การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อน ($\text{บาท}/W_{th}$) ผลการศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ผลของความสูง และวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์

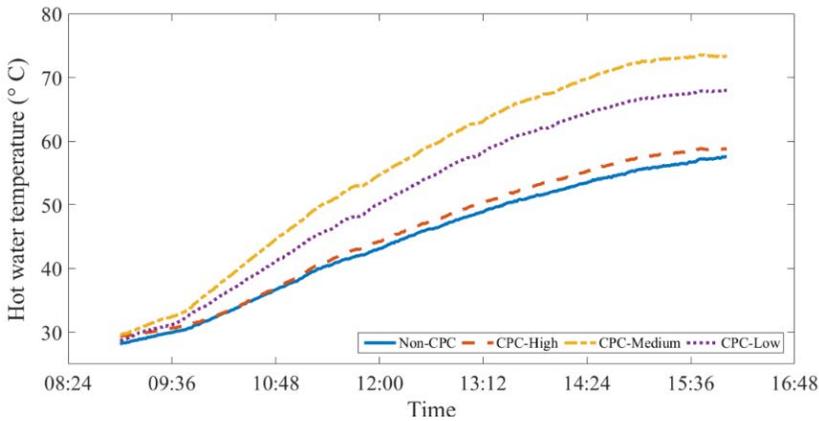
แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลารวมของแต่ละวัสดุถูกแบ่งออกตามความสูงเป็น (1) ความสูงสูงสุด 8.68 cm (2) ความสูงปานกลาง 5.68 cm และ (3) ความสูงต่ำสุด 2.84 cm โดยผลของความสูง และวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แต่ละชนิดสามารถแสดงได้ดังนี้

4.1.1 กรณีแผ่นอลูมิเนียม

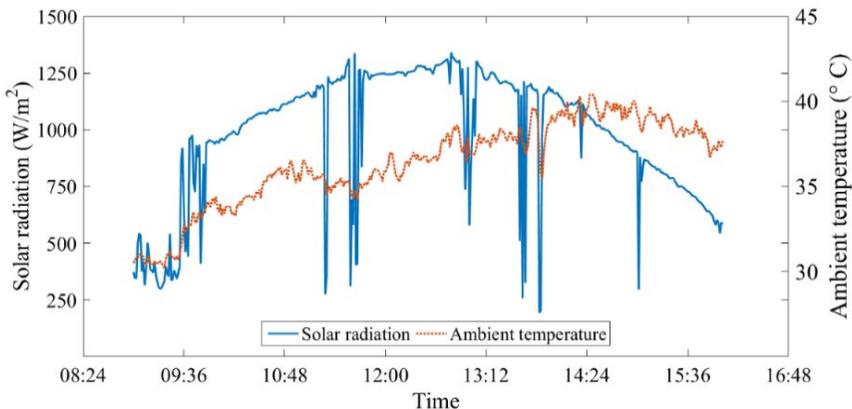
ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 5 รูปที่ 6 และตารางที่ 1 พบว่า เมื่อความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์มีความสูงปานกลาง อุณหภูมิ น้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้จะสูงที่สุดเท่ากับ

73.53 °C และ 65.08 W_{th} รองลงมา คือ แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงต่ำสุด อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ 67.98 °C และ 58.57 W_{th} และแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงสูงสุด อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ 58.85 °C และ 43.77 W_{th} ตามลำดับ ในขณะที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ 57.56 °C และ 43.81 W_{th}

ผลพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด 65.58% เนื่องจากมีพื้นที่ช่องรับรังสีน้อยที่สุด รองลงมาคือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ความสูงต่ำสุด 42.34% ความสูงปานกลาง 36.39% และความสูงสูงสุด 20.60% ตามลำดับ



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ของระบบฯ (กรณีแผ่นอลูมิเนียม)



รูปที่ 6 ปริมาณรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม ณ วันที่ 23 กันยายน 2562 (กรณีแผ่นอลูมิเนียม)

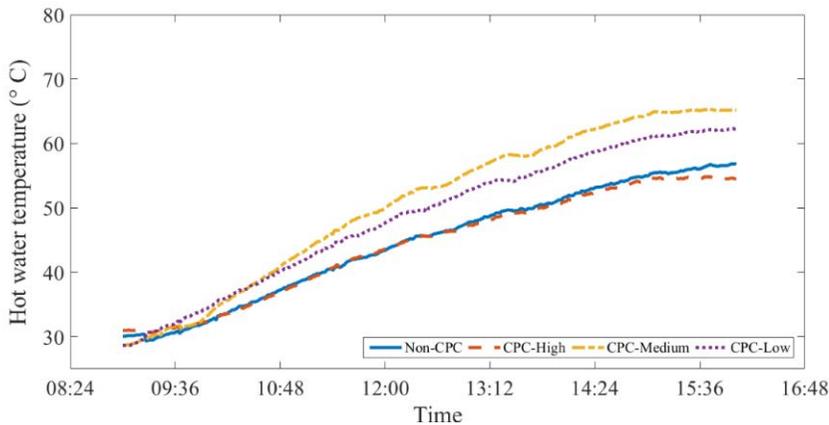
ตารางที่ 1 อุณหภูมิน้ำร้อน ปริมาณความร้อน และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ เมื่อความสูงและวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ต่างกัน

| Detail | Non-CPC | CPC | | |
|-------------------------------------|---------|-------|--------|-------|
| | | High | Medium | Low |
| แผ่นอลูมิเนียม | | | | |
| Initial Temp. (°C) | 28.14 | 29.37 | 29.54 | 28.65 |
| Max. Temp. (°C) | 57.56 | 58.85 | 73.53 | 67.98 |
| Heat Rate (W) | 43.81 | 43.77 | 65.08 | 58.57 |
| Energy Cost (บาท/W _{th}) | - | 4.08 | 2.05 | 1.50 |
| Aperture Eff. (%) | 65.58 | 20.60 | 36.39 | 42.34 |
| แผ่นสังกะสี | | | | |
| Initial Temp. (°C) | 30.08 | 30.97 | 28.57 | 28.65 |
| Max. Temp. (°C) | 56.88 | 54.87 | 65.37 | 62.35 |
| Heat Rate (W) | 39.76 | 35.07 | 54.52 | 50.04 |
| Energy Cost (บาท/ W _{th}) | - | 3.70 | 1.78 | 1.28 |
| Aperture Eff. (%) | 64.44 | 17.87 | 33.01 | 39.16 |
| แผ่นสเตนเลส | | | | |
| Initial Temp. (°C) | 28.92 | 30.17 | 29.83 | 29.13 |
| Max. Temp. (°C) | 60.47 | 57.79 | 65.57 | 64.19 |
| Heat Rate (W) | 46.99 | 40.74 | 53.07 | 52.21 |
| Energy Cost (บาท/ W _{th}) | - | 8.91 | 5.10 | 3.43 |
| Aperture Eff. (%) | 72.35 | 19.72 | 30.52 | 38.82 |

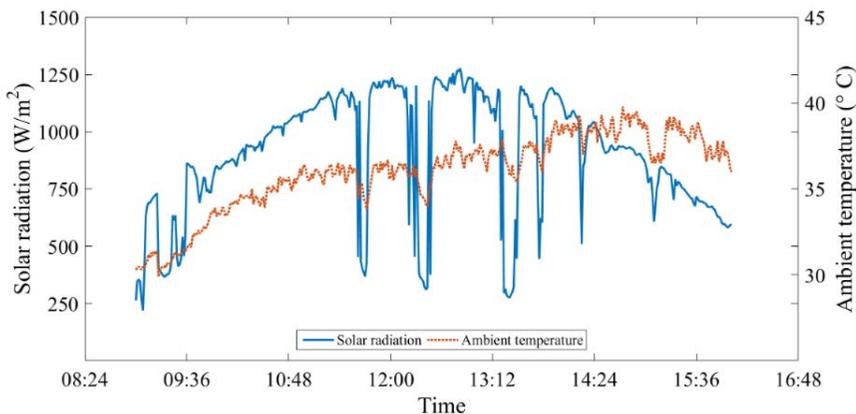
4.1.2 กรณีแผ่นสังกะสี

ผลการศึกษาดังรูปที่ 7 รูปที่ 8 และตารางที่ 1 พบว่า เมื่อความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์มีความสูงปานกลาง อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้จะสูงที่สุดเท่ากับ 65.37 °C และ 54.52 W_{th} รองลงมา คือ แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงต่ำสุด อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ 62.35 °C และ 50.04 W_{th} และแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์

ที่มีความสูงสูงสุด อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ $54.87\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 35.07 W_{th} ตามลำดับ ในขณะที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ $56.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 39.76 W_{th}



รูปที่ 7 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ของระบบฯ (กรณีแผ่นสังกะสี)

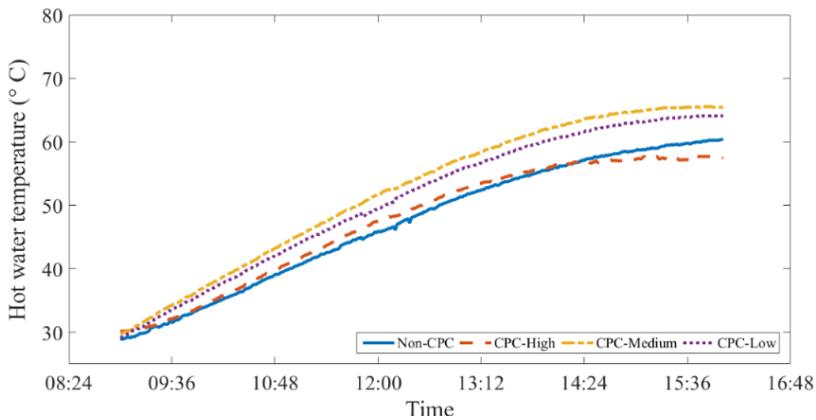


รูปที่ 8 ปริมาณรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม ณ วันที่ 27 กันยายน 2562 (กรณีแผ่นสังกะสี)

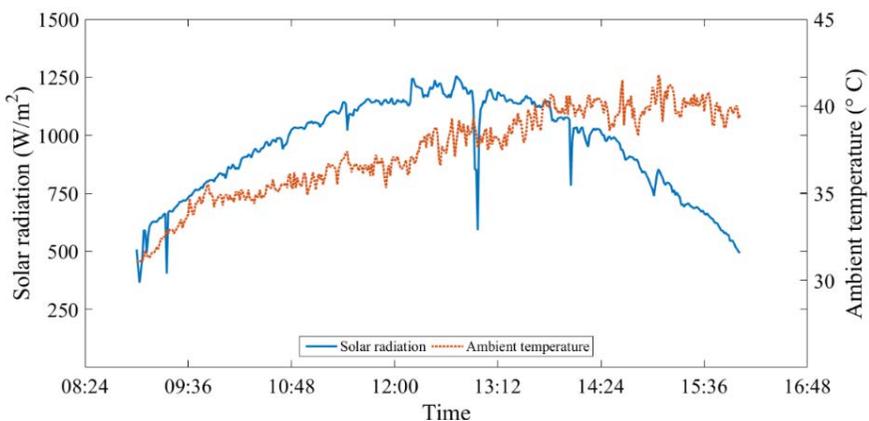
ผลพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด 64.44% เนื่องจากมีพื้นที่ช่องรับรังสีน้อยที่สุด รองลงมาคือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ความสูงต่ำสุด 39.16% ความสูงปานกลาง 33.01% และความสูงสูงสุด 17.87% ตามลำดับ

4.1.3 กรณีแผ่นสเตนเลส

ผลการศึกษาดังรูปที่ 9 รูปที่ 10 และตารางที่ 1 พบว่า เมื่อความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์มีความสูงปานกลาง อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้จะสูงที่สุด เท่ากับ $65.57\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 53.07 W_{th} รองลงมา คือ แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงต่ำสุด อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ $64.19\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 52.21 W_{th} และแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงสูงสุด อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ $57.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 40.74 W_{th} ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำร้อน และปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตได้เท่ากับ $60.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 46.99 W_{th}



รูปที่ 9 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ของระบบฯ (กรณีแผ่นสเตนเลส)



รูปที่ 10 ปริมาณรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม ณ วันที่ 1 ตุลาคม 2562 (กรณีแผ่นสเตนเลส)

ผลพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 72.35% เนื่องจากมีพื้นที่ช่องรับรังสีน้อยที่สุด รองลงมาคือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ความสูงต่ำสุด 38.82% ความสูงปานกลาง 30.52% และความสูงสูงสุด 19.72% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การพับแผ่นสแตนเลสให้มีลักษณะโค้งงอตามที่ได้ออกแบบนั้นค่อนข้างที่จะทำได้ยาก เนื่องจากแผ่นสแตนเลสเป็นวัสดุที่แข็ง อยู่ตัว ไม่บิดงอง่าย จึงทำให้การพับ/ม้วนทำได้ยากเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นอลูมิเนียม และแผ่นสังกะสี ดังจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ระบบผลิตได้จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้วัสดุอื่นๆ ในการทำแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์

ผลการศึกษาดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ในกรณีที่ใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงสูงสุด อุณหภูมิน้ำร้อนที่ระบบผลิตได้ของทั้งสามวัสดุจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ เนื่องมาจากการทดสอบได้จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแนวทิศเหนือ-ใต้ โดยที่ไม่มีการปรับหรือหมุนตามดวงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์มีความสูงที่สูงเกินกว่าระดับของท่อสุญญากาศ จึงทำให้ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์เกิดเงาบังท่สุญญากาศ ทำให้น้ำร้อนที่ระบบผลิตได้มีอุณหภูมิต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงปานกลาง และความสูงต่ำสุด

4.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อน

ผลการศึกษาในส่วนนี้จะพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียว โดยค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรของแผ่นอลูมิเนียม แผ่นสังกะสี และแผ่นสแตนเลส มีค่าเท่ากับ 496.53, 361.11 และ 1,009.38 บาท/m² เมื่อพื้นที่ของแผ่นอลูมิเนียม แผ่นสังกะสี และแผ่นสแตนเลส ที่ความสูงสูงสุด ความสูงปานกลาง และความสูงต่ำสุด คือ 0.36, 0.27 และ 0.18 m² ดังนั้นค่าใช้จ่ายของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ 133.12, 129.94 และ 178.88 บาท/ชุด ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 1 พบว่า ระบบจะมีค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อน (บาท/kW_{th}) ต่ำที่สุดเมื่อใช้แผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีความสูงต่ำสุด 2.84 cm โดยแผ่นสังกะสีเมื่อนำมาสร้างเป็นแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์จะช่วยให้ระบบมีค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อนต่ำที่สุด คือ 1.05 บาท/W_{th} แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในเรื่องของการนำเอาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาทั้งในเรื่องของอุณหภูมิ ปริมาณความร้อน และรวมถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ ดังนั้นแผ่นอลูมิเนียมที่มีความสูงของแผ่นสะท้อนปานกลางจะเหมาะสมที่สุดเนื่องจากจะสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด 73.53 °C ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ 65.08 W_{th} และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ 36.39% โดยที่ค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อน คือ 2.05 บาท/ W_{th}

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของความสูงและวัสดุของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีผลต่อการผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ โดยในการศึกษาได้เปรียบเทียบวัสดุที่นำมาใช้สร้างแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ 3 ชนิด คือ แผ่นอลูมิเนียม แผ่นสังกะสี และแผ่นสแตนเลส ประกอบกับการออกแบบความสูงของแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้มีความสูงแตกต่างกัน 3 ความสูง คือ ความสูงสูงสุด 8.68 cm ความสูงปานกลาง 5.68 cm และความสูงต่ำสุด 2.84 cm ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายต่อพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ แผ่นสังกะสีที่มีความสูงต่ำสุดจะเหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 1.28 บาท/W_{th} โดยระบบจะสามารถผลิตอุณหภูมิน้ำร้อนได้สูงสุด 62.35 °C ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ 50.04 W_{th} และประสิทธิภาพเชิงความร้อน 39.16%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาการวิจัยและการบริหารจัดการงานวิจัย สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัย ราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนในการวิจัย และขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก สำหรับสถานที่ทำวิจัย

References

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) Ministry of Energy. Potential of total solar energy [Internet]. 2017 [cited 2019 October 31]. Available from: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=solar_energy.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Ministry of Energy. Potentials of Concentrating Solar Power Technologies in Thailand. 2006.
- [3] International Energy Agency (IEA). Renewables for power generation: Status & Prospects - 2003 Edition. Paris: OECD Publishing; 2003.
- [4] Domínguez Bravo J, García Casals X, Pinedo Pascua I. GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies. Energy Policy 2007;35(10):4879-92.
- [5] Ishan P, Pallav P. Techno-economic evaluation of concentrating solar power generation in India. Energy Policy 2010;38(6):3015-29.

- [6] Sonsaree S, Asaoka T, Jiajitsawat S, Aguirre H, Tanaka K. A small-scale solar Organic Rankine Cycle power plant in Thailand: Three types of non-concentrating solar collectors. *Solar energy* 2018;162:541-60.
- [7] Al Imam MFI, Beg RA, Rahman S. Thermal Performance Improvement Study of a Solar Collector with Compound Parabolic Concentrator. *European Journal of Engineering Research and Science* 2018;3(11):78-82.
- [8] Chumnumwat S, Leechai N, Khrueaphue T. A Feasibility Study of Solar Collector for Preheating Feed Water of Wood-Fired Boiler System. *RMUTI Journal Science and Technology* 2019;12(1):12-26. (In Thai)
- [9] Vijayakumar P, Kumaresan G, Faizal UM, Chandran GV, Adharsh KV. Performance evaluation of compound parabolic concentrator with evacuated tube heat pipe. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: IOP Publishing; 2019.*
- [10] Wang Y, Zhu Y, Chen H, Zhang X, Yang L, Liao C. Performance analysis of a novel sun-tracking CPC heat pipe evacuated tubular collector. *Applied Thermal Engineering* 2015;87:381-8.
- [11] Abdullahi B, Al-Dadah R, Mahmoud S, Hood R. Optical and thermal performance of double receiver compound parabolic concentrator. *Applied energy* 2015;159:1-10.
- [12] Energy Policy and Planning Office (EPPO). Alternative Energy Development Plan [Internet]. 2019 [cited 2019 October 31]. Available from: <http://www.eppo.go.th/index.php/en/policy-and-plan/en-tieb/tieb-aedp>.
- [13] Chamsa-ard W, Sukchai S, Sonsaree S, Sirisamphanwong C. Thermal performance testing of heat pipe evacuated tube with compound parabolic concentrating solar collector by ISO 9806-1. *Energy Procedia* 2014;56:237-46.
- [14] Mgbemene CA, Duffy J, Sun H, Onyegebu SO. Electricity generation from a compound parabolic concentrator coupled to a thermoelectric module. *Journal of Solar Energy Engineering* 2010;132(3):031015.

ประวัติผู้เขียนบทความ



สรวิศ สอนสารี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
พิบูลสงคราม 156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล จังหวัดพิษณุโลก 65000
E-mail: sorawitsonsaree@gmail.com ปัจจุบันสนใจงานวิจัยทางด้าน
พลังงานทดแทน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการเขียนโปรแกรมทาง
คอมพิวเตอร์

Article History:

Received: November 6, 2019

Revised: December 12, 2019

Accepted: December 16, 2019