

สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง-จานรับ รังสีแสงอาทิตย์โดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน Thermal Performance of a Dish Stirling Engine Using Solar Energy as Heat Source

กฤษฎางค์ สุกระมุข*

หลักสูตรเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

Krissadang Sookramoon*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Vallaya Alongkorn
Rajabhat University under the Royal Patronage, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 13180

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง-จานรับรังสีแสงอาทิตย์โดยใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน โดยสร้างแบบจำลองความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง และศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของระบบโดยวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ (dT_w) ที่ไหลผ่านตัวรับความร้อน ค่าความร้อนที่ดูดซับที่แคลอรีมิเตอร์ (Q_w) อุณหภูมิชั่วขณะ (T_{ps}) ของตัวรับความร้อน จานพาราโบลาติดกระจกเงาทำหน้าที่เป็นตัวรวมรังสีอาทิตย์จะวางไว้เพื่อรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ปรับด้วยมือ ความร้อนจะถูกรวมไปที่จุดโฟกัสของระบบที่มีแคลอรีมิเตอร์แบบทองแดงเป็นตัวรับความร้อนวางอยู่ เพื่อหาค่าความร้อนที่ป้อนเข้าตัวดูดซับพลังงาน จากนั้นเปลี่ยนตัวรับความร้อนเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลการศึกษาพบว่าตัวดูดซับพลังงาน (แคลอรีมิเตอร์แบบทองแดง) มีค่าความร้อนป้อนเข้า 178.62 W มีค่าการสูญเสียความร้อน 2.524 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 943 W/m^2 จานพาราโบลามีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 47.11 % เครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 0.982 W มีค่าการสูญเสียความร้อน 0.840 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 962.9 W/m^2 ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงขึ้น ระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง-จานพาราโบลามีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 0.036 %

คำสำคัญ : เครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์; ตัวรวมรังสีแบบจานพาราโบลา; สมรรถนะเชิงความร้อน

Abstract

This research studied the thermal performance of the solar-Stirling engine using solar radiation as heat source, by developing thermal models of the Stirling engine, and studied the thermal performance of the system by measuring various parameters, i.e. the rate of change in water temperature (dT_w) flowing through the heat receiver, absorbed heat value of the calorimeter (Q_w), and stagnation temperature (T_{ps}) of the heat receiver. Parabolic dishes are positioned to achieve solar radiation. The heat is focused to the focal point, which places a copper calorimeter as a thermal receiver to find out the absorbed heat input, and then change the heat receiver into a Stirling engine. The engine performance test was carried out, the study indicated that the absorbed energy using copper calorimeter was 178.62 W, heat loss was 2.524 W at a solar radiation intensity of 943 W/m^2 . The parabolic dish has a thermal efficiency of 47.11 %. The engine's thermal input was 0.982 W, with a heat loss of 0.840 W at a solar radiation of 962.9 W/m^2 . The temperature difference increases the speed and the thermal performance of the engine. The Stirling engine-Parabolic dish has a thermal efficiency of 0.036 %.

Keywords: solar Stirling engine; parabolic dish concentrator; thermal performance

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ การเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าจะใช้เทคโนโลยีงานแสงอาทิตย์-เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงติดตั้งที่จุดโฟกัสของระบบ โดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีประสิทธิภาพเชิงทฤษฎีเทียบเท่ากับวัฏจักรคาร์โนต์ มีการเผาไหม้ภายนอก มลภาวะน้อย เติบโตและบำรุงรักษาต่ำ ข้อดีเหล่านี้ทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีความน่าสนใจในการศึกษา การลดลงอย่างรวดเร็วของทรัพยากรธรรมชาติในปัจจุบัน โดยเฉพาะพลังงานปิโตรเลียม ทำให้มีการมุ่งเน้นความสนใจไปที่พลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ โดยแสวงหาแหล่งที่มาและใช้วิธีการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพ หนึ่งในวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงาน คือ การใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง [1] เครื่องยนต์ตามวัฏจักรสเตอร์

ลิงทำงานในวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นใหม่โดยใช้แก๊สที่ใช้แล้วและใช้แก๊สเพื่อขยายตัวและบีบอัดตัวที่อุณหภูมิต่างกัน เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้รับความร้อนจากภายนอกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เครื่องยนต์สะอาดมารวมทั้งมีประสิทธิภาพเชิงทฤษฎีสูง สามารถขับเคลื่อนโดยใช้เชื้อเพลิงหลายชนิด และแหล่งความร้อนอื่น ๆ ได้แก่ วัสดุที่ติดไฟได้ รังสีอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานไฮโดรเจน โดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงประดิษฐ์และจดสิทธิบัตรเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1816 โดย Robert Stirling ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงหลายชนิดได้รับการสร้างขึ้นในหลายรูปแบบและหลายขนาด [2] ในโมดูลแสงอาทิตย์, Stirling-Dish, รังสีแสงอาทิตย์จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้าในสามขั้นตอน ระยะแรกรังสีจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนโดยการเน้นรังสีดวงอาทิตย์ลงบนท่อความร้อนดูดซับแสงด้วยตัวสะท้อนพาราโบลา

ระยะที่สองความร้อนจะถูกแปลงเป็นพลังงานกลโดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling) ในขั้นตอนสุดท้ายพลังงานกลจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ การศึกษาแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของของวัฏจักรของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแก๊สจะขึ้นอยู่กับวิธีการที่แยกออกจากกัน ซึ่งประเมินโดยเริ่มจากการวิเคราะห์แบบอะเดียแบติก โดยเฉพาะความสามารถในการระบายความร้อนและการระบายอากาศที่แก้ไขแล้ว โดยการคำนวณความสูญเสียต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ [3] เครื่องยนต์จะแบ่งออกเป็นปริมาตรควบคุม 5 ชนิด รีเจนเนอเรเตอร์แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 1 [4] เครื่องยนต์ประกอบด้วยพื้นที่การขยายตัว (E) เครื่องทำความร้อน (H) regenerator (R) อุปกรณ์ระบายความร้อน (K) และช่องอัดตัว (C) ความร้อนจะถ่ายเทจากแหล่งความร้อนภายนอกไปยังสารทำงานในส่วนหนึ่งของเครื่องทำความร้อน regenerator ทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนไว้และนำมาใช้ใหม่ และความร้อนถูกระบายออกโดยการทำงานของเหลวไปยังอ่างระบายความร้อนสู่ภายนอกในส่วนหนึ่งของเครื่องทำความเย็น ปริมาณควบคุมของการบีบอัดและการขยายตัวจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณของ H และ K จะมีปริมาตรคงที่ [5] สมการการอนุรักษ์มวลและพลังงานจะเขียนขึ้นสำหรับปริมาตรควบคุมในแต่ละชุดของเครื่องยนต์ [3,4] โปรแกรมคอมพิวเตอร์เขียนขึ้นโดยใช้ภาษาที่หลากหลายและการแก้สมการ คือ การแก้ปัญหาซ้ำแบบวนลูป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดสอบสมรรถนะของต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์-จานพาราโบลาในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ และศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากผลการทำงานจริงของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ผลการวิจัยที่ได้นี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาให้เกิดชุดอุปกรณ์กำเนิดกระแสไฟฟ้าแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์-จานพาราโบลาในขนาดที่ใหญ่ขึ้น เหมาะสมกับการใช้งานจริงและสามารถนำไปประยุกต์กับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยหาวิธีลดการสูญเสียความร้อนในปัญหาอื่น ๆ

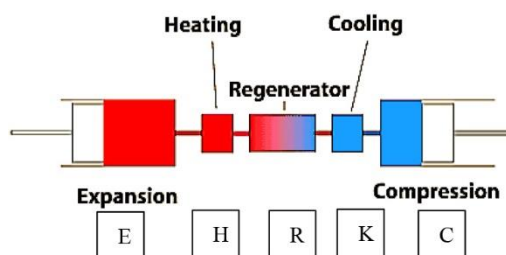


Figure 1 The configuration of the equipment of the Stirling engine

2. หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์อากาศร้อนที่มีการผลิตขึ้นเพื่อใช้งาน จนกระทั่งต้นทศวรรษที่ 1900 มีการแทนที่ด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน และผลจากความก้าวหน้าทางไฟฟ้าทำให้การผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าขึ้นใช้งาน ปัจจุบันไม่มีการผลิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กใช้งาน แต่ยังคงมีการวิจัยและพัฒนาเนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง และเป็นเครื่องยนต์ทำงานเงียบและสะอาด เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นที่ทดลองในปัจจุบันมีความสำเร็จด้านสมรรถนะในระดับที่น่าพอใจ การใช้โลหะอัลลอยด์ทนความร้อนสูง กลไกขับเคลื่อนแบบใหม่ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และกระบอกสูบบรรจุด้วยฮีเลียมหรือไฮโดรเจนที่ความดันสูงใช้เป็นสารทำงาน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นใหม่สามารถนำหน้าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในด้านประสิทธิภาพ

และอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนัก ในอนาคตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้เป็นเครื่องยนต์สะอาด เครื่องตัดหญ้าที่เงียบ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีลูกสูบ 2 อัน มีมุมเฟสต่างกัน 90 องศาเซลเซียส และมีบริเวณที่อุณหภูมิต่างกัน 2 แห่ง ก๊าซหรืออากาศซึ่งเป็นสารทำงานจะถูกปิดไม่ให้มีการรั่วไหลออกมาภายนอก ลูกสูบที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นลูกสูบกำลัง (power piston) กำลังที่ออกจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทั้งหมดได้จากลูกสูบกำลัง

ลูกสูบที่มีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่าลูกสูบไล่หรือดิสเพลเซอร์ (displacer piston) ลูกสูบไล่จะมีขนาดเล็กกว่าตัวกระบอกสูบเล็กน้อย อากาศภายในกระบอกสูบสามารถเคลื่อนที่ผ่านด้านข้างของลูกสูบไล่ หน้าที่ของลูกสูบไล่ คือ ไล่อากาศในกระบอกสูบให้เคลื่อนที่อยู่ระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น ลูกสูบไล่ไม่ได้สร้างกำลังให้กับเครื่องยนต์ โดยส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแสดงดังรูปที่ 2

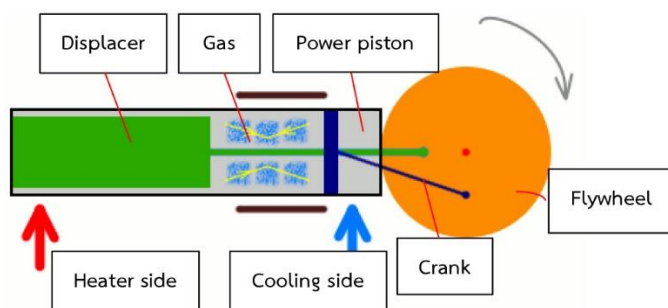


Figure 2 The composition of the equipment of the Stirling engine [6]

3. สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง-จานรับรังสีแสงอาทิตย์

แคลอริมิเตอร์ (calorimeter) เป็นอุปกรณ์รับพลังงานความร้อนจากการรวมรังสีอาทิตย์ของจานพาราโบลา ในการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ความร้อนที่รังสีอาทิตย์ถูกรวมแล้วส่งให้แก่แคลอริมิเตอร์แบบน้ำไหลต่อเนื่องจะถ่ายเทไปยังน้ำที่ไหลผ่านแคลอริมิเตอร์ทั้งหมด ค่าความร้อน (มีหน่วยเป็น J/s) ที่น้ำดูดซับไว้ได้จะคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Q_w = m_w^o C_w dT_w = U_L I_i T_p - T_a dx \quad (1)$$

เมื่อ Q_w คือ ค่าความร้อนที่น้ำดูดซับไว้ (มีหน่วยเป็น J/s); m_w^o คือ อัตรามวลไหลของน้ำ (มีหน่วยเป็น kg/s); C_w คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (มีหน่วยเป็น J/kg.K); dT_w คือ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำ

(มีหน่วยเป็น K); U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (มีหน่วยเป็น W/m.K); I_i คือ ความยาว (มีหน่วยเป็น m); T_p คือ อุณหภูมิบนแผ่นแคลอริมิเตอร์แบบทองแดง (มีหน่วยเป็น K); dx คือ ระยะตามแนวแกน x (มีหน่วยเป็น m)

ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ (มีหน่วยเป็น W/m²) คำนวณได้จากค่า mV ที่อ่านจากอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (pyranometer) ดังสมการที่ 2

$$I = \frac{mV \text{ read}}{40.4 \mu V/W/m^2} \quad (2)$$

เมื่อ I คือ ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ (มีหน่วยเป็น W/m²); mV read คือ ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (มีหน่วยเป็น mV); $40.4 \mu V/W/m^2$ คือ ค่าคงที่ในการแปลงหน่วยของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์

อุณหภูมิชั่วขณะบนแผ่นรับความร้อนเขียนได้
ดังสมการ

$$T_{PS} = \left(\frac{C_{\eta 0 I_b}}{U_L} + I_a \right) - \left(\frac{C_{\eta 0 I_b}}{U_L} + T_a - T_{pi} \right) \left(\frac{U_L dx}{\dot{m}_{ps} C_{ps}} \right) \quad (3)$$

เมื่อ T_{PS} คือ อุณหภูมิชั่วขณะบนแผ่นรับความร้อน (มีหน่วยเป็น W); $\frac{C_{\eta 0 I_b}}{U_L}$ คือ ผลคูณสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์/สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (มีหน่วยเป็น K); I_a คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (มีหน่วยเป็น W/m^2); $(T_a - T_{pi})$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิของแผ่นรับความร้อนเริ่มต้น (มีหน่วยเป็น K); $\left(\frac{U_L dx}{\dot{m}_{ps} C_{ps}} \right)$ คือ ผลคูณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนกับระยะแกน x / อัตราการไหลของความร้อนที่แผ่นรับความร้อนกับสัมประสิทธิ์ของแผ่นรับความร้อน (มีหน่วยเป็น W/K)

ในสภาวะคงตัวจากสมดุลพลังงาน ค่าความร้อนที่ตัวดูดซับความร้อนมีค่าเป็น

$$Q_u = (A_p I) - (Q_{loss}) \quad (4)$$

เมื่อ Q_u คือ ค่าความร้อนที่ตัวดูดซับความร้อน (มีหน่วยเป็น J/s); A_p คือ พื้นที่วงกลมของตัวดูดซับความร้อน (มีหน่วยเป็น m^2); I คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (มีหน่วยเป็น W/m^2); Q_{loss} คือ ค่าการสูญเสียความร้อนของตัวดูดซับความร้อน (มีหน่วยเป็น W)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลา มีค่าเป็น

$$\eta_{conc} = \frac{q_u}{A_c I_T} \quad (5)$$

เมื่อ η_{conc} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลา; q_u คือ ค่าความร้อนที่ได้รับ/ใช้ประโยชน์ที่ตัวดูดซับความร้อน; A_c คือ พื้นที่ของตัวดูดซับความร้อน (มีหน่วยเป็น m^2); I_T คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ทั้งหมด (มีหน่วยเป็น W/m^2)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีค่าเป็น

$$\eta_{Stirling} = \frac{I_T A_{Heater} - Q_{loss}}{A_c I_T} \quad (6)$$

เมื่อ $\eta_{Stirling}$ คือ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง; A_{Heater} คือ พื้นที่ของฮีตเตอร์ของเครื่องยนต์ (มีหน่วยเป็น m^2); เมื่อ Q_{loss} คือ ค่าการสูญเสียความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (มีหน่วยเป็น W)

การสูญเสียความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีค่าเป็น

$$Q_{loss} = U_T (A_p) (T_{pm} - T_a) \quad (7)$$

เมื่อ Q_{loss} คือ ค่าการสูญเสียความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (มีหน่วยเป็น W); U_T คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (มีหน่วยเป็น $W/m.K$); A_p คือ พื้นที่รับความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (มีหน่วยเป็น m^2); $(T_{pm} - T_a)$ คือ ผลต่างอุณหภูมิของฮีตเตอร์ของเครื่องยนต์กับสิ่งแวดล้อมภายนอก (มีหน่วยเป็น K)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญญา และสมชาย [7] ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ โดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อน เครื่องยนต์ที่ทดสอบมีรูปทรงแบบแกมมาเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังสี่ลูกกละสองลูก โดยมีลูกสูบสองตัวทำงานจังหวะเดียว การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ใช้เตาก๊าซเป็นแหล่งความร้อน ความแตกต่างของแรงบิดของเครื่องยนต์ กำลังเพลาลูกสูบและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรควัดได้จากความเร็วเครื่องยนต์และสามารถหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ตัวเลข Beale ที่ได้จากการทดสอบของเครื่องยนต์ได้รับการตรวจสอบความถูกต้อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับเครื่องยนต์ลูกสูบคู่กำลังทำงานได้เมื่อป้อนความร้อนสูงสุด 2355 J/s ที่อุณหภูมิ 589 K เครื่องยนต์จะให้แรงบิดสูงสุด 1.222 Nm ที่ความเร็วรอบ 67.7 รอบต่อวินาที กำลังเพลาลูกสูบสูงสุด 11.8 วัตต์ ที่

ความเร็วรอบ 133 รอบต่อนาที และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดประมาณ 0.494 % ที่ความเร็วรอบ 133 รอบต่อนาที สำหรับเครื่องยนต์สี่ลูกสูบกำลังรับความร้อนสูงสุด 4,041 J/s ที่อุณหภูมิด้านร้อน 771 K เครื่องยนต์ผลิตแรงบิดสูงสุด 10.55 Nm ที่ 28.5 รอบต่อนาที กำลังเพลาส่ง 32.7 วัตต์ ที่ 42.1 รอบ/นาที่ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค 0.809 % ที่ 42.1 รอบ/นาที่ โดยประมาณ

บัญชา และสมชาย [8] ได้ทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิตัวขนาดเล็กเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลาและเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน ผลจากการทดสอบพบว่ากำลังที่ได้และประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นตามค่าความเข้มของรังสีตรงที่ขนานกับแกนของจานพาราโบลา

บัญชา และสมชาย [9] นำเสนอการสร้างและศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีอุณหภูมิต่างกันในช่วงอุณหภูมิตัว เครื่องยนต์เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก และทดสอบกับพลังงานแสงอาทิตย์จริงโดยใช้จานพาราโบลาเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งได้รายงานผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่แท้จริง ความแตกต่างของกำลังเครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำเนิดเครื่องยนต์รวม ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และประสิทธิภาพโดยรวมที่ได้จากความเข้มรังสีตรง

Hasnat และคณะ [10] ได้วิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการออกแบบเชิงความร้อนของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลา โดยพบว่าเมื่อใช้วัสดุสะท้อนแสงที่มีค่าการสะท้อน 0.7 ระยะโฟกัสของจาน 1 เมตร ใช้ตัวรับความร้อนเป็นแบบแผ่นราบทาสีดำสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวรับความร้อนไปยังน้ำได้ U สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน U_2 ผลจากการออกแบบจะช่วยให้ได้ระบบที่เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานมากยิ่งขึ้น

ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นยังไม่มีรายงานผลเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนของระบบเครื่องยนต์-จานรับรังสีอาทิตย์แบบการทดลองและเชิงคำนวณที่มีรายละเอียดเพียงพอในประเทศไทย ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการวิจัยครั้งนี้

5. อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาขนาด 34.71 mW ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลาติดกระจกเงาสะท้อนแสงขนาดพื้นที่ 0.402 m² ถังเก็บน้ำขนาด 20 ลิตร พร้อมอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบโรตารีมิเตอร์ แคลอริมิเตอร์รูปทรงกระบอกทำจากทองแดง เทอร์โมคัปเปิลและเดตาล็อกเกอร์ (data logger) ใช้เก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ตรวจวัด ซึ่งทดลองในวันที่ 20-23 เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 โดยเลือกวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส มีแสงแดดจัด และมีเมฆน้อยเพื่อให้ตัวรวมรังสีอาทิตย์รับรังสีตรงได้มากที่สุด

อุปกรณ์ประกอบด้วย (1) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาขนาด 34.71 mW (2) ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลาติดกระจกเงารวมรังสีขนาดพื้นที่ 0.402 m² (3) เทอร์โมคัปเปิลแบบ K และเดตาล็อกเกอร์ (4) อุปกรณ์วัดวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ (digital tachometer) และ (5) อุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (pyranometer) และมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (digital multimeter) ดังแสดงในรูปที่ 3

6. การทดลองและเก็บข้อมูล

ขั้นตอนแรกจะเป็นทดสอบความร้อนที่ป้อนเข้า

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยการเปิดน้ำในถังที่เตรียมไว้ และปรับอัตราการไหลของน้ำไปที่ 10 LPM แล้วต่อสายยางจากวาล์วน้ำเข้าสู่แคลอริมิเตอร์แบบทองแดง จากนั้นใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิด้านน้ำไหลเข้า และด้านน้ำไหลออก ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก เมื่อติดตั้งอุปกรณ์แล้วนำจานพาราโบลาไปไว้กลางแดดที่โล่งแจ้ง และปรับหมุนจานให้ตรงตำแหน่งตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ เพื่อให้ความร้อนรวมไปที่จุดโฟกัสซึ่งมีแคลอริมิเตอร์วางอยู่ ดังรูปที่ 4

การทดลองจะวัดและบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิที่ทดสอบ นำผลการทดสอบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา คำนวณหา

ความร้อนที่เข้ามายังแคลอริมิเตอร์ ขั้นตอนที่สองเป็นการทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการทดลองที่เหมือนกับการขั้นตอนที่หนึ่ง แต่เปลี่ยนอุปกรณ์จากแคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง รังสีอาทิตย์ถูกรวมโดยจานพาราโบลาส่งความร้อนไปยังฮีตเตอร์ของเครื่องยนต์ที่ทำจากหลอดแก้วจนอากาศที่อยู่ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงร้อนขึ้นจนทำให้อากาศขยายตัวและดันลูกสูบเคลื่อนที่ได้ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่และเครื่องยนต์ติดแล้วใช้ อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ ใช้โวลท์มิเตอร์และแอมมิเตอร์วัดแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตออกมาได้ ดังรูปที่ 5

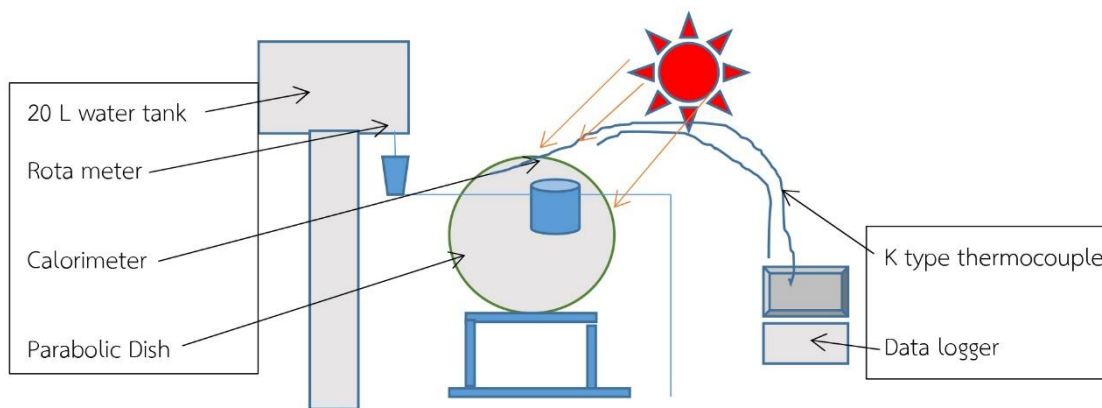


Figure 3 Solar dish Stirling engine system

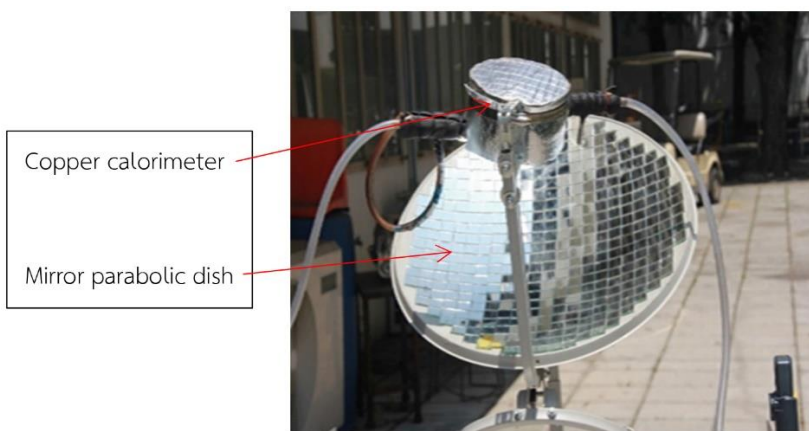


Figure 4 Continuous flow copper calorimeter installed at the focal point of the parabolic dish

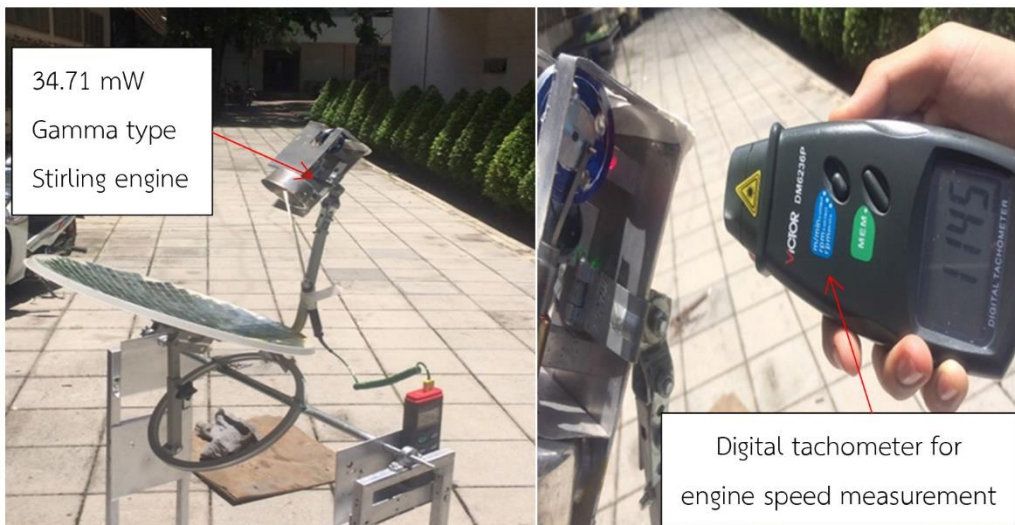


Figure 5 Performance experiment of the solar Stirling engine

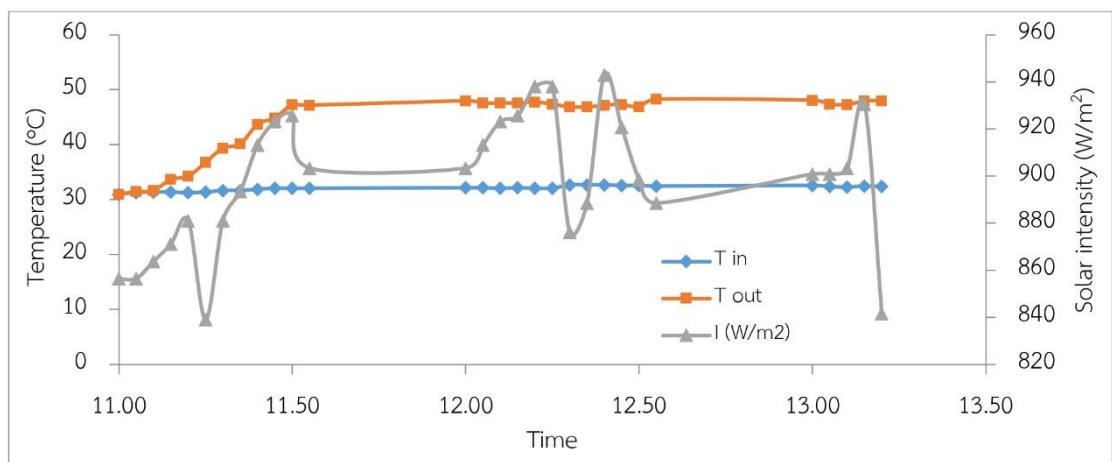


Figure 6 The results of the experiment to find out the temperature entering the energy absorber using copper calorimeter at various times and solar radiation intensity

การทดลองหาความร้อนที่เข้าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงใช้ตัวดูดซับความร้อนชนิดแคลอริมิเตอร์แบบทองแดงเป็นตัวรับความร้อนจากการรวมรังสีอาทิตย์ไปที่จุดโฟกัสของจานพาราโบลา เปิดน้ำจากถังน้ำขนาด 20 ลิตร ให้ไหลเข้ามายังแคลอริมิเตอร์ วัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าแคลอริมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของน้ำทั้งด้านเข้าและออก และใช้อุปกรณ์วัดความเข้มรังสี

อาทิตย์วัดรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลา ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 2 ชั่วโมง 20 นาที การทดลองนี้จะวัดค่า อุณหภูมิอากาศภายนอก ความเร็วลม เพื่อนำมาใช้คำนวณต่อไป

7. ผลการวิจัยและวิจารณ์

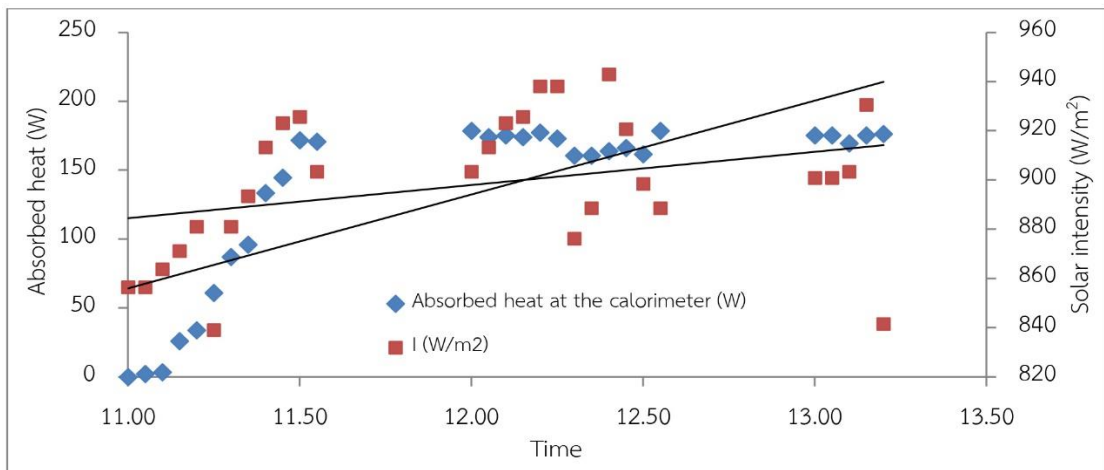


Figure 7 The results of the experiment to find out the absorbed heat of copper calorimeter at the different times and solar radiation intensity

7.1 การทดลองที่ 1 ผลของค่าอุณหภูมิที่ป้อนเข้าตัวดูดซับพลังงานที่เวลาและความเข้มรังสีอาทิตย์ต่าง ๆ กัน

รูปที่ 6 พบว่าอุณหภูมิของน้ำออกที่ผ่านแคลอริมิเตอร์มีค่าสูงสุด 48.3 °C ที่เวลา 12:55 น. อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าสูงสุด 32.7 °C ที่เวลา 12:30 น. ผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) มีค่าสูงสุด 15.8 °C ที่เวลา 12:00 ซึ่งทำให้ค่าความร้อนดูดซับที่แคลอริมิเตอร์มีค่ามากที่สุด 178.62 W ดังรูปที่ 6 ขณะที่ความเร็วลมมีค่าสูงสุด 1.8 m/s ที่เวลา 12:30 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุด 34.3 °C ที่เวลา 11:50 น. ความเข้มรังสีอาทิตย์แสงมีค่าสูงสุด 943 W/m² ที่เวลา 12:40 น. การคำนวณเชิงตัวเลขโดยใช้สมการที่ 4-5 พบว่าตัวดูดซับพลังงาน (แคลอริมิเตอร์แบบทองแดง) มีค่าความร้อนป้อนเข้า 178.62 W มีค่าการสูญเสียความร้อน 2.524 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 943 W/m² งานพาราโบลาจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 47.11 %

7.2 การทดลองที่ 2 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบพาราโบลาติดกระจกเงาเป็นตัวรวมรังสีกับเข้ามาที่จุดโฟกัสที่บริเวณลูกสูบด้านร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง การทดสอบนี้จะเก็บค่าอุณหภูมิด้านร้อน อุณหภูมิด้านเย็น อุณหภูมิอากาศภายนอก ความเร็วลม ความเข้มรังสีอาทิตย์ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบเครื่องยนต์

รูปที่ 7 พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์สตาร์ทติดได้เมื่อมีอุณหภูมิด้านร้อนไม่ต่ำกว่า 300 °C เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงสตาร์ทติด อุณหภูมิด้านร้อนของเครื่องยนต์ (heater) มีค่าสูงสุด 450 °C ที่เวลา 12:30 น. อุณหภูมิด้านเย็นมีค่าสูงสุด 38 °C ที่เวลา 12:00 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด 34.8 °C ที่เวลา 12:55 น. ความเร็วลมสูงสุด 1.7 m/s ที่เวลา 13:05 น. ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุด 962.9 W/m² ที่เวลา 12:30 น. ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุด 1376 rpm กระแสไฟฟ้าสูงสุด 8.9 mA ที่เวลา 12:35 น. ความดันไฟฟ้าสูงสุด 4.0 V ที่เวลา 12:30 น. ข้อมูลของกำลังเครื่องยนต์ความเร็วรอบของเครื่องยนต์และเวลาแสดงดังรูปที่ 8

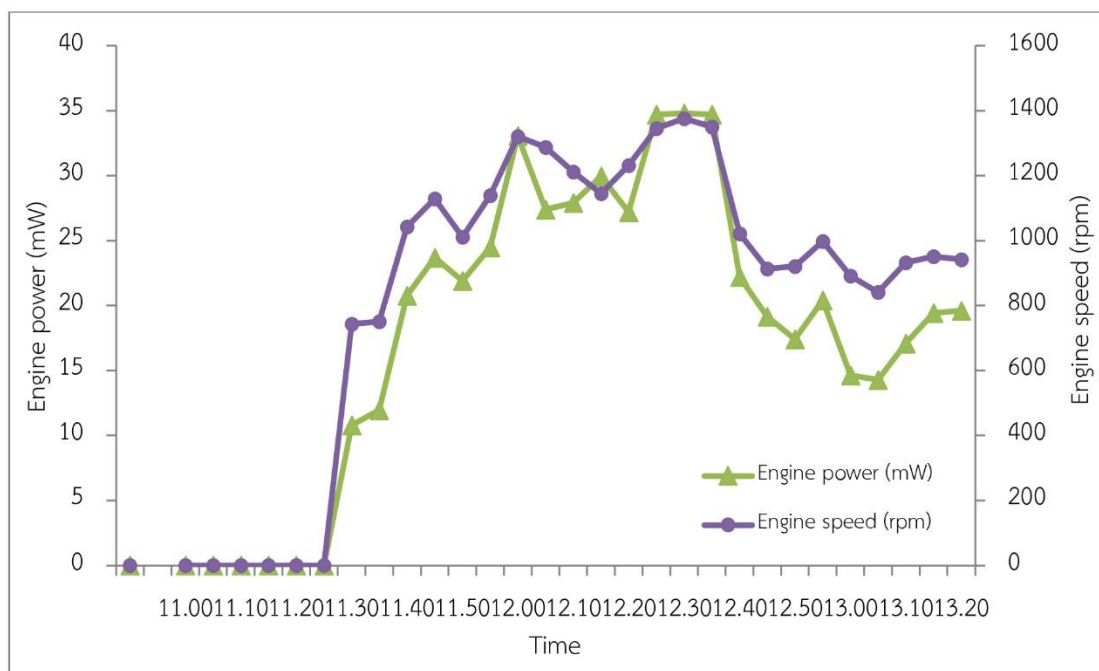


Figure 8 The engine power, the rotational speed of the solar Stirling engine and the time used for the experiment

การคำนวณเชิงตัวเลขโดยใช้สมการที่ 6-7 พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 0.982 W มีค่าการสูญเสียความร้อน 0.840 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 962.9 W/m^2 ระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง-จานพาราโบลา มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 0.036 % ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเครื่องยนต์จะทำให้ความเร็วรอบ กำลัง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cinar และคณะ [11] ที่ทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบต้าภายใต้ความดันบรรยากาศขนาด 192 ซีซี โดยทดลองกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 800, 900 และ $1,000^\circ\text{C}$ แรงบิดและกำลังขับเคลื่อนแปรตามตามความเร็วของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุด 5.98 W ที่ความเร็วรอบ 208 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิของฮีตเตอร์ที่ $1,000^\circ\text{C}$

8. สรุป

การทดลองหาความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้แคลอรีมิเตอร์แบบทองแดง พบว่าอุณหภูมิของน้ำออกที่ผ่านแคลอรีมิเตอร์แปรผันตามค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ส่งมายังจานพาราโบลาและรวมรังสีมาที่แคลอรีมิเตอร์ อุณหภูมิน้ำเข้าแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศในสภาวะที่ทดลอง ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและออกที่แคลอรีมิเตอร์แปรตามความเข้มรังสีอาทิตย์ ผลการทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าค่าความร้อนที่ป้อนเข้าตัวดูดซับพลังงานมีค่าสูงสุด 178.62 W มีค่าการสูญเสียความร้อน 2.524 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 943 W/m^2 จานพาราโบลา มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 47.11 % เครื่องยนต์สเตอร์ลิงติดเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิด้านร้อนไม่ต่ำกว่า 300°C เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิด้านร้อนมีค่าสูงสุด 450°C

อุณหภูมิด้านเย็นมีค่าสูงสุด 38 °C ความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงสุด 962.9 W/m² ที่เวลา 12:30 น. ส่งผลให้มีความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุด 1,376 rpm เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุด 8.9 mA แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด 4.0 V และมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 34.8 mW เครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 0.982 W มีค่าการสูญเสียความร้อน 0.840 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 962.9 W/m² ระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง-จานพาราโบลา มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 0.036 % สาเหตุที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีค่าความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ต่ำเป็นเพราะหัวฮีตเตอร์ที่ใช้รับความร้อนจากการรวมรังสีอาทิตย์มีพื้นที่รับความร้อนค่อนข้างน้อย คือ มีเพียง 0.00102 m² และมีค่าการสูญเสียความร้อนที่เครื่องยนต์ค่อนข้างมากส่งผลให้ประสิทธิภาพรวมของระบบมีค่าน้อยตามไปด้วย ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษานี้จะนำไปสู่การออกแบบเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากเครื่องยนต์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ดีขึ้นในอนาคต

9. ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

9.1 อาจปรับเปลี่ยนขนาดจานพาราโบลาให้ใหญ่ขึ้น เพื่อจะทำให้ได้รับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้รับความร้อนสูงขึ้นและทำงานได้ดีขึ้น

9.2 อาจทดลองเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นเช่นชีวมวลแบบต่าง ๆ

9.3 อาจเปลี่ยนรูปแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นแบบแอลฟาหรือเบตา

9.4 อาจมีการพัฒนางานวิจัยต่อโดยการนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไปขับเคลื่อนรถจำลองขนาดเล็ก

10. References

- [1] Çinar, C. and Karabulut, H., 2005, Manufaturing and testing of a gamma type Stirling engine, J. Renew. Energy 30: 57-66.
- [2] Kongtragool, B. and Wongwises, S., 2003, A review of solar-powered Stirling engines and low temperature differential Stirling engines, J. Renew. Sustain. Energy Rev. 7: 131-154.
- [3] Abbas, M., 2006, Simulation Numérique d'un Cycle de Moteur Stirling Solaire de Type Gamma par la Méthode Découplée. Mémoire de Magister, Université de Blida, Blida.
- [4] Ureili, L. and Berchowitz, D. M., 1984, Stirling Cycle Analysis, Adam Hilger, Inc., Bristol, 256 p.
- [5] Bonnet, S., 2005, Moteurs Thermiques à Apport de Chaleur Externe: Etude d'un Moteur Stirling et d'un Moteur Ericsson, Ph.D. Thèse, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Français, 179 p.
- [6] Woodford, C., Stirling Engines, Available Source: <https://www.explainthatstuff.com/how-Stirling-engines-work.html>, September 29, 2018.
- [7] Kongtragool, B. and Wongwises, S., 2007, Performance of low- temperature differential Stirling engines, J. Renew. Energy 32: 547-566.
- [8] Kongtragool, B. and Wongwises, S., 2008, A four power- piston low- temperature differential Stirling engine using simulated solar energy as a heat source, J. Solar Energy 82: 493-500.

- [9] Kongtragool, B. and Wongwises, S., 2008, Testing of a low temperature differential Stirling engine powered by using actual solar energy, Int. J. Green Energy 5: 491-507.
- [10] Hasnat, A., Ahmed, P., Rahman, M. and Khan, K.A., 2011, Numerical analysis for thermal design of a paraboloidal solar concentrating collector, Int. J. Nat. Sci. 1: 68-74
- [11] Çinar, C., Yucesu, S., Topgöl, T. and Okur, M., 2005, Beta- type Stirling engine operating at atmospheric pressure, J. Appl. Energy 81: 351-357.