

สมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ร่วมกับตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลาเป็นแหล่งความร้อน

Performance of Stirling engine powered by a solar simulator and a parabolic dish

บัญชา คังตระกูล¹, ฤกษ์งามค์ ศุภระมุณี^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒอมครักษ์ นครนายก 26120

²แขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ปทุมธานี 13180

*ติดต่อ: E-mail : krissadangs@gmail.com Tel: (662) 02-6641000 Ext. 2055, Fax: 037-322609

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมาที่ใช้ลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียวในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ โดยทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ ซึ่งสร้างจากหลอดฮาโลเจนขนาด 1500 W จำนวน 24 หลอดร่วมกับตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลาเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ร่วมกับตัวรวมรังสีอาทิตย์พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้นมานี้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ประมาณ 0.1855 W ที่ 78.4 rpm, และมีประสิทธิภาพความร้อนเพล่าประมาณ 0.0898% ที่ 78.4 rpm โดยใช้พลังงานความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 206.5 J/s ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนเป็น 62 °C และอุณหภูมิของสารทำงานในช่องเย็นเป็น 55 °C โดยประมาณ

คำหลัก: เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, เครื่องยนต์พลังแสงอาทิตย์, เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์, ตัวรวมรังสีอาทิตย์

Abstract

In this paper, performance of a laboratory-scaled, single-acting, gamma-configuration Stirling engine was presented. Experimental investigation on this engine was carried-out, using a solar simulator made of twenty four 1500 W halogen lamps and a parabolic dish concentrator as a heat source. Results from the performance testing by using a generator with a solar simulator and a parabolic dish concentrator indicated that the engine produced the maximum electrical power of 0.1855 W at 78.4 rpm, and the maximum overall brake thermal efficiency of 0.0898% at 78.4 rpm, approximately. The actual heat input to the engine is 206.5 J/s and the hot-space temperature is 62 °C and the cold-space temperature is 55 °C, approximately.

Keywords: Stirling engine, Solar-powered Stirling engine, Solar simulator, Solar concentrator

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าทรัพยากรพลังงานบรรพชีวินมีปริมาณจำกัดและในปัจจุบันมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนเป็นสิ่งที่ขาดแคลนและจะหมดสิ้นไปในอนาคต การหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานบรรพชีวินจึงเป็นสิ่งที่ควรจะต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้การใช้

พลังงานบรรพชีวินโดยมีการเผาไหม้ก็ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้กับยานยนต์และเครื่องต้นกำลังของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน การวิจัยนี้เกิดขึ้นจากแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายนอกที่สามารถนำไปใช้ได้ในการผลิตกำลังกล โดยเครื่องยนต์

ความร้อนที่จะพัฒนาขึ้นนี้ต้องไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานป้อนเข้า ผลลัพธ์ที่ได้นอกจากจะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัญหาหลักของโลกในปัจจุบันแล้วยังเป็นแนวทางในการพัฒนาทางด้านพลังงานทางเลือกอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงมุ่งความสนใจไปที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ (Solar-powered Stirling engine)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบ สมรรถนะของต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ที่มีขนาดอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) และมีขอบเขตเป็นการศึกษาทางด้านการทดลอง โดยนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในรูปแบบลักษณะแกมมา (Gamma-configuration) แบบลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียว (single acting) ที่ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ (Low temperature differential) จำนวน 1 เครื่อง มาทดลองกับรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลา (Parabolic dish) จำนวน 1 จาน เครื่องยนต์ นี้มีอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ประมาณ 6:1 และใช้อากาศเป็นสารทำงานในเครื่องยนต์

ประโยชน์ที่ได้รับ จากการวิจัยนี้จะ สามารถพิสูจน์ยืนยันการใช้งานได้และความคุ้มค่าในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์แบบลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียว รูปแบบลักษณะแกมมาที่ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ ได้ข้อมูลในรูปของพารามิเตอร์ในการออกแบบเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ในขนาดที่ใหญ่ขึ้นในขั้นต่อไป รวมทั้งได้อंकความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาไปสู่การใช้พลังงานทดแทนที่ยั่งยืนในอนาคต

2. การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาวิจัยของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในประเทศไทย เท่าที่ค้นพบ เริ่มต้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 [1] ถึงปัจจุบันมีงานศึกษาวิจัยไม่น้อยกว่า 60 ชิ้น บางส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีดังต่อไปนี้

ในปี พ.ศ. 2539 ดนัย อร่ามธรรมมาพร [2] นักศึกษา คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำวิทยานิพนธ์โดยเขาได้ทดสอบ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงวัฏจักรเปิดโดยใช้ไอน้ำที่ถูกให้ความร้อนด้วย Producer gas เป็นสารทำงาน เครื่องยนต์เครื่องแรกสามารถผลิตกำลังหัวสูบ (Indicated power) ได้ประมาณ 1.36 kW ที่ความเร็วรอบสูงสุด 950 rpm ในขณะที่เครื่องยนต์เครื่องที่สองซึ่งปรับปรุงขึ้นจากเครื่องยนต์เครื่องแรกสามารถผลิตกำลังหัวสูบได้ประมาณ 2.92 kW ที่ความเร็วรอบสูงสุด 2200 rpm

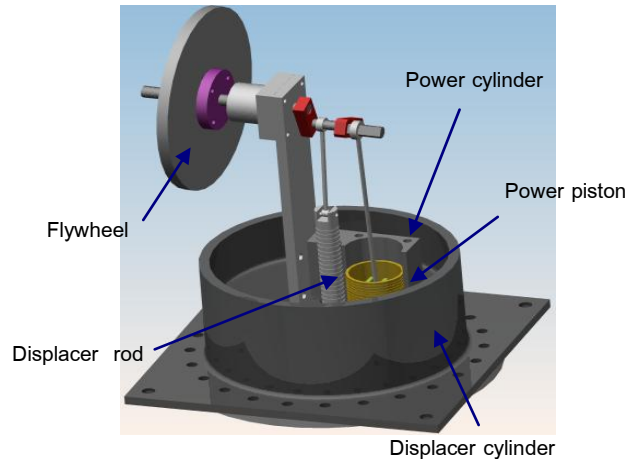
ในปี พ.ศ. 2548 เกียรติยศ ผูกเกสร และ คเชนทร์ ธรรมสิทธิ์ [3] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ โดยพวกเขาได้ออกแบบ, สร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาแบบลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียวที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 2145 cc โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 1000 W จำนวนหนึ่งหลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 3.087 W ที่ 24.4 rpm

ในปี พ.ศ. 2550 ธวัชชัย ประชุม, ผาบุญ ไพศาลธนากร และ สิทธิชัย ช่วงบุญศรี [4] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ พวกเขาได้ออกแบบ, สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลังรวม 64 cc โดยใช้ฝาสูบทำจากวัสดุสามชนิดคือ เหล็กกล้าไร้สนิม, อลูมิเนียมและทองแดง โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 500 W จำนวนหนึ่งหลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 1.1926 W ที่ 156.4 rpm โดยใช้ฝาสูบเหล็กกล้าไร้สนิม

ในปี พ.ศ. 2550 กวิน ศรีสุวรรณ, ทวีศักดิ์ จันทน์นาค และ อนุชน อันเมธรัตน์ [5] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ พวกเขาได้ออกแบบ, สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาชนิดลูกสูบกำลังทำงานสองด้านที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 1271 cc โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 1000 W จำนวนสองหลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 1.3737 W ที่ 40.46 rpm

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูล และ สมชาย วงศ์วิเศษ [6] ได้เสนอผลการศึกษาศมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ โดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อน เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังสี่ลูก

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูล และ สมชาย วงศ์วิเศษ [7] ได้เสนอผลการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำขนาดเล็กเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลาเป็นแหล่งให้พลังงาน ผลจากการทดสอบพบว่ากำลังที่ได้และประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นตามค่าความเข้มของรังสีตรงที่ขึ้นานกับแกนของจานพาราโบลา



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

3. เครื่องทดลองและวิธีทดลอง

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมาแบบลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียว ซึ่งออกแบบให้ใช้วัสดุดีบุกและชิ้นส่วนมาตรฐานที่หาได้ง่ายทั่วไปในการสร้างชิ้นส่วนเครื่องยนต์ให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ภาคเกษตรกรรมและชนบทได้ง่าย

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญ

ความโตของกระบอกสูบเคลื่อนย้าย	200 mm
ช่วงชักของลูกสูบเคลื่อนย้าย	25.4 mm
ปริมาตรกวาดของลูกสูบเคลื่อนย้าย	798 cc
ความโตของกระบอกสูบกำลัง	50 mm
ช่วงชักของลูกสูบกำลัง	30 mm
ปริมาตรกวาดของลูกสูบกำลัง	58.9 cc
อัตราส่วนการอัด	13.5
มุมล่งหน้าระหว่างลูกสูบเคลื่อนย้ายกับลูกสูบกำลัง	90 องศา

พารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญของเครื่องยนต์แสดงไว้ในตารางที่ 1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องยนต์ที่ออกแบบสามารถดูได้จากรูปที่ 1

ส่วนรูปที่ 2 นั้นเป็นภาพถ่ายแสดงเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 2 ภาพถ่ายแสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่นำมาทดสอบ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่สำคัญ

1. Rope brake dynamometer สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ประกอบด้วยตาชั่งสปริง, น้ำหนักถ่วง และเชือกกรัด
2. ชุดวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประกอบด้วย Proximity sensor และ Digital indicator
3. ชุดวัดความดันของสารทำงานในเครื่องยนต์ประกอบด้วย Pressure transmitter และ Digital indicator
4. ชุดวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เครื่องวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า, และ Load bank
5. ระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์ประกอบด้วยถังเก็บน้ำเย็น, ถังพักน้ำร้อน, อุปกรณ์

ควบคุมระดับน้ำ, เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ, เครื่องสูบน้ำ, ระบบท่อและวาล์ว

6. ระบบให้ความร้อนด้วยเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ เครื่องที่ 1 สร้างจากหลอดฮาโลเจนไส้ทังสเตน (Tungsten halogen lamp)

7. ชุดวัดความเข้มของรังสีจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์และตัวรวมรังสีอาทิตย์ ประกอบด้วย แคลอริมิเตอร์แบบน้ำไหลผ่านต่อเนื่อง (Flowing calorimeter), ตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์, และนาฬิกาจับเวลา

8. ชุดวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวม (Global intensity) และรังสีกระจาย (Diffuse intensity) ประกอบด้วย Pyranometer สองเครื่องกับวงแหวนเงา (Shading ring) และชุดวัดมุม Solar zenith

9. ชุดวัดความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์ประกอบด้วย แคลอริมิเตอร์อย่างง่าย (ใช้กระบอกสูบเคลื่อนย้ายเป็นแคลอริมิเตอร์), ตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์, และนาฬิกาจับเวลา

10. ชุดวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์และน้ำระบายความร้อนประกอบด้วย Infrared thermometer สำหรับวัดอุณหภูมิของฝาสูบด้านร้อน, เทอร์โมคัปเปิ้ล และ Digital indicator สำหรับวัดอุณหภูมิของฝาสูบด้านเย็นและอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน

11. แผงเครื่องมือวัดและควบคุมทางไฟฟ้า ประกอบด้วยแผงควบคุม, โครงสร้างรองรับ, อุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า, สายไฟฟ้า, สวิตช์, และ Magnetic contactor

3.2 การทดสอบเครื่องยนต์

3.2.1. การทดสอบหาค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ ที่เข้าสู่งานพาราโบลา

เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการวิจัยสร้างจากหลอดฮาโลเจนขนาด 1500 W จำนวน 24 หลอด ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองที่เข้าสู่งานพาราโบล่าจะเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการคำนวณหาค่าอัตราส่วนการรวมรังสี (Concentration ratio) ของตัวรวมรังสีอาทิตย์ การทดสอบหาค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่งานพาราโบล่า มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำ Pyranometer ไปวางไว้ในตำแหน่งที่อยู่ห่างจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ เป็นระยะทาง 130 cm โดย

ให้แนวแกนของ Pyranometer ขนานกับแนวรังสีที่ออกมาจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ (ดูรูปที่ 3)

2. ต่อสายสัญญาณจาก Pyranometer เข้ากับเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า

3. เปิดไฟฟ้าเข้าสู่หลอดฮาโลเจนของเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์

4. สังเกตค่าแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องวัด จดบันทึกค่าแรงดันเมื่อค่าแรงดันที่อ่านได้ไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว

5. ย้าย Pyranometer ไปสู่ตำแหน่งอื่น แล้วทำซ้ำข้อที่ 4 จนครบ 24 ตำแหน่งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มของรังสีจากเครื่องจำลองรังสีทั้งหมด

3.2.2. การทดสอบหาค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ตรงจุดโฟกัสของงานพาราโบลา

ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองที่ได้จากการรวมรังสี (Concentrated simulated intensity) ตรงจุดโฟกัสจะเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการคำนวณหาค่าความร้อนที่ถ่ายเทให้กับตัวดูดซับรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงานที่อยู่ภายในเครื่องยนต์อีกทอดหนึ่ง

การทดสอบหาค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ ตรงจุดโฟกัสของงานพาราโบล่า มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำแคลอริมิเตอร์แบบน้ำไหลต่อเนื่องไปตั้งบนขาตั้งตรงจุดโฟกัสของตัวรวมรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นงานพาราโบล่าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 m (ดูรูปที่ 3) โดยตัวรวมรังสีอาทิตย์นี้อยู่ใต้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ซึ่งสร้างจากหลอดฮาโลเจนขนาด 1500 W จำนวน 24 หลอด และให้ตัวรวมรังสีอาทิตย์อยู่ห่างจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เท่ากับระยะที่จะใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คือ 130 cm

2. ต่อก่อน้ำจากระบบน้ำหมุนเวียนเข้าและออกจากแคลอริมิเตอร์

3. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแคลอริมิเตอร์เข้ากับอินดิเคเตอร์

5. เปิดไฟฟ้าให้หลอดฮาโลเจน เมื่อสังเกตค่าของอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแคลอริมิเตอร์ค่อนข้างคงที่ซึ่งแสดงว่าเป็นสภาวะคงตัวแล้วจึงจดบันทึกค่าของอุณหภูมิ

6. ปิดหลอดฮาโลเจน

7. วัดอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียนที่ใช้ในการรับความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์
8. ปลอ่ยให้เย็นแล้วจึงทำการทดลองครั้งต่อไป



รูปที่ 3 ภาพถ่ายแสดงการทดสอบหาค่าความชื้นของรังสีอาทิตย์จำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ และจานพาราโบลา

3.2.3 การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงานจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์และจานพาราโบลา

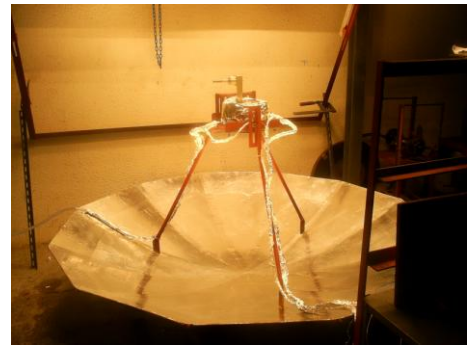
เนื่องจากค่าความร้อนที่ถ่ายเทจากรังสีอาทิตย์จำลองตรงจุดโฟกัสสู่เครื่องยนต์ไม่สามารถวัดได้ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน จึงต้องทดสอบก่อนที่จะทดสอบสมรรถนะ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์จริงในระหว่างการทดสอบสมรรถนะ และนำไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์

การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ มีลำดับขั้นตอนในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ถอดลูกสูบกำลังและลูกสูบเคลื่อนย้ายออกจากเครื่องยนต์ แล้วนำมาติดตั้งบนโครงยึดของจานพาราโบลา โดยยึดกระบอกสูบไม่ให้เคลื่อนที่ได้และฝาสูบด้านร้อนของกระบอกสูบเคลื่อนย้ายอยู่ที่จุดโฟกัสพอดี โดยจานพาราโบลาอยู่ห่างจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เท่ากับระยะที่จะใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คือ 130 cm (ดูรูปที่ 5)
2. ต่อท่อระบายความร้อนทางด้านน้ำเข้าและน้ำออกเข้ากับช่องระบายความร้อนของเครื่องยนต์โดยมีวาล์วควบคุมอัตราการไหลทั้งสองด้าน
3. นำเทอร์โมคัปเปิ้ลมาใส่ไว้ที่ท่อเข้าและทางน้ำออกของช่องระบายความร้อน จากนั้นจึงต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับอินดิเคเตอร์

4. เปิดให้น้ำสะอาดไหลลงเข้าไปในกระบอกสูบเคลื่อนย้ายจนเต็มปริมาตรของกระบอกสูบเคลื่อนย้าย ปรับอัตราการไหลให้คงที่โดยน้ำไม่ล้นออกจากกระบอกสูบเคลื่อนย้าย

5. เปิดไฟฟ้าให้หลอดฮาโลเจนบนเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ทำงาน



รูปที่ 4 ภาพถ่ายแสดงการทดสอบหาความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงานจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ และจานพาราโบลา

6. จดบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ จากนั้นจึงจดบันทึกอุณหภูมิของน้ำทุก 1 นาทีจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิกคงที่ จึงหยุดการทดสอบ

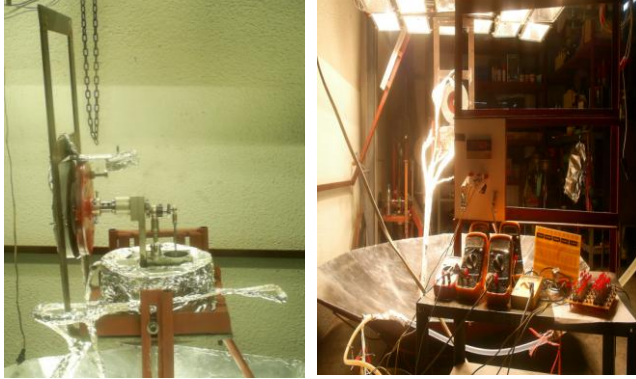
7. ปิดไฟฟ้าไม่ให้เข้าหลอดฮาโลเจนบนเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ ถายน้ำออก แล้วรอให้เย็นก่อนที่จะทำการทดสอบครั้งต่อไป

3.2.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์และจานพาราโบลา

การทดสอบนี้จะทำหลังจากที่ทราบค่าความร้อนป้อนเข้าจากรังสีอาทิตย์จำลองตรงจุดโฟกัสแล้ว การทดสอบสมรรถนะจะทำเฉพาะการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้น เพราะว่าการทดสอบหาค่ากำลังเพลลาโดยใช้ Rope brake dynamometer ภายใต้อุณหภูมิที่จลองที่มีความชื้นของรังสีสูงนั้นร้อนมากและทำได้ยากมาก

หลังจากทราบค่าของความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์แล้ว จากนั้นจึงทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมเครื่องยนต์และอุปกรณ์กับเครื่องมือวัดต่างๆให้ครบและพร้อมใช้งาน (ดูรูปที่ 5)
2. เปิดน้ำระบายความร้อนให้หมุนเวียนเข้าไปในช่องระบายความร้อนของเครื่องยนต์



รูปที่ 5 ภาพถ่ายแสดงอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์ด้วยเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์และจานพาราโบลา

3. เปิดไฟฟ้าเข้าเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆทั้งหมด
4. เปิดไฟฟ้าให้เข้าหลอดฮาโลเจนบนเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ แล้วจดบันทึกค่าอุณหภูมิของสารทำงาน, อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและออกจากช่องระบายความร้อนทุก 1 นาที
5. เมื่ออุณหภูมิของสารทำงานสูงพอที่จะสตาร์ทเครื่องยนต์ได้แล้ว จึงสตาร์ทเครื่องยนต์ จากนั้นจดบันทึกความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นด้วย
6. เมื่อสังเกตได้ว่าเครื่องยนต์อยู่ในสถานะคงตัว ซึ่งอุณหภูมิต่างๆและความเร็วรอบจะมีค่าคงที่ จึงเริ่มทดสอบสมรรถนะโดยเริ่มเปิดหลอด LED ของ Load bank เพื่อเป็นภาระแก่เครื่องยนต์ จดบันทึกค่าของกระแสไฟฟ้า, แรงดันกระแสไฟฟ้า, และความเร็วรอบทุกครั้งที่เพิ่มภาระแก่เครื่องยนต์ จนกระทั่งเครื่องยนต์หยุด
7. ปิดไฟฟ้าไม่ให้เข้าหลอดฮาโลเจนบนเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ วัดอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน

4. ผลลัพธ์และการอภิปราย

4.1 การทดสอบหาค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่จานพาราโบลา

เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ความร้อนที่รังสีอาทิตย์จำลองให้แก่แคลอริมิเตอร์แบบน้ำไหลต่อเนื่องจะถ่ายเทให้กับ

น้ำที่ไหลผ่านแคลอริมิเตอร์ทั้งหมด ความร้อน(มีหน่วยเป็น J/s) ที่น้ำดูดซับไว้ได้จะคำนวณได้จาก

$$q_{abs} = m_w c_{p,w} (T_{w,out} - T_{w,in}) \quad (1)$$

เมื่อ m_w คืออัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านแคลอริมิเตอร์ (kg/s), $c_{p,w}$ คือค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (= 4187 J/kg K), $T_{w,in}$ คืออุณหภูมิของน้ำตรงจุดที่เข้าสู่แคลอริมิเตอร์ ($^{\circ}$ C), และ $T_{w,out}$ คืออุณหภูมิของน้ำตรงจุดที่ออกจากแคลอริมิเตอร์ ($^{\circ}$ C)

ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลอง (มีหน่วยเป็น W/m^2) จะคำนวณได้จาก

$$I = q_{abs} / A_{abs} \quad (2)$$

เมื่อ A_{abs} คือพื้นที่รับรังสีของแคลอริมิเตอร์ (= 0.01887 m^2)

ค่าความเข้มของรังสี (มีหน่วยเป็น W/m^2) จะสามารถคำนวณได้จากจำนวน mV ที่อ่านได้จาก Pyranometer คือ

$$I = \frac{1000(mV)}{27.66 \mu V / (W / m^2)} \quad (3)$$

เมื่อ 27.66 $\mu V / (W / m^2)$ คือค่าคงที่ในการสอบเทียบของ Pyranometer

ผลลัพธ์จากการทดสอบนี้ออกมาในรูปของค่าความเข้มเฉลี่ย 24 ตำแหน่งของรังสีจำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่จานพาราโบลา มีค่าเป็น 973.9 W/m^2

4.2 การทดสอบหาค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ตรงจุดโฟกัสของจานพาราโบลา

ข้อมูลและผลลัพธ์จากการทดสอบหาค่าความเข้มจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ที่ประกอบด้วยหลอดฮาโลเจนขนาด 1500 W จำนวน 24 หลอดสะท้อนจากพื้นผิวของตัวรวมรังสีอาทิตย์ที่เป็นจานพาราโบลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m

ซึ่งเมื่อนำเอาอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและออกแคลอริมิเตอร์มาคำนวณโดยใช้สมการ (1) และ (2) จะได้ผลลัพธ์คือได้ค่าความร้อนที่น้ำดูดซับไว้ได้ 283.9 J/s ทำให้ได้ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองเป็น

$$15\ 045\ W/m^2 \text{ ตรงจุดโฟกัส}$$

การทดสอบหาค่าความร้อนป้อนเข้าสู่สารทำงานที่ใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เครื่องเดียวกันที่ระยะห่างเดียวกันนี้ จึงใช้ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ตรงจุดโฟกัสเป็นเป็น $15\ 045\ \text{W/m}^2$

4.3 การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงานจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ และงานพาราโบลา

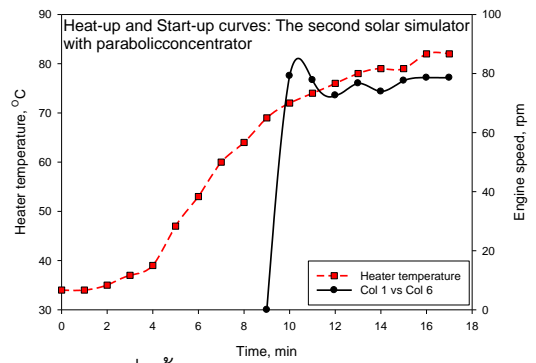
ข้อมูลและผลลัพธ์จากการทดสอบหาค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงานจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เครื่องและงานพาราโบลา ซึ่งค่าความเข้มจากเครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ตรงจุดโฟกัสของงานพาราโบลาเป็น $15\ 045\ \text{W/m}^2$ เมื่อ ที่คำนวณด้วยสมการ (1) ค่าของความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ คือ $206.5\ \text{J/s}$

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เครื่องเดียวกันที่ระยะห่างเดียวกันนี้ จึงใช้ค่าความร้อนป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์เป็น $206.5\ \text{J/s}$

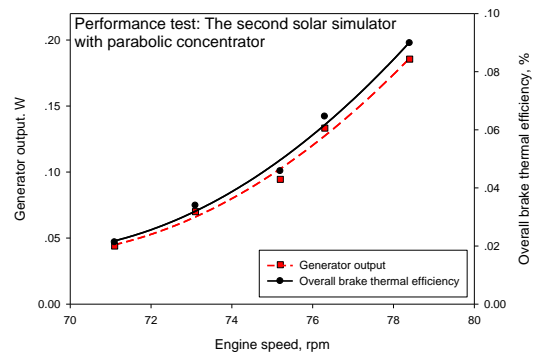
4.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์และงานพาราโบลา

ข้อมูลและผลลัพธ์จากการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ และงานพาราโบลา ทำให้ได้ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จำลองเป็น $15\ 045\ \text{W/m}^2$ และได้ค่าความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์เป็น $206.5\ \text{J/s}$ แสดงอยู่ในและรูปที่ 6 และรูปที่ 7 การคำนวณผลลัพธ์เป็นเช่นเดียวกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4 กราฟสมรรถนะที่ได้ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกัน

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตออกมามีค่าประมาณ $0.19\ \text{W}$ ที่ $78\ \text{rpm}$, และได้ประสิทธิภาพความร้อนเพลารวมสูงสุดประมาณ 0.09% ที่ $78\ \text{rpm}$ เช่นกัน โดยอุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนมีค่าประมาณ $62\ ^\circ\text{C}$



รูปที่ 6 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเร็วรอบ



รูปที่ 7 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ $901.5\ \text{J/s}$

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมาที่ใช้ลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียวในขนาดระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 1 เครื่องได้สำเร็จ และได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาในเชิงการทดลอง โดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์ซึ่งสร้างจากหลอดฮาโลเจนขนาด $1500\ \text{W}$ จำนวน 24 หลอดร่วมกับตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบงานพาราโบลา เป็นแหล่งให้ความร้อนในการทดสอบเครื่องยนต์ ผลการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เครื่องที่ 2 ร่วมกับตัวรวมรังสีอาทิตย์พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้นนี้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ประมาณ $0.1855\ \text{W}$ ที่ $78.4\ \text{rpm}$, และมีประสิทธิภาพความร้อนเพลารวมประมาณ 0.0898% ที่ $78.4\ \text{rpm}$ โดยใช้พลังงานความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ $206.5\ \text{J/s}$ ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนเป็น $62\ ^\circ\text{C}$ และอุณหภูมิของสารทำงานในช่องเย็นเป็น $55\ ^\circ\text{C}$ โดยประมาณ แม้ว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมา ที่ทดสอบนี้จะมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก

ดังนั้นผู้วิจัยจะได้พัฒนาตัวรวมรังสีที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นมาใช้ทดสอบต่อไปในอนาคตอันใกล้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ฝ่ายวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้สัญญาเลขที่ 040/2552 รวมทั้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรฯ สำหรับการสนับสนุน และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรฯ ที่เอื้อเพื่อสถานที่สำหรับการทำงานวิจัย และนิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรฯ หลายคนที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือในการสร้างและทดสอบเครื่องยนต์ งานวิจัยนี้เป็นผลสำเร็จ

7. เอกสารอ้างอิง (Selected)

- [1] Walpita S.H., *Development of the solar receiver for a small Stirling engine*, Special Study Project Report no. ET-83-1, Bangkok: Asian Institute of Technology, 1983.
- [2] ดนัย อร่ามธรรมมาพร การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาความร้อนจากโปรติวเซอร์แก๊สมาเดินเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้ไอน้ำเป็นสารทำงาน , วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาเทคโนโลยีอุณหภาพ , คณะพลังงานและวัสดุ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ.2539.
- [3] เกียรติยศ ผูกเกษร และ คเชนทร์ ธรรมสิทธิ์ การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา-ซิงเกิลแอกคิงขนาด 2145 ลบ.ซม. ปรียญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2548.
- [4] ธวัชชัย ประชุม, ผาบุญ ไพศาลธนากร และ สิทธิชัย ช่วงบุญศรี การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา.ปรียญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2550.

- [5] กวิน ศรีสุวรรณ, ทวีศักดิ์ จันทร์นาคา และ อนุชน ฉัญเมธารัตน์ การสร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาดับเบิลแอกคิงขนาด 1271 ลบ.ซม.ปรียญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- [6] Kongtragool B, Wongwises S (2007) Performance of low-temperature differential Stirling engines, *Renewable*
- [7] Kongtragool B, Wongwises S (2008) A four power-piston low-temperature differential Stirling engine using simulated solar energy as a heat source, *Solar Energy*, 82, 493-500.
- [8] Kongtragool B, Wongwises S (2008) Testing of a low temperature differential Stirling engine powered by using actual solar energy, *International Journal of Green Energy*, 5, 491-507.