

สมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบต้าขนาด 4.253 cc Performance of a 4.253 cc beta-configuration Stirling engine

สมพจน์ คำแก้ว* และ บัญชา คังตระกูล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิศวกรรมหลังเก็บเกี่ยวและแปรรูป
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110.
โทรศัพท์ 0-3835-8137.โทรสาร 0-3834-1808.มือถือ08-17527908.E-mail:ies_service@yahoo.com.com

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ ได้นำเสนอสมรรถนะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบต้าที่ใช้ลูกสูบกำลังที่มีขนาด 4.253 cc โดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลการทดสอบเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนี้สามารถผลิตแรงบิดสูงสุดได้ประมาณ 4 N.mm ที่ 483 rpm, ผลิตกำลังสูงสุดได้ประมาณ 250 mW ที่ 619 rpm, และมีประสิทธิภาพความร้อนเพลาสุงสุดประมาณ 0.9% ที่ 619 rpm

คำหลัก: เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, เครื่องยนต์อากาศร้อน, เครื่องยนต์สันดาปภายนอก

Abstract

In this paper, performance of a 4.253 cc beta-configuration Stirling engine was reported. Experimental investigation on this engine was carried-out by using the performance testing with an electric heater. Results from the performance testing showed that the engine produced the maximum torque of 4 N.mm at 483 rpm, the maximum shaft power of 250 mW at 619 rpm, and the maximum brake thermal efficiency of 0.9% at 619 rpm, approximately.

Keywords: Stirling engine, Hot air engine, External-combustion engine

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าทรัพยากรพลังงานบรรพชีวินมีปริมาณจำกัดและในปัจจุบันมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนเป็นสิ่งที่ขาดแคลนและจะหมดสิ้นไปในอนาคต การหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานบรรพชีวินจึงเป็นสิ่งที่ควรจะต้องให้ความสนใจ

เครื่องยนต์สันดาปภายนอกนอกจากจะสามารถใช้พลังงานความร้อนได้หลากหลายชนิดแล้ว ยังสามารถควบคุมให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ง่ายกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในอีกด้วย ดังนั้นการพัฒนาเครื่องยนต์ความร้อนที่เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอกซึ่งสามารถใช้พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นประโยชน์ต่อการแก้วิกฤตพลังงานและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

การวิจัยนี้เกิดขึ้นจากแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายนอกที่สามารถนำไปใช้ได้ในการผลิตกำลังกลโดยเครื่องยนต์ความร้อนที่จะพัฒนาขึ้นนี้ต้องไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้พลังงานหมุนเวียน

เป็นแหล่งพลังงานป้อนเข้า ผลลัพธ์ที่ได้้นอกจากจะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัญหาหลักของโลกในปัจจุบันแล้ว ยังเป็นแนวทางในการพัฒนาทางด้านพลังงานทางเลือกอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบต้า (Beta configuration) ซึ่งมีรูปแบบกะทัดรัดกว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบอื่น และสามารถใช้กับตัวรวมรังสีอาทิตย์ (Solar concentrator) ได้ง่ายกว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบอื่น เพื่อพัฒนาไปสู่การใช้เป็นเครื่องยนต์พลังแสงอาทิตย์ในขั้นต่อไป

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอกที่สามารถใช้เชื้อเพลิงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้แทบทุกชนิดรวมทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นเชื้อเพลิงจะไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ ออกมาเลย จากลักษณะเด่นที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นเหตุผลที่สมควรจะพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพื่อศึกษาใน

รายละเอียด เพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตพลังงานอย่างยั่งยืน จากพลังงานหมุนเวียน

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยเป็นการพัฒนาต้นแบบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบต้าที่มีขนาดในระดับ ห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) และศึกษา สมรรถนะทางการทดลอง โดยออกแบบสร้าง เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในรูปแบบเบต้าที่ใช้ความแตกต่าง ของอุณหภูมิสูงจำนวน 1 เครื่องแล้วทดสอบสมรรถนะ ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ

2. การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาวิจัยของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในประเทศไทย เท่าที่ค้นพบ เริ่มต้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 [1] ถึง ปัจจุบันมีงานศึกษาวิจัยไม่น้อยกว่า 60 ชิ้น บางส่วนของ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมรรถนะของ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีดังต่อไปนี้

ในปี พ.ศ. 2550 บัญชา คังตระกูล และ สมชาย วงศ์ วิเศษ [2] ได้เสนอผลการศึกษาศมรรถนะของเครื่องยนต์ สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำโดยใช้ก๊าซ พิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงจำนวนสองเครื่อง เครื่องยนต์เครื่องแรกเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังคู่ (Twin-power piston) ส่วนเครื่องยนต์เครื่องที่สองเป็น เครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังสี่ลูก ลูกสูบกำลังของ เครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องเป็นลูกสูบแบบทำงานด้านเดียว

ในปี พ.ศ. 2550 บัญชา คังตระกูล และ สมชาย วงศ์ วิเศษ [3] ได้เสนอผลการศึกษาศมรรถนะของเครื่องยนต์ สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ โดยใช้ เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังคู่

ในปี พ.ศ.2550 ธวัชชัย ประชุม, ผาบุญ ไพศาล ธานกร และ สิทธิชัย ช่วงบุญศรี [4] ได้ออกแบบ, สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาที่มีขนาด ความจุกระบอกสูบกำลังรวม 64 cc โดยใช้ฝาสูบทำจาก วัสดุสามชนิดคือ เหล็กกล้าไร้สนิม,อลูมิเนียมและทองแดง โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 500 W. จำนวนหนึ่ง หลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์เครื่องนี้ ให้กำลังเพลาสูงสุด 1.1926 W ที่ 156.4 rpm. โดยใช้ฝาสูบเหล็กกล้าไร้สนิม

ในปี พ.ศ. 2550 กวิน ศรีสุวรรณ, ทวีศักดิ์ จันทร์ นาคา และ อนุชน อันเมธรัตน์ [5] ได้ออกแบบ, สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาชนิดลูกสูบ กำลังทำงานสองด้านที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง

1271 cc โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 1000 W จำนวนสองหลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการ ทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 1.3737 W ที่ 40.46 rpm.

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูล และ สมชาย วงศ์ วิเศษ [6] ได้เสนอผลการศึกษาศมรรถนะของเครื่องยนต์ สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ โดยใช้ เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อน เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังสี่ลูก

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูล และ สมชาย วงศ์ วิเศษ [7] ได้เสนอผลการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำขนาดเล็กเป็นต้นกำลังขับเคลื่อน กำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์ แบบจานพาราโบลาเป็นแหล่งให้พลังงาน พบว่ากำลังที่ได้ และประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นตามค่าความเข้มของรังสี ตรงที่ขนานกับแกนของจานพาราโบลา

ในปี 2551 สุรัชชัย จิรชาคริต, บันเทิง ศิลป์สกุลสุข และ นัฐพล ปานพรหมมินทร์ [8] ได้เสนอผลการทดสอบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอัลฟาขนาดปริมาตรกวาด 5.03 cc ที่อุณหภูมิระหว่าง 540°C - 560°C โดยใช้ไดนาโม มิเตอร์แบบเช็กรัด ได้กำลังสูงสุด 83 mW ที่ 300 rpm.

ในปี 2552 ชนะ ศรีคำ และ อังศิริ ศรีภักดากร [9] ได้ เสนอผลการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้าที่ใช้ ความแตกต่างของอุณหภูมิปานกลางโดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า เป็นแหล่งพลังงานความร้อน พบว่าที่การอัดความดัน 7 bar โดยอุณหภูมิผิวนอกฮีตเตอร์ 500°C เครื่องยนต์สามารถผลิตกำลังสูงสุดได้ 67.5 W ที่ 500 rpm และผลิต แรงบิดสูงสุดได้ 1.47 Nm ที่ 300 rpm

3. เครื่องทดลองและวิธีทดลอง

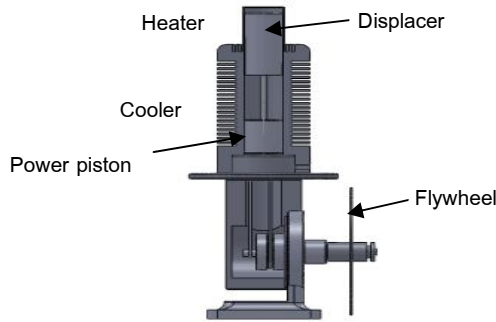
3.1 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบเบต้าแบบลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียว แผนภาพ แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์ที่ออกแบบ สามารถดูได้จากรูปที่ 1 ส่วนรูปที่ 2 นั้นเป็นภาพถ่าย แสดงเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นเสร็จแล้ว พารามิเตอร์ในการ ออกแบบที่สำคัญของเครื่องยนต์แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญ

ความโตของกระบอกสูบ	20 mm
เคลื่อนย้าย	
ช่วงชักของลูกสูบเคลื่อนย้าย	18 mm
ปริมาตรกวาดของลูกสูบ	5.655cc

เคลื่อนย้าย	
ความโตของกระบอกสูบกำลัง	19 mm
ช่วงชักของลูกสูบกำลัง	15 mm
ปริมาตรกวาดของลูกสูบกำลัง	4.253cc
อัตราส่วนการอัด	1.33
มุมล่วงหน้า	67 องศา



รูปที่ 1 แผนภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง



รูปที่ 2 แสดงภาพถ่ายของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่สำคัญ ประกอบด้วย

1. Rope brake dynamometer สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ประกอบด้วยตาชั่งสปริง, น้ำหนักถ่วง, และเชือกรัด
2. เครื่องวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบ Digital tachometer
3. ระบบให้ความร้อน ประกอบด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า
4. ชุดวัดความสิ้นเปลืองไฟฟ้าประกอบด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า, เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าและเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
5. ชุดวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์และน้ำระบายความร้อนประกอบด้วย K-type thermocouple และ Digital indicator สำหรับวัดอุณหภูมิของกระบอกสูบ

เคลื่อนย้ายด้านร้อนและอุณหภูมิของศรีระบายความร้อน

6. แผงเครื่องมือวัด และควบคุมทางไฟฟ้า ประกอบด้วยแผงควบคุม, โครงสร้างรองรับ, อุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า, ระบบสายไฟฟ้า, สวิตช์, และ Magnetic switch

7. ตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์และนาฬิกาจับเวลา สำหรับการทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์

3.3 การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์แบ่งออกเป็น 2 การทดสอบคือ

1. การหาความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงาน

เนื่องจากค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์ไม่สามารถวัดได้ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน จึงต้องทดสอบก่อนที่จะทดสอบสมรรถนะ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์จริงในระหว่างการทดสอบสมรรถนะและการนำไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์

2. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

จะทำหลังจากที่ทราบค่าความร้อนป้อนเข้าที่เหมาะสมแล้ว การทดสอบสมรรถนะจะทำเฉพาะการทดสอบกำลังเพลลาของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพความร้อนเพลลาของเครื่องยนต์เท่านั้น

3.3.1 การหาความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงาน

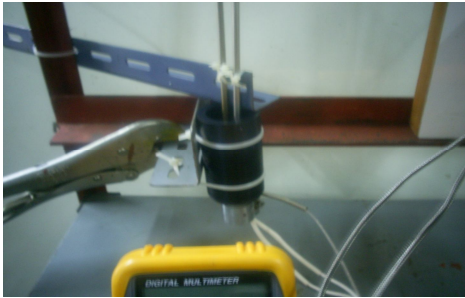
การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ วิธีทำการทดสอบมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ตามรูปที่ 2

ถอดกระบอกสูบเคลื่อนย้ายออกจากเครื่องยนต์ นำกระบอกสูบเคลื่อนย้ายมาชั่งน้ำหนักรวมกับน้ำสะอาดที่บรรจุอยู่เต็มช่องร้อน แล้วหักน้ำหนักตัวเพลลาของกระบอกสูบเคลื่อนย้ายออก ก็จะทราบจำนวนน้ำที่ใช้ในการทดสอบ คือ 7.5g

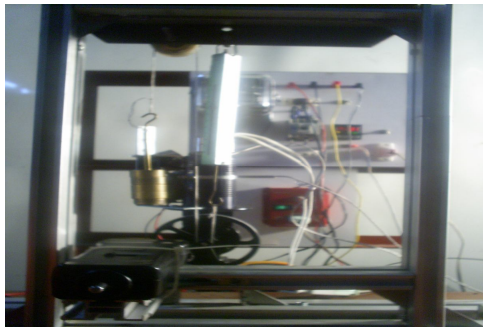
นำกระบอกสูบเคลื่อนย้ายมาวางบนโครงทดสอบโดยยึดกระบอกสูบไม่ให้เคลื่อนที่ได้ นำเทอร์โมคัปเปิ้ลมาใส่ไว้ในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย โดยให้ปลายของเทอร์โมคัปเปิ้ลอยู่ที่กึ่งกลางของความลึกของช่องร้อน แล้วจึงต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับอินดิเคเตอร์ นำเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบรัดและฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบปลอกกรดมาใส่กับกระบอกสูบเคลื่อนย้าย จากนั้นจึงต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และต่อสายไฟฟ้าจากฮีตเตอร์เข้ากับเครื่องปรับพลังงานไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่กับแผงควบคุมไฟฟ้าอยู่ก่อนแล้ว

เปิดไฟฟ้าเข้าแผงควบคุมไฟฟ้า ปรับตั้งอุณหภูมิที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และปรับเครื่องควบคุมพลังงานไฟฟ้าตามที่ต้องการ (เริ่มต้นที่ 60% ของความสามารถสูงสุดของ ฮีตเตอร์) เตรียมน้ำสะอาดจำนวน 7.5 g ทำการเทน้ำใส่ลงในกระบอกสุบเคลือบและทำการจดบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ และจดบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่รับความร้อน, แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทุก 30 วินาที จนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 80 °C จึงหยุดการทดสอบ

ตัดไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าฮีตเตอร์ ถ่ายน้ำออก แล้วรอให้เย็นก่อนที่จะทำการทดสอบครั้งต่อไป (ทำการปรับเพิ่มความสามารถของฮีตเตอร์เป็น 70%,75%,80%,85%, และ 90%ตามลำดับ)



รูปที่ 3 การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์



รูปที่ 4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

3.3.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

หลังจากทราบค่าของความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์แล้ว เลือกค่าความร้อนที่เหมาะสมต่อการเดินเครื่องยนต์เพียงค่าเดียว คือค่าที่ปรับตั้งพลังงานไฟฟ้าไว้ที่ 90% ของความสามารถของฮีตเตอร์ จากนั้นจึงทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

จัดเตรียมเครื่องยนต์และอุปกรณ์กับเครื่องมือวัดต่างๆ ให้ครบและพร้อมใช้งาน เปิดพัดลมระบายความ

ร้อนให้เครื่องยนต์ เปิดไฟฟ้าเข้าเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งหมด ปรับตั้งอุณหภูมิของฮีตเตอร์และปรับตั้งพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ฮีตเตอร์ตามที่ต้องการ แล้วจดบันทึกค่าอุณหภูมิของฮีตเตอร์และอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและออกจากช่องระบายความร้อนทุก 1 นาที เมื่ออุณหภูมิฮีตเตอร์สูงพอที่จะทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ได้แล้ว จึงสตาร์ทเครื่องยนต์ จากนั้นจดบันทึกความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อสังเกตได้ว่าเครื่องยนต์อยู่ในสถานะคงตัว ซึ่งอุณหภูมิต่างๆ และความเร็วรอบจะมีค่าคงที่ จึงเริ่มทดสอบสมรรถนะโดยเริ่มใส่น้ำหนักถ่วงเพื่อเป็นภาระแก่เครื่องยนต์ จดบันทึกค่าของน้ำหนักถ่วง, แรงดึงที่ตาชั่งสปริง, และความเร็วรอบทุกครั้งที่เพิ่มภาระแก่เครื่องยนต์ จนกระทั่งเครื่องยนต์หยุด จดบันทึกพลังงานที่ใช้ในระหว่างทดสอบ

4. ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

4.1 การหาความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์

ข้อมูลจากการทดสอบหาความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ในขั้นแรกจะถูกนำมาเขียนเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ดูดซับความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าเทียบกับเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิ การทดสอบนี้ทำ ครั้งโดยปรับตั้งความสามารถของฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็น 60% ,70% ,75% ,80% ,85% และ 90% ตามลำดับ ตามกราฟดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 เฉพาะที่ความสามารถของฮีตเตอร์ไฟฟ้า 90% เท่านั้น

สิ่งที่ต้องการจากกราฟนี้คืออัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งแสดงด้วยความชันของเส้นกราฟนั่นเอง นำอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไปคำนวณหาความร้อนที่น้ำดูดซับไว้ได้จาก

$$q_{in} = m_w c_{p,w} \Delta T / \Delta t \quad (1)$$

เมื่อ m_w อมวลของน้ำที่ใช้ในการดูดซับความร้อน(7.5 g)
 $c_{p,w}$ คือค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4187 J/kg K)
 $\Delta T / \Delta t$ คืออัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (°C/s)

ซึ่งพลังงานความร้อนที่น้ำดูดซับไว้ก็คือพลังงานความร้อนที่สารทำงานในเครื่องยนต์ได้รับจริงนั่นเอง ปริมาณความร้อนที่ได้จากฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะคำนวณได้จาก

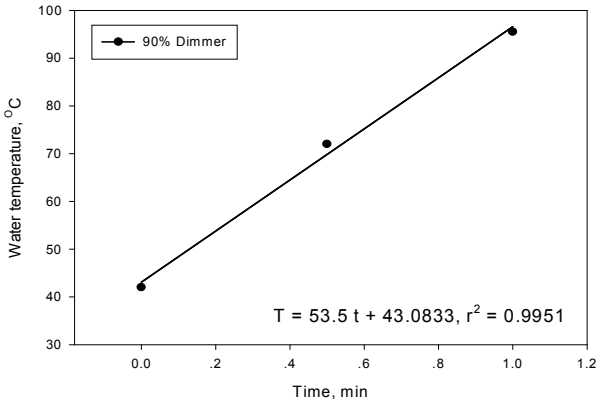
$$q_s = VA \quad (2)$$

เมื่อ V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

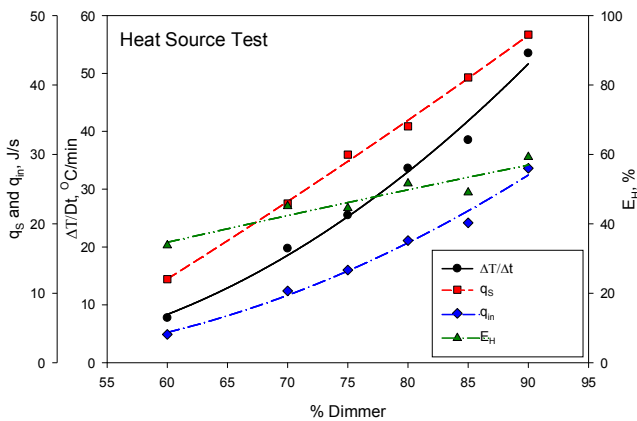
A คือ กระแสไฟฟ้า (Amp)

ประสิทธิภาพของแหล่งให้ความร้อนซึ่งในการทดลองนี้เป็นฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะหาได้จาก

$$E_H = q_{in} / q_s \quad (3)$$



รูปที่ 5 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อความสามารถของฮีตเตอร์เป็น 90%



รูปที่ 6 ผลลัพธ์จากการทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์

ข้อมูลและผลลัพธ์จากการทดสอบหาค่าของความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์เมื่อความสามารถของฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็น 60%, 70%, 75%, 80%, 85% และ 90% ตามลำดับ ถูกนำมาสรุปไว้ในตารางที่ 2

ผลลัพธ์จากตารางที่ 2 ถูกนำไปแสดงเป็นกราฟตามรูปที่ 6 จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ปริมาณค่าความร้อนของฮีตเตอร์ จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปรับให้ความสามารถของฮีตเตอร์เพิ่มมากขึ้น ปริมาณความร้อนที่น้ำดูดซับไว้ก็จะเป็นเช่นเดียวกัน แต่เกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราการไหลของก๊าซ สิ่งที่จะช่วยให้เห็นชัดเจนขึ้นคือประสิทธิภาพของแหล่งให้ความร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำได้รับความร้อนในอัตราที่สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้จากฮีตเตอร์สูงสุด

สรุป ได้ว่าความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ได้จากฮีตเตอร์ โดยความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ จะมีประสิทธิภาพสูงสุด 59.3% ที่ค่าความสามารถของฮีตเตอร์เป็น 90%

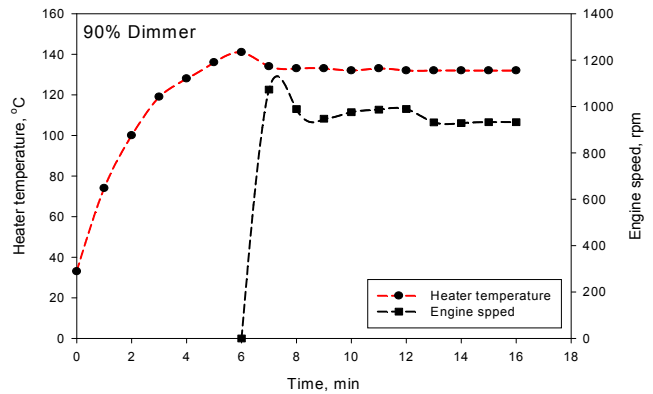
คิดเป็นปริมาณความร้อน 27.9 J/s และในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ จึงใช้ค่าความร้อนป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์สูงสุดเป็น 27.9 J/s หรือที่ความสามารถของฮีตเตอร์เป็น 90%

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากการทดสอบหา

% Dimmer	$\Delta T/\Delta t$ °C/min	q_s J/s	q_{in} J/s	E_H %
60	7.8	12.0	4.0	33.8
70	19.8	22.9	10.3	45.1
75	25.5	29.9	13.3	44.5
80	36.6	34.0	17.6	51.7
85	38.5	41.0	20.2	49.0
90	53.5	47.2	27.9	59.3

4.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ผลลัพธ์จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แสดงอยู่ในรูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเร็วรอบ

จากรูปที่ 7 แสดงกราฟในช่วงก่อนการให้ภาระแก่เครื่องยนต์ เป็นเส้นกราฟในการเพิ่มอุณหภูมิ (Heat-up curve) และเส้นกราฟในการเพิ่มความเร็วยรอบ (Start-up curve) จากรูปนี้ จะเห็นได้ว่าในระหว่างการเริ่มให้ความร้อน ช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในอัตราสูงจากนั้นก็จะเข้าสู่สถานะคงตัว คืออุณหภูมิมีค่าค่อนข้างจะคงที่ และเส้นกราฟในการเพิ่มความเร็วยรอบก็มีลักษณะในทำนองเดียวกัน

ผลลัพธ์จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อให้ภาระกับเครื่องยนต์ต้องใช้การคำนวณดังนี้

แรงบิดของเครื่องยนต์จะคำนวณได้จากสมการ

$$M_t = (S - W)r \quad (4)$$

เมื่อ S คือ แรงดึงที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง (N)

W คือ น้ำหนักถ่วง (N)

r คือ รัศมีของเบรกดรัม(m)

กำลังเพลลาของเครื่องยนต์จะคำนวณได้จากสมการ

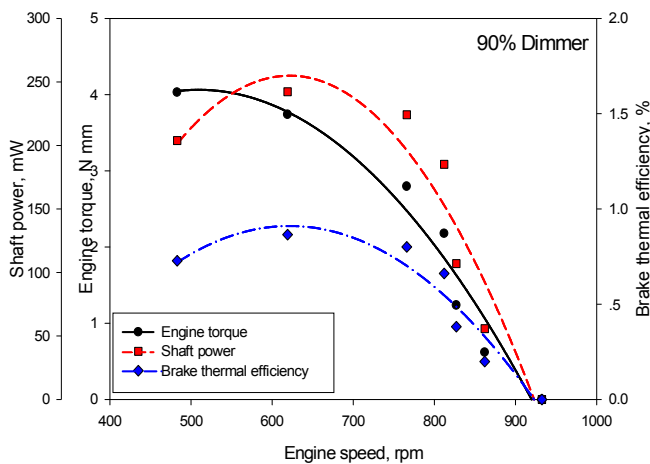
$$P = 2\pi M_t n \quad (5)$$

เมื่อ n คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rps)

ประสิทธิภาพความร้อนเพลลาของเครื่องยนต์จะ

คำนวณได้จากสมการ

$$E_B = P/q_{in} \quad (6)$$



รูปที่ 8 สมรรถนะของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าแรงบิดของเครื่องยนต์นั้นแปรผกผันกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ส่วนกำลังเพลลาของเครื่องยนต์นั้นจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกที่มีความเร็วรอบต่ำจนมีค่าสูงสุดจากนั้นจะมีค่าลดน้อยลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ความฝืดนั้นจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วสูงมากขึ้น และที่ความเร็วตัวเปล่า (ซึ่งเป็นค่าความเร็วสูงสุด) นั้นกำลังของเครื่องยนต์เท่ากับกำลังที่สูญเสียไปกับความฝืดพอดี

เนื่องจากประสิทธิภาพ ความร้อนสามารถคำนวณได้จากกำลังเพลลาหารด้วยค่าความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ ซึ่งมีค่าคงที่ ดังนั้นเส้นกราฟของประสิทธิภาพความร้อนจึงมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับเส้นกราฟของกำลังเพลลา

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นได้ว่าแรงบิดของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุดประมาณ 4 N.mm ที่ 483 rpm, กำลังสูงสุด

ประมาณ 250 mW ที่ 619 rpm, และประสิทธิภาพความร้อนเพลลาสูงสุดประมาณ 0.9% ที่ 619 rpm.

5. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบต้าในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 1 เครื่องได้สำเร็จและได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นโดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า เป็นแหล่งความร้อนเพื่อเป็นการศึกษาในเชิงการทดลอง

ผลการทดสอบเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้นนี้สามารถผลิตแรงบิดสูงสุดได้ประมาณ 4 N.mm ที่ 483 rpm, ผลิตกำลังสูงสุดได้ประมาณ 250 mW ที่ 619 rpm, และมีประสิทธิภาพความร้อนเพลลาสูงสุดประมาณ 0.9% ที่ 619 rpm.

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ขนาดค่อนข้างเล็ก ซึ่งความฝืดจะส่งผลกระทบต่ออัตราที่สูงกว่าเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ และความหนาของผนังกระบอกสูบจะกลายเป็นหนามากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ ทำให้เกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ขนาดใหญ่กว่าอีกด้วย

แม้ว่าตัวเลขของสมรรถนะที่ได้รับของเครื่องยนต์นี้จะต่ำ แต่เมื่อคิดว่างานวิจัยนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายนอกที่จะสามารถใช้งานพลังงานหมุนเวียนในอนาคต งานวิจัยนี้ก็มีคุณค่าตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว (องค์กรฯ) และฝ่ายวิจัยของ มศว สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้สัญญาเลขที่ 148/2552 และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Walpita, S.H. (1983). *Development of the solar receiver for a small Stirling engine*, Special Study Project Report no. ET-83-1, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- [2] Kongtragool, B. and Wongwises, S. (2007). Performance of low-temperature differential Stirling engines, *Renewable Energy*, 32, pp. 547-566.

[3] Kongtragool, B. and Wongwises, S. (2007). Performance of a twin power piston low temperature differential Stirling engine powered by solar simulator, *Solar Energy*, 81, 884-895.

[4] ธวัชชัย ประชุม,ผาบุญ ไทศาลธนากร และสิทธิชัย ช่วงบุญศรี (2550). *การศึกษาศมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมม่า*, ปรินญาณีพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

[5] กวิน ศรีสุวรรณ, ทวีศักดิ์ จันทร์นาคา และ อนุชน ัญญเมธาร์ตัน (2550). *การสร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมม่าดับเบิลแอกติงขนาด 1271 ลบ.ซม.*, ปรินญาณีพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

[6] Kongtragool, B. and 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.

[7] Kongtragool, B. and 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.

[8] สุรัชชัย จิระชาคริต, บันเทิง ศิลป์สกุลสุข และ นัฐพล ปานพรหมมินทร์ (2551). การประดิษฐ์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่า, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22*, บทความหมายเลข AEC015.

[9] ชนะ ศรีคำ และ อังคีร์ ศรีภคากกร (2552). การออกแบบและสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงผลต่างอุณหภูมิปานกลางสำหรับการใช้งานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23*, บทความหมายเลข ETM-018279.