การประดิษฐ์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่า

Manufacturing of a Alpha Type Stirling Engine

สุรชัย จิรชาคริต[1*] บรรเทิง ศิลป์สกุลสุข [2] นัฐพล ปานพรหมมินทร์[3]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม 235 ขว.บางหว้า ข.ภาษีเจริญ จ.กรุงเทพฯ 10160
โทร 0-2457-0068 โทรสาร 0-2457-3982 *อีเมล์ s_chirachakhrit@yahoo.com
[2] ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม 235 ขว.บางหว้า ข.ภาษีเจริญ จ.กรุงเทพฯ 10160
โทร 0-2457-0068 โทรสาร 0-2457-3982 อีเมล์ banterngs@yahoo.com
[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม 235 ขว.บางหว้า ข.ภาษีเจริญ จ.กรุงเทพฯ 10160
โทร 0-2457-0068 โทรสาร 0-2457-3982 อีเมล์ nattapon.panp@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการสร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงบรรจุอากาศชนิดอัลฟ่า มีปริมาตรกวาด 5.03 มิลลิลิตร โดยวัดค่าความเร็วและแรงบิดซึ่งแปรผันอุณหภูมิในช่วง 540 องศาเซลเซียส ถึง 560 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ การทดลองนี้ต้องการหาค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนแตกต่างกัน พบว่ากำลังงานสูงสุดวัดได้ 83 มิลลิวัตต์ ที่อุณหภูมิ 560 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก, ชนิดอัลฟ่า

Abstract

An air charged α-type Stirling engine, having 5.03 mL swept volume, was manufactured and tested. Speed-torque characteristics of the engine were obtained for different temperatures at atmospheric pressure in the range of 540 ^{o}C - 560 ^{o}C . The experiments intended to determine the performance characteristics of the engine at different set up values of hot source temperature. Maximum output power was obtained at 560 ^{o}C as 83 mW.

Keyword : Stirling engine, external combustion engine, alpha type

1. บทนำ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก โดยภายในเครื่องยนต์จะบรรจุอากาศหรือก๊าซบางชนิดเป็นก๊าซสำหรับทำงาน (working gas) เครื่องยนต์มีความยืดหยุ่นในการใช้เชื้อเพลิงทั้งที่เป็นสถานะของแข็งหรือของเหลวก็ตาม สิ่งนี้ทำให้เครื่องยนต์ชนิดนี้เป็นที่สนใจโดยเฉพาะในสภาวะที่โลกต้องเผชิญกับภาวะขาดแคลนพลังงานโดยเฉพาะน้ำมันปิโตรเลียมที่อยู่ในรูปของเหลวและมีราคาแพงขึ้นตามลำดับ พลังงานทดแทนเช่นพลังงานชีวมวลซึ่งมักอยู่ในรูปของแข็ง สามารถใช้กับเครื่องยนต์ชนิดนี้ได้ดี เครื่องยนต์สเตอร์ลิงประดิษฐ์ขึ้นโดย Robert Stirling ชาวสก๊อตแลนด์เมื่อปี คศ.1816 เครื่องยนต์ให้กำลังต่ำ ใช้ทำงานเป็นเครื่องยนต์สูบน้ำตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 19 จนถึงประมาณปี คศ. 1920 ก็เสื่อมความนิยม เนื่องจากการเข้ามาแทนของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในซึ่งให้กำลังงานที่สูงกว่า (เมื่อเทียบน้ำหนักของเครื่องยนต์ที่เท่ากัน)

ประมาณปี คศ.1937 ห้องปฏิบัติการวิจัยของฟิลลิปส์แห่งฮอลแลนด์ได้เริ่มพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขึ้นสู่ระดับเทคโนโลยีที่สูงขึ้น โดยในเบื้องต้นได้ทำการพัฒนา

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้งานกับเครื่องปั่นไฟฟ้าสำหรับเครื่องรับวิทยุที่ใช้ในท้องถิ่นกันดาร [1], [2] นอกจากนี้ทีมนักวิจัยของฟิลลิปส์ยังพัฒนาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จนถึงปี คศ. 1952 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง “102 C”ได้รับการพัฒนาขึ้นจนมีกำลังงานสูง 30 เท่าของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในสมัยแรกเริ่ม [3] ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในก็เป็นปัญหาสำคัญสำหรับโลกยุคปัจจุบัน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีข้อดีในแง่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเครื่องยนต์ทำงานเงียบมากและการควบคุมการเผาไหม้ที่อยู่ภายนอกเครื่องยนต์สามารถทำได้ง่ายกว่า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ที่สะอาดกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ในด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงคือระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงานร่วมกับจานรับแสงอาทิตย์ (Stirling-Dish Module) โดยแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า ปัจจุบันมีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีประสิทธิภาพสูงคือเครื่องยนต์ที่ผลิตจาก Cummins Motor Company ซึ่งให้ประสิทธิภาพถึงร้อยละ 32 ในการแปลงพลังแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า และเครื่องยนต์ที่ผลิตจาก Stirling Technology Company ซึ่งให้ประสิทธิภาพร้อยละ 30.7 ในการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า

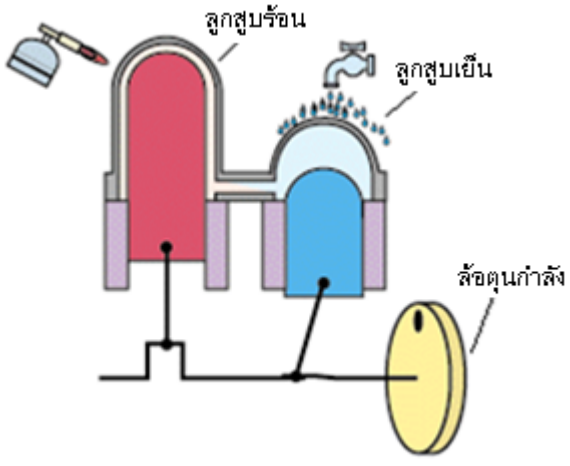
งานวิจัยที่สนับสนุนโดย National Space Development Agency ของประเทศญี่ปุ่น [4] ได้พัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิด semi free piston ขึ้น เครื่องยนต์สามารถแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยประสิทธิภาพร้อยละ 20 และมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) ร้อยละ 33 สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลก็มีการวิจัยพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงานคู่กับเตาเผาชีวภาพ เพื่อผลิตกระแสไฟสำหรับใช้ในหมู่บ้านชนบท โดยก๊าซที่ใช้ทำงาน (working gas) ของเครื่องยนต์คืออากาศธรรมดามีกำลังอัด 33 บาร์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 600 รอบต่อนาที จะให้กำลังเพลา (shaft power) 3.2 กิโลวัตต์ และประสิทธิภาพรวม (overall efficiency) ร้อยละ 25 [5]

แม้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีข้อดีหลายประการแต่ก็มีข้อด้อยและอุปสรรคบางประการที่ทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังไม่สามารถขยายการใช้งานและแข่งขันเชิงพาณิชย์กับเครื่องยนต์ชนิดอื่นในท้องตลาดได้ อุปสรรคที่สำคัญได้แก่ กำลังที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักเครื่องที่ต่ำ ทำให้เครื่องยนต์มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะสำหรับในอุตสาหกรรมยานยนต์ ส่วนอุปสรรคอื่นๆ ที่รองลงมาได้แก่ราคาขายในขณะเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากยังเป็นสินค้าที่ผลิตจำนวนน้อยชิ้น ซึ่งการแก้ปัญหานี้สามารถแก้โดยการเลือกใช้ชิ้นส่วนที่จะนำมาใช้สร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรอื่นที่มีการผลิตทางอุตสาหกรรมที่ละมากๆ อยู่แล้ว ดังตัวอย่างเช่น งานวิจัยพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่าที่ใช้ชิ้นส่วนของข้อเหวี่ยงจากเครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์ [5] หรือการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมม่า ที่มีกำลัง 1 กิโลวัตต์ ขึ้นโดยใช้บางส่วนของ compressor จากเครื่องทำความเย็นเป็นองค์ประกอบ [6]

แต่อย่างไรประเทศไทยก็ยังมีการวิจัยทางด้านเครื่องยนต์สเตอร์ลิงน้อยอยู่ ดังนั้นจึงน่าจะมีการวิจัยทางด้านนี้ขึ้นเพื่อใช้กับพลังงานทางเลือกอื่นนอกจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งควรเริ่มจากเครื่องยนต์ระดับโมเดลไปจนถึงระดับกำลังสูงที่สามารถทำงานได้จริงต่อไป

2. หลักการและเหตุผล

การศึกษาและออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่านี้เป็นเครื่องยนต์ระดับโมเดล มีเป้าหมายเบื้องต้นให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้และไม่กำหนดกำลังที่ออกมาเพื่อเป็นการศึกษาเบื้องต้น และเน้นประเด็นที่สามารถพัฒนาให้ได้กำลังสูงขึ้นได้ในอนาคต เพื่อสามารถใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์และเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพสูงและเหมาะสมกับการนำมาใช้ได้ต่อไป



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอรลิงชนิดอัลฟ่า

ซึ่งงานหลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่า เครื่องยนต์มีลูกสูบและกระบอกสูบ 2 ชุด ซึ่งถูกเชื่อมต่อกัน ดังรูปที่ 1 โดยลูกสูบและกระบอกสูบชุดแรกเป็นชุดรับความร้อน มีปลอกกระบอกสูบที่มีพื้นที่รับความร้อน (hot cap) โดยเฉพาะ ส่วนลูกสูบและกระบอกสูบชุดที่สองอยู่ด้านเย็น มีหน้าที่ระบายความร้อนจากอากาศที่เคลื่อนที่มาจากลูกสูบและกระบอกสูบชุดร้อน ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของลูกสูบทั้งสองชุดจะมีรอบต่างกัน 90 องศาตามทฤษฎีของวัฏจักรเครื่องยนต์สเตอร์ลิง งานวิจัยนี้ใช้กระบอกสูบและลูกสูบ ซึ่งทำขึ้นจากเข็มฉีดยาที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงระดับโมเดลคือมีความเสียดทานต่ำ สามารถหล่อลื่นได้โดยตัวของมันเอง (self lubricated) ไม่ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นและยังมีสมบัติการซีลที่ดี อากาศรั่วไหลได้น้อย

รูปที่ 2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่าที่สร้างเสร็จแล้ว

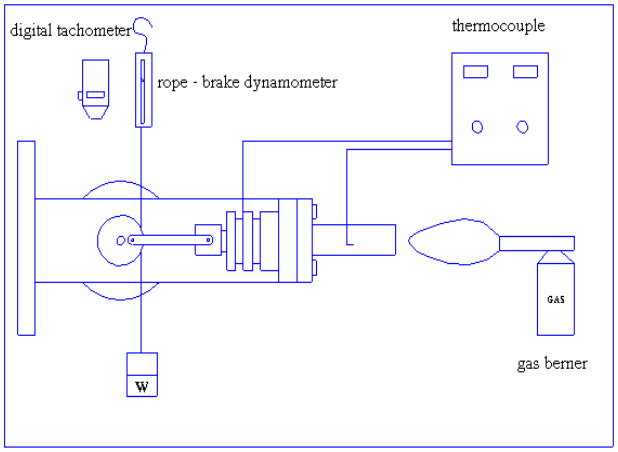
ส่วนรับความร้อน (hot cap) ใช้วัสดุที่เป็นทองเหลืองเพราะเป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อนในย่านการใช้งานในระดับเครื่องชนิดโมเดลและมีความทนทานสนิม ส่วนปลอกกระบอกสูบทำหน้าที่หุ้มกระบอกสูบเข็มฉีดยาใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติการระบายความร้อนได้ดี นอกจากนี้ตัวปลอกกระบอกสูบยังมีครีบระบายความร้อนช่วยในการระบายความร้อนด้วยอากาศ ส่วนก้านสูบทำขึ้นจากอลูมิเนียมเพื่อให้มีน้ำหนักเบา ข้อเหวี่ยงทำจากโลหะสเตนเลสขัดผิวส่วนล้อตุนกำลังทำจากทองเหลือง ส่วนของแท่นและฐานทำขึ้นจากโลหะอลูมิเนียมประกอบเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่าตามรูปที่ 2 ข้อมูลของเครื่องยนต์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

รายการ	**ขนาด**
เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ (Cylinder bore)	20 mm
ช่วงชักกระบอกสูบ (Cylinder stroke)	16 mm
ปริมาตรกวาด (Swept volume)	5.03 cm^3
สถานะองศา (Phase angle)	90 ^{o}
กำลังงานสูงสุดของเครื่องยนต์ (Max. engine power)	83 mW ที่ 300 RPM
สารทำงาน (Working gas)	อากาศ
อัตราส่วนการอัด (Compression ratio)	1.54:1

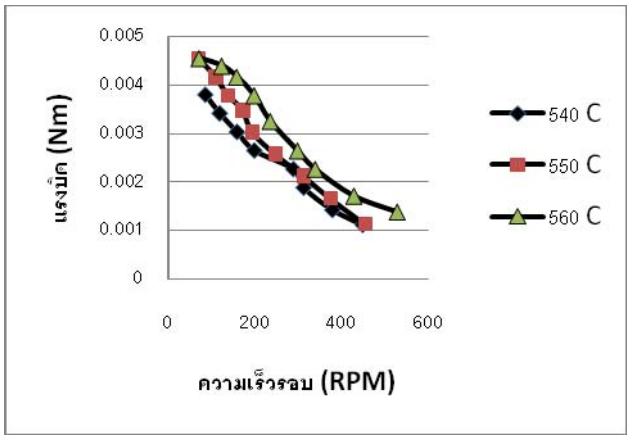
3. การทดสอบเครื่องยนต์

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่าที่สร้างขึ้นได้รับการทดสอบวัดค่าแรงบิดและความเร็วรอบที่อุณหภูมิต่างกัน โดยเครื่องมือวัดแรงบิดที่ใช้คือเชือกเบรก (rope brake) การติดตั้งอุปกรณ์ดังแผนภูมิรูปที่ 3

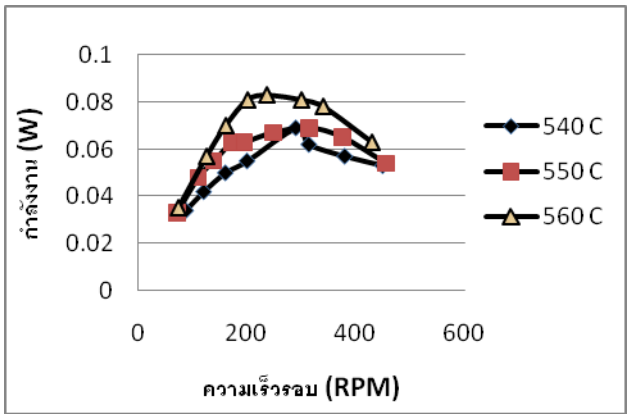


รูปที่ 3 แสดงแผนภูมิการทดสอบเครื่องยนต์

ผลการทดสอบเครื่องยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 190 °C เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ แต่ผลการทดสอบใช้อุณหภูมิทดสอบในช่วง 540 °C – 560 °C ในการเก็บข้อมูลเนื่องจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวให้ผลการทดสอบที่เสถียรและสามารถหากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ได้ จากข้อมูลสามารถนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบตามรูปที่ 4 และค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความเร็วรอบตามรูปที่ 5 ซึ่งจากกราฟตามรูปที่ 5 สามารถประมาณค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ได้เท่ากับ 83 mW ที่ 300 RPM อุณหภูมิ 560 °C



รูปที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์



รูปที่ 5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความเร็วรอบของเครื่องยนต์

4. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่าระดับโมเดลที่สร้างขึ้น สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 190 °C ขึ้นไป และได้กำลังงานสูงสุด 83 mW ที่ความเร็วรอบ 300 RPM อุณหภูมิหัวเผาที่ 560 °C

ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้วัสดุทองเหลืองเป็นส่วนหัวรับความร้อน การใช้เข็มฉีดยาเป็นชุดลูกสูบกำลังและการใช้อลูมิเนียมเป็นปลอกกระบอกสูบช่วยการระบายความร้อน สามารถสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่าในระดับโมเดลได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้น่าจะเป็นประโยชน์ที่จะพิจารณาวัสดุในการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีกำลังสูงขึ้นต่อไป โดยต้องให้ความสำคัญถึงความเบา ความแข็งแรงมากขึ้นด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Senft, JR.,1993 “Ringbom Striling Engines.” Oxford University Press, New York.

[2] Walpita, SH.,1983 “Development of the Solar Receiver for a Small Stirling Engine.” Special study project report no. ET-83-1. Bangkok. Asian Institute of Technology. p.3.

[3] West, CD.,1988 “A Historical Perspective on Stirling Engine Performance.” 23 rd IECEC.

[4] Hoshino, T., Fujihara, T., Eguchi, K.,1999 “Basic Research on Solar Stirling Power Technology for Future Space Applications.” 34 th IECEC.

[5] Prodesser, E.,1999 “Electrical Production in Rural Villages with Biomass Stirling Engine.” Renewable Energy, 16 pp. 1049-1052.

[6] Raggi, L., Katsuta, M., Sekiya, H.,1997 “Design of a 1 kW Class Gamma Type Stirling Engine.” 32 nd IECEC.