การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิด แอลฟา กลไกผลิตกำลังแบบสองทาง

Design and Manufacture of an Alpha-type Double Acting Sterling Engine

ดุลยพงศ์ สุขเกิด[1], สุตาภัทร แค้วนเขาเม็ง[1*] และ ปัญญา ขันธ์สุวรรณ[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 10520

*ติดต่อ:kksudara@kmitl.ac.th, Tel. 0-2329-8351, Fax. 0-2329-8352

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการผลิตของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ แอลฟา ประเภทการทำงานแบบสองทิศทาง สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบนี้จะมีลูกสูบทั้งหมด 4 สูบกระบอกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 มิลลิเมตร ลูกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 40 มิลลิเมตรระยะชักของลูกสูบมีขนาด 20 มิลลิเมตรโดยใช้กลไกโดยใช้กลไก รอสส์ ยอร์ก ใช้ก๊าซหรือเชื้อเพลิงจากชีวะมวลเป็นสารทำงาน ขับเคลื่อนเพลาข้อเหวี่ยงให้ทำการเคลื่อนไหวและจะเกิดการเคลื่อนที่ของลูกสูบ.และสำหรับการระบายความร้อนจะใช้ครีบระบายความร้อนด้วยอากาศ การสร้างและวิเคราะห์โครงสร้างและการถ่ายเทความร้อนตลอดจนการคำนวณทั้งการเคลื่อนที่ของลูกสูบและงานที่จะเกิดขึ้นในการทำงานหนึ่งรอบวัฏจักรได้ถูกนำเสนอมาในบทความนี้ซึ่งจะสร้างและประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ แอลฟา นี้จะทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

คำหลัก: เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, รอสส์ ยอร์ก รุ่น แอลฟา, ผลิตกำลังแบบสองทิศทาง

Abstract

This paper presents design and manufacture of an alpha-type double acting Stirling engine. The engine has 4 cylinders.The cylinder has diameters 42 mm and piston cylinder with has diameters 40 mm stroke of the piston with has 20 mm.The using with mechanism Ross Yorktown gas or fuel from biomass as the working fluid. The crankshaft driven to make this move and the piston movement. And for cooling air to the cooling fins.The structural analysis and heat transfer as well as calculate the movement of the piston and the work will take place in one work cycle has been presented in this article, which will build and assembly the Stirling engine is alpha testing to determine the efficiency of the engine in the optimum conditions.The preliminary test will be conducted in order to prove of design concept design.

Keywords*:* sterling engine. Ross yoke, alpha type, double acting

1.บทนำ

ในปัจจุบันนี้การใช้ก๊าซและการใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นใกล้จะหมดลงในระยะเวลาอีกไม่กี่ปีข้างหน้านี้นั้นจึงได้มีการคิดค้นและค้นหาพลังงานที่จะนำมาทดแทนพลังจากธรรมชาติและนั่นคือจุดริเริ่มและค้นพบพลังงานทดแทนหรือพลังงานยั่งยืนที่ไม่หมดสิ้นนั่นก็ได้แก่เครื่องยนต์ทางเลือกหรือที่เรียกกันว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์ ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพและความทนทานต่อทุกสภาวะเพราะเนื่องจากชิ้นของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์นั้นไม่ซับซ้อนมากจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการทำงานโดยใช้ต่างของอุณภูมิเพื่อให้เกิดกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการอัดตัวและการขยายตัวของอากาศทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ ขึ้นลง ซึ่งเป็นการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้และลดมลภาวะได้อย่างมากอีกด้วยซึ่งเราจะเรียกว่าพลังงานสะอาด

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง มีส่วนประกอบและกลไกในการทำงานที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและสำหรับเครื่องต้นแบบนี้ได้มีการนำกลไกรอสยอร์กมาใช้ในการขับเคลื่อนของลูกสูบ และมีการเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังในการผลิตโดยการเพิ่มลูกสูบเป็น 4 สูบ สำหรับวิธีการในการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบจะอธิบายในหัวข้อถัดไปดังนี้

Zhanghua Wu.et all, [2] ได้นำเสนอเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเสตอลิงค์แบบ double-acting ไว้บ้างแล้วจึงได้ถูกเสนอเป็นอุปกรณ์ตัวใหม่ที่สามารถทำได้ ด้วยการเปลี่ยนแปลงความร้อนภายนอกให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสเตอร์ลิงมีข้อดีหลายอย่างในเรื่องของประสิทธิภาพ, ความหนาแน่นของพลังงาน และความจุของพลังงาน ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ถูกทำให้สำเร็จลุล่วงซึ่งพิสูจน์แล้วว่าเป็นจริงตามเป้าหมาย ตามแบบเครื่องยนต์ต้นแบบ ขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์

Ben Nasrallah [3] ได้ศึกษาข้อดีต่างๆของเครื่องยนต์เสตอลิงแบบ Alpha ไว้แล้ว โดยการใช้ทฤษฎี Ross Yoke Linkage ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 ระบบกลไกหรือกลศาสตร์นี้เป็นที่รู้จักกันดีอยู่แล้วเพราะว่ามีอัตราส่วนปริมาตรของพลังงานความร้อนสูง อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หลักทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องกลนี้ได้ถูกยับยั้ง ตั้งแต่มีการรายงานเสนอว่า จำเป็นต้องใช้สำหรับที่มีอุณหภูมิสูงๆ
การนำเสนอการพัฒนาปรับปรุงของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ Alpha-type double-acting ในงานวิจัยนี้ เครื่องยนต์จะมีลูกสูบ 4 สูบ Ross Yoke นักกลศาสตร์ได้ถ่ายโอนพลังงานไปสู่ข้อเหวี่ยงด้วยสมรรถภาพสูงเครื่องยนต์เสตอลิงค์ double acting เป็นพลังงานที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาได้ ซึ่งให้พลังงานจากพลังงานชีวมวล,พลังงานแสงอาทิตย์และจากพลังงานอื่นๆ

2.เครื่องยนต์เสตอลิงค์แบบ Alpha-type

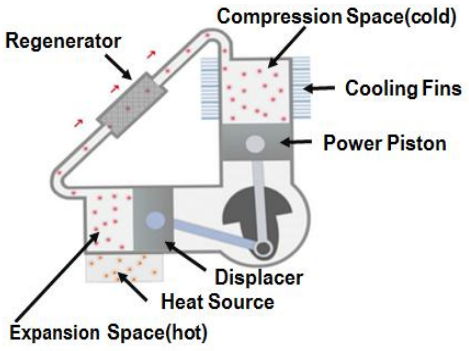
ลักษณะรูปร่างของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะเป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์ในระบบหนึ่ง ซึ่งการทำงานของก๊าซ(โดยปกติจะเป็นอากาศ แต่บางครั้งอาจเป็นก๊าซฮีเลียมหรือไฮโดรเจน เป็นภาวะร้อนและเย็นทดแทนผลัดสลับกันไปโดยการส่งก๊าซผ่านตำแหน่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันภายในระบบนั้นๆเครื่องยนต์สเตอร์ลิง Alpha-type จะแยกจากกันในแบบร้อนและจากแบบเย็น เครื่องยนต์ชนิดนี้ ได้ใช้ความถี่เพื่อให้ได้ผลดีระหว่างแบบเย็นและแบบร้อน ในอุณหภูมิที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

2.1 เครื่องยนต์เสตอลิงค์แบบ Single acting alpha-type

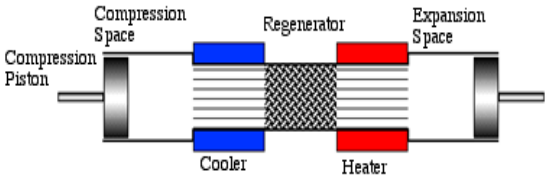
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟานั้น จะประกอบไปด้วยลูกสูบ 4 ลูกสูบและกระบอกสูบก็เช่นเดียวกัน จะแบ่งเป็นกระบอกสูบแบบร้อน และอีกส่วนเป็นแบบเย็น และในส่วนของกระบอกสูบด้านร้อนจะมีอุณหภูมิสูงและในส่วนของกระบอกสูบด้านเย็นจะมีอุณหภูมิต่ำจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อน เราเรียกว่า เครื่องทำความร้อน (Heater) และกระบอกสูบแบบเย็น จะทำการติดตั้งเครื่องหล่อเย็นหรือเรียกว่า(C00ler)จะทำให้อุณหภูมิต่ำลงและจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าด้วยกัน

เครื่องยนต์ชนิดนี้ จะมีอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาตรสูง แต่อาจจะมีปัญหาบ้างในทางปฏิบัติ เนื่องจากเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิที่สูงปกติทำให้ลูกสูบร้อนและseals อาจทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่เต็มประสิทธิภาพ

เครื่องยนต์เสตอลิงค์แบบ Alpha-type มีกระบวนการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง Alpha-type double acting[6] ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาขึ้นมา โดย Sadi Carnot, และได้ถูกพัฒนาจากตามมาตรฐานที่แสดงให้ดูในรูปที่ 1 ภายใต้เครื่องยนต์ชนิดนี้



รูปที่. 1 The V-cylinder engine, an alpha type Stirling engine

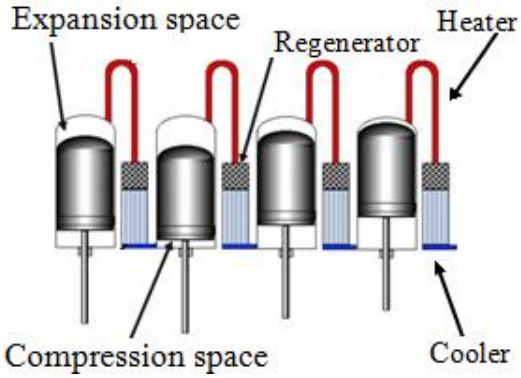


รูปที่. 2 The opposed-piston engine, an alpha-type sterling engine

2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง แบบ double acting

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง double acting ถูกสร้างขึ้น โดย Sadi Carnot ได้ถูกพัฒนาปรับปรุงเป็นจนมาเป็นเครื่องเครื่องต้นแบบดังแสดงไว้ในรูปที่ 1

วัฏจักรสเตอร์ลิงหรือเครื่องยนต์สเตอร์ลิง แบบ double acting ได้จัดไว้เป็นหมวดหมู่อย่างเป็นรูปแบบและกระบวนการโดยดูจากโครงสร้างภายนอกที่แตกต่างกัน มี 3 แบบ เช่น alpha, beta และ gamma ความคิดนี้ได้นำมาใช้ สำหรับการทำงานของ double acting ซึ่งเป็นแบบง่ายๆธรรมดา และน้ำหนักเบา ระบบกลไกสเตอร์ลิงแบบ double acting ได้สร้างขึ้นโดย Mr.Ross Perhaps [7] โครงสร้างภายนอกเครื่องยนต์สเตอร์ลิง alpha-type double acting มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 40 มิลลิเมตร. ปริมาตรการกวาดเชื้อเพลิง 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร การทำให้เย็นลงด้วยน้ำหรือการทำงานของของเหลว โดยรักษาระดับความดันบรรยากาศภายในแสดงในรูปที่ 2



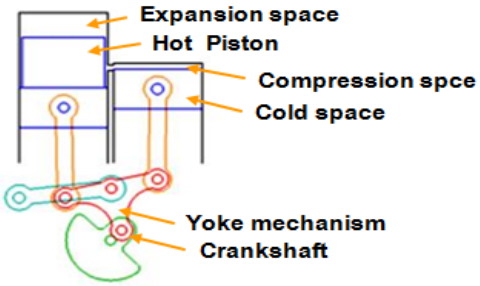
รูปที่.3 The double-acting Stirling engine

3. วิธีการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

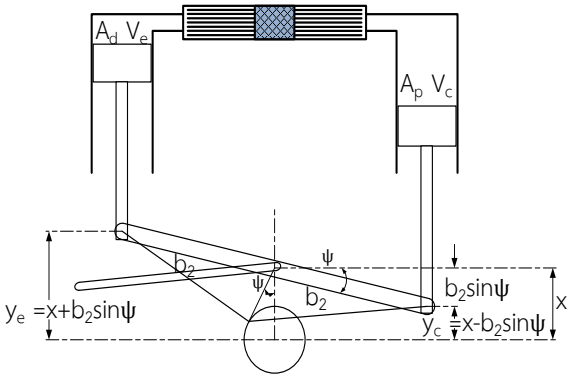
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีส่วนของพลศาสตร์เป็นหลัก ที่ซึ่งมี 2 ลูกสูบ โดยทำหน้าที่ต่างกัน ลูกสูบน้ำหนักเบากับที่ติดอยู่กับที่ในกระบอกสูบหลอมๆอากาศสามารถผ่านได้ เราเรียกว่า displacer (ลูกสูบ ดิสเพสเซอร์) ส่วนในขณะที่ลูกสูบกำลังทำงาน เราเรียกว่า การทำงานของลูกสูบ หรือ กำลังงานของลูกสูบก๊าซภายในเครื่องยนต์ได้ทำให้เคลื่อนไหวอย่างอิสระเป็นวงกลมระหว่างส่วนทางด้านร้อนและส่วนทางด้านเย็นของเครื่องยนต์ ซึ่งเราเรียกว่า การขยายตัว(การระเบิด) และการอัดตัวตามลำดับ

3.1 การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของ Ross-Yoke

Ross Yoke เป็นนักกลศาสตร์คนหนึ่ง ที่วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกสูบไปมาพร้อมกัน 2 อัน ไปสู่การหมุนเคลื่อนที่แบบมีข้อต่อ ซึ่งมีข้อดีของแรงที่กระทำด้านข้างเล็กน้อย กระทำบนลูกสูบทั้งสอง เพื่อประสิทธิภาพที่มากกว่าของการออกแบบที่ใช้เนื้อที่น้อยๆ ในการนำเสนอนี้เป็นการแสดงการพัฒนาปรับปรุงการใช้ (ข้อต่อ, ข้อหมุน) โดยนักกลศาสตร์ชื่อ Ross Yoke ได้แสดงไว้ในรูปที่4



รูปที่.4 Schematic of Ross yoke Mechanism



รูปที่ 5 Geometric derivation of the Ross Yoke drives equation.

คำนวณหาระยะของลูกสูบดิสเพสเซอร์ จากสมการที่แสดงไว้ในลำดับที่1 และ .2 ตามลำดับ

$$Y_c = r\left[\sin\theta - \cos\theta\left(b_2/b_1\right)\right] + b_\theta \qquad (1)$$

$$Y_e = r\left[\sin\theta - \cos\theta\left(b_2/b_1\right)\right] + b_e \qquad (2)$$

Ross Yoke ทำการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ให้ดูการทำงานการออกแบบของบล็อกนี้ ซึ่งแกน Y c และ Y e เป็นระยะ

ลูกสูบของการอัดตัวและขยายตัวของลูกสูบทั้งหมด และแกน X เป็นระยะลูกสูบของจุด Yoke pin ที่จุดกึ่งกลางของฐาน Yoke base ซึ่งทั้งหมดจะส่งไปที่แกนของเพลาข้อเหวี่ยง

ปริมาตรลูกสูบดิสเพสเซอร์ V eสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้คือ

$$V_e = V_{me} + A_d\left(Y_{\max} - Y_e\right) \qquad (3)$$

ปริมาตรการอัดตัวลูกสูบตัวเล็ก V c สามารถคำนวณได้จาก สมการดังนี้คือ

$$V_C = V_{mc} + A_p\left(Y_{\max} - Y_C\right) \qquad (4)$$

ซึ่ง A_e และ A_c สามารถแทนกันได้ตามลำดับ คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

V_{me} และ V_{mc} คือ ความหนาแน่นของก๊าซที่ส่วนประกอบแตกต่างกันตามลำดับ

3.3 เครื่องยนต์ต้นแบบสเตอร์ลิงแบบ double acting

กลไกโครงสร้างภายนอกเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะเป็นการแบ่งแบบทั่วๆไป โดยที่เครื่องยนต์ Alpha จะมี 2 ลูกสูบ บรรจุอยู่ในแต่ละกระบอกสูบซึ่งเชื่อมต่อกันไว้เรียงตัวกันเป็นแถวเรียง ด้วยเครื่องทำความร้อน, รีเจนเนอเรเตอร์ และเครื่องทำความเย็น เครื่อง beta และ gamma ใช้การจัดเตรียมลูกสูบดิสเพสเซอร์ แต่เครื่อง beta มีทั้งลูกสูบดิสเพสเซอร์ และลูกสูบตัวเล็กวางเรียงกันในกระบอกสูบอย่างเป็นระบบ ขณะที่เครื่อง gamma ใช้เป็นกระบอกสูบแยกกัน ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6.Structure of Alpha-Type double acting stirling engine.

4. การวิเคราะห์โครงสร้าง และประสิทธิภาพ ของวัสดุ

ตารางที่ 1 Simulation data

Parameters used for simulation	Values/Type
Expansion swept volume	0.25 m^3
Compression swept volume	0.25 m^3
Phase	90°
Mean Pressure	5 bar
Heater temperature	923 K
Cooler temperature	338 K

รูปที่ 7 แสดงอุปกรณ์เครื่องทำความเย็น แบบ 4 กระบอกสูบสามารถรองรับกระแสไฟฟ้าได้ 200 w ในการออกแบบตามมาตรฐานสากล(ASME)

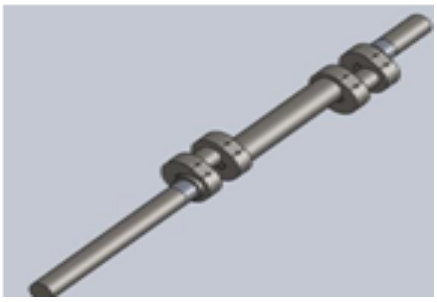
การหากำลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P = 2\pi nT \qquad (5)$$

เมื่อ P เป็น กำลังงานในการขับเพลา

แรงบิด(torque) เครื่องยนต์ สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

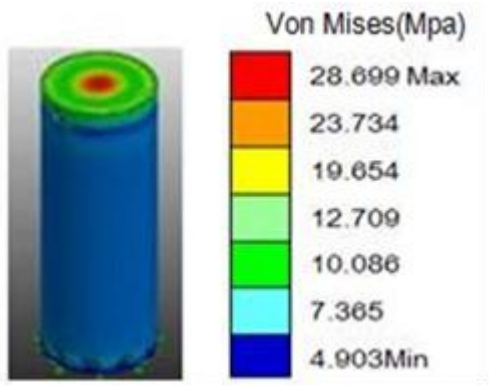
$$T = \frac{150}{2\pi(1200/60)} = 1.2 \text{ N-m} \qquad (6)$$



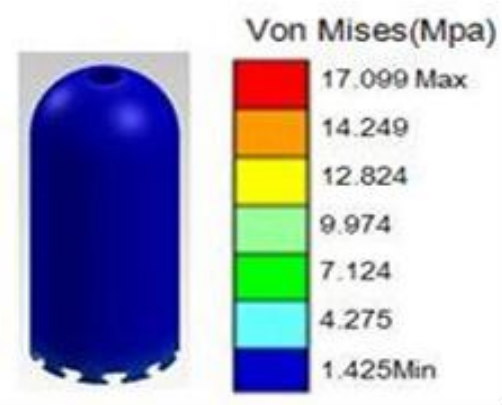
รูปที่ 8 การออกแบบเพลาสำหรับกำลังงานในการขับเพลาเครื่องทำความเย็นได้ถูกออกแบบไว้ตามขั้นตอนต่าง ๆ สำหรับการทำงานของของเหลวในเครื่องทำความเย็น โดยอากาศในสภาวะแวดล้อมนำความร้อน 200 w.

รูปที่ 9. การออกแบบกระบอกสูบและระบบระบายความร้อนโดยใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนในส่วนนี้จะสามารถรองรับความดันสูงสุดคือ 0.10 Mpa.

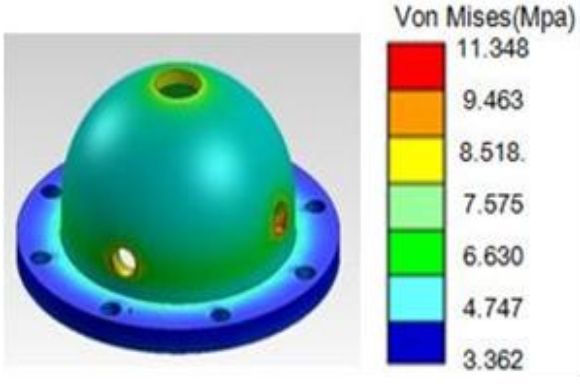
รูปที่.10 การออกแบบลูกสูบ(Cylinder) โดยใช้วัสดุคือเหล็กASTM 306 ด้วยความดันสูงสุดที่ 0.10 Mpa.[6]



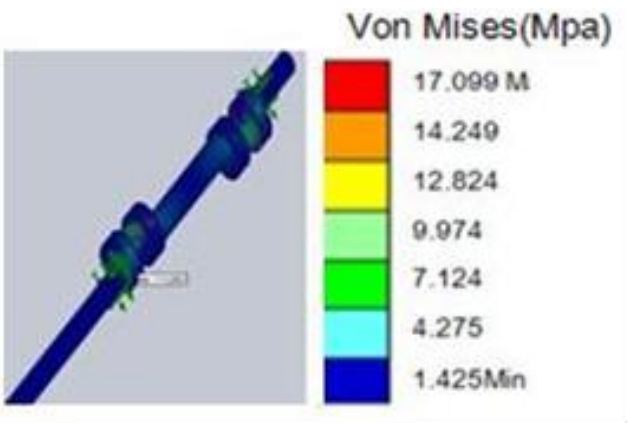
รูปที่ 11 แสดงการรับแรงดันในการทำงานของลูกสูบ ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการผลิตคือเหล็ก ASTM 306



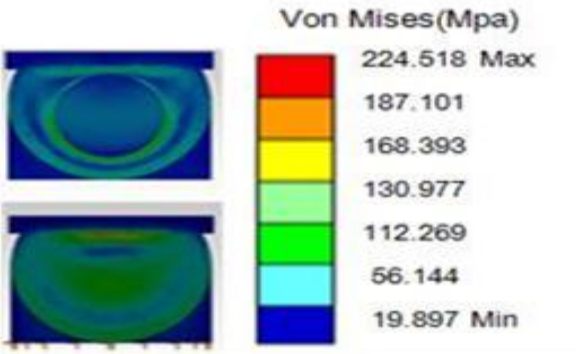
รูปที่ 12 แสดงการรับแรงดันได้ตามลำดับที่แสดงไว้ซึ่งใช้วัสดุในการผลิตคือเหล็ก ASTM 306



รูปที่.12 การทำรูปแบบความดันในเพลาผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ที่ความเครียดสูงสุดที่จุด เป็น 17.110 Mpa.และความเครียดต่ำสุดในช่วงที่เป็นเบส(สีน้ำเงิน) และจุดดรากของวัสดุด้วยความเครียดที่สูงกว่าเพลาได้ทำการออกแบบให้มีความสามารถที่แข็งแรงกว่าเดิม



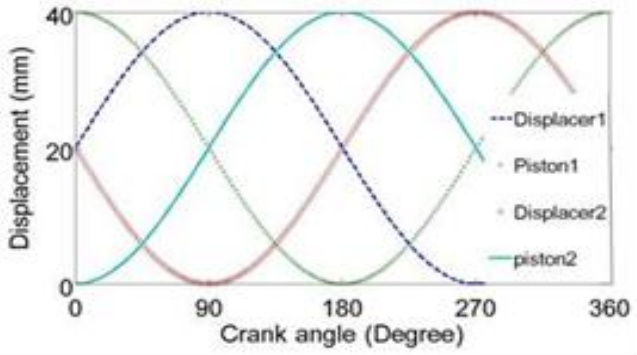
รูปที่ 13 การออกแบบและคำนวณแรงปิดในเพลาเพื่อแสดงให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการรับแรงดันสูงสุดและต่ำสุด



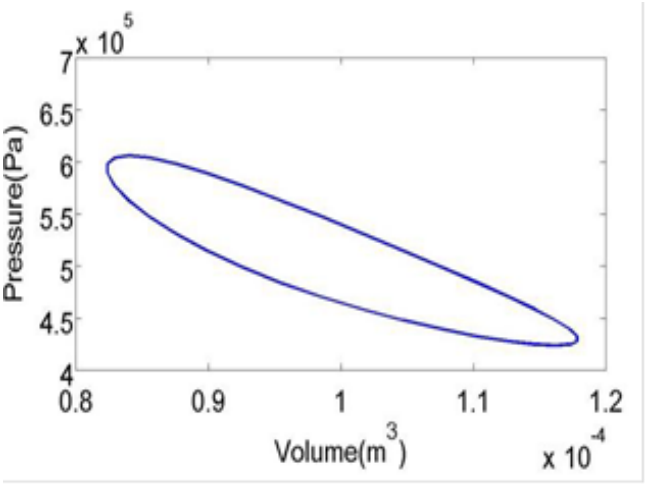
รูปที่ 14 แสดงการออกแบบและคำนวณความดันในอ่างน้ำมันเครื่อง ที่ความดันสูงสุด.โดยอ่างน้ำมันเครื่องทำมาจากเหล็ก ASTM 306

5.การวิเคราะห์ลักษณะของเครื่องยนต์

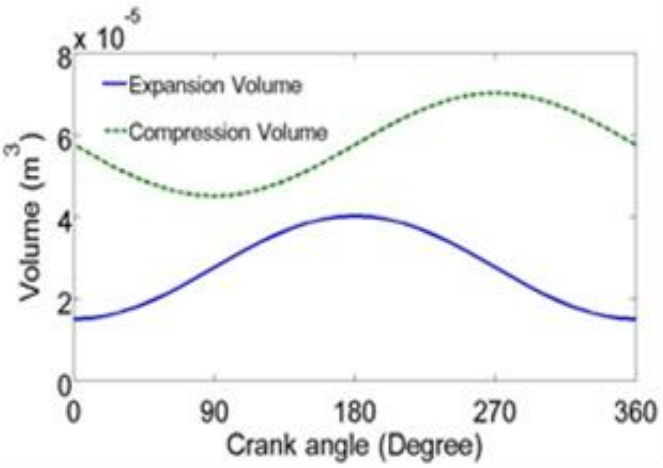
5.1จากรูปกราฟแสดงให้ทราบการทำงานของลูกสูบ



รูปที่.15 Displacement of piston and displacer with crank angle



รูปที่.16 จากกราฟแสดงรูปแบบของแผนภาพ P-V ในแต่ละกระบอกสูบโดยมีข้อเหวี่ยงเป็นตัวส่งกำลัง



รูปที่17.แสดงการวิเคราะห์ความดันการขยายตัวของลูกสูบในแต่ละกระบอกสูบที่สูงสุดและต่ำสุด.โดยใช้ข้อเหวี่ยงเป็นต้นกำลัง

6. กระบวนการผลิตและส่วนประกอบของเครื่องยนต์

ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา กำหนดไว้ให้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Double acting for sterling engine prototype specification use ASTM 306 steel

Specification double acting sterling engine	
Piston length	85.0 mm
Displacer length	85.0 mm
Piston diameter	40.0 mm
Displacer diameter	40.0 mm
Piston stroke	20.0 mm
Displacer stroke	29.0 mm
Piston mass	450 g
Displacer mass	450g
Initial gas pressure	1 atm.
Working gas	Air
Cooling medium	Water

7. สรุป

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ Alpha-Type double acting สามารถแก้ไขปรับปรุงการออกแบบได้ และจากการสมมติฐานได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้นในการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพื่อทำการผลิตหรือสร้าง และนำมาประกอบรวมกันได้ ทฤษฎีการสมมติฐานส่วนใหญ่ได้ค้นพบแล้วว่าการอัดตัวและการขยายตัวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันตลอดทั้งชิ้นงาน (Isothermal) เครื่องยนต์จะทำงานที่ 20 รอบต่อนาที และเครื่องยนต์ 4 กระบอกสูบจะให้ค่าพลังงานทั้งหมด 200 วัตต์

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปี2557 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMIT'L)

เอกสารอ้างอิง

[1] Walker G. (1980). sterling Engines, ISDN: 0-19-856209-8, Oxford University Press, New York.

[2] Zhanghua Wu, Ruidong Zhao, Wei Dai, Ercang Luo. (2014). Development of a 3 kw. double-acting thermoacoustic Stirling electric generator, Applied Energy, April 2014.

[3] Ben Nasrallah S. (2006) Numerical simulation and losses analysis in the sterling engine. Int J Heat Technol.Vol.24 (2006),pp 143-152

[4] W.R.Martini. (1983).Sterling engine design manual. Lewis Research Center.

[5] Ben Nasrallah S.(2006) Numerical simulation and losses analysis in the Stirling engine. Int J Heat Technol; Vol.24 (2006),pp 143-152

[6] Colin D.west. (1986). Principles and Applications of sterling Engines, 1st Edition, Van Nostrand Reinhol, New York.

[7] Iskander Tlili. Sa'ed A. Musmar. (2013). Thermodynamic evaluation of a second order simulation for Yoke Ross sterling Engine, *Energy Conversion and Management*, Vol.68(2013), February 2013, pp149-160

[8] Keveney, M. (2000b).Singl Cylinder sterling engine. Animatedengines, Retrieved 2009-01-18. Kockums. " the Stirling Engine: An Engine for the Future", vol.68 (2013)pp175-185

[9] Ant_on Cacabelosa, Pablo Eguía.(2014). Development of an improved dynamic model of a sterling engine and a performance analysis of a cogeneration plant. *Applied Thermal Engineering* (2014), pp.606-619

[10] Tlili I,Timoumi Y, Ben Nasrallah S. (2007-2009) Thermodynamic analysis of Stirling heat engine with regenerative losses and internal irreversibilities. Int J Engine Res (2007-8), pp45–56.

[11] Batmaz I, Ustun S. (2008) Design and manufacturing of a V-type Stirling engine with doubleheaters.*Appl Energy* (2008), vol. 85(11), pp1041–9.